



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 2

**WBS**

Opere generali Parte 2

**Dokumentenart**

Technischer Bericht

**Tipo Documento**

Relazione tecnica

**Titel**

Geomechanischer Detailbericht

**Titolo**

Relazione geomeccanica di dettaglio



Raggruppamento Temporaneo di Imprese 4P  
c/o Pro Iter S.r.l., Via G.B. Sammartini 5, 20125 Milano, Tel: +39 026787911, Fax: +39 0267152612

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

Mandataria



Mandante



Mandante



Mandante



Fachplaner / il progettista specialista  
Ing. Enrico Maria Pizzarotti  
Ord. Ingg. Milano N° A 29470

Fachplaner / il progettista specialista

Fachplaner / il progettista specialista

Fachplaner / il progettista specialista

Datum / Data

30.01.2015

Name / Nome

Bellini

Gesellschaft / Società

Pro Iter

Bearbeitet / Elaborato

Geprüft / Verificato

30.01.2015

Rivoltini

Pro Iter



Name / Nome  
R. Zurlo

Name / Nome  
K. Bergmeister

Projekt-kilometer /  
Chilometro  
progetto

von / da 32.0+88  
bis / a 54.0+15  
bei / al

Projekt-kilometer /  
Chilometro  
opera

von / da 44.1+92  
bis / a 46.7+69  
bei / al

Status  
Dokument /  
Stato  
documento

Massstab /  
Scala

-

Staat  
Stato

Los  
Lotto

Einheit  
Unità

Nummer  
Numero

Dokumentenart  
Tipo Documento

Vertrag  
Contratto

Nummer  
Codice

Revision  
Revisione

02

H61

GD

040

GTB

D0700

22001

21

## Bearbeitungsstand Stato di elaborazione

Revision Revisione	Änderungen / Cambiamenti	Verantwortlicher Änderung Responsabile modifica	Datum Data
21	Ablage für Ausschreibung / Emissione per appalto	Rivoltini	30.01.2015
20	Überarbeitung infolge Dienstanweisung Nr. 1 vom 17.10.2014 / Revisione a seguito ODS n°1 del 17.10.14	Rivoltini	04.12.2014
11	Projektvervollständigung und Umsetzung der Verbesserungen aus dem Prüfverfahren Completamento progetto e recepimento istruttoria	Rivoltini	09.10.2014
10	Endabgabe Consegna definitiva	Rivoltini	31.07.2014
00	Erstversion Versione preliminare	Rivoltini	17.10.2013

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG</b>	
<b>1</b>	<b>PREMESSA</b> .....	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>BESCHREIBUNG DER BAUWERKE</b>	
<b>2</b>	<b>DESCRIZIONE DELLE OPERE</b> .....	<b>6</b>
2.1	DEFINITION DER BAUWERKE DES BAULOSES MAULS 2-3	
2.1	DEFINIZIONE DELLE OPERE DEL LOTTO DI COSTRUZIONE MULES 2-3 .....	6
2.2	UNTERTEILUNG DES BAULOS MAULS 2-3	
2.2	SUDDIVISIONE IN PARTI DEL LOTTO MULES 2-3 .....	8
<b>3</b>	<b>ZIELSETZUNGEN DER STUDIE</b>	
<b>3</b>	<b>OBIETTIVI DELLO STUDIO</b> .....	<b>12</b>
<b>4</b>	<b>RECHTLICHER RAHMEN</b>	
<b>4</b>	<b>INQUADRAMENTO NORMATIVO</b> .....	<b>13</b>
4.1	INHALTE DES GEOTECHNISCHEN BERICHTES	
4.1	CONTENUTI DELLA RELAZIONE GEOTECNICA .....	13
4.2	ERMITTLUNG DER PROJEKTKENNWERTE	
4.2	DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI DI PROGETTO .....	13
<b>5</b>	<b>GEOLOGISCHER KONTEXT</b>	
<b>5</b>	<b>CONTESTO GEOLOGICO</b> .....	<b>16</b>
5.1	DER REGIONALE GEOLOGISCHE AUFBAU	
5.1	ASSETTO GEOLOGICO REGIONALE .....	16
5.2	DER STRUKTURELLE AUFBAU	
5.2	ASSETTO STRUTTURALE.....	19
5.2.1	Duktile Deformation: Schieferung, Falten	
5.2.1	Deformazione duttile: scistosità, pieghe e zone di shear duttile .....	19
5.2.2	Spröde Deformation: Brüche und Rupturen	
5.2.2	Deformazione fragile: faglie e fratture.....	20
5.3	HYDROGEOLOGISCHE VERHÄLTNISSE	
5.3	ASSETTO IDROGEOLOGICO .....	22
5.3.1	Vorübergehende Wasserzutritte	
5.3.1	Venute idriche in fase transitoria .....	22
5.3.2	stabilisierte Wasserzutritte	
5.3.2	Venute idriche in fase di esercizio .....	22
5.3.3	WASSERDRÜCKE	
5.3.3	Carichi idraulici .....	23
<b>6</b>	<b>CHARAKTERISIERUNG DER HOMOGENEN GEOMECHANISCHEN ZONEN</b>	
<b>6</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE DELLE ZONE GEOMECCANICHE OMOGENEE</b> .....	<b>24</b>
6.1	FESTSTELLUNG DER HOMOGENEN ZONEN INNERHALB DER OBEN GENANNTEN TRASSE	
6.1	IDENTIFICAZIONE DELLE ZONE OMOGENEE ALL'INTERNO DELLA TRATTA IN OGGETTO.....	24
6.2	GEOMECHANISCHE GRUNDPARAMETER	
6.2	PARAMETRI GEOMECCANICI DI BASE .....	24
6.3	TYPISCHE GEOMECHANISCHE PARAMETER	
6.3	PARAMETRI GEOMECCANICI CARATTERISTICI .....	26
6.3.1	Feststellung der Geomechanischen Klassen	
6.3.1	Identificazione delle classi geomeccaniche .....	27
6.3.2	Berechnung der typischen Parameter	
6.3.2	Calcolo dei parametri caratteristici.....	29

<b>7</b>	<b>ERFAHRUNGS- UND ERFAHRUNGS-ANALYTISCHEMETHODEN ZUR VERHALTENSBEWERTUNG DER HÖHLE</b>	
<b>7</b>	<b>METODI EMPIRICI ED EMPIRICO-ANALITICI PER LA VALUTAZIONE DEL COMPORTAMENTO DELLA CAVITÀ</b>	<b>30</b>
7.1	ERFAHRUNGSMETHODEN ZUR BEWERTUNG DES SQUEEZING- UND STIRNINSTABILITÄTSRISIKOS	
7.1	METODI EMPIRICI PER LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI SQUEEZING E DI INSTABILITÀ DEL FRONTE	30
7.1.1	Jehtwa Methode	
7.1.1	Metodo di Jehtwa	30
7.1.2	Bhasin Methode	
7.1.2	Metodo di Bhasin	31
7.1.3	Hoek Methode	
7.1.3	Metodo di Hoek	31
7.1.4	Panet Methode	
7.1.4	Metodo di Panet	34
7.2	ERFAHRUNGSMETHODEN ZUR BEWERTUNG DES ROCK BURST RISIKO	
7.2	METODI EMPIRICI PER LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI ROCK BURST	35
7.2.1	Tao Zhen-Yu Methode	
7.2.1	Metodo di Tao Zhen-Yu	35
7.2.2	Hoek Methode	
7.2.2	Metodo di Hoek	35
7.3	METHODE DER GEBIRGSKENNLINIEN	
7.3	METODO DELLE LINEE CARATTERISTICHE	37
7.4	ERGEBNISSE DER ANALYSEN MIT ERFAHRUNGS- UND ERFAHRUNGS-ANALYTISCHENMETHODEN	
7.4	RISULTATI DELLE ANALISI CON METODI EMPIRICI E EMPIRICO-ANALITICI	39
<b>8</b>	<b>VERZEICHNISSE</b>	
<b>8</b>	<b>ELENCHI</b>	<b>43</b>
8.1	TABELLENVERZEICHNIS	
8.1	ELENCO DELLE TABELLE	43
8.2	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	
8.2	ELENCO DELLE ILLUSTRAZIONI	44
8.3	REFERENZDOKUMENTE	
8.3	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	45
8.3.1	Eingangsdokumente	
8.3.1	Documenti in ingresso	45
8.3.2	Normen und Richtlinien	
8.3.2	Normative e Linee Guida	47
8.3.3	Bibliografie	
8.3.3	Bibliografia	47
8.3.4	Ausgangsdokumente	
8.3.4	Documenti in uscita	49
<b>9</b>	<b>ANHANG 1 - GRUNDGEOMECHANISCHE PARAMETER</b>	<b>50</b>
<b>10</b>	<b>APPENDICE 1 - PARAMETRI GEOMECCANICI DI BASE</b>	<b>50</b>
<b>11</b>	<b>ANHANG 2 - GEOMECHANISCHE KLASSEN</b>	<b>52</b>
<b>12</b>	<b>APPENDICE 2 - CLASSI GEOMECCANICHE</b>	<b>52</b>
<b>13</b>	<b>ANHANG 3 - FESTIGKEITS- UND DEFORMATIONSPARAMETER</b>	<b>54</b>
<b>14</b>	<b>APPENDICE 3 - PARAMETRI DI RESISTENZA E DI DEFORMABILITÀ</b>	<b>54</b>



## 1 EINLEITUNG

Die Brenner Basistunnel BBT SE plant die Errichtung eines ca. 56 km langen Tunnels zwischen Innsbruck und Franzensfeste, östlich der Brennerabschiebung.

Das Hauptbauwerk besteht aus zwei Röhren mit einem Zwischenabstand der zwischen ca. 40 m und 70m variiert und einem Erkundungsstollen, der vor den beiden Hauptröhren gebaut und sich mit Ausnahme des Abschnittes zwischen km 0.0 und 7.7 ca., der sich weitab der beiden Haupttunnel befindet, in der Mitte der beiden Röhren liegt. Der Erkundungsstollen verläuft ca. 11 - 12 m unterhalb der Haupttunnel.

Die Bauarbeiten zum Erkundungsstollen begannen nach einer umfassenden Untersuchungs- und Planungstätigkeit, die zwischen 2001 und 2008 in zwei Phasen durchgeführt wurde, und bis dato (Ende des Bauloses Muls 1) erfolgte der Aushub von km 0.0 bis km 12+460 ca. Die Hauptröhren wurden hingegen von km 49+083 bis km 47+259 (Oströhre) und von km 49+057 bis km 47+222 (Weströhre) ausgehoben.

Dieses Dokument umfasst die Details zu den geomechanischen Eigenschaften für die Ausführungsplanung folgender Bauwerke, die zum Los Muls 2-3 gehören:

- Ausbruch und Innenschale der Oströhre des Haupttunnels von km 46+769 bis zur Grenze der TBM-Kavernen (km 44+192), einschließlich der Querstollen.
- Ausbruch und Innenschale der Weströhre des Haupttunnels von km 46+732 bis zum Ende der TBM-Kavernen Nord (km 44+155), einschließlich der Querstollen.
- Ausbruch und Innenschale des Zugangstunnels Trens und des Mittelstollens Trens.

Die Kilometrierung der Weströhre und des Erkundungsstollens im Ausführungsprojekt des Bauloses Muls 2-3 (und damit auch in diesem Bericht) weicht von jener der Unterlagen der Regelplanung.

Um die Kilometrierung laut Regelplanung der Weströhre zu erhalten, sind zu den Kilometerangaben der Ausführungsplanung 40.095 m zu addieren; Zum Beispiel liegt die Nordgrenze in der Ausführungsplanung (die diesem Bericht zugrunde liegt) bei km 32+047 der Regelplanung.

Die Entsprechung der beiden Kilometerangaben für den Erkundungsstollen ist in den jeweiligen Unterlagen

## 1 PREMESSA

La Galleria di Base del Brennero BBT-SE prevede la Costruzione di una galleria lunga circa 56 km tra Innsbruck e Fortezza, a est della faglia del Brennero.

L'opera principale consiste in due canne con un interasse variabile da ca. 40 m a ca. 70 m e in un Cunicolo Esplorativo, realizzato in anticipo rispetto alle due canne principali, solitamente posizionato in asse alle due canne; fa eccezione la tratta di cunicolo tra le progressive km 0.0 e 7.7 circa, dove il tracciato del cunicolo si sviluppa lontano dalle due Gallerie di Linea. La quota del cunicolo è circa 11 - 12m inferiore rispetto a quella delle gallerie.

Il Cunicolo Esplorativo, i cui lavori di costruzione sono stati avviati dopo una estesa attività di indagine e di progettazione condotta in due fasi temporali successive tra il 2001 ed il 2008, risulta attualmente (fine del Lotto Muls 1) scavato dalla progressiva 0.0 fino alla progressiva km 12+460 circa. Le due canne principali sono invece state scavate tra le progressive km 49+083 - km 47+259 (canna Est) e tra le progressive km 49+057 - km 47+222 (canna Ovest).

Il presente documento è relativo alla precisazione degli aspetti geomeccanici per la fase di Progettazione Esecutiva delle seguenti opere, appartenenti al lotto Muls 2-3:

- Scavo e rivestimento della galleria di linea canna Est dal km 46+769 fino alla fine dei cameroni TBM nord (progressiva km 44+192), compresi i cunicoli trasversali.
- Scavo e rivestimento della galleria di linea canna Ovest dal km 46+732 fino alla fine dei cameroni TBM nord (progressiva km 44+155), compresi i cunicoli trasversali.
- Scavo e rivestimento della Galleria di Acceso e del Cunicolo Centrale di Trens.

Si evidenzia che le progressivazioni di Galleria di Linea Ovest e Cunicolo Esplorativo adottate nel Progetto Esecutivo (PE) del Lotto Costruttivo Muls 2-3 (e quindi anche nella presente relazione) differiscono da quelle dei documenti di base di Progettazione di Sistema (PdS).

Per quanto riguarda la Canna Ovest, per passare dalle progressive Pdi PE a quelle di PdS occorre aggiungere 40.095m; ad esempio, il limite nord del Lotto è 32+047 nella progressivazione di PE (adottata nella presente), 32+087.095 in quella di PdS.

Per quanto riguarda il Cunicolo Esplorativo, la corrispondenza tra le due progressivazioni è riportata negli

angegeben.

## 2 BESCHREIBUNG DER BAUWERKE

Der Brenner Basistunnel umfasst ein System mit zwei eingleisigen Tunneln, welche auf einem Großteil der Strecke parallel zueinander bei einem konstanten Achsabstand von 70 m verlaufen. Zwischen km 48.2 und km 50.6 ca. (Oströhre) nähern sich die zwei Tunnel bis auf einen Mindestabstand von 40 m einander an, den sie dann bis zum Ende des Bauloses Muls 2-3 (km 54.0) beibehalten.

Zwischen den zwei Tunneln liegen alle 333 m Verbindungsquerstellen.

Das System wird durch einen Pilotstollen ergänzt, der tiefer als die Hauptröhren liegt, um nicht mit den Verbindungsquerstellen zu interferieren. Laut Lageplan liegt der Servicestollen generell zwischen den zwei Hauptröhren; Bei km 51.6 (Oströhre) entfernt sich der Stollen von seiner zentralen Lage zwischen den zwei Röhren und verläuft bis zum Portal in Aicha außerhalb der Achse der Haupttunnels.

Die Trassenführung im Baulos Muls 2-3 weist einen meist gradlinigen Verlauf in Lage und Höhe auf, die sich ab dem Nordende des Bauloses durch eine 5 km lange gerade Strecke, eine kurze Linkskurve mit weitem Radius ( $R=10'000$  m) und eine nachfolgende Gerade von ca. 10 km auszeichnet; Dieser folgt eine weitere engere Linkskurve mit größerer Ausdehnung, welche hauptsächlich das bestehende Baulos Muls 1 betrifft. Die Streckenführung beginnt erneut mit einer geraden Strecke (ca. 1 km), der eine Rechtskurve ( $R=6'000$  m) folgt, um im Bereich der Gleisverdoppelung, wo sich die Verbundstrecken anbinden, mit einer Geraden von ca. 1.500 m zu enden. Die Details zum Verlauf in Lage und Höhe sind in den Plänen [1] [2] erfasst.

In Bezug auf den Höhenverlauf weist die Oströhre eine Steigungsstrecke mit entgegengesetzten Neigungen, -3.907‰ und +7.399‰ auf, deren höchster Punkt bei km 49.6+35 bzw. deren niedrigster Punkt bei km 49.5+90 liegt. Um die Steigungsstrecke mit der Streckenführung des bereits erstellten Bauloses Muls 1 zu verbinden, mussten für die Weströhre zahlreiche geringfügige Neigungsänderungen eingeführt werden, welche jedenfalls auf die Enden des Bauloses Muls 1 begrenzt sind. Die Details zum Höhenverlauf sind in den Plänen [4] [5] erfasst.

### 2.1 DEFINITION DER BAUWERKE DES BAULOSES MAULS 2-3

Die in der Ausführungsplanung des Bauloses Muls 2-3 geplanten und auf dem Bauwerkslageplan [3], dargestellten Bauwerke sind folgende: (NB: die Kilometrierungen des

elaborati corrispondenti.

## 2 DESCRIZIONE DELLE OPERE

La Galleria di Base del Brennero prevede un sistema con due gallerie a binario semplice che corrono parallele per la maggior parte del tracciato con interasse costante di 70 m. Tra il km 48.2 e il km 50.6 circa (canna est), le due gallerie tendono ad avvicinarsi fino a ridurre l'interasse a 40m, mantenendo tale distanza fino all'estremità sud del Lotto Muls 2-3 (km 54.0).

Tra le due gallerie sono posizionati ogni 333 m cunicoli trasversali di collegamento.

Integra il sistema un cunicolo "pilota" collocato ad una quota inferiore rispetto alle canne principali per non interferire con i cunicoli trasversali di collegamento. Planimetricamente il cunicolo di servizio è collocato generalmente in posizione intermedia alle due canne principali; in corrispondenza del km 51.6 (canna est) il cunicolo si allontana dalla sua posizione centrale tra le due canne e si mantiene fuori dall'asse delle Gallerie di Linea fino all'imbocco ad Aica.

Il tracciato ferroviario nel Lotto Muls 2-3 si presenta con andamento planimetrico principalmente in rettilineo caratterizzato, a partire dall'estremo nord del lotto, da un tratto rettilineo di circa 5 km, da una breve curva sinistrorsa di ampio raggio ( $R=10'000$  m) e da un successivo rettilineo di circa 10 km cui segue un'ulteriore curva sinistrorsa più stretta e di maggiore estensione che interessa principalmente il lotto esistente Muls 1. Il tracciato riprende con un tratto in rettilineo (circa 1 km) cui segue una curva destrorsa ( $R=6'000$  m), per terminare, nella zona di sdoppiamento dei binari in cui si innestano i rami di interconnessione, con un tratto in rettilineo di circa 1'500 m. I dettagli dell'andamento planimetrico sono rilevabili dalle tavole di progetto [1] [2].

Altimetricamente si distingue per la canna est una livelletta con due pendenze opposte, -3.907‰ e +7.399‰, il cui vertice risulta ubicato al km 49.6+35 e il punto di minimo altimetrico del tracciato al km 49.5+90. Per la canna ovest, invece, la necessità di raccordare la livelletta con il tracciato del Lotto Muls 1 già realizzato, ha comportato l'introduzione di numerosi cambi di pendenza della livelletta limitati, in ogni caso, agli estremi del lotto Muls 1. I dettagli dell'andamento altimetrico sono rilevabili dalle tavole di progetto [4] [5].

### 2.1 DEFINIZIONE DELLE OPERE DEL LOTTO DI COSTRUZIONE MULS 2-3

Le opere previste nel Progetto Esecutivo del lotto Muls 2 – 3, rappresentate sulla Planimetria delle opere [3], sono le seguenti: (N.B.: le progressive del Cunicolo Esplorativo sono

Erkundungsstollens steigen nach Norden, die der Haupttunnel und des Zugangsstollens nach Süden an.)

### **Bauwerke nördlich der Einbindung des Fensterstollens Mauls mit den Haupttunneln**

- 1) Haupttunnel (GL) Ost (Gleis 1) "Ende Baulos Mauls 1 – Staatsgrenze", ca. von km 47.2+59 bis ca. km 32.0+88 (Vortrieb und Innenschale);
- 2) Haupttunnel (GL) Ost (Gleis 1) „Tunnelausbau Baulos Mauls 1“: Innenschale der bestehenden Haupttunnelstrecke, die im Abschnitt des Bauloses Mauls 1 von km 47.2+59 ca. bis zu den TBM-Montagekavernen (km 48.9+02 ca.) vorgetrieben wird sowie Endgestaltung der TBM-Montagekavernen, die sich an der Kreuzung mit dem Fensterstollen Mauls befinden (von km 48.9+02 bis 49.0+83 ca.)
- 3) Haupttunnel (GL) West (Gleis 2) „Ende Baulos Mauls 1 – Staatsgrenze“, von km 47.2+22 ca. bis km 32.0+47 ca. (entspricht km 32.0+87 der Regelplanung) (Vortrieb und Innenschale)
- 4) Haupttunnel (GL) West (Gleis 2) „Tunnelausbau Baulos Mauls 1“: Innenschale der bestehenden Haupttunnelstrecke, die im Bereich des Bauloses Mauls 1, von km 47.2+22 ca. bis zu den TBM-Montagekavernen (km 48.8+73 ca.) vorgetrieben wird sowie Endgestaltung der TBM-Montagekavernen, die sich am Schnittpunkt mit dem Fensterstollen Mauls befinden (von km 48.8+73 bis 49.0+57 ca.)
- 5) Fensterstollen Mauls (M): Innenschale des Tunnels und alle dazugehörigen schon bestehenden Bauwerke, bestehend aus: „Zweig A“, „Zweig B“ Logistikkaverne und dazugehörigem Verbindungstunnel, Lüftungszentralkaverne mit entsprechenden Verbindungstunneln und Absaugschacht;
- 6) Nothaltestelle (FdE) "Trens" – System von Tunneln, Kavernen, Stollen, usw., dessen Projektion auf die Oströhre der Haupttunnels von km 44.5+15 bis km 45.0+25 (Vortrieb und Innenschale) liegt;
- 7) Zugangstunnel (GA) zur Nothaltestelle Trens, die sich zwischen dem Fensterstollen Mauls und dem Mittelstollen Trens befindet (Vortrieb und Innenschale)
- 8) Neuer Logistikknoten (NL): Er befindet sich seitlich der Trasse des Zugangsstollens und besteht aus

crescenti verso nord; quelle delle Gallerie di Linea e della Galleria di Accesso, verso sud).

### **Opere situate a nord del punto d'innesto della Finestra di Mules con le gallerie principali**

- 1) Galleria di Linea (GL) est (dispari) "fine lotto Mules 1 – Confine di stato": da km 47.2+59 circa a km 32.0+88 circa (scavo e rivestimento definitivo);
- 2) Galleria di Linea (GL) est (dispari) "rivestimenti lotto Mules 1": rivestimento definitivo della tratta della Galleria di Linea esistente, scavata nell'ambito del lotto Mules 1, compresa tra km 47.2+59 circa e cameroni di Montaggio TBM (km 48.9+02 circa) e sistemazione definitiva dei cameroni di montaggio TBM posti in corrispondenza dell'intersezione con la Finestra di Mules (tra km 48.9+02e 49.0+83 circa)
- 3) Galleria di Linea (GL) ovest (pari) "fine lotto Mules 1 – confine di stato": da km 47.2+22 circa a km 32.0+47 circa (corrispondente alla 32.0+87 della Progettazione di Sistema) (scavo e rivestimento definitivo)
- 4) Galleria di Linea (GL) ovest (pari) "rivestimenti lotto Mules 1": rivestimento definitivo della tratta della Galleria di linea esistente, scavata nell'ambito del lotto Mules 1, compresa tra km 47.2+22 circa e cameroni di Montaggio TBM(km 48.8+73 circa) sistemazione definitiva dei cameroni di montaggio TBM posti in corrispondenza dell'intersezione con la Finestra di Mules (tra km 48.8+73 e 49.0+57 circa)
- 5) Finestra di Mules (M): rivestimento definitivo della galleria e di tutte le opere afferenti alla stessa già realizzate e costituite da: "Ramo A", "Ramo B" Camerone logistico e connessa Galleria di Collegamento, Caverna Centrale di Ventilazione con relative Gallerie di Collegamento e Pozzo di Aspirazione;
- 6) Fermata di Emergenza (FdE) Trens – sistema di gallerie, caverne, cunicoli, ecc. la cui proiezione sulla Galleria principale est è compresa dal km 44.5+15 alla km 45.0+25 (scavo e rivestimento definitivo);
- 7) Galleria di Accesso (GA) alla Fermata di Emergenza Trens, compresa tra la Finestra di Mules e il cunicolo centrale di Trens (scavo e rivestimento definitivo)
- 8) Nuovo Nodo Logistico (NL): ubicato lateralmente al tracciato della Galleria di Accesso e costituito da un



einer Logistikkaverne, drei Verbindungstunneln mit dem Zugangstunnel, einem logistischen Bypass zwischen dem Zugangstunnel (GA) und den beiden Hauptröhren sowie einem Verbindungsschacht zum Erkundungsstollen [6].

- 9) Erkundungsstollen (CE) "Ende Baulos Muls 1 – Staatsgrenze", von km 12.4+59 ca. bis km 27.2+17 (Vortrieb und Innenschale).
- 10) Es ist außerdem die Rohbauausrüstung für den Erkundungsstollen geplant, die hauptsächlich aus der Beleuchtungsanlage, der MS/NS-Verteilung, der Löschwasserversorgung, dem GSM-Fernmeldenetz sowie den selektiven Wasserdrainageanlagen bestehen.
- 11) Erkundungsstollen: „Stollenausbau der vorhergehenden Baulose“: Innenschale der bestehenden Erkundungsstollenstrecke, die im Rahmen der vorhergehenden Baulose, von km 10.4+19 ca. bis zu km 12.4+60 ca. vorgetrieben wurden; Endgestaltung des Verbindungstunnels zwischen der Weströhre und dem Erkundungsstollen.

#### **Bauwerke südlich des Anbindungspunktes des Fensterstollens Muls mit den Haupttunneln**

- 12) Haupttunnel (GL) Ost (Gleis 1) „TBM-Montagekaverne Muls – Eisack-Unterquerung“, von km 49.0+83 ca. bis km 54.0+15 ca. (Vortrieb und Innenschale);
- 13) Haupttunnel (GL) West (Gleis 2) „TBM Montagekavernen Muls 1 – Eisack-Unterquerung“, von km 49.0+57 ca. bis km 54.0+02 ca. (entspricht 54.0+42 ca. der Regelplanung) (Vortrieb und Innenschale).
- 14) Im nachfolgend aufgeführten Abschnitt verlaufen die Haupttunnel bis zur Südgrenze des Bauloses Muls 2-3 zweigleisig: ab km 52.6+29 ca. bis ca. 54.0+15 in der Oströhre und von km 52.8+66 ca. bis km 54.0+02. ca. in der Weströhre.

Die Baulosgrenzen gehen aus den Plänen [3] hervor, auf die verwiesen wird.

#### **2.2 UNTERTEILUNG DES BAULOS Muls 2-3**

Aufgrund der baulichen Eigenschaften der zuvor ermittelten Bauwerke ist das Baulos Muls 2-3 wie folgt in drei Teile gegliedert worden:

camerone logistico, tre gallerie di collegamento con la GA, un by-pass logistico di collegamento tra la GA e le Gallerie di Linea e un pozzo di collegamento con il Cunicolo Esplorativo [6].

- 9) Cunicolo Esplorativo (CE) " fine lotto Muls 1 – Confine di stato": da km 12.4+59 circa a km 27.2+17 (scavo e rivestimento definitivo).
- 10) Sono inoltre previste le dotazioni impiantistiche a servizio del Cunicolo Esplorativo, costituite essenzialmente dall'impianto di illuminazione, distribuzione MT/BT, dalla rete idrica antincendio, dalla rete di telecomunicazione GSM e dagli impianti di drenaggio selettivo delle acque.
- 11) Cunicolo Esplorativo "rivestimenti lotti precedenti": rivestimento definitivo della tratta del Cunicolo Esplorativo esistente, scavato nell'ambito dei lotti precedenti, compresa tra km 10.4+19 circa e km 12.4+60 circa; sistemazione definitiva della galleria di collegamento tra la canna ovest e il Cunicolo Esplorativo.

#### **Opere situate a sud del punto d'innesto della Finestra di Muls con le gallerie principali**

- 12) Galleria di Linea (GL) est (dispari) "camerone montaggio TBM Muls – Sottoattraversamento Isarco": da km 49.0+83 circa a km 54.0+15 circa (scavo e rivestimento interno);
- 13) Galleria di Linea (GL) ovest (pari) "camerone montaggio TBM – Sottoattraversamento Isarco": da km 49.0+57 circa a km 54.0+02 circa (corrispondente alla 54.0+42 circa della Progettazione di Sistema) (scavo e rivestimento definitivo).
- 14) In questa tratta le gallerie principali est ed ovest a partire dalla km 52.6+29 circa, per la galleria est, e dalla km 52.8+66 circa, per la galleria ovest, fino al limite sud del lotto Muls 2-3 (km 54.0+15 per la canna est, km 54.0+02 circa per la canna ovest), si presentano a doppio binario.

I limiti del lotto di costruzione sono rilevabili nelle tavole [3], alle quali si rimanda.

#### **2.2 SUDDIVISIONE IN PARTI DEL LOTTO Muls 2-3**

In funzione delle caratteristiche costruttive delle opere individuate precedentemente, il lotto Muls 2 - 3 è stato suddiviso in tre parti così definite:

**Teil 1 - Haupttunnel von km 46+769 bis km 54+015  
Oströhre und Innenschalen der vorhergehenden  
Baulose, konventioneller Vortrieb des  
Erkundungsstollens:**

- Haupttunnel (GL), konventioneller Vortrieb und Innenschale:
  - von km 47.2+59 ca. bis km 46.7+69 - Oströhre;
  - von km 47.2+22 ca. bis km 46.7+32 - Weströhre.
- Haupttunnel (GL), Innenschale der bestehenden Haupttunnelstrecke, welche im Rahmen des Bauloses Mauls 1 ausgebrochen wurde:
  - von km 47.2+59 ca. bis km 48.9+02 ca. (Anfang TBM Montagekaverne) - Oströhre;
  - von km 47.2+22 ca. bis km 48.8+73 ca. (Anfang TBM Montagekaverne) - Weströhre.
- Haupttunnel (GL), Innenschale der Strecke auf Höhe der bestehenden TBM-Montagekavernen, welche im Rahmen des Bauloses Mauls 1 ausgebrochen wurden:
  - von km 48.9+02 ca. bis km 49.0+83 ca. - Oströhre;
  - von km 48.8+73 ca. bis km 49.0+57 ca. - Weströhre.
- Fensterstollen Mauls (M) und dazugehörige Bauwerke, Innenschale und Endgestaltung der bereits in den vorhergehenden Baulosen errichteten Bauwerke, bestehend aus:
  - Fensterstollen Mauls (M), 1'607 m ca. lang;
  - Zweig A (M-A), ca. 172 m lang;
  - Zweig B (M-B), ca. 176 m lang;
  - Logistikkaverne, 40 m ca, und dazugehöriger Verbindungstunnel, ca. 142m lang;
  - Zentrale Lüftungskaverne, 67 m, Verbindungszweige zum Fensterstollen Mauls (212 m ca.) und Absaugschacht ca. 47 m hoch.
- Erkundungsstollen (CE), konventioneller Vortrieb und Innenschale:
  - Verbreiteter Querschnitt (CL) von km 12.4+59,5 bis km 13.2+30
  - Logistische Ausweichstellen (PL), an km 12.6+42,5 und km 12.9+42,5
  - TBM-Montagekaverne Richtung Norden (CMC), ca. 60m lang, von km 13.2+30 bis km 13.2+90
- Erkundungsstollen (CE): Innenschale der bereits in den vorhergehenden Baulosen errichteten Erkundungsstollenabschnitte, die Folgendes umfassen:
  - Demontagekaverne der aus Aicha kommenden TBM (MCSS), ca. 40 m lang, von km 10.4+19 bis km 10.4+54.
  - Verbreiteter Querschnitt (CL) von km 10.4+54 bis km 10.9+16;
  - Regelquerschnitt (CE) von km 10.9+16 bis km

**Parte 1 -Gallerie di Linea dal km 46+769 al km 54+015  
canna est e rivestimenti definitivi lotti precedenti,  
Cunicolo Esplorativo in tradizionale:**

- Gallerie di Linea (GL), scavo con metodi tradizionali e rivestimento definitivo:
  - da km 47.2+59 circa al km 46.7+69 - canna est;
  - da km 47.2+22 circa a km 46.7+32 - canna ovest.
- Galleria di Linea (GL), rivestimento definitivo della tratta della Galleria di Linea esistente, scavata nell'ambito del lotto Mules 1:
  - da km 47.2+59 circa a km 48.9+02 circa (inizio camerone di montaggio TBM) - canna est;
  - da km 47.2+22 circa a km 48.8+73 circa (inizio camerone di montaggio TBM) - canna ovest.
- Galleria di Linea (GL), rivestimento definitivo della tratta in corrispondenza dei cameroni di montaggio TBM esistenti, scavati nell'ambito del lotto Mules 1:
  - da km 48.9+02 circa a km 49.0+83 circa - canna est;
  - da km 48.8+73 circa a km 49.0+57 circa - canna ovest.
- Finestra di Mules (M) e opere annesse, rivestimento e sistemazione definitiva delle opere già realizzate in lotti precedenti e costituite da:
  - Finestra di Mules (M), lunghezza di 1'607 m circa;
  - Ramo A (M-A), lunghezza di 172 m circa;
  - Ramo B (M-B), lunghezza di 176 m circa;
  - Camerone logistico, 40 m circa, e relativa galleria di collegamento, lunghezza di 142 m circa;
  - Caverna Centrale di Ventilazione, 67 m, rami di collegamento alla Finestra di Mules (212 m circa) e pozzo di Aspirazione di altezza 47 m circa.
- Cunicolo Esplorativo (CE), scavo con metodi tradizionali e rivestimento definitivo:
  - Sezione corrente (CE) tra km 12.4+59,5 e km 13.2+30
  - Piazzole logistiche (PL), ubicate al km 12.6+42,5 e km 12.9+42,5
  - Camerone di montaggio della TBM verso nord (CMC), della lunghezza di circa 60m tra km 13.2+30 e km 13.2+90
- Cunicolo Esplorativo (CE): rivestimento definitivo del tratto di cunicolo già realizzato in lotti precedenti e costituito da:
  - Camerone di smontaggio della TBM proveniente da Aica (MCSS), della lunghezza di 40 m circa, tra km 10.4+19 e km 10.4+54.
  - Sezione allargata (CL) tra km 10.4+54 e km 10.9+16;
  - Sezione corrente (CE) tra km 10.9+16 e km 12.4+59,5

- 12.4+59,5
- Bestehende logistische Ausweichstellen (PL-E), an km 11.1+97,5; km 11.4+93,5; km 11.7+19,5; km 12.0+15; km 12.3+42,5
- Verbindungstunnel (GC): Endgestaltung des bereits im Baulos Muls 1 errichteten Bauwerks, zwischen der Weströhre und dem Erkundungstollen auf einer Länge von ca. 420 m.
- Haupttunnel (GL) südlich des Fensterstollens; hauptsächlich mit offener TBM aufgefahrener Abschnitt (Vortrieb und Innenschale):
  - von km 49.0+83 ca. (Ende TBM-Montagekaverne, welche im Rahmen des Bauloses Muls 1 ausgeführt wurde) bis km 52.6+22 ca. - Oströhre;
  - von km 49.0+57 ca. (Ende TBM-Montagekaverne, welche im Rahmen des Bauloses Muls 1 ausgeführt wurde) bis km 52.8+44 ca.
- In diesem Abschnitt erfolgt der Vortrieb der Oströhre von km 49.0+83 ca. bis km 49.1+18 und der Weströhre von km 49.0+57 ca bis km 49.2+41 jeweils auf einer Länge von 35 m und 184 m, im konventionellen Vortrieb mit einem verbreiterten Querschnitt, der die Durchfahrt der TBM ermöglicht.
- Doppelgleisige Haupttunnel (GL -D), konventioneller Vortrieb und Innenschale:
  - von km 52.6+29 ca. bis km 54.0+15 - Oströhre;
  - von km 52.8+66 ca. bis km 54.0+02 ca. - Weströhre (entspricht ca. km 54.0+42 der Regelplanung).

**Teil 2 - Nothaltestelle, Zugangstunnel und dazugehörige Bauwerke von km 46+769 bis km 44+191:**

- Haupttunnel (GL), konventioneller Vortrieb und Innenschale:
  - von km 46.7+69 ca. bis km 45.0+25 (Anfang NHS) und von km 44.5+55 (Ende NHS) bis km 44.3+51 (TBM-Montagekaverne) - Oströhre;
  - von km 46.7+32 ca. bis km 44.9+88 (Anfang NHS) und von km 44.5+18 (Ende NHS) bis km 44.3+15 (TBM-Montagekaverne) - Weströhre.
- TBM-Montagekavernen entlang der Haupttunnel (GL-CM), konventioneller Vortrieb und Innenschale:
  - von km 44.3+52 ca. bis km 44.1+92- Oströhre;
  - von km 44.3+15 ca. bis km 44.1+55 - Weströhre.
- Nothaltestelle (FdE) und entsprechende Verbindungstollen, konventioneller Vortrieb und Innenschale:
  - von km 45.0+25 ca. bis km 44.5+55 - FdE Oströhre;
  - von km 44.9+88 ca. bis km 44.5+18 - FdE

- Piazzole logistische esistenti (PL-E), ubicate al km 11.1+97,5; km 11.4+93,5; km 11.7+19,5; km 12.0+15; km 12.3+42,5
- Galleria di collegamento (GC): sistemazione definitiva dell'opera già realizzata nel lotto Muls 1, compresa tra la Galleria di Linea, canna ovest, e il Cunicolo Esplorativo, per una lunghezza di 420 m circa.
- Galleria di Linea (GL) a sud dalla Finestra di Muls, tratta realizzata prevalentemente con TBM aperta (scavo e rivestimento definitivo):
  - da km 49.0+83 circa (fine camerone di montaggio TBM realizzato nell'ambito del Lotto Muls 1) a km 52.6+22 circa - canna est;
  - da km 49.0+57 circa (fine camerone di montaggio TBM realizzato nell'ambito del Lotto Muls 1) a km 52.8+44 circa
- In questa tratta le gallerie principali est ed ovest a partire dalla km 49.0+83 circa, per la galleria est, e dalla km 49.0+57 circa, per la galleria ovest, fino alla km 49.1+18 est e 49.2+41 ovest, rispettivamente per una lunghezza di 35m e 184m, vengono scavate con metodi tradizionali con una sezione allargata che permette il passaggio della TBM.
- Gallerie di Linea a doppio binario (GL-D), scavo con metodi tradizionali e rivestimento definitivo:
  - da km 52.6+29 circa al km 54.0+15 - canna est;
  - da km 52.8+66 circa a km 54.0+02 circa - canna ovest (corrispondente alla 54.0+42 circa della Progettazione di Sistema).

**Parte 2- Fermata di Emergenza, Galleria di Accesso e Opere connesse dal km 46+769 al km 44+191:**

- Gallerie di Linea (GL), scavo con metodi tradizionali e rivestimento definitivo:
  - da km 46.7+69 circa a km 45.0+25 (inizio FdE) e da km 44.5+55 (fine FdE) al km 44.3+51 (camerone di montaggio TBM) - canna est;
  - da km 46.7+32 circa a km 44.9+88 (inizio FdE) e da km 44.5+18 (fine FdE) al km 44.3+15 (camerone di montaggio TBM) - canna ovest.
- Cameroni di montaggio TBM lungo le Gallerie di Linea (GL-CM), scavo con metodi tradizionali e rivestimento definitivo:
  - da km 44.3+52 circa a km 44.1+92- canna est;
  - da km 44.3+15 circa al km 44.1+55 - canna ovest.
- Fermata di Emergenza (FdE) e i relativi cunicoli trasversali di collegamento, scavo con metodi tradizionali e rivestimento definitivo:
  - da km 45.0+25 circa a km 44.5+55 - FdE canna est;
  - da km 44.9+88 circa a km 44.5+18 - FdE canna

- Weströhre;
  - Verbindungsstollen für die Nothaltestelle FdE-C01 ÷ FdE-C06,
  - Querkaverne Trens: Querschlag Typ 5 (km 45.3+75 Oströhre).
- Mittelstollen Trens und Abluftquerstollen, konventioneller Vortrieb und Innenschale:
  - von km 0.0+00 bis km 0.6+90, entsprechend den Kilometrierungen der Oströhre km 44.5+15 und km 45.1+92;
  - Abluftquerstollen FdE-V-01 ÷ FdE-V06 und Entlastungsstollen (km 44.5+35 Oströhre)
- Zugangstunnel (GA) zur Nothaltestelle, konventioneller Vortrieb und Innenschale: der 3.805 m lange Tunnel beginnt an eine Abzweigung bei km 1.4+79 ca. des Fensterstollen Mauis.
- Neuer Logistikknoten (NL), konventioneller Vortrieb und Endgestaltung; befindet sich seitlich der Trasse des Zugangstunnels (zwischen km 0.5+00 und 0.8+60 ca. des GA) und besteht aus:
  - einer 110 m langen Logistikkaverne;
  - drei Verbindungstunnel zum Zugangstunnel (38 m, 91 m und 179 m ca.);
  - Logistik Bypass zwischen dem Zugangstunnel und der Weströhre (148m ca.) und zwischen der Weströhre und der Oströhre (137 m ca.)
  - Verbindungsschacht zum Erkundungsstollen bei km 00.0+71.6 mit Bezug auf die Bauwerkskilometrierung.

**Teil 3 - Erkundungsstollen von km 13+290 (betr. Oströhre 46+013) bis km 27+217 (betr. Oströhre 32+088) und Haupttunnels von km 32+088 bis km 44+192:**

- Haupttunnel (GL), TBM-Vortrieb und Innenschale:
  - von km 44.1+92 ca. (Ende TBM-Montagekaverne) bis km 32.0+88 - Oströhre;
  - von km 44.1+55 ca. (Ende TBM-Montagekaverne) bis km 32.0+47 ca. (entsprechend dem km 32.0+87 der Regelplanung) - Weströhre.
- Erkundungsstollen (CE), TBM-Vortrieb und Innenschale:
  - von km 13.2+90 ca. (TBM-Montagekaverne) bis km 27.2+17 (Staatsgrenze).
  - In diesem Abschnitt sind außerdem im Abstand von jeweils 2 km sieben Ausweichstellen geplant.
- Rohbauausrüstung des Erkundungsstollens (CE), die im Wesentlichen aus der Beleuchtungsanlage, der MS/NS-Verteilung, der Löschwasserversorgung, dem GSM-Fernmeldenetz

- ovest;
  - cunicoli di collegamento a servizio della Fermata di Emergenza FdE-C01 ÷ FdE-C06,
  - caverna di Trens: cunicolo trasversale di collegamento tipo 5 (km 45.3+75 canna est).
- Cunicolo centrale di Trens e cunicoli trasversali di aspirazione d'aria, scavo con metodi tradizionali e rivestimento definitivo:
  - da km 0.0+00 a km 0.6+90, corrispondenti rispettivamente alle progressive della canna est km 44.5+15 e km 45.1+92;
  - cunicoli di ventilazione FdE-V-01 ÷ FdE-V06 e cunicolo di scarico (km 44.5+35 canna est)
- Galleria di Accesso (GA) alla Fermata di Emergenza di Trens, scavo con metodi tradizionali e rivestimento definitivo: la galleria, della lunghezza di 3'805 m circa, ha origine, mediante diramazione, dalla progressiva km 1.4+79 circa della finestra di Mules.
- Nuovo Nodo Logistico (NL), scavo con metodi tradizionali e sistemazione definitiva; situato lateralmente al tracciato della Galleria di Accesso (posizionato tra km 0.5+00 e 0.8+60 circa della GA), risulta costituito da:
  - camerone logistico della lunghezza di 110 m;
  - tre gallerie di collegamento con la GA (38 m, 91 m e 179 m circa);
  - by-pass logistico di collegamento tra la GA e la GL ovest (148m circa) e tra la GL ovest e la GL est (137 m circa)
  - pozzo di collegamento con il Cunicolo Esplorativo, ubicato al km 00.0+71.6 con riferimento delle progressive dell'opera.

**Parte 3 - Cunicolo Esplorativo dal km 13+290 (rif. canna est 46+013) al km 27+217 (rif. canna est 32+088) e Gallerie di Linea dal km 32+088 al km 44+192:**

- Gallerie di Linea (GL), scavo meccanizzato e rivestimento definitivo:
  - da km 44.1+92 circa (fine camerone di montaggio TBM) a km 32.0+88 - canna est;
  - da km 44.1+55 circa (fine camerone di montaggio TBM) a km 32.0+47 circa (corrispondente al km 32.0+87 della Progettazione di Sistema) - canna ovest.
- Cunicolo Esplorativo (CE), scavo meccanizzato e rivestimento definitivo:
  - da km 13.2+90 circa (camerone di montaggio TBM) a km 27.2+17 (confine di stato).
  - nella presente tratta inoltre è prevista la realizzazione di sette piazzole logistiche distribuite lungo tale tratta, posizionate ad un interasse costante di 2km.
- Dotazioni impiantistiche a servizio del Cunicolo Esplorativo (CE), costituite essenzialmente dall'impianto di illuminazione, distribuzione MT/BT, dalla rete idrica antincendio, dalla rete di

sowie den selektiven Wasserdrainageanlagen besteht.

### 3 ZIELSETZUNGEN DER STUDIE

Ziel dieses Berichts ist es eine erste rasche Analyse des Aushebungsverhalten, das für die Ablagerung der oben genannten Trasse vorgesehen ist, wobei gleichzeitig den Planern die Geomechanischen Grunddaten geliefert werden, die zur Planung der verschiedenen Bauarbeiten nötig sind.

Insbesondere gliedert sich der Bericht nach diesem Schema

- (hydro-)geologische und Geomechanische Einordnung der oben genannten Trasse – Kapitel 4.
- Einordnung der homogenen geomechanischen Zonen und Festlegung der typischen Geomechanischen Parameter für jede Trasse, Berechnung der Festigkeits- und Deformationsparameter der Ablagerung der gleichartigen Trassen - Kapitel 5.
- Rasche Überprüfung des Stirn- und Höhlenzustands und der möglichen Risikoumständen (rock burst, squeezing..) - Kapitel 6.

Für sämtliche Informationen geologischer, hydrogeologischer und geomechanischer Art, die nicht in diesem Bericht enthalten sind, wird auf die Unterlagen ([7] [8] und auf die geomechanischen Profile und die Prognoseprofile des Ausführungsprojekts verwiesen [9]-[12] und [45]-[47].

telecomunicazione GSM e dagli impianti di drenaggio selettivo delle acque.

### 3 OBIETTIVI DELLO STUDIO

La presente relazione ha l'obiettivo di effettuare una prima analisi con metodi speditivi del comportamento allo scavo previsto per l'ammasso nella tratta in oggetto, fornendo al contempo ai progettisti i dati geomeccanici di base necessari alla progettazione delle diverse opere.

In particolare, la relazione si struttura secondo questo schema

- Inquadramento (idro)geologico e geomeccanico della tratta in oggetto - Capitolo 5.
- Identificazione delle zone geomeccaniche omogenee e definizione dei parametri geomeccanici caratteristici di ogni tratta; calcolo dei parametri di resistenza e deformabilità d'ammasso delle tratte omogenee - Capitolo 6.
- Verifica con metodi speditivi delle condizioni del fronte e della cavità e delle situazioni di rischio potenziale (*rock burst, squeezing..*) - Capitolo 7.

Si sottolinea inoltre che per tutte le informazioni di carattere geologico, idrogeologico e geomeccanico non contenute nel presente elaborato occorre fare riferimento agli elaborati [7] [8] e ai Profili Geomeccanici e Progettuali di Previsione del Progetto Esecutivo [9]-[12] e [45]-[47].

## 4 RECHTLICHER RAHMEN

### 4.1 INHALTE DES GEOTECHNISCHEN BERICHTES

Die italienische Gesetzgebung [20] [21] schreibt spezifische Voraussetzungen für die geotechnische Modellierung im Tiefbau vor. Die Tätigkeiten, die im Zuge der geotechnischen Planung durchzuführen sind, und die Inhalte des geotechnischen Berichts sind insbesondere in den Kapiteln 6.2.2 [20] und C6.2.2 [21] angegeben:

- 1) Beschreibung der Bauwerke und der Baumaßnahmen.
- 2) Geotechnische Probleme und typologische Entscheidungen.
- 3) Beschreibung des Programms der Erkundungen und der geotechnischen Versuche.
- 4) Physikalische und mechanische Charakterisierung der Böden und des Gesteins sowie Definition der charakteristischen Werte der geotechnischen Parameter.
- 5) Überprüfung der Sicherheit und der Leistungen: Ermittlung der jeweiligen Grenzzustände.
- 6) Planungsansätze und Projektwerte der geotechnischen Parameter.
- 7) Geotechnische Modelle des Untergrunds und Analysemethoden .
- 8) Ergebnisse der Analysen und Kommentar.
- 9) Lageplan samt Standort der Erkundungen.
- 10) Stratigraphische Abschnitte.
- 11) Beweissicherungsplan.
- 12) Mögliche Alternativlösungen.

Aufgrund der Komplexität der gegenständlichen Bauwerke wurden die oben genannten Informationen in verschiedenen Planungsunterlagen beschrieben, wie in der folgenden Tabelle 1 beschrieben ist.

### 4.2 ERMITTLUNG DER PROJEKTKENNWERTE

Entsprechend den italienischen Bestimmungen [20] und [21] sowie dem Eurocode 7 [22] werden bei der Planung von geotechnischen Bauwerken die Kennwerte der Festigkeits- und Verformungskennwerte von Böden und Gestein verwendet. Diese Kennwerte werden als "[...] eine vernünftige und vorsichtige Schätzung des Kennwertes im berücksichtigten Grenzzustand" definiert. Insbesondere wird

## 4 INQUADRAMENTO NORMATIVO

### 4.1 CONTENUTI DELLA RELAZIONE GEOTECNICA

La normativa italiana [20] [21] prevede specifici requisiti per la modellazione geotecnica delle opere civili. In particolare, all'interno dei capitoli 6.2.2 [20] e C6.2.2 [21] sono indicate le attività da svolgere nel corso della progettazione geotecnica e i contenuti della Relazione Geotecnica:

- 1) Descrizione delle opere e degli interventi.
- 2) Problemi geotecnici e scelte tipologiche.
- 3) Descrizione del programma delle indagini e delle prove geotecniche.
- 4) Caratterizzazione fisica e meccanica dei terreni e delle rocce e definizione dei valori caratteristici dei parametri geotecnici.
- 5) Verifiche di sicurezza e delle prestazioni: identificazione dei relativi stati limite.
- 6) Approcci progettuali e valori di progetto dei parametri geotecnici.
- 7) Modelli geotecnici del sottosuolo e metodi di analisi.
- 8) Risultati delle analisi e loro commento.
- 9) Planimetria con l'ubicazione delle indagini.
- 10) Sezioni stratigrafiche.
- 11) Piano di monitoraggio.
- 12) Possibili soluzioni alternative.

In ragione della complessità delle opere in oggetto, le informazioni sopra descritte sono trattate all'interno di diversi elaborati progettuali, come descritto nella seguente Tabella 1.

### 4.2 DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI DI PROGETTO

In accordo con la normativa italiana [20] [21] e con l'Eurocodice 7 [22], nella progettazione delle opere geotecniche si utilizzano i valori caratteristici dei parametri di resistenza e di deformabilità di terreni e rocce. Questi valori caratteristici sono definiti come "[...] stima ragionata e cautelativa del valore del parametro nello stato limite considerato". In particolare, si suggerisce di adottare "[...]

die Annahme von Werten angeraten "die sich den durchschnittlichen Werten annähern, wenn der berücksichtigte Grenzzustand ein hohes Bodenvolumen umfasst, samt etwaigem Ausgleich der Heterogenität oder dann, wenn die den Boden berührende Struktur ausreichend starr ist, um die Aktionen der weniger resistenten Zonen auf resistenteren Zonen zu übertragen" (siehe Kapitel 6.2.2 [20] und Kapitel 6.2.2 [21]).

Untertagebauwerke umfassen beachtliche Volumina an geotechnischem Material und es besteht ein hoher Bedarf nach Kompensation der Heterogenitäten. Zur Ermittlung der charakteristischen Gebirgskennwerte wurde also folgendes Verfahren angewandt, das als vernünftig und vorsichtig erachtet wird:

- 1) Ermittlung der charakteristischen Kennwerte des intakten Gebirges ( $\sigma_{ci}$ ,  $E_i$ ,  $m_i$ ), die über eine vorsichtige Schätzung des Mittelwerts erfolgt:

$$p_k = p_m \cdot (1 - V_p/2)$$

- 2) Dabei entsprechen  $p_k$  und  $p_m$  jeweils dem Kennwert bzw. dem Mittelwert des allgemeinen Parameters  $p$ , während  $V_p$  dem Verhältnis zwischen der Standardabweichung und dem Durchschnitt des Parameters entspricht.
- 3) Ermittlung des Bezugswerts des RMR-Werts (des Mindestwerts der Klasse). Für Details zum probabilistischen Ansatz, der bei der Festlegung der zu berücksichtigenden geomechanischen Klassen angewandt wurde, siehe Bericht [8].
- 4) Ermittlung des GSI-Werts, der dem angenommenen RMR-Wert entspricht.
- 5) Berechnung der charakteristischen Gebirgsparameter anhand des Hoek-Brown-Bruchkriteriums.

Der Bauwerksplanung wurden die charakteristischen Werte der Beständigkeit und der Gebirgsverformbarkeit zugrunde gelegt, die wie oben beschrieben berechnet wurden.

werte proximi ai valori medi quando nello stato limite considerato è coinvolto un elevato volume di terreno, con possibile compensazione delle eterogeneità o quando la struttura a contatto con il terreno è dotata di rigidità sufficiente a trasferire le azioni dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti" (cfr. Capitolo 6.2.2 [20] e Capitolo C6.2.2 [21]).

Le opere in sotterraneo coinvolgono un volume significativo di materiale geotecnico e presentano una elevata capacità di compensazione delle eterogeneità. Per la determinazione dei parametri caratteristici degli ammassi rocciosi si è quindi seguita questa procedura, ritenuta ragionevole e cautelativa:

- 1) Determinazione dei valori caratteristici dei parametri della roccia intatta ( $\sigma_{ci}$ ,  $E_i$ ,  $m_i$ ), definiti mediante una stima cautelativa del valore medio:

- 2) dove  $p_k$  e  $p_m$  sono rispettivamente il valore caratteristico e quello medio del generico parametro  $p$ , mentre  $V_p$  è il rapporto tra la deviazione standard e la media del parametro stesso.
- 3) Determinazione del valore di riferimento dell'indice RMR (valore minimo della classe). Per dettagli circa l'approccio probabilistico seguito nella determinazione delle classi geomeccaniche da considerare si veda la relazione [8].
- 4) Determinazione del valore di GSI corrispondente all'RMR adottato.
- 5) Calcolo dei parametri caratteristici dell'ammasso mediante l'applicazione del criterio di Hoek & Brown.

Nella progettazione delle opere si sono adottati i valori caratteristici dei parametri di resistenza e di deformabilità dell'ammasso, calcolati come descritto sopra.

Information / Informazione	Dokumenten / Documenti	Numer / Numero
1) Beschreibung der Bauwerke und der Baumaßnahmen (Anmerkung 1) 1) Descrizione delle opere e degli interventi (Nota 1)	Allgemeiner technischer Bericht	12001
	Technische Berichte Rohbau	21041, 22101, 23051
2a) Geotechnische Probleme 2a) Problemi geotecnici	Allgemeiner geomethanischer Bericht	13018
	Geomethanische Detailberichte	21001, 22001, 23001
2b) typologische Entscheidungen 2b) Scelte tipologiche	Statische Berechnungen	(Anmerkung 2 / Nota 2)
	Geologische Berichte	13001, 13007, 13008, 13033, 13042
3) Beschreibung des Programms der Erkundungen und der geotechnischen Versuche 3) Descrizione del programma delle indagini e delle prove geotecniche	Geomethanische Grundlagenberichte	(Anmerkung 3 / Nota 3)
	Allgemeiner geomethanischer Bericht	13018
4) Physikalische und mechanische Charakterisierung der Böden und des Gesteins sowie Definition der charakteristischen Werte der geotechnischen Parameter. 4) Caratterizzazione fisica e meccanica dei terreni e delle rocce e definizione dei valori caratteristici dei parametri geotecnici.	Geomethanische Detailberichte	21001, 22001, 23001
	Statische Berechnungen	(Anmerkung 2 / Nota 2)
5) Überprüfung der Sicherheit und der Leistungen; Ermittlung der jeweiligen Grenzwerte. 5) Verifiche di sicurezza e delle prestazioni; Identificazione dei relativi stati limite	Statische Berechnungen	(Anmerkung 2 / Nota 2)
	Statische Berechnungen	(Anmerkung 2 / Nota 2)
6) Planungsansätze und Projektwerte der geotechnischen Parameter 6) Approcci progettuali e valori di progetto dei parametri geotecnici	Geomethanische Grundlagenberichte	(Anmerkung 3 / Nota 3)
	Geomethanische Detailberichte	21001, 22001, 23001
7a) Geotechnische Modelle des Untergrunds 7a) Modelli geotecnici del sottosuolo	Statische Berechnungen	(Anmerkung 2 / Nota 2)
	Statische Berechnungen	(Anmerkung 2 / Nota 2)
7b) Analysemethoden 7b) Metodi di analisi	Statische Berechnungen	(Anmerkung 2 / Nota 2)
	Statische Berechnungen	(Anmerkung 2 / Nota 2)
8) Ergebnisse der Analysen und Kommentar 8) Risultati delle analisi e loro commento	Statische Berechnungen	(Anmerkung 2 / Nota 2)
	Statische Berechnungen	(Anmerkung 2 / Nota 2)
9) Lageplan samt Standort der Erkundungen 9) Planimetria con l'ubicazione delle indagini	Geologische Karte Maals-Brenner	13010
	Geologische Längenschnitte	(Anmerkung 4 / Nota 4)
10) Stratigraphische Abschnitte 10) Sezioni stratigrafiche	Hydrogeologische Längenschnitte	(Anmerkung 5 / Nota 5)
	Geomethanische Längenschnitte	(Anmerkung 6 / Nota 6)
11) Beweissicherungsplan 11) Piano di monitoraggio	Bericht zu Überwachungen und Erkundung im Tunnel	17001
	Überwachung - Profile und Schnitte	17010-17029
12) Mögliche Alternativlösungen 12) Possibili soluzioni alternative	Risikomanagement	15005
	Leitfaden für die Wahl des Ausbruchstypstyps	21043, 22900, 23053

Tabelle 1: Aufteilung der gesetzlich vorgeschriebenen Informationen in den Unterlagen der Ausführungsplanung.

Anmerkung 1 - Eine kurze Beschreibung der Bauwerke ist in der Einleitung aller Unterlagen der AP enthalten.

Anmerkung 2 - Teil 1: 21021-21034, 21050-21055, 21060-21065, 21070-21079; Teil 2: 22901-22911, 22913-22915, 22917-22920; Teil 3: 23055-23057, 23062-23064.

Anmerkung 3 - Berichte [14], [16], [18].

Anmerkung 4 - 13002, 13009, 13031, 13032, 13034, 13037, 13043.

Anmerkung 5 - 13004, 13014, 13035, 13036, 13038, 13039, 13045.

Anmerkung 6 - 13020-13022, 21002-21011, 22002-22004, 23002-23008.

Tabella 1: Suddivisione delle informazioni richieste dalla normativa all'interno dei documenti di Progetto Esecutivo.

Nota 1 - Una descrizione sintetica delle opere è riportata all'inizio di tutte le relazioni di PE.

Nota 2 - Parte 1: 21021-21034, 21050-21055, 21060-21065, 21070-21079; Parte 2: 22901-22911, 22913-22915, 22917-22920; Parte 3: 23055-23057, 23062-23064

Nota 3 - Relazioni [14], [16], [18].

Nota 4 - 13002, 13009, 13031, 13032, 13034, 13037, 13043.

Nota 5 - 13004, 13014, 13035, 13036, 13038, 13039, 13045.

Nota 6 - 13020-13022, 21002-21011, 22002-22004, 23002-23008.



## 5 GEOLOGISCHER KONTEXT

In diesem Kapitel werden kurz die geologischen und hydrogeologischen Grundlagen des Projekts zusammengefasst. Weitere Angaben finden sich in den Bezugsunterlagen [7].

### 5.1 DER REGIONALE GEOLOGISCHE AUFBAU

Die Trasse des Brenner Basistunnels liegt aus geografischer Sicht im Mittelteil der östlichen Alpen und überquert die Alpenkette von Innsbruck (Österreich) bis Franzensfeste (Italien) östlich des Brennerpass.

In geologischer Hinsicht durchquert der Brenner Basistunnel die wichtigsten tektonischen Einheiten der Alpen. Diese Einheiten, die in Form von mehreren sich überlappenden Decken auftreten, sind die Überreste des Bereichs des Zusammenstoßes zwischen der europäischen und der adriatischen (afrikanischen) Platte und bilden im Projektgebiet eine Kuppel, in der die penninischen und subpenninischen Einheiten des Tauernfensters anstehen. Dies sind die tiefsten tektonischen Einheiten, die den Kern der Alpen bilden.

Die tiefsten strukturellen Einheiten des Tauernfensters sind die Zentralgneisskerne (Tuxerkern im Norden und Zillertalkern im Süden), die das parautochthone subpenninische Grundgebirge bilden (Formation der Venediger Decke). Diese tektonischen Einheiten kontinentaler Natur und europäischen Ursprungs werden von den penninischen Einheiten ozeanischer Natur der Formation der Pfifftal und Glockner Decke umwölbt, auf denen die austroalpinen Einheiten afrikanischen Ursprungs (Adria) liegen. In südlicher Richtung trennt die als periadriatische Naht bezeichnete regionale Störungslinie das Ostalpin vom Südalpin

Die derzeitige Struktur der Alpen ist das Ergebnis eines mehrphasigen Deformationsprozesses, der während der alpinen Orogenese stattgefunden hat. Die wichtigsten tektonischen Prozesse im Projektgebiet waren der Beginn der Subduktion in der Kreidezeit, die darauffolgende Phase des Zusammenstoßes zwischen der europäischen und adriatischen (afrikanischen) Platte im unteren Tertiär und die Bildung der Kuppel des Tauernfensters beginnend im späten unteren Tertiär während ihrer tektonischen Exhumierung. Im Zug der Exhumierung des Tauernfensters spielten die regionalen Störungen, die das Projektgebiet auszeichnen, wie die periadriatische Naht am Kontakt zwischen den nördlichen und den südlichen Alpen, die Brennerabschiebung und die Inntaldecke, eine aktive Rolle [4]. Durch diese Störungen wurden sowohl die noch anhaltende Exhumierung und westgerichtete Extrusion der Einheiten des Tauernfensters ermöglicht, als auch die

## 5 CONTESTO GEOLOGICO

Nel presente Capitolo si riassumono brevemente gli aspetti geologici e idrogeologici fondamentali per il presente progetto; ulteriori indicazioni possono essere reperite nei documenti di riferimento [7].

### 5.1 ASSETTO GEOLOGICO REGIONALE

Il tracciato della Galleria di base del Brennero è situato, dal punto di vista geografico, nella parte centrale delle Alpi orientali e attraversa l'arco alpino da Innsbruck (Austria) fino a Fortezza (Italia) ad est del passo del Brennero.

Dal punto di vista geologico la Galleria di Base del Brennero attraversa le maggiori unità tettoniche, che compongono la catena alpina. Queste unità, che si presentano sotto forma di più falde sovrapposte, rappresentano i resti della zona di collisione tra la placca europea e quella adriatica (africana) e formano nella zona di progetto una cupola al cui centro affiorano le unità Pennidiche e subpennidiche della finestra dei Tauri, le unità tettoniche più profonde che costituiscono il nucleo della catena alpina.

I settori strutturali più profondi della Finestra dei Tauri sono rappresentati dai nuclei di gneiss centrale (nucleo di Tux a nord e nucleo del Zillertal a sud) che costituiscono il basamento parautoctono subpennidico (complesso della Falda del Venediger), unità tettoniche di natura continentale di origine europea, ammantati dalle unità pennidiche di natura oceanica del Complesso delle Falde del Vizze e del Glockner, su cui giacciono poi le unità Austroalpine di origine africana (Adria). Verso sud la zona di faglia costituente il Lineamento Periadriatico, di importanza regionale, separa l'Austroalpino dal Sudalpino.

L'attuale struttura della catena montuosa alpina è il risultato di un processo deformativo polifasico avvenuta durante gli eventi orogenetici alpini. I processi tettonici più importanti per l'area di progetto sono rappresentati dall'inizio della subduzione nel Cretaceo, dalla successiva fase collisionale tra le placche europea ed adriatica (africana) nel Terziario inferiore e dalla formazione della cupola della Finestra dei Tauri a partire dal tardo Terziario inferiore, legata alla sua esumazione tettonica. Nel corso dell'esumazione della finestra dei Tauri svolsero un ruolo attivo le zone di faglia di importanza regionale che caratterizzano l'area di progetto, come il Lineamento Periadriatico al contatto Alpi Settentrionali-Alpi Meridionali, la Faglia diretta del Brennero, nonché il sistema di faglie dell'Inntal. Tali zone di faglia hanno reso possibile sia l'esumazione e l'estrusione verso E delle unità della Finestra dei Tauri, ancora in atto, sia il movimento verso N delle unità sudalpine rispetto alle Alpi orientali. Parti di tali faglie possono essere ancora oggi attive, seppur in maniera trascurabile ai fini del progetto.

nordgerichtete Bewegung der südalpinen Einheiten im Vergleich zu den Ostalpen. Teile dieser Störungen können heute noch aktiv sein, aber in einem Ausmaß, das für das Projekt vernachlässigbar ist. Auch die Aktivität an der Brennerabschiebung ist kinematisch diesem Prozess zuzuordnen, wobei die Einheiten des Tauernfensters relativ zum Ostalpin im (Ötztal-Stubai-Kristallin) herausgehoben werden.

Die Gesteine im Projektgebiet zeigen infolge von Subduktion, Kollision und der ersten Phase der Aufdomung mit tektonischer Freilegung des Tauernfensters eine alpidische Metamorphose mit duktiler (plastischer) Deformation. Dies gilt nicht für das Gebirge südlich der Periadriatischen Naht (Südalpin), das in den Subduktionsprozess nicht miteinbezogen war und alpidisch nur spröde deformiert wurde.

Die spröde Deformation in den penninischen und subpenninischen im Projektgebiet ist größtenteils den jüngsten Phasen der tektonischen Exhumierung des Tauernfensters und der dadurch verursachten kontinuierlichen nord-südlichen Kompression zuzuordnen.

Südlich der Staatsgrenze ist die bedeutendste und größte Verwerfungszone, die von den geplanten Tunneln durchquert wird, die Periadriatische Naht, mit der die Pustertaler und die komplexe Maulser Störung in Verbindung gebracht werden.

Abbildung 1 zeigt die allgemeine Geologie des Projektgebietes.

Anche l'attività lungo la faglia diretta del Brennero è da collegare cinematicamente a questo processo durante il quale le unità della Finestra dei Tauri si sono sollevate rispetto alle unità più occidentali dell'Austroalpino affioranti ad ovest della faglia (basamento cristallino Ötztal-Stubai).

A seguito della subduzione, della successiva fase collisionale e della prima fase di formazione della struttura ad antiformenti con esumazione tettonica della Finestra dei Tauri, gli ammassi rocciosi dell'area di progetto sono caratterizzati da evidenze di metamorfismo alpino a cui si associa una deformazione duttile (plastica). Ciò non si rileva negli ammassi rocciosi presenti a sud del Lineamento Periadriatico (Sudalpino) che non sono stati coinvolti nel processo di subduzione e che mostrano unicamente una deformazione alpina di tipo fragile.

La deformazione fragile osservata nelle unità Penniniche e subpenniniche all'interno dell'area di progetto è in gran parte da associare alle fasi più recenti dell'esumazione tettonica della Finestra dei Tauri e la continua compressione N-S hanno provocato.

A sud del confine di stato la principale e più estesa zona di faglia attraversata dalle gallerie in progetto è costituita dal Lineamento Periadriatico, a cui sono associate la Faglia della Val Pusteria e la complessa zona di faglia della Val di Mules.

Nella Figura 1 si mostra l'assetto geologico generale dell'area di progetto.

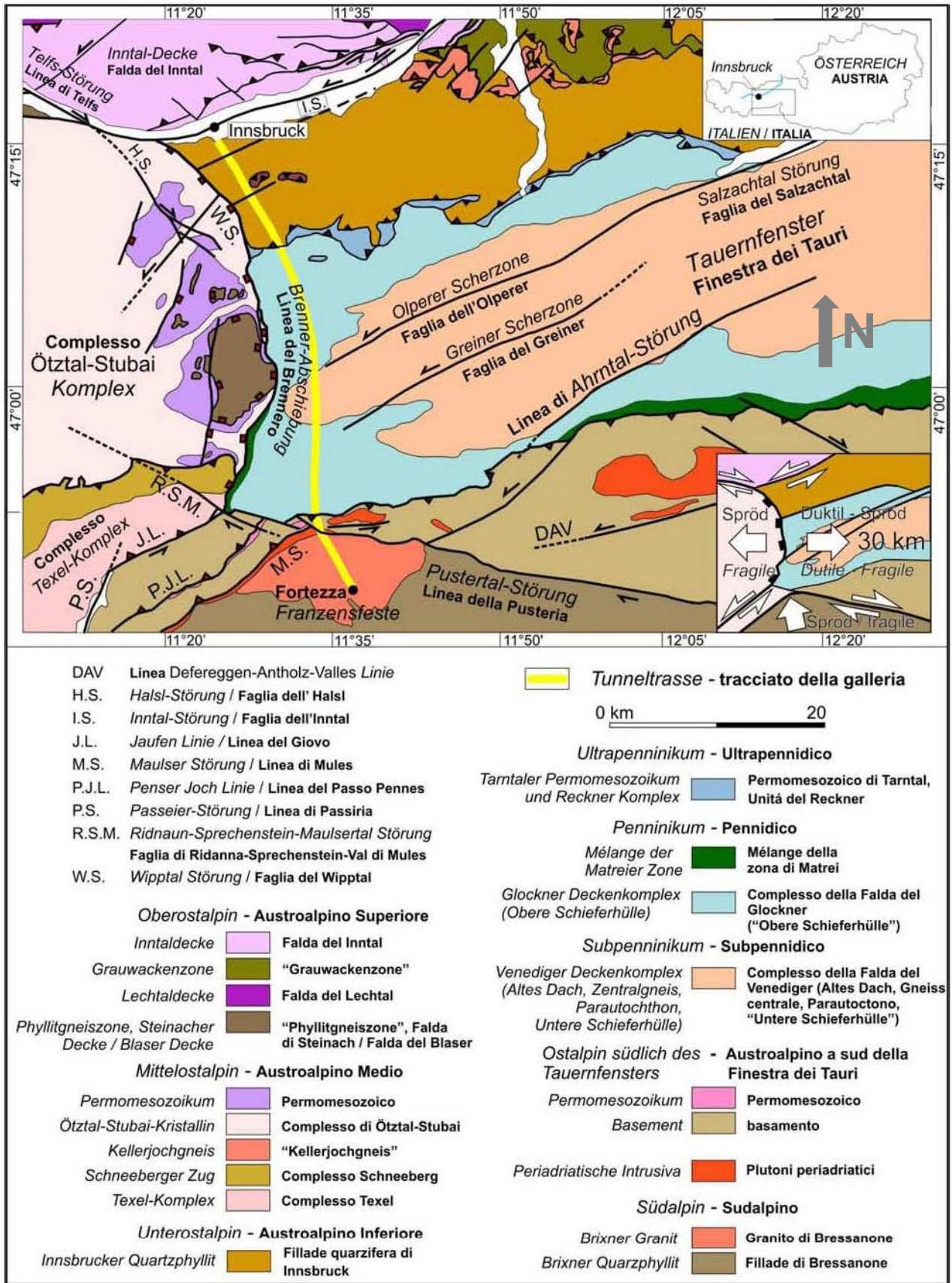


Abbildung 1: Tektonische Übersichtskarte des westlichen Tauernfensters. Verändert nach Brandner, 1980, ergänzt nach Mancktelow et al., 2001 [26], [27].

Figura 1: Carta tettonica generale della Finestra dei Tauri occidentale. Modificato Brandner, 1980, integrato secondo Mancktelow et al., 2001 [26], [27].

## 5.2 DER STRUKTURELLE AUFBAU

Die Trasse des Brenner Basis Tunnel auf italienischem Boden durchquert von Süden nach Norden die tektonischen Einheiten des Südalpinen, des Ostalpinen und des Penninischen und Subpenninischen Tauernfenster. Die Verbindungen die diese Einheiten trennen sind tektonischer Natur und entsprechen teilweise den spröden Brüchen der Krustenskala, die sich seitlich und senkrecht auf großen Entfernungen erstrecken und zu den größten und bekanntesten Bruchsystemen der Alpen gehören.

Der größte Teil der Hauptbrüche im Projektgebiet ist das Ergebnis der tektonischen tertiären Evolution (Oligozän und Miozän), während dessen die Exhumation und die Extrusion der Einheiten des Tauernfensters nach Osten statt gefunden hat, in Folge der postkollisionären Bewegung nach Norden der Südalpinen Einheiten.

Der Exhumationsprozess, der die Formung der Kuppe und die folgende Abkühlung der Einheiten des Tauernfensters bestimmt hat, ist verbunden mit den Normalbewegungen entlang des Brennerbruchs, und den ablaufenden Bewegungen entlang des Inntal- und Pustertalbruchs, die eine Extrusion von ca. 20-30 km der Penninischen Einheiten des Tauernfensters nach Osten ermöglicht haben und deren Erhöhung von ca. 10-15 km im Vergleich zu den umliegenden Einheiten.

Nach der Abkühlung des Tauernfensters, die Folge des Exhumationsprozesses, hat sich der duktilen Deformation eine spröde Deformation entlang der selben oben genannten tektonischen Profilen überlagert.

Auch wenn der geplante Tunnel nicht geradewegs den direkten Brennerbruch durchqueren wird, der im Plansektor die Grenze zwischen Penninische Domäne (Tauernfenster) und Ostalpine Domäne (Abbildung 1), wird er auf großen Entfernungen sein Einflussgebiet durchqueren. Dieses Gebiet ist gekennzeichnet durch Strukturen zweitrangiger Ausdehnung, duktil und spröde, nach Nord-Osten gerichtet, und einer Immersion von niedrigem bis mittlerem Winkel nach Westen.

### 5.2.1 Duktile Deformation: Schieferung, Falten

Die tektonischen Großeinheiten entlang der geplanten Tunneltrasse unterscheiden sich voneinander in ihrer geodynamisch-tektonischen Entwicklungsgeschichte und daraus resultierend durch unterschiedliche tektonisch bedingte Strukturmerkmale. Neben der tektonischen Entwicklungsgeschichte spielt bei der Differenzierung der Deformationsgeschichte verschiedener Gesteine deren Bildungsalter eine entscheidende Rolle, da ein Gestein natürlich keine Deformation aufzeichnen kann, die älter ist

## 5.2 ASSETTO STRUTTURALE

La tratta in territorio italiano del tracciato della Galleria di Base del Brennero attraversa da sud a nord le unità tettoniche del Sudalpino, dell'Austroalpino e quelle Pennidiche e Subpennidiche della Finestra dei Tauri. I contatti che separano queste unità sono di natura tettonica e corrispondono in parte a faglie fragili alla scala della crosta, che si estendono lateralmente e verticalmente per lunghe distanze ed appartengono ai più grandi e noti sistemi di faglie delle Alpi.

La maggior parte delle faglie principali nell'area di progetto sono il prodotto dell'evoluzione tettonica terziaria (Oligocene e Miocene) durante la quale è avvenuta l'esumazione e l'estrusione verso E delle unità della Finestra dei Tauri a seguito del movimento postcollisionale verso N delle unità Sudalpine.

Il processo di esumazione che ha determinato la formazione della cupola e del conseguente raffreddamento delle unità della Finestra dei Tauri, è associato a movimenti normali lungo la Faglia del Brennero, ed a movimenti trascorrenti lungo la faglia dell'Inntal e la faglia della Val Pusteria che hanno permesso l'estrusione per ca. 20-30 km verso E delle unità pennidiche della Finestra dei Tauri ed il loro rialzamento di circa 10-15 km rispetto le unità circostanti.

In seguito al raffreddamento della Finestra dei Tauri, conseguenza del processo di esumazione, alla deformazione duttile si è sovrapposta una deformazione di tipo fragile lungo i medesimi lineamenti tettonici sopra descritti.

Seppur non attraversando direttamente la faglia diretta del Brennero che costituisce nel settore di progetto il limite tra il Dominio Pennidico (Finestra dei Tauri) ed il Dominio Austroalpino, la galleria in progetto attraverserà su lunghe distanze la sua zona d'influenza. Questa zona è caratterizzata da strutture di estensione secondarie, duttili e fragili con orientazione N-S ed un'immersione da basso a medio angolo verso W.

### 5.2.1 Deformazione duttile: scistosità, pieghe e zone di shear duttile

Le grandi unità tettoniche lungo il tracciato delle opere in progetto sono caratterizzate da stili deformativi diversi, frutto della diversa evoluzione geodinamica-tettonica subita.

Oltre alla storia dell'evoluzione tettonica lo stile deformativo è condizionato anche dall'età di formazione, dato che una roccia non può evidenziare deformazioni più vecchie di essa. Per questo si possono presentare, anche all'interno di una medesima unità tettonica, differenze nello stile strutturale.

als es selbst. Dadurch können sich auch innerhalb einer tektonischen Einheit Unterschiede im Strukturstil ergeben.

Die subpenninischen Einheiten bestehen aus bereits variszisch metamorphen Kristallineinheiten (dem Alten Dach) mit der vermutlich spätpaläozoischen Greiner Serie, den spät- bis postvariszisch intrudierten Zentralgneiskernen und permomesozoischen Sedimentabfolgen. Die penninischen Einheiten haben maximal mesozoisches Alter und zeigen damit nur alpidische Metamorphose und Deformation. Im Zuge der alpidischen Orogenese wurden die Gesteine des Pennikums und des Subpennikums mehrphasig duktil deformiert. Im Wesentlichen lassen sich dabei drei duktile Hauptdeformationsphasen differenzieren:

Während und nach den Deckenüberschiebungen (D1-TW) – Abscherungshorizonte sind öfters Metasedimente und Evaporite der Trias – bildeten sich enge, z.T. fast isoklinale, nordvergente, liegende Faltenstrukturen (D2-TW) mit starker Achsenflächenschieferung. Die erste Schieferung wurde gefaltet und erneut geschiefert. Der gesamte D2-Faltendeckenstapel wurde in der Folge durch D3-TW wiederverfaltet und in aufrechte, leicht südvergente Falten strukturiert (in erster Linie die Zentralgneiskerne). Eine starke Streckung mit Streckungslineation parallel zu den E-W streichenden Faltenachsen stellt sich ein. Die Streichrichtung der Faltenachsen von D2 und D3 ist ähnlich, die Achsenflächen stehen aber in den Scharnierzonen von D3 fast senkrecht aufeinander. Tuxer- und Zillertaler Zentralgneiskern bilden dabei jeweils den Scharnierbereich der beiden großen Antiformstrukturen.

Das Ostalpin im S des Tauernfensters besteht aus variszisch metamorphem Grundgebirge mit einer permotriassischen Sedimentauflage (Maulser Trias). Das Grundgebirge zeigt teilweise noch präalpines Gefüge. Alpidisch wurde dieses mitsamt seiner Sedimentauflage grünschieferfaziell metamorph überprägt und bereichsweise stark deformiert (Abbildung 17:).

### 5.2.2 Spröde Deformation: Brüche und Rupturen

Zusammenfassend kann man auf der Trasse dieses Projekts regionale Bruchsysteme festlegen. Um einen bestimmten Bruch zu einem festgelegten System zuzuschreiben, ist erstens die Bruchrichtung maßgebend und zweitens, wenn festlegbar, die Kinematik. Demnach ergibt sich, dass die Konfiguration eines Bruchs innerhalb eines Systems je nach Alter und Tiefe der Formation, sowie des umliegenden Gesteins, variieren kann.

Die oben genannte Trasse werden die folgend angegebenen Verwerfungssysteme festgelegt:

- **Bruchsystem des Wipptals (SZ-WT): Direkte** Verwerfungen die mit geringer bis hoher Neigung

Le unità subpennidiche consistono di unità cristalline che hanno già subito un metamorfismo di impronta varisica (basamento pregranitico) con la Serie del Greiner presumibilmente tardopaleozoica, i nuclei di Gneiss Centrale intrusi dal tardo al post-varisico e successioni sedimentarie permomesozoiche. Le unità pennidiche hanno al massimo un'età mesozoica e mostrano quindi solo una metamorfosi e una deformazione di tipo alpino. Le rocce del Pennidico e del Subpennidico sono state deformate in più fasi duttili durante l'orogenesi alpina. Si possono differenziare sostanzialmente tre fasi di deformazione duttile principali descritte nel seguito.

Durante e dopo i sovrascorrimenti delle falde (D1-TW) – in cui gli orizzonti di taglio sono spesso costituiti da metasedimenti ed evaporiti del Triassico – si sono formate strutture di piega strette, in parte quasi isoclinali, nordvergenti e coricate (D2-TW) con forte scistosità di piano assiale. La prima scistosità è stata piegata e sottoposta nuovamente a un'ulteriore scistosità. L'intera pila di falde piegata in fase D2 è stata ripiegata in seguito nella fase D3-TW e ristrutturata in pieghe dritte, leggermente sudvergenti (in primo luogo i nuclei di Gneiss Centrale). Si sviluppa un forte stretching con lineazioni di stretching paralleli alle assi di piega orientate E-W. L'orientazione degli assi di piega di D2 e D3 è simile, i piani assiali sono però nelle zone di cerniera di D3 quasi perpendicolari. I nuclei di Gneiss Centrale di Tux e Zillertal formano le rispettive zone di cerniera delle due grandi strutture di antiforma.

L'Austroalpino a sud della Finestra dei Tauri consiste di un basamento ad impronta metamorfica varisica con una copertura di sedimenti permotriassici (coperture di Mules). Il basamento presenta in parte una struttura prealpina ed è stato sovrimpresso assieme alla sua copertura da una metamorfosi in facies scisti verdi e fortemente deformato in alcune parti.

### 5.2.2 Deformazione fragile: faglie e fratture

In sintesi possono essere definiti dei sistemi di faglia regionali per il tratto oggetto di progettazione. Risulta determinante per l'assegnazione di una certa faglia a un sistema definito, in prima linea, l'orientamento della faglia e, in secondo luogo e se determinabile, la cinematica. Da ciò risulta che la configurazione della faglia può variare all'interno di un sistema a seconda dell'età e della profondità della formazione nonché delle rocce circostanti.

Per il tratto oggetto di progettazione vengono definiti i sistemi di faglia di seguito indicati:

- **Sistema di Faglia del Wipptal (SZ-WT):** Faglie dirette che si immergono con pendenza da ridotta

nach Westen und Osten im Kontext des direkten Brennerbruchs tauchen.

- **Bruchsystem des Pfitschtals (SZ-VI):** Subvertikale Brüche nach Ost/Nordosten-West/Südwesten orientiert und beinahe nach Ost-West auf der Höhe vom Pfitschtal.
- **Bruchsystem von Afens (SZ-AV):** Subvertikale Brüche nach Nord/Nordosten-Süd/Südwesten orientiert, linker Verschiebung und direkte stark nach Westen/Nordwesten und Osten/Südosten geneigte Brüche (querlaufend) im ganzen Gebiet des Projekts.
- **Bruchsystem von Tulfes (SZ-TU):** Subvertikale Brüche nach Westen/Nordwesten-Osten/Südosten orientiert. Lokal, das heißt im Gebiet von Tulfes durch den Pretzkofelberg Richtung Sengestal, erscheint dieses System häufiger.
- **Bruchsystem der Südgrenze der Tauern (SZ-TWS):** Umgekehrter Bruch nach Süden orientiert in Nähe der Südgrenze des Tauernfensters. Dieses System ist auf das von der Südgrenze des Tauernfensters direkt interessierte Gebiet begrenzt, und voraussichtlich auf jenes das von den Deckengrenzen direkt interessiert ist.
- **Bruchsystem des Maulstals (SZ-SVM):** Aus linker transpressive Verschiebung die mit hoher Neigung von Nordosten nach Nord/Nordosten versenken, mit direkten Brüchen (querlaufend) nach Süden und Südwesten orientiert auf der Höhe des Maulstals – Sengestal.
- **Bruchsystem des Pustertals (SZ-PS):** Subvertikale Brüche auf der Höhe des Maulstals – Sengestal nach Ost-Westen orientiert.
- **Subvertikale Systeme, von NE-SW nach N/NW – S/SW orientiert im Brixener Granit. Es handelt sich um die Brüche F1, F2, F5, F7, F9, F10, F12, 201, F13, F15, F14, F17, F18, F19 e F23.**
- **Subvertikale Systeme, von E-W nach ENE-WSW orientiert im Brixener Granit.** Die Brüche dieser Gruppe befinden sich im südlichen Teil des Projektgebiets, da wo die Granitbergkette sich in Richtung des Ausgangs des Rio Bianco Tal neigt. Die Brüche F20, F21 e F22 gehören zu dieser Gruppe.
- **Subvertikale Brüche, nach N-S orientiert im Brixener Granit. Es handelt sich um den Bruch des Rio Bianco SGN02 und um kleinere Brüche wie F4, F8 oder F11.** Der Bruch vom Rio Bianco ist

ad elevata verso W e E nel contesto della faglia diretta del Brennero.

- **Sistema di Faglia della Val di Vizze (SZ-VI):** Faglie subverticali con direzione da ENE-WSW a pressoché E-W in corrispondenza della Val di Vizze.
- **Sistema di Faglia di Avenes (SZ-AV):** Faglie subverticali con direzione NNE-SSW, trascorrenza sinistra e faglie dirette (trasversali) molto inclinate immergenti verso WNW e ESE in tutta l'area di progetto.
- **Sistema di Faglia di Tulfes (SZ-TU):** Faglie subverticali con direzione WNW-ESE. A livello locale, ovvero nell'area da Tulfes attraverso il monte Pretzkofel in direzione della malga di Senges, questo sistema si presenta più frequentemente.
- **Sistema di Faglia del limite meridionale dei Tauri (SZ-TWS):** Faglia inversa S-vergente presso il limite meridionale della Finestra dei Tauri. Questo sistema si limita all'area direttamente interessata dal limite meridionale della Finestra dei Tauri e, presumibilmente, alla zona direttamente interessata dal limite delle falde.
- **Sistema di Faglia della Val di Mules (SZ-SVM):** da trascorrenze sinistre transpressive, che si immergono con pendenza elevata da NE a NNE, a faglie (trasversali) dirette S e SW vergenti in corrispondenza della Val di Mules - Val di Senges.
- **Sistema di Faglia della Val Pusteria (SZ-PS):** Faglie subverticali con direzione E-W in corrispondenza della Val di Mules - Val di Senges.
- **Sistemi subverticali, con direzione da NE-SW a NNW-SSW nel Granito di Bressanone.** Si tratta delle faglie F1, F2, F5, F7, F9, F10, F12, 201, F13, F15, F14, F17, F18, F19 e F23.
- **Sistemi subverticali con direzione da E-W a ENE-WSW nel Granito di Bressanone.** Le faglie di questo gruppo nell'area del tracciato si trovano nella parte meridionale dell'area di progetto, dove la dorsale granitica si inclina verso la zona dello sbocco della Valle del Rio Bianco. Le faglie F20, F21 e F22 appartengono a questo gruppo.
- **Faglie subverticali in direzione N-S nel Granito di Bressanone.** Si tratta della Faglia del Rio Bianco SGN02 e di faglie più piccole come F4, F8 oppure F11. La Faglia del Rio Bianco costituisce la zona di faglia di maggior spessore all'interno del Granito di

das Bruchgebiet mit der höchsten Stärke innerhalb des Brixner Granits. Dieser ist schon vom Aicher Probestollen durchquert. Im Trassengebiet ist dieser Bruch durch die Sondierungen Rb-B-01/05, Rb-B02/05, Fo-B-11/09, Fo-B-25/09, Fo-Br-04/09, ITE-B-06/05; ITE-B-08/05 bestimmt worden. Es handelt sich um eine Bruchzone, dessen Stärke im Probestollen 180 m beträgt, dessen Orientierung mit  $100/80 \pm 10^\circ$  im Trassengebiet bestimmt ist. Es ist nicht möglich dessen Kanten genau abzustecken, da die Gesteinsablagerung in dieser Zone auf einer Strecke die bis zu 450 m geht stark gebrochen ist, was außerdem große Wassereinflüsse in sich bergt. In bezug auf die Datenanalyse der TBM, entnimmt man, dass der Bruch des Rio Bianco sich auf eine Länge von ca. 290 m erstreckt. Dennoch ist es wahrscheinlich, dass auf Grund der Bruchverzweigung die Stärke empfindlich variiert. Im Hauptröhrengbiet kann die Stärke des Bruchsystems des Rio Bianco bis zur Sondierung ITE-B-06/05 als ermittelt gelten. Dies entspricht einer Minimalstärke von 80 m. Man vermutet, dass die Stärke 80-140 m beträgt.

### 5.3 HYDROGEOLOGISCHE VERHÄLTNISSE

Die hydrogeologischen Bedingungen entlang der Strecke des gegenständlichen Bauvorhabens sind nachfolgend beschrieben. Für weitere Details siehe den Bericht [7].

#### 5.3.1 Vorübergehende Wasserzutritte

In den Berichten und Profilen sind keine Werte für die kumulativen instationären Schüttungen in den Nothaltestellen. Aufgrund der geringfügigen Mengen der erwarteten Schüttungen, werden vorsichtshalber kumulative instationäre Schüttungen im Ausmaß der stabilisierten Schüttungen angenommen (siehe nachfolgendes Kapitel 5.3.2):

- Haupttunnel: 6l/s ca.
- Zugangstunnel und Mittelstollen Trens: 10l/s ca.
- Logistikknoten: 1l/s ca.

#### 5.3.2 stabilisierte Wasserzutritte

In der Betriebsphasen betragen die kumulativen Schüttungen in diesem Abschnitt ungefähr 17l/s:

- Haupttunnel: 6l/s ca.
- Zugangstunnel und Mittelstollen Trens: 9l/s ca.
- Logistikknoten: 1l/s ca.

Bressanone. Questa è già stata attraversata nel Cunicolo Esplorativo Cunicolo Esplorativo di Aica. Nell'area del tracciato, questa faglia è stata definita dai sondaggi Rb-B-01/05, Rb-B02/05, Fo-B-11/09, Fo-B-25/09, Fo-Br-04/09, ITE-B-06/05; ITE-B-08/05. Si tratta di una zona di faglia, il cui spessore nel Cunicolo Esplorativo Cunicolo Esplorativo ammonta a 180 m circa; il suo orientamento è definito con  $100/80 \pm 10^\circ$  nell'area del tracciato. Non è possibile tracciarne precisamente i bordi nel Cunicolo Esplorativo Cunicolo Esplorativo poiché l'ammasso roccioso in questa zona è fortemente fratturato per un tratto che arriva a 450 m, comportando inoltre ingenti venute d'acqua. Prendendo a riferimento l'analisi dei dati della TBM si desume che la Faglia del Rio Bianco si estenda per ca. 290 m. Tuttavia è probabile che a causa della ramificazione della faglia lo spessore vari sensibilmente. Nell'area delle canne principali lo spessore del sistema di Faglia del Rio Bianco, dall'effettivo Rio Bianco fino al sondaggio ITE-B-06/05, può essere considerato come accertato. Ciò corrisponde ad uno spessore minimo di 80 m. Si suppone che lo spessore ammonti a 80 – 140 m.

### 5.3 ASSETTO IDROGEOLOGICO

Le condizioni idrogeologiche lungo lo sviluppo delle opere in progetto sono sintetizzate nel seguito; per ulteriori dettagli si veda la relazione [7].

#### 5.3.1 Venute idriche in fase transitoria

Nelle relazioni e nei profili non si indicano valori di portata cumulata in fase transitoria nella Fermata di Emergenza. Data l'esiguità delle venute previste, in via cautelativa si assumono portate transitorie cumulate pari a quelle stabilizzate (si veda anche il successivo Capitolo 5.3.2):

- Gallerie di Linea: circa 6l/s.
- Galleria di Accesso e Cunicolo centrale di Trens: circa 10l/s.
- Nodo logistico: circa 1l/s.

#### 5.3.2 Venute idriche in fase di esercizio

Le portate cumulate in fase di esercizio in questa tratta ammontano a circa 17l/s:

- Gallerie di Linea: circa 6l/s.
- Galleria di Accesso e Cunicolo centrale di Trens: circa 10l/s.
- Nodo logistico: circa 1l/s.

### 5.3.3 WASSERDRÜCKE

Der Wasserdruck, der den hydrogeologischen Studien der Regelplanung und den laufenden Grundwassermessungen entnommen wurde, wird in folgenden Tabelle 2 angegeben.

HYDROGEOLOGISCHER LÄNGSSCHNITT EKS MAULS-BRENNER [11] / PROFILO IDROGEOLOGICO CE MULES-BRENNERO [11]		
[km Oströhre] [km canna Est]		Wasserdrucke / Carico idraulico
von / da	bis / a	Klasse / Classe
32+085	32+535	1300-1400
32+535	33+750	1400-1500
33+750	33+900	1500-1600
33+900	34+800	1400-1500
34+800	35+000	1300-1400
35+000	35+150	1300-1400
35+150	35+400	1100-1200
35+400	35+600	1000-1100
35+600	36+200	800-1000
36+200	36+450	900-750
36+450	37+340	750-650
37+340	37+700	750-800
37+700	37+950	650-750
37+950	38+500	600-650
38+500	38+650	650-750
38+650	38+915	750-850
38+915	39+100	850-1000
39+100	40+300	1000-1100
40+300	40+590	1100-1200
40+590	43+400	1200-1400
43+400	43+620	1100-1200
43+620	43+780	1000-1100
43+780	44+520	900-1000
44+520	45+515	1000-1100
45+515	46+450	900-1000
46+450	46+630	800-900
46+630	46+780	700-800
46+780	46+900	600-700

(a)

Tabelle 2: Wasserdrücke: (a) Abschnitt Mauls-Brenner, (b) Abschnitt Franzenfeste-Mauls.

### 5.3.3 Carichi idraulici

Il carico idraulico previsto, desunto dagli studi idrogeologici della Progettazione di Sistema e dal monitoraggio piezometrico in corso, è indicato nella seguente Tabella 2.

HYDROGEOLOGISCHER LÄNGSSCHNITT FRANZENFESTE-MAULS [4] // PROFILO IDROGEOLOGICO FORTEZZA-MULES [4]		
[km Oströhre] [km canna Est]		Wasserdrucke / Carico idraulico
von / da	bis / a	[m]
49+081	49+750	100-200
49+750	49+850	50-150
49+850	49+970	100-200
49+970	50+030	50-150
50+030	50+450	?
50+450	50+560	50-100
50+560	51+285	100-200
51+285	51+420	50-100
51+420	51+560	50-100
51+560	51+850	50-100
51+850	52+010	25-50
52+010	52+100	50-100
52+100	52+205	100-200
52+205	52+360	200-500
52+360	52+520	200-500
52+520	52+680	200-500
52+680	52+740	200-500
52+740	52+950	200-500
52+950	53+055	200-400
53+055	53+210	200-300
53+210	53+235	200-300
53+235	53+310	200-300
53+310	53+390	100-200
53+390	53+450	100-200
53+450	53+520	50-100
53+520	53+800	50-100
53+800	54+090	0-50
54+090	54+320	0-50

(b)

Tabella 2: Carichi idraulici: (a) tratta Mules-Brennero, (b) tratta Fortezza-Mules.



## 6 CHARAKTERISIERUNG DER HOMOGENEN GEOMECHANISCHEN ZONEN

Der Abschnitt, der Gegenstand dieses Berichts ist, umfasst wie erwähnt verschiedene Bauvorhaben:

- Haupttunnel von km 46+769 der Oströhre und km 46+732 der Weströhre bis zum Ende der TBM-Kavernen Nord, km 44+192 Oströhre und km 44+155 Weströhre (ca. 2.6km pro Röhre).
- Zugangsstollen zur Nothaltestelle und Mittelstollen der Nothaltestelle (insgesamt 4.5 km).

Zur Definition der Charakterisierung, die der Planung der Vorhaben an der Strecke zugrunde gelegt wurde, wurde die Aufteilung in geomechanische Zonen übernommen, die in den geomechanischen Profilen der Regelplanung enthalten war und für die allgemeinen Profile der Ausführungsplanung übernommen wurde. Die Verteilung der verschiedenen Gesteine in den Zonen ist jedoch nur als Prozentsatz verfügbar und ihre genaue Lage entlang der Tunneltrasse ist nicht genau bekannt.

Aus diesem Grund wurde in all den Folgeanalysen vorsichtshalber für jedes Gestein die Höchstüberlagerung der Herkunftszone angenommen. Dieser Ansatz könnte sich aber als zu konservativ erweisen.

### 6.1 FESSTELLUNG DER HOMOGENEN ZONEN INNERHALB DER OBEN GENANNTEN TRASSE

In diesem Abschnitt wurden 15 homogene geomechanische Zonen ermittelt, die sich aus einem oder mehreren Gesteinen zusammensetzen (siehe die Zusammenfassung in Tabelle 3).

### 6.2 GEOMECHANISCHE GRUNDPARAMETER

Im Anhang 1 werden für jede gleichartige Trasse und für jede Ablagerung die Geomechanischen Grundparameter aufgezeigt, die zur Charakterisierung mittels der Verbindung von Hoek & Brown nötig sind [32].

Insbesondere werden für jede Ablagerung Durchschnitt und Standardabweichung angegeben von:

- Gewicht des intakten Gesteinsnaturvolumens  $\gamma$ .
- Festigkeit auf monoaxiale Kompression der Matrix  $\sigma_{ci}$ .
- Bruchhüllparameter  $m_i$ .
- Deformationsmodul des intakten Gesteins  $E_i$ .

## 6 CARATTERIZZAZIONE DELLE ZONE GEOMECCANICHE OMOGENEE

La tratta oggetto di questa relazione si compone, come descritto in precedenza, di diverse opere:

- Gallerie di Linea dalle progressive km 46+769 canna Est e km 46+732 canna Ovest alla fine dei cameroni TBM nord, progressive km 44+192 canna Est e km 44+155 canna Ovest (circa 2.6km per ognuna delle due canne).
- Galleria di Accesso alla Fermata di Emergenza e Cunicolo Centrale della Fermata di Emergenza (4.5km in tutto).

Per definire la caratterizzazione da adottare nella progettazione delle opere in ci si è basati sulla suddivisione in zone geomeccaniche identificate all'interno dei profili geomeccanici di Progettazione di Sistema e ripresa all'interno dei profili generali di Progettazione Esecutiva [9]-[12]. La distribuzione dei differenti ammassi all'interno delle zone è però fornita solamente come valore percentuale, mentre la loro posizione esatta lungo il tracciato delle gallerie non è conosciuta con esattezza.

Per questa ragione in tutte le analisi successive si è utilizzata cautelativamente per ogni ammasso la copertura massima della zona di appartenenza; questo approccio potrebbe quindi risultare eccessivamente conservativo.

### 6.1 IDENTIFICAZIONE DELLE ZONE OMOGENEE ALL'INTERNO DELLA TRATTA IN OGGETTO

In questa tratta sono state individuate 15 zone geomeccaniche omogenee, ognuna formata da uno o più ammassi rocciosi (si veda il riassunto di Tabella 3).

### 6.2 PARAMETRI GEOMECCANICI DI BASE

Nell'Appendice 1 si riportano per ogni tratta omogenea e per ogni ammasso i parametri geomeccanici di base, necessari alla caratterizzazione mediante il legame di Hoek & Brown [32].

In particolare, sono indicati per ogni ammasso media e deviazione standard di:

- Peso di volume naturale della roccia intatta  $\gamma$ .
- Resistenza a compressione monoassiale di matrice  $\sigma_{ci}$ .
- Parametro dell'involuppo di rottura  $m_i$ .
- Modulo di deformazione della roccia intatta  $E_i$ .

- Rock Mass Rating RMR'89
- Geological Strength Index GSI

Dieselben Daten werden auch in den Geomechanischen Profilen des Ausführungsplans aufgezeigt [45]-[47].

Um die Datenauslegung zu erleichtern, wurden die Abschnitte sowohl in den Zusammenfassungen der Tabelle 3 und der Tabelle 4 als auch im Anhang 1 fortlaufend, von Norden nach Süden, nummeriert.

- Rock Mass Rating RMR'89
- Geological Strength Index GSI

Gli stessi dati sono riportati anche sui Profili geomeccanici di Progettazione Esecutiva [45]-[47].

Per agevolare l'interpretazione dei dati, sia nei riassunti di Tabella 3 sia nell'Appendice 1 le tratte sono state identificate con numeri progressivi, da nord verso sud.

Zone number	Zone initial pk (approx.)	Zone final pk (approx.)	Zone length	Zone max overburden	Zone min overburden	Rock mass name	Rock mass Length	
	[km]	[km]	[m]	[m]	[m]		[% of zone length]	[m]
11	43.8	44.6	335	1060	905	GA-BST-KS-8f	100%	335
12	44.6	44.7	75	1080	1060	GA-BST-KPH-8f	87%	65.25
						GA-T-R-8f	0-13%	0-9.75
						GA-T-A-8f	0-13%	0-9.75
13	44.7	45.1	346	1115	1025	GA-BST-KS-8f	100%	346
14	45.1	45.5	390	1200	1095	GA-BCA-A-10g	85%	331.5
						GA-BCA-GS-10g	15%	58.5
15	45.5	46.7	1203	1135	700	GA-BCA-GS-10g	90%	1082.7
						GA-BCA-A-10g	10%	120.3
19bis	46.7	47.26	552	700	450	FVM-S-PS	85%	413.1
						FVM-S-B	15%	72.9
19	47.25	47.34	75	450	450	FVM-C-Q	100%	75
19bis	47.34	47.58	225	550	450	FVM-S-PS	85%	191.25
						FVM-S-B	15%	33.75
19ter	47.58	47.60	35	550	550	TM-T-TM	100%	35
20	47.60	48.12	537	615	450	TM-T-1	100%	537
21	48.12	48.16	46	655	620	TM-DZ-GA3	100%	46
22	48.16	48.19	30	655	665	GB-CZ-GA2	50%	15
						GB-CZ-GA2 ter	50%	15
23	48.19	48.30	148.5	745	655	GB-DZ-GA1	100%	148.5
24	48.30	48.35	34	760	740	GB-G-GA-9	100%	34
25	48.35	49.0	534.5	1090	465	GB-G-GA-10	100%	534.5

Tabelle 3: Homogene Geomechanische Zonen und Gesteins-Ablagerungen der oben genannten Trasse aus den Dokumenten der Regelplanung. Die Längen und die Tunnelüberlagerung sind entlang der Erkundungstollentrasse gemessen.

Tabella 3: Zone geomeccaniche omogenee e ammassi rocciosi nella tratta in oggetto, ricavati dai documenti di Progettazione di Sistema. Le lunghezze e le coperture sono misurate lungo il tracciato del Cunicolo Esplorativo.

### 6.3 TYPISCHE GEOMECHANISCHE PARAMETER

Wie schon im Allgemein geomechanischem Bericht beschrieben [8], zur Charakterisierung der Ablagerungen werden die typischen Werte der Input-Parameter verwendet, die folgendermaßen bestimmt sind:

- Für  $\gamma$ ,  $\sigma_{ci}$ ,  $m_i$ ,  $E_i$  werden als typische Werte die konservativen Schätzungen der Durchschnittswerte angewendet der Relationen:
- $\gamma_k = \gamma_m \cdot (1 - V_\gamma/2)$
- $\sigma_{ci k} = \sigma_{ci m} \cdot (1 - V_{\sigma_{ci}}/2)$
- $E_{i k} = E_{i m} \cdot (1 - V_{E_i}/2)$
- $m_{i k} = m_{i m} \cdot (1 - V_{m_i}/2)$
- Für RMR e GSI werden die Bezugswerte angewendet von den Geomechanischen Klassen ab bestimmt.

Dies bezüglich wird hervorgehoben, dass, auf Grund der beachtlichen Ausdehnung sowohl der homogenen Geomechanischen Zonen als auch der Ablagerung die sie bilden es sich als notwendig ergibt, zur Bemessung und zur Bestimmung der verschiedenen Aushebungssektionen, die statistische Verteilung von RMR per Geomechanische Qualitätsklassen zu gliedern. Im oben genannten Fall wird die Aufteilung in Klassen in Funktion des von Bieniawski vorgeschlagenen Werts von RMR'89 angewendet [29]. Für jede Ablagerung und für jede Geomechanische Klasse wird demnach der Mindestwert von RMR der entsprechenden Klasse benutzt und ein GSI Wert entnommen wie in [8] angezeigt.

Die beschriebene Annäherungsweise entstammt der doppelten Notwendigkeit die kritischsten Zonen zu bestimmen gleichzeitig aber auch eine Schätzung (sofern annähernd) der genauen Verteilung der Aushebungsclassen zu erbringen. Die Mindestfestigkeitsparameter jeder Ablagerung (oder sogar jeder Zone) einfach zu übernehmen würde, wenn es sich einerseits sicherlich als vorsichtig ergäbe, es andererseits zu einer möglichen Überschätzung der Trassenanwendung der so bemessenen Eingriffe bringen.

Abschließend, wie schon in dem Geomechanischem Gesamtbericht angezeigt [8], um die Analyse nicht zu erschweren ohne eine eigentliche Qualitätsverbesserung der Planung zu erreichen, ist entschieden worden, dass für Ablagerungen dessen vorgesehene Länge unter 100 m liegt ein einziger GSI und RMR Wert zu übernehmen sei, gleich dem in den Dokumenten der Regelplanung angegebenen (allenfalls integriert).

### 6.3 PARAMETRI GEOMECCANICI CARATTERISTICI

Come già descritto nella Relazione geomeccanica generale [8], per la caratterizzazione degli ammassi si utilizzano i valori caratteristici dei parametri di input, definiti come segue:

- Per  $\gamma$ ,  $\sigma_{ci}$ ,  $m_i$ ,  $E_i$  si adottano come valori caratteristici le stime conservative del valore medio espresse dalle relazioni:
- $\gamma_k = \gamma_m \cdot (1 - V_\gamma/2)$
- $\sigma_{ci k} = \sigma_{ci m} \cdot (1 - V_{\sigma_{ci}}/2)$
- $E_{i k} = E_{i m} \cdot (1 - V_{E_i}/2)$
- $m_{i k} = m_{i m} \cdot (1 - V_{m_i}/2)$
- Per RMR e GSI si adottano i valori di riferimento definiti a partire dalle classi geomeccaniche.

Per quanto riguarda quest'ultimo punto si evidenzia che, vista la notevole estensione delle zone geomeccaniche omogenee, per i dimensionamenti e l'assegnazione delle diverse Sezioni di Scavo risulta necessario suddividere la distribuzione statistica di RMR per classi di qualità geomeccaniche; nel caso in oggetto si adotta la ripartizione in classi in funzione del valore di RMR'89 proposta da Bieniawski [29]. Per ogni ammasso e per ogni classe geomeccanica si utilizzeranno quindi il valore minimo di RMR della classe corrispondente e un valore di GSI ricavato come indicato in [8].

L'approccio descritto discende dalla duplice necessità di identificare le zone più critiche, fornendo però anche una stima (per quanto approssimata) della effettiva distribuzione delle classi di scavo. Adottare semplicemente i parametri di resistenza minimi di ogni ammasso (o, addirittura, di ogni zona), se da un lato risulterebbe sicuramente cautelativo, porterebbe d'altra parte a una probabile sovrastima delle tratte di applicazione degli interventi così dimensionati.

A completamento di quanto esposto, come già indicato nella Relazione geomeccanica generale [8], per evitare di appesantire le analisi senza un effettivo miglioramento della qualità della progettazione, per gli ammassi di lunghezza prevista inferiore a 100m si è deciso di adottare un unico valore di GSI e di RMR, pari a quello indicato negli elaborati della Progettazione di Sistema.

### 6.3.1 Feststellung der Geomechanischen Klassen

Zur Schätzung des Anwendungsanteils der verschiedenen Aushebungssektionen ist es nötig, wie gesagt, die Verteilung der unterschiedlichen Klassen innerhalb jeder Ablagerung zu bestimmen; im Rechnungsverfahren der Festigkeits- und Deformationsparameter aus dem Geomechanischen Gesamtbericht [8] wird vorgeschlagen jeder Klasse eine Wahrscheinlichkeit zuzuordnen, gleich wie den der Kurve der Wahrscheinlichkeits-Funktion unterspannten Bereich in der entsprechenden Trasse (Abbildung 2).

Im Anhang 2 werden die Prozentsätze der Klassen aufgezeigt, die für jede Ablagerung der oben genannten Trasse erreicht wurden, auch in Tabelle 5 zusammengefasst; in Tabelle 4 hingegen wird an die Grenzen und die knappe Beschreibung jeder Klasse erinnert, sowie an die Zeiteinschätzung der Selbsterhaltung.

### 6.3.1 Identificazione delle classi geomeccaniche

Per stimare la percentuale di applicazione delle diverse Sezioni di Scavo è necessario come detto definire la distribuzione delle diverse classi all'interno di ogni ammasso; nella procedura per il calcolo dei parametri di resistenza e deformabilità contenuta all'interno della Relazione geomeccanica generale [8] si propone di assegnare a ogni classe una probabilità pari all'area sottesa alla curva della funzione di probabilità nella tratta corrispondente (Figura 2).

Nell'Appendice 2 si riportano le percentuali delle classi ottenute per ognuno degli ammassi della tratta in oggetto, riassunte anche in Tabella 5; in Tabella 4 si ricordano invece i limiti e la descrizione sintetica di ciascuna classe, nonché una stima del tempo di autosostentamento.

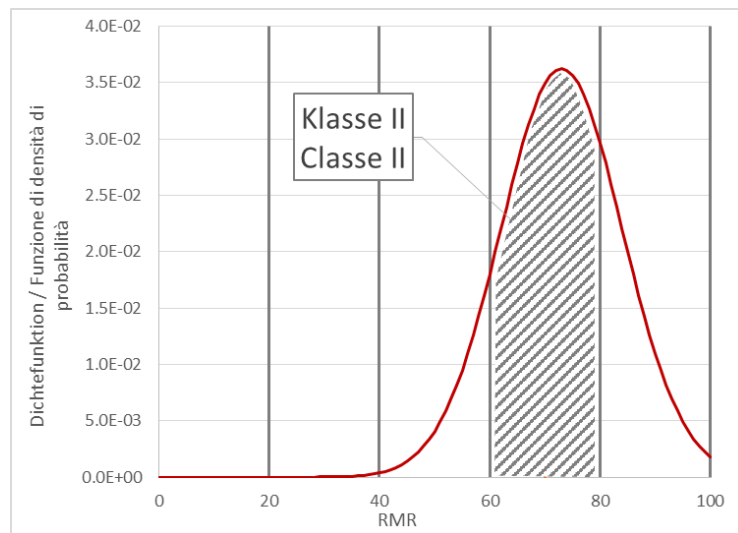


Abbildung 2: Beispiel der Feststellung der Anwendungsanteile der Bieniawski-Klassen.

Figura 2: Esempio di identificazione delle percentuali di applicazione delle classi di Bieniawski.

Class	RMR min	RMR max	Description	Average stand-up time
I	81	100	Very good rock	20 yrs for 15 m span
II	61	80	Good rock	1 year for 10 m span
III	41	60	Fair rock	1 week for 5 m span
IV	21	40	Poor rock	10 hours for 2.5 m span
V	0	20	Very poor rock	30 min for 1 m span

Tabelle 4: Aushebungsklassen, aus Bieniawski [29].

Tabella 4: Classi di scavo, da Bieniawski [29].

Zone number	Rock mass name	Class I	Class II	Class III	Class IV	Class V
11	GA-BST-KS-8f (**)			x		
12	GA-BST-KPH-8f (*)			x		
	GA-T-R-8f (*)				x	
	GA-T-A-8f (*)			x		
13	GA-BST-KS-8f (**)			x		
14	GA-BCA-A-10g		x			
	GA-BCA-GS-10g (*)			x		
15	GA-BCA-GS-10g (**)			x		
	GA-BCA-A-10g		x			
19bis	FVM-S-PS				x	
	FVM-S-B				x	
19	FVM-C-Q			x		
19bis	FVM-S-PS				x	
	FVM-S-B				x	
19ter	TM-T-TM				x	
20	TM-T-1			x		
21	TM-DZ-GA3			x		
22	GB-CZ-GA2			x		
	GB-CZ-GA2 ter			x		
23	GB-DZ-GA1			x		
24	GB-G-GA-9 (*)			x		
25	GB-G-GA-10	x	x	x		
	L (CE) [m]	27	826	2901	756	0
	L (CE) [%]	1%	18%	64%	17%	0%

Tabelle 5: Zusammenfassung der für jede Gesteinsablagerung analysierten Klassen. Die mit (\*)angezeigten Ablagerungen haben eine vorgesehene Länge unter ca. 100m, während für diejenigen mit (\*\*) gekennzeichnet die Korrelationen aus der Literatur zwischen RMR und GSI als nicht gültig erfolgen; in beiden Fällen sind Durchschnittswerte des RMR und GSI übernommen worden. Die aufgezeigten Gesamtlängen entsprechen der Abwicklung des Erkundungstollens.

Tabella 5: Riassunto delle classi analizzate per ogni ammasso roccioso. Gli ammassi indicati con (\*) hanno lunghezze previste inferiori a circa 100m, quindi sono stati adottati i valori medi di RMR e GSI. Le lunghezze totali riportate si riferiscono allo sviluppo del Cunicolo Esplorativo.

### 6.3.2 Berechnung der typischen Parameter

Ausgehend von den typischen Werten der Grundparameter und der Aufgliederung in Geomechanischen Klassen sind für jede Ablagerung und Klasse die Extrem- und Postextremwerte der Festigkeitsparameter berechnet worden; diese Ergebnisse sind in Anhang 3 zusammengefasst.

### 6.3.2 Calcolo dei parametri caratteristici

A partire dai valori caratteristici dei parametri di base e dalla suddivisione in classi geomeccaniche si sono calcolati, per ogni ammasso e per ogni classe, i parametri di resistenza di picco e post-picco; questi risultati sono riassunti nell'Appendice 3.

## 7 ERFAHRUNGS- UND ERFAHRUNGS-ANALYTISCHEMETHODEN ZUR VERHALTENSBEWERTUNG DER HÖHLE

In Folge werden einige Methoden kurz beschrieben die erfolgreich genutzt werden können für eine rasche und qualitative Risikobewertung, dass sich starke Höhlendeformationen, Instabilität und gleichzeitige Zeugung eines ausgedehnten plastischen Streifens mit zeitversetzter Formierung (*squeezing*), Instabilität der Aushebungsstirn oder spröde Bruchphänomene (*rock burst*) bilden könnten.

Wie schon vorab beschrieben, kann man von der vorhandenen Dokumentation nicht die genaue Position jeder Ablagerung innerhalb der entsprechenden homogenen Geomechanischen Zone feststellen; aus diesem Grund sind alle in Folge beschriebenen Analysen vorsichtshalber mit Berücksichtigung der Höchstdeckung des ganzen Gebiets durchgeführt worden.

### 7.1 ERFAHRUNGSMETHODEN ZUR BEWERTUNG DES SQUEEZING- UND STIRNINSTABILITÄTSRISIKOS

#### 7.1.1 Jehtwa Methode

Das von Jehtwa vorgeschlagene [35] Kriterium zur Schätzung der squeezing Stufe beruht auf dem Verhältnis  $N_c$  zwischen Ablagerungsfestigkeit und lithostatischem Druck:

$$N_c = \frac{q_{cm}}{P}$$

wo:

- P der deckungsbedingter Druck ist
- $q_{cm}$  die Festigkeit zur monoaxialen Ablagerungs-Kompression ist, die durch Anwendung des Plastizitätskriteriums Hoek and Brown gewonnen wird [32].

Abhängig von diesem Verhältnis wird die erwartete squeezing Stufe festgestellt (Tabelle 6).

$N_c$	Description
< 0.4	Highly squeezing
0.4 ÷ 0.8	Moderately squeezing
0.8 ÷ 2.0	Mildly squeezing
> 2.0	No squeezing

Tabelle 6: Vorgesehene Squeezing Stufe mittels der Jehtwa Methode [32].

## 7 METODI EMPIRICI ED EMPIRICO-ANALITICI PER LA VALUTAZIONE DEL COMPORTAMENTO DELLA CAVITÀ

Nel seguito sono descritti brevemente alcuni metodi che possono essere efficacemente utilizzati per una valutazione speditiva e qualitativa del rischio che si verifichino deformazioni elevate del cavo, instabilità e contemporanea generazione di una estesa fascia plastica con evoluzione differita nel tempo (*squeezing*), instabilità del fronte di scavo o fenomeni di rottura fragile (*rock burst*).

Come già descritto in precedenza, dalla documentazione a disposizione non si riesce a identificare l'esatta posizione di ogni ammasso all'interno della relativa zona geomeccanica omogenea; per questa ragione, tutte le analisi descritte nel seguito sono state cautelativamente svolte considerando la copertura massima dell'intera zona.

### 7.1 METODI EMPIRICI PER LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI SQUEEZING E DI INSTABILITÀ DEL FRONTE

#### 7.1.1 Metodo di Jehtwa

Il criterio proposto da Jehtwa [35] per la stima del grado di squeezing si basa sul rapporto  $N_c$  tra resistenza d'ammasso e pressione litostatica:

dove:

- P è la pressione dovuta alla copertura
- $q_{cm}$  è la resistenza alla compressione monoassiale di ammasso, ricavabile applicando il criterio di plasticità Hoek and Brown [32].

In funzione di questo rapporto si definisce il grado di squeezing atteso (Tabella 6).

Tabella 6: Grado di squeezing previsto tramite il metodo di Jehtwa [32].

### 7.1.2 Bhasin Methode

Bei der Bhasin Methode [36] wird das Aushubverhalten von weichem Gestein festgelegt ausgehend vom Stabilitätsfaktor  $N_t$ :

$$N_t = 2P/q_{cm}$$

wo:

- P der deckungsbedingter Druck ist
- $q_{cm}$  die Festigkeit zur monoaxialen Ablagerungs-Kompression ist, die durch Anwendung des Plastizitätskriteriums Hoek and Brown gewonnen wird [32].

Abhängig vom Stabilitätsverhältnis wird die erwartete squeezing Stufe festgestellt (Tabelle 7).

### 7.1.2 Metodo di Bhasin

Nel metodo proposto da Bhasin [36] il comportamento allo scavo di rocce tenere viene definito a partire dal fattore di stabilità  $N_t$ :

dove:

- P è la pressione dovuta alla copertura
- $q_{cm}$  è la resistenza alla compressione monoassiale di ammasso, ricavabile applicando il criterio di plasticità Hoek and Brown [32].

In funzione del fattore di stabilità si definisce il grado di squeezing atteso (Tabella 7).

$N_t$	Description
< 1	No squeezing
1 ÷ 5	Mild to moderate squeezing
> 5	Highly squeezing

Tabelle 7: Vorgesehene squeezing Stufe mittels der Bhasin Methode [36].

Tabella 7: Grado di squeezing previsto tramite il metodo di Bhasin [36].

Das Diagramm der Abbildung 3 zeigt auf der Ordinate den Stabilitätsfaktor  $N_t$  und auf der Abszisse die Ablagerungsfestigkeit; auf demselben Diagramm wird eine Grenzkurve der Aushubs Stabilität aufgezeigt, welche die fortschreitende Abnahme von  $N_t$  darstellt bei Zunahme der Festigkeit der Gesteinsablagerung.

Il grafico di Figura 3 riporta in ordinata fattore di stabilità  $N_t$  e in ascissa la resistenza d'ammasso; sullo stesso grafico viene indicata una curva limite per la stabilità dello scavo, determinata sulla base di casi reali, che rappresenta il progressivo decremento di  $N_t$  al crescere della resistenza dell'ammasso roccioso.

### 7.1.3 Hoek Methode

Hoek [37] schlägt vor das squeezing Risiko zu bewerten, mittels den Ergebnissen von Carranza-Torres und Duncan-Fama, auf Grund der Höhlendeformation  $\epsilon$  in Verbindung gestellt mit dem Verhältnis zwischen Ablagerungsfestigkeit  $\sigma_{cm}$  und Litho statischer Last  $p_0$  (Abbildung 3). In Abbildung 4 und Abbildung 5 wird der erhaltene Grenzverlauf aufgezeigt und die möglichen verbundenen Problemstellungen jeder Kombination von  $\epsilon - \sigma_{cm} / p_0$ .

### 7.1.3 Metodo di Hoek

Hoek [37] ha proposto di valutare il rischio di squeezing sulla base delle deformazioni  $\epsilon$  della cavità messe in relazione, attraverso le soluzioni di Carranza-Torres e di Duncan-Fama, con il rapporto tra la resistenza d'ammasso  $\sigma_{cm}$  e il carico litostatico  $p_0$  (Figura 3). In Figura 4 e in Figura 5 si riporta l'andamento limite ottenuto e le possibili problematiche associate ad ogni combinazione di  $\epsilon - \sigma_{cm} / p_0$ .

In Tabelle 8: Hinweise zur Auswahl des Stützentyps in bezug zur Höhlendeformation  $\epsilon$  [37]. sind stattdessen einige Hinweise zur Auswahl des einzusetzenden Stützentyps in Bezug auf die Höhlendeformation.

In Tabella 8 sono invece riportate alcune indicazioni circa la scelta del tipo di supporto da installare in funzione della deformazione della cavità



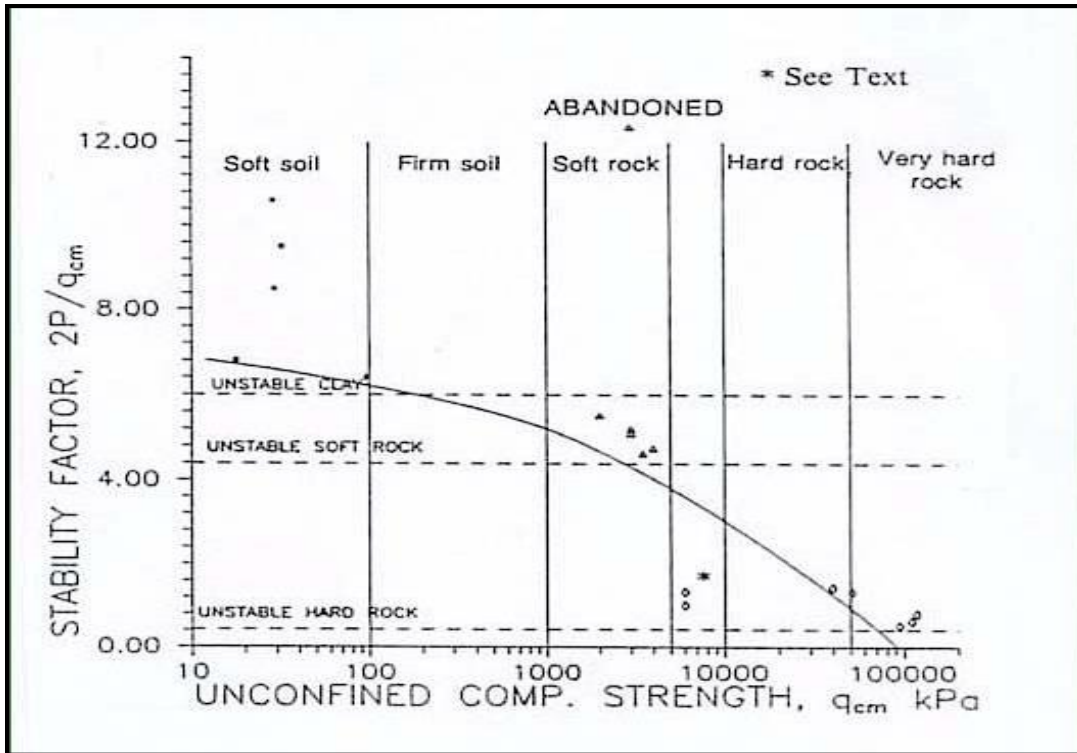


Abbildung 3: Stabilitätskurve  $N_t - q_{cm}$  [36].

Figura 3: Curva di stabilità  $N_t - q_{cm}$  [36].

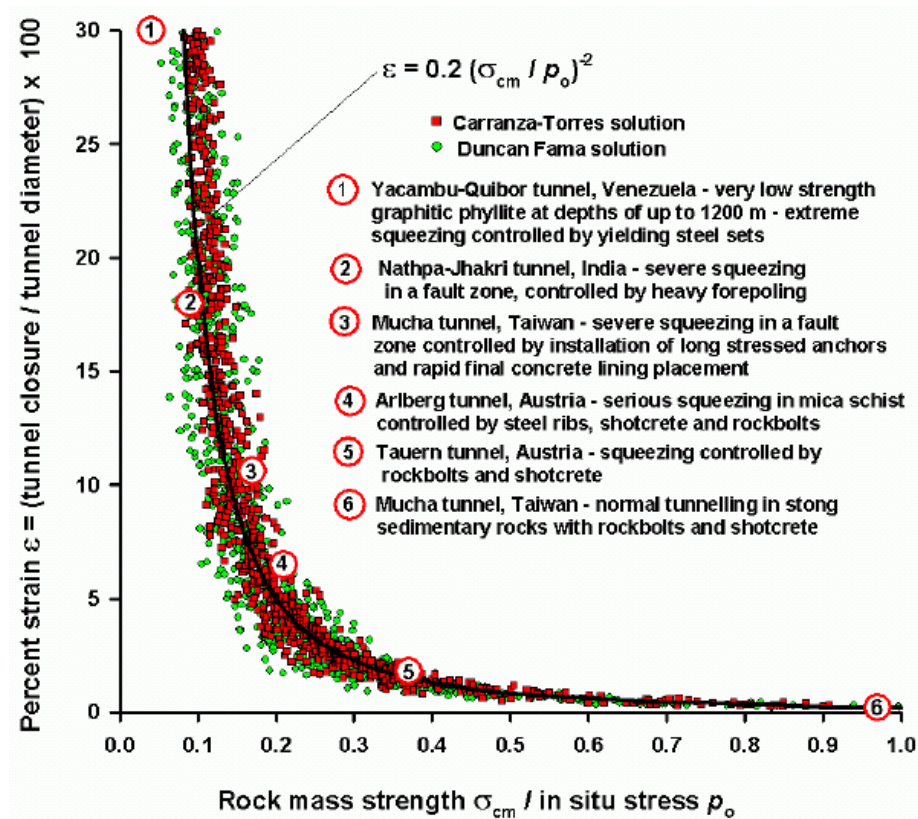


Abbildung 4: Deformation der Höhle in Bezug zum Verhältnis zwischen Festigkeit auf Ablagerungskompression und lithostatischen Druck (nicht gestützte Höhle) [37].

Figura 4: Deformazioni della cavità in funzione del rapporto tra resistenza a compressione d'ammasso e pressione litostatica (cavità non sostenuta) [37].

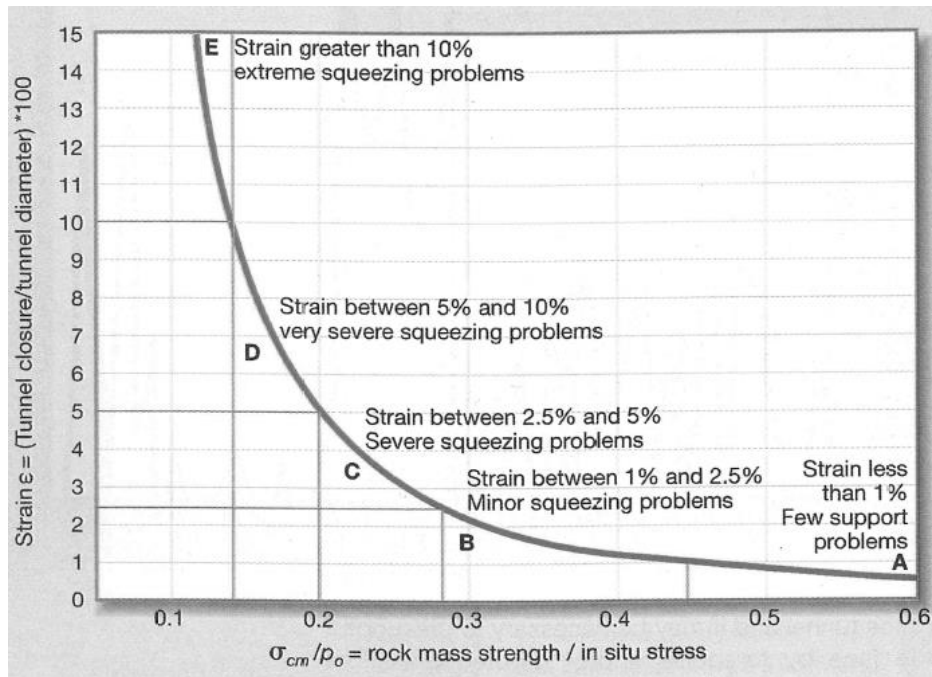


Abbildung 5: Feststellbare Problemstellungen in bezug zum Verhältnis zwischen  $\epsilon$  und  $\sigma_{cm} / p_o$  [37].

Figura 5: Problematiche riscontrabili in funzione della relazione tra  $\epsilon$  e  $\sigma_{cm} / p_o$  [37].

	Strain $\epsilon$ %	Geotechnical issues	Support types
A	Less than 1 %	Few stability problems and very simple tunnel support design methods can be used. Tunnel support recommendations based upon rock mass classifications provide an adequate basis for design.	Very simple tunneling conditions, with rockbolts and shotcrete typically used for support.
B	1 ÷ 2.5 %	Convergence confinement methods are used to predict the formation of a "plastic" zone in rock mass surrounding a tunnel and of the interaction between the progressive development of this zone and different types of support.	Minor squeezing problems which are generally dealt with by rockbolts and shotcrete; sometime light steel sets or lattice grids are added for additional security.
C	2.5 ÷ 5 %	Two-dimensional finite elements analysis, incorporating support elements and excavation sequence, is normally used for this type of problem. Face stability is generally not a major problem.	Severe squeezing problems requiring rapid installation of support and careful control of construction. Heavy steel sets embedded in shotcrete are generally required.
D	5 ÷ 10 %	The design of the tunnel is dominated by face stability issues and, while two-dimensional finite elements analysis are generally carried out, some estimates of the effect of forepoling and face reinforcement are required.	Very severe squeezing and face stability problems. Forepoling and face reinforcement with steel sets embedded in shotcrete are generally required
E	More than 10 %	Severe face instability as well as squeezing of the tunnel make this an extremely difficult three-dimensional problem for which no effective design methods are currently available. Most solution are based on experience.	Extreme squeezing problems. Forepoling and face reinforcement are usually applied and yielding support may be required in extreme cases.

Tabelle 8: Hinweise zur Auswahl des Stütztyps in bezug zur Höhlendehformation  $\epsilon$  [37].

Tabella 8: Indicazioni sulla scelta del tipo di supporto in funzione della deformazione  $\epsilon$  del cavo [37].

#### 7.1.4 Panet Methode

Die hier beschriebene Methode beruht auf der von Panet gelieferte Definition der kritischen Entgrenzungsrate  $\lambda_e$  und des Stabilitätsfaktors N [38]:

$$\lambda_e = \frac{1}{4N} \left( \sqrt{m_b^2 + 8m_b N + 16s} - m_b \right)$$

$$N = \frac{2P}{q_{cm}}$$

wo:

- P der deckungsbedingter Druck ist
- $q_{cm}$  die Festigkeit zur monoaxialen Ablagerungs-Kompression ist, die durch Anwendung des Plastizitätskriteriums Hoek and Brown gewonnen wird [32].
- $m_b$  und  $s$  sind die Materialkonstanten des Plastizitätskriteriums Hoek and Brown [32].

Wenn  $N < 1$  wird die Ablagerungsfestigkeit nie von den auf den Höhle Konturen wirkenden Drücken erreicht; somit ist man unter elastischen Bedingungen. Dagegen im Falle es bilden sich plastische Deformationen ( $N > 1$ ), stellt Panet drei unterschiedliche Bedingungen fest:

- $1 < N < 2$ : die Stirnaushebung steht unter Stabilitätsbedingungen und die Deformationen in der Stirnzone bleiben im elastischen Bereich; wenn man sich von der Stirn entfernt hat man Plastisch werdende Bedingungen.
- $2 < N < 5$ : die Stirnaushebung zeigt plastisch gewordene Teilstücke, während die Rückseitenzone vollkommen plastisch geworden ist.
- $N > 5$ : die Stirnaushebung steht unter kritische Stabilitätsbedingungen (Instabilität), die plastische Zone entwickelt sich vor der Stirnaushebung, die sich als vollkommen plastisch geworden erweist.

Bei Erreichen der Plastizitätsgrenze schlägt der Autor folgende Grenzwerte der Entgrenzungsrate vor, denen bestimmte Bedingungen der Stirnstabilität entsprechen:

- $0.6 < \lambda_e < 1.0$ : die Stirnaushebung ist stabil; die Drücke erreichen den Grenzwert der Ablagerungsfestigkeit auf der Stirnrückseite.
- $0.3 < \lambda_e < 0.6$ : die Stirnaushebung ist kurzfristig stabil; an der Stirnaushebung erreichen die Drücke erst in Nähe der Ränder dann zum Zentrum hin die Höchstwerte.

#### 7.1.4 Metodo di Panet

Il metodo qui descritto si basa sulle definizioni di tasso di deconfinamento critico  $\lambda_e$  e di fattore di stabilità N, fornite da Panet [38]:

dove:

- P è la pressione dovuta alla copertura
- $q_{cm}$  è la resistenza alla compressione monoassiale di ammasso, ricavabile applicando il criterio di plasticità Hoek and Brown [32].
- $m_b$  e  $s$  sono le costanti del materiale del criterio di plasticità Hoek and Brown [32].

Se  $N < 1$  la resistenza dell'ammasso non viene mai raggiunta dalle pressioni agenti sul contorno del cavo; si è perciò in condizioni elastiche. Nel caso invece si producano deformazioni plastiche ( $N > 1$ ), Panet individua tre possibili condizioni:

- $1 < N < 2$ : il fronte di scavo è in condizioni di stabilità e le deformazioni nella zona del fronte rimangono in campo elastico; allontanandosi dal fronte si hanno condizioni di plasticizzazione.
- $2 < N < 5$ : il fronte di scavo presenta porzioni plasticizzate, mentre la zona a tergo dello stesso si presenta completamente plasticizzata.
- $N > 5$ : il fronte di scavo è in condizioni di stabilità critica (instabilità), la zona plastica si sviluppa davanti al fronte di scavo che risulta completamente plasticizzato.

Raggiunto il limite di plasticità l'autore suggerisce i seguenti valori limite del tasso di deconfinamento, ai quali corrispondono determinate condizioni di stabilità del fronte:

- $0.6 < \lambda_e < 1.0$ : il fronte di scavo è stabile; le pressioni raggiungono il valore limite di resistenza dell'ammasso a tergo del fronte.
- $0.3 < \lambda_e < 0.6$ : il fronte di scavo è stabile a breve termine; al fronte di scavo le pressioni raggiungono il valore di resistenza massima prima in vicinanza del bordo e poi verso il nucleo.
- $\lambda_e < 0.3$ : il fronte di scavo è instabile, per cui

- $\lambda_e < 0.3$ : die Stirn aushebung ist instabil, demnach die Notwendigkeit vorbeugender Befestigungsmaßnahmen.

necessità di interventi preventivi di consolidamento.

## 7.2 ERFAHRUNGSMETHODEN ZUR BEWERTUNG DES ROCK BURST RISIKO

In diesem Kapitel werden zwei Methoden beschrieben zur Feststellung des möglichen Risikos von spröden Rupturen (*rock burst*); es wird hervorgehoben, dass diese Analysen nur für die Ablagerungen der Klasse I und II von Bieniawski (RMR > 60) durchgeführt worden sind und, dass sie eine monoaxiale Kompressionsfestigkeit von über 100MPa aufweisen.

### 7.2.1 Tao Zhen-Yu Methode

Das von Tao Zhen-Yu vorgeschlagene Kriterium [43] zur Schätzung des Rock burst Risiko beruht auf dem Verhältnis zwischen monoaxiale Kompressionsfestigkeit  $\sigma_{ci}$  und Haupthöchstkraft unter Geostatische Bedingungen  $\sigma_1$ .

In bezug zu diesem Verhältnis wird die erwartete rockbursting Stufe erreicht (Tabelle 12).

$\sigma_{ci} / \sigma_1$	Description
< 2.5	High rockbursting activity
2.5 ÷ 5.5	Moderate rockbursting activity
5.5 ÷ 13.5	Low rockbursting activity
> 13.5	No rockbursting

Tabelle 9: Vorgesehene rockbursting Stufe mittels der Tao Zhen-Yu Methode [43].

### 7.2.2 Hoek Methode

Auch Hoek & Brown [44] schlagen ein Kriterium vor, welches das rock burst Risiko mit dem Verhältnis zwischen lithostatischer Kraft  $p_z$  und monoaxiale Kompressionsfestigkeit des intakten Gesteins  $\sigma_{ci}$  verbindet. Ausgehend von diesem Verhältnis wird die erwartete rockbursting Stufe festgestellt (Tabelle 10, Abbildung 6).

$p_z / \sigma_{ci}$	Description
0.1	Stability
0.2	Spalling
0.3	Severe spalling - slabbing
0.4	Need of important stabilisation measures
0.5	Cavity collapse (rock burst)

Tabelle 10: Vorgesehene rockbursting Stufe mittels der Hoek & Brown Methode [44].

## 7.2 METODI EMPIRICI PER LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI ROCK BURST

Nel presente capitolo si descrivono due metodi per l'identificazione del possibile rischio di rotture fragili (*rock burst*); si evidenzia che queste analisi sono state svolte solo per gli ammassi appartenenti alle classi I e II di Bieniawski (RMR > 60) e che presentano una resistenza a compressione monoassiale superiore a 100MPa.

### 7.2.1 Metodo di Tao Zhen-Yu

Il criterio proposto da Tao Zhen-Yu [43] per la stima del rischio di rock burst si basa sul rapporto tra resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta  $\sigma_{ci}$  e sforzo principale maggiore in condizioni geostatiche  $\sigma_1$ .

In funzione di questo rapporto si definisce il grado di rockbursting atteso (Tabella 9).

Tabella 9: Grado di rockbursting previsto tramite il metodo di Tao Zhen-Yu [43].

### 7.2.2 Metodo di Hoek

Anche Hoek & Brown [44] propongono un criterio che collega il rischio di rock burst al rapporto tra sforzo litostatico  $p_z$  e resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta  $\sigma_{ci}$ . In funzione di questo rapporto si definisce il grado di rockbursting atteso (Tabella 10 e Figura 6).

Tabella 10: Grado di rockbursting previsto tramite il metodo di Hoek & Brown [44].



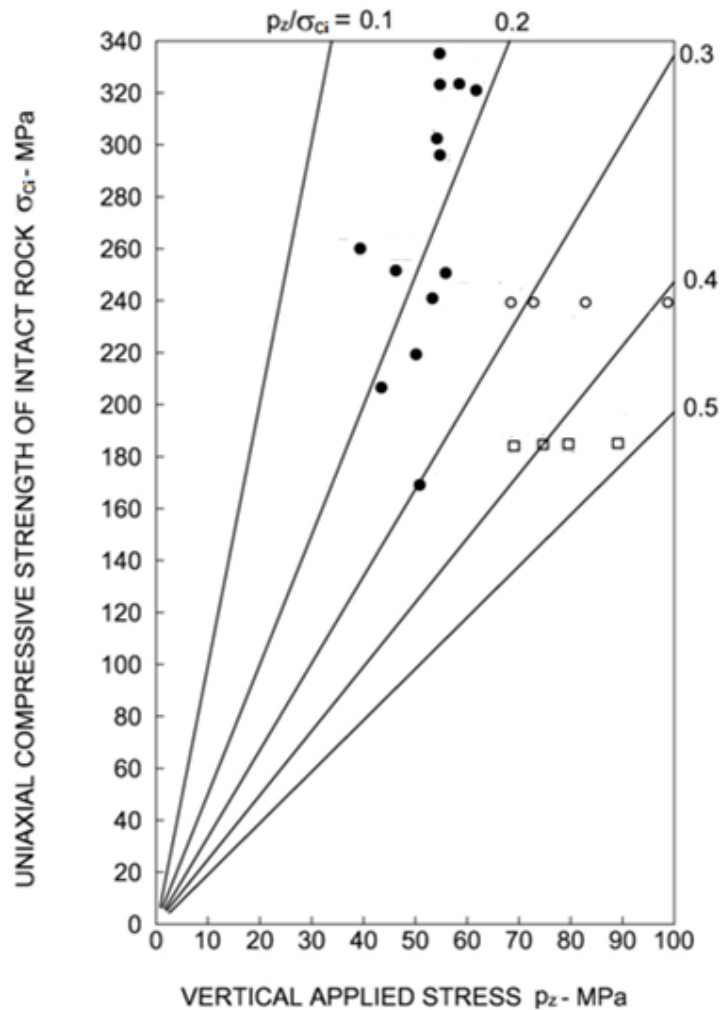


Abbildung 6: Vorgesehene rockbursting Stufe mittels der Hoek & Brown Methode [44]; mit Punkten und Quadrate werden Realfälle dargestellt.

Figura 6: Grado di rockbursting previsto tramite il metodo di Hoek & Brown [44]; con punti e quadrati si rappresentano i casi reali.

### 7.3 METHODE DER GEBIRGSKENNLINIEN

Bei den Gebirgskennlinien wird die gegenseitige Verbindung zwischen Radialdruck auf der Höhlenkontur  $p$  und Radialverschiebung  $u_r$  auf der Kontur selbst (späterhin Konvergenz genannt) festgestellt.

Hier werden diese Linien aufgezeichnet, in dem ein bildendes elastisch-plastisches Modell übernommen wird mit softening und nicht assoziierten Fluss des Gesteinsmaterials laut Mohr-Coulomb, in ihrer von Ribacchi vorgeschlagenen Formulierung [39].

Die analysierten Kurven zur Feststellung des Verhaltens der Gesteinsablagerung auf die Aushebung sind:

- Radialdruck – Konvergenz.
- Konvergenz – Stirnabstand.
- Radialdruck – Ausdehnung des plastischen

### 7.3 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 [39].

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

Streifens über das Aushebungsprofil.

- Stirnabstand – Ausdehnung des plastischen Streifens über das Aushebungsprofil.
- Stirnabstand – Scheinaushebungskräfte (die Scheinaushebungskräfte sind die Radialdrücke, im Prozentsatz zum urlithostatischen Druck ausgedrückt, die, wenn sie den Wänden einer zylinderförmigen Höhle mit unendlicher Länge appliziert werden, es erlauben dieselben Radialkonvergenzen zu bewirken die man in einer realen Höhle hat).

Die Kurve “Konvergenz – Stirnabstand” ist mittels eines vereinfachten analytischen Vorgehens errechnet worden der folgende Relationen benutzt (siehe Nguyen, Minh et al. und [40]):

$$\frac{c(x)}{c_{inf}} = 1 - \left[ \frac{u_f = 0.3 \cdot u_{inf}}{1 + x / (0.84 \cdot R_{inf})} \right]^2$$

wo:

- $u_f$  die Stirnkonvergenz ist
- $u_{inf}$  die absolute Konvergenz ins Unendliche ist
- $c(x) = c_r$  die relative Konvergenz ist
- $c_{inf}$  die relative Konvergenz ins Unendliche ist
- $x$  der Stirnabstand ist
- $R_{inf}$  der gesamt plastische Radius ist (ins Unendliche)

In Bezug auf die Kurven “Stirnabstand – Scheinaushebungskräfte” und “Stirnabstand – plastischer Streifen”, diese leiten sich per Extrapolation aus den anderen drei ab.

In Tabelle 11: Stabilitätskriterien vorgeschlagen in [41] [42];  $c_f$  = Stirnkonvergenz;  $F_{pf}$  = Ausdehnung des plastischen Stirnstreifens;  $R_{scavo} = r_{eq}$  = Äquivalenter Aushebungsradius. wird ein Kriterium aufgezeigt [41] [42] um das Verhalten der Stirnaushebung zu schätzen in Bezug auf den Ergebnissen der Analysen mit den Gebirgskennlinien (Stirnkonvergenz und Ausdehnung des plastischen Stirnstreifens).

Plastica oltre il profilo di scavo.

- Distanza dal fronte – Estensione della Fascia Plastica oltre il profilo di scavo.
- Distanza dal Fronte – Forze Fittizie di Scavo (le forze fittizie di scavo sono le pressioni radiali, espresse in percentuale sulla pressione litostatica originaria, che, applicate alle pareti di una cavità cilindrica di lunghezza infinita, consentono di ottenere le stesse convergenze radiali  $u_r$  che si hanno nella cavità reale).

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 [40]):

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)

Per quanto riguarda le curve “Distanza dal fronte – Forze Fittizie di scavo” e “Distanza dal fronte - Fascia Plastica”, esse sono derivate dalle altre tre per estrapolazione.

In Tabella 11 si riporta un criterio [41] [42] 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 11: Stabilitätskriterien vorgeschlagen in [41] [42];  $C_f$  = Stirnkonvergenz;  $F_{pl f}$  = Ausdehnung des plastischen Stirnstreifens;  $R_{scavo} = r_{eq}$  = Äquivalenter Aushebungsradius.

Tabella 11: Criteri di stabilità proposti in [41] [42];  $C_f$  = convergenza al fronte;  $F_{pl f}$  = estensione della fascia plastica al fronte;  $R_{scavo} = r_{eq}$  = raggio equivalente di scavo.

Ergebnissen der Analysen mit den Gebirgskennlinien (Stirnkonvergenz und Ausdehnung des plastischen Stirnstreifens).

Le analisi con le Linee Caratteristiche sono state eseguite considerando un raggio di scavo di 4.86 m.

#### 7.4 ERGEBNISSE DER ANALYSEN MIT ERFAHRUNGS- UND ERFAHRUNGS- ANALYTISCHENMETHODEN

#### 7.4 RISULTATI DELLE ANALISI CON METODI EMPIRICI E EMPIRICO-ANALITICI

In den folgenden Seiten werden die Ergebnisse der Methoden aufgezeigt die in den Kapiteln 7.1, 7.2 und 7.3 beschrieben sind.

Nelle pagine seguenti si riportano i risultati ottenuti con i metodi descritti nei Capitoli 7.1, 7.2 e 7.3.

Insbesondere, in der Tabelle 12 werden die Hinweise zusammengefasst die mit den Methoden von Jehtwa, Bhasin, Hoek und Panet erreicht wurden, in Bezug auf das Risiko hohe Ablagerungsdeformationen (*squeezing*) und Stirninstabilität, zusammen mit denen die mit den Methoden von Tao Zhen-Yu e Hoek erlangt wurden, in bezug auf das spröde Rupturrisiko (*rock burst*).

In particolare, all'interno della Tabella 12 sono riassunte le indicazioni ottenute dai metodi di Jehtwa, Bhasin, Hoek e Panet per quanto riguarda la valutazione del rischio di elevate deformazioni dell'ammasso (*squeezing*) e di instabilità del fronte, insieme a quelle ottenute dai metodi di Tao Zhen-Yu e Hoek per il rischio di rottura fragile (*rock burst*).

In Tabelle 13 sind dagegen die Ergebnisse der Gebirgskennlinien Methode aufgezeigt, mit Nachweis der zur Schätzung der Stirn- und Höhlenstabilität dienlichen Indikatoren.

In Tabella 13 sono invece riportati i risultati del metodo delle Linee Caratteristiche, con evidenza degli indicatori utili a stimare le condizioni di stabilità del fronte e della cavità.

Schließlich, in Tabelle 14 werden die Informationen zusammengefasst die mit verschiedenen Methoden erreicht wurden, mit der Angabe für jede Ablagerung der Risikoschätzung der zuvor beschriebenen Phänomene. Es wird jedoch hervorgehoben, dass die erbrachten Auswertungen einen vorläufigen Angabe Wert haben und sich als zu vorsichtig erweisen können.

Infine, all'interno della Tabella 14 si sintetizzano le informazioni ottenute con i diversi metodi, indicando per ogni ammasso una stima del rischio dei fenomeni precedentemente descritti. Si evidenzia tuttavia che le valutazioni fornite hanno il valore di indicazione preliminare e possono risultare troppo cautelative.



Zone number	Rock mass name	Class	Zone max overburden	Squeezing and face stability					Rock burst	
				Jehtwa	Bhasin	Hoek	Panet		Tao Zhen-Yu	Hoek
							Face behaviour	Face condition		
11	GA-BST-KS-8f	III	1060	HS	HS	SS	P	US		
12	GA-BST-KPH-8f	III	1080	HS	HS	VSS	P	US		
	GA-T-R-8f	IV		HS	HS	ES	P	US		
	GA-T-A-8f	III		HS	HS	MS	P	STS		
13	GA-BST-KS-8f	III	1115	HS	HS	VSS	P	US		
14	GA-BCA-A-10g	II	1200	MiS	MS	FP	PP	STS	MRB	SSp
	GA-BCA-GS-10g	III		MoS	MS	FP	PP	STS		
15	GA-BCA-GS-10g	III	1135	MoS	MS	FP	PP	STS		
	GA-BCA-A-10g	II		MiS	MS	FP	PP	STS	MRB	SSp
19bis	FVM-S-PS	IV	510	HS	HS	ES	P	US		
	FVM-S-B	IV		HS	HS	ES	P	US		
19	FVM-C-Q	III	450	MiS	MS	FP	E	US		
19bis	FVM-S-PS	IV	550	HS	HS	ES	P	US		
	FVM-S-B	IV		HS	HS	ES	P	US		
19ter	TM-T-TM	IV	550	MoS	MS	ES	PP	US		
20	TM-T-1	III	615	MiS	MS	FP	PP	US		
21	TM-DZ-GA3	III	655	MoS	MS	MS	PP	US		
22	GB-CZ-GA2	III	665	HS	HS	ES	P	US		
	GB-CZ-GA2 ter	III		HS	HS	ES	P	US		
23	GB-DZ-GA1	III	745	MoS	MS	FP	PP	US		
24	GB-G-GA-9 (*)	III	760	NS	NS	FP	E	S		
25	GB-G-GA-10	I	1090	NS	NS	FP	E	S	MRB	SSp
		II		MiS	MS	FP	E	S	MRB	SSp
		III		MiS	MS	FP	PP	STS		

**Jehtwa**

NS	No squeezing
MiS	Mildly squeezing
MoS	Moderately squeezing
HS	Highly squeezing

**Bhasin**

NS	No squeezing
MS	Mild to moderate squeezing
HS	Highly squeezing

**Hoek (Squeezing)**

FP	Few stability problems
MS	Minor squeezing problems
SS	Severe squeezing problems
VSS	Very severe squeezing and face stability problems
ES	Extreme squeezing problems

**Panet**

E	Elastic
PP	Partially plastic
P	Plastic
S	Stable
STS	Stable (only short-term)
US	Unstable

**Tao Zhen-Yu**

NRB	No rockbursting
LRB	Low rockbursting activity
MRB	Moderate rockbursting activity
HRB	High rockbursting activity

**Hoek (Rock burst)**

S	Stability
Sp	Spalling
SSp	Severe spalling - slabbing
ISM	Need of important stabilization measures
RB	Cavity collapse (rock burst)

Tabelle 12: Ergebnisse der Erfahrungsmethoden (vgl. Kapitel 7.2).

Tabella 12: Risultati dei metodi empirici (cfr. Capitolo 7.2).

Zone number	Rock mass name	Class	Zone max overburden	$c_t$	$c_a$	$c_r$	$F_{plf}$	$F_{pla}$	$c_t/R$	$F_{plf}/R$	$c_r/R$	$F_{pla}/R$
				[cm]	[cm]	[cm]	[m]	[m]	[%]	[-]	[%]	[-]
11	GA-BST-KS-8f	III	1060	6.06	20.20	14.14	6.12	13.95	1.25%	1.26	2.91%	2.87
12	GA-BST-KPH-8f	III	1080	17.56	58.53	40.97	8.82	18.84	3.61%	1.81	8.43%	3.88
	GA-T-R-8f	IV		119863	399543	279680	328	603	2.47	67	575	124
	GA-T-A-8f	III		2.06	6.87	4.81	3.57	9.07	0.42%	0.73	0.99%	1.87
13	GA-BST-KS-8f	III	1115	6.68	22.26	15.58	6.58	14.79	1.37%	1.35	3.21%	3.04
14	GA-BCA-A-10g	II	1200	0.66	2.22	1.55	0.00	2.39	0.14%	0.00	0.32%	0.49
	GA-BCA-GS-10g	III		1.39	4.62	3.23	0.96	4.61	0.29%	0.20	0.67%	0.95
	GA-BCA-GS-10g	III		0.58	1.92	1.35	0.00	2.85	0.12%	0.00	0.28%	0.59
15	GA-BCA-A-10g	II	1135	0.30	1.02	0.71	0.00	1.40	0.06%	0.00	0.15%	0.29
19bis	FVM-S-PS	IV	700	19.35	64.51	45.15	18.99	37.01	3.98%	3.91	9.29%	7.61
	FVM-S-B	IV		3.40	11.35	7.94	1.72	5.96	0.70%	0.35	1.63%	1.23
19	FVM-C-Q	III	450	0.52	1.75	1.22	0.00	1.52	0.11%	0.00	0.25%	0.31
19bis	FVM-S-PS	IV	550	12.66	42.22	29.55	13.25	26.72	2.61%	2.73	6.68%	5.50
	FVM-S-B	IV		2.14	7.14	5.00	1.03	4.73	0.44%	0.21	1.03%	0.97
19ter	TM-T-TM	IV	550	1.91	6.35	4.45	0.00	2.61	0.39%	0.00	0.92%	0.54
20	TM-T-1	III	615	0.51	1.69	1.18	0.00	2.11	0.10%	0.00	0.24%	0.43
21	TM-DZ-GA3	III	655	3.53	11.75	8.23	0.73	4.21	0.73%	0.15	1.69%	0.87
22	GB-CZ-GA2	III	665	16.15	53.83	37.68	15.85	31.21	3.32%	3.26	7.75%	6.42
	GB-CZ-GA2 ter	III		16.15	53.83	37.68	15.85	31.21	3.32%	3.26	7.75%	6.42
23	GB-DZ-GA1	III	745	1.38	4.61	3.23	0.00	2.05	0.28%	0.00	0.66%	0.42
24	GB-G-GA-9 (*)	I	760	0.20	0.67	0.47	0.00	0.50	0.04%	0.00	0.10%	0.10
		II		0.23	0.76	0.53	0.00	0.32	0.05%	0.00	0.11%	0.07
		III		0.49	1.63	1.14	0.00	1.37	0.10%	0.00	0.24%	0.28
25	GB-G-GA-10	III	1090	1.59	5.29	3.70	0.00	2.23	0.33%	0.00	0.76%	0.46

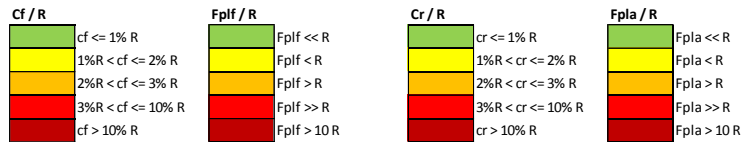


Tabelle 13: Ergebnisse der Gebirgskennlinien Methode (vgl. Kapitel 7.3).  $c_t$  = Stirnkonvergenz,  $c_a$  = absolute Konvergenz zu natürlichem Gleichgewicht,  $c_r$  = relative Konvergenz zu natürlichem Gleichgewicht,  $F_{plf}$  = plastischer Stirnstreifen,  $F_{pla}$  = plastischer Streifen zu natürlichem Gleichgewicht,  $R$  = Aushebungsradius (von 4.86m angenommen).

Tabella 13: Risultati del metodo delle Linee Caratteristiche (cfr. Capitolo 7.3).  $c_t$  = 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).

Zone number	Rock mass name	Class	Zone max overburden	Squeezing	Face stability	Rock burst
11	GA-BST-KS-8f	III	1060	XXX	XXX	
12	GA-BST-KPH-8f	III	1080	XXX	XXX	
	GA-T-R-8f	IV		XXX	XXX	
	GA-T-A-8f	III		XXX	XXX	
13	GA-BST-KS-8f	III	1115	XXX	XX	
14	GA-BCA-A-10g	II	1200	XX	XXX	XX
	GA-BCA-GS-10g	III		X	X	
15	GA-BCA-GS-10g	III	1135	X	X	
	GA-BCA-A-10g	II		X	X	XX
19bis	FVM-N-PS	IV	700	XXX	XXX	
	FVM-N-C	IV		XX	XX	
19	FVM-C-Q	III	450	X	XX	
19bis	FVM-S-PS	IV	550	XXX	XXX	
	FVM-S-B	IV		XXX	XXX	
19ter	TM-T-TM	IV	550	XX	XX	
20	TM-T-1	III	615	XX	XX	
21	TM-DZ-GA3	III	655	X	XX	
22	GB-CZ-GA2	III	665	XXX	XXX	
	GB-CZ-GA2 ter	III		XXX	XXX	
23	GB-DZ-GA1	III	745	X	XX	
23	GB-G-GA-9 (*)	III	760	X	XX	
25	GB-G-GA-10	I	1090	-	-	XX
		II		X	-	XX
		III		X	X	

Tabelle 14: Auswertung, per Ablagerung, der möglichen Risiken verbunden mit hohen Deformationen (*squeezing*), Stirninstabilität u, spröde Rupturphänomene (*rock burst*)

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

## 8 VERZEICHNISSE

### 8.1 TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Aufteilung der gesetzlich vorgeschriebenen Informationen in den Unterlagen der Ausführungsplanung. ....
Tabelle 2: Wasserdrücke: (a) Abschnitt Mauls-Brenner, (b) Abschnitt Franzenfeste-Mauls. ....
Tabelle 3: Homogene Geomechanische Zonen und Gesteins-Ablagerungen der oben genannten Trasse aus den Dokumenten der Regelplanung. Die Längen und die Tunnelüberlagerung sind entlang der Erkundungsstollentrasse gemessen. ....
Tabelle 4: Aushebungsklassen, aus Bieniawski [29]. ....
Tabelle 5: Zusammenfassung der für jede Gesteinsablagerung analysierten Klassen. Die mit (*)angezeigten Ablagerungen haben eine vorgesehene Länge unter ca. 100m, während für diejenigen mit (**) gekennzeichnet die Korrelationen aus der Literatur zwischen RMR und GSI als nicht gültig erfolgen; in beiden Fällen sind Durchschnittswerte des RMR und GSI übernommen worden. Die aufgezeigten Gesamtlängen entsprechen der Abwicklung des Erkundungsstollens. ....
Tabelle 6: Vorgesehene Squeezing Stufe mittels der Jehtwa Methode [32]. ....
Tabelle 7: Vorgesehene squeezing Stufe mittels der Bhasin Methode [36]. ....
Tabelle 8: Hinweise zur Auswahl des Stützentyps in bezug zur Höhlendeformation $\epsilon$ [37]. ....
Tabelle 9: Vorgesehene rockbursting Stufe mittels der Tao Zhen-Yu Methode [43]. ....
Tabelle 10: Vorgesehene rockbursting Stufe mittels der Hoek & Brown Methode [44]. ....
Tabelle 11: Stabilitätskriterien vorgeschlagen in [41] [42]; $c_f$ = Stirnkonvergenz; $F_{pf}$ = Ausdehnung des plastischen Stirnstreifens; $R_{scavo} = r_{eq}$ = Äquivalenter Aushebungsradius. ....
Tabelle 12: Ergebnisse der Erfahrungsmethoden (vgl. Kapitel 7.2). ....
Tabelle 13: Ergebnisse der Gebirgskennlinien Methode (vgl. Kapitel 7.3). $c_f$ = Stirnkonvergenz, $c_a$ = absolute Konvergenz zu natürlichem Gleichgewicht, $c_r$ = relative Konvergenz zu natürlichem Gleichgewicht, $F_{pif}$ = plastischer Stirnstreifen, $F_{pla}$ = plastischer Streifen zu natürlichem Gleichgewicht, $R$ = Aushebungsradius (von 4.86m angenommen). ....
Tabelle 14: Auswertung, per Ablagerung, der möglichen Risiken verbunden mit hohen Deformationen ( <i>squeezing</i> ),

## 8 ELENCHI

### 8.1 ELENCO DELLE TABELLE

Tabella 1: Suddivisione delle informazioni richieste dalla normativa all'interno dei documenti di Progetto Esecutivo. ....
Tabella 2: Carichi idraulici: (a) tratta Mules-Brennero, (b) tratta Fortezza-Mules. ....
Tabella 3: Zone geomeccaniche omogenee e ammassi rocciosi nella tratta in oggetto, ricavati dai documenti di Progettazione di Sistema. Le lunghezze e le coperture sono misurate lungo il tracciato del Cunicolo Esplorativo. ....
Tabella 4: Classi di scavo, da Bieniawski [29]. ....
Tabella 5: Riassunto delle classi analizzate per ogni ammasso roccioso. Gli ammassi indicati con (*) hanno lunghezze previste inferiori a circa 100m, quindi sono stati adottati i valori medi di RMR e GSI. Le lunghezze totali riportate si riferiscono allo sviluppo del Cunicolo Esplorativo. ....
Tabella 6: Grado di squeezing previsto tramite il metodo di Jehtwa [32]. ....
Tabella 7: Grado di squeezing previsto tramite il metodo di Bhasin [36]. ....
Tabella 8: Indicazioni sulla scelta del tipo di supporto in funzione della deformazione $\epsilon$ del cavo [37]. ....
Tabella 9: Grado di rockbursting previsto tramite il metodo di Tao Zhen-Yu [43]. ....
Tabella 10: Grado di rockbursting previsto tramite il metodo di Hoek & Brown [44]. ....
Tabella 11: Criteri di stabilità proposti in [41] [42]; $c_f$ = convergenza al fronte; $F_{pf}$ = estensione della fascia plastica al fronte; $R_{scavo} = r_{eq}$ = raggio equivalente di scavo. ....
Tabella 12: Risultati dei metodi empirici (cfr. Capitolo 7.2). ....
Tabella 13: Risultati del metodo delle Linee Caratteristiche (cfr. Capitolo 7.3). $c_f$ = convergenza al fronte, $c_a$ = convergenza assoluta all'equilibrio naturale, $c_r$ = convergenza relativa all'equilibrio naturale, $F_{pif}$ = fascia plastica al fronte, $F_{pla}$ = fascia plastica all'equilibrio naturale, $R$ = raggio di scavo (assunto pari a 4.86m). ....
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> ). ....
Tabella 15: Caratterizzazione degli ammassi di ciascuna zona geomeccanica omogenea, zone da 11 a 18 (si vedano anche i Profili geomeccanici di Progettazione Esecutiva [45]-[47]). Nelle tabelle sono indicati per ogni parametro il valore medio, indicato con (m), e la deviazione standard, indicata

Stirnstabilität u, spröde Rupturphänomene ( <i>rock burst</i> ) .....	con ( $\sigma$ ) .....
Tabelle 15: Charakterisierung der Ablagerung jeder homogene Geomechanische Zone, Zonen von 11 bis 18 (siehe auch die Geomechanischen Profile des Ausführungsplans [45]-[47]). In den Tabellen wird für jeden Parameter der Mittelwert angezeigt, mit (m), und die Standardabweichung mit ( $\sigma$ ) angegeben. ....	Tabella 16: Caratterizzazione degli ammassi di ciascuna zona geomeccanica omogenea, zone da 19 a 25 (si vedano anche i Profili geomeccanici di Progettazione Esecutiva [45]- [47]). Nelle tabelle sono indicati per ogni parametro il valore medio, indicato con (m), e la deviazione standard, indicata con ( $\sigma$ ) .....
Tabelle 16: Charakterisierung der Ablagerung jeder homogene Geomechanische Zone, Zonen von 19 bis 25 (siehe auch die Geomechanischen Profile des Ausführungsplans [45]-[47]). In den Tabellen wird für jeden Parameter der Mittelwert angezeigt, mit (m), und die Standardabweichung mit ( $\sigma$ ) angegeben. ....	Tabella 17: Distribuzione delle diverse classi all'interno di ogni ammasso, secondo l'approccio descritto in [8]. zone geomeccaniche da 11 a 21 (si vedano anche i Profili geomeccanici di Progettazione Esecutiva [45]-[47]). ....
Tabelle 17: Verteilung der verschiedenen Klassen innerhalb jeder Ablagerung, laut Annäherungsweise beschrieben in [8]. Geomechanische Zonen von 11 bis 21 (siehe auch die Geomechanischen Profile des Ausführungsplans [45]-[47]).....	Tabella 18: Distribuzione delle diverse classi all'interno di ogni ammasso, secondo l'approccio descritto in [8]. zone geomeccaniche da 22 a 25 (si vedano anche i Profili geomeccanici di Progettazione Esecutiva [45]-[47]). ....
Tabelle 18: Verteilung der verschiedenen Klassen innerhalb jeder Ablagerung, laut Annäherungsweise beschrieben in [8]. Geomechanische Zonen von 22 bis 25 (siehe auch die Geomechanischen Profile des Ausführungsplans [45]-[47]).....	Tabella 19: Parametri di resistenza e di deformabilità caratteristici degli ammassi di ciascuna zona geomeccanica omogenea, zone da 11 a 13 (si vedano anche i Profili geomeccanici di Progettazione Esecutiva [45]-[47]). ....
Tabelle 19: Typische Festigkeits- und Deformationsparameter der Ablagerungen jeder homogenen Geomechanischen Zone, Zonen 11 und 13 (siehe auch die Geomechanischen Profile des Ausführungsplans [45]-[47]).....	Tabella 20: Parametri di resistenza e di deformabilità caratteristici degli ammassi di ciascuna zona geomeccanica omogenea, zona 15 (si vedano anche i Profili geomeccanici di Progettazione Esecutiva [45]-[47]). ....
Tabelle 20: Typische Festigkeits- und Deformationsparameter der Ablagerungen jeder homogenen Geomechanischen Zone, Zone 15 (siehe auch die Geomechanischen Profile des Ausführungsplans [45]-[47]).....	Tabella 21: Parametri di resistenza e di deformabilità caratteristici degli ammassi di ciascuna zona geomeccanica omogenea, zona 18 (si vedano anche i Profili geomeccanici di Progettazione Esecutiva [45]-[47]).....
Tabelle 21: Typische Festigkeits- und Deformationsparameter der Ablagerungen jeder homogenen Geomechanischen Zone, Zone 18 (siehe auch die Geomechanischen Profile des Ausführungsplans [45]-[47]).....	Tabella 22: Parametri di resistenza e di deformabilità caratteristici degli ammassi di ciascuna zona geomeccanica omogenea, zone da 19 a 21 (si vedano anche i Profili geomeccanici di Progettazione Esecutiva [45]-[47]).....
Tabelle 22: Typische Festigkeits- und Deformationsparameter der Ablagerungen jeder homogenen Geomechanischen Zone, Zonen von 19 bis 21 (siehe auch die Geomechanischen Profile des Ausführungsplans [45]- [47]).....	Tabella 23: Parametri di resistenza e di deformabilità caratteristici degli ammassi di ciascuna zona geomeccanica omogenea, zone da 22 a 25 (si vedano anche i Profili geomeccanici di Progettazione Esecutiva [45]-[47]).....
Tabelle 23: Typische Festigkeits- und Deformationsparameter der Ablagerungen jeder homogenen Geomechanischen Zone, Zonen von 22 bis 25 (siehe auch die Geomechanischen Profile des Ausführungsplans [45]- [47]).....	

## 8.2 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Tektonische Übersichtskarte des westlichen

## 8.2 ELENCO DELLE ILLUSTRAZIONI

Figura 1: Carta tettonica generale della Finestra dei Tauri

Tauernfensters. Verändert nach Brandner, 1980, ergänzt nach Mancktelow et al., 2001 [26], [27].	occidentale. Modificato Brandner, 1980, integrato secondo Mancktelow et al., 2001 [26], [27].
Abbildung 2: Beispiel der Feststellung der Anwendungsanteile der Bieniawski-Klassen.	Figura 2: Esempio di identificazione delle percentuali di applicazione delle classi di Bieniawski.
Abbildung 3: Stabilitätskurve $N_t - q_{cm}$ [36].	Figura 3: Curva di stabilità $N_t - q_{cm}$ [36].
Abbildung 4: Deformation der Höhle in Bezug zum Verhältnis zwischen Festigkeit auf Ablagerungskompression und lithostatischen Druck (nicht gestützte Höhle) [37].	Figura 4: Deformazioni della cavità in funzione del rapporto tra resistenza a compressione d'ammasso e pressione litostatica (cavità non sostenuta) [37].
Abbildung 5: Feststellbare Problemstellungen in Bezug zum Verhältnis zwischen $\epsilon$ und $\sigma_{cm} / p_0$ [37].	Figura 5: Problematiche riscontrabili in funzione della relazione tra $\epsilon$ e $\sigma_{cm} / p_0$ [37].
Abbildung 6: Vorgesehene rockbursting Stufe mittels der Hoek & Brown Methode [44]; mit Punkten und Quadrate werden Realfälle dargestellt.	Figura 6: Grado di rockbursting previsto tramite il metodo di Hoek & Brown [44]; con punti e quadrati si rappresentano i casi reali.

### 8.3 REFERENZDOKUMENTE

#### 8.3.1 Eingangsdokumente

- [1] 02\_H61\_EG\_991\_KAP\_D0700\_12004 - Brenner Basistunnel – Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mault 2-3 – Gesamtbauwerke – Absteckplan– Grundriss Trassierung Oströhre
- [2] 02\_H61\_EG\_991\_KAP\_D0700\_12005 - Brenner Basistunnel – Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mault 2-3 – Gesamtbauwerke – Absteckplan – Grundriss Trassierung Weströhre
- [3] 02\_H61\_EG\_991\_KLP\_D0700\_12050-12061 - Brenner Basistunnel – Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mault 2-3 – Gesamtbauwerke – Lageplan –Lageplan der Bauwerke (Plan 12/25 - 25/25)
- [4] 02\_H61\_EG\_991\_KLS\_D0700\_12100-12110 - Brenner Basistunnel – Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mault 2-3 – Gesamtbauwerke – Längenschnitt–Bautechnisches Längenprofil und Trassierung - Oströhre(Plan 15/25 – 25/25)
- [5] 02\_H61\_EG\_991\_KLS\_D0700\_12200 - 12210 - Brenner Basistunnel – Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mault 2-3 – Gesamtbauwerke – Längenschnitt–Bautechnisches Längenprofil und Trassierung - Weströhre (Plan 15/25 – 25/25)
- [6] 02\_H61\_OP\_060\_KHS\_D0700\_22127 - Brenner Basistunnel – Ausführungsplanung - D0700: Baulos

### 8.3 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

#### 8.3.1 Documenti in ingresso

- [1] 02\_H61\_EG\_991\_KAP\_D0700\_12004 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mault 2-3 - Opere generali – Planimetria di tracciamento– Planimetria di tracciamento Galleria principale Est
- [2] 02\_H61\_EG\_991\_KAP\_D0700\_12005 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mault 2-3 - Opere generali – Planimetria di tracciamento– Planimetria di tracciamento Galleria principale Ovest
- [3] 02\_H61\_EG\_991\_KLP\_D0700\_12050-12061 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mault 2-3 - Opere generali – Planimetria – Planimetria delle opere (Tav. 12/25 - 25/25)
- [4] 02\_H61\_EG\_991\_KLS\_D0700\_12100-12110 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mault 2-3 - Opere generali – Profilo longitudinale - Profilo longitudinale delle opere e di tracciamento - Galleria principale Est (Tav. 15/25 - 25/25)
- [5] 02\_H61\_EG\_991\_KLS\_D0700\_12200 - 12210 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mault 2-3 - Opere generali – Profilo longitudinale - Profilo longitudinale delle opere e di tracciamento - Galleria principale Ovest (Tav. 15/25 - 25/25)
- [6] 02\_H61\_OP\_060\_KHS\_D0700\_22127 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva -

- Mauls 2-3 – Nothaltestelle – Horizontalschnitt – NL-Gesamtlageplan
- [7] 02\_H61\_GD\_992\_GTB\_D0700\_13016 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mauls 2-3 - Gesamtbauwerke - Technischer Bericht - Zusammenfassung der geologischen und hydrogeologischen Informationen
- [8] 02\_H61\_GD\_992\_GTB\_D0700\_13018 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mauls 2-3 - Gesamtbauwerke - Technischer Bericht - Allgemeiner geomechanischer Bericht
- [9] 02\_H61\_GD\_992\_GLS\_D0700\_13019 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mauls 2-3 - Gesamtbauwerke - Längenschnitt - Geomechanischer Längsschnitt - 1/4 - von km 32+000 bis km 38+250
- [10] 02\_H61\_GD\_992\_GLS\_D0700\_13020 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mauls 2-3 - Gesamtbauwerke - Längenschnitt - Geomechanischer Längsschnitt - 2/4 - von km 38+250 bis km 43+850
- [11] 02\_H61\_GD\_992\_GLS\_D0700\_13021 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mauls 2-3 - Gesamtbauwerke - Längenschnitt - Geomechanischer Längsschnitt - 3/4 - von km 43+850 bis km 49+000
- [12] 02\_H61\_GD\_992\_GLS\_D0700\_13022 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mauls 2-3 - Gesamtbauwerke - Längenschnitt - Geomechanischer Längsschnitt - 4/4 - von km 49+000 bis km 54+015
- [13] Brenner Basistunnel - Ausführungsprojekt - Planung Mauls II - Geomechanischer Längenschnitt - Geologische und geotechnische Planungsunterlagen (10/12/2012 Egger Steinbauer, 10/12/2012 Skuk, 03/01/2013 Quick) - In 02\_H61\_GD\_992\_GTB\_D0700\_13046
- [14] Brenner Basistunnel - Ausführungsprojekt - Mauls II - Franzenfeste-Mauls - Geomechanischer Bericht (26/09/2012 Egger, 10/12/2012 Skuk, Quick) - In 02\_H61\_GD\_992\_GTB\_D0700\_13046
- [15] Brenner Basistunnel - Technische Projektaufbereitung - Mauls II - Hauptröhren Mauls MFS Trens - Geomechanischer Längenschnitt - (27/06/2013 Egger Steinbauer, 28/06/2013 Skuk, 28/06/2013 Quick) - In
- D0700: Lotto Mules 2-3 - Fermata di Emergenza – Sezione orizzontale – NL-Planimetria generale
- [7] 02\_H61\_GD\_992\_GTB\_D0700\_13016 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 - Opere generali - Relazione tecnica - Sintesi delle informazioni geologiche e idrogeologiche
- [8] 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
- [9] 02\_H61\_GD\_992\_GTB\_D0700\_13019 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 - Opere generali - Profilo longitudinale - Profilo geomeccanico - 1/4 - da km 32+000 a km 38+250
- [10] 02\_H61\_GD\_992\_GTB\_D0700\_13020 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 - Opere generali - Profilo longitudinale - Profilo geomeccanico - 2/4 - da km 38+250 a km 43+850
- [11] 02\_H61\_GD\_992\_GTB\_D0700\_13021 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 - Opere generali - Profilo longitudinale - Profilo geomeccanico - 3/4 - da km 43+850 a km 49+000
- [12] 02\_H61\_GD\_992\_GTB\_D0700\_13022 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 - Opere generali - Profilo longitudinale - Profilo geomeccanico - 4/4 - da km 49+000 a km 54+015
- [13] Galleria di Base del Brennero - Progetto Esecutivo - Progetto Mules II - Profilo geomeccanico - Documentazione geologica e geotecnica per la progettazione (10/12/2012 Egger Steinbauer, 10/12/2012 Skuk, 03/01/2013 Quick) - In 02\_H61\_GD\_992\_GTB\_D0700\_13046
- [14] Galleria di Base del Brennero - Progetto Esecutivo - Mules II - Fortezza-Mules - Relazione geomeccanica (26/09/2012 Egger, 10/12/2012 Skuk, Quick) - In 02\_H61\_GD\_992\_GTB\_D0700\_13046
- [15] Galleria di Base del Brennero - Elaborazione tecnica del progetto - Mules II - Canne principali Mules PMF Trens - Profilo geomeccanico (27/06/2013 Egger Steinbauer, 28/06/2013 Skuk, 28/06/2013 Quick) - In

02\_H61\_GD\_992\_GTB\_D0700\_13046

[16] Brenner Basistunnel - Technische Projektaufbereitung - MauIs II - Hauptröhren MauIs MFS Trens - Geomechanischer Bericht (27/06/2013 Egger, 28/06/2013 Skuk, 28/06/2013 Quick) - In 02\_H61\_GD\_992\_GTB\_D0700\_13046

[17] Brenner Basistunnel - Technische Projektaufbereitung - MauIs II - Erkundungsstollen MauIs - Brenner - Geomechanischer Längenschnitt (24/04/2013 Egger Steinbauer, 24/04/2013 Skuk, Quick) - In 02\_H61\_GD\_992\_GTB\_D0700\_13046

[18] Brenner Basistunnel - Technische Projektaufbereitung - MauIs II - Erkundungsstollen MauIs - Brenner - Geomechanischer Bericht (28/03/2013 Egger/Skuk/Steinbauer, 28/03/2013 Egger/Skuk, Quick) - In 02\_H61\_GD\_992\_GTB\_D0700\_13046

[19] 02\_H61\_GD\_992\_GTB\_D0700\_13046 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos MauIs 2-3 - Gesamtbauwerke - Technischer Bericht - Geologische, hydrogeologische und geomechanische Grundlagen-Dokumentation

### 8.3.2 Normen und Richtlinien

[20] Technische Konstruktionsnormen 2008 – NTC 2008.

[21] Leitfaden N.617, Vorgehensweise für technische Konstruktionsnormen, Ausgabe Januar 2008.

[22] UNI EN 1997:2005 - Eurocodice 7 – Geotechnik und Dokumente zur nationalen Umsetzung.

### 8.3.3 Bibliografie

[23] Selverstone, J., 1988. Evidence for east-west crustal extension in the eastern Alps: implications for the unroofing history of the Tauern Window. *Tectonics*, 7(1): 87-105

[24] Ratschbacher, L., Frisch, W., Neubauer, F., Schmid, S.M. & Neugebauer, J., 1989. Extension in compressional orogenic belts: the Eastern Alps. *Geology*, 17: 404-407.

[25] Ratschbacher, L., Frisch, W., Linzer, H.-G. & Merle, O., 1991. Lateral extrusion in the Eastern Alps, Part 2: Structural Analysis. *Tectonics*, 10(2): 257-271.

[26] Brandner, R., 1980. Geologische Übersichtskarte von Tirol. 1:300.000, Tirol-Atlas, Universitätsverlag Wagner.

[27] Mancktelow, N.S., Stöckli, D.F., Grollmund, B.,

02\_H61\_GD\_992\_GTB\_D0700\_13046

[16] Galleria di Base del Brennero - Elaborazione tecnica del progetto - Mules II - Canne principali Mules PMF Trens - Relazione geomeccanica (27/06/2013 Egger, 28/06/2013 Skuk, 28/06/2013 Quick) - In 02\_H61\_GD\_992\_GTB\_D0700\_13046

[17] Galleria di Base del Brennero - Progettazione tecnica - Mules II - Cunicolo esplorativo Mules - Brennero - Profilo geomeccanico (24/04/2013 Egger Steinbauer, 24/04/2013 Skuk, Quick) - In 02\_H61\_GD\_992\_GTB\_D0700\_13046

[18] Galleria di Base del Brennero - Elaborazione tecnica del progetto - Mules II - Cunicolo esplorativo Mules - Brennero - Relazione geomeccanica (28/03/2013 Egger/Skuk/Steinbauer, 28/03/2013 Egger/Skuk, Quick) - In 02\_H61\_GD\_992\_GTB\_D0700\_13046

[19] 02\_H61\_GD\_992\_GTB\_D0700\_13046 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 - Opere generali - Relazione Tecnica - Dati di base geologici, idrogeologici e geomeccanici

### 8.3.2 Normative e Linee Guida

[20] Norme Tecniche delle Costruzioni 2008 – NTC 2008.

[21] Circolare n.617, Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al DM 14 gennaio 2008.

[22] UNI ENV 2007 - Eurocodice 7- Progettazione geotecnica.

### 8.3.3 Bibliografia

[23] Selverstone, J., 1988. Evidence for east-west crustal extension in the eastern Alps: implications for the unroofing history of the Tauern Window. *Tectonics*, 7(1): 87-105

[24] Ratschbacher, L., Frisch, W., Neubauer, F., Schmid, S.M. & Neugebauer, J., 1989. Extension in compressional orogenic belts: the Eastern Alps. *Geology*, 17: 404-407.

[25] Ratschbacher, L., Frisch, W., Linzer, H.-G. & Merle, O., 1991. Lateral extrusion in the Eastern Alps, Part 2: Structural Analysis. *Tectonics*, 10(2): 257-271.

[26] Brandner, R., 1980. Geologische Übersichtskarte von Tirol. 1:300.000, Tirol-Atlas, Universitätsverlag Wagner.

[27] Mancktelow, N.S., Stöckli, D.F., Grollmund, B.,



- Müller, W., Fügenschuh, B., Viola, G., Seward, D. & Villa, I.M., 2001. The DAV and Periadriatic fault systems in the Eastern Alps south of the Tauern window. *International Journal of Earth Sciences*, 90: 593-622.
- [28] Rowe P.W. – The Stress-Dilatancy Relation for Static Equilibrium of an Assembly of Particles in Contact Proc. R. Soc. Lond. A October 9, 1962 269 1339 500-527.
- [29] Bieniawski Z.T. – Engineering rock mass classifications, Wiley, New York, 1989.
- [30] Hoek E., Brown E.T. – Practical estimates of rock mass strength. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences* 34 pagg. 1165 – 1186, 1997.
- [31] Cherubini C. - Capacità portante di fondazioni superficiali su ammassi rocciosi. Appunti del Corso di Fondazioni, Politecnico di Bari, 12/2000.
- [32] Hoek E., Carranza Torres C., Corkum B. – Hoek-Brown failure criterion. 2002
- [33] Hoek E., Diederichs M.S. – Empirical estimation of rock mass modulus. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 2006.
- [34] Cai M., Kaiser P.K., Tasaka Y., Minami M. – Determination of residual strength parameters of jointed rock masses using the GSI system. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences* 44 pagg. 247 – 256, 2007.
- [35] Jehtwa J.L., Singh B. – Estimation of ultimate rock pressure for tunnel linings under squeezing rock conditions - A new approach. *Proceedings of the ISRM Symposium on Design and Performance of Underground Excavations*, Cambridge, U.K., 1984.
- [36] Bhasin R. – Criteri rapidi ed economici per la previsione dei problemi di stabilità nelle gallerie costruite in argilla, roccia tenera e roccia dura. *Gallerie e grandi opere sotterranee*, 1994
- [37] Hoek E., Marinos P. – Predicting squeezing. *Tullens & Tuunilg International*, November / December 2000
- [38] Panet M. – Calcul des tunnels par la méthode convergence-confinement. *Presses de l'école nationale des ponts et chaussées*, Paris, France, 1995.
- [39] Ribacchi R., Riccioni R. – Stato di sforzo e di deformazione intorno ad una galleria circolare.
- Müller, W., Fügenschuh, B., Viola, G., Seward, D. & Villa, I.M., 2001. The DAV and Periadriatic fault systems in the Eastern Alps south of the Tauern window. *International Journal of Earth Sciences*, 90: 593-622.
- [28] Rowe P.W. – The Stress-Dilatancy Relation for Static Equilibrium of an Assembly of Particles in Contact Proc. R. Soc. Lond. A October 9, 1962 269 1339 500-527.
- [29] Bieniawski Z.T. – Engineering rock mass classifications, Wiley, New York, 1989.
- [30] Hoek E., Brown E.T. – Practical estimates of rock mass strength. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences* 34 pagg. 1165 – 1186, 1997.
- [31] Cherubini C. - Capacità portante di fondazioni superficiali su ammassi rocciosi. Appunti del Corso di Fondazioni, Politecnico di Bari, 12/2000.
- [32] Hoek E., Carranza Torres C., Corkum B. – Hoek-Brown failure criterion. 2002
- [33] Hoek E., Diederichs M.S. – Empirical estimation of rock mass modulus. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 2006.
- [34] Cai M., Kaiser P.K., Tasaka Y., Minami M. – Determination of residual strength parameters of jointed rock masses using the GSI system. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences* 44 pagg. 247 – 256, 2007.
- [35] Jehtwa J.L., Singh B. – Estimation of ultimate rock pressure for tunnel linings under squeezing rock conditions - A new approach. *Proceedings of the ISRM Symposium on Design and Performance of Underground Excavations*, Cambridge, U.K., 1984.
- [36] Bhasin R. – Criteri rapidi ed economici per la previsione dei problemi di stabilità nelle gallerie costruite in argilla, roccia tenera e roccia dura. *Gallerie e grandi opere sotterranee*, 1994
- [37] Hoek E., Marinos P. – Predicting squeezing. *Tullens & Tuunilg International*, November / December 2000
- [38] Panet M. – Calcul des tunnels par la méthode convergence-confinement. *Presses de l'école nationale des ponts et chaussées*, Paris, France, 1995.
- [39] Ribacchi R., Riccioni R. – Stato di sforzo e di deformazione intorno ad una galleria circolare.

Gallerie e grandi opere sotterranee, 1977.

- [40] Nguyen-Minh D., Guo C. – Recent progress in convergence confinement method”, Eurock '96, pagg. 855-860.
- [41] Gamble J.C. – Durability-plasticity classification of shales. Ph. D. Thesis, University of Illinois, 1971.
- [42] Sakurai – Lessons Learned from Field Measurements in Tunneling. Tunneling and Underground Space Technology, 1997.
- [43] Tao Zhen-Yu: Support design of tunnels subjected to rockbursting. Rock Mechanics and Power Plants. Balkema. 1988.
- [44] Hoek, E., Brown, E.T. - Underground Excavations in Rock. London: Institution of Mining and Metallurgy, 1980.

#### 8.3.4 Ausgangsdokumente

- [45] 02\_H61\_GD\_040\_GLS\_D0700\_22002 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Muls 2-3 - Gesamtbauwerke Teil 2 - Längenschnitt - Geomechanisches Prognoseprofil Oströhre (Blatt 5/7)
- [46] 02\_H61\_GD\_040\_GLS\_D0700\_22003 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Muls 2-3 - Gesamtbauwerke Teil 2 - Längenschnitt - Geomechanisches Prognoseprofil Weströhre (Blatt 5/7)
- [47] 02\_H61\_GD\_040\_GLS\_D0700\_22004 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Muls 2-3 - Gesamtbauwerke Teil 2 - Längenschnitt - Geomechanisches Prognoseprofil Zugangstunnel Trens

Gallerie e grandi opere sotterranee, 1977.

- [40] Nguyen-Minh D., Guo C. – Recent progress in convergence confinement method”, Eurock '96, pagg. 855-860.
- [41] Gamble J.C. – Durability-plasticity classification of shales. Ph. D. Thesis, University of Illinois, 1971.
- [42] Sakurai – Lessons Learned from Field Measurements in Tunneling. Tunneling and Underground Space Technology, 1997.
- [43] Tao Zhen-Yu: Support design of tunnels subjected to rockbursting. Rock Mechanics and Power Plants. Balkema. 1988.
- [44] Hoek, E., Brown, E.T. - Underground Excavations in Rock. London: Institution of Mining and Metallurgy, 1980.

#### 8.3.4 Documenti in uscita

- [45] 02\_H61\_GD\_040\_GLS\_D0700\_22002 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Muls 2-3 - Opere generali Parte 2 - Profilo longitudinale - Profilo geomeccanico e progettuali di previsione Galleria principale Est (Tav. 1/7)
- [46] 02\_H61\_GD\_040\_GLS\_D0700\_22003 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Muls 2-3 - Opere generali Parte 2 - Profilo longitudinale - Profilo geomeccanico e progettuali di previsione Galleria principale Est (Tav. 2/7)
- [47] 02\_H61\_GD\_040\_GLS\_D0700\_22004 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Muls 2-3 - Opere generali Parte 2 - Profilo longitudinale - Profilo geomeccanico e progettuali di previsione Galleria di Accesso Trens

## 9 ANHANG 1 - GRUNDGEOMECHANISCHE PARAMETER

In den folgenden Tabellen werden die Geomechanischen Inputparameter aufgezeigt zu den verschiedenen Ablagerungen (siehe auch Kapitel 6.2).

## 10 APPENDICE 1 - PARAMETRI GEOMECCANICI DI BASE

Nelle tabelle seguenti si riportano i parametri geomeccanici di input per i diversi ammassi (si veda anche il Capitolo 6.2).

Zone number	11		12		13
Rock mass name	GA-BST-KS-8f	GA-BST-KPH-8f	GA-T-R-8f	GA-T-A-8f	GA-BST-KS-8f
$\gamma(m)$ [kN/m <sup>3</sup> ]	26,6	27,3	25	28,2	26,6
$\gamma(\sigma)$ [kN/m <sup>3</sup> ]	0,36	0,04	0,5	0,45	0,36
$\sigma_{ci}(m)$ [MPa]	41	54	15	48	41
$\sigma_{ci}(\sigma)$ [MPa]	18	13	5	16	18
$m_i(m)$	12	8	7	13	12
$m_i(\sigma)$	2	1	2	2	2
$E_i(m)$ [GPa]	43	39	5	46	43
$E_i(\sigma)$ [GPa]	11,1	5,5	3	1,3	11,1
RMR(m)	60	45	30	60	60
RMR( $\sigma$ )	5	5	5	5	5
GSI(m)	50	40	25	60	50
GSI( $\sigma$ )	5	5	5	10	5

Zone number	14		15	
Rock mass name	GA-BCA-A-10g	GA-BCA-GS-10g	GA-BCA-GS-10g	GA-BCA-A-10g
$\gamma(m)$ [kN/m <sup>3</sup> ]	27.8	27.3	27.3	27.8
$\gamma(\sigma)$ [kN/m <sup>3</sup> ]	0.52	1.49	1.49	0.52
$\sigma_{ci}(m)$ [MPa]	140	75	75	140
$\sigma_{ci}(\sigma)$ [MPa]	48	5	5	48
$m_i(m)$	20	17	17	20
$m_i(\sigma)$	6	3	3	6
$E_i(m)$ [GPa]	53	56	56	53
$E_i(\sigma)$ [GPa]	8	10.9	10.9	8
RMR(m)	70	60	60	70
RMR( $\sigma$ )	5	5	5	5
GSI(m)	65	50	50	65
GSI( $\sigma$ )	10	5	5	10

Zone number	19BIS	
Rock mass name	FVM-S-PS	FVM-S-B
$\gamma(m)$ [kN/m <sup>3</sup> ]	27	27
$\gamma(\sigma)$ [kN/m <sup>3</sup> ]		
$\sigma_{ci}(m)$ [MPa]	5	25
$\sigma_{ci}(\sigma)$ [MPa]		
$m_i(m)$	20	23
$m_i(\sigma)$		
$E_i(m)$ [GPa]	30	25
$E_i(\sigma)$ [GPa]		
RMR(m)	51	42
RMR( $\sigma$ )		
GSI(m)	52	42
GSI( $\sigma$ )		

Tabelle 15: Charakterisierung der Ablagerung jeder homogene Geomechanische Zone, Zonen von 11 bis 18 (siehe auch die Geomechanischen Profile des Ausführungsplans [45]-[47]). In den Tabellen wird für jeden Parameter der Mittelwert angezeigt, mit (m), und die Standardabweichung mit ( $\sigma$ ) angegeben.

Tabella 15: Caratterizzazione degli ammassi di ciascuna zona geomeccanica omogenea, zone da 11 a 18 (si vedano anche i Profili geomeccanici di Progettazione Esecutiva [45]-[47]). Nelle tabelle sono indicati per ogni parametro il valore medio, indicato con (m), e la deviazione standard, indicata con ( $\sigma$ ).

Zone number	19	19BIS		19TER	20	21
Rock mass name	FVM-C-Q	FVM-S-PS	FVM-S-B	TM-T-TM	TM-T-1	TM-DZ-GA3
$\gamma(m)$ [kN/m <sup>3</sup> ]	27	27	27	27	27	26
$\gamma(\sigma)$ [kN/m <sup>3</sup> ]						
$\sigma_{ci}(m)$ [MPa]	50	5	25	45	45	30
$\sigma_{ci}(\sigma)$ [MPa]						
$m_i(m)$	20	20	23	25	25	25
$m_i(\sigma)$						
$E_i(m)$ [GPa]	15	21.5	25	20	31	14
$E_i(\sigma)$ [GPa]						
RMR(m)	55	51	42	40	54	45
RMR( $\sigma$ )						
GSI(m)	60	52	42	40	55	45
GSI( $\sigma$ )						

Zone number	22		23	24	25
Rock mass name	GB-CZ-GA2	GB-CZ-GA2 ter	GB-DZ-GA1	GB-G-GA-9	GB-G-GA-10
$\gamma(m)$ [kN/m <sup>3</sup> ]	26	26	26	26,7	26,7
$\gamma(\sigma)$ [kN/m <sup>3</sup> ]				0,15	0,15
$\sigma_{ci}(m)$ [MPa]	5	5	55	115	115
$\sigma_{ci}(\sigma)$ [MPa]				19	19
$m_i(m)$	20	20	30	24	24
$m_i(\sigma)$				4	4
$E_i(m)$ [GPa]	22,5	22,5	22,5	34	34
$E_i(\sigma)$ [GPa]				6,1	6,1
RMR(m)	55	55	45	69	66
RMR( $\sigma$ )				5	8
GSI(m)	55	55	45	73	70
GSI( $\sigma$ )				4	5

Tabelle 16: Charakterisierung der Ablagerung jeder homogene Geomechanische Zone, Zonen von 19 bis 25 (siehe auch die Geomechanischen Profile des Ausführungsplans [45]-[47]). In den Tabellen wird für jeden Parameter der Mittelwert angezeigt, mit (m), und die Standardabweichung mit ( $\sigma$ ) angegeben.

Tabella 16: Caratterizzazione degli ammassi di ciascuna zona geomeccanica omogenea, zone da 19 a 25 (si vedano anche i Profili geomeccanici di Progettazione Esecutiva [45]-[47]). Nelle tabelle sono indicati per ogni parametro il valore medio, indicato con (m), e la deviazione standard, indicata con ( $\sigma$ ).

## 11 ANHANG 2 - GEOMECHANISCHE KLASSEN

In den folgenden Tabellen wird die Verteilung der Geomechanischen Klassen aufgezeigt innerhalb der verschiedenen Ablagerungen (siehe auch Kapitel 6.3.1).

Die Ablagerungen mit (\*) angegeben haben vorgesehene Längen unter ca. 100m, während für die mit (\*\*) angezeigt die Korrelationen aus der Literatur zwischen RMR und GSI sich als nicht gültig erweisen; in beiden Fällen sind die Mittelwerte RMR und GSI übernommen worden.

## 12 APPENDICE 2 - CLASSI GEOMECCANICHE

Nelle tabelle seguenti si riporta la distribuzione delle classi geomeccaniche all'interno dei diversi ammassi (si veda anche il Capitolo 6.3.1).

Gli ammassi indicato con (\*) ha una lunghezza prevista inferiore a circa 100m, quindi sono stati adottati i valori medi di RMR e GSI.

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

Zone number	14		15	
Rock mass name	GA-BCA-A-10g	GA-BCA-GS-10g (*)	GA-BCA-GS-10g	GA-BCA-A-10g
p(class I)	-	-	-	-
p(class II)	100%	-	-	100%
p(class III)	-	100%	100%	-
p(class IV)	-	-	-	-
p(class V)	-	-	-	-

Zone number	19BIS	
Rock mass name	FVM-S-PS	FVM-S-B
p(class I)	-	-
p(class II)	-	-
p(class III)	-	-
p(class IV)	100%	100%
p(class V)	-	-

Zone number	19	19BIS		19TER	20	21
Rock mass name	FVM-C-Q	FVM-S-PS	FVM-S-B	TM-T-TM	TM-T-1	TM-DZ-GA3
p(class I)	-	-	-	-	-	-
p(class II)	-	-	-	-	-	-
p(class III)	100%	-	-	-	100%	100%
p(class IV)	-	100%	100%	100%	-	-
p(class V)	-	-	-	-	-	-

Tabelle 17: Verteilung der verschiedenen Klassen innerhalb jeder Ablagerung, laut Annäherungsweise beschrieben in [8]. Geomechanische Zonen von 11 bis 21 (siehe auch die Geomechanischen Profile des Ausführungsplans [45]-[47]).

Tabella 17: Distribuzione delle diverse classi all'interno di ogni ammasso, secondo l'approccio descritto in [8], zone geomeccaniche da 11 a 21 (si vedano anche i Profili geomeccanici di Progettazione Esecutiva [45]-[47]).

Zone number	22		23	24	25
Rock mass name	GB-CZ-GA2	GB-CZ-GA2 ter	GB-DZ-GA1	GB-G-GA-9 (*)	GB-G-GA-10
p(class I)	-	-	-	-	5%
p(class II)	-	-	-	100%	70%
p(class III)	100%	100%	100%	-	25%
p(class IV)	-	-	-	-	-
p(class V)	-	-	-	-	-

Tabelle 18: Verteilung der verschiedenen Klassen innerhalb jeder Ablagerung, laut Annäherungsweise beschrieben in [8]. Geomechanische Zonen von 22 bis 25 (siehe auch die Geomechanischen Profile des Ausführungsplans [45]-[47]).

Tabella 18: Distribuzione delle diverse classi all'interno di ogni ammasso, secondo l'approccio descritto in [8]. zone geomeccaniche da 22 a 25 (si vedano anche i Profili geomeccanici di Progettazione Esecutiva [45]-[47]).

### 13 ANHANG 3 - FESTIGKEITS- UND DEFORMATIONSPARAMETER

In den folgenden Tabellen werden die typischen Werte der Festigkeits- und Deformationsparameter aufgezeigt die für die verschiedenen Ablagerungen erreicht worden sind (siehe auch Kapitel 6.3.2).

### 14 APPENDICE 3 - PARAMETRI DI RESISTENZA E DI DEFORMABILITÀ

Nelle tabelle seguenti si riportano i valori caratteristici dei parametri di resistenza e di deformabilità ottenuti per i diversi ammassi (si veda anche il Capitolo 6.3.2).

Zone number	11	12		13	
Rock mass name	GA-BST-KS-8f	GA-BST-KPH-8f	GA-T-R-8f	GA-T-A-8f	GA-BST-KS-8f
GSI (Class I) - peak					
$\phi_{peak}$ [°]					
$c_{peak}$ [MPa]					
$\sigma_{cm}$ [MPa]					
$E_m$ [MPa]					
$\psi$ [°]					
GSI (Class I) - post peak					
$\phi_{post-peak}$ [°]					
$c_{post-peak}$ [MPa]					
GSI (Class II) - peak					
$\phi_{peak}$ [°]					
$c_{peak}$ [MPa]					
$\sigma_{cm}$ [MPa]					
$E_m$ [MPa]					
$\psi$ [°]					
GSI (Class II) - post peak					
$\phi_{post-peak}$ [°]					
$c_{post-peak}$ [MPa]					
GSI (Class III) - peak	50	40		60	50
$\phi_{peak}$ [°]	28,07	24,81		32,69	27,69
$c_{peak}$ [MPa]	2,127	1,892		2,943	2,193
$\sigma_{cm}$ [MPa]	5,84	5,76		9,47	5,84
$E_m$ [MPa]	11135	5787		23582	11504
$\psi$ [°]	3,51	3,10		6,13	3,46
GSI (Class III) - post peak	25,59	23,40		26,85	25,59
$\phi_{post-peak}$ [°]	21,47	20,18		23,42	21,15
$c_{post-peak}$ [MPa]	1,349	1,314		1,644	1,392
GSI (Class IV) - peak			25		
$\phi_{peak}$ [°]			12,65		
$c_{peak}$ [MPa]			0,685		
$\sigma_{cm}$ [MPa]			0,91		
$E_m$ [MPa]			209		
$\psi$ [°]			0,00		
GSI (Class IV) - post peak			17,88		
$\phi_{post-peak}$ [°]			11,32		
$c_{post-peak}$ [MPa]			0,557		

Tabelle 19: Typische Festigkeits- und Deformationsparameter der Ablagerungen jeder homogenen Geomechanischen Zone, Zonen 11 und 13 (siehe auch die Geomechanischen Profile des Ausführungsplans [45]-[47]).

Tabella 19: Parametri di resistenza e di deformabilità caratteristici degli ammassi di ciascuna zona geomeccanica omogenea, zone da 11 a 13 (si vedano anche i Profili geomeccanici di Progettazione Esecutiva [45]-[47]).

Rock mass name	GA-BCA-A-10g	GA-BCA-GS-10g	GA-BCA-GS-10g	GA-BCA-A-10g
GSI (Class I) - peak				
$\phi_{peak}$ [°]				
$c_{peak}$ [MPa]				
$\sigma_{cm}$ [MPa]				
$E_{rm}$ [MPa]				
$\psi$ [°]				
GSI (Class I) - post peak				
$\phi_{post-peak}$ [°]				
$c_{post-peak}$ [MPa]				
GSI (Class II) - peak	56			56
$\phi_{peak}$ [°]	42.21			42.65
$c_{peak}$ [MPa]	4.887			4.725
$\sigma_{cm}$ [MPa]	29.58			29.58
$E_{rm}$ [MPa]	21074			21074
$\psi$ [°]	6.86			6.93
GSI (Class II) - post peak	26.44			26.44
$\phi_{post-peak}$ [°]	33.15			33.57
$c_{post-peak}$ [MPa]	2.900			2.797
GSI (Class III) - peak		50	50	
$\phi_{peak}$ [°]		36.23	36.67	
$c_{peak}$ [MPa]		3.535	3.415	
$\sigma_{cm}$ [MPa]		15.60	15.60	
$E_{rm}$ [MPa]		15528	15528	
$\psi$ [°]		4.53	4.58	
GSI (Class III) - post peak		25.59	25.59	
$\phi_{post-peak}$ [°]		28.85	29.26	
$c_{post-peak}$ [MPa]		2.274	2.195	
GSI (Class IV) - peak				
$\phi_{peak}$ [°]				
$c_{peak}$ [MPa]				
$\sigma_{cm}$ [MPa]				
$E_{rm}$ [MPa]				
$\psi$ [°]				
GSI (Class IV) - post peak				
$\phi_{post-peak}$ [°]				
$c_{post-peak}$ [MPa]				

Tabelle 20: Typische Festigkeits- und Deformationsparameter der Ablagerungen jeder homogenen Geomechanischen Zone, Zone 15 (siehe auch die Geomechanischen Profile des Ausführungsplans [45]-[47]).

Tabella 20: Parametri di resistenza e di deformabilità caratteristici degli ammassi di ciascuna zona geomeccanica omogenea, zona 15 (si vedano anche i Profili geomeccanici di Progettazione Esecutiva [45]-[47]).



Zone number	19BIS	
	FVM-S-PS	FVM-S-B
Rock mass name		
GSI (Class I) - peak		
$\phi_{\text{peak}} [^\circ]$		
$c_{\text{peak}} [\text{MPa}]$		
$\sigma_{\text{cm}} [\text{MPa}]$		
$E_{\text{rm}} [\text{MPa}]$		
$\psi [^\circ]$		
GSI (Class I) - post peak		
$\phi_{\text{post-peak}} [^\circ]$		
$c_{\text{post-peak}} [\text{MPa}]$		
GSI (Class II) - peak		
$\phi_{\text{peak}} [^\circ]$		
$c_{\text{peak}} [\text{MPa}]$		
$\sigma_{\text{cm}} [\text{MPa}]$		
$E_{\text{rm}} [\text{MPa}]$		
$\psi [^\circ]$		
GSI (Class II) - post peak		
$\phi_{\text{post-peak}} [^\circ]$		
$c_{\text{post-peak}} [\text{MPa}]$		
GSI (Class III) - peak		
$\phi_{\text{peak}} [^\circ]$		
$c_{\text{peak}} [\text{MPa}]$		
$\sigma_{\text{cm}} [\text{MPa}]$		
$E_{\text{rm}} [\text{MPa}]$		
$\psi [^\circ]$		
GSI (Class III) - post peak		
$\phi_{\text{post-peak}} [^\circ]$		
$c_{\text{post-peak}} [\text{MPa}]$		
GSI (Class IV) - peak	52	42
$\phi_{\text{peak}} [^\circ]$	22.63	32.98
$c_{\text{peak}} [\text{MPa}]$	1.033	1.727
$\sigma_{\text{cm}} [\text{MPa}]$	1.27	5.53
$E_{\text{rm}} [\text{MPa}]$	10374	4574
$\psi [^\circ]$	3.11	4.12
GSI (Class IV) - post peak	25.91	23.92
$\phi_{\text{post-peak}} [^\circ]$	17.01	27.80
$c_{\text{post-peak}} [\text{MPa}]$	0.661	1.238

Tabelle 21: Typische Festigkeits- und Deformationsparameter der Ablagerungen jeder homogenen Geomechanischen Zone, Zone 18 (siehe auch die Geomechanischen Profile des Ausführungsplans [45]-[47]).

Tabella 21: Parametri di resistenza e di deformabilità caratteristici degli ammassi di ciascuna zona geomeccanica omogenea, zona 18 (si vedano anche i Profili geomeccanici di Progettazione Esecutiva [45]-[47]).

Zone number	19	19BIS		19TER	20	21
Rock mass name	FVM-C-Q	FVM-S-PS	FVM-S-B	TM-T-TM	TM-T-1	TM-DZ-GA3
GSI (Class I) - peak						
$\phi_{\text{peak}}$ [°]						
$c_{\text{peak}}$ [MPa]						
$\sigma_{\text{cm}}$ [MPa]						
$E_{\text{m}}$ [MPa]						
$\psi$ [°]						
GSI (Class I) - post peak						
$\phi_{\text{post-peak}}$ [°]						
$c_{\text{post-peak}}$ [MPa]						
GSI (Class II) - peak						
$\phi_{\text{peak}}$ [°]						
$c_{\text{peak}}$ [MPa]						
$\sigma_{\text{cm}}$ [MPa]						
$E_{\text{m}}$ [MPa]						
$\psi$ [°]						
GSI (Class II) - post peak						
$\phi_{\text{post-peak}}$ [°]						
$c_{\text{post-peak}}$ [MPa]						
GSI (Class III) - peak	60				55	45
$\phi_{\text{peak}}$ [°]	45.92				43.00	37.00
$c_{\text{peak}}$ [MPa]	2.136				2.505	1.855
$\sigma_{\text{cm}}$ [MPa]	14.98				13.53	7.37
$E_{\text{m}}$ [MPa]	8				12700	3131
$\psi$ [°]	8.61				7.00	4.60
GSI (Class III) - post peak	26.85				26.32	24.62
$\phi_{\text{post-peak}}$ [°]	35.91				34.00	30.78
$c_{\text{post-peak}}$ [MPa]	1.206				1.565	1.295
GSI (Class IV) - peak		52	42	40		
$\phi_{\text{peak}}$ [°]		24.31	34.87	39.62		
$c_{\text{peak}}$ [MPa]		0.893	1.481	1.818		
$\sigma_{\text{cm}}$ [MPa]		1.27	5.53	9.95		
$E_{\text{m}}$ [MPa]		7435	4574	3193		
$\psi$ [°]		3.34	4.36	4.95		
GSI (Class IV) - post peak		25.91	23.92	23.40		
$\phi_{\text{post-peak}}$ [°]		18.37	29.52	34.41		
$c_{\text{post-peak}}$ [MPa]		0.572	1.060	1.326		

Tabelle 22: Typische Festigkeits- und Deformationsparameter der Ablagerungen jeder homogenen Geomechanischen Zone, Zonen von 19 bis 21 (siehe auch die Geomechanischen Profile des Ausführungsplans [45]-[47]).

Tabella 22: Parametri di resistenza e di deformabilità caratteristici degli ammassi di ciascuna zona geomeccanica omogenea, zone da 19 a 21 (si vedano anche i Profili geomeccanici di Progettazione Esecutiva [45]-[47]).

Zone number	22		23	24	25
Rock mass name	GB-CZ-GA2	GB-CZ-GA2 ter	GB-DZ-GA1	GB-G-GA-9 <sup>(*)</sup>	GB-G-GA-10
GSI (Class I) - peak					85
$\phi_{peak}$ [°]					51.98
$c_{peak}$ [MPa]					8.701
$\sigma_{cm}$ [MPa]					60.54
$E_m$ [MPa]					28678
$\psi$ [°]					12.99
GSI (Class I) - post peak					27.21
$\phi_{post-peak}$ [°]					35.93
$c_{post-peak}$ [MPa]					2.872
GSI (Class II) - peak				73	65
$\phi_{peak}$ [°]				51.76	47.14
$c_{peak}$ [MPa]				5.252	5.416
$\sigma_{cm}$ [MPa]				43.99	36.73
$E_m$ [MPa]				24304	19552
$\psi$ [°]				12.94	10.31
GSI (Class II) - post peak				27.45	27.20
$\phi_{post-peak}$ [°]				38.76	35.93
$c_{post-peak}$ [MPa]				2.278	2.872
GSI (Class III) - peak	55	55	45		45
$\phi_{peak}$ [°]	23.99	23.99	42.14		41.46
$c_{peak}$ [MPa]	1.023	1.023	2.650		3.934
$\sigma_{cm}$ [MPa]	1.35	1.35	14.79		24.30
$E_m$ [MPa]	9186	9186	5032		6922
$\psi$ [°]	3.75	3.75	5.27		5.18
GSI (Class III) - post peak	26.32	26.32	24.62		24.62
$\phi_{post-peak}$ [°]	17.59	17.59	35.94		35.06
$c_{post-peak}$ [MPa]	0.633	0.633	1.857		2.710
GSI (Class IV) - peak					
$\phi_{peak}$ [°]					
$c_{peak}$ [MPa]					
$\sigma_{cm}$ [MPa]					
$E_m$ [MPa]					
$\psi$ [°]					
GSI (Class IV) - post peak					
$\phi_{post-peak}$ [°]					
$c_{post-peak}$ [MPa]					

Tabelle 23: Typische Festigkeits- und Deformationsparameter der Ablagerungen jeder homogenen Geomechanischen Zone, Zonen von 22 bis 25 (siehe auch die Geomechanischen Profile des Ausführungsplans [45]-[47]).

Tabella 23: Parametri di resistenza e di deformabilità caratteristici degli ammassi di ciascuna zona geomeccanica omogenea, zone da 22 a 25 (si vedano anche i Profili geomeccanici di Progettazione Esecutiva [45]-[47]).