



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	WBS
Gesamtbauwerke	Opere generali
Dokumentenart	Tipo Documento
Technischer Bericht	Relazione tecnica
Titel	Titolo
Allgemeiner geomechanischer Bericht	Relazione geomeccanica generale

 Raggruppamento Temporaneo di Imprese 4P <small>cto Pro Iter S.r.l., Via G.B. Sammartini 5, 20125 Milano, Tel: +39 026787911, Fax: +39 0267152612</small>	Generalplaner / Responsabile integrazioni prestazioni specialistiche Ing. Enrico Maria Pizzarotti Ord. Ingg. Milano N° A 29470
---	--

Mandataria  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	Mandante 	Mandante 	Mandante  ENGINEERING s.r.l./G.m.b.H.
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	Name / Nome	Gesellschaft / Società
Bearbeitet / Elaborato	30.01.2015	Bellini	Pro Iter
Geprüft / Verificato	30.01.2015	Rivoltini	Pro Iter

 Galleria di Base del Brennero Brenner Basistunnel BBT SE	Name / Nome R. Zurlo	Name / Nome K. Bergmeister
--	--------------------------------	--------------------------------------

Projekt-kilometer / Chilometro progetto	von / da 32.0+88 bis / a 54.0+15 bei / al	Projekt-kilometer / Chilometro opera	von / da bis / a bei / al	Status Dokument / Stato documento		Massstab / Scala	-
--	---	---	---------------------------------	--	--	-------------------------	---

Staat Stato	Los Lotto	Einheit Unità	Nummer Numero	Dokumentenart Tipo Documento	Vertrag Contratto	Nummer Codice	Revision Revisione
02	H61	GD	992	GTB	D0700	13018	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	29.07.2014
01	Änderungen Revisione	Rivoltini	27.03.2014
00	Erstversion Versione preliminare	Rivoltini	17.10.2013

1	EINLEITUNG	
1	PREMESSA	5
2	BESCHREIBUNG DER BAUWERKE	
2	DESCRIZIONE DELLE OPERE	6
	2.1 DEFINITION DER BAUWERKE DES BAULOSES MAULS 2-3	
	2.1 DEFINIZIONE DELLE OPERE DEL LOTTO DI COSTRUZIONE MULES 2-3	7
	2.2 UNTERTEILUNG DES BAULOS MAULS 2-3	
	2.2 SUDDIVISIONE IN PARTI DEL LOTTO MULES 2-3	9
3	ZIELSETZUNGEN DER STUDIE	
3	OBIETTIVI DELLO STUDIO	12
4	RECHTLICHER RAHMEN	
4	INQUADRAMENTO NORMATIVO	13
5	GEOLOGISCHER KONTEXT	
5	CONTESTO GEOLOGICO	15
	5.1 DER REGIONALE GEOLOGISCHE AUFBAU	
	5.1 ASSETTO GEOLOGICO REGIONALE	15
	5.2 DER STRUKTURELLE AUFBAU	
	5.2 ASSETTO STRUTTURALE	18
	5.2.1	
	5.2.1 Deformazione duttile: scistosità, pieghe e zone di shear duttile	18
	5.2.2 Spröde Deformation: Brüche und Rupturen	
	5.2.2 Deformazione fragile: faglie e fratture.....	19
6	HYDROGEOLOGISCHE VERHÄLTNISSE	
6	ASSETTO IDROGEOLOGICO	22
	6.1 VORÜBERGEHENDE WASSERZUTRITTE	
	6.1 VENUTE IDRICHE IN FASE TRANSITORIA	22
	6.1.1 Bereich Muls-Brenner	
	6.1.1 Settore Muls-Brennero	22
	6.1.2 Bereich Nothaltestelle	
	6.1.2 Settore Fermata di Emergenza	23
	6.1.3 Bereich Mulsertalstörung	
	6.1.3 Settore Faglia Val di Muls.....	23
	6.1.4 Bereich Franzensfeste-Muls	
	6.1.4 Settore Fortezza-Muls	23
	6.1.5 Kumulative vorübergehende Schüttungen	
	6.1.5 Portate cumulate transitorie.....	24
	6.2 STABILISIERTE WASSERZUTRITTE	
	6.2 VENUTE IDRICHE IN FASE DI ESERCIZIO	24
	6.2.1 Bereich Muls-Brenner	
	6.2.1 Settore Muls-Brennero	24
	6.2.2 Bereich Nothaltestelle	
	6.2.2 Settore Fermata di Emergenza	24
	6.2.3 Bereich Mulsertalstörung	
	6.2.3 Settore Faglia Val di Muls.....	24
	6.2.4 Bereich Franzensfeste-Muls	
	6.2.4 Settore Fortezza-Muls	25
	6.2.5 Kumulative stabilisierten Schüttungen	
	6.2.5 Portate stabilizzate cumulate.....	25

6.3	WASSERDRÜCKE	
6.3	CARICHI IDRAULICI	25
7	EINHEITLICHE GEOMECHANISCHE ZONEN	
7	ZONE GEOMECCANICHE OMOGENEE.....	27
7.1	ALLGEMEINES	
7.1	GENERALITÀ.....	27
7.2	KRITERIEN ZUR KENNZEICHNUNG DER ZONEN	
7.2	CRITERI DI INDIVIDUAZIONE DELLE ZONE	27
7.3	GEOMECHANISCHE GRUNDKENNWERTE	
7.3	PARAMETRI GEOMECCANICI DI BASE	28
7.4	DRUCKBEIWERTE IM RUHEZUSTAND	
7.4	COEFFICIENTI DI SPINTA A RIPOSO.....	32
8	STÖRZONEN	
8	ZONE DI FAGLIA	34
8.1	ALLGEMEINES	
8.1	GENERALITÀ.....	34
8.2	KRITERIEN ZUR GEOMECHANISCHEN CHARAKTERISIERUNG DER STÖRZONEN	
8.2	CRITERI DI CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DELLE ZONE DI FAGLIA.....	35
9	KRITERIEN FÜR DIE BERECHNUNG DER GEBIRGSKENNWERTE	
9	CRITERI DI CALCOLO DEI PARAMETRI DI AMMASSO.....	38
9.1	HOEK-BROWN-BRUCHKRITERIUM	
9.1	CRITERIO DI ROTTURA DI HOEK & BROWN.....	38
9.1.1	Generalisiertes Bruchkriterium	
9.1.1	Criterio di rottura generalizzato	38
9.1.2	Linearisierung des Bruchkriteriums	
9.1.2	Linearizzazione del criterio di rottura	38
9.1.3	Gebirgsfestigkeit	
9.1.3	Resistenze di ammasso	39
9.1.4	Modul der Gebirgsverformbarkeit	
9.1.4	Modulo di deformabilità d'ammasso	40
9.1.5	Festigkeitskennwerte nach der Höchstbeanspruchung	
9.1.5	Parametri di resistenza post-picco	40
9.1.6	Dilatanzwinkel	
9.1.6	Angolo di dilatanza	40
9.2	AUSWAHL DER CHARAKTERISTISCHEN WERTE DER INPUT-PARAMETER	
9.2	SCELTA DEI VALORI CARATTERISTICI DEI PARAMETRI DI INPUT	41
9.2.1	Einaxiale Druckfestigkeit und Verformungsmodul des intakten Gesteins	
9.2.1	Resistenza a compressione monoassiale e modulo di deformabilità della roccia intatta.....	41
9.2.2	Der Parameter m_i	
9.2.2	Parametro m_i	42
9.2.3	RMR'89 und GSI	
9.2.3	RMR'89 e GSI	42
9.3	BERECHNUNG DER GEBIRGSKENNWERTE	
9.3	CALCOLO DEI VALORI CARATTERISTICI DEI PARAMETRI DI AMMASSO	44
10	VERZEICHNISSE	
10	ELENCHI.....	45
10.1	TABELLENVERZEICHNIS	
10.1	ELENCO DELLE TABELLE.....	45

10.2	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	
10.2	ELENCO DELLE ILLUSTRAZIONI.....	45
10.3	REFERENZDOKUMENTE	
10.3	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	45
10.3.1	Eingangsdokumenten	
10.3.1	Documenti in ingresso.....	45
10.3.1.1	Regelplanung	
10.3.1.1	Progettazione di Sistema.....	45
10.3.1.2	Einreichprojekt	
10.3.1.2	Progetto Definitivo	48
10.3.1.3	Ausführungsprojekt Baulos Mauls 1	
10.3.1.3	Progetto Esecutivo Lotto Mules I.....	49
10.3.1.4	Ausführungsprojekt Baulos Mauls 1 (Pustertalstörung)	
10.3.1.4	Progetto Esecutivo Lotto Mules I (Faglia della Pusteria)	50
10.3.1.5	Ausführungsprojekt Erweiterung Baulos Mauls 1	
10.3.1.5	Progetto Esecutivo Estensione Lotto Mules 1	50
10.3.1.6	Ausführungsprojekt Baulos Mauls 2-3	
10.3.1.6	Progetto Esecutivo Lotto Mules 2-3.....	51
10.3.2	Normen und Richtlinien	
10.3.2	Normative e Linee Guida.....	52
10.3.3	Bibliografie	
10.3.3	Bibliografia.....	52
10.3.4	Ausgangsdokumente	
10.3.4	Documenti in uscita	53

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 Mault 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 geologischen und hydrogeologischen Eigenschaften für die Ausführungsplanung folgender Bauwerke, die zum Los Mault 2-3 gehören:

- Der Erkundungsstollen zwischen Mault (km 10+419 ca., was ungefähr km 48+880 der Oströhre entspricht) und der Staatsgrenze (km 27+217 ca., was ungefähr km 32+088 der Oströhre entspricht).
- Die Oströhre des Haupttunnels von der Schnittstelle mit dem Baulos der Eisackunterquerung (km 54+015 ca.) bis zur Staatsgrenze (km 32+088 ca.), einschließlich aller entsprechenden Bauwerke (TBM-Kavernen, NHS...) und der Querschläge.
- Die Weströhre des Haupttunnels von der Schnittstelle mit dem Baulos der Eisackunterquerung (km 54+002 ca.) bis zur Staatsgrenze (km 32+047 ca.), einschließlich aller entsprechenden Bauwerke (TBM-Kavernen, NHS...) und der Querschläge.
- Der Zugangstunnel zur Nothaltestelle.

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

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. Nella tratta in cui si trova in asse alle due gallerie la quota del cunicolo è di circa 11 - 12m inferiore rispetto a quella delle gallerie stesse.

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 Mules 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 geologici ed idrogeologici per la fase di Progettazione Esecutiva delle seguenti opere, appartenenti al lotto Mules 2-3:

- Cunicolo Esplorativo tra Mules (km 10+419 circa, corrispondente a km 48+880 circa canna Est) e il Brennero (km 27+217 circa, corrispondente a km 32+088 circa canna Est).
- La canna Est della galleria di linea dal confine di Stato (progressiva km 32+088 circa) fino all'interfaccia con il lotto di costruzione del Sottoattraversamento dell'Isarco (progressiva km 54+015 circa), comprese tutte le opere in linea (cameroni TBM, FdE..) e i cunicoli trasversali.
- La canna Ovest della galleria di linea dal Brennero (progressiva km 32+047 circa) fino all'interfaccia con il lotto di costruzione del Sottoattraversamento dell'Isarco (progressiva km 54+002 circa), comprese tutte le opere in linea (cameroni TBM, FdE..) e i cunicoli trasversali.
- La Galleria di Accesso alla Fermata di Emergenza.

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

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 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 Verbindungsquerstollen.

Das System wird durch einen Pilotstollen ergänzt, der tiefer als die Hauptröhren liegt, um nicht mit den Verbindungsquerstollen 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 [58] [59] 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

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 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 [58] [59].

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

auf die Enden des Bauloses Mails 1 begrenzt sind. Die Details zum Höhenverlauf sind in den Plänen [61] [62] erfasst.

2.1 DEFINITION DER BAUWERKE DES BAULOSES MAULS 2-3

Die in der Ausführungsplanung des Bauloses Mails 2-3 geplanten und auf dem Bauwerkslageplan [60], dargestellten Bauwerke sind folgende: (NB: die Kilometrierungen des 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

altimetrisch sind ableitbar von den Höhenwerten [61] [62].

2.1 DEFINIZIONE DELLE OPERE DEL LOTTO DI COSTRUZIONE MULES 2-3

Le opere previste nel Progetto Esecutivo del lotto Mules 2 – 3, rappresentate sulla Planimetria delle opere [60], sono le seguenti: (N.B.: le progressive del Cunicolo Esplorativo sono 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 camerone di Montaggio TBM (km 48.9+02 circa) e sistemazione definitiva dei camerone 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 camerone di Montaggio TBM(km 48.8+73 circa) sistemazione definitiva dei camerone 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

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 Zugangstollens und besteht aus einer Logistikkaverne, drei Verbindungstunneln mit dem Zugangstunnel, einem logistischen Bypass zwischen dem Zugangstunnel (GA) und den beiden Hauptröhren sowie einem Verbindungsschacht zum Erkundungsstollen [63].
- 9) Erkundungsstollen (CE) "Ende Baulos Mauls 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 Mauls mit den Haupttunneln

- 12) Haupttunnel (GL) Ost (Gleis 1) „TBM-Montagekaverne Mauls – 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 Mauls 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 Mauls 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.

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 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 [63]
- 9) Cunicolo Esplorativo (CE) " fine lotto Mules 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 Mules con le gallerie principali

- 12) Galleria di Linea (GL) est (dispari) "camerone montaggio TBM Mules – 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 Mules 2-3 (km 54.0+15 per la canna est, km 54.0+02 circa per la canna ovest), si

Die Baulosgrenzen gehen aus den Plänen [60] hervor, auf die verwiesen wird.

2.2 UNTERTEILUNG DES BAULOS MAULS 2-3

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

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

presentano a doppio binario.

I limiti del lotto di costruzione sono rilevabili nelle tavole [60] alle quali si rimanda.

2.2 SUDDIVISIONE IN PARTI DEL LOTTO MULES 2-3

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

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 camerone 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

- 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 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 Mauls 1 errichteten Bauwerks, zwischen der Weströhre und dem Erkundungsstollen 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 Mauls 1 ausgeführt wurde) bis km 52.6+22 ca. - Oströhre;
 - von km 49.0+57 ca. (Ende TBM-Montagekaverne, welche im Rahmen des Bauloses Mauls 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

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
 - Piazzole logistiche 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 Mules 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 Mules, 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 Mules 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 Mules 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

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 Verbindungsstollen, 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 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 Muls.
- 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

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 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 Muls.
- 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

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 sowie den selektiven Wasserdrainageanlagen besteht.

3 ZIELSETZUNGEN DER STUDIE

Dieser Bericht verfolgt folgende Zielsetzungen:

- Analyse und kritische Prüfung der geologischen und geomechanischen Daten, die in den verschiedenen Phasen der Projektvertiefung erhoben wurden (Kapitel 4) und ihre Vereinheitlichung.
- Definition der geomechanischen Ausgangsparameter der verschiedenen einheitlichen geomechanischen Abschnitte, in die die geplanten Bauwerke unterteilt wurden (Kapitel 5 und 6) und ihrer statistischen Variabilität.
- Genaue Angabe der konkreten Verfahren zur Berechnung der Widerstands- und Verformungsparameter des Gesteins (Kapitel 7) zur Ermittlung der Ausbruchs- und Befestigungsabschnitte sowie ihrer Dimensionierung.

Der in diesem Bericht beschriebene geologische Kontext, der den Ausgangspunkt der Ausführungsplanung darstellt, ist das Ergebnis einer kritischen Untersuchung der geologischen Unterlagen, die in den verschiedenen Phasen der Projektvertiefung ausgearbeitet wurden.

Für sämtliche Informationen geologischer, hydrogeologischer und geomechanischer Art, die nicht in diesem Bericht enthalten sind, wird auf die geologischen und hydrogeologischen Unterlagen und auf die geomechanischen Profile und die Prognoseprofile des Ausführungsprojekts verwiesen.

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 telecomunicazione GSM e dagli impianti di drenaggio selettivo delle acque.

3 OBIETTIVI DELLO STUDIO

L'obiettivo della presente relazione consiste in:

- Analisi ed esame critico dei dati di carattere geologico e geomeccanico prodotti nelle varie fasi di approfondimento progettuale (Capitolo 5) e loro omogeneizzazione.
- Definizione dei parametri geomeccanici di base delle diverse tratte geomeccaniche omogenee in cui è risultato possibile suddividere le opere in progetto (Capitoli 7 e 8) e della loro variabilità statistica.
- Precisazione delle procedure operative per il calcolo dei parametri di resistenza e deformabilità d'ammasso (Capitolo 9) ai fini della individuazione delle sezioni di scavo e consolidamento e del loro dimensionamento.

Il contesto geologico riportato nel presente documento, che costituisce la base per lo sviluppo della Progettazione Esecutiva, deriva dall'esame critico della documentazione di carattere geologico prodotta nelle diverse fasi di approfondimento progettuale.

Si sottolinea inoltre che per tutte le informazioni di carattere geologico, idrogeologico e geomeccanico non contenute nel presente elaborato occorre fare riferimento agli elaborati geologici e idrogeologici e ai Profili Geomeccanici e Progettuali di Previsione del Progetto Esecutivo.

4 RECHTLICHER RAHMEN

Die italienische Gesetzgebung [64] [65] 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 [64] und C6.2.2 [65] 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 INQUADRAMENTO NORMATIVO

La normativa italiana [64] [65] prevede specifici requisiti per la modellazione geotecnica delle opere civili. In particolare, all'interno dei capitoli 6.2.2 [64] e C6.2.2 [65] 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.

Informazioni / Informazione	Documenten / Documenti		Nummer / Numero
1) Beschreibung der Bauwerke und der Baumaßnahmen (Anmerkung 1) 1) Descrizione delle opere e degli interventi (Nota 1)	Allgemeiner technischer Bericht	Relazione descrittiva generale	1.2001
	Technische Berichte Rohbau	Relazioni tecniche descrittive opere civili	21.041, 2.2101, 2.3051
2a) Geotechnische Probleme 2a) Problemi geotecnici	Allgemeiner geomethanischer Bericht	Relazione geomecanica generale	1.3018
	Geomethanische Detailberichte	Relazioni geomecaniche di dettaglio	21.001, 2.2001, 2.3001
2b) Typologische Entscheidungen 2b) Scelte tipologiche	Statische Berechnungen	Relazioni di calcolo	(Anmerkung 2 / Nota 2)
	3) Beschreibung des Programms der Erkundungen und der geotechnischen Versuche 3) Descrizione del programma delle indagini e delle prove geotecniche	Geologische Berichte	Relazioni geologiche
Geomethanische Grundlagenberichte		Relazioni geomecaniche di base	(Anmerkung 3 / Nota 3)
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.	Allgemeiner geomethanischer Bericht	Relazione geomecanica generale	1.3018
	Geomethanische Detailberichte	Relazioni geomecaniche di dettaglio	21.001, 2.2001, 2.3001
5) Überprüfung der Sicherheit und der Leistungen: Ermittlung der jeweiligen Grenzstände	Statische Berechnungen	Relazioni di calcolo	(Anmerkung 2 / Nota 2)
5) Verifiche di sicurezza e delle prestazioni: Identificazione dei relativi stati limite	Statische Berechnungen	Relazioni di calcolo	(Anmerkung 2 / Nota 2)
6) Planungsansätze und Projektwerte der geotechnischen Parameter	Geomethanische Grundlagenberichte	Relazioni geomecaniche di base	(Anmerkung 3 / Nota 3)
6) Approcci progettuali e valori di progetto dei parametri geotecnici	Geomethanische Detailberichte	Relazioni geomecaniche di dettaglio	21.001, 2.2001, 2.3001
7a) Geotechnische Modelle des Untergrunds 7a) Modelli geotecnici del sottosuolo	Statische Berechnungen	Relazioni di calcolo	(Anmerkung 2 / Nota 2)
	Statische Berechnungen	Relazioni di calcolo	(Anmerkung 2 / Nota 2)
7b) Analysemethoden 7b) Metodi di analisi	Geologische Karte e Mault-Brenner	Carta geologica Mules-Brennero	1.3010
8) Ergebnisse der Analysen und Kommentar 8) Risultati delle analisi e loro commento	Geologische Längsschnitte	Profili geologici	(Anmerkung 4 / Nota 4)
	Hydrogeologische Längsschnitte	Profili idrogeologici	(Anmerkung 5 / Nota 5)
9) Lageplan samt Standort der Erkundungen 9) Planimetria con l'ubicazione delle indagini	Geomethanische Längsschnitte	Profili geomecanici	(Anmerkung 6 / Nota 6)
	Bericht zu Überwachungen und Erkundung im Tunnel	Relazione sui monitoraggi e le prospezioni in galleria	1.7001
10) Strategigraphische Abschnitte 10) Sezioni stratigrafiche	Überwachung - Profile und Schnitte	Monitoraggio - Profili e sezioni	1.7010-1.7029
	Risikomanagement	Procedura di gestione del rischio	1.5005
11) Beweissicherungsplan 11) Piano di monitoraggio	Risikomanagement	Procedura di gestione del rischio	1.5005
	Leitfaden für die Wahl des Ausbruchssicherungstyps	Linee Guida per l'applicazione delle sezioni di scavo	21.043, 2.2900, 2.3053

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 [27], [29], [29].

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 [27], [29], [29].

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 im Zusammenfassenden Bericht über die geologischen und hydrogeologischen Informationen [56].

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 Fransensfeste (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 Pfitschtaler 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. Durch diese Störungen wurden sowohl die noch anhaltende Exhumierung und westgerichtete Extrusion der Einheiten des

5 CONTESTO GEOLOGICO

Nel presente Capitolo si riassumono brevemente gli aspetti geologici e idrogeologici fondamentali per il presente progetto; ulteriori indicazioni possono essere reperite nella relazione di Sintesi delle informazioni geologiche e idrogeologiche [56].

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

Tauernfensters ermöglicht, als auch die nordgerichtete Bewegung der südalpiner 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

aktive, seppur in maniera trascurabile ai fini del progetto. 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.

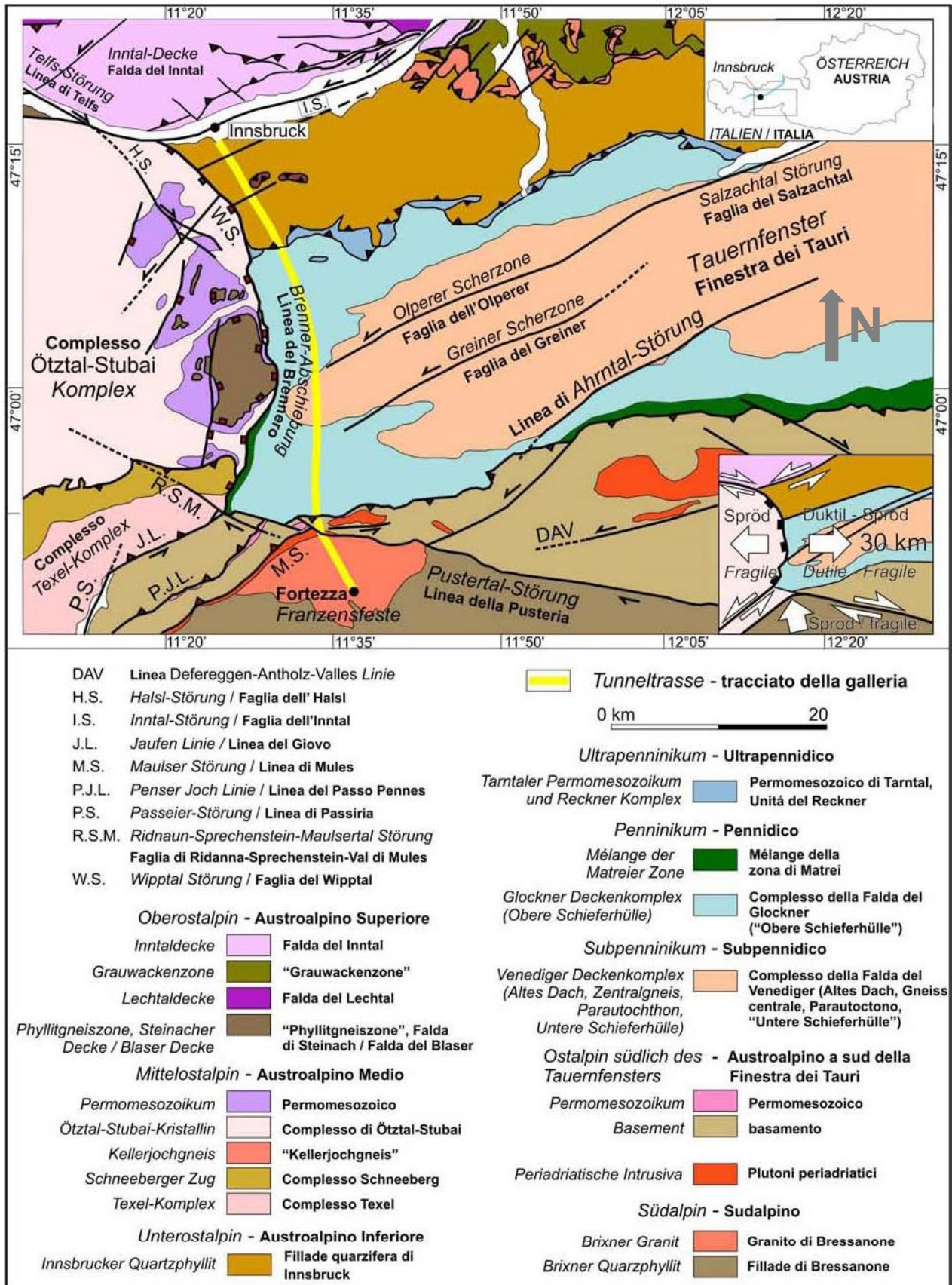


Abbildung 1: Tektonische Übersichtskarte des westlichen Tauernfensters. Verändert nach Brandner, 1980, ergänzt nach Mancktelow et al., 2001 [70], [71].

Figura 1: Carta tettonica generale della Finestra dei Tauri occidentale. Modificato Brandner, 1980, integrato secondo Mancktelow et al., 2001 [70], [71].

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 bildet, 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

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

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

natürlich keine Deformation aufzeichnen kann, die älter ist 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 tw. 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.

Für die oben genannte Trasse werden die folgend angegebenen Verwerfungssysteme festgelegt:

- **Bruchsystem des Wipptals (SZ-WT):** Direkte

medesima unità tettonica, differenze nello stile strutturale.

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

Verwerfungen die mit geringer bis hoher Neigung 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 Tulfers (SZ-TU):** Subvertikale Brüche nach Westen/Nordwesten-Osten/Südosten orientiert. Lokal, das heißt im Gebiet von Tulfers 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, direkte che si immergono con pendenza da ridotta 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 Tulfers (SZ-TU):** Faglie subverticali con direzione WNW-ESE. A livello locale, ovvero nell'area da Tulfers 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

F8 oder F11. Der Bruch vom Rio Bianco ist 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 Hauptröhrengebiet 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.

faglia di maggior spessore all'interno del Granito di Bressanone. Questa è già stata attraversata nel 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 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 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.

6 HYDROGEOLOGISCHE VERHÄLTNISSE

In diesem Kapitel werden die Schüttungen und die hydraulischen Belastungen angegeben, die aus den Unterlagen der Regelplanung und der Ausführungsplanung der Erweiterung des Bauloses Mails 1 stammen. Für Details zum hydrogeologischen Modell, siehe Bericht [56].

6.1 VORÜBERGEHENDE WASSERZUTRITTE

6.1.1 Bereich Mails-Brenner

Im Bericht [8] der nur den Erkundungsstollen betrifft, wurden die folgenden kritischen Punkte angegeben, die sich durch hohe instationäre Schüttungen auszeichnen (von Süden nach Norden):

- Querung Störung SWNW01 (km 42+950 ca. Oströhre, km 11+380 ca. Erkundungsstollen): starke kumulative Schüttungen in der Größenordnung von 100-150 l/s, wenn diese Extremwerte auch nur von kurzer Dauer sein dürften, da diese Störung keine größere Kapazität besitzt.
- Querung Marmor von Hochstegen (km 36+300 ca. Oströhre, km 23+000 ca. Erkundungsstollen): der Spitzenwert der kumulativen Schüttungen liegt bei 250l/s. Schüttungen von vergleichbarem Ausmaß und auch wenig geringere werden schon vorher entwässert, und zwar um km 37 Oströhre (km 22+300 ca. Erkundungsstollen), da vor der Querung mit dem Hochstegener Marmor eine Überschneidung mit einigen Störungen vorgesehen ist, die bedeutende vorübergehende Zuflüsse erzeugen könnten.
- Querung Störung S504 (km 32+520 ca. Oströhre, km 26+780 ca. Erkundungsstollen): die kumulativen Schüttungen liegen bei einem Maximum von 300l/s. Auch in diesem Fall können vergleichbare oder wenig geringere Zuflüsse schon vorher angetroffen werden, nämlich bei der Querung mit der Störung SL01 (km 33+120 ca. Oströhre, km 26+180 ca. Erkundungsstollen).
- Zwischen den letzten Bereichen (km 37 - km 33+120 Oströhre) kann man eine Zone erwarten, in der sich die kumulativen Schüttungsmengen verringern, wahrscheinlich bleiben sie aber oberhalb der 150 l/s-Grenze.

Diese Schüttungen beziehen sich wie erwähnt auf den Ausbruch des Erkundungsstollens. Mangels zusätzlicher Informationen über die kumulativen Schüttungen in den Hauptröhren wurde in der Projektphase ein Wert von 300 l/s

6 ASSETTO IDROGEOLOGICO

Nel presente Capitolo si riportano portate e carichi idraulici ricavati dai documenti della Progettazione di Sistema e della Progettazione Esecutiva dell'Estensione del Lotto Mails 1. Per dettagli in merito al modello idrogeologico si veda la relazione [56].

6.1 VENUTE IDRICHE IN FASE TRANSITORIA

6.1.1 Settore Mails-Brennero

Nella relazione [8], relativa al solo Cunicolo Esplorativo, sono indicati i seguenti punti critici, caratterizzati da elevate portate in fase transitoria (da sud verso nord):

- Intersezione faglia SWNW01 (km 42+950 circa Canna Est, km 11+380 circa Cunicolo Esplorativo): portate cumulate piuttosto consistenti, dell'ordine dei 100-150 l/s, anche se in questo caso si dovrebbe trattare di picchi di breve durata, poiché questa faglia non è molto capacitiva.
- Intersezione Marmi di Hochstegen (km 36+300 circa Canna Est, km 23+000 circa Cunicolo Esplorativo): picco di portate cumulate sarà dell'ordine dei 250 l/s; in ogni caso portate di entità paragonabile e solo di poco inferiori inizieranno ad essere drenate già da prima, intorno al km 37 Canna Est (km 22+300 circa Cunicolo Esplorativo), dal momento che prima dell'intersezione con i Marmi di Hochstegen è prevista l'intersezione con una serie di faglie che potrebbero produrre significativi afflussi transitori.
- Intersezione faglia S504 (km 32+520 circa Canna Est, km 26+780 circa Cunicolo Esplorativo): picco di portate cumulate transitorie stimato nell'ordine dei 300 l/s. Anche in questo caso portate paragonabili e solo di poco inferiori potranno essere incontrate già dall'intersezione con la faglia SL01 (km 33+120 circa Canna Est, km 26+180 circa Cunicolo Esplorativo)
- Tra gli ultimi due settori (km 37 - km 33+120 Canna Est) ci si attende una zona in cui le portate cumulate si ridurranno, presumibilmente restando sempre al di sopra dei 150 l/s.

Queste portate si riferiscono, come detto, allo scavo del Cunicolo Esplorativo. In mancanza di ulteriori indicazioni circa le portate cumulate nelle Gallerie di Linea, in fase di progetto si è assunto il valore di 300l/s (massimo tra i picchi

(der höchste der oben angegebenen Höchstwerte) als kumulative instationäre Höchstschüttung angenommen.

6.1.2 Bereich Nothaltestelle

In den Berichten [11] [22] und Profilen [19] [20] [23] sind keine Werte für die kumulativen instationären Schüttungen in den Bauwerken angegeben, die Gegenstand dieses Abschnitts sind. Aufgrund der geringfügigen Mengen der erwarteten Schüttungen, werden vorsichtshalber kumulative instationäre Schüttungen im Ausmaß der stabilisierten Schüttungen angenommen (siehe nachfolgendes Kapitel 6.2.2):

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

6.1.3 Bereich Maulsertalstörung

Der Bereich der Maulsertalstörung (ca. km 47+800 - 46+800 der Oströhre) unter dem hydrogeologischen Gesichtspunkt im Profil [51] der Erweiterung des Bauloses Mauls 1 beleuchtet.

Im Erkundungsstollen werden instationäre Schüttungen von weniger als 0.4l/s/10m erwartet, mit Spitzen, die im Bereich zwischen den Störungen M13 und M14 bis 10l/s/10m erreichen können. Die in den Haupttunneln prognostizierten Schüttungen sind hingegen geringer als 0,16-0,4l/s/10m, mit Spitzen von höchstens 2l/s/10m zwischen den genannten Störungen.

Auch in diesem Fall liegen keine Werte für die kumulativen instationären Schüttungen vor. Daher werden vorsichtshalber kumulative instationäre Schüttungen im Ausmaß der stabilisierten Schüttungen angenommen, also 5l/s (insgesamt für den Erkundungsstollen und den Haupttunnel).

6.1.4 Bereich Franzensfeste-Mauls

Im Abschnitt südlich des Fensterstollens Mauls, in dem Brixner Granit durchörtert wird, werden für den größten Teil der Haupttunnel feuchte oder leicht tropfende Verhältnisse erwartet [2] [4]. Zwischen km 52+000 ca. und km 52+950 (Oströhre) können wie bereits beim Bau des Erkundungsstollens im mäßig klüftigen Gestein lokal vorübergehende Wasserzutritte in größeren Mengen, aber von kurzer Dauer auftreten (> 50l/s/10 m).

In den Störzonen werden in den Damage Zones grundsätzlich höhere Wasserzutritte erwartet, während in den Core Zones die hydraulische Leitfähigkeit und dementsprechend das Volumen der Wasserzutritte geringer

sopra riportati) come portata massima cumulata del sistema in fase transitoria.

6.1.2 Settore Fermata di Emergenza

Nelle relazioni [11] [22] e nei profili [19] [20] [23] non si indicano valori di portata cumulata in fase transitoria per le opere oggetto del presente paragrafo. Data l'esiguità delle venute previste, in via cautelativa si assumono portate transitorie cumulate pari a quelle stabilizzate (si veda anche il successivo Capitolo 6.2.2):

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

6.1.3 Settore Faglia Val di Mules

La zona della Faglia della Val di Mules (km 47+800 - 46+800 circa Canna Est) è trattata dal punto di vista idrogeologico nel profilo [51] dell'Estensione Lotto Mules 1.

Nel Cunicolo Esplorativo sono previste portate in fase transitoria inferiori a 0.4l/s/10m, con un picco che può raggiungere i 10l/s/10m nella zona tra le faglie M13 e M14. Nelle Gallerie di Linea si prevedono invece portate inferiori a 0.16-0.4l/s/10m, con un picco massimo di 2l/s/10m tra le due faglie citate.

Anche in questo caso non sono disponibili valori di portata cumulata in fase transitoria; si assumono quindi cautelativamente portate transitorie cumulate pari a quelle stabilizzate, cioè 5l/s (complessive per Cunicolo Esplorativo e Gallerie di Linea).

6.1.4 Settore Fortezza-Mules

Nel settore a sud della Finestra di Mules, scavato all'interno del Granito di Bressanone, per la maggior parte delle canne principali si prevedono condizioni di lieve "umidità" o lievi "trasudamenti" [2] [4]. Tra km 52+000 ca. e km 52+950 (canna Est) negli ammassi rocciosi mediamente fratturati si possono verificare, localmente, venute d'acqua a regime transitorio di grande portata ma di breve durata (> 50 l/s/10 m), come già riscontrato durante la costruzione del Cunicolo Esplorativo.

Per quanto riguarda le zone di faglia, in linea di massima si prevedono venute d'acqua maggiori nelle Damage Zones, mentre nelle Core Zones la conducibilità idraulica e di conseguenza il volume delle venute sono inferiori. Si

ist. Vorübergehende Wasserzutritte werden prognostiziert, die - pro Tunnel bis zu 2-10l/s/10m betragen.

Die kumulative vorübergehende Schüttungen in diesem Abschnitt, die die Summe der Zutritte aus den zwei Haupttunneln darstellen, betragen bis zu ungefähr 160l/s:

- Vom Ende der TBM Montagekavernen bis zum Tiefpunkt: 30l/s - Fall 4 Kapitel 10.1 Bericht [2].
- Vom Tiefpunkt bis zum Ende des Bauloses Muls 2-3 (km 54+015 Oströhre): 130l/s- Fall 2 Kapitel 10.1 Bericht [2].

6.1.5 Kumulative vorübergehende Schüttungen

Die in der instationären Phase erwartete Schüttung beträgt insgesamt 560l/s, die wie folgt unterteilt ist:

- Erkundungsstollen und Haupttunnel Abschnitt Muls-Brenner: 300l/s.
- Zugangstunnel und Mittelstollen Trens: 10l/s.
- Bestehenden Erkundungsstollen und Haupttunnel, Fensterstollen Muls: 90l/s.
- Haupttunnel Abschnitt Franzensfeste-Muls:160l/s.

6.2 STABILISIERTE WASSERZUTRITTE

6.2.1 Bereich Muls-Brenner

Die stabilisierten und kumulierten Schüttungen, die aus dem Erkundungsstollen nördlich der Periadriatischen Naht abfließen, werden auf ca. 80l/s geschätzt, wobei vorsichtshalber auf 100l/s aufgerundet wurde [2].

Summiert man die im Bericht [13] angegebenen Schüttungen für das gesamte System, erhält man ca. 96l/s, während die Summe der Schüttungen des Profils [21] circa 108 l/s ergibt.

6.2.2 Bereich Nothaltestelle

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

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

6.2.3 Bereich Mulsertalstörung

Die stabilisierte Schüttung in diesem Bereich beträgt (0.06l/s/10m); Dieser Wert, der im Profil [51] der Erweiterung des Bauloses Muls 1 angegeben ist, umfasst die Zutritte aus den beiden Haupttunnelöhren und aus dem Erkundungsstollen.

prevedono venute d'acqua a regime transitorio che possono ammontare per ogni galleria a 2-10l/s/10m.

Le portate transitorie cumulate di questa tratta, somma dei contributi delle due Gallerie di Linea, ammontano a circa 160l/s:

- Dalla fine dei cameroni TBM sud al punto di minimo: 30l/s - Caso 4 Capitolo 10.1 relazione [2].
- Dal punto di minimo alla fine del Lotto di costruzione Muls 2-3 (km 54+015 Canna Est): 130l/s- Caso 2 Capitolo 10.1 relazione [2].

6.1.5 Portate cumulate transitorie

La portata attesa in fase transitoria ammonta complessivamente a 560l/s, così suddivisa:

- Cunicolo Esplorativo e Gallerie di Linea tratta Muls-Brennero: 300l/s.
- Galleria di Accesso e Cunicolo centrale Trens: 10l/s.
- Cunicolo Esplorativo e Gallerie di Linea esistenti, Finestra di Muls: 90l/s.
- Gallerie di Linea tratta Fortezza-Muls:160l/s.

6.2 VENUTE IDRICHE IN FASE DI ESERCIZIO

6.2.1 Settore Muls-Brennero

Le portate stabilizzate cumulate defluenti dal Cunicolo Esplorativo a nord del Lineamento Periadriatico sono stimate in circa 80l/s, cautelativamente approssimate in 100l/s [2].

Per quanto riguarda l'intero sistema, sommando le portate indicate nella relazione [13] si ottengono circa 96l/s, mentre sommando quelle indicate sul profilo [21] si arriva a circa 108l/s.

6.2.2 Settore Fermata di Emergenza

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.

6.2.3 Settore Faglia Val di Muls

La portata stabilizzata cumulata in questa zona è pari a 5l/s (0.06l/s/10m); in questo valore, indicato sul profilo [51] dell'Estensione Lotto Muls 1, sono compresi gli afflussi delle due Gallerie di Linea e del Cunicolo Esplorativo

6.2.4 Bereich Franzensfeste-Mauls

Die stabilisierten kumulativen Schüttungen in diesem Abschnitt belaufen sich auf ca. 130l/s: [2]; Dieser Wert umfasst:

- Haupttunnel vom Ende der TBM Montagekavernen bis zum Ende Baulos Mauls 2-3.
- Erkundungsstollen von der Überschneidung mit Fensterstollen Mauls bis zum Portal Aicha.

6.2.5 Kumulative stabilisierten Schüttungen

Die in der Betriebsphase erwartete Schüttung beträgt insgesamt 345l/s, die wie folgt unterteilt ist:

- Erkundungsstollen und Haupttunnel Abschnitt Mauls-Brenner: 108l/s.
- Haupttunnel Nothaltestelle und ex-Überleitungsverbindung: 6/s.
- Zugangstunnel und Mittelstollen Trens: 10l/s.
- Logistikknote: 1l/s.
- Bestehenden Erkundungsstollen und Haupttunnel im Norden von Fensterstollen Mauls, Fensterstollen Mauls: 90l/s.
- Haupttunnel Abschnitt Franzensfeste-Mauls und Erkundungsstollen: 130l/s.

Die obige Schätzung könnte konservativ sein, da die abfließende Menge aus dem Erkundungsstollen im Abschnitt Aicha-Mauls sowohl in den im Bericht [2] angegebenen 130l/s des Abschnittes Franzensfeste-Mauls inbegriffen sind, als auch in den 90l/s, die aus den bestehenden Bauwerken abfließen, da die einzige Messstation am Portal Aicha keine Aufteilung der Wassermengen aus den einzelnen Bauwerken erlaubt.

6.3 WASSERDRÜCKE

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

6.2.4 Settore Fortezza-Mules

Le portate stabilizzate cumulate di questa tratta ammontano a circa 130l/s [2]; questo valore comprende:

- Gallerie di Linea dalla fine dei cameroni TBM sud alla fine del Lotto Mules 2-3.
- Cunicolo esplorativo dall'intersezione con la Finestra di Mules fino al portale di Aica.

6.2.5 Portate stabilizzate cumulate

La portata attesa in fase di esercizio ammonta complessivamente a 345l/s, così suddivisa:

- Cunicolo Esplorativo e Gallerie di Linea tratta Mules-Brennero: 108l/s.
- Gallerie di Linea Fermata di Emergenza e ex Posto di Comunicazione: 6l/s.
- Galleria di Accesso e Cunicolo centrale Trens: 10l/s.
- Nodo logistico: 1l/s.
- Cunicolo Esplorativo e Gallerie di Linea esistenti a nord dell'innesto con la Finestra di Mules, Finestra di Mules: 90l/s.
- Gallerie di Linea e Cunicolo Esplorativo tratta Fortezza-Mules: 130l/s.

La stima sopra riportata potrebbe risultare cautelativa, in quanto la portata defluente dal Cunicolo Esplorativo nella tratta Aica-Mules è considerata sia nei 130l/s della tratta Fortezza-Mules, come indicato nella relazione [2], sia nei 90l/s defluenti dalle opere esistenti, dal momento che la presenza di una sola stazione di misura al portale di Aica non permette di suddividere i contributi delle singole opere.

6.3 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 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 [13], (b) Abschnitt Franzenfeste-Mauls [4].

HYDROGEOLOGISCHER LÄNGSSCHNITT FRANZENFESTE-MAULS [4] // PROFILO IDROGEOLOGICO FORTEZZA-MULES [4]			
		[km Oströhre] [km canna Est]	Wasserdrucke / Carico idraulico
		von / da	bis / a
		[m]	
Cunicolo Esplorativo in asse con le Gallerie di Linea		49+081	49+750
		49+750	49+850
		49+850	49+970
		49+970	50+030
		50+030	50+450
		50+450	50+560
		50+560	51+285
		51+285	51+420
		51+420	51+560
		51+560	51+850
		51+850	52+010
Cunicolo Esplorativo non in asse con le Gallerie di Linea		52+010	52+100
		52+100	52+205
		52+205	52+360
		52+360	52+520
		52+520	52+680
		52+680	52+740
		52+740	52+950
		52+950	53+055
		53+055	53+210
		53+210	53+235
		53+235	53+310
		53+310	53+390
		53+390	53+450
		53+450	53+520
		53+520	53+800
		53+800	54+090
		54+090	54+320

(b)

Tabella 2: Carichi idraulici: (a) tratta Mules-Brennero [13], (b) tratta Fortezza- Mules [4]

7 EINHEITLICHE GEOMECHANISCHE ZONEN

7.1 ALLGEMEINES

Die Ermittlung einheitlicher geomechanischer Zonen entlang des geplanten Bauwerks erfolgte auf der Grundlage der geomechanischen Berichte der Regelplanung [25] [27] [29], der Ergebnisse der ergänzenden Erkundungsbohrungen, die in diesem Gebiet durchgeführt wurden und der Ergebnisse des Ausbruchs des Erkundungsstollens (Vorauserkundungen, geomechanische Messungen der Ortsbrust). Zur Charakterisierung des Abschnitts der Pustertaler Störung wurden die für das Los Mauls I erstellten ergänzenden Unterlagen [52] und die Ergebnisse des Vortriebsverhaltens des Erkundungsstollens und der Haupttunnel geprüft.

Auch im Abschnitt der Maulser Störung wurde die Charakterisierung nur teilweise anhand der Erkenntnisse aus dem Ausbruch des Erkundungsstollens vorgenommen. Da die gesamte kritische Zone jedoch noch nicht durchörtert wurde, wurden vorsichtige Annahmen dazu formuliert. Der tektonisierte Abschnitt konnte auch nicht anhand der Vorausbohrung S20 umfassend definiert werden.

7.2 KRITERIEN ZUR KENNZEICHNUNG DER ZONEN

Im Allgemeinen wurden in den untersuchten Unterlagen die geomechanischen Zonen über eine Klassifizierung nach stratigraphischen Einheiten auf der Grundlage geologischer Daten ermittelt, die in unterschiedliche Gesteinsarten unterteilt sind (einheitliche geomechanische Basiseinheit). Bei Vorkommen von mehreren Gesteinsarten innerhalb derselben stratigraphischen Einheit erfolgte dies anhand der vorherrschenden Gesteinsart.

Die Bezeichnung der Gesteinsarten umfasst also drei Elemente:

- Tektonische Einheit: z.B. Zentralgneiss
- Lithologische Einheit: Abkürzung je nach vorherrschender Gesteinsart, z.B. Gneis
- Fortlaufende Nummer des Gesteins: z.B. GA1

Dasselbe Kriterium wurde in diesem Fall auch für den Abschnitt angewandt, der nicht Gegenstand der Regelplanung war. Davon ausgenommen wurde der Abschnitt der Maulser Störung, für die folgendes System angewandt wurde: angenommen worden ist:

- Tektonische Einheit: FVM (Maulser Störung)
- Lage: S (Süden), C (Mitte), N (Norden)

7 ZONE GEOMECHANISCHE OMOGENEE

7.1 GENERALITÀ

Per l'individuazione delle zone geomeccaniche omogenee lungo lo sviluppo delle opere in progetto ci si è basati sui contenuti delle relazioni geomeccaniche della Progettazione di Sistema [25] [27] [29], sui risultati delle indagini geognostiche integrative condotte nell'area e sulle risultanze dello scavo del Cunicolo Esplorativo (indagini in avanzamento, rilievi geomeccanici del fronte di scavo). Per la caratterizzazione della tratta della Faglia della Pusteria sono stati analizzati i documenti integrativi redatti nell'ambito del Lotto Mules I [46] e le risultanze del comportamento allo scavo del Cunicolo Esplorativo e delle Gallerie di Linea.

Anche per quanto riguarda la tratta della Faglia della Val di Mules la caratterizzazione deriva parzialmente dalle evidenze ricavate dallo scavo del Cunicolo Esplorativo; dal momento però che non è ancora stata attraversata l'intera area critica, si sono formulate delle ipotesi ritenute ragionevolmente cautelative. Anche il sondaggio in avanzamento S20, infatti, non ha permesso di definire compiutamente la tratta tettonizzata..

7.2 CRITERI DI INDIVIDUAZIONE DELLE ZONE

In linea generale nella documentazione consultata le zone geomeccaniche sono state individuate attraverso la classificazione per unità stratigrafiche sulla base dei dati geologici, suddivise in diversi tipi di ammasso roccioso (unità geomeccanica omogenea di base), in funzione della litologia prevalente in caso della presenza di più tipi litologici all'interno della medesima unità stratigrafica.

La denominazione dei tipi di ammasso roccioso riassume quindi tre elementi:

- Unità tettonica: ad es. ZG - Gneis centrale
- Unità litologica: abbreviazione in funzione della litologia dominante, ad es. G... Gneis
- Numero progressivo dell'ammasso roccioso: ad es. GA1

Il medesimo criterio è stato adottato in questa sede anche per la tratta non oggetto della Progettazione di Sistema; fa eccezione la tratta della Faglia della Val di Mules, per la quale è stato adottato questo sistema:

- Unità tettonica: FVM (Faglia della Val di Mules)
- Posizione: S (Sud), C (Centro), N (Nord)
- Unità litologica: PS (Paragneiss e Scisti), B (Breccia di Faglia), Q (Quarziti), C (Cataclasi), M (Marmi).

- Lithologische Einheit: PS (Paragneiss und Schiefer), B (Störungsbrekzie), Q (Quarzit), C (Kataklasit), M (Marmor).

7.3 GEOMECHANISCHE GRUNDKENNWERTE

Für jede einheitliche geomechanische Zone wurden folgende geomechanische Grundkennwerte zur Parametrisierung definiert, die in den geomechanischen Profilen angeführt sind [79]-[82] e :

Gesteinskennwerte

- Gewicht des intakten Gesteinsnaturlvolumens γ .
- Einaxiale Druckfestigkeit der Matrix σ_{ci} .
- Bruchhüllparameter m_i .
- Deformationsmodul des intakten Gesteins E_i .

Gebirgskennwerte

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

Alle Daten der geomechanischen Profile sind Mittelwerte oder entsprechen der Standardabweichung, die den Dokumenten der Regelplanung entnommen wurden. Insbesondere in jenen Fällen, in denen Unstimmigkeiten zwischen den geomechanischen Berichten [25] [27] [29] und den entsprechenden geomechanischen Profilen [24] [26] [28] festgestellt wurden, wurden die Daten aus den Datenblättern der einzelnen homogenen Zonen in den Berichten verwendet.

Es wird darauf hingewiesen, dass die in den geomechanischen Profilen angegebenen Werte der einaxiale Druckfestigkeit der Gesteinsmatrix (die den geomechanischen Berichten entnommen wurden) sich lediglich auf die einachsigen Druckversuche und auf die Punktlastversuche beziehen, bei denen die Normallast auf die Schieferungsflächen gerichtet wurde, um Werte auszuschließen, die auf bestehende Oberflächenbrüche zurückzuführen sind und nicht den realen Gesteinswiderstand widerspiegeln, da sie von Kriechphänomenen entlang der Flächen beeinflusst sind.

Für einige homogenen Zonen, die bereits im Zuge der Regelplanung ermittelt wurden, wurden die Werte in den geomechanischen Profile mangels Bezugswerte in den Grundlagen von den Verfassern anhand den von den geologischen Daten ableitbaren Informationen geschätzt. Die Schätzwerte wurden auf den geomechnischen Profilen mit * gekennzeichnet.

Für den in der Regelplanung nicht berücksichtigten und nicht zwischen der Pustertaler und der Maulser Störung

7.3 PARAMETRI GEOMECCANICI DI BASE

Per ciascuna zona geomeccanica omogenea sono stati definiti i seguenti parametri geomeccanici di base necessari per la parametrizzazione, riportati nei Profili Geomeccanici [79]-[82]:

Parametri della roccia

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

Parametri dell'ammasso roccioso

- Rock Mass Rating RMR'89
- Geological strength index GSI

Tutti i dati riportati nei profili geomeccanici sono espressi attraverso il valore medio e la deviazione standard, ricavate dai documenti di Progettazione di Sistema; in particolare, nei casi in cui si sono riscontrate incongruenze tra le Relazioni Geomeccaniche [25] [27] [29] e i relativi Profili Geomeccanici [24] [26] [28] sono stati utilizzati i dati ricavati dalle schede di ciascuna zona omogenea riportate nelle relazioni.

Si precisa che i valori di resistenza a compressione monoassiale della matrice rocciosa riportati nei Profili Geomeccanici (valori ricavati dalle Relazioni Geomeccaniche) sono relativi unicamente alle prove di compressione monoassiale e alle prove di carico puntiforme condotte con direzione di applicazione del carico normale alle superfici di scistosità, al fine di escludere valori derivanti da rotture lungo superfici preesistenti, ritenuti non rappresentativi della reale resistenza del materiale roccia in quanto largamente influenzati da fenomeni di scorrimento lungo le superfici stesse.

Per alcune zone omogenee già individuate nella Progettazione di Sistema, in assenza di valori di riferimento nella documentazione di base, i valori indicati nei Profili Geomeccanici sono stati stimati dagli scriventi sulla base delle informazioni desumibili dai dati geologici; i valori stimati sono identificati sui profili geomeccanici con l'indice *.

Per il tratto non coperto dalla Progettazione di Sistema e non compreso nelle tratte Faglia della Val Pusteria - Faglia della

gelegenen Abschnitt wurde eine statistische Analyse der Daten aus den Messungen vor Ort, den Laborproben und den Erhebungen an der Ortsbrust im Erkundungsstollen durchgeführt, wodurch weitere zwei einheitliche geomechanische Zonen im Brixner Granit und eine einheitliche geomechanische Zone im Maulser Tonalit ermittelt werden konnten.

Die RMR'89- und GSI-Mittelwerte der neu ermittelten geomechanischen Zonen und die entsprechende Standardabweichung sind in der folgenden Tabelle angegeben.

Zone / Zona	vorherrschenden Lithologie / Litologia prevalente	RMR	GSI
TM-T-1	Tonalit / Tonaliti	56 ± 5	57 ± 4
GB-G-GA-9	Granit und Granodiorit / Graniti e granodioriti	69 ± 5	73 ± 4
GB-G-GA-10	Granit und Granodiorit / Graniti e granodioriti	66 ± 8	70 ± 5

Tabelle 3: RMR'89 und GSI-Werte der neuen geomechanischen Zonen.

Val di Mules si è proceduto all'analisi statistica dei dati derivanti dalle indagini in sito, dalle prove di laboratorio e dai rilievi del fronte di scavo condotti all'interno del Cunicolo Esplorativo, che ha consentito l'individuazione di ulteriori due zone geomeccaniche omogenee all'interno del Granito di Bressanone e di una zona geomeccanica omogenea all'interno delle Tonaliti di Mules.

I valori medi di RMR'89 e di GSI delle zone geomeccaniche di nuova istituzione e la relativa deviazione standard sono mostrati nella seguente tabella.

Tabella 3: Valori di RMR'89 e GSI delle nuove zone geomeccaniche.

Dieselbe statistische Analyse wurde für die Ergebnisse der Laborversuche durchgeführt, aus denen sich die Mittel- und Standardabweichungswerte der folgenden Tabelle ergaben.

vorherrschenden Lithologie / Litologia prevalente	Zone / Zona	γ [kN/m ³]	σ_{ci} [MPa]	m_i [-]	E_i [GPa]
Tonalit / Tonaliti	TM-T-1	26.8 ± 0.55	61 ± 33	18 ± 2	36 ± 10.0

Tabelle 4: Übersicht der Laboregebnisse der neuen geomechanischen Zonen

Analoga analisi statistica è stata condotta per i risultati delle prove di laboratorio da cui sono stati ottenuti i valori medi e di deviazione standard indicati nella seguente tabella.

Tabella 4: Sintesi dei risultati delle prove di laboratorio per le nuove zone geomeccaniche.

Auch in diesem Fall wurden die nicht vorhandenen Daten von den Verfassern auf der Grundlage der Lithologie und der Daten aus der Literatur geschätzt. Die Schätzwerte sind in den geomechanischen Profilen mit einem * gekennzeichnet.

Für die geomechanischen Zonen GB-G-GA-9 und GB-G-GA-10, für die keine Labordaten vorhanden sind, wurden aufgrund der grundsätzlichen Gesteinsübereinstimmung dieselben Festigkeits- und Verformbarkeitsdaten wie für das Gestein der angrenzenden Zone GB-G-GA-1 angenommen, die bereits bei der Regelplanung ermittelt wurde.

Im Abschnitt der Pustertaler Störung wurden den , im Zuge der Ausführungsplanung des Loses Mauls I [46] [47] [48] neu erstellten Unterlagen vier neue Gebirgsarten eingeführt:

Anche in questo caso per i dati non disponibili è stata condotta una stima dagli scriventi sulla base della litologia e di dati di letteratura; i valori stimati sono indicati con l'indice * nei profili geomeccanici.

Per le zone geomeccaniche GB-G-GA-9 e GB-G-GA-10, per le quali non sono disponibili dati di laboratorio, i parametri di resistenza e deformabilità della roccia sono stati assunti pari a quelli della contigua zona GB-G-GA-1 già istituita in sede di Progettazione di Sistema, in ragione della sostanziale uniformità litologica.

Per la tratta della Faglia della Pusteria, in accordo con i nuovi documenti prodotti nell'ambito del Progetto Esecutivo del Lotto Mules I [46] [47] [48] sono stati introdotti quattro nuovi ammassi rocciosi:

- Damage zone der Störung, Granit (GB - DZ - GA1)
- Core zone der Störung (GB - CZ - GA2 und GB - CZ - GA2-ter)
- Damage zone der Störung, Tonalit (TM - DZ - GA3).

- Damage zone della faglia, in Granito (GB - DZ - GA1)
- Core zone della faglia (GB - CZ - GA2 e GB - CZ - GA2-ter)
- Damage zone della faglia, in Tonalite (TM - DZ - GA3)

Zur Charakterisierung dieser Materialien wurden sowohl die Angaben in den Unterlagen der Ausführungsplanung als auch die Ergebnisse der durchgeführten Back Analysis verwendet [49]. Die so definierten charakteristischen Parameter, die in den geomechanischen Profilen angegeben sind, wurden in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Rock mass	γ	σ_{ci}	m_i	E_i	RMR	GSI
	[kN/m ³]	[MPa]	[-]	[GPa]	[-]	[-]
TM-DZ-GA3	26.0	30.0	25	14.0	45	45
BG-CZ-GA2-ter	26.0	5.0	20	22.5	55	55
GB-CZ-GA2	26.0	5.0	20	22.5	55	55
GB-DZ-GA1	26.0	55.0	30	22.5	45	45

Tabelle 5: Inputparameter (Kennwerte) der Gebirge im Abschnitt der Pustertaler Störung

Per quanto riguarda la caratterizzazione di questi materiali si sono utilizzate sia le indicazioni riportate nei documenti di Progetto Esecutivo citati, sia le risultanze delle back analysis svolte [49]. I parametri caratteristici così definiti, riportati nei profili geomeccanici, sono riassunti nella seguente tabella.

Tabella 5: Parametri di input (valori caratteristici) degli ammassi nella tratta della Faglia della Pusteria.

Für den Abschnitt der Maulser Störung wurden ursprünglich zwei Arten von Inputparametern angewendet [52]:

- Die Parameter, die von der Interpretation des Vortriebsverhaltens bzw. von der Vorausbohrung SAV 7 CC (Gebirge TM-T-TM, FVM-S-PS, FVM-S-B, FVM-C-Q) und
- von denen, die vom geologischen Modell des Störungsabschnittes [50] (Gebirge FVM-N-PS, FVM-N-C, FVM-N-PS, FVM-N-C, FVM-N-M, FVM-N-Q, GA-BCA-GS-10g) abgeleitet wurden.

La tratta della Faglia della Val di Mules, in origine si erano utilizzati due tipi di parametri di input [52]:

- Quelli derivanti dall'interpretazione del comportamento allo scavo e/o dal sondaggio in avanzamento SAV 7 CC (ammassi TM-T-TM, FVM-S-PS, FVM-S-B, FVM-C-Q).
- Quelli ottenuti a partire dal modello geologico della tratta di faglia [50] (ammassi FVM-N-PS, FVM-N-C, FVM-N-PS, FVM-N-C, FVM-N-M, FVM-N-Q, GA-BCA-GS-10g).

Die so definierten charakteristischen Parameter, die in den geomechanischen Profilen vor der Überarbeitung 20 angegeben sind, wurden in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

I parametri caratteristici così definiti, riportati nei profili geomeccanici precedenti alla rev. 20, sono riassunti nella seguente tabella.

Rock mass	γ	σ_{ci}	m_i	E_i	RMR	GSI
	[kN/m ³]	[MPa]	[-]	[GPa]	[-]	[-]
TM-T-TM	27.0	45.0	25	20.0	40	40
FVM-S-PS	27.0	5.0	20	10.8 (long) 21.5 (vert)	51	52
FVM-S-B	27.0	25.0	23	25.0	42	42
FVM-C-Q	27.0	50.0	20	15.0	55	60
FVM-N-PS	27.0	30.0	20	11.0	40	45
FVM-N-C	27.0	5.5	20	6.0	35	40
FVM-N-PS	27.0	30.0	20	11.0	40	45
FVM-N-C	27.0	5.5	20	6.0	35	40
FVM-N-M	27.0	30.0	12	35.0	55	60
FVM-N-Q	27.0	20.0	20	15.0	45	50
GA-BCA-GS-10g	28.0	72.0	16	50.0	50	30

Tabelle 6: Inputparameter (Kennwerte) der Gebirge im Abschnitt der Maulser Störung (vor der Überarbeitung 20).

Tabella 6: Parametri di input (valori caratteristici) degli ammassi nella tratta della Faglia della Val di Mules (prima della rev. 20).

Aufgrund der Erkenntnisse aus dem Ausbruch des Erkundungsstollens, die auf eine grundsätzliche Einheitlichkeit zwischen dem Abschnitt vor und nach dem Gestein FVM-C-Q hindeuten, wurde die Charakterisierung des südlichen Abschnitts (85% FVM-S-PS, 15% FVM-S-B) auch auf den nördlichen Abschnitt ausgedehnt. Der einzige Unterschied besteht in einer Zunahme des Deformationsmoduls des intakten Gesteins des Materials FVM-S-PS (von 10.8 GPa auf 30 GPa). Damit wird berücksichtigt, dass in letzterem die Überdeckungen deutlich höher sind, obgleich die Konvergenz- und Extrusionsmessungen wie erwähnt ein einheitliches Verhalten für den südlichen und nördlichen Abschnitt aufzeigen.

Die Bohrung S20 [20], die ab km 12+385 des Erkundungsstollens durchgeführt wurde, hat gezeigt, dass das Material auf ca. 140m (d.h. bis ca. km 12+525) im Großen und Ganzen dem entspricht, das bis dahin durchörtert wurde. Auf den letzten 10 m (km 12+525 - 12+535 circa) sind die geomechanischen Eigenschaften hingegen besser. Da beim Ausbruch bereits vorher mehrmals abwechselnd tektonisierte Zonen und widerständiges Material durchörtert wurde, wurde die Damage Zone zur Vorsicht bis km 12+600 ausgedehnt. Mangels weiterer Messungen ist diese Entscheidung gezwungenermaßen das Ergebnis einer willkürlichen, wenngleich vernünftigen Annahme. Der Vortrieb über km 12+535 könnte daher auch wesentlich von den getroffenen Annahmen abweichen.

Für die nun erstellten geomechanischen Profile [59] [60] [61] [62] werden für jede ermittelte lithologische oder stratigraphische Einheit (samt Länge und Mindest- und Höchstüberdeckung) die Mittelwerte und die Standardabweichung der geomechanischen Grundkennwerte angegeben. Dabei wird auch die prozentuale Verteilung innerhalb der entsprechenden lithologischen oder stratigraphischen Einheit dargestellt. Davon ausgenommen sind die oben genannten Abschnitte der Pustertaler und Maulser Störung, für die die Kennwerte der Parameter angesichts der geringen Ausdehnung der einzelnen Gebirge auf den Profilen angegeben sind.

Außerdem sind die Beständigkeitswerte des Gebirges nach dem Mohr-Coulomb'schen Bruchkriterium angegeben sowie die Verformbarkeitswerte der Gesteine, die wie im Kapitel 9 beschrieben erhoben wurden.

Aus den geomechanischen Profilen der Regelplanung geht die räumliche Position der verschiedenen Gesteine innerhalb der lithologischen Einheiten nicht eindeutig hervor.

In seguito alle evidenze dello scavo del Cunicolo Esplorativo, che ha mostrato una sostanziale uniformità tra le tratte precedente e successiva all'ammasso FVM-C-Q, la caratterizzazione della tratta sud (85% FVM-S-PS, 15% FVM-S-B) è stata estesa anche alla tratta nord. L'unica differenza consiste nell'aumento del modulo di deformazione della roccia intatta del materiale FVM-S-PS, (portato da 10.8 GPa a 30 GPa) per tenere conto del fatto che nonostante le misure di convergenze e estrusione mostrino, come detto, un'uniformità di comportamento tra zone sud e nord, in quest'ultima tratta le coperture sono sensibilmente superiori.

Il sondaggio S20 [20], realizzato a partire dalla progressiva km 12+385 del Cunicolo Esplorativo, ha mostrato per circa 140m (cioè fino al km 12+525 circa) la presenza di materiale sostanzialmente analogo a quello fino ad allora attraversato; gli ultimi 10m (km 12+525 - 12+535 circa) presentano invece caratteristiche geomeccaniche migliori. Dal momento che anche in precedenza lo scavo ha attraversato più volte un'alternanza tra zone tettonizzate e materiali più resistenti, si è ritenuto cautelativo estendere la zona danneggiata fino alla progressiva km 12+600. Si evidenzia tuttavia che, in mancanza di ulteriori indagini, questa scelta è necessariamente frutto di un'ipotesi arbitraria, per quanto ragionevole; l'avanzamento oltre km 12+535 potrebbe quindi discostarsi anche significativamente da quanto ipotizzato.

Nei Profilo Geomeccanici prodotti in questa sede [79] [80] [81] [82] si riportano, per ciascuna unità litologica o stratigrafica individuata (della quale si definiscono lunghezza copertura minima e massima), i valori medi e la deviazione standard dei parametri geomeccanici di base di ciascun tipo di ammasso roccioso, indicandone la distribuzione percentuale all'interno dell'unità litologica o stratigrafica di appartenenza. Fanno eccezione le tratte sopra menzionate della Faglia della Pusteria e della Faglia della Val di Mules, per le quali, vista la limitata estensione dei singoli ammassi, si sono indicati sui profili i valori caratteristici dei parametri.

Sono inoltre riportati i parametri di resistenza dell'ammasso secondo il criterio di rottura di Mohr-Coulomb e i parametri di deformabilità dell'ammasso, ricavati secondo quanto indicato nel Capitolo 9.

Si evidenzia che dai Profili Geomeccanici della Progettazione di Sistema non appare chiara la posizione spaziale dei diversi ammassi all'interno delle unità

7.4 DRUCKBEIWERTE IM RUHEZUSTAND

Das Verhältnis zwischen dem lithostatischen und dem horizontalen Druck wurde anhand der Profile [24] [26] [28] ermittelt. Die Bedeutung der verwendeten Symbole ist folgende

- σ_v = vertikale Spannung
- σ_H = höhere horizontale Spannung ($\sigma_H \geq \sigma_v \geq \sigma_h$)
- σ_h = geringere horizontale Spannung ($\sigma_H \geq \sigma_v \geq \sigma_h$)
- σ_{hT} = horizontale Spannung in orthogonaler Richtung zum Verlauf der Haupttunnel

Abschnitt Mauls - Brenner

In diesem Abschnitt zeigt das Profil [28] die Richtungen der horizontalen Spannungen und der Druckbeiwert im Ruhezustand K_0 in verschiedenen Zonen (km der Oströhre).

Richtung der horizontalen Spannungen

Im gesamten Abschnitt zwischen km 47,0 und km 32,0 ist die Richtung der höheren horizontalen Spannung σ_H mit hoher Wahrscheinlichkeit NWN-SOS.

Druckbeiwert im Ruhezustand

Aus der Interpretation der Ellipsoiden der Drücke an km 41,0 und km 33,5 ca. müsste sich der im zweiten Teil von Zeile 22 des Profils angegebene Druckbeiwert (unter dem Spannungswert in Mpa) auf die Richtung beziehen, die senkrecht zur Haupttunnelachse verläuft. Die Werte für die verschiedenen Zonen sind:

- km 42,8 - 47,0: $K_0(\sigma_{hT}/\sigma_v) = 0,8 - 1,2$
- km 41,0 - 42,8: $K_0(\sigma_{hT}/\sigma_v) = 0,7 - 0,9$. Für km 41,0 sind die Ergebnisse von zwei Proben an der Bohrung Vi-b-12/11s verfügbar, aus denen sich Folgendes ergibt: $K_0(\sigma_H/\sigma_v) = 1,2 - 1,5$, $K_0(\sigma_h/\sigma_v) = 0,6 - 0,7$
- km 39,0 - 41,0: $K_0(\sigma_{hT}/\sigma_v) = 0,8 - 1,3$
- km 37,3 - 39,0: $K_0(\sigma_{hT}/\sigma_v) = 0,8 - 1,1$
- km 36,3 - 37,3: $K_0(\sigma_{hT}/\sigma_v) = 0,8 - 1,3$
- km 32,0 - 36,3: $K_0(\sigma_{hT}/\sigma_v) = 0,5 - 0,8$. Für km 33,5 sind die Ergebnisse von zwei Proben an der Bohrung Gr-b-12/11s verfügbar, aus denen sich Folgendes ergibt: $K_0(\sigma_H/\sigma_v) = 0,6 - 1,3$, $K_0(\sigma_h/\sigma_v) = 0,5 - 0,7$

Abschnitt der ehemaligen MFS Trems

Im Profil [26] ist NWN-SOS als Richtung der höheren horizontalen Spannung σ_H angegeben. Außerdem sind die

litologische.

7.4 COEFFICIENTI DI SPINTA A RIPOSO

Per quanto riguarda il rapporto tra il carico litostatico e le spinte orizzontali, ci si è basati sui profili [24] [26] [28]; il significato dei simboli adottati è il seguente:

- σ_v = tensione verticale
- σ_H = tensione orizzontale maggiore ($\sigma_H \geq \sigma_v \geq \sigma_h$)
- σ_h = tensione orizzontale minore ($\sigma_H \geq \sigma_v \geq \sigma_h$)
- σ_{hT} = tensione orizzontale in direzione ortogonale all'asse delle Gallerie di Linea

Tratta Mules-Brennero

Nella tratta in oggetto il profilo [28] indica le direzioni delle tensioni orizzontali e i coefficienti di spinta a riposo K_0 in diverse zone (progressive canna Est).

Direzione delle tensioni orizzontali

In tutta la tratta compresa tra km 47,0 e km 32,0 la direzione della tensione orizzontale maggiore σ_H risulta essere con buona approssimazione NWN-SES.

Coefficiente di spinta a riposo

Dall'interpretazione degli ellissoidi degli sforzi alle progressive km 41,0 e km 33,5 circa, il coefficiente di spinta a riposo indicato nella seconda parte della riga n. 22 del profilo (dopo il valore di tensione orizzontale in MPa) dovrebbe essere riferito alla direzione perpendicolare all'asse delle gallerie; i valori riportati per le diverse zone sono:

- km 42,8 - 47,0: $K_0(\sigma_{hT}/\sigma_v) = 0,8 - 1,2$
- km 41,0 - 42,8: $K_0(\sigma_{hT}/\sigma_v) = 0,7 - 0,9$. Al km 41,0 circa sono disponibili i risultati di due prove effettuate nel sondaggio Vi-b-12/11s, dalle quali risulta $K_0(\sigma_H/\sigma_v) = 1,2 - 1,5$, $K_0(\sigma_h/\sigma_v) = 0,6 - 0,7$
- km 39,0 - 41,0: $K_0(\sigma_{hT}/\sigma_v) = 0,8 - 1,3$
- km 37,3 - 39,0: $K_0(\sigma_{hT}/\sigma_v) = 0,8 - 1,1$
- km 36,3 - 37,3: $K_0(\sigma_{hT}/\sigma_v) = 0,8 - 1,3$
- km 32,0 - 36,3: $K_0(\sigma_{hT}/\sigma_v) = 0,5 - 0,8$. Al km 33,5 circa sono disponibili i risultati di due prove effettuate nel sondaggio Gr-b-09/11s, dalle quali risulta $K_0(\sigma_H/\sigma_v) = 0,6 - 1,3$, $K_0(\sigma_h/\sigma_v) = 0,5 - 0,7$

Tratta ex PMF Trems

Nel profilo [26] si individua NWN-SES come direzione della tensione orizzontale maggiore σ_H . Sono inoltre indicati i due valori di coefficiente di spinta a riposo K_0 , pari rispettivamente a 0,8 e 1,0, che per analogia a quanto

beiden Werte des Druckbeiwerts im Ruhezustand K_0 von jeweils 0,8 und 1,0 angegeben, die wie für den Abschnitt Muls-Brenner als lotrecht zur Tunnelachse gelten.

Abschnitt Franzensfeste-Muls

Obgleich keine repräsentativen Hydrofrac-Tests geht aus dem Profil [24] N-S/NW-SO als Richtung der höheren Horizontalspannung σ_H hervor. . Außerdem sind die beiden Werte des Druckbeiwerts im Ruhezustand K_0 von jeweils 0,8 und 1,2 angegeben, die wie für den Abschnitt Muls-Brenner als lotrecht zur Tunnelachse gelten.

Im gesamten Abschnitt, der Gegenstand dieses Berichtes ist, liegt die Richtung der Haupttunnel zwischen N-S und NWN-SOS; Im allgemeinen verläuft die höhere Horizontalspannung circa parallel zu den beiden Tunnelröhren, während die geringere Horizontalspannung ungefähr in lotrechter Richtung zu den Tunnelröhren verläuft. In Anbetracht der oben genannten Überlegungen wird bei den Berechnungen der Ausbruchquerschnitte und der Innen- und Außenschale vorsichtshalber ein Druckbeiwert im Ruhezustand K_0 annehmen, der überall gleich 0,75 ist.

riscontrato nella tratta Muls-Brennero si intendono in direzione perpendicolare all'asse delle gallerie.

Tratta Fortezza-Muls

Nonostante l'assenza di prove di fratturazione idraulica rappresentative, nel profilo [24] si individua N-S / NW-SE come direzione della tensione orizzontale maggiore σ_H . Sono inoltre indicati i due valori di coefficiente di spinta a riposo K_0 , pari rispettivamente a 0.8 e 1.2, che per analogia a quanto riscontrato nella tratta Muls-Brennero si intendono in direzione perpendicolare all'asse delle gallerie.

In tutta la tratta oggetto della presente relazione la direzione delle Gallerie di Linea è compresa tra N-S e NWN-SES; In generale, la tensione orizzontale maggiore risulta quindi all'incirca parallela alle due canne, mentre la tensione orizzontale minore si sviluppa approssimativamente in direzione perpendicolare alle canne stesse. Viste le considerazioni sopra esposte, nei dimensionamenti degli interventi di stabilizzazione e dei rivestimenti si assumerà cautelativamente un coefficiente di spinta a riposo K_0 pari a 0.75 ovunque.

8 STÖRZONEN

8.1 ALLGEMEINES

Die geomechanischen Profile [79] [80] [81] [82] enthalten die geologischen Grundlagendaten der Störzonen, die der Regelplanung entnommen wurden, und umfassen insbesondere:

- die fortlaufende Nummer der Störung;
- die Bezeichnung der Störung;
- die Lage der Störung und den entsprechenden Unsicherheitsgrad;
- die reale und scheinbare Mächtigkeit der Störung parallel zum Bauwerk.
- das Gesteinsverhalten in der Störzone.
- das prozentuale Verhältnis zwischen der Ausdehnung der Core Zone und der Damage Zone.

Diesbezüglich wird darauf hingewiesen, dass im Zuge der Regelplanung die Störzonen in eine CORE ZONE (CZ) und eine DAMAGE ZONE (DZ) unterteilt wurden. Erstere war dem höchsten Verformungsgrad ausgesetzt und setzt sich aus Störungsgestein zusammen, letztere umfasst hingegen das Gestein, das an der sehr brüchigen Hauptstörung anliegt.

In der Core Zone sind laut Regelplanung folgende Gesteinsarten zu erwarten:

- **Fault gouge:** häufig geschiefertes bindig-kohäsives Gesteinszerreißel. Kohäsion primär durch intergranuläre Haftung im Feinkornbereich; Isotropes Verhalten des Materials.
- **Kakirit:** Granuläres Gesteinszerreißel ohne Haftung, bestehend aus Sand und Kies.
- **Kataklasit:** durch Zementierung konsolidiertes Störungsgestein.

In der Damage Zone sind laut Regelplanung folgende Gesteinsarten zu erwarten:

- **Zerrüttungszone:** Gebirge mit sehr hoher Trennflächendichte und schieferungsparalleler Entfestigung sowie diffuses Auftreten von Harnischflächen.
- **Zunahme der Trennflächendichte:** Gebirge mit

8 ZONE DI FAGLIA

8.1 GENERALITÀ

Nei profili geomeccanici [79] [80] [81] [82] sono stati riportati i dati geologici di base relativi alle zone di faglia desunti dalla Progettazione di Sistema e rappresentati in particolare da:

- Numero progressivo della faglia.
- Denominazione della faglia.
- Giacitura del piano di faglia e relativo grado di incertezza.
- Spessore reale e spessore apparente in asse opera.
- Tipo di comportamento dell'ammasso nella zona in faglia.
- Rapporto percentuale tra l'ampiezza della zona centrale (Core Zone) e quella della zona fratturata perimetrale (Damage Zone).

In merito a quest'ultimo aspetto si evidenzia che nella Progettazione di Sistema le zone di faglia sono state suddivise in una CORE ZONE (CZ, zona centrale), che rappresenta la porzione che ha subito il maggior grado di deformazione costituita da rocce di faglia, e in una DAMAGE ZONE (DZ, zona di danneggiamento), costituita dalla porzione di ammasso roccioso limitrofa alla faglia principale caratterizzata da un intenso grado di fratturazione.

Nell'ambito della zona centrale di faglia (Core Zone) la Progettazione di Sistema prevede la possibile presenza dei seguenti tipi di roccia:

- **Fault gouge:** roccia frantumata di natura coesiva a grana fine, frequentemente scistosa, con coesione dovuta all'aderenza intergranulare del materiale fine; comportamento isotropo del materiale.
- **Cachirite:** roccia frantumata di natura granulare, priva di coesione, composta da sabbia e ghiaia.
- **Cataclasite:** roccia di faglia consolidata per cementazione.

Nell'ambito della zona perimetrale fratturata (Damage Zone) la Progettazione di Sistema individua la possibile presenza dei seguenti tipi di roccia:

- **Zona ad elevata fratturazione:** ammasso roccioso con frequenza di discontinuità molto elevata, caratterizzato da detensionamento parallelo alla scistosità e dalla diffusa presenza di specchi di faglia.

hoher Trennflächendichte und Harnischflächen.

Zusätzlich zu den einzelnen ermittelten Störzonen, für die auch der Abschnitt angegeben wird, in dem diese entsprechend dem Unsicherheitsgrad der geologischen Prognose auftreten können, umfassen die geologischen Profile auch die Abschnitte, in denen weitere Störzonen vorkommen können, die jedoch nicht eindeutig auf Tunnelniveau prognostizierbar sind.

Für den Abschnitt Franzensfeste-Mauls, der bereits beim Ausbruch des Erkundungsstollens durchquert wurde, zeigen die geomechanischen Profile zudem die Verteilung von stark brüchigen Zonen, die bei den Ausbruchsmessungen erhoben wurden.

Zur Klassifizierung des Gebirgsverhaltens in der Störzone wird in den geomechanischen Profilen die bereits in den Unterlagen der Regelplanung enthaltene Klassifizierung übernommen. Für jede einzelne Störzone wird das angenommene Gebirgsverhalten je nach Gebirgsverhaltenstyp (GVT) angegeben:

- GVT 3: Auflockerung am Ausbruchsrund und Ablösung zahlreiche einzelner Blöcke.
- GVT 4.1: Druckhaftes Gebirge.
- GVT 4.2: Stark druckhaftes Gestein.
- GVT 8: Rolliges Gebirge mit reichlichen Katakrit-Vorkommen.
- GVT 9: Fließendes Gebirge mit möglichen Ausschwemmphänomenen bei starken Wasserzutritten.

8.2 KRITERIEN ZUR GEOMECHANISCHEN CHARAKTERISIERUNG DER STÖRZONEN

In den geomechanischen Profilen [79] [80] [81] [82] ist für jede einzelne Störung ein Set von Richtwerten angegeben, von denen angenommen wird, dass sie für die Beständigkeit und Verformbarkeit der Gesteine in diesen Bereichen repräsentativ sind. Es sind die folgenden Kennwerte angeführt, wobei zwischen CZ und DZ unterschieden wird:

- Scherfestigkeitswinkel.
- Kohäsion.
- Verformungsmodul.
- Dilatanzwinkel.

Sowohl für den Scherfestigkeitswinkel als auch für die Kohäsion ist nur ein einziger Wert angegeben, da in den Störzonen (die bereits in der Vergangenheit bedeutenden

- **Aumento della frequenza delle discontinuità:** ammasso roccioso con elevata frequenza di discontinuità e presenza di specchi di faglia.

Oltre alle zone di faglia singolarmente individuate, per le quali sono indicati anche i tratti in cui è possibile il rinvenimento delle stesse in relazione al grado di incertezza della previsione geologica, sui Profili Geomeccanici si riportano anche le tratte in cui è possibile il rinvenimento di ulteriori zone di faglia non precisamente proiettabili a quota galleria.

Per il tratto Fortezza - Mules, già attraversato dallo scavo del Cunicolo Esplorativo, i Profili Geomeccanici riportano inoltre la distribuzione delle zone altamente fratturate derivante dal monitoraggio delle attività di scavo.

Per quanto riguarda il comportamento dell'ammasso nella zona di faglia, i Profili Geomeccanici prodotti riprendono la classificazione già contenuta nei documenti di Progettazione di Sistema, dove per ciascuna zona di faglia viene indicato il prevedibile comportamento (TCR) distinto nei seguenti tipi:

- TCR 3: Detensionamento al contorno del cavo e molteplici distacchi di singoli blocchi.
- TCR 4.1: Ammasso spingente.
- TCR 4.2: Ammasso fortemente spingente.
- TCR 8: Ammasso incoerente con presenza di abbondante materiale cachiritico.
- TCR 9: Ammasso a comportamento plastico generale con possibili fenomeni di dilavamento in caso di forti venute idriche.

8.2 CRITERI DI CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DELLE ZONE DI FAGLIA

Nei profili geomeccanici [79] [80] [81] [82] si riporta indicativamente, per ciascuna faglia, un set di parametri ritenuti ragionevolmente rappresentativi della resistenza e della deformabilità dell'ammasso in queste zone. Sono indicati i seguenti parametri, distinti tra CZ e DZ:

- Angolo di resistenza al taglio.
- Coesione.
- Modulo di deformabilità.
- Dilatanza.

Sia per l'angolo di resistenza al taglio sia per la coesione si è indicato un unico valore, dal momento che nelle zone di faglia (che hanno già subito importanti deformazioni in

Verformungen ausgesetzt waren) Restkennwerte angenommen werden können, die den Spitzenkennwerten entsprechen. Aus demselben Grund beträgt der Dilatanzwinkel stets Null, entsprechend den Ausführungen im Kapitel 9.1.6.

Der Ermittlung der genannten Kennwerte erfolgte anhand des nachfolgend beschriebenen Verfahrens:

- Ermittlung des Gesteins, durch das sich die Störzone zieht und Auswahl der charakteristischen geomechanischen Inputparameter
- Falls das Gestein, durch das sich die Störzone zieht, nicht genau ermittelt werden kann oder die Störzone zwei Gesteine trennt, wurden vorsichtshalber die Kennwerte angenommen, die mit dem schlechteren Gestein assoziiert werden.
- Auswahl der Index-Kennwerte des Gesteins, das mit der Störzone in Verbindung gebracht wird. Generell wurden folgende Kennwerte angenommen:
 - DZ: es wurde GSI=30 angenommen, d.h. ein Gestein mit schlechten bis sehr schlechten Eigenschaften und einem mittleren Zerlegungsgrad.
 - CZ: es wurde GSI=20 angenommen, d.h. ein Gestein mit schlechten bis sehr schlechten Eigenschaften mit einem mittleren bis hohen Zerlegungsgrad.
- Sollten die GSI-Werte des angenommenen Gesteins bereits ähnlich den oben genannten sein, wurden jene des Gesteins verwendet.
- Berechnung der Verformbarkeit und der Beständigkeit über das im Kapitel 9 beschriebene Bruchkriterium nach Hoek und Braun.

Die genannten GSI-Werte (30 für DZ, 20 für CZ) sind konservativ, da sie Bedingungen darstellen, die nicht oft den realen Gegebenheiten während des Ausbruchs entsprechen. Zum Beispiel wird im bereits durchörterten Erkundungsstollenabschnitt das Gestein GB-G-GA4 (ca. km 51.5 -51.7 Oströhre) durch zahlreiche Störzonen durchquert, und zwar bis ungefähr zur Hälfte seiner Ausdehnung; Dennoch wird für diesen Abschnitt ein durchschnittlicher GSI-Wert von 57 angegeben.

Die so erhaltenen Kennwerte der Beständigkeit und Verformbarkeit wurden nicht immer bei den Berechnungen zur Dimensionierung der Ausbruchquerschnitte und der Innenschalen berücksichtigt. Tatsächlich ist die Ausdehnung der CZ so begrenzt (höchstens 10-12m, mit Ausnahme der Störung S11, für die Sondermaßnahmen geplant sind; insgesamt entsprechen die CZ ungefähr 450m der 22 Projektkilometer), dass es für zu konservativ erachtet wurde,

passato) si possono assumere parametri residui coincidenti con quelli di picco. Per lo stesso motivo, la dilatanza risulta sempre pari a zero, in accordo con quanto discusso nel Capitolo 9.1.6.

La determinazione dei parametri sopra indicata è stata effettuata secondo la procedura descritta nel seguito:

- Identificazione dell'ammasso in cui ricade la faglia e scelta dei parametri geomeccanici caratteristici di input.
- Nel caso non fosse possibile identificare esattamente l'ammasso in cui ricade la faglia, o nel caso in cui la faglia separi due ammassi, si sono cautelativamente assunti i parametri associati all'ammasso peggiore.
- Scelta dei parametri indice dell'ammasso da associare alla faglia; in generale si sono adottati questi valori:
 - DZ: si è utilizzato GSI=30, corrispondente alle condizioni di un ammasso di caratteristiche da scadenti a molto scadenti con un grado di fratturazione medio.
 - CZ: si è utilizzato GSI=20, corrispondente alle condizioni di un ammasso di caratteristiche da scadenti a molto scadenti con un grado di fratturazione da medio a elevato.
- Nel caso in cui l'ammasso considerato avesse già valori di GSI prossimi a quelli sopra indicati, sono stati utilizzati quelli dell'ammasso.
- Calcolo dei parametri di deformabilità e di resistenza, mediante il criterio di rottura di Hoek & Brown descritto nel Capitolo 9.

I valori di GSI sopra indicati (30 per DZ, 20 per CZ) sono da ritenersi cautelativi, in quanto corrispondenti a condizioni che spesso non trovano riscontro nelle evidenze ottenute dallo scavo. Ad esempio, nella tratta già attraversata dal Cunicolo Esplorativo l'ammasso GB-G-GA4 (km 51.5 - 51.7 circa canna Est) risulta attraversato da numerose faglie, che ne interessano circa la metà dell'estensione; ciononostante, per questo ammasso si indica un valore medio di GSI pari a 57.

I parametri di resistenza e di deformabilità così ottenuti non sono sempre stati usati nei calcoli svolti per il dimensionamento delle sezioni di scavo e dei rivestimenti definitivi. Infatti le CZ hanno estensioni talmente limitate (al massimo 10-12m, a eccezione della faglia S11 per la quale sono previsti interventi speciali; in totale le CZ interessano circa 450m dei 22km circa in progetto) che si è ritenuto eccessivamente cautelativo dimensionare una sezione

eigens für diese Zonen einen Ausbruchsquerschnitt zu dimensionieren; die Durchquerung dieser Abschnitte kann durch eine allfällige Steigerung der Maßnahmen effizienter erfolgen, die anhand der Ergebnisse des Beweissicherungssystems im Rahmen des Risikomanagementsystems definiert werden.

Was hingegen die DZ anbelangt, würde eine eigene Berechnung in diesen Zonen aufgrund der spezifischen Bedingungen zahlreicher Störzonen entlang der Trasse (geringe Mächtigkeit bei einer hohen Überlagerung) detaillierte Annahmen über die Verteilung der lithostatischen Spannungen im Gestein um den zerscherten Bereich erfordern. Daher wurden diese Zonen bei der Dimensionierung der Ausbruchquerschnitte insofern berücksichtigt, als für das Gestein die Mindestkennwerte für die entsprechende geomechanische Klasse angenommen wurden.

Davon ausgenommen sind die Störzonen SVM07, SVM04, SVM03, ESP-f11770 und PS01, die südlich der Malsertalstörung und der Pustertalstörung gelegen sind. Für diese Störzonen wurden die Beständigkeits- und Verformbarkeitswerte der Gebirge FVM-S-PS (Störungen SVM07, SVM04, SVM03, ESP-f11770) und GB-CZ-G2/G2ter (Störung PS01) angenommen, da diese mit den Abschnitten in der Störzone übereinstimmen und über eine Backanalysis charakterisiert wurden.

apposita per queste zone; l'attraversamento di tali tratte è gestito in modo più efficiente attraverso eventuali incrementi degli interventi, definiti in base alle risultanze del sistema di monitoraggio, nell'ambito del sistema di gestione del rischio.

Per quanto riguarda invece le DZ, a causa delle specifiche condizioni di molte faglie lungo il tracciato (spessori ridotti associati a coperture molto elevate) svolgere un calcolo apposito in queste zone richiederebbe la formulazione di ipotesi dettagliate sulla redistribuzione delle tensioni litostatiche all'interno dell'ammasso nei dintorni dell'area tettonizzata; in generale si è quindi tenuto conto di queste zone nel dimensionamento delle Sezioni di Scavo adottando per ammasso i parametri riferiti al minimo della classe geomeccanica corrispondente.

Fano eccezione a quanto sopra indicato le faglie SVM07, SVM04, SVM03, ESP-f11770 e PS01, posizionate nella parte sud della Faglia della Val di Mules e della Faglia della Pusteria; per queste faglie si sono adottati i parametri di resistenza e di deformabilità degli ammassi FVM-S-PS (faglie SVM07, SVM04, SVM03, ESP-f11770) e GB-CZ-GA2/G2ter (faglia PS01), in quanto questi ammassi coincidono con le tratte in faglia e sono stati caratterizzati mediante back-analysis.

9 KRITERIEN FÜR DIE BERECHNUNG DER GEBIRGSKENNWERTE

9.1 HOEK-BROWN-BRUCHKRITERIUM

9.1.1 Generalisiertes Bruchkriterium

Die in der Analyse angewandten Festigkeits- und Verformungskennwerte des Gebirges wurden nach dem Bruchkriterium nach Hoek & Brown [13] ermittelt, das sich in folgender Relation ausgedrückt:

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_{ci} \cdot \left[\left(m_b \cdot \frac{\sigma_3'}{\sigma_{ci}} \right) + s \right]^a$$

Dabei entspricht:

- σ_1' der Hauptbelastung
- σ_3' der Hauptbelastung
- σ_{ci} der einaxialen Druckfestigkeit der Matrix
- m_b , s und a den Krümmungsparametern der Hülle, die von der Gesteinsart und der Klüftigkeit des Gebirges abhängen.

Die Werte der Indizes m_b , s und a , die die Festigkeit des Gebirges bei Höchstbeanspruchung beschreiben, wurden entsprechend der nachfolgenden Relationen ermittelt:

$$m_b = m_i \cdot \exp \left[\frac{GSI - 100}{28 - 14 \cdot D} \right]$$

$$s = \exp \left[\frac{GSI - 100}{9 - 3 \cdot D} \right]$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \cdot (e^{-GSI/15} - e^{-20/3})$$

Dabei entspricht:

- GSI dem Geological Strength Index [13]
- m_i einem Krümmungsparameter des triaxialen Hüllbruchs des Gesteins
- D dem Störfaktor, dem das Gebirge aufgrund der Vortriebmethode und der Gebirgsspannung vor Ort ausgesetzt ist.

9.1.2 Linearisierung des Bruchkriteriums

In Anbetracht der nichtlinearen Bruchhüllen wurden diese innerhalb des Bezugsspannungsfeldes berichtigt, indem über folgende Gleichungen die Winkelwerte der Scherfestigkeit und der Kohäsion je Beanspruchungsgrad ermittelt wurden:

9 CRITERI DI CALCOLO DEI PARAMETRI DI AMMASSO

9.1 CRITERIO DI ROTTURA DI HOEK & BROWN

9.1.1 Criterio di rottura generalizzato

I parametri di resistenza e deformabilità degli ammassi utilizzati nelle analisi sono stati determinati secondo il criterio di rottura di Hoek & Brown [76], espresso dalla relazione:

dove:

- σ_1' è lo sforzo principale maggiore.
- σ_3' è lo sforzo principale minore.
- σ_{ci} è la resistenza a compressione monoassiale di matrice.
- m_b , s e a sono parametri di curvatura dell'involuppo, dipendenti dalla natura litologica e dallo stato di fratturazione dell'ammasso roccioso.

I valori degli indici m_b , s e a che descrivono la resistenza dell'ammasso roccioso in condizioni di picco, sono stati ricavati secondo le espressioni seguenti:

dove:

- GSI è il *Geological Strength Index* [76].
- m_i è un parametro di curvatura dell'involuppo di rottura triassiale del materiale roccia.
- D è il fattore di disturbo cui è soggetto l'ammasso roccioso in relazione alla metodologia di scavo e agli stati tensionali presenti in sito.

9.1.2 Linearizzazione del criterio di rottura

Considerando la non linearità degli involuppi di rottura, essi sono stati rettificati all'interno del campo tensionale di riferimento, determinando attraverso le seguenti equazioni i valori di angolo di resistenza al taglio e di coesione in funzione del livello di sollecitazione agente:

$$\varphi' = \sin^{-1} \left[\frac{6am_b(s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}}{2(1+a)(2+a) + 6am_b(s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}} \right]$$

$$c' = \frac{\sigma_{ci}[(1+2a)s + (1-a)m_b\sigma'_{3n}](s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1}}{(1+a)(2+a)\sqrt{1 + (6am_b(s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1})/((1+a)(2+a))}}$$

$$\sigma'_{3n} = \frac{\sigma'_{3max}}{\sigma_{ci}}$$

Im vorliegenden Falle von tiefen Tunnels wird der Wert σ'_{3max} , der für das Bezugspannungsfeld repräsentativ ist, anhand folgender Gleichung definiert:

Nel caso in esame, relativo a gallerie profonde, il valore di σ'_{3max} rappresentativo del campo tensionale di riferimento è definibile sulla base della seguente equazione:

$$\sigma'_{3max} = 0.47\sigma_{cm} \left(\frac{\sigma'_{cm}}{\gamma H} \right)^{-0.94}$$

Dabei entspricht:

- γ dem Gewicht des natürlichen Volumens des Gebirges
- H der Mächtigkeit der Überlagerung oder der Ausbruchshöhe
- σ'_{cm} der nachfolgend definierten Gebirgsfestigkeit

in cui:

- γ è il peso di volume naturale dell'ammasso roccioso
- H è lo spessore di ricoprimento o l'altezza di scavo
- σ'_{cm} è la resistenza globale d'ammasso, definita nel seguito

9.1.3 Gebirgsfestigkeit

Die einaxiale Druckfestigkeit erhält man, indem in der Gleichung der Stoffbeziehung $\sigma_3=0$ zugewiesen wird.

$$\sigma_c = \sigma_{ci} \cdot s^a$$

Diese Festigkeit stellt den Beanspruchungswert dar, der den Prozess der Ausbreitung der Klüfte im Gebirge einleitet; für die globale Festigkeit, deren Überschreitung den Zusammenbruch des Gebirges bedingt, schlagen Hoek et al. [13] folgenden Ausdruck vor:

9.1.3 Resistenze di ammasso

La resistenza a compressione monoassiale si ottiene assegnando $\sigma_3=0$ nell'equazione del legame costitutivo:

Questa resistenza rappresenta il valore di sforzo per il quale ha inizio il processo di propagazione delle fratture nell'ammasso roccioso; per la resistenza globale, il cui superamento comporta il collasso dell'ammasso stesso, Hoek et al. [76] propongono la seguente espressione:

$$\sigma'_{cm} = \frac{2 \cdot c' \cdot \cos \varphi'}{1 - \sin \varphi'}$$

Aus diesem ergibt sich:

da cui:

$$\sigma'_{cm} = \sigma_{ci} \cdot \frac{[m_b + 4 \cdot s - a \cdot (m_b - 8 \cdot s) \cdot (m_b/4 + s)^{a-1}]}{2 \cdot (1+a) \cdot (2+a)}$$

Die Zugfestigkeit wurde hingegen festgelegt, indem in der Gleichung der Stoffbeziehung Folgendes bestimmt wurde: $\sigma_1' = \sigma_3' = \sigma_t$

La resistenza a trazione è invece stata determinata imponendo $\sigma_1' = \sigma_3' = \sigma_t$ nell'equazione del legame costitutivo:

$$\sigma_t = -s \cdot \frac{\sigma_{ci}}{m_b}$$

Diese Bedingung entspricht der zweiaxialen Zugfestigkeit; Hoek et al. [13] haben nachgewiesen, dass bei zerbrechlichem Material die einaxiale Dehnfestigkeit mit der zweiaxialen übereinstimmt.

9.1.4 Modul der Gebirgsverformbarkeit

Schließlich wurde der Modulwert der Gebirgsverformbarkeit ermittelt [14]:

$$E_m = E_i \cdot \left(0.02 + \frac{1 - D/2}{1 + e^{(60+15 \cdot D - GSI)/11}} \right)$$

Dabei entspricht E_i dem Verformungsmodul der Matrix.

9.1.5 Festigkeitskennwerte nach der Höchstbeanspruchung

Die oben angegebenen Gleichungen wurden auch für die Berechnung der Festigkeitskennwerte nach der Höchstbeanspruchung verwendet. Dabei wurden jedoch die Koeffizienten m_b , s und a verwendet, die mit einem geringeren GSI-Wert [15] erzielt wurden.

9.1.6 Dilatanzwinkel

Der Dilatanzwinkel wurde auf Grundlage der Festlegungen von Rowe [9] für granuläre Böden sowie nach der Prüfung der Gleichgewichtsbedingungen einer Gesamtheit von unverformbaren kugelförmigen Partikeln definiert. Nach diesem Ansatz ist die Differenz in der Scherfestigkeit zwischen Spitzen- und Nach-Spitzen-Bedingungen die Funktion der Differenz zwischen den verschiedenen Scherfestigkeitswinkeln:

$$\psi = \varphi'_p - \varphi'_{res}$$

Dabei entspricht ψ dem Dilatanzwinkel, während φ'_p und φ'_{res} jeweils dem Scherfestigkeitswinkel zum Spitzenwert und nach dem Spitzenwert entsprechen.

In Wirklichkeit wird die Zunahme der tatsächlich verfügbaren Festigkeit aufgrund von Bruchphänomenen der Unebenheiten, die von der theoretischen Formulierung nicht berücksichtigt werden kann, geringer als die theoretische sein. In der Literatur finden sich verschiedene Vorschläge, um die Werte um die Hälfte der Differenz der Scherfestigkeitswinkel für Spitzen- und Nach-Spitzenwerte zu verringern [12]. Berücksichtigt man auch die Angaben von Hoek&Brown [11] scheint die Berechnung des Dilatanzwinkels über folgende Relation angemessen zu sein:

Questa condizione corrisponde alla resistenza a trazione biassiale; Hoek et al. [76] hanno dimostrato che per materiali fragili la resistenza a trazione monoassiale coincide con quella biassiale.

9.1.4 Modulo di deformabilità d'ammasso

Da ultimo è stato determinato il valore del modulo di deformabilità dell'ammasso roccioso [77]:

dove E_i è il modulo di deformazione di matrice.

9.1.5 Parametri di resistenza post-picco

Le equazioni sopra riprodotte sono state utilizzate anche per il calcolo dei parametri di resistenza post-picco, adottando però i coefficienti m_b , s e a ottenuti con un valore ridotto di GSI [78]:

9.1.6 Angolo di dilatanza

L'angolo di dilatanza è stato definito sulla base di quanto proposto per i terreni granulari da Rowe [72], sulla base dell'esame delle condizioni di equilibrio di un insieme di particelle sferiche indeformabili. Secondo questo approccio, la differenza di resistenza al taglio tra condizioni di picco e condizioni post-picco è funzione della differenza tra i relativi angoli di resistenza al taglio:

dove ψ è l'angolo di dilatanza, mentre φ'_p e φ'_{res} sono rispettivamente l'angolo di resistenza al taglio di picco e post-picco.

Nella realtà, a causa di fenomeni di rottura delle asperità di cui la formulazione teorica non può tenere conto, l'incremento di resistenza effettivamente disponibile sarà minore di quello teorico; in letteratura esistono diverse proposte di riduzione fino a valori di 1/2 della differenza degli angoli di resistenza a taglio di picco e post-rottura [75]. Tenendo conto anche delle indicazioni di Hoek & Brown [74], si ritiene appropriato calcolare l'angolo di dilatanza mediante la relazione:

$$\psi = \frac{\varphi'_p - \varphi'_{res}}{1.5}$$

9.2 AUSWAHL DER CHARAKTERISTISCHEN WERTE DER INPUT-PARAMETER

Entsprechend den italienischen Bestimmungen [1] und [2] sowie dem Eurocode 7 [3] 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 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 [1] und Kapitel 6.2.2[2]).

In den folgenden Kapiteln wird auf der Grundlage der in den geomechanischen Profilen angeführten Informationen die angewandte Methode zur Auswahl der Kennwerte der wesentlichen Inputparameter angeführt [59] [60] [61] [62].

9.2.1 Einaxiale Druckfestigkeit und Verformungsmodul des intakten Gesteins

Für jeden der homogenen Abschnitte, in die die Bauwerke der vorliegenden Lose aufgeteilt sind, ist die statistische Variabilität der einachsigen Druckfestigkeit und des Verformungsmoduls des intakten Gesteins verfügbar, die in den geomechanischen Profilen als Mittelwert und Standardabweichung angegeben sind. Für diese Größen werden die konservativen Schätzungen des Mittelwerts als Kennwerte angenommen, die sich in folgenden Relationen ausdrücken:

$$\sigma'_{ci\ k} = \sigma'_{ci\ m} \cdot (1 - V_{\sigma'_{ci}}/2)$$

$$E_{i\ k} = E_{i\ m} \cdot (1 - V_{E_i}/2)$$

$\sigma'_{ci\ k}$ und $E_{i\ k}$ entsprechen jeweils den Kennwerten der einaxialen Druckfestigkeit und des Verformungsmoduls des intakten Gesteins, $\sigma'_{ci\ m}$ und $E_{i\ m}$ ihren Mittelwerten und $V_{\sigma'_{ci}}$ und V_{E_i} den Variationskoeffizienten, die als Verhältnis zwischen der Standardabweichung und dem Mittelwert der untersuchten Stichprobe ausgedrückt sind.

Dank diesem Ansatz wird das geringere geometrische Ausmaß der Stichproben im Vergleich zur Entwicklung der potenziellen Bruchflächen berücksichtigt und entspricht

9.2 SCELTA DEI VALORI CARATTERISTICI DEI PARAMETRI DI INPUT

In accordo con la normativa italiana [64] [65] e con l'Eurocodice 7 [66], 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 "[...] valori prossimi 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 [64] e Capitolo C6.2.2 [65]).

Nei capitoli seguenti si riporta la procedura adottata per la scelta dei valori caratteristici dei parametri di input in base alle informazioni disponibili, riportate all'interno dei profili geomeccanici [79] [80] [81] [82].

9.2.1 Resistenza a compressione monoassiale e modulo di deformabilità della roccia intatta

Per ognuna delle tratte omogenee in cui sono suddivise le opere dei presenti lotti è disponibile la variabilità statistica della resistenza a compressione monoassiale e del modulo di deformabilità della roccia intatta, espressa sui profili geomeccanici in termini di valore medio e deviazione standard. Per queste grandezze si adottano come valori caratteristici le stime conservative del valore medio espresse dalle relazioni:

dove $\sigma'_{ci\ k}$ e $E_{i\ k}$ sono rispettivamente i valori caratteristici della resistenza a compressione monoassiale e del modulo di deformabilità della roccia intatta, $\sigma'_{ci\ m}$ e $E_{i\ m}$ i loro valori medi e $V_{\sigma'_{ci}}$ e V_{E_i} sono i coefficienti di variazione, espressi come rapporto tra la deviazione standard e la media del campione analizzato.

Tale approccio consente di tenere implicitamente conto delle ridotte dimensioni geometriche del dato campionato in rapporto allo sviluppo delle potenziali superfici di rottura, e

damit den gesetzlichen Vorgaben (siehe Kapitel 7.2).

9.2.2 Der Parameter m_i

Für den Parameter m_i ist die statistische Variabilität (als Mittelwert und Standardabweichung ausgedrückt) nur für einige homogene Abschnitte verfügbar. Für die anderen wurden Mittelwert und Standardabweichung von den Verfassern auf der Grundlage der lithologischen Beschreibungen und den Daten aus der Literatur geschätzt. Die Schätzwerte sind auf den geomechanischen Profilen mit einem * gekennzeichnet.

Der Kennwert wurde nach dem bereits für die einaxiale Druckfestigkeit und den Verformungskoeffizienten des intakten Gesteins beschriebenen Ansatz definiert (siehe Kapitel 7.2.1):

$$m_{i k} = m_{i m} \cdot (1 - V_{m_i} / 2)$$

Dabei entspricht $m_{i k}$ dem Kennwert des Parameters, $m_{i m}$ seinem mittleren Wert und V_{m_i} dem Variationskoeffizienten, der dem Verhältnis zwischen Standardabweichung und Mittelwert der untersuchten Stichprobe entspricht.

9.2.3 RMR'89 und GSI

Auch in Bezug auf *Rock Mass Rating* (1989) [10] und *Geological Strength Index* [13] ist die statistische Variabilität (ausgedrückt als Mittelwert und Standardabweichung) nur für einige Abschnitte verfügbar, während für die anderen Abschnitte eine Schätzung auf der Grundlage der Beschreibung des Gebirges vorgenommen wurde. Die Schätzwerte sind auf den geomechanischen Profilen mit einem * gekennzeichnet.

Zur Dimensionierung und Zuweisung der verschiedenen Ausbruchquerschnitte muss die Werteverteilung nach Klassen homogener geomechanischer Qualität unterteilt werden. Im vorliegenden Fall wurde die Aufteilung in Klassen nach Bieniawski anhand des RMR'89-Wertes angenommen [10], die in der Tabelle 5 zusammengefasst ist.

risulta conforme a quanto prescritto dalle normative (cfr. Capitolo 9.2).

9.2.2 Parametro m_i

Per il parametro m_i , la variabilità statistica (espressa in termini di valore medio e deviazione standard) è disponibile solo per alcune tratte omogenee; per le altre il valore medio e la deviazione standard sono stati stimati dagli scriventi sulla base delle descrizioni litologiche e di dati di letteratura. I valori stimati sono indicati sui profili geomeccanici con il simbolo *.

Il valore caratteristico è definito secondo l'approccio già descritto per resistenza a compressione monoassiale e modulo di deformabilità della roccia intatta (cfr. Capitolo 9.2.1 della presente):

dove $m_{i k}$ è il valore caratteristico del parametro, $m_{i m}$ il suo valore medio e V_{m_i} è il coefficiente di variazione espresso come rapporto tra la deviazione standard e la media del campione analizzato.

9.2.3 RMR'89 e GSI

Anche per quanto riguarda *Rock Mass Rating* (1989) [73] e *Geological Strength Index* [76], la variabilità statistica (espressa in termini di valore medio e deviazione standard) è disponibile solo per alcune tratte, mentre per le altre si è proceduto ad una stima sulla base delle descrizioni di ammasso. I valori stimati sono indicati sui profili geomeccanici con il simbolo *.

Per i dimensionamenti e l'assegnazione delle diverse Sezioni di scavo risulta necessario suddividere la distribuzione di valori per classi di qualità geomeccaniche omogenee. Nel caso in oggetto si adotta la ripartizione in classi in funzione del valore di RMR'89 proposta da Bieniawski [73], riassunta in Tabella 7.

Classe	RMR min	RMR max
I	81	100
II	61	80
III	41	60
IV	21	40
V	0	20

Tabelle 7: Ausbruchsklassen nach Bieniawski [73]

Tabella 7 Classi di scavo, da Bieniawski [73].

Eine Verteilung der verschiedenen Klassen innerhalb eines homogenen Abschnitts kann auf der Grundlage der statistischen Variabilität des RMR'89 geschätzt werden. Dabei wird jeder Klasse eine Wahrscheinlichkeit zugewiesen, die dem Bereich unter der Kurve der Wahrscheinlichkeitsverteilung im jeweiligen Abschnitt entspricht (Abbildung 2).

Una distribuzione delle diverse classi all'interno di un tratta omogenea può essere stimata sulla base della variabilità statistica di RMR'89, assegnando a ogni classe una probabilità pari all'area sottesa alla curva della funzione di probabilità nella tratta corrispondente (Figura 2).

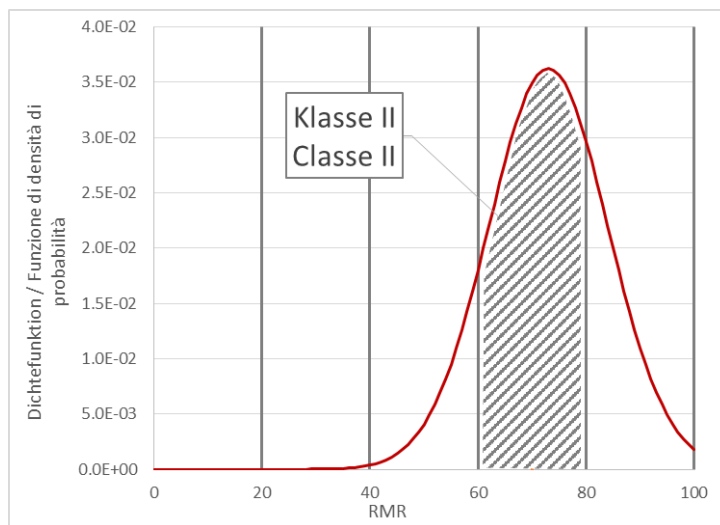


Abbildung 2: Beispiel der Ermittlung der Prozentsätze der Anwendung der Bieniawski-Klassen.

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

Manchmal kann der Bereich unter der Kurve der Wahrscheinlichkeitsdichte in ihrem Gültigkeitsbereich ($0 \leq RMR \leq 100$) geringer als 100% sein. Laut der Kurve in Abbildung 2 beträgt die Wahrscheinlichkeit von RMR-Werten über 100 aufgrund der zugewiesenen statistischen Variabilität ca. 1%.

Si evidenzia che a volte l'area sottesa alla curva di densità di probabilità nella sua tratta di validità ($0 \leq RMR \leq 100$) può risultare inferiore al 100%; ad esempio, la curva di Figura 2 indica che secondo la variabilità statistica assegnata c'è una probabilità pari circa all'1% che si verifichino valori di RMR superiori a 100.

Aufgrund dieses Effekts, welcher darauf zurückzuführen ist, dass die Datenpopulation nicht exakt normal ist, werden vorsichtig korrigierte Anwendungsprozentsätze angenommen, durch Verringerung der höheren Klassen und folglich durch Erhöhung der niedrigeren Klassen.

A causa di questo effetto, riconducibile al fatto che la popolazione dei dati non è esattamente normale, si adottano percentuali di applicazione corrette in maniera cautelativa, riducendo quelle delle classi più alte e aumentando di conseguenza quelle delle classi più basse.

Es wird außerdem hervorgehoben, dass das Vorkommen einer bestimmten Klasse übergangen wurde, im Fall, dass die Wahrscheinlichkeit dieser Klasse unter 5% liegen sollte.

Nach der Ermittlung der geomechanischen Klassen, die jeden Abschnitt auszeichnen, muss zur Dimensionierung der Ausbruchsklassen jeder Klasse ein RMR- und GSI-Bezugswert zugewiesen werden.

In Bezug auf den RMR-Wert wird vorsichtshalber der Mindestwert jeder Klasse als Bezugswert herangezogen. Zur Bestimmung der GSI-Werte wird vor allem an die folgende, von Hoek & Brown vorgeschlagene Relation erinnert:

$$GSI = RMR - (R5 + R6) + 10$$

Dabei sind R5 und R6 zwei der sechs Faktoren, die zur Bildung des RMR-Wertes beitragen und sich jeweils auf die hydraulischen Zustände des Gebirges (R5) und die Orientierung der Diskontinuitäten im Vergleich zur Ausbruchsrichtung beziehen.

Da vernünftigerweise angenommen werden kann, dass die R5- und R6-Werte innerhalb eines homogenen Abschnittes ungefähr konstant bleiben, können die GSI-Bezugswerte jeder Klasse im Falle einer statistischen Variabilität auch von der Differenz zwischen den beiden Mittelwerten beider Kennwerte abgeleitet werden:

$$GSI_{rif} = RMR_{rif} + \delta$$

$$\delta = GSI_m - RMR_m$$

Dabei sind GSI_{rif} und RMR_{rif} die Bezugswerte jeder Klasse, während GSI_m und RMR_m die mittleren Werte jedes homogenen Abschnittes sind.

9.3 BERECHNUNG DER GEBIRGSKENNWERTE

Ausgehend von den Kennwerten der im Kapitel 7.2 beschriebenen Inputparameter können für jede Überlagerung die Gebirgskennwerte mithilfe der im Kapitel 7.1 zusammengefassten Gleichungen des Hoek-Brown-Bruchkriteriums [13] für die Dimensionierung abgeleitet werden.

Um die Analysen nicht ohne damit einhergehende effektive Verbesserung der Planungsqualität zu erschweren, wird für Gebirge von einer prognostizierten Länge von weniger als 100m ein einziger GSI- bzw. RMR-Wert angenommen, der in den (gegebenenfalls ergänzten) Unterlagen der Regelplanung angegeben ist.

Derselbe Ansatz (Annahme von RMR- und GSI-Mittelwerten) wird für die Abschnitte verfolgt, in denen die in der Literatur

Si evidenzia inoltre che la presenza di una data classe è stata trascurata nel caso in cui probabilità di tale classe risultasse inferiore al 5%.

Una volta identificate le classi geomeccaniche che caratterizzano ogni tratta, per procedere con il dimensionamento delle Sezioni di scavo è necessario assegnare a ogni classe un valore di RMR e di GSI di riferimento.

Per quanto riguarda l'RMR, si utilizza cautelativamente come valore di riferimento il minimo corrispondente a ogni classe. Per quanto riguarda invece la determinazione dei valori di GSI, si ricorda prima di tutto la seguente relazione, proposta da Hoek & Brown:

dove R5 e R6 sono due dei sei fattori che concorrono a formare l'RMR e si riferiscono rispettivamente alle condizioni idrauliche dell'ammasso (R5) e all'orientazione delle discontinuità rispetto alla direzione dello scavo (R6).

Dal momento che appare ragionevole ipotizzare che all'interno di ogni tratta omogenea i valori di R5 e R6 si mantengano all'incirca costanti, si ritiene che, nel caso in cui sia disponibile una variabilità statistica, i valori di GSI di riferimento per ogni classe siano ricavabili a partire dalla differenza tra i valori medi dei due parametri:

dove GSI_{rif} e RMR_{rif} sono i valori di riferimento per ogni classe, mentre GSI_m e RMR_m sono i valori medi di ogni tratta omogenea.

9.3 CALCOLO DEI VALORI CARATTERISTICI DEI PARAMETRI DI AMMASSO

A partire dai valori caratteristici dei parametri di input, descritti nel Capitolo 9.2, è possibile determinare per ogni copertura i valori caratteristici dei parametri di ammasso, da adottare nei dimensionamenti, applicando le equazioni del criterio di rottura di Hoek & Brown [76] riassunte all'interno del Capitolo 9.1.

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 (eventualmente integrati).

Lo stesso approccio (adozione di RMR e GSI medi) è stato seguito per le tratte in cui non risultano valide le correlazioni

angegebenen Korrelationen zwischen RMR und GSI nicht gültig sind, denn diese liegen dem im vorhergehenden Kapitel 7.2.3 beschriebenen Verfahren zugrunde.

da letteratura tra RMR e GSI, correlazioni che stanno alla base della procedura descritta nel precedente Capitolo 9.2.3.

10 VERZEICHNISSE

10 ELENCHI

10.1 TABELLENVERZEICHNIS

10.1 ELENCO DELLE TABELLE

Tabelle 1: Aufteilung der gesetzlich vorgeschriebenen Informationen in den Unterlagen der Ausführungsplanung	Tabella 1: Suddivisione delle informazioni richieste dalla normativa all'interno dei documenti di Progetto Esecutivo.....
Tabelle 2: Wasserdrücke: (a) Abschnitt Mauls-Brenner [13], (b) Abschnitt Franzenfeste-Mauls [4]	Tabella 2: Carichi idraulici: (a) tratta Mules-Brennero [13], (b) tratta Fortezza- Mules [4].....
Tabelle 3: RMR'89 und GSI-Werte der neuen geomechanischen Zonen.....	Tabella 3: Valori di RMR'89 e GSI delle nuove zone geomeccaniche.....
Tabelle 4: Übersicht der Laborergebnisse der neuen geomechanischen Zonen	Tabella 4: Sintesi dei risultati delle prove di laboratorio per le nuove zone geomeccaniche.
Tabelle 5: Inputparameter (Kennwerte) der Gebirge im Abschnitt der Pustertaler Störung	Tabella 5: Parametri di input (valori caratteristici) degli ammassi nella tratta della Faglia della Pusteria.....
Tabelle 6: Inputparameter (Kennwerte) der Gebirge im Abschnitt der Maulser Störung (vor der Überarbeitung 20).....	Tabella 6: Parametri di input (valori caratteristici) degli ammassi nella tratta della Faglia della Val di Mules (prima della rev. 20).....
Tabelle 7: Ausbruchsklassen nach Bieniawski [73].....	Tabella 7 Classi di scavo, da Bieniawski [73].

10.2 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

10.2 ELENCO DELLE ILLUSTRAZIONI

Abbildung 1: Tektonische Übersichtskarte des westlichen Tauernfensters. Verändert nach Brandner, 1980, ergänzt nach Mancktelow et al., 2001 [70], [71].	Figura 1: Carta tettonica generale della Finestra dei Tauri occidentale. Modificato Brandner, 1980, integrato secondo Mancktelow et al., 2001 [70], [71].
Abbildung 2: Beispiel der Ermittlung der Prozentsätze der Anwendung der Bieniawski-Klassen.	Figura 2: Esempio di identificazione delle percentuali di applicazione delle classi di Bieniawski.....

10.3 REFERENZDOKUMENTE

10.3 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

10.3.1 Eingangsdokumenten

10.3.1 Documenti in ingresso

10.3.1.1 Regelplanung

10.3.1.1 Progettazione di Sistema

- | | |
|---|--|
| <p>[1] 02_H61_GD_992_GTB_D0700_13001 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mauls 2-3 - Gesamtbauwerke - Technischer Bericht - Geologischer Bericht Franzenfeste-Mauls</p> <p>[2] 02_H61_GD_992_GTB_D0700_13003 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mauls 2-3 - Gesamtbauwerke - Technischer Bericht - Hydrogeologischer Bericht Franzenfeste-Mauls</p> <p>[3] 02_H61_GD_992_GLS_D0700_13002 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mauls 2-3 - Gesamtbauwerke - Längenschnitt - Geologischer Längenschnitt Franzenfeste-Mauls</p> | <p>[1] 02_H61_GD_992_GTB_D0700_13001 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 - Opere generali - Relazione tecnica - Relazione geologica Fortezza-Mules</p> <p>[2] 02_H61_GD_992_GTB_D0700_13003 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 - Opere generali - Relazione tecnica - Relazione idrogeologica Fortezza-Mules</p> <p>[3] 02_H61_GD_992_GLS_D0700_13002 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva -</p> |
|---|--|

- [4] 02_H61_GD_992_GLS_D0700_13004 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mails 2-3 - Gesamtbauwerke - Längenschnitt - Hydrogeologischer Längenschnitt Franzenfeste-Mails
- [5] 02_H61_GD_992_GTB_D0700_13007 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mails 2-3 - Gesamtbauwerke - Technischer Bericht - Geologischer Bericht Erkundungsstollen Mails-Brenner
- [6] 02_H61_GD_992_GTB_D0700_13008 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mails 2-3 - Gesamtbauwerke - Technischer Bericht - Geologischer Bericht Haupttunnel Mails-Trens
- [7] 02_H61_GD_992_GTB_D0700_13011 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mails 2-3 - Gesamtbauwerke - Technischer Bericht - Legende Geologie
- [8] 02_H61_GD_992_GTB_D0700_13012 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mails 2-3 - Gesamtbauwerke - Technischer Bericht - Hydrogeologischer Bericht Erkundungsstollen Mails-Brenner
- [9] 02_H61_GD_992_GLS_D0700_13009 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mails 2-3 - Gesamtbauwerke - Längenschnitt - Geologischer Längenschnitt Erkundungsstollen Mails-Brenner
- [10] 02_H61_GD_992_GLP_D0700_13010 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mails 2-3 - Gesamtbauwerke - Lageplan - Geologische Karte Mails-Brenner
- [11] 02_H61_GD_992_GLS_D0700_13014 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mails 2-3 - Gesamtbauwerke - Längenschnitt - Hydrogeologischer Längenschnitt Erkundungsstollen Mails-Brenner
- [12] 02_H61_GD_992_GTB_D0700_13012 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mails 2-3 - Gesamtbauwerke - Technischer Bericht - Hydrogeologischer Bericht Erkundungsstollen Mails-Brenner
- [13] 02_H61_GD_992_GTB_D0700_13013 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mails 2-3 - Gesamtbauwerke - Technischer Bericht - Hydrogeologischer Bericht Haupttunnel Mails-D0700: Lotto Mules 2-3 - Opere generali - Profilo longitudinale - Profilo geologico Fortezza-Mules
- [4] 02_H61_GD_992_GLS_D0700_13004 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 - Opere generali - Profilo longitudinale - Profilo idrogeologico Fortezza-Mules
- [5] 02_H61_GD_992_GTB_D0700_13007 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 - Opere generali - Relazione tecnica - Relazione geologica Cunicolo Esplorativo Mules-Brennero
- [6] 02_H61_GD_992_GTB_D0700_13008 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 - Opere generali - Relazione tecnica - Relazione geologica Gallerie di Linea Mules-Trens
- [7] 02_H61_GD_992_GTB_D0700_13011 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 - Opere generali - Relazione tecnica - Legenda geologia
- [8] 02_H61_GD_992_GTB_D0700_13012 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 - Opere generali - Relazione tecnica - Relazione idrogeologica Cunicolo Esplorativo Mules-Brennero
- [9] 02_H61_GD_992_GLS_D0700_13009 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 - Opere generali - Profilo longitudinale - Profilo geologico Cunicolo Esplorativo Mules-Brennero
- [10] 02_H61_GD_992_GLP_D0700_13010 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 - Opere generali - Planimetria - Carta geologica Mules-Brennero
- [11] 02_H61_GD_992_GLS_D0700_13014 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 - Opere generali - Profilo longitudinale - Profilo idrogeologico Cunicolo Esplorativo Mules-Brennero
- [12] 02_H61_GD_992_GTB_D0700_13012 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 - Opere generali - Relazione tecnica - Relazione idrogeologica Cunicolo Esplorativo Mules-Brennero
- [13] 02_H61_GD_992_GTB_D0700_13013 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 - Opere generali -

Brenner

- [14] 02_H61_GD_992_GTB_D0700_13008 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mault 2-3 - Gesamtbauwerke - Technischer Bericht - Geologischer Bericht Haupttunnel Mault-Trens
- [15] 02_H61_GD_992_GLS_D0700_13031 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mault 2-3 - Gesamtbauwerke - Längenschnitt - Geologischer Längenschnitt Haupttunnel Mault-Trens
- [16] 02_H61_GD_992_GLS_D0700_13032 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mault 2-3 - Gesamtbauwerke - Längenschnitt - Geologischer Längenschnitt Nothaltestelle
- [17] 02_H61_GD_992_GTB_D0700_13033 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mault 2-3 - Gesamtbauwerke - Technischer Bericht - Geologischer Bericht Zugangstunnel Trens
- [18] 02_H61_GD_992_GLS_D0700_13034 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mault 2-3 - Gesamtbauwerke - Längenschnitt - Geologischer Längenschnitt Zugangstunnel Trens
- [19] 02_H61_GD_992_GLS_D0700_13035 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mault 2-3 - Gesamtbauwerke - Längenschnitt - Hydrogeologischer Längenschnitt Haupttunnel Mault-Trens
- [20] 02_H61_GD_992_GLS_D0700_13036 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mault 2-3 - Gesamtbauwerke - Längenschnitt - Hydrogeologischer Längenschnitt Nothaltestelle
- [21] 02_H61_GD_992_GLS_D0700_13037 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mault 2-3 - Gesamtbauwerke - Längenschnitt - Hydrogeologischer Längenschnitt Haupttunnel Trens-Brenner
- [22] 02_H61_GD_992_GTB_D0700_13038 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mault 2-3 - Gesamtbauwerke - Technischer Bericht - Hydrogeologischer Bericht Zugangstunnel Trens
- [23] 02_H61_GD_992_GLS_D0700_13039 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mault 2-3 - Gesamtbauwerke - Längenschnitt - Hydrogeologischer Längenschnitt Zugangstunnel Trens

Relazione tecnica - Relazione idrogeologica
Gallerie di Linea Mules-Brennero

- [14] 02_H61_GD_992_GTB_D0700_13008 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 - Opere generali - Relazione tecnica - Relazione geologica Gallerie di Linea Mules-Trens
- [15] 02_H61_GD_992_GLS_D0700_13031 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 - Opere generali - Profilo longitudinale - Profilo geologico Gallerie di Linea Mules-Trens
- [16] 02_H61_GD_992_GLS_D0700_13032 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 - Opere generali - Profilo longitudinale - Profilo geologico Fermata di Emergenza
- [17] 02_H61_GD_992_GTB_D0700_13033 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 - Opere generali - Relazione tecnica - Relazione geologica Galleria di Accesso Trens
- [18] 02_H61_GD_992_GLS_D0700_13034 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 - Opere generali - Profilo longitudinale - Profilo geologico Galleria di Accesso Trens
- [19] 02_H61_GD_992_GLS_D0700_13035 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 - Opere generali - Profilo longitudinale - Profilo idrogeologico Gallerie di Linea Mules-Trens
- [20] 02_H61_GD_992_GLS_D0700_13036 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 - Opere generali - Profilo longitudinale - Profilo idrogeologico Fermata di Emergenza
- [21] 02_H61_GD_992_GLS_D0700_13037 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 - Opere generali - Profilo longitudinale - Profilo idrogeologico Gallerie di Linea Trens-Brennero
- [22] 02_H61_GD_992_GTB_D0700_13038 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 - Opere generali - Relazione tecnica - Relazione idrogeologica Galleria di Accesso Trens

- [24] Brenner Basistunnel - Ausführungsprojekt - Planung Muls 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
- [25] Brenner Basistunnel - Ausführungsprojekt - Muls II - Franzenfeste-Muls - Geomechanischer Bericht (26/09/2012 Egger, 10/12/2012 Skuk, Quick) - In 02_H61_GD_992_GTB_D0700_13046
- [26] Brenner Basistunnel - Technische Projektaufbereitung - Muls II - Hauptröhren Muls MFS Trens - Geomechanischer Längenschnitt - (27/06/2013 Egger Steinbauer, 28/06/2013 Skuk, 28/06/2013 Quick) - In 02_H61_GD_992_GTB_D0700_13046
- [27] Brenner Basistunnel - Technische Projektaufbereitung - Muls II - Hauptröhren Muls MFS Trens - Geomechanischer Bericht (27/06/2013 Egger, 28/06/2013 Skuk, 28/06/2013 Quick) - In 02_H61_GD_992_GTB_D0700_13046
- [28] Brenner Basistunnel - Technische Projektaufbereitung - Muls II - Erkundungsstollen Muls - Brenner - Geomechanischer Längenschnitt (24/04/2013 Egger Steinbauer, 24/04/2013 Skuk, Quick) - In 02_H61_GD_992_GTB_D0700_13046
- [29] Brenner Basistunnel - Technische Projektaufbereitung - Muls II - Erkundungsstollen Muls - Brenner - Geomechanischer Bericht (28/03/2013 Egger/Skuk/Steinbauer, 28/03/2013 Egger/Skuk, Quick) - In 02_H61_GD_992_GTB_D0700_13046
- [30] 02_H61_GD_992_GTB_D0700_13046 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Muls 2-3 - Gesamtbauwerke - Technischer Bericht - Geologische, hydrogeologische und geomechanische Grundlagen-Dokumentation
- [23] 02_H61_GD_992_GLS_D0700_13039 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Muls 2-3 - Opere generali - Profilo longitudinale - Profilo idrogeologico Galleria di Accesso Trens
- [24] Galleria di Base del Brennero - Progetto Esecutivo - Progetto Muls 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
- [25] Galleria di Base del Brennero - Progetto Esecutivo - Muls II - Fortezza-Muls - Relazione geomeccanica (26/09/2012 Egger, 10/12/2012 Skuk, Quick) - In 02_H61_GD_992_GTB_D0700_13046
- [26] Galleria di Base del Brennero - Elaborazione tecnica del progetto - Muls II - Canne principali Muls 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
- [27] Galleria di Base del Brennero - Elaborazione tecnica del progetto - Muls II - Canne principali Muls PMF Trens - Relazione geomeccanica (27/06/2013 Egger, 28/06/2013 Skuk, 28/06/2013 Quick) - In 02_H61_GD_992_GTB_D0700_13046
- [28] Galleria di Base del Brennero - Progettazione tecnica - Muls II - Cunicolo esplorativo Muls - Brennero - Profilo geomeccanico (24/04/2013 Egger Steinbauer, 24/04/2013 Skuk, Quick) - In 02_H61_GD_992_GTB_D0700_13046
- [29] Galleria di Base del Brennero - Elaborazione tecnica del progetto - Muls II - Cunicolo esplorativo Muls - Brennero - Relazione geomeccanica (28/03/2013 Egger/Skuk/Steinbauer, 28/03/2013 Egger/Skuk, Quick) - In 02_H61_GD_992_GTB_D0700_13046
- [30] 02_H61_GD_992_GTB_D0700_13046 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Muls 2-3 - Opere generali - Relazione Tecnica - Dati di base geologici, idrogeologici e geomeccanici

10.3.1.2 Einreichprojekt

- [31] Documentazione relativa alle indagini geognostiche di progetto definitivo
- [32] Documentazione relativa alle indagini geognostiche

10.3.1.2 Progetto Definitivo

- [31] Documentazione relativa alle indagini geognostiche di progetto definitivo
- [32] Documentazione relativa alle indagini geognostiche

integrative

- [33] G1.1a-02 - Brenner Basistunnel - Technische Planung - Geologie, Geotechnik, Hydrogeologie - Berichte GEO - Progetto Definitivo - Geologie - Rev. 00 (Brandner, 18-03-2008)
- [34] G1.1c-01 - Brenner Basistunnel - Phase II - Technische Planung - Basistunnel - Progetto Definitivo - Hydrogeologischer Bericht - Rev. 03 (Perello/Torri-Perello, 30-04-2008)
- [35] G1.1e-01 - Brenner Basistunnel - Progetto Definitivo - Projektbiet Italien - Geotechnische Prognose - Geotechnischer Bericht - Rev. 02 (John-John, 30-10-2007)
- [36] G1.1c-02 - Brenner Basistunnel - Progetto Definitivo - Phase II - Technische Planung - Basistunnel - Progetto Definitivo - Geothermische, Gas, Gesteinradioaktivität und Eluate Bericht (Perello, 06-04-2006)
- [37] G1.2c-01 - Brenner Basistunnel - Geoteam - Geologie/Erkundung - Geologische Kartierung - Geologische Übersichtskarte 1:50.000 - Rev. 03 (Reit/Tö- Reit/Tö-Brandner, 26-11-2007)
- [38] G2.1g-03 und G2.1g-04 - Brenner Basistunnel - Phase II - Geologie/Erkundung - Geologische Kartierung - Längenschnitt Tunnel 1:10.000 - Blatt E.1.3 und Blatt E.1.4 (Monopoli, 19-06-2006)
- [39] G1.1c-03 - Brenner Basistunnel - EP-Eisenbahngesetz - Projektbiet Österreich - Hydrogeologie - Technischer Planung - Hydrogeologischer Sintese Karte - Rev. 02 (Perello-Perello, 18-12-2007)
- [40] G1.1c-04 und G1.1c-05 - Brenner Basistunnel - Einreichprojekt - Technische Projektaufbereitung - Geologie - Allgemein - Hydrogeologische Bereich - Hydrogeologisch Längsschnitt Haupttunnel (Blatt 1/2 und Blatt 2/2)
- [41] G1.1e-04 und G1.1e-05 - Brenner Basistunnel - Einreichprojekt - Technische Projektaufbereitung - Geologie - Allgemein - Geotechnische Bereich - Geomechanischer Längsschnitt Haupttunnel (Blatt 1/2 und Blatt 2/2)

10.3.1.3 Ausführungsprojekt Baulos Mauis 1

- [42] Geomechanische Messungen an der Ortsbrust
- [43] Vorausböhrung SAV 06 cm
- [44] Vorausböhrung SAV 07 CC

integrative

- [33] G1.1a-02 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione Tecnica - Geologia, geotecnica, idrogeologia - Relazioni GEO - Progetto Definitivo - Geologia - rev. 00 (Brandner, 18-03-2008)
- [34] G1.1c-01 - Galleria di Base del Brennero - Fase II - Progettazione Tecnica - Tunnel di Base - Progetto Definitivo - Rapporto di idrogeologia - rev. 03 (Perello/Torri-Perello, 30-04-2008)
- [35] G1.1e-01 - Galleria di Base del Brennero - Progetto Definitivo - Area di progetto Italia - Previsione Geotecnica - Rapporto di Geotecnica - rev. 02 (John-John, 30-10-2007)
- [36] G1.1c-02 - Galleria di Base del Brennero - Fase II - Progettazione Tecnica - Tunnel di base - Progetto Definitivo - Rapporto di Geotermia, Gas, Radioattività ed Eluati (Perello, 06-04-2006)
- [37] G1.2c-01 - Galleria di Base del Brennero - Geoteam - Geologia/Prospezioni - Cartografia geologica - Carta geologica d'orientamento 1:50.000 - rev. 03 (Reit/Tö- Reit/Tö-Brandner, 26-11-2007)
- [38] G2.1g-03 e G2.1g-04 - Galleria di Base del Brennero - Fase II - Geologia/Prospezioni - Cartografia geologica - Profilo longitudinale 1:10.000 - Tavola E.1.3 e Tavola E.1.4 (Monopoli, 19-06-2006)
- [39] G1.1c-03 - Galleria di Base del Brennero - PD sec. Legge ferroviaria - Area di progetto Austria - Idrogeologia - Progettazione Tecnica - Progetto Definitivo - Carta di sintesi idrogeologica - rev. 02 (Perello-Perello, 18-12-2007)
- [40] G1.1c-04 e G1.1c-05 - Galleria di Base del Brennero - Progetto Definitivo - Elaborazione tecnica del progetto - Geologia - Generale - Parte idrogeologica - Tunnel di base - Profilo Idrogeologico (tav. 1/2 e tav. 2/2)
- [41] G1.1e-04 e G1.1c-05 - Galleria di Base del Brennero - Progetto Definitivo - Elaborazione tecnica del progetto - Geologia - Generale - Parte geotecnica - Tunnel di base - Profilo geomeccanico (tav. 1/2 e tav. 2/2)

10.3.1.3 Progetto Esecutivo Lotto Mules I

- [42] Rilievi geomeccanici del fronte di scavo
- [43] Sondaggio in avanzamento SAV 06 CC
- [44] Sondaggio in avanzamento SAV 07 CC

- [45] Weitere Vorausböhrung im Erkundungsstollen während des Ausbruchs - 12.07.2010
- 10.3.1.4 Ausführungsprojekt Baulos Mauls 1 (Pustertalstörung)
- [46] OP-EN.115.01 - Brenner Basistunnel - Ausführungsprojekt - Erkundungsstollen Periadriatische Naht und vorbereitende Bauwerke Bereich Mauls - Konstruktive Bauwerke - Haupttunnel - Vortriebsklasse auf geol-geomech Längsschnitt - Pustertalstörung (Erste Ausgabe, Collizzolli, Marini, Marini, 16-04-2013)
- [47] OP-EN.01.03 - Brenner Basistunnel - Ausführungsprojekt - Periadriatische Naht - Haupttunnel - Konstruktive Bauwerke - Statischer Bericht Ausbau des Primärausbaues der Hauptröhren von km 48+115 bis 48+331 (Erste Ausgabe, Collizzolli, Marini, Marini, 16-04-2013)
- [48] OP-EN.01.04 - Brenner Basistunnel - Ausführungsprojekt - Periadriatische Naht - Haupttunnel - Konstruktive Bauwerke - Ergänzungsschreiben des statischen Berichtes Ausbau des Primärausbaues der Hauptröhren von km 48+115 bis 48+331 (Erste Ausgabe, Collizzolli, Marini, Marini, 16-04-2013)
- [49] B0084 PD RE TU001 00 105 00 - Brenner Basistunnel - Ausführungsprojekt - Erkundungsstollen Periadriatische Naht und vorbereitende Bauwerke Bereich Mauls - Erkundungsstollen - Pustertalstörung (NC 27) - Technische Bericht (Erste Ausgabe, Bellini, Rivoltini, Pizzarotti, 07-03-2013)
- 10.3.1.5 Ausführungsprojekt Erweiterung Baulos Mauls 1
- [50] 02_H61_GD_992_GLS_D0700_13043 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mauls 2-3 - Gesamtbauwerke - Längenschnitt - Geologischer Längenschnitt Erweiterung Baulos Mauls 1
- [51] 02_H61_GD_992_GLS_D0700_13045 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mauls 2-3 - Gesamtbauwerke - Längenschnitt - Hydrogeologischer Längenschnitt Erweiterung Baulos Mauls 1
- [52] V04-OP-EG.05.01 - Brenner Basistunnel - Ausführungsprojekt - Erkundungsstollen Periadriatische Naht und vorbereitende Bauwerke Bereich Mauls - Geologie – Hydrogeologie - Erweiterung - Geotechnik - Geomechanischer
- [45] Altri sondaggi in avanzamento condotti nel cunicolo esplorativo in corso di scavo - 12/07/2010
- 10.3.1.4 Progetto Esecutivo Lotto Mules I (Faglia della Pusteria)
- [46] OP-EN.115.01 - Galleria di Base del Brennero - Progetto Esecutivo - Cunicolo Esplorativo Periadriatica ed Opere Propedeutiche ambito Mules - Opere strutturali - Gallerie principali - Sezioni di scavo su profilo geologico-geomeccanico - Linea della Pusteria (Prima edizione, Collizzolli, Marini, Marini, 16-04-2013)
- [47] OP-EN.01.03 - Galleria di Base del Brennero - Progetto Esecutivo - Periadriatica - Gallerie Principali - Opere strutturali - Relazione di calcolo rivestimento di prima fase delle gallerie di linea da pk 48+115 a 48+331 (Prima edizione, Weifner/Marini, Marini, Marini, 16-04-2013)
- [48] OP-EN.01.04 - Galleria di Base del Brennero - Progetto Esecutivo - Periadriatica - Gallerie Principali - Opere strutturali - Nota integrativa alla relazione di calcolo rivestimento di prima fase delle gallerie di linea da pk 48+115 a 48+331 (Prima edizione, Marini, Marini, 22-07-2013)
- [49] B0084 PD RE TU001 00 105 00 - Galleria di Base del Brennero - Progetto di dettaglio - Cunicolo Esplorativo Periadriatica ed Opere Propedeutiche ambito Mules - Cunicolo esplorativo - Attraversamento Faglia della Pusteria - Risoluzione della non conformità (NC 27) - Relazione Tecnica (Prima edizione, Bellini, Rivoltini, Pizzarotti, 07-03-2013)
- 10.3.1.5 Progetto Esecutivo Estensione Lotto Mules 1
- [50] 02_H61_GD_992_GLS_D0700_13043 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 - Opere generali - Profilo longitudinale - Profilo geologico Estensione Lotto Mules 1
- [51] 02_H61_GD_992_GLS_D0700_13045 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 - Opere generali - Profilo longitudinale - Profilo idrogeologico Estensione Lotto Mules 1
- [52] V04-OP-EG.05.01 - Galleria di Base del Brennero - Progetto Esecutivo - Cunicolo Esplorativo Periadriatica ed Opere Propedeutiche ambito Mules - Geologia – Idrogeologia - Geotecnica - Estensione - Relazione geomeccanica (Prima edizione, Bellini,

Bericht (Erste Ausgabe, Bellini, Rivoltini, Pizzarotti 28/01/2014)

- [53] V04-OP-EG.06.01 - Brenner Basistunnel - Ausführungsprojekt - Erkundungsstollen Periadriatische Naht und vorbereitende Bauwerke Bereich Mauls - Geologie – Hydrogeologie - Erweiterung - Geotechnik - Geomechanischer Längenschnitt Oströhre (Erste Ausgabe, Bellini, Rivoltini, Pizzarotti 28/01/2014)
- [54] V04-OP-EG.06.02 - Brenner Basistunnel - Ausführungsprojekt - Erkundungsstollen Periadriatische Naht und vorbereitende Bauwerke Bereich Mauls - Geologie – Hydrogeologie - Erweiterung - Geotechnik - Geomechanischer Längenschnitt Weströhre (Erste Ausgabe, Bellini, Rivoltini, Pizzarotti 28/01/2014)
- [55] V04-OP-EG.07.01 - Brenner Basistunnel - Ausführungsprojekt - Erkundungsstollen Periadriatische Naht und vorbereitende Bauwerke Bereich Mauls - Geologie – Hydrogeologie - Erweiterung - Geotechnik - Geomechanischer Längenschnitt Erkundungsstollen (Erste Ausgabe, Bellini, Rivoltini, Pizzarotti 28/01/2014)

10.3.1.6 Ausführungsprojekt Baulos Mauls 2-3

- [56] 02_H61_GD_992_GTB_D0700_13016 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mauls 2-3 - Gesamtbauwerke - Technischer Bericht - Zusammenfassung der geologischen und hydrogeologischen Informationen
- [57] 02_H61_GD_992_GTB_D0700_13017 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mauls 2-3 - Gesamtbauwerke - Technischer Bericht - Seismischer Bericht
- [58] 02_H61_EG_991_KAP_D0700_12004 - Brenner Basistunnel – Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mauls 2-3 – Gesamtbauwerke – Absteckplan– Grundriss Trassierung Oströhre
- [59] 02_H61_EG_991_KAP_D0700_12005 - Brenner Basistunnel – Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mauls 2-3 – Gesamtbauwerke – Absteckplan – Grundriss Trassierung Weströhre
- [60] 02_H61_EG_991_KLP_D0700_12050-12061 - Brenner Basistunnel – Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mauls 2-3 – Gesamtbauwerke – Lageplan –Lageplan der Bauwerke (Plan 12/25 -

Rivoltini, Pizzarotti 28/01/2014)

- [53] V04-OP-EG.06.01 - Galleria di Base del Brennero - Progetto Esecutivo - Cunicolo Esplorativo Periadriatica ed Opere Propedeutiche ambito Mules - Geologia – Idrogeologia - Geotecnica - Profilo geomeccanico Canna Est (Prima edizione, Bellini, Rivoltini, Pizzarotti 28/01/2014)
- [54] V04-OP-EG.06.02 - Galleria di Base del Brennero - Progetto Esecutivo - Cunicolo Esplorativo Periadriatica ed Opere Propedeutiche ambito Mules - Geologia – Idrogeologia - Geotecnica - Profilo geomeccanico Canna Ovest (Prima edizione, Bellini, Rivoltini, Pizzarotti 28/01/2014)
- [55] V04-OP-EG.07.01 - Galleria di Base del Brennero - Progetto Esecutivo - Cunicolo Esplorativo Periadriatica ed Opere Propedeutiche ambito Mules - Geologia – Idrogeologia - Geotecnica - Profilo geomeccanico Cunicolo Esplorativo (Prima edizione, Bellini, Rivoltini, Pizzarotti 28/01/2014)

10.3.1.6 Progetto Esecutivo Lotto Mules 2-3

- [56] 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
- [57] 02_H61_GD_992_GTB_D0700_13017 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 - Opere generali - Relazione tecnica - Relazione sismica
- [58] 02_H61_EG_991_KAP_D0700_12004 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 - Opere generali – Planimetria di tracciamento– Planimetria di tracciamento Galleria principale Est
- [59] 02_H61_EG_991_KAP_D0700_12005 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 - Opere generali – Planimetria di tracciamento– Planimetria di tracciamento Galleria principale Ovest
- [60] 02_H61_EG_991_KLP_D0700_12050-12061 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 - Opere generali – Planimetria – Planimetria delle opere (Tav. 12/25

25/25)

[61] 02_H61_EG_991_KLS_D0700_12100-12110 - Brenner Basistunnel – Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mauts 2-3 – Gesamtbauwerke – Längenschnitt–Bautechnisches Längenprofil und Trassierung - Oströhre(Plan 15/25 – 25/25)

[62] 02_H61_EG_991_KLS_D0700_12200 - 12210 - Brenner Basistunnel – Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mauts 2-3 – Gesamtbauwerke – Längenschnitt–Bautechnisches Längenprofil und Trassierung - Weströhre (Plan 15/25 – 25/25)

[63] 02_H61_OP_060_KHS_D0700_22127 - Brenner Basistunnel – Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mauts 2-3 – Nothaltestelle – Horizontalschnitt – NL-Gesamtlageplan

10.3.2 Normen und Richtlinien

[64] Technische Konstruktionsnormen 2008 – NTC 2008.

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

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

10.3.3 Bibliografie

[67] 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

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

[69] 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.

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

[71] 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.

- 25/25)

[61] 02_H61_EG_991_KLS_D0700_12100-12110 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 - Opere generali – Profilo longitudinale - Profilo longitudinale delle opere e di tracciamento - Galleria principale Est (Tav. 15/25 - 25/25)

[62] 02_H61_EG_991_KLS_D0700_12200 - 12210 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 - Opere generali – Profilo longitudinale - Profilo longitudinale delle opere e di tracciamento - Galleria principale Ovest (Tav. 15/25 - 25/25)

[63] 02_H61_OP_060_KHS_D0700_22127 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 - Fermata di Emergenza – Sezione orizzontale – NL-Planimetria generale

10.3.2 Normative e Linee Guida

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

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

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

10.3.3 Bibliografia

[67] 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

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

[69] 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.

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

[71] 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.

- [72] 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.
- [73] BIENIAWSKI Z.T. – Engineering rock mass classifications, Wiley, New York, 1989.
- [74] HOEK E., BROWN E.T. – Practical estimates of rock mass strength. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 34 pagg. 1165 – 1186, 1997.
- [75] CHERUBINI C. - Capacità portante di fondazioni superficiali su ammassi rocciosi. Appunti del Corso di Fondazioni, Politecnico di Bari, 12/2000.
- [76] HOEK E., CARRANZA TORRES C., CORKUM B. – Hoek-Brown failure criterion. 2002
- [77] HOEK E., DIEDERICHS M.S. – Empirical estimation of rock mass modulus. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 2006.
- [78] 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.

10.3.4 Ausgangsdokumente

- [79] 02_H61_GD_992_GLS_D0700_13019 Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Muls 2-3 - Gesamtbauwerke - Längenschnitt - Geomechanischer Längenschnitt - 1/4
- [80] 02_H61_GD_992_GLS_D0700_13020 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Muls 2-3 - Gesamtbauwerke - Längenschnitt - Geomechanischer Längenschnitt - 2/4
- [81] 02_H61_GD_992_GLS_D0700_13021 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Muls 2-3 - Gesamtbauwerke - Längenschnitt - Geomechanischer Längenschnitt - 3/4
- [82] 02_H61_GD_992_GLS_D0700_13022 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Muls 2-3 - Gesamtbauwerke - Längenschnitt - Geomechanischer Längenschnitt - 4/4

- [72] 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.
- [73] BIENIAWSKI Z.T. – Engineering rock mass classifications, Wiley, New York, 1989.
- [74] HOEK E., BROWN E.T. – Practical estimates of rock mass strength. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 34 pagg. 1165 – 1186, 1997.
- [75] CHERUBINI C. - Capacità portante di fondazioni superficiali su ammassi rocciosi. Appunti del Corso di Fondazioni, Politecnico di Bari, 12/2000.
- [76] HOEK E., CARRANZA TORRES C., CORKUM B. – Hoek-Brown failure criterion. 2002
- [77] HOEK E., DIEDERICHS M.S. – Empirical estimation of rock mass modulus. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 2006.
- [78] 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.

10.3.4 Documenti in uscita

- [79] 02_H61_GD_992_GLS_D0700_13019 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Muls 2-3 - Opere generali - Profilo longitudinale - Profilo geomeccanico - 1/4
- [80] 02_H61_GD_992_GLS_D0700_13020 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Muls 2-3 - Opere generali - Profilo longitudinale - Profilo geomeccanico - 2/4
- [81] 02_H61_GD_992_GLS_D0700_13021 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Muls 2-3 - Opere generali - Profilo longitudinale - Profilo geomeccanico - 3/4
- [82] 02_H61_GD_992_GLS_D0700_13022- Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Muls 2-3 - Opere generali - Profilo longitudinale - Profilo geomeccanico - 4/4