



Mit Beteiligung der Europäischen Union aus dem Haushalt der Transeuropäischen Verkehrsnetze finanziertes Vorhaben

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



Ausbau Eisenbahnachse München-Verona
BRENNER BASISTUNNEL
Ausführungsplanung

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

D0700: Baulos Mauls 2-3		D0700: Lotto Mules 2-3					
Projekteinheit Gesamtbauwerke		WBS Opere generali					
Dokumentenart Technischer Bericht		Tipo Documento Relazione tecnica					
Titel Bericht - Bauzeitplan		Titolo Relazione - Programma lavori					
 RTI 4P <i>Raggruppamento Temporaneo di Imprese 4P</i> <small>cto Pio Iler S.r.l., Via G.B. Sammartini 5, 20125 Milano, Tel.: +39 026767911, Fax: +39 0287152612</small>		<i>Generalplaner / Responsabile integrazioni prestazioni specialistiche</i> Ing. Enrico Maria Pizzarotti Ord. Ingg. Milano N° A 29470					
Mandataria  PRO ITER <small>Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.</small>	Mandante  PÖYRY	Mandante  pini swiss engineers	Mandante  PASQUALI-RAUSA <small>ENGINEERING S.r.l./G.m.b.H.</small>				
<i>Fachplaner / il progettista specialista</i> Ing. Enrico Maria Pizzarotti Ord. Ingg. Milano N° A 29470							
	Datum / Data	Name / Nome	Gesellschaft / Società				
Bearbeitet / Elaborato	30.01.2015	Ciceri	Pro Iler				
Geprüft / Verificato	30.01.2015	Rivoltini	Pro Iler				
 BBT <i>Galleria di Base del Brennero Brenner Basistunnel BBT SE</i>		Name / Nome R. Zurlo	Name / Nome K. Bergmeister				
Projekt-kilometer / Chilometro progetto von / da 32.0+88 bis / a 54.0+15 bei / al	Projekt-kilometer / Chilometro opera von / da bis / a bei / al	Status Dokument / Stato documento	Massstab / Scala -				
Staat Stato	Los Lotto	Einheit Unità	Nummer Numero	Dokumentenart Tipo Documento	Vertrag Contratto	Nummer Codice	Revision Revisione
02	H61	EG	991	KTB	D0700	55010	21

Bearbeitungsstand Stato di elaborazione

Revision Revisione	Änderungen / Cambiamenti	Verantwortlicher Änderung Responsabile modifica	Datum Data
21	Abgabe für Ausschreibung / Emissione per Appalto	Rivoltini	30.01.2015
20	Überarbeitung infolge Dienstanweisung Nr. 1 vom 17.10.2014 / Revisione a seguito ODS n°1 del 17.10.14	Rivoltini	04.12.2014
11	Projektvervollständigung und Umsetzung der Verbesserungen aus dem Prüfverfahren / Completamento progetto e recepimento istruttoria	Rivoltini	09.10.2014
10	Endabgabe / Consegna Definitiva	Rivoltini	31.07.2014
00	Erstversion Prima Versione	Rivoltini	16.05.2014

1	ALLGEMEINES	
1	GENERALITA'	4
1.1	BESCHREIBUNG DER BAUWERKE DES BAULOS MAULS 2-3	
1.1	DESCRIZIONE OPERE APPARTENENTI AL LOTTO MULES 2-3	5
1.2	AUSBRUCHMETHODEN	
1.2	METODI DI SCAVO	7
2	GRUNDHYPOTHESE	
2	IPOTESI DI BASE	10
3	ANALYSE DER TBM-VORTRIEBE	
3	ANALISI DEGLI SCAVI CON TBM	16
3.1	ARA-BERECHNUNG	
3.1	CALCOLO DEL ARA	16
3.2	BERECHNUNG DER AUSFÜHRUNGSZEITEN	
3.2	CALCOLO DEI TEMPI DI REALIZZAZIONE	19
3.2.1	GL Süd	
3.2.1	GL sud.....	20
3.2.2	CE Nord	
3.2.2	CE nord	22
3.2.3	GL Nord	
3.2.3	GL nord	26
4	VERZEICHNISSE	
4	ELENCHI	27
4.1	ANLAGENVERZEICHNIS	
4.1	ELENCO APPENDICI	27
4.2	REFERENZDOKUMENTE	
4.2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	27
4.2.1	Eingangsdokumente	
4.2.1	Documenti in ingresso	27
4.2.2	Bibliografie	
4.2.2	Bibliografia.....	30
4.2.3	Ausgangsdokumente	
4.2.3	Documenti in uscita	31
5	ANHANG 1 – THEORETISCHE RME-ABHANDLUNG	
5	APPENDICE 1 - TRATTAZIONE TEORICA DEL RME	32
5.1	ROCK MASS EXCAVABILITY INDEX (RME)	
5.1	ROCK MASS EXCAVABILITY INDEX (RME)	32
5.1.1	Bestimmung der RME bildenden Parameter	
5.1.1	Determinazione dei parametri costituenti RME	32
5.1.1.1	Bewertung des DRI Index	
5.1.1.1	Valutazione dell'indice DRI	35
5.1.1.2	Bewertung der Stand-up Zeit	
5.1.1.2	Valutazione dello Stand-up Time.....	36
5.2	TEORETISCHES ARA	
5.2	ARA TEORICO.....	37
5.3	WAHLKRITERIEN DES TBM-TYPS IN BEZUG AUF DEN RME	
5.3	CRITERI DI SCELTA DEL TIPO DI TBM IN FUNZIONE DI RME	40
5.4	REELLE ARA	
5.4	ARA REALE	41

6	ANHANG 2 – RME-ANWENDUNG AM PLAN	
6	APPENDICE 2 – APPLICAZIONE DEL RME AL PROGETTO	44
6.1	BERECHNUNG DES RME	
6.1	CALCOLO DELL’RME.....	44
6.1.1	Widerstand auf Monoaxialdruck des intakten Gesteins	
6.1.1	Resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta.....	44
6.1.2	Bohrbarkeit	
6.1.2	Drillability	45
6.1.3	Diskontinuität an der Ortsbrust	
6.1.3	Discontinuities in front of the tunnel face	46
6.1.4	Stand-up Zeit	
6.1.4	Stand-up Time.....	47
6.1.5	Grundwasserzulauf	
6.1.5	Groundwater inflow.....	47
6.1.6	Erzielte Ergebnisse	
6.1.6	Risultati ottenuti.....	48
6.2	FESTLEGUNG DER ARA _T UND ARA _R	
6.2	DETERMINAZIONE ARA _T E ARA _R	50
6.3	ERGEBNISSE DER ARA BERECHNUNG	
6.3	RISULTATI DEL CALCOLO DI ARA	51
7	ANHANG 3 – WEITERE BEMERKUNGEN ZUR FESTLEGUNG DER TBM-VORTRIEBSZEITEN DER GL UND DES CE NACH NORDEN	
7	APPENDICE 3 – ULTERIORI CONSIDERAZIONI PER LA DETERMINAZIONE DEI TEMPI DI SCAVO DELLE GL E DEL CE CON TBM VERSO NORD	54
7.1	GEOLOGIE	
7.1	GEOLOGIA	54
7.2	WEITERE BEMERKUNGEN HINSICHTLICH DER AUSWAHL DES TBM-TYPS	
7.2	ULTERIORI CONSIDERAZIONI IN MERITO ALLA SCELTA DEL TIPO DI TBM	57
7.3	DURCHQUERUNG DER SCHWIERIGEN SEKTOREN	
7.3	ATTRAVERSAMENTO SETTORI CRITICI	59
7.3.1	Vortriebsuntersuchungen	
7.3.1	Indagini in avanzamento.....	59
7.3.1.1	Ausführungsverfahren der Vortriebsuntersuchungen [16]	
7.3.1.1	Procedura di esecuzione delle indagini in avanzamento [16].....	60
7.3.2	Maßnahmen zur Gebirgsbesserung	
7.3.2	Interventi di miglioramento dell’ammasso.....	61

1 ALLGEMEINES

In diesem Bericht werden Hauptabwägungen, Hypothesen und Bewertungen, welche der Bauzeitenanalyse vom Baulos Muls 2-3 des Brenner Basistunnels zugrunde liegen, zusammengefasst.

Diese Analysen haben die Abfassung des dem Projekt [42] [43] beiliegenden Bauzeitplans ermöglicht.

Dieses wurde als Planbezug zur Bemessung der Lüftungsanlagen, der Baustellenlogistik sowie der Abraumhaldenbewirtschaftung angenommen.

Der Bauzeitplan wurde in Bezug auf eine Bauwerkconfiguration abgefasst, welche den Einbau einer an der Kappe abgedichteten und an der Basis dränierten Innenschale aus Ort beton, für alle konventionell vorgetriebenen Strecken sowie für die mit offener TBM vorgetriebenen Haupttunnels nach Süden vorsieht (zur detaillierten Beschreibung der Vortriebmethoden siehe Kap. 1.2).

In Bezug auf die Innenschale der mit Schild-TBM nach Norden ausgeführten Haupttunnels und des Erkundungsstollen, muss vorausgeschickt werden, dass der Bauzeitplan mit folgender Zielsetzungen konzipiert wurde:

- so früh wie möglich den Abschluss der zivilen Haupttunnelbauwerke nach Süden vorverlegen, um den früheren Beginn der Verarbeitungen an den nachfolgenden Baulosen (Bankette und Anlagenbauvorbereitungen, Bahngerätschaft – Oberbau, elektrische und technische Anlagen, Betriebslüftung, Legung der Oberleitung, der Kabel, Brandschutzanlage Haupttunnel, Gleisschleifung, Tunnelreinigung, Betriebstest) innerhalb des 6. Jahres von der Bauübergabe zu ermöglichen;
- das gleiche gilt für die Fertigstellung der Ingenieurbauwerke der Haupttunnels nach Norden, um auch für nachfolgende Phasen die Fortsetzung der Arbeiten bzgl. der nächsten obengenannten Baulose zu ermöglichen und um auf alle Fälle sämtliche Tätigkeiten hinsichtlich des Baulos Muls 2-3 entlang der Hauptachsen binnen Ende des 8. Jahres von der Bauübergabe zu beenden;
- sämtliche Resttätigkeiten des Baulos binnen Ende des 9. Jahres von der Bauübergabe beenden.

Diese Inputs, wie in Folge und in den spezifischen Projektdokumenten beschrieben wird, waren besonders beschränkende Auflagen welche die Planung besonderer Maßnahmen (Neuer Logistik Knoten), die Nutzung des Lüftungssystems während der Bauphase bis zur

1 GENERALITA'

Nella presente relazione vengono sintetizzate le principali considerazioni, ipotesi e valutazioni che sono alla base delle analisi dei tempi di costruzione del Lotto Muls 2-3 della Galleria di Base del Brennero.

Tali analisi hanno consentito la redazione del Programma lavori allegato al progetto [42] [43].

Esso è stato assunto come riferimento di progetto per il dimensionamento degli impianti di ventilazione, della logistica di cantiere e della gestione dei depositi.

Il Programma lavori è stato redatto con riferimento a una configurazione delle opere che prevede la realizzazione di un rivestimento definitivo gettato in opera, impermeabilizzato in calotta e con drenaggio al piede per tutte le tratte scavate in tradizionale e per le Gallerie di Linea scavate con TBM aperta verso sud (per descrizione dettagliata dei metodi di scavo si veda Par. 1.2).

Per quanto riguarda il rivestimento definitivo delle Gallerie di Linea e del Cunicolo Esplorativo realizzati con TBM scudate verso nord, bisogna premettere che il Programma lavori è stato concepito per raggiungere i seguenti obiettivi:

- anticipare al massimo il compimento delle opere civili delle Gallerie di Linea verso sud in modo da consentire l'inizio anticipato delle lavorazioni relative ai lotti successivi (banchine e predisposizioni impiantistiche, attrezzaggio ferroviario – armamento, impianti elettrici e tecnici, ventilazione di esercizio, posa catenaria, posa cavi, impianto antincendio Gallerie di Linea, molatura binari, pulizia gallerie, test di esercizio) entro il 6° anno dalla consegna dei lavori;
- analogamente si dica per il compimento delle opere civili delle Gallerie di Linea verso nord in modo da rendere possibile, anche per fasi consecutive, la prosecuzione delle lavorazioni relative ai lotti successivi sopra descritte e comunque terminare tutte le attività relative al Lotto Muls 2-3 lungo gli assi principali entro la fine del 8° anno dalla consegna dei lavori;
- terminare tutte le attività residue del lotto entro la fine del 9° anno dalla consegna dei lavori.

Tali input hanno costituito vincoli particolarmente restrittivi che hanno comportato, come descritto nel seguito e negli specifici elaborati di progetto, la previsione di particolari accorgimenti logistici (Nuovo Nodo Logistico), lo sfruttamento del sistema di ventilazione in fase di costruzione fino ai massimi limiti

höchstmöglichen Grenze, die Reduzierungsnotwendigkeit der Einbauzeiten der Innenschalen der nach Norden mit Schild-TBM vorgetriebenen Haupttunnels und des Erkundungsstollens, vorausgesetzt haben. Aus diesem Grund ist die Schale selbst auf begrenzte Teile der Entwicklung dieser Tunnels angewandt worden.

In der Tat, wird für die mit Schild-TBM nach Norden vorgetriebenen Haupttunnels und den Erkundungsstollen, über der Tübbingringenschale hinaus, eine Innenschale aus Ort beton nur an besonderen Strecken erwägt. Für den Erkundungsstollen ist die Realisierung der Innenschale an den Logistik Ausweichen, die Nothaltestelle, den Querschlag Typ 5, den Verbindungsnischen zu den Haupttunnels, sowie den Strecken mit geomechanischen kritischen Bedingungen vorgesehen, auf einer Gesamtentwicklung von ca. 40% der CE-Länge; für die mit Schild-TBM nach Norden vorgetriebenen Haupttunnels ist diese Schale, über den Bereichen mit kritischen geomechanischen Bedingungen hinaus, an den Verbindungen mit den Querverbindungsstollen vorgesehen, auf einer Gesamtentwicklung von ca. 45% deren Länge.

Die Innenschale der Hauptachsen, wie abschließend von den Planzeichnungen beschrieben, schließt **nicht** den Bau der sich darin befindenden Bankette und der Anlagenvorbereitungen ein; diese Tätigkeiten werden Gegenstand der nächsten Baulose sein.

In Folge wird eine synthetische Beschreibung der Bauwerke und der vorgesehenen Ausbruchmethoden vorgeschlagen.

Es wird unterstrichen, dass bezüglich der unten aufgezeigten Kilometrierungen, während der Bauphase, angesichts des zeitlichen Arbeitsverlauf dieses und der angrenzenden Baulose, eine Verschiebung der Baulosgrenzen möglich sein wird.

1.1 BESCHREIBUNG DER BAUWERKE DES BAULOS MAULS 2-3

Der Bauzeitplan ist für die in der Ausführungsplanung des Baulos Mauls 2-3 vorgesehenen Bauwerke, welche auf dem Bauwerkklageplan [1] dargestellt sind entwickelt worden (NB: die Kilometrierungen des Erkundungsstollens sind aufsteigend nach Norden, die der Haupttunnels und des Zugangstunnels nach Süden). Insbesondere:

Bauwerke nördlich der Einbindung des Fensterstollens Mauls mit den Haupttunneln

- 1) Haupttunnel (GL) Ost (Gleis N-S) "Ende Baulos Mauls 1 – Staatsgrenze", ca. von km 47.2+59 bis ca. km 32.0+88 (Vortrieb und Innenschale);

possibili, la necessità di ridurre i tempi di realizzazione del rivestimento interno delle Gallerie di Linea e del Cunicolo Esplorativo scavati con TBM scudata verso nord. Per tale motivo il rivestimento stesso è applicato su porzioni limitate dello sviluppo di tali gallerie.

Infatti, per le Gallerie di Linea e per il Cunicolo Esplorativo scavati con TBM scudata verso nord, oltre al rivestimento in anelli di conci prefabbricati, si considera un rivestimento interno gettato in opera soltanto su tratti particolari. Per il Cunicolo Esplorativo si prevede la realizzazione del rivestimento interno in corrispondenza delle Piazzole Logistiche, della Fermata di Emergenza e del Cunicolo Trasversale Tipo 5, delle nicchie di collegamento alle Gallerie di Linea e di tratte con condizioni geomeccaniche critiche, per uno sviluppo complessivo di almeno circa il 40% della sua lunghezza; per le Gallerie di Linea scavate con TBM scudata verso nord, tale rivestimento, oltre che nelle zone con condizioni geomeccaniche critiche, è previsto in corrispondenza degli innesti con i Cunicoli di Collegamento trasversali, per uno sviluppo complessivo fino a circa il 45% della loro lunghezza.

Il rivestimento definitivo degli assi principali **non** comprende la realizzazione delle banchine e delle predisposizioni impiantistiche in esse contenute, come compiutamente descritto dai disegni di progetto, attività che saranno oggetto di lotti successivi di costruzione.

Nel seguito viene proposta una descrizione sintetica delle opere e dei metodi di scavo previsti.

Si precisa che, rispetto alle progressive sotto indicate, sarà possibile in corso d'opera, in funzione dell'andamento temporale dei lavori del lotto in oggetto e di quelli limitrofi, uno spostamento dei confini dei lotti costruttivi.

1.1 DESCRIZIONE OPERE APPARTENENTI AL LOTTO MULES 2-3

Il Programma lavori è stato sviluppato per le opere previste nel Progetto Esecutivo del lotto Mules 2–3, rappresentate sulla Planimetria delle opere [1] (N.B.: le progressive del Cunicolo Esplorativo sono crescenti verso nord; quelle delle Gallerie di Linea e della Galleria di Accesso, verso sud). In particolare:

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) Haupttunnel (GL) Ost (Gleis N-S) „Tunnelausbau Baulos Muls 1“: Innenschale der bestehenden Haupttunnelstrecke, die im Abschnitt des Bauloses Muls 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 Muls befinden (von km 48.9+02 bis 49.0+83 ca.)
- 3) Haupttunnel (GL) West (Gleis S-N) „Ende Baulos Muls 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 S-N) „Tunnelausbau Baulos Muls 1“: Innenschale der bestehenden Haupttunnelstrecke, die im Bereich des Bauloses Muls 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 Muls befinden (von km 48.8+73 bis 49.0+57 ca.)
- 5) Fensterstollen Muls (M): Innenschale des Tunnels und alle dazugehörigen schon bestehenden Bauwerke, bestehend aus: „Abschnitt A“, „Abschnitt B“ Logistikkaverne und dazugehörigem Verbindungstunnel, Lüftungszentralkaverne mit entsprechenden Verbindungstunneln und Absaugschacht;
- 6) Nothaltestelle (FdE) Trens– System von Tunneln, Kavernen, Stollen, usw., dessen Projektion auf die Oströhre der Haupttunnels von km 44.5+15 bis km 45.0+25 (Vortrieb und Innenschale) liegt;
- 7) Zugangstunnel (GA) zur Nothaltestelle Trens, die sich zwischen dem Fensterstollen Muls 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 Haupttröhren sowie einem Verbindungsschacht zum Erkundungsstollen [3].
- 9) Erkundungsstollen (CE) „Ende Baulos Muls 1 – Staatsgrenze“, von km 12.4+59 ca. bis km 27.2+17 (Vortrieb und Innenschale).
- 2) Galleria di Linea (GL) est (dispari) “rivestimenti lotto Muls 1“: rivestimento definitivo della tratta della Galleria di Linea esistente, scavata nell'ambito del lotto Muls 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 Muls (tra km 48.9+02e 49.0+83 circa)
- 3) Galleria di Linea (GL) ovest (pari) “fine lotto Muls 1 – Confine di Stato“: da km 47.2+22 circa a km 32.0+47 circa (corrispondente alla 32.0+87 dei lotti adiacenti) (scavo e rivestimento definitivo)
- 4) Galleria di Linea (GL) ovest (pari) “rivestimenti lotto Muls 1“: rivestimento definitivo della tratta della Galleria di linea esistente, scavata nell'ambito del lotto Muls 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 Muls (tra km 48.8+73 e 49.0+57 circa)
- 5) Finestra di Muls (M): rivestimento definitivo della galleria e di tutte le opere afferenti alla stessa già realizzate e costituite da: “Ramo A“, “Ramo B“ Camerone logistico e connessa Galleria di Collegamento, Caverna Centrale di Ventilazione con relative Gallerie di Collegamento e Pozzo di Aspirazione;
- 6) Fermata di Emergenza (FdE) Trens – sistema di gallerie, caverne, cunicoli, ecc. la cui proiezione sulla Galleria principale est è compresa dal km 44.5+15 alla km 45.0+25 (scavo e rivestimento definitivo);
- 7) Galleria di Accesso (GA) alla Fermata di Emergenza Trens, compresa tra la Finestra di Muls 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 [3].
- 9) Cunicolo Esplorativo (CE) " fine lotto Muls 1 – Confine di Stato": da km 12.4+59 circa a km 27.2+17 (scavo e rivestimento definitivo).

- 10) 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 N-S) „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 S-N) „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.

Die Baulosgrenzen gehen aus den Plänen [1] hervor, auf die verwiesen wird.

1.2 AUSBRUCHMETHODEN

Die vorgesehenen Ausbruchmethoden sind der Zyklusvortrieb (konventioneller Vortrieb) und der Dauervortrieb (TBM), gemäß folgendes Schema [2] (die Kilometrierungen sind der Genauigkeit von 1 m angenähert):

Bauwerke nördlich des Verbindungspunktes des Fensterstollens Mauls mit den Haupttunneln

Ausbruch mit Schild-TBM

- Haupttunnels in der Strecke „TBM-Montagekaverne – Staatsgrenze“. km 44.1+92 - 32.0+88. Oströhre, km 44.1+55 - km 32.0+47 West, jeweils auf eine Gesamtlänge von 12'104 m und von 12'108m.

- 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 dei lotti adiacenti) (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 presentano a doppio binario.

I limiti del lotto di costruzione sono rilevabili nelle tavole [1] alle quali si rimanda.

1.2 METODI DI SCAVO

I metodi di scavo previsti sono l'avanzamento ciclico (tradizionale) e l'avanzamento continuo (TBM) secondo il seguente schema [2] (progressive approssimate con una precisione di 1 m):

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

Scavo con TBM scudata:

- Gallerie di Linea nella tratta “camerone di montaggio TBM – Confine di Stato”: km 44.1+92 - 32.0+88. canna est, km 44.1+55 - km 32.0+47 ovest, rispettivamente per una lunghezza totale di 12'104 m e di 12'108m.

- Erkundungsstollen „TBM-Montagekaverne Nord – Staatsgrenze“ von km 13+290 ca. bis km 27.2+17, auf eine Gesamtlänge von 13.927m.

Konventioneller Vortrieb

- Haupttunnels in der Strecke „TBM-Montagekaverne – Ende Baulos Mauls I“. km 44.1+92 - 47.2+59 Oströhre, km 44.1+55 - km 47.2+22 West, auf eine Gesamtlänge von 3.067 m für jede Röhre. Diese Strecke schließt den Ausbruch der Montagekavernen (L=160m) und der Nothaltestelle ein.
- Erkundungsstollen „Ende Baulos Mauls 1 – TBM Montage Kaverne Nord“: von km 12.4+59 bis km 13.2+90 ca., auf einer Gesamtlänge von ca. 830 m.
- Zugangstunnel zur FdE Trens auf eine Gesamtlänge von 3.085 m und neuem LK.
- Zentralstollen der FdE auf eine Gesamtlänge von 690 m.
- Querstollen (CT) und Lüftungsstollen.
- Logistik Ausweichen entlang des CE.

Bauwerke südlich des Verbindungspunktes des Mauls Fensterstollens mit den Haupttunnels

Ausbruch mit offene TBM:

- Haupttunnels in der Strecke km 49.1+18 - 52.6+22 Oströhre km 49.2+41 - km 52.8+45 West, jeweils auf eine Gesamtlänge von 3.504 m und von 3.604 m.

Konventioneller Vortrieb:

- Haupttunnels in der Strecke „TBM-Montagekaverne Mauls – TBM-Ausbrucharfang“ km 49.0+83 - 49.1+18 Oströhre, km 49.0+57 - km 49.2+41 West, jeweils auf eine Gesamtlänge von 35 m und von 184 m.
- Haupttunnels in der Strecke „TBM-Ausbruchende – Eisack Unterquerung“ km 52.6+22 – 54.0+15 Oströhre, km 52.8+44 – 54.0+02 Weströhre, jeweils auf eine Gesamtlänge von 1.393m und von 1.158m.
- Verbindungsquerstollen (CT)

Es wird hervorgehoben, dass:

- Der Ausbruch der ersten Strecke des CE nach Norden, vom Ende des Baulos Mauls 1 zur Kilometrierung km 13.2+90, wird mit konventionellem Vortrieb durchgeführt, weil die

- Cunicolo Esplorativo “camerone di montaggio TBM nord – Confine di Stato”: da km 13+290 circa a km 27.2+17, per una lunghezza totale di 13927m.

Scavo in tradizionale:

- Gallerie di Linea nella tratta “camerone di montaggio TBM – fine lotto Mules 1”: km 44.1+92 - 47.2+59 canna est, km 44.1+55 - km 47.2+22 ovest, per una lunghezza totale di 3’067 m su ogni canna. Questa tratta comprende scavo dei camerone di montaggio (L=160m) e della Fermata di Emergenza.
- Cunicolo Esplorativo “Fine lotto Mules 1 - camerone di montaggio TBM nord”: da km 12.4+59 a km 13.2+90 circa, per una lunghezza totale di circa 830 m.
- Galleria di Accesso alla FdE Trens per una lunghezza totale di 3’805 m e nuovo NL.
- Cunicolo Centrale della FdE per una lunghezza totale di 690 m.
- Cunicoli Trasversali (CT) e di ventilazione.
- Piazzole logistiche lungo il CE.

Opere situate a sud del punto d’innesto della finestra di Mules con le gallerie principali:

Scavo con TBM aperta:

- Gallerie di Linea nella tratta: km 49.1+18 - 52.6+22 canna est, km 49.2+41 - km 52.8+45 ovest, rispettivamente per una lunghezza totale di 3’504 m e di 3’604 m.

Scavo in tradizionale:

- Gallerie di Linea nella tratta “camerone di montaggio TBM Mules – inizio scavo con TBM”: km 49.0+83 - 49.1+18 canna est, km 49.0+57 - km 49.2+41 ovest, rispettivamente per una lunghezza totale di 35 m e di 184m.
- Gallerie di Linea nella tratta “fine scavo con TBM – Sottoattraversamento Isarco”: km 52.6+22 – 54.0+015 canna est, km 52.8+44 – 54.0+02 canna ovest, rispettivamente per una lunghezza totale di 1’393m e di 1’158m.
- Cunicoli Trasversali (CT) di collegamento

Si evidenzia che:

- Lo scavo del primo tratto del CE verso nord, dal termine del lotto Mules 1 a progressiva km 13,2+90, è previsto con metodi tradizionali, in quanto la realizzazione del CE nell’ambito del lotto Mules 1

Ausführung des Erkundungsstollens im Rahmen des Baulos Muls 1 nicht ermöglicht hat mit Sicherheit das Ende der Gebirgszone, welche in der von der Periadriatischen Naht erzeugten intensiven tektonischen Störung miteinbezogen ist, zu ermitteln. Daher wurde entschlossen die Anfangskilometrierungen des TBM-Vortriebs nach Norden zu verschieben, wobei eine weitere 830 m lange Strecke mit konventionellem Vortrieb ausgeführt wird, damit die TBM von einem Gebirge mit besserer geomechanischen Qualität starten kann.

- Auch der Beginn des TBM Vortriebs der GL nach Norden wird nicht am Ende des Baulos Muls 1, sondern ca. 3000 m weiter nach Norden gesetzt. Dies geht aus 3 Planungsentschlüssen hervor:
 - Die Strecke der Nothaltestelle (500 m), deren Ausbruchmaße größer als die der laufenden Haupttunnel sind, mit konventionellem Vortrieb auszuführen. Diese Strecke mit Schild-TBM Vortrieb, mit Tübbingringenschale, zu durchqueren, hätte den nachfolgenden kompletten Abriss der Ringe selbst und die Ausbruchquerschnittsverbreiterung mit neuer Außenschale bedeutet, mit negativen Auswirkungen sowohl auf Kosten als auch auf Ausführungszeiten.
 - Der Ausbruch entlang der Hauptachsen muss immer, aus Gründen die in Kap. 2 aufgeführt werden, nach dem des Erkundungsstollens ausgeführt werden. Da die Ausführung der Anfangsstrecke des CE nach Norden, aufgrund der vorhergehenden Erklärung, konventionell vorgetrieben wird, hätte die Vorverlegung des TBM-Starts der GL nach Norden die Notwendigkeit vorausgesetzt die Ausbrüche selbst anzuhalten, um diese Planaufgabe zu berücksichtigen.
 - Sowohl die Anfangsstrecke des Ausbruchs der GL nach Norden, vom Ende des Baulos Muls 1, als auch der Bereich, wo die Nothaltestelle ausgeführt wird, sind durch besondere geologische und geomechanische Problematiken charakterisiert, welche die Anwendung eines TBM-Vortriebs abgeraten haben (Ausgang aus der Gebirgszone, welche in der Tektonisierung der Periadriatischen Naht, tektonischer Übergang von Para- und Amphibolitschiefer des Grundgebirges zu Paraschiefer der Glöckner Verwerfung, miteinbezogen ist).

non ha consentito di individuare con certezza la fine della zona di ammasso coinvolta nell'intenso disturbo tettonico generato dal Lineamento Periadriatico. Si è scelto, quindi, di spostare le progressive di inizio dello scavo con TBM verso nord realizzando un ulteriore tratto in tradizionale della lunghezza di 830 m, per consentire alla TBM di partire in un ammasso dotato di migliori qualità geomeccaniche.

- Anche l'inizio dello scavo con TBM delle GL verso nord, è posto non al termine del lotto Muls 1 ma circa 3000 m più a nord. Ciò deriva da tre scelte progettuali:
 - Eseguire con metodi tradizionali il tratto della Fermata di Emergenza (circa 500 m), avente dimensioni di scavo maggiori rispetto a quelle delle gallerie di linea corrente. Attraversare questo tratto con uno scavo meccanizzato eseguito con TBM scudata con rivestimento in anelli di conci prefabbricati, avrebbe comportato la successiva demolizione totale degli anelli medesimi e l'allargamento della sezione con realizzazione di nuovo rivestimento di prima fase, con riflessi negativi sia sui costi che sui tempi di realizzazione.
 - Lo scavo lungo gli assi principali, deve sempre, per quanto verrà esposto al Capitolo 2, essere preceduto da quello del CE. Dal momento che la tratta iniziale del CE verso nord, per quanto sopra esposto, è realizzata in tradizionale, anticipare la partenza delle TBM delle GL verso nord avrebbe comportato la necessità di fermare gli scavi stessi per rispettare questo vincolo progettuale.
 - Sia la tratta iniziale di scavo verso nord delle GL dal termine del lotto Muls 1 sia la zona dove deve essere realizzata la Fermata di Emergenza, sono caratterizzate da particolari problematiche geologiche e geomeccaniche (uscita dalla zona di ammasso coinvolto nella tettonizzazione del Lineamento Periadriatico; transizione tettonica tra Parascisti e Anfiboliti del Basamento Cristallino e i Parascisti della Falda del Glockner) che hanno sconsigliato l'adozione di un avanzamento con TBM.

2 GRUNDHYPOTHESE

Bei der Bauzeitenanalyse ist erwägt worden, die Arbeit mit einem Dauerrhythmus von 24 Stunden per Tag und 340 Tage per Jahr (25 Feier- und Urlaubstage/Jahr zu entwickeln).

Es sind folgende Hypothesen und Zeiten erfasst worden:

- Baustelleneinrichtung: 6 Monate.
- Baustellenräumung und Rohbauübergabe: 4 Monate für Bauwerke nördlich des Verbindungspunktes des Fensterstollens Mauls mit den Haupttunnels, 3 Monate für Bauwerke südlich des Verbindungspunktes des Mauls Fensterstollens mit den Haupttunnels. Der Endrückzug nach Schalenfertigstellung des Fensterstollens Mauls, bei der erwägt wurde, sie teilweise mit der Betonierung zu überlagern.
- TBM-Transport und -Montage : 3 Monate.
- TBM-Demontage und -Transport nach Außen: 3 Monate.
- TBM- Demontage und -Transport und TBM Wiederaufbau: 5 Monate.
- Die Zeiten für die Baustelleneinrichtung und der Vorbereitung der Ausbruchgerätschaft schließen die notwendigen Voreinstellungen für den Maschinenstart ein (Vorbereitung der Richtungsgleise und der Gegenstrukturen, Profilierung des Gegengewölbes und Einbau des Basis- und des Schließstübbing des Erkundungsstollen in der bereits im Rahmen des Baulos Mauls 1 vorgetriebenen Strecke usw.).
- Während der Baustelleneinrichtungsperiode werden außerdem vorbereitende Tätigkeiten, zur Ausführung der darauffolgenden Arbeiten innerhalb der bereits in den vorherigen Baulosen realisierten Strecken, durchgeführt, wie die Vorbereitung der Verbindung des Zugangstunnel zur Nothaltestelle im Fensterstollen Mauls, Neuprofilierung der Ausbrüche des Fensterstollens Mauls, der Querstollen sowie eventueller weitere Tunnelstrecken mit Unterprofile.

Aufgrund der Erfahrung sowie der aus den vorhergehenden Baulosen des Brenner Basistunnels (Aicha-Mauls Stollen, Fensterstollen Mauls, Mauls 1) gewonnenen Nachweise, der geomechanischen Gebirgseigenschaften und der in den verschiedenen Strecken auszuführenden Hohlraumtypologien, sind folgende Zeiten (Kalendermonate) sowie durchschnittliche Vortriebsgeschwindigkeiten des

2 IPOTESI DI BASE

Nell'analisi dei tempi di costruzione si è considerato che il lavoro si sviluppi a ciclo continuo 24 ore su 24, per 340 giorni all'anno su 365 (25 giorni/anno di festività e ferie).

Sono state considerate le seguenti ipotesi e tempi:

- Allestimento dei cantieri: 6 mesi.
- Sgombero cantieri e consegna opere grezze: 4 mesi per le opere situate a nord del punto di innesto della finestra di Mules con le GL; 3 mesi per le opere situate a sud del punto di innesto della finestra di Mules con le GL. Il ripiegamento finale a seguito del completamento dei rivestimenti della Finestra di Mules è stato considerato in parziale sovrapposizione ai getti.
- Trasporto e montaggio TBM: 3 mesi.
- Smontaggio e trasporto TBM all'esterno: 3 mesi.
- Smontaggio, trasporto e rimontaggio TBM: 5 mesi.
- I tempi di allestimento cantieri e approntamento delle attrezzature di scavo comprendono le predisposizioni necessarie per lo start-up delle macchine (preparazione delle selle di lancio e delle strutture di contropinta; profilatura dell'arco rovescio e installazione del concio di base e del concio di chiusura del Cunicolo Esplorativo nella tratta già scavata nell'ambito del lotto Mules 1, ecc.).
- Durante il periodo di allestimento dei cantieri, inoltre, dovranno essere svolte attività propedeutiche allo svolgimento dei successivi lavori, all'interno delle tratte realizzate nei lotti precedenti, quali: preparazione dell'attacco della Galleria di Accesso alla Fermata di Emergenza nella Finestra di Mules, riprofilatura degli scavi della Finestra di Mules, dei Cunicoli Trasversali e di eventuali altre tratte di galleria con sottoprofilati.

Sulla base dell'esperienza e delle evidenze ricavate dalla costruzione dei lotti precedenti della Galleria di Base del Brennero (Cunicolo Aica – Mules, Finestra di Mules, Mules 1), delle caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso e delle tipologie di cavità da realizzare nelle varie tratte di scavo, sono stati considerati i seguenti tempi (mesi solari) e velocità di avanzamento medie degli scavi in tradizionale (m/M = metri / mese solare):

konventionellen Vortriebs (m/M=Meter/Kalendermonat) erwägt worden:

- Konventioneller Vortrieb des Erkundungsstollens, einschließlich logistische Ausweichen: 140 m/M
- Konventioneller Vortrieb der TBM Ablaufkaverne des Erkundungsstollens: 60 m/M
- Konventioneller Vortrieb der Haupttunnels (GL) und der Nothaltestelle (FdE): 115 m/M
- Konventioneller Vortrieb der TBM-Montagekavernen (CM TBM) und der Logistikkaverne: 35 m/M
- Konventioneller Vortrieb des Zugangstunnels zur Nothaltestelle (GA): 140 m/M
- Konventioneller Vortrieb der logistischen Umleitung: 145 m/M
- Konventioneller Vortrieb des Zentralstollens der Nothaltestelle: 70 m/M
- Konventioneller Vortrieb der Angriff-Tunnels für die TBM Vortriebe mit Bohrkopf, Richtung Süden (MAT): 110 m/M
- Konventioneller Vortrieb der doppelgleisigen sowie verbreiterten doppelgleisigen GL: 165 m/M
- Verbreiterung der logistischen Ausweichen des Erkundungsstollens mit TBM Vortrieb: je 1 Monat
- Scavo in tradizionale del Cunicolo Esplorativo comprese Piazzole Logistiche: 140 m/M
- Scavo in tradizionale Camerone di lancio TBM del Cunicolo Esplorativo: 60m/M
- Scavo in tradizionale Gallerie di Linea (GL) e Fermata di Emergenza (FdE): 115 m/M
- Scavo in tradizionale Camerone di Montaggio TBM (CM TBM) e Camerone Logistico: 35 m/M
- Scavo in tradizionale Galleria di Accesso alla Fermata di Emergenza (GA): 140 m/M
- Scavo in tradizionale By-Pass Logistico: 145 m/M
- Scavo in tradizionale Cunicolo centrale della Fermata di Emergenza: 70 m/M
- Scavo in tradizionale delle gallerie di attacco per gli scavi delle Gallerie di Linea con gripper TBM verso sud (MAT): 110 m/M
- Scavo in tradizionale GL a doppio binario e a doppio binario allargato: 165 m/M
- Allargo Piazzole Logistiche del Cunicolo Esplorativo scavato con TBM: 1 mese cad.

Diese jedenfalls ziemlich hohen durchschnittlichen Vortriebsgeschwindigkeiten, (unter Berücksichtigung der unbeständigen Produktionen, je nach Ausbruchquerschnitt von 2.75 Abschlänge/Tag bis auf 0.75 Abschlänge/Tag, und der, verständlicherweise, vorsichtigen Verteilungen der unterschiedlichen Ausbruchquerschnitte berechnet) werden als erreichbar gehalten, durch Nutzung von nicht konventionellen Gerätschaften, welche die Industrialisierung des Vortriebs ermöglichen, z.B. Multifunktionsgeräte die im Stande sind die Stückzahl der nötigen Mittel zum Vortrieb zu begrenzen, und demnach die Transportzeiten der Mittel selbst zur Abbaufont zu kürzen.

Es werden jedenfalls auch Stillzeiten der Vortriebe aus rein geologisch-geomechanischen Gründen, die unvermuteten Schwierigkeiten bei denen die Ausführung von Sondermaßnahmen erfordert sind, vorgesehen.

Die obengenannten Geschwindigkeiten des Ausbruchvortriebs berücksichtigen die gleichzeitige Ausführung der Vorbereitung und/oder Ausbruch der Querverbindungsstollen zwischen den GL sowie der Verbindungen mit dem Erkundungsstollen (CE).

Queste velocità di avanzamento medie, comunque piuttosto elevate (calcolate considerando produzioni variabili a seconda delle sezioni di scavo da 2.75 sfondi/giorno a 0.75 sfondi/giorno e distribuzioni ragionevolmente cautelative delle varie sezioni di scavo), si ritiene possano essere raggiunte attraverso l'impiego di dotazioni non convenzionali che consentano l'industrializzazione dell'avanzamento, come per esempio attrezzature multifunzione in grado di limitare il numero dei mezzi necessari per eseguire l'avanzamento e quindi risparmiare sui tempi del trasferimento dei mezzi stessi al fronte.

Sono comunque stati previsti anche tempi di fermo degli avanzamenti per cause di esclusiva natura geologico-geomeccanica che possano comportare difficoltà impreviste richiedenti l'esecuzione di interventi particolari.

Le velocità di avanzamento degli scavi sopra indicate, considerano la realizzazione in contemporanea della predisposizione e/o dello scavo dei Cunicoli Trasversali di collegamento tra le GL e dei collegamenti con il Cunicolo Esplorativo (CE).

Außerdem wurde eine Durchschnittsgeschwindigkeit der Produktion von 312 m/M per Röhre für sämtliche Schalen aus Ortbeton berücksichtigt. Die aufgezeigte Produktion schließt die Errichtung von Kanalisationen, Abdichtungen, Schalen von Querstollen und Verbindungsschächte zum CE, CE-Nischen und Mittelsohle des GA und des Fensterstollens Mauls, sowie der CE-Anlagen ein.

Der Teilschalenbau der mit TBM nach Norden vorgetriebenen GL-Strecken stellt eine Ausnahme zur obengenannten Produktion dar. Insbesondere müssen die Strecken an den Querstollen zwischen den GL (Nr. 37) und den aus geomechanischer Sicht kritischen Gebiete mit Schüttungen an insgesamt ca. 45% der Entwicklung, und jedenfalls nach Ermessen der BL, verkleidet werden.

Um die Einhaltung der vorgesehenen Zeiten zu garantieren ist die Aktivierung mehrere Baustellen zur Ausführung der Schalen aus Ortbeton, mit entsprechenden Parallelschalungen, erforderlich. Insbesondere wird der Bau von 3 Paar logistischen Querumleitungen, als Verbindung zwischen den GL, entlang der TBM-Ausbruchstrecke nach Norden verteilt, für nötig gehalten. Die Querumleitungen müssen die Durchfahrt der Schienenfahrzeuge von einer Röhre zur anderen erlauben. Die Festlegung der tatsächlich benötigten Anzahl und des Standorts dieser logistischen Umleitungen (siehe Abbildung 1), sowie aller anderen logistischen Vorbereitungen unter Beachtung des vorgesehenen Zeitplans wird der Verantwortung des Auftragnehmers übertragen.

Analog, wird die Innenschale aus Ortbeton des CE (einschließlich die dazugehörigen Anlageinstallationen) an der ganzen Strecke des Fensterstollens Mauls nach Norden, welche in den vorhergehenden Baulosen, und im Rahmen des Baulos Mauls 2-3, durch konventionellem Vortrieb ausgeführt wurde, und nur teilweise in der mit TBM-Vortrieb und Schalen aus Tübbingringe auszuführenden Strecke im Rahmen dieses Baulos vorgesehen. Insbesondere auf der mit TBM-Vortrieb auszuführende Strecke müssen die Logistik Ausweichen (Nr. 7 mit einer Länge von je 40 m), die Strecken an die Nothaltestelle, den Querschlag Typ 5, den Verbindungen mit den GL (Nr. 12 Schachtnischen) sowie die aus geomechanischer Sicht kritischen Gebieten (Mindestens ca. 40% der Entwicklung und jedenfalls nach Ermessen der BL) mit Einbauten verkleidet werden.

E' stata inoltre considerata una velocità di produzione media di 312 m/M per canna per tutti i rivestimenti gettati in opera. La produzione indicata comprende la realizzazione di canalizzazioni, impermeabilizzazioni, rivestimenti dei Cunicoli Trasversali e dei pozzi di collegamento con il CE, nicchie del CE e solette intermedie della GA e della Finestra di Mules e degli impianti del CE.

Fa eccezione rispetto alla produzione sopra indicata la realizzazione dei rivestimenti parziali delle tratte di GL scavate con TBM verso nord. In particolare dovranno essere rivestiti con getti in opera i tratti in corrispondenza dei Cunicoli Trasversali tra le GL (n. 37) e le zone critiche dal punto di vista geomeccanico per un totale di circa il 45% dello sviluppo e comunque a discrezione della D.L.

Per garantire il rispetto dei tempi previsti è necessaria l'attivazione di più cantieri di realizzazione del rivestimento gettato in opera, con relativi casseri, in parallelo. In particolare si ritiene necessario considerare la realizzazione di almeno n. 3 coppie di by-pass logistici obliqui di collegamento tra le GL, da distribuire lungo la tratta di scavo con TBM verso nord. I by-pass obliqui devono consentire il transito dei convogli su ferro da una canna all'altra. La definizione del numero effettivamente necessario e della posizione dei suddetti by-pass logistici (si veda Figura 1), così come di tutte le altre predisposizioni logistiche, è demandata alla responsabilità dell'Appaltatore, nel rispetto dei tempi previsti dal programma.

Analogamente, il rivestimento definitivo gettato in opera del CE (comprendente le relative installazioni impiantistiche) è previsto in tutta la tratta a nord della Finestra di Mules realizzata in tradizionale nei lotti di costruzione precedenti e nell'ambito del lotto Mules 2-3, e soltanto parzialmente nella tratta da realizzare con scavo con TBM e rivestimento in anelli di conci prefabbricati nell'ambito del lotto in oggetto. In particolare nella tratta da realizzare con scavo con TBM dovranno essere rivestite con getti in opera le Piazzole Logistiche (n. 7 della lunghezza di circa 40 m cad.), i tratti in corrispondenza della Fermata di Emergenza, del Cunicolo Trasversale Tipo 5 e dei collegamenti con le GL (nicchie per pozzi: n. 12) e le zone critiche dal punto di vista geomeccanico (almeno circa il 40% dello sviluppo e comunque a discrezione della D.L.).

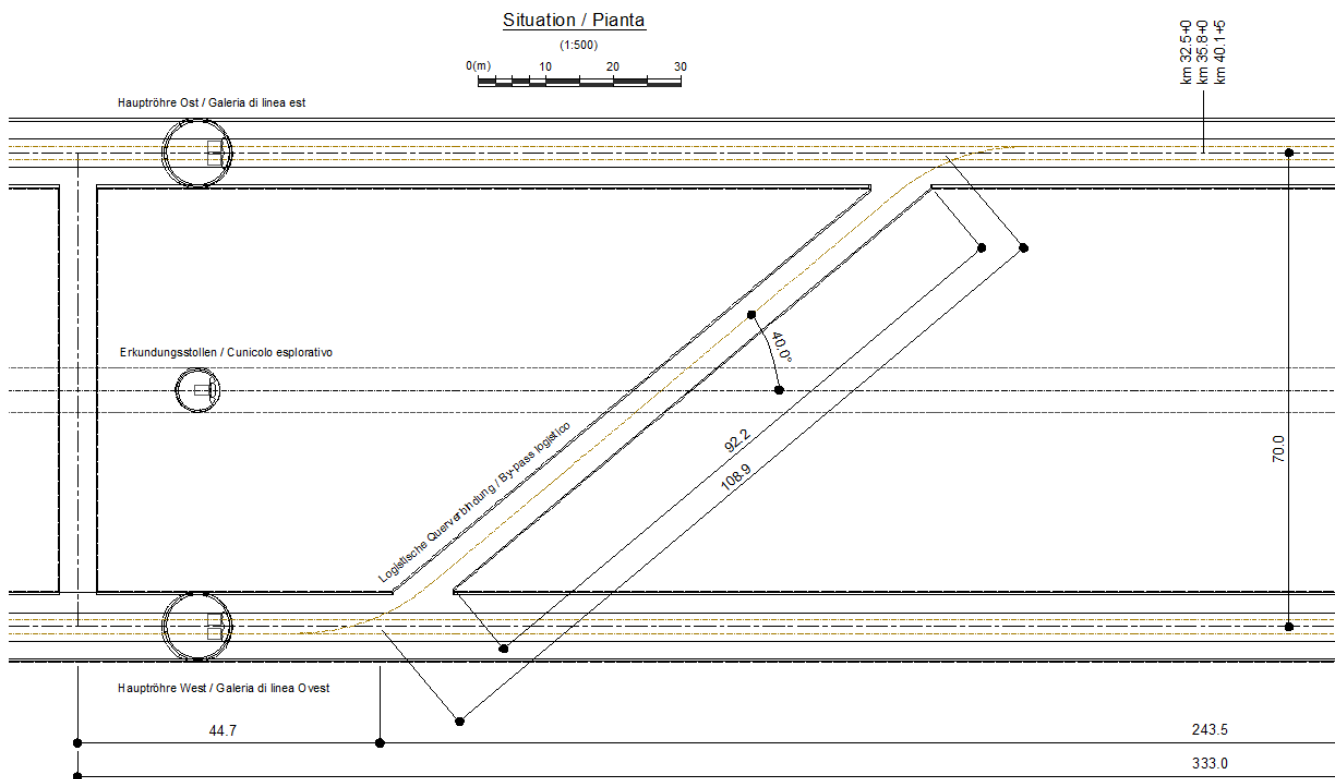


Abbildung 1: Schema logistische Umleitungen

Figura 1: Schema by-pass logistico

Für alle Tätigkeiten der eingebauten Schalen/Auffüllung und die Ausführung der Lüftungsmittelsohlen der den Mails Knoten betreffenden Bauwerkteile, welche im Rahmen der vorhergehenden Baulose konventionell vorgetrieben wurden (Fensterstollen Mails, Strecke A, Strecke B, Verbindungstunnel, Logistikkaverne, Logistikstrecke, Verbindungstunnel, Lüftungskaverne sowie Verbindungstunnel zum Fensterstollen Mails, Abzugsschacht, Mails TBM-Kaverne und Brechkaverne), wurden gleiche Produktionsgeschwindigkeiten wie die zuvor aufgezeigten berücksichtigt.

Die Schalen der Lüftungskaverne, deren Verbindungstunnel zum Fensterstollen Mails, sowie des Abzugsschachts können nach der Fertigstellung der Schalen der Strecke nach Norden der GL und des CE ausgeführt werden, da diese Aktionen sich nicht mit den logistischen Wegen überschneiden, welche zur Programmfertigstellung aktiv bleiben müssen.

Um den im Programm dargestellten zeitlichen Verlauf machbar zu machen sind in den aufeinanderfolgenden Bauphasen drei verschiedene Standorte der Betonanlage nötig. Insbesondere ist der Aufbau einer ersten Betonanlage in der bestehenden Logistik Kaverne an km 48.9+32 ca.

Per tutte le attività di rivestimento gettato in opera / riempimento e realizzazione delle solette intermedie di ventilazione delle parti d'opera afferenti al nodo di Mules scavate in tradizionale nell'ambito di lotti precedenti (Finestra di Mules, Ramo A, Ramo B, Galleria di Innesso, Camerone Logistico, Ramo Logistico, Galleria di Collegamento, Camerone di Ventilazione e Gallerie di Collegamento alla Finestra di Mules, Pozzo di Aspirazione, Camerone TBM di Mules e Camera di frantumazione), sono state considerate velocità di produzione analoghe a quelle sopra riportate.

I rivestimenti del Camerone di Ventilazione, delle sue Gallerie di Collegamento alla Finestra di Mules e del Pozzo di Aspirazione, possono essere eseguiti dopo il completamento dei rivestimenti del tratto nord delle GL e del CE, in quanto tali operazioni non interferiscono con i percorsi logistici che è necessario mantenere attivi per il compimento del Programma.

Per rendere fattibile la sequenza temporale rappresentata nel Programma, sono necessarie tre diverse collocazioni dell'impianto di betonaggio nelle successive fasi costruttive. In particolare è prevista la realizzazione di un primo impianto di betonaggio posto nel Camerone Logistico esistente al km 48.9+32 ca. canna ovest, di un secondo impianto di

Weströhre vorgesehen, einer zweiten Betonanlage im Neuen Logistik Knoten und einer dritten im Freien.

Die Betonanlagen [44] werden jeweils den Innenschalenschüttungen folgender Strecken dienen:

- **1. Betonanlage:** GL nach Süden (von den TBM-Montagekavernen von Mauls, nach Norden, bis zum Baulos Eisack Unterquerung).

Mit der ersten Betonanlage werden außerdem sämtliche Außenschalen aus Spritzbeton der Hauptachsen und des GA bis über den 2. Logistik Knoten erzeugt.

- **2. Betonanlage:** GL nach Norden (von den TBM Montage Kavernen von Mauls bis zur Staatsgrenze) Erkundungsstollen nach Norden (von den TBM Montage Kavernen von Mauls bis zur Staatsgrenze); Zentralstollen der FdE und erster Teil des Zugangstunnels, einschließlich der Ausführung der Mittelplatte bis zum Neuen Logistik Knoten; Schalen der sich talwärts der Verbindung mit dem Zugangstunnel befindenden Bauwerke des Mauls Knotens (Strecke A, Strecke B, Verbindungstunnel, TBM-Kavernen);

Mit der zweiten Betonanlage werden außerdem die Außenschalen aus Spritzbeton der letzten Strecke des GA und des Zentralstollens der Nothaltestelle erzeugt.

- **3. Betonanlage:** Fertigstellung der Schale des Zugangstunnel und des Fensterstollens Mauls, einschließlich der Ausführung der Mittelplatte; der Schalen der Lüftungskaverne, der dazugehörigen Verbindungstunnel sowie des Abzugsschachts.

Der Einbau der Innenschalen wird in Gegenrichtung zu dem des Ausbruchs, nach dessen Ende, vorgesehen, um mit dem Abbau der Baustellenvorbereitungen (Gleise, Lüftung, usw.) gleichzeitig mit den Einbauten fortzufahren, wobei die Funktionalität der unbedingt für die Ausführungsphase dieser und der folgenden Bauwerke notwendigen Baustellenvorbereitungen erhalten bleibt.

Ausnahme zu dem oben beschriebenen, bilden die Ausführung der Innenschale der GL und des CE, in den Strecken zwischen dem Fenstersollen Mauls und die Kreuzung der logistischen Umleitung mit den GL, welche von Süden nach Norden ausgeführt werden müssen.

Bei der Abfassung des Programms sind außerdem folgende Begrenzungen berücksichtigt worden:

betonaggio posto nel Nuovo Nodo Logistico e di un terzo posizionato all'aperto.

Le centrali di betonaggio [44] dovranno servire rispettivamente i getti dei rivestimenti interni delle seguenti tratte:

- **1° centrale di betonaggio:** GL verso sud (dai Cameroni di Montaggio TBM di Mules fino al lotto Sottoattraversamento Isarco).

Con il primo impianto di betonaggio verranno inoltre prodotti tutti i rivestimenti di prima fase in betoncino proiettato degli assi principali e della GA fino a oltre il 2° nodo logistico.

- **2° centrale di betonaggio:** GL verso nord (dai Cameroni di Montaggio TBM di Mules fino al Confine di Stato); Cunicolo Esplorativo verso nord (dal camerone di smontaggio TBM di Mules fino al Confine di Stato); Cunicolo centrale della FdE e prima parte della Galleria di Accesso inclusa l'esecuzione della soletta intermedia fino al Nuovo Nodo Logistico; rivestimenti delle opere del nodo di Mules poste a valle dell'innesto con la Galleria di Accesso (Ramo A, Ramo B, Galleria di Innesso, Cameroni TBM);

Con il secondo impianto di betonaggio verranno inoltre prodotti i rivestimenti di prima fase in betoncino proiettato dell'ultimo tratto della GA e del Cunicolo Centrale della Fermata di Emergenza.

- **3° centrale di betonaggio:** completamento del rivestimento della Galleria di Accesso e della Finestra di Mules compresa realizzazione della soletta intermedia; rivestimenti del Camerone di Ventilazione, delle relative gallerie di collegamento e del Pozzo di Aspirazione.

Il getto dei rivestimenti definitivi è previsto con verso opposto a quello dello scavo, al termine dello scavo medesimo, in modo da procedere allo smantellamento delle predisposizioni di cantiere (binari, ventilazione, ecc.) di conserva con i getti, mantenendo la funzionalità di quelle strettamente necessarie a servizio di questa fase di realizzazione delle opere e delle successive.

Fa eccezione a quanto sopra la realizzazione dei rivestimenti definitivi delle GL e del CE nei tratti compresi tra la Finestra di Mules e l'intersezione del By-pass Logistico con le GL, che deve essere effettuata da sud verso nord.

Nella redazione del Programma si è inoltre tenuto conto delle seguenti limitazioni:

- Der CE-Ausbruch mit TBM nach Norden muss im Allgemeinen immer um mindestens 500 m den der GL vorangehen.
- Zur Gewährleistung der geeigneten Sicherheitsstufen, während der Bauphase, müssen die Vorbereitungen der GL-Querstellen, der Querstellen selbst und der Verbindungen mit dem CE auf möglichst geringe Entfernung von der Ortsbrust der entsprechenden Röhren vorgetrieben werden. Es wurde davon ausgegangen, dass dies ohne Vortriebabstellung für TBM-Vortriebe auf einen Abstand von der Ortsbrust von nicht unter 400 m möglich sei.
- Für den Ausbruch der Logistik Ausweichen des CE, welche auf einen Mindestabstand, der nicht unter 300 m von der Ortsbrust ist, ausgeführt werden, der Stollenvortrieb muss hingegen unterbrochen werden.
- Nach Möglichkeit dürfen der Transport und die Untertagemontage, die Demontage und der Transport nach draußen sowie im allgemeinen die Bewegungen der verschiedenen TBM (Nr. 1 für den CE im Norden, Nr. 2 für die Haupttunnels im Norden und Nr. 1 für die GL im Süden) nicht gleichzeitig erfolgen.
- Lo scavo del CE verso nord deve, in generale, sempre precedere quello delle GL di almeno 500 m.
- Per garantire adeguati livelli di sicurezza in fase di costruzione, le predisposizioni dei Cunicoli Trasversali delle GL, degli stessi Cunicoli Trasversali e dei collegamenti con il CE, devono essere scavati alla minore possibile distanza dai fronti di avanzamento delle rispettive canne. Si è posto che ciò possa avvenire, per scavi con TBM, a una distanza dal fronte di scavo non inferiore a 400 m, senza fermare l'avanzamento.
- Per lo scavo delle Piazzole Logistiche del CE, da realizzare a una minima distanza dal fronte di avanzamento non inferiore a 300 m, lo scavo del Cunicolo dovrà invece essere interrotto.
- Nei limiti del possibile, il trasporto e il montaggio in sotterraneo, lo smontaggio e il trasporto all'esterno e, in generale, la movimentazione delle diverse TBM (n. 1 per il CE a nord, n. 2 per le Gallerie di Linea a nord e n. 1 per le GL a sud) non devono avvenire contemporaneamente.

Die im Programm aufgezeigten zeitlichen Aneinanderreihungen berücksichtigen außerdem die Tatsache, dass zur Gewährleistung einer geeigneten Belüftung während der Bauphase nie mehr als einer gewisse Anzahl von Abbaufrenten und/oder Schaleneinbaubaustellen [15] gleichzeitig aktiv sein dürfen.

Le sequenze temporali rappresentate nel Programma, inoltre, tengono conto del fatto che per garantire un'adeguata ventilazione in fase di costruzione, non devono mai essere contemporaneamente attivi più di un determinato numero di fronti scavo e/o di cantieri di getto dei rivestimenti [15].

3 ANALYSE DER TBM-VORTRIEBE

Die mit TBM-Vortrieb durchgeführten Tunnelstrecken bilden ohne Frage die Hauptteile der Untertagestreckenentwicklungen (70% der GL vom Fensterstollen Mauls nach Süden, 80% der GL nach Norden und über 90% des CE). Daher haben sich die Analysen der Ausführungszeiten besonders auf die TBM-Vortriebe konzentriert. Insbesondere ist die Studie von der Berechnung des Vortriebsdurchschnittswert (Average Rate of Advance =ARA) nach der Bienawskj Methode et al. [34], ausgegangen.

3.1 ARA-BERECHNUNG

Unter Vortriebsdurchschnittswert (ARA) versteht man die Vortriebsgeschwindigkeit einer TBM bei einem Standardarbeitszyklus. Seinerseits kann der Standardarbeitszyklus als der Zeitraum definiert werden bei dem die TBM eine normale Maschinenvortriebsreihenfolge, mit Abschlaglangen Ausbrüchen, Gerätverschiebung, Aufbau der Außenschalen oder der Tübbingschalen, durchführt. Bienawskj liefert, durch die Analyse vieler Arbeitsbeispiele, unter genauen Begrenzungen gültige analytische Verhältnisse, welche die ARA mit der RME-Einstufung (Rock Mass Excavability) für unterschiedliche TBM-Typen (siehe Anhang 1) verknüpfen. Der RME-Wert ist als Summe unterschiedliche Beiträge bzgl. der Schwankung einiger charakteristischen Gebirgsparametern gegeben. Die Methode ist daher auch hilfreich zur Bewertung des für eine bestimmte Ausbruchstrecke geeigneten TBM-Typs.

Einige Autoren i [35] [36] haben die Berechnungsmethode der ARA aufgrund von direkten Erfahrungen verfeinert. Insbesondere ist vorgeschlagen worden den theoretischen ARA-Wert (ARA_T) von einem realen ARA-Wert (ARA_R) zu unterscheiden, um einige Betriebsaspekte zu berücksichtigen die typischerweise nicht mit der Gebirgsqualität verknüpft sind. Da geschätzt wurde, dass in den Fällen dieser Studie ARA_R immer höher als oder gleich wie ARA_T ist, hat man vorgezogen vorsichtshalber nur auf die berechneten theoretischen ARA-Werten Bezug zu nehmen. Diese Wahl, sicherlich zu Gunsten der Sicherheit, kann eine anscheinend unlogische Folge haben (aber immer zu Gunsten der Sicherheit) : die für den CE (Ausbruchdurchmesser von ca. 6 m) berechneten ARA-Werte stellen sich, bei Gleichheit der RME und des TBM-Typs, als dieselben der GL (Ausbruchdurchmesser von ca. 10 m) aus, während die Erfahrung beweist, dass immer, bei Gleichheit des Umrisszustands, niedrigere Ausbruchmaße höheren Vortriebsgeschwindigkeiten entsprechen.

Die erhaltenen Ergebnisse sind auf folgende Diagramme aufgezeigt, während in Anhang 2 die benutzten Input-Daten und die der RME-Berechnung enthalten sind.

3 ANALISI DEGLI SCAVI CON TBM

Le tratte di gallerie realizzate con scavo meccanizzato costituiscono senza dubbio le porzioni preponderanti degli sviluppi dei tracciati in sotterraneo (70% delle GL dalla Finestra di Mules verso sud, 80% delle GL verso nord e oltre il 90% del CE). Pertanto, le analisi dei tempi realizzativi si sono concentrate soprattutto sugli scavi con TBM. In particolare, lo studio ha preso le mosse dal calcolo del Average Rate of Advance (ARA) secondo il metodo proposto da Bienawski e al. [34]

3.1 CALCOLO DEL ARA

Con Average Rate of Advance (ARA) si intende la velocità di avanzamento di una TBM su un ciclo di lavoro standard. A sua volta il ciclo di lavoro standard può essere definito come quel lasso di tempo in cui la TBM compie una successione regolare di avanzamento della macchina, con scavo della lunghezza di sfondo, traslazione dell'attrezzatura, montaggio degli interventi di prima fase o del rivestimento in conci prefabbricati. Bienawski, attraverso l'analisi di numerosi case histories, fornisce relazioni analitiche, valide sotto ben precise limitazioni, che legano lo ARA al rating RME (Rock Mass Excavability) per diverse tipologie di TBM (si veda Appendice 1). Il valore di RME è dato come somma di diversi contributi in funzione della variabilità di alcuni parametri caratteristici dell'ammasso roccioso. Il metodo è quindi utile anche per valutare quale tipo di TBM sia più adatta per una particolare tratta di scavo.

Alcuni Autori [35] [36], hanno affinato il metodo di calcolo del ARA in base a esperienze dirette. In particolare è stato proposto di distinguere un valore di ARA teorico (ARA_T) da un valore di ARA reale (ARA_R) per tenere conto di alcuni aspetti operativi non prettamente legati alla qualità dell'ammasso roccioso. Avendo stimato che nei casi oggetto del presente studio ARA_R sia sempre superiore o pari a ARA_T , si è scelto cautelativamente di fare riferimento esclusivamente ai valori calcolati di ARA teorico. Questa scelta, sicuramente a favore di sicurezza, può comportare una conseguenza apparentemente illogica (ma comunque a favore di sicurezza): i valori di ARA calcolati per il CE (diametro di scavo di circa 6 m) risultano gli stessi, a parità di RME e di tipo di TBM, di quelli delle GL (diametro di scavo di circa 10 m) mentre l'esperienza attesta che, sempre a parità di condizioni al contorno, a dimensioni di scavo minori corrispondono maggiori velocità di avanzamento.

I risultati ottenuti sono riportati nei grafici seguenti, mentre nell'Appendice 2 sono contenuti i dati di input utilizzati e il calcolo del RME.

ARA_T - Erkundungsstollen / Cunicolo esplorativo

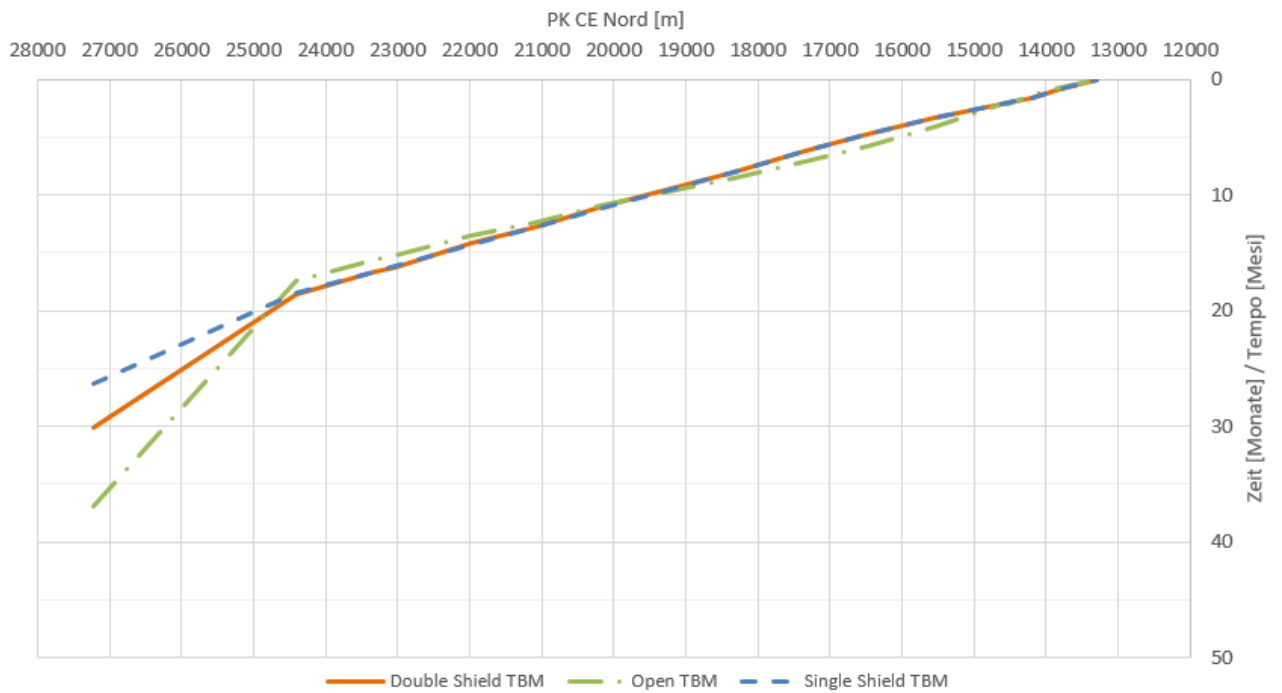


Abbildung 2: ARA_T - Erkundungsstollen

Figura 2: ARA_T Cunicolo Esplorativo.

ARA_T - Haupttunnels Nord / Gallerie di linea nord

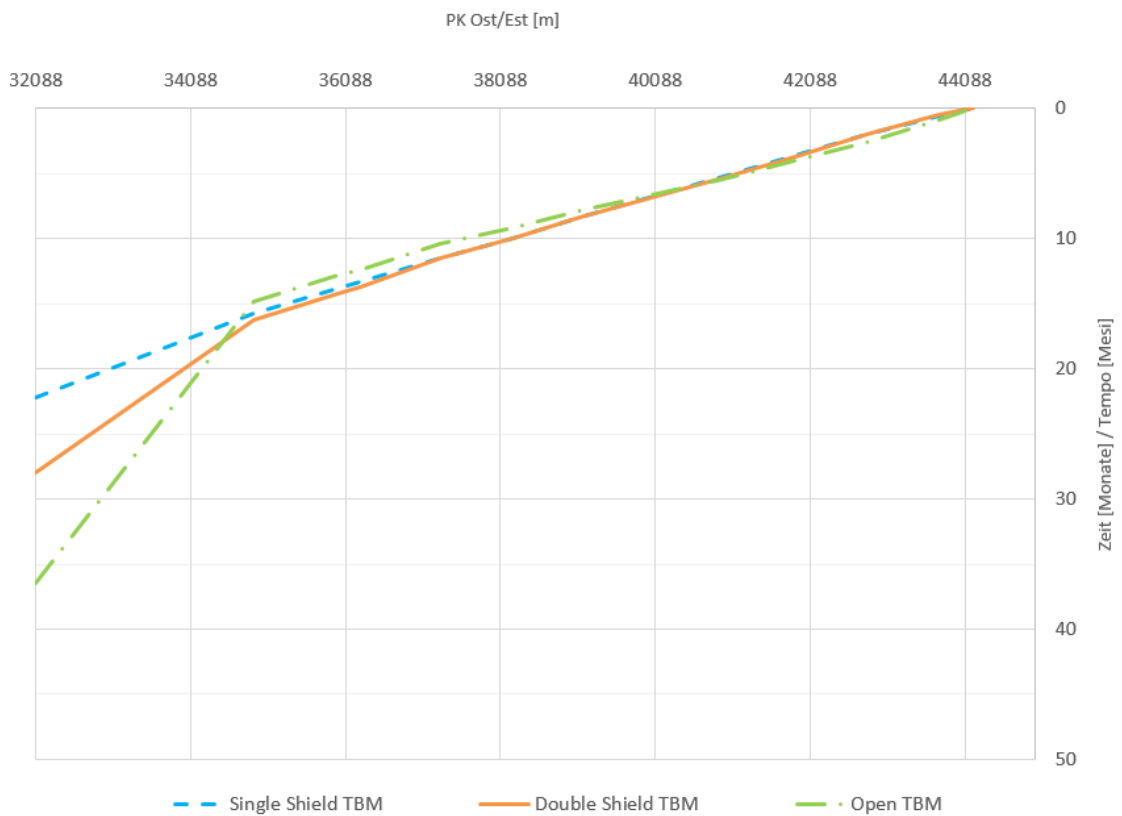


Abbildung 3: ARA_T - Haupttunnels Nord

Figura 3: ARA_T Gallerie di Linea nord.

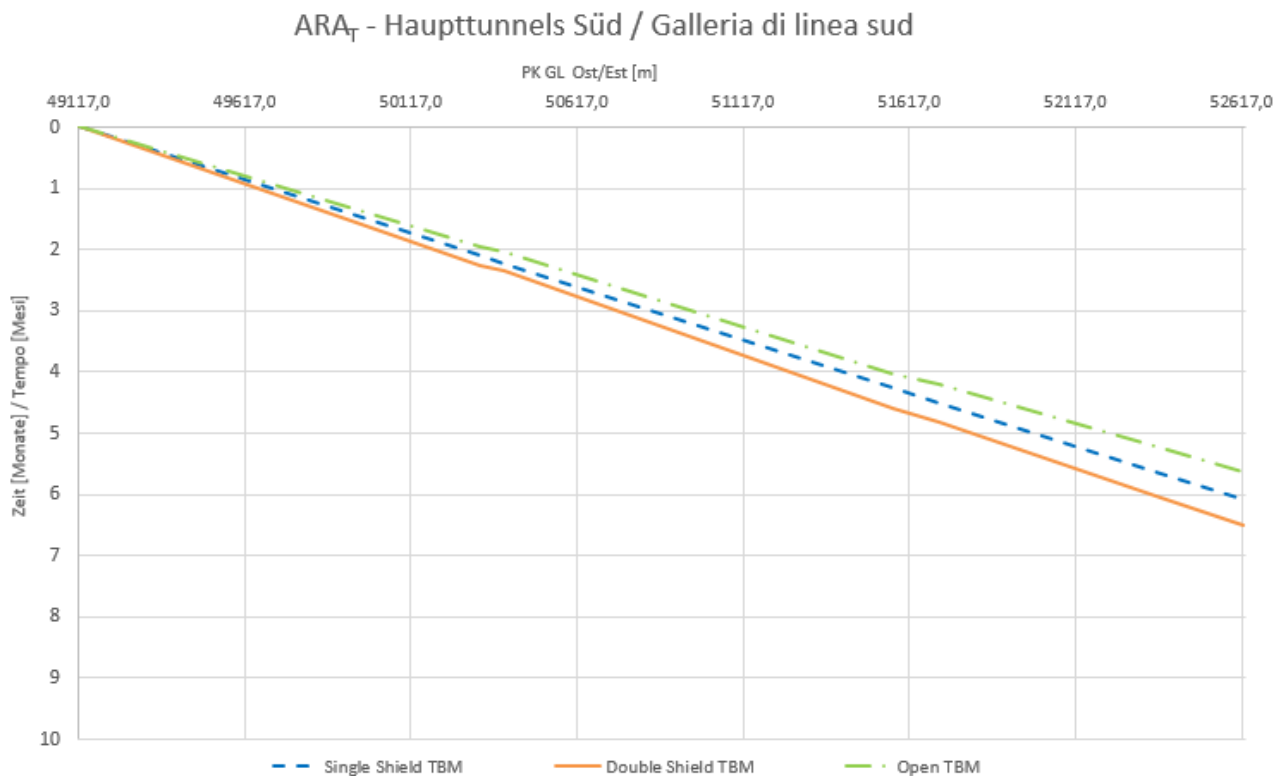


Abbildung 4: ARA_T - Haupttunnels Süd

Figura 4: ARA_T Gallerie di Linea sud

Aus den Diagrammen geht hervor:

- Die leistungsfähigere TBM für den GL-Ausbruch nach Süden ist offensichtlich die des offenen Typs, während für die GL und den CE nach Norden die mit einfachem Schild sich als vorteilhafter erweisen. Diese letzteren, allerdings, erweisen merkbare Vorteile im Vergleich zu denen mit Doppelschild, besonders an der letzten Ausbruchstrecke in Richtung der österreichischen Grenze. Der Plan sieht jedenfalls den Einsatz der einfachen Schild-TBM für die GL-Vortriebe und den der CE nach Norden vor (siehe Anhang 3), obwohl die Wahl des Gerättyps (Schild oder Doppelschild) für die Vortriebe nach Norden der Verantwortung des Auftragnehmers, unter Beachtung des vorgesehenen Zeitplans, übertragen ist.
- Die ARA-Mittelwerte an den berücksichtigten Ausbruchstrecken sind:
 - Für die GL nach Süden (offene TBM): ca. 25 m/g
 - Für den CE nach Norden auf der ganzen Strecke (Schild-TBM): ca. 21 m/g
 - Für den CE nach Norden bis zur Kilometrierung km 24.6+00 (für alle TBM-Typen): ca. 23 m/g

Dai grafici si evince quanto segue:

- La TBM più performante per lo scavo delle GL verso sud è evidentemente del tipo aperto, mentre per gli scavi delle GL e del CE verso nord risultano più vantaggiose quelle semplicemente scudate. Queste ultime, tuttavia, consentono sensibili vantaggi rispetto a quelle doppio scudate, soprattutto nell'ultima porzione di scavo verso il confine austriaco. Il Progetto prevede comunque l'impiego di TBM semplicemente scudate per gli scavi delle GL e del CE verso nord (si veda Appendice 3), anche se la scelta del tipo di attrezzatura (semplicemente o doppio scudata) per gli scavi verso nord è demandata alla responsabilità dell'impresa appaltatrice, nel rispetto dei tempi previsti dal programma.
- I valori di ARA medi sulle tratte di scavo considerate sono:
 - Per le GL verso sud (TBM aperta): circa 25 m/g
 - Per il CE verso nord su tutta la tratta (TBM semplicemente scudata): circa 21 m/g
 - Per il CE verso nord fino a progressiva circa km 24.6+00 (per tutti i tipi di TBM): circa 23 m/g

- Für die GL nach Norden auf der ganzen Strecke (offene TBM): ca. 22 m/g
- Für die GL nach Norden bis zur Kilometrierung km 34.4+00 (für alle TBM-Typen): ca. 23 m/g
- Eine der Grundannahmen der Methode ist diejenige reelle Fälle zu berücksichtigen mit einem variablen Maschinennutzungsbeiwert von 0.3 bis 0.6; daher bei den berechneten Fällen erweisen sich variable Eindringungswerte des Fräskopfs (P_r , Penetration Rate) von ca. 2.5 bis 6.0 cm/Minute
- Die für die GL nach Süden berechneten ARA- und Eindringungswerte (3-6 cm/min) sind einstimmig mit denen in [38] aufgezeigten, die sich auf die Erfahrung des CE- Vortriebs Aicha-Mauls in den gleichen Materialien (Brixener Granit) stützen.
- Die für die GL und den CE nach Norden berechneten ARA- und Eindringungswerte entsprechen den in zahlreichen ähnlichen Erfahrungen aufgezeigten.
- Per le GL verso nord su tutta la tratta (TBM semplicemente scudata): circa 22 m/g
- Per le GL verso nord fino a progressiva circa km 34.4+00 (per tutti i tipi di TBM): circa 23 m/g
- Una delle assunzioni di base del metodo è quella di prendere in considerazione casi reali con un coefficiente di utilizzo della macchina variabile tra 0.3 e 0.6; quindi, nei casi calcolati si hanno valori di Penetrazione della testa fresante (P_r , Penetration Rate) variabili da circa 2.5 a circa 6.0 cm/minuto
- I valori di ARA e di Penetrazione (3-6 cm/min) calcolati per le GL verso sud sono in buon accordo con quelli riportati in [38] che si basano sull'esperienza dello scavo del CE Aica – Mules negli stessi materiali (Granito di Bressanone).
- I valori ARA e di Penetrazione (2.5-5.0 cm/min) calcolati per le GL e per il CE verso nord, sono in linea con quelli riportati in numerose esperienze similari.

3.2 BERECHNUNG DER AUSFÜHRUNGSZEITEN

Um von den berechneten ARA-Werten zu denen der eigentlichen Produktion mit TBM-Vortriebe überzugehen müssen einige Aspekte berücksichtigt werden:

- Der TBM-Vortrieb wickelt sich normalerweise nicht im Dauerzyklus ab, da einige Stunden pro Tag der normalen Maschinenwartung gewidmet werden. In einem in drei 8 stündige Schichten organisierten 24 Stunden-Arbeitstag, wird eine Zeitspanne effektive Produktion von 20 Stunden berücksichtigt, d.h. einen 4 stündigen Tageszyklus für normale Wartung. Damit die berechneten ARA dies berücksichtigen müssen diese also durch folgendes Verhältnis reduziert werden

$$ARA' = ARA \times 20 / 24 = ARA \times 0.83$$
- Es müssen außerdem als weitere Aspekte, welche die TBM-Durchschnittsproduktion reduzieren, folgende berücksichtigt werden:
 1. Die eigentlichen Arbeitstage im Jahr im Vergleich zum Kalenderjahr 340 auf 365, die 25 Tage Stillstand der Baustellen wegen Urlaub entsprechen.
 2. Die Stillstandzeiten des Vortriebs wegen außergewöhnliche Wartung und/oder TBM-Reparatur: diese können über unvorhersehbare technologische Zwischenfälle hinaus mit der tatsächlichen Vortriebsschwierigkeit verbunden sein, d.h. der nicht optimale Gebirgsreaktion im

3.2 CALCOLO DEI TEMPI DI REALIZZAZIONE

Per passare dai valori di ARA calcolati a quelli di effettiva produzione degli scavi con TBM, è necessario tenere conto di alcuni aspetti:

- L'avanzamento delle TBM non si svolge normalmente a ciclo continuo in quanto alcune ore della giornata lavorativa vengono dedicate alla manutenzione ordinaria della macchina. Su una giornata lavorativa di 24 ore organizzata su tre turni da 8 ore, si considera un tempo di effettiva produzione di 20 ore, cioè un ciclo di manutenzione ordinaria giornaliero di 4 ore. Per tenere conto di ciò gli ARA calcolati devono quindi essere ridotti attraverso la relazione

$$ARA' = ARA \times 20 / 24 = ARA \times 0.83$$
- Bisogna inoltre considerare, come ulteriori aspetti che riducono la produzione media delle TBM, i seguenti:
 1. I giorni effettivamente lavorati nell'anno rispetto ai giorni solari: 340 su 365, corrispondenti a 25 giorni di fermo dei cantieri per ferie.
 2. I tempi di fermo avanzamento per manutenzione straordinaria e/o riparazione della TBM: essi possono essere collegati, oltre a imprevedibili inconvenienti tecnologici, alla effettiva difficoltà di avanzamento, cioè alla risposta non ottimale

Verhältnis zu den Eigenschaften des benutzten Geräts.

3. Die Stillstandzeiten der Produktion wegen Ausführung der Vortriebsprospektionen, auch diese mit der Überwindung geomechanisch kritischen Gebiete, die mit den Prospektionen selbst zu erkennen und charakterisieren sind, in Beziehung zu stellen.
4. Stillstandzeiten oder Verlangsamung der Produktion wegen Ausführung der Vorbereitungen der Verbindungsquerstollen zwischen den GL und der Verbindungen zwischen GL und CE, der Stollen und der Verbindungsschächte selbst, die gleichzeitig mit dem Vortrieb auszuführen sind.
5. Stillstandzeiten oder Verlangsamung der Produktion wegen Ausführung der Logistik Ausweichen des CE, die gleichzeitig mit dem Vortrieb auszuführen sind.
6. Stillstandzeiten oder Verlangsamung der Produktion wegen Ausführung der notwendigen Maßnahmen zur Überwindung in Sicherheit der geomechanisch kritischen Gebiete, in deren Innerem die Maschine nicht unter Standardbetriebsbedingungen vortreiben kann.

Die Zeiten von Punkt 2 – 6 können durch eine angemessene Tätigkeitseinplanung optimiert werden, da sie Tätigkeiten entsprechen die zeitlich sich teilweise überlappen lassen. In Folge der Abhandlung werden, jedenfalls, die für jeden der Punkte von 2. – 6. ohne mögliche Optimierung berücksichtigten Vortriebsstillstandzeiten, aufgezeigt.

3.2.1 GL Süd

Die TBM vorgetriebene GL-Strecke nach Süden ist durch das voraussehbare Vorhandensein von tektonischen Hauptstrukturen, die in folgende Tabelle 1 aufgezeigt sind, charakterisiert. Insbesondere sind Nr. 12 Verwerfungen vorgesehen mit einer scheinbaren Gesamtstärke (entlang der Vortriebsrichtung) von ca. 170 m, von denen 80% der Auflockerungszone und 20% der Kernzone entsprechen. .

dell'ammasso roccioso rispetto alle caratteristiche dell'attrezzatura utilizzata.

3. I tempi di fermo della produzione per l'esecuzione di prospezioni in avanzamento, anch'essi correlabili al superamento di zone geomeccaniche critiche da riconoscere e caratterizzare con le prospezioni medesime.
4. I tempi di fermo o rallentamento della produzione per l'esecuzione delle predisposizioni dei Cunicoli Trasversali di collegamento tra le GL e dei collegamenti tra GL e CE, dei Cunicoli e dei pozzi di collegamento medesimi, da realizzare di conserva all'avanzamento.
5. I tempi di fermo o rallentamento della produzione per l'esecuzione delle nicchie e delle Piazzole Logistiche del CE, da realizzare di conserva all'avanzamento.
6. I tempi di fermo o rallentamento della produzione per realizzazione di interventi necessari al superamento in sicurezza delle zone geomeccaniche critiche all'interno delle quali la macchina non può avanzare in condizioni di funzionamento standard.

I tempi di cui ai punti 2. – 6. possono essere ottimizzati, attraverso un'opportuna programmazione delle attività, in quanto corrispondenti ad attività che possono essere temporalmente parzialmente in sovrapposizione. Nel seguito della trattazione, comunque, verranno indicati i tempi di fermo dell'avanzamento considerati per ognuno dei punti riportati in 2. – 6. al netto delle ottimizzazioni possibili.

3.2.1 GL sud

Il tratto di scavo con TBM delle GL verso sud è caratterizzato dalla prevista presenza delle strutture tettoniche principali riportate nella seguente Tabella 1. In particolare risultano previste n.12 faglie aventi complessivamente uno spessore apparente (lungo la direzione di avanzamento) di circa 170 m di cui 80% di damaged zones e 20% di core zones.

n°	spessore apparente (m)	core zone %	damage zone %	spessore apparente core zone (m)	spessore apparente damage zone(m)	Pk GL est
1	1	20%	80%	0,2	0,8	49390
2	1	20%	80%	0,2	0,8	50271
3	1	0%	100%	0	1	50544
4	11	-	-	-	-	51500
5	-	20%	80%	-	-	51534
6	10	-	-	0	0	51649
7	60	20%	80%	12	48	51683
8	6	-	-	-	-	51861
9	23	20%	80%	4,6	18,4	51992
10	-	20%	80%	-	-	52051
11	29	-	-	-	-	52378
12	21	20%	80%	4,2	16,8	52501
L_{TOT}(m)	163			21,2	85,8	

Tabelle 1: Vorhandene Verwerfungen entlang der GL-Strecke Süd mit Bewertung der Längen der Kern- und der Auflockerungszone jeder Verwerfung [7].

Tabella 1: Faglie presenti lungo la tratta GL sud con valutazione, per ogni faglia, delle lunghezze di core zone e damage zone [7].

Zone number	Rock mass name	Class	Zone max overburden	Squeezing	Face stability	Rock burst
26	GB-G-GA-1	I	1265	X	-	XX
		II		X	-	XX
		III		X	X	
27	GB-G-GA-2 (*)	III	1290	X	X	
28	GB-G-GA-3	I	1355	X	-	XX
		II		X	-	XX
		III		X	X	
29	GB-G-GA-4	II	1145	X	-	-
		III		X	X	
30	GB-G-GA-5	I	1145	-	-	XX
		II		X	-	XX
		III		X	X	
31	GB-G-GA-6	II	970	X	-	X
		III		X	X	

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

Tabelle 2: Vorhandene Gebirge entlang der GL-Strecke Süd mit Bewertung der möglichen Risiken verknüpft mit hoher Verformung (*squeezing*), Ortsbrustinstabilität und Bergschlag-Bruchphänomene (*rock burst*) jedes Gebirges [7] [8].

Tabella 2: Ammassi presenti lungo la tratta GL sud con valutazione, per ogni ammasso, dei possibili rischi legati a elevate deformazioni (*squeezing*), instabilità del fronte e fenomeni di rottura fragile (*rock burst*) [7] [8].

Entlang der Ausbruchstrecke mit TBM sind, abgesehen von den Verwerfungen, weder Strecken der Klasse IV, laut technischer Klassifizierung nach Bieniawski, vorgesehen, noch Strecken mit bedeutendem Risiken von Verformungsphänomenen, von Instabilität oder Bergschlag (Tabelle 2). Außerdem ist der Ausbruch im Brixner Granit ist schon reichlich im Rahmen der vorhergehenden Baulose getestet worden, und die Restunsicherheiten bezüglich der geomechanischen und Verhaltenseigenschaften des

Lungo la tratta di scavo con TBM, zone di faglia a parte, non sono previste tratte di classe IV secondo la classificazione tecnica di Bieniawski né tratte a rischio significativo di fenomeni deformativi, di instabilità o di rock burst (Tabella 2). Inoltre lo scavo nel Granito di Bressanone è stato già abbondantemente sperimentato nell'ambito dei lotti precedenti e le incertezze residue sulle caratteristiche geomeccaniche e di comportamento del materiale sono piuttosto contenute. Si ipotizza quindi che non siano necessari

Materials sind ziemlich bescheiden. Es wird angenommen, dass keine besonders langen Stillstandzeiten der Maschine nötig sein werden, bezüglich der obengenannten Aspekte (2., 3., 4., 6.), und es wird als sicherer geschätzt, dass angesichts eines Berechnungswerts $ARA' = 25 \times 0.83 = 21$ m/Tag ca., eine reelle Durchschnittsproduktion per Kalenderjahr von ca. 15 m/Tag, d.h. 450 m/Monat zu erwägen sei. Um zu diesem Ergebnis zu gelangen sind folgende Vortriebstillstandtage berücksichtigt worden

- 25 T/Jahr für Feier- und Urlaubstage (Punkt 1)
- 48 T/Jahr für Wartung und Prospektion (etwa 1 T/Woche mit Ausnahme der Feier- und Urlaubstage) (Punkte 2 und 3)
- 15 T/Jahr zur Ausführung der Querstollen (Punkt 4)
- 12 T/Jahr zur Ausführung von Sondermaßnahmen (Punkt 6)

Man bemerke, dass die Prognose des Vortriebstillstands zur Ausführung von Sondermaßnahmen mit TBM nach Süden, entschieden vorsichtig ist und keine Bestätigung, auf Planungsebene, in spezifische Prognosen dieser Maßnahmen hat. Zu Gunsten der Sicherheit sind, jedenfalls, die 12 T/Jahr Stillstand für Gesamtperioden < 10 Tagen berücksichtigt worden.

3.2.2 CE Nord

Der CE-Ausbruch nach Norden ist durch das voraussehbare Vorkommen der tektonischen Hauptstrukturen, die in folgende Tabelle 3 aufgezeigt sind, aufgezeigt. Insbesondere sind 30 Verwerfungen vorgesehen mit einer scheinbaren Gesamtstärke (entlang der Vortriebsrichtung) von ca. 570 m, von denen 80% der Auflockerungszone und 20% der Kernzone entsprechen. Entlang der Ausbruchstrecke mit TBM sind, abgesehen von den Verwerfungen, Strecken der Klasse IV, laut technischer Klassifizierung nach Bieniawski, mit einer Entwicklung von ca. 200 m vorgesehen, sowie Strecken mit bedeutendem Risiken von Verformungsphänomenen, von Instabilität oder Bergschlag mit einer Entwicklung von ca. 6.900 m (Tabelle 4).

Die Gebirgseigenschaften und deren Verhalten haben nur durch Oberflächenuntersuchungen unter hoher Überdeckungen unterliegende Streckenbedingungen (von 900 m bis 1700 m ca.) festgestellt werden können. Die Restunsicherheiten bzgl. der geomechanischen und Verhaltenseigenschaften des Materials sind daher erheblich. Es wird deshalb angenommen, dass besonders lange Stillstandzeiten der Maschine nötig sein werden, bzgl. des obengenannten Aspekts von Punkt 6, und es wird für vernünftig gehalten, dass angesichts eines

tempi di fermo della macchina particolarmente lunghi per gli aspetti (2., 3., 4., 6.) sopra descritti e si ritiene che a fronte di un valore di calcolo $ARA' = 25 \times 0.83 = 21$ m/giorno circa, sia cautelativo considerare una produzione media reale sui giorni solari di circa 15 m/giorno, cioè di 450 m/Mese. Per arrivare a questo risultato sono stati considerati i seguenti giorni di fermo avanzamento:

- 25 gg/anno per festività e ferie (p.to 1.)
- 48 gg/anno per manutenzione e prospezioni (indicativamente 1 g/settimana escluse le settimane di festività e ferie) (p.ti 2. e 3.)
- 15 gg/anno per realizzazione dei Cunicoli Trasversali (p.to 4)
- 12 gg/anno per realizzazione di interventi particolari (p.to 6)

Si noti che la previsione di tempi di fermo dell'avanzamento per esecuzione di interventi particolari è, nel caso degli scavi con TBM verso sud, decisamente cautelativa e non ha riscontro in specifiche previsioni a livello di progettazione di tali interventi. A favore di sicurezza, comunque, sono stati considerati i 12 gg/anno di fermo per periodi complessivi < 10 giorni.

3.2.2 CE nord

Lo scavo del CE verso nord è caratterizzato dalla prevista presenza delle strutture tettoniche principali riportate nella seguente Tabella 3. In particolare risultano previste n. 30 faglie aventi complessivamente uno spessore apparente (lungo la direzione di avanzamento) di circa 570 m di cui 80% di damaged zones e 20% di core zones. Lungo la tratta di scavo con TBM, zone di faglia a parte, sono previste tratte di classe IV secondo la classificazione tecnica di Bieniawski aventi sviluppo di circa 200 m e tratte a rischio significativo di fenomeni deformativi, di instabilità o di rock burst aventi sviluppo di circa 6'900 m (Tabella 4).

Le caratteristiche degli ammassi rocciosi e il loro comportamento allo scavo hanno potuto essere determinati solo attraverso indagini di superficie, in condizioni di tracciato sottoposto a elevate coperture (da 900 m a 1700 m circa). Le incertezze residue sulle caratteristiche geomeccaniche e di comportamento del materiale sono quindi notevoli. Si ipotizza di conseguenza che siano necessari tempi di fermo della macchina particolarmente lunghi per l'aspetto di cui al p.to 6. sopra descritto e si ritiene che a fronte di un valore di calcolo $ARA' = 21 \times 0.83 = 17$ m/giorno circa, sia ragionevole

Berechnungswerts $ARA' = 21 \times 0.83 = 17 \text{ m/Tag ca.}$, eine reelle Durchschnittsproduktion per Kalenderjahr von 9 m/Tag, d.h. 270 m/Monat zu erwägen sei. Um zu diesem Ergebnis zu gelangen sind folgende Vortriebstillstandtage berücksichtigt worden

- 25 T/Jahr für Feier- und Urlaubstage (Punkt 1)
- 48 T/Jahr für Wartung und Prospektion (etwa 1 T/Woche mit Ausnahme der Feier- und Urlaubstage) (Punkte 2 und 3)
- 60 T/Jahr zur Ausführung der Nischen und Logistik Ausweichen (Punkt 5)
- 41 T/Jahr zur Ausführung von Sondermaßnahmen (Punkt 6)

Man bemerke, dass vorgesehen wird auch die nötigen Konsolidierungseingriffe, für den gesicherten Vortrieb der TBM vorgetriebenen GL (Typ3), vom CE ausgehend auszuführen.

Für weitere Bemerkungen hinsichtlich der durchgeführten Bewertungen siehe Anhang 1.

considerare una produzione media reale sui giorni solari di 9 m/giorno, cioè di 270 m/Mese. Per arrivare a questo risultato sono stati considerati i seguenti giorni di fermo avanzamento:

- 25 gg/anno per festività e ferie (p.to 1.)
- 48 gg/anno per manutenzione e prospezioni (indicativamente 1 g/settimana escluse le settimane di festività e ferie) (p.ti 2. e 3.)
- 60 gg/anno per realizzazione delle nicchie e delle Piazzole Logistiche (p.to 5)
- 41 gg/anno per realizzazione di interventi particolari (p.to 6)

Si noti che si prevede di realizzare partendo dal CE anche gli interventi di consolidamento necessari per consentire l'avanzamento in sicurezza delle GL scavate con TBM (Tipo 3).

Per ulteriori considerazioni in merito alle valutazioni effettuate, si veda l'Appendice 3.

N°	Spessore apparente (m)	Core zone %	Damage zone %	Spessore apparente core zone (m)	Spessore apparente damage zone (m)	Progressiva GL canna est (m)	Copertura minima e massima (m)
1	13	-	-	-	-	32515	1385-1715
2	22	20%	80%	4,4	17,6	33115	
3	-	-	-	-	-	36045	940-1015
4	-	-	-	-	-	36090	
5	-	-	-	-	-	36290	
6	40	30%	70%	12	28	36290	
7	20	15%	85%	3	17	36420	
8	20	35%	65%	7	13	36460	755-1010
9	25	15%	85%	3,75	21,25	36645	
10	10	30%	70%	3	7	37030	
11	20	50%	50%	10	10	37245	
12	20	50%	50%	10	10	37325	
13	60	15%	85%	9	51	37910	615-890
14	-	-	-	-	-	39090	620-865
15	35	20%	80%	7	28	40420	865-1255
16	35	20%	80%	7	28	40540	
17	-	-	-	-	-	41145	1190-1515
18	-	-	-	-	-	41190	
19	-	-	-	-	-	41290	
20	65	50%	50%	32,5	32,5	41920	
21	-	-	-	-	-	42075	1510-1610
22	-	-	-	-	-	42460	
23	-	-	-	-	-	42820	
24	15	-	-	-	-	42960	1020-1580
25	15	-	-	-	-	43070	
26	-	-	-	-	-	43160	
27	30	20%	80%	6	24	43700	
28	30	20%	80%	6	24	44810	1025-1115 (*)
29	70	3%	97%	2,1	67,9	45110	1095-1200 (*)
30	20	20%	80%	4	16	45580	595-1135 (*)
L _{TOT} (m)	565			126,75	395,25		

Tabelle 3: Vorhandene Verwerfungen entlang der GL-Strecke Nord und CE mit Bewertung der Längen der Kern- und der Auflockerungszone. [4],[5],[9]. Die mit (*) gekennzeichneten Strecken sind nur entlang des CE zu berücksichtigen.

Tabella 3: Faglie presenti lungo la tratta GL nord e CE con valutazione, per ogni faglia, delle lunghezze di core zone e damage zone. [4],[5],[9]. Le tratte contrassegnate con (*) sono da considerare solo lungo CE.

Zone number	Rock mass name	Class	Zone max overburden	Squeezing	Face stability	Rock burst
01	GA-ZG-G-1z	I	1715	-	-	XX
	GA-ZG-S-1z	II		XX	-	-
	GA-ZG-S-1z	III		XXX	XXX	-
02	GA-ZG-G-1b	II	1505	XX	XXX	XX
	GA-ZG-S-1b	III		XXX	XXX	-
	GA-ZG-A-1b	II		XX	X	-
03	GA-UST-PH-2b	III	1015	XX	XXX	-
	GA-UST-M-2b	III		X	X	-
	GA-UST-Q-2b	II		XX	X	XX
	GA-UST-A-2b	III		XXX	XX	-
	GA-UST-R-2b	IV		XXX	XXX	-
04	GA-T-M-2b	II	1010	XXX	XX	-
	GA-T-PH-2b	III		XXX	XXX	-
	GA-T-Q-2b	II		X	X	-
	GA-T-A-2b	II		X	X	-
05	GA-T-R-2b	IV	890	XXX	XXX	-
	GA-BS-KS-4b	II		X	X	-
	GA-BS-KS-4b	III		X	X	-
	GA-BS-GM-4b	II		XX	X	-
	GA-BS-GM-4b	III		X	X	-
06	GA-BS-KPH-4b	III	865	XXX	XXX	-
	GA-BS-PR-4b	III		XX	X	-
	GA-BS-KS-4c	III		X	X	-
	GA-BS-GM-4c	II		XX	X	-
	GA-BS-GM-4c	III		X	X	-
07	GA-BS-KPH-4c	III	1255	XXX	XXX	-
	GA-BS-PR-4c	III		XX	X	-
	GA-BS-GM-5c	II		X	X	-
	GA-BS-GM-5c	III		XXX	XXX	-
	GA-BS-KPH-5c	III		XXX	XXX	-
08	GA-BS-PR-5c	II	1515	X	X	-
	GA-BS-PR-5c	III		X	X	-
	GA-BS-KQ-5c	III		XXX	XX	-
	GA-T-PH-6	III		XXX	XXX	-
	GA-US-PH-6	III		XXX	XXX	-
09	GA-US-Q-6	II	1610	X	X	XXX
	GA-US-Q-6	III		XXX	XX	-
	GA-BS-GM-6a	II		X	X	-
	GA-BS-GM-6a	III		XXX	XXX	-
	GA-T-PH-6a	III		XXX	XXX	-
	GA-T-A-6a	III		X	X	-
10	GA-T-R-6	IV	1580	XXX	XXX	-
	GA-BST-KS-8e	III		XXX	XXX	-
	GA-BST-KPH-8e	III		XXX	XXX	-
	GA-BST-KPH-8e	IV		XXX	XXX	-
	GA-BST-M-8e	III		XXX	XXX	-
	GA-T-A-8e	III		XXX	XXX	-
11	GA-T-R-8e	IV	1060	X	X	-
	GA-BS-GM-8e	II		XXX	XXX	-
12	GA-BS-GM-8e	III	1080	X	X	-
	GA-BST-KS-8f	III		XXX	XXX	-
13	GA-BST-KPH-8f	III	1115	XXX	XXX	-
	GA-T-R-8f	IV		XXX	XXX	-
14	GA-T-A-8f	III	1200	XXX	XXX	-
	GA-BST-KS-8f	III		XXX	XX	(*)
15	GA-BCA-A-10g	II	1135	XX	XXX	XX
	GA-BCA-GS-10g	III		X	X	(*)
15	GA-BCA-GS-10g	III	1135	X	X	(*)
	GA-BCA-A-10g	II		XX	X	XX

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

Tabelle 4: Bewertung der möglichen Risiken verknüpft mit hoher Verformung (*squeezing*), Ortsbrustinstabilität und Bergschlag-Bruchphänomene (*rock burst*) jedes Gebirges. Die mit (*) gekennzeichneten Strecken sind nur entlang des CE zu berücksichtigen.

Tabella 4: Valutazione, per ogni ammasso, dei possibili rischi legati a elevate deformazioni (*squeezing*), instabilità del fronte e fenomeni di rottura fragile (*rock burst*). Gli ammassi contrassegnati con (*) sono da considerare solo lungo CE.

3.2.3 GL Nord

Der TBM-Vortrieb der GL nach Norden ist durch das voraussehbare Vorkommen der tektonischen Hauptstrukturen, die in folgende Tabelle 3 aufgezeigt sind, charakterisiert. Insbesondere sind Nr. 27 Verwerfungen vorgesehen mit einer scheinbaren Gesamtstärke (entlang der Vortriebsrichtung) von ca. 450 m, von denen 80% der Auflockerungszone und 20% der Kernzone entsprechen. Entlang der Ausbruchstrecke mit TBM sind, abgesehen von den Verwerfungen, Strecken der Klasse IV, laut technischer Klassifizierung nach Bieniawski, mit einer Entwicklung von ca. 200 m vorgesehen, sowie Strecken mit bedeutendem Risiken von Verformungsphänomenen, von Instabilität oder Bergschlag, mit einer Entwicklung von ca. 6.200 m (Tabelle 4). Die Gebirgseigenschaften und deren Verhalten haben nur durch Oberflächenuntersuchungen unter hoher Deckungen unterliegende Streckenbedingungen festgestellt werden können. Die Restunsicherheiten bzgl. der geomechanischen und Verhaltenseigenschaften des Materials sind daher erheblich. Allerdings wird der Vortrieb auf Informationen und gewonnene Erfahrung zählen können, sowie auf die im Laufe des CE-Ausbruchs durchgeführten Maßnahmen. Es wird daher angenommen, dass weniger längere Stillstandzeiten der Maschine als die des CE nötig sein werden, bzgl. der obengenannten Aspekte von Punkt 6., und es wird für vernünftig geschätzt, dass angesichts eines Berechnungswerts $ARA' = 22 \times 0.83 = 18 \text{ m/Tag ca.}$, eine reelle Durchschnittsproduktion per Kalenderjahr von 13 m/Tag, d.h. 390 m/Monat zu erwägen sei. Um zu diesem Ergebnis zu gelangen sind folgende Vortriebstillstandtage berücksichtigt worden.

- 25 T/Jahr für Feier- und Urlaubstage (Punkt 1)
- 48 T/Jahr für Wartung und Prospektion (indikativ 1 T/Woche mit Ausnahme der Feier- und Urlaubstage) (Punkte 2 und 3)
- 15 T/Jahr zur Ausführung der Querstollen (Punkt 4)
- 14 T/Jahr zur Ausführung von Sondermaßnahmen (Punkt 6)

Für weitere Bemerkungen hinsichtlich der durchgeführten Bewertungen siehe Anhang 1.

3.2.3 GL nord

Lo scavo delle GL con TBM verso nord è caratterizzato dalla prevista presenza delle strutture tettoniche principali riportate nella Tabella 3. In particolare risultano previste n. 27 faglie aventi complessivamente uno spessore apparente (lungo la direzione di avanzamento) di circa 450 m di cui circa 80% di damaged zones e 20% di core zones. Lungo la tratta di scavo con TBM, zone di faglia a parte, sono previste tratte di classe IV secondo la classificazione tecnica di Bieniawski aventi sviluppo di circa 200 m e tratte a rischio significativo di fenomeni deformativi, di instabilità o di rock burst aventi sviluppo di circa 6'200 m (Tabella 4). Le caratteristiche degli ammassi rocciosi e il loro comportamento allo scavo hanno potuto essere determinati solo attraverso indagini di superficie, in condizioni di tracciato sottoposto a elevate coperture. Le incertezze residue sulle caratteristiche geomeccaniche e di comportamento del materiale sono quindi notevoli. Tuttavia, l'avanzamento potrà contare sulle informazioni e l'esperienza acquisite e sugli interventi realizzati nel corso dello scavo del CE. Si ipotizza di conseguenza che siano necessari tempi di fermo della macchina meno lunghi rispetto al CE per gli aspetti di cui al p.to 6. sopra descritto e si ritiene che a fronte di un valore di calcolo $ARA' = 22 \times 0.83 = 18 \text{ m/giorno circa}$, sia ragionevole considerare una produzione media reale sui giorni solari di 13 m/giorno, cioè di 390 m/Mese. Per arrivare a questo risultato sono stati considerati i seguenti giorni di fermo avanzamento:

- 25 gg/anno per festività e ferie (p.to 1.)
- 48 gg/anno per manutenzione e prospezioni (indicativamente 1 g/settimana escluse le settimane di festività e ferie) (p.ti 2. e 3.)
- 15 gg/anno per realizzazione dei Cunicoli Trasversali (p.to 4)
- 14 gg/anno per realizzazione di interventi particolari (p.to 6)

Per ulteriori considerazioni in merito alle valutazioni effettuate, si veda l'Appendice 1.

4 VERZEICHNISSE

4.1 ANLAGENVERZEICHNIS

ANHANG 1 - Theoretische RME-Abhandlung

ANHANG 2 – RME-Anwendung am Plan

ANHANG 3 – Weitere Bemerkungen zur Festlegung der TBM-Vortriebszeiten der GL und des CE nach Norden

4.2 REFERENZDOKUMENTE

4.2.1 Eingangsdokumente

- [1] 02_H61_EG_991_KLP_D0700_12050-12061 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mails 2-3 - Gesamtbauwerke - Lageplan – Lageplan der Bauwerke 12 - 25
- [2] 02_H61_EG_991_KLP_D0700_12007 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mails 2-3 - Gesamtbauwerke - Lageplan – Schematischer Lageplan Ausbruchmethoden
- [3] 02_H61_OP_060_KHS_D0700_22127 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mails 2-3 - Nothaltestelle – Horizontaler Querschnitt – NL - Gesamtlageplan
- [4] 02_H61_GD_992_GLS_D0700_13019 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mails 2-3 - Gesamtbauwerke - Längsprofil – Geomechanisches Profil – 1/4 - von km 32+000 bis km 38+250
- [5] 02_H61_GD_992_GLS_D0700_13020 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mails 2-3 - Gesamtbauwerke - Längsprofil – Geomechanisches Profil – 2/4 - von km 38+250 bis km 43+850
- [6] 02_H61_GD_992_GLS_D0700_13021- Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mails 2-3 - Gesamtbauwerke - Längsprofil – Geomechanisches Profil – 3/4 - von km 43+850 bis km 49+000
- [7] 02_H61_GD_992_GLS_D0700_13022- Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mails 2-3 - Gesamtbauwerke - Längsprofil – Geomechanisches Profil – 4/4 - von km 49+000 bis km 54+100
- [8] 02_H61_GD_090_GTB_D0700_21001 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos

4 ELENCHI

4.1 ELENCO APPENDICI

APPENDICE 1 - Trattazione teorica del RME

APPENDICE 2 - Applicazione del RME al progetto

APPENDICE 3 - Ulteriori considerazioni per la determinazione dei tempi di scavo delle GL e del CE con TBM verso nord

4.2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

4.2.1 Documenti in ingresso

- [1] 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 12 - 25
- [2] 02_H61_EG_991_KLP_D0700_12007 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 - Opere generali – Planimetria – Planimetria schematica metodo di scavo
- [3] 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
- [4] 02_H61_GD_992_GLS_D0700_13019 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 - Opere generali - Profilo longitudinale - Profilo geomeccanico - 1/4 - da km 32+000 a km 38+250
- [5] 02_H61_GD_992_GLS_D0700_13020 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 - Opere generali - Profilo longitudinale - Profilo geomeccanico - 2/4 - da km 38+250 a km 43+850
- [6] 02_H61_GD_992_GLS_D0700_13021 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 - Opere generali - Profilo longitudinale - Profilo geomeccanico - 3/4 - da km 43+850 a km 49+000
- [7] 02_H61_GD_992_GLS_D0700_13022 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 - Opere generali - Profilo longitudinale - Profilo geomeccanico - 4/4 - da km 49+000 a km 54+100
- [8] 02_H61_GD_090_GTB_D0700_21001 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 – Opere generali Parte 1 –

- Mauls 2-3 - Gesamtbauwerke Teil 1 –Technischer Bericht - Geomechanischer Detailbericht
- [9] 02_H61_GD_090_GTB_D0700_23001 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mauls 2-3 - Gesamtbauwerke Teil 3 –Technischer Bericht - Geomechanischer Detailbericht
- [10] 02_H61_GD_090_GTB_D0700_13004 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mauls 2-3 - Gesamtbauwerke – Längenschnitt-Hydrogeologischer Längenschnitt Franzenfeste-Mauls
- [11] 02_H61_GD_090_GTB_D0700_13014 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mauls 2-3 - Gesamtbauwerke – Längenschnitt-Hydrogeologischer Längenschnitt EKS Mauls-Brenner
- [12] 02_H61_GD_090_GTB_D0700_13035 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mauls 2-3 - Gesamtbauwerke – Längenschnitt-Hydrogeologischer Längenschnitt GL Mauls- Trens
- [13] 02_H61_GD_090_GTB_D0700_13037 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mauls 2-3 - Gesamtbauwerke – Längenschnitt-Geologischer Längenschnitt GL Trens -Brenner
- [14] 02_H61_GD_992_GTB_D0700_13016 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mauls 2-3 - Gesamtbauwerke - Berechnungsbericht – Zusammenfassung der geologischen und hydrogeologischen Informationen
- [15] 02_H61_LE_940_MTB_D0700_31002 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mauls 2-3 - Lüftung - Technischer Bericht – Lüftungs- und Kühlungsbericht während der Bauphase
- [16] 02_H61_MO_994_BTBT_D0700_17001 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mauls 2-3 - Gesamtbauwerke –Technischer Bericht – Bericht zu Überwachungen und Erkundung im Tunnel
- [17] 02_H61_DT_990_KTB_D0700_11165 - Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mauls 2-3 - Gesamtbauwerke –Technischer Bericht – Anlage H: Besondere Maßnahme zur Verbesserung und Abdichtung des Gebirges
- Relazione tecnica - Relazione geomeccanica di dettaglio
- [9] 02_H61_GD_090_GTB_D0700_23001 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 – Opere generali Parte 3 – Relazione tecnica - Relazione geomeccanica di dettaglio
- [10] 02_H61_GD_090_GTB_D0700_13004 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 – Opere generali– Profilo longitudinale - Profilo idrogeologico Fortezza-Mules
- [11] 02_H61_GD_090_GTB_D0700_13014 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 – Opere generali– Profilo longitudinale - Profilo idrogeologico CE Mules-Brennero
- [12] 02_H61_GD_090_GTB_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
- [13] 02_H61_GD_090_GTB_D0700_13037 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 – Opere generali– Profilo longitudinale - Profilo idrogeologico GL Trens-Brennero
- [14] 02_H61_GD_992_GTB_D0700_13016 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 – Opere generali – Relazione di calcolo – Sintesi delle informazioni geologiche e idrogeologiche
- [15] 02_H61_LE_940_MTB_D0700_31002 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 – Ventilazione – Relazione tecnica – Relazione della ventilazione e raffreddamento in fase di costruzione
- [16] 02_H61_MO_994_BTBT_D0700_17001 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 – Opere generali – Relazione tecnica – Relazione sui monitoraggi e le prospezioni in galleria
- [17] 02_H61_DT_990_KTB_D0700_11165 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 – Opere generali – Relazione tecnica – Allegato H: Interventi particolari

di consolidamento e impermeabilizzazione dell'ammasso roccioso

- [18] 02_H61_KU_015_KBP_D0700_23280 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mault 2-3 - Erkundungsstollen - Bauphasenplan - Besondere Maßnahme zur Verbesserung des Gebirges C-MS Typ 1
- [19] 02_H61_KU_015_KBP_D0700_23281 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mault 2-3 - Erkundungsstollen - Bauphasenplan - Besondere Maßnahme zur Verbesserung des Gebirges C-MS Typ 2
- [20] 02_H61_KU_015_KBP_D0700_23282 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mault 2-3 - Erkundungsstollen - Bauphasenplan - Besondere Maßnahme zur Verbesserung des Gebirges C-MS Typ 3 (Blatt 1/5)
- [21] 02_H61_KU_015_KBP_D0700_23283 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mault 2-3 - Erkundungsstollen - Bauphasenplan - Besondere Maßnahme zur Verbesserung des Gebirges C-MS Typ 3 (Blatt 2/5)
- [22] 02_H61_KU_015_KBP_D0700_23284 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mault 2-3 - Erkundungsstollen - Bauphasenplan - Besondere Maßnahme zur Verbesserung des Gebirges C-MS Typ 3 (Blatt 3/5)
- [23] 02_H61_KU_015_KBP_D0700_23285 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mault 2-3 - Erkundungsstollen - Bauphasenplan - Besondere Maßnahme zur Verbesserung des Gebirges C-MS Typ 3 (Blatt 4/5)
- [24] 02_H61_KU_015_KBP_D0700_23286 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mault 2-3 - Erkundungsstollen - Bauphasenplan - Besondere Maßnahme zur Verbesserung des Gebirges C-MS Typ 3 (Blatt 5/5)
- [25] 02_H61_KU_015_KRP_D0700_23290 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mault 2-3 - Erkundungsstollen - Regelprofil - Besondere Maßnahme zur Verbesserung des Gebirges C-MS Typ 4
- [26] 02_H61_TM_015_KBP_D0700_23680 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mault 2-3 - Erkundungsstollen - Bauphasenplan - Besondere Maßnahme zur Verbesserung des Gebirges GL-MS Typ 1
- [18] 02_H61_KU_015_KBN_D0700_23280 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mault 2-3 - Cunicolo esplorativo - Fasi di costruzione - Interventi particolari di consolidamento C-MS Tipo 1
- [19] 02_H61_KU_015_KBN_D0700_23281 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mault 2-3 - Cunicolo esplorativo - Fasi di costruzione - Interventi particolari di consolidamento C-MS Tipo 2
- [20] 02_H61_KU_015_KBN_D0700_23282 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mault 2-3 - Cunicolo esplorativo - Fasi di costruzione - Interventi particolari di consolidamento C-MS Tipo 3 (Tav. 1/5)
- [21] 02_H61_KU_015_KBN_D0700_23283 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mault 2-3 - Cunicolo esplorativo - Fasi di costruzione - Interventi particolari di consolidamento C-MS Tipo 3 (Tav. 2/5)
- [22] 02_H61_KU_015_KBN_D0700_23284 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mault 2-3 - Cunicolo esplorativo - Fasi di costruzione - Interventi particolari di consolidamento C-MS Tipo 3 (Tav. 3/5)
- [23] 02_H61_KU_015_KBN_D0700_23285 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mault 2-3 - Cunicolo esplorativo - Fasi di costruzione - Interventi particolari di consolidamento C-MS Tipo 3 (Tav. 4/5)
- [24] 02_H61_KU_015_KBN_D0700_23286 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mault 2-3 - Cunicolo esplorativo - Fasi di costruzione - Interventi particolari di consolidamento C-MS Tipo 3 (Tav. 5/5)
- [25] 02_H61_KU_015_KRP_D0700_23290 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mault 2-3 - Cunicolo esplorativo - Sezione tipo - Interventi particolari di consolidamento C-MS Tipo 4
- [26] 02_H61_TM_015_KBN_D0700_23680 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mault 2-3 - Cunicolo esplorativo - Fasi di costruzione - Interventi particolari di consolidamento GL-MS Tipo 1

- [27] 02_H61_TM_015_KBP_D0700_23681 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mauls 2-3 - Erkundungsstollen - Bauphasenplan- Besondere Maßnahme zur Verbesserung des Gebirges GL-MS Typ 2
- [28] 02_H61_TM_015_KRP_D0700_23682 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mauls 2-3 - Erkundungsstollen – Regelprofil – Besondere Maßnahme zur Verbesserung des Gebirges GL-MS Typ 4
- [29] 02_H61_GD_035_GLS_D0700_23002-23004 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mauls 2-3 - Gesamtbauwerke Teil 3 - Längenschnitt - Geomechanisches Prognoseprofil Erkundungsstollen (Blatt 2/4 – 4/4)
- [30] 02_H61_GD_035_GLS_D0700_23005-23006 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mauls 2-3 - Gesamtbauwerke Teil 3 - Längenschnitt - Geomechanisches Prognoseprofil Oströhre (Blatt 6/7 – 7/7)
- [31] 02_H61_GD_035_GLS_D0700_23007-23008 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mauls 2-3 - Gesamtbauwerke Teil 3 - Längenschnitt - Geomechanisches Prognoseprofil Oströhre (Blatt 6/7 – 7/7)

4.2.2 Bibliografie

- [32] Bieniawski, Z.T, Celada, B, Galera, J.M. and Álvarez, M, 2006. "Rock Mass Excavability (RME) Index". Proc. ITA World Tunnel Congress, Seoul, Korea.
- [33] Bieniawski Z.T, Celada, B. and Galera, J.M, 2007. "TBM Excavability and machine-Rock Interaction" Proc. RETC, Toronto, p. 1118.
- [34] Bieniawski Z.T, Celada, B and Galera, J.M, 2007. "Predicting TBM Excavability". Tunnel & Tunnelling International, September, p. 25.
- [35] Bieniawski Z.T, Celada, B and Galera, J.M, 2007. "Predicting TBM Excavability – part II". Tunnel & Tunnelling International, December, p. 15.
- [36] Bieniawski Z.T., Celada B., Galera J.M., Tardàguila I., 2008, New applications of the excavability index for selection of TBM types and predicting their performance, World Tunnel Congress 2008 – Underground Facilities for Better Environment and safety, India

- [27] 02_H61_TM_015_KBN_D0700_23681 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 – Cunicolo esplorativo – Fasi di costruzione – Interventi particolari di consolidamento GL-MS Tipo 2
- [28] 02_H61_TM_015_KRP_D0700_23682 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 – Cunicolo esplorativo – Sezione tipo – Interventi particolari di consolidamento GL-MS Tipo 4
- [29] 02_H61_GD_035_GLS_D0700_23002-23004 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 - Opere generali Parte 3 - Profilo longitudinale - Profilo geomeccanico e progettuale di previsione Cunicolo Esplorativo (Tav. 2/4 – 4/4)
- [30] 02_H61_GD_035_GLS_D0700_23005-23006 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 - Opere generali Parte 3 - Profilo longitudinale - Profilo geomeccanico e progettuale di previsione Galleria principale Est (Tav. 6/7 – 7/7)
- [31] 02_H61_GD_035_GLS_D0700_23007-23008 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 - Opere generali Parte 3 - Profilo longitudinale - Profilo geomeccanico e progettuale di previsione Galleria principale Ovest (Tav. 6/7 – 7/7)

4.2.2 Bibliografia

- [32] Bieniawski, Z.T, Celada, B, Galera, J.M. and Álvarez, M, 2006. "Rock Mass Excavability (RME) Index". Proc. ITA World Tunnel Congress, Seoul, Korea.
- [33] Bieniawski Z.T, Celada, B. and Galera, J.M, 2007. "TBM Excavability and machine-Rock Interaction" Proc. RETC, Toronto, p. 1118.
- [34] Bieniawski Z.T, Celada, B and Galera, J.M, 2007. "Predicting TBM Excavability". Tunnel & Tunnelling International, September, p. 25.
- [35] Bieniawski Z.T, Celada, B and Galera, J.M, 2007. "Predicting TBM Excavability – part II". Tunnel & Tunnelling International, December, p. 15.
- [36] Bieniawski Z.T., Celada B., Galera J.M., Tardàguila I., 2008, New applications of the excavability index for selection of TBM types and predicting their performance, World Tunnel Congress 2008 – Underground Facilities for Better Environment and safety, India.

- [37] Goel, R. K., 2008, Evaluation of TBM performance in a Himalaya tunnel, World Tunnel Congress 2008 – Underground Facilities for Better Environment and safety, India.
- [38] Grandori, R., Bieniawski, Z.T., Vizzino, D., Lizzardo, L., Romualdi, P., Busillo, A., 2011, Hard rock extreme conditions in the first 10 km of TBM driven Brenner Exploratory Tunnel, Proceedings of the rapid excavation and tunneling conference; p.667-685
- [39] Alber, M., 2000, Advance rates for hard rock TBMs and their effects on project economics, Tunnelling and Underground Space Technology, Vol. 15, No.1, p. 55-64
- [40] Palmström, A., 1995, RMI-a rock mass characterization system for rock engineering purposes. PhD thesis, Oslo University, Norway; p.400
- [41] Grandori, R., 2007, TBM Performances and RME Classification System. Jornada sobre “Experiencias recientes con tuneladoras”. CEDEX, Madrid

4.2.3 Ausgangsdokumente

- [42] 02_H61_EG_991_KBA_D0700_55001 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Muls 2-3 - Gesamtbauwerke - Zeitplan – Bauprogramm - Weg/Zeit Diagramm
- [43] 02_H61_EG_991_KBA_D0700_55015 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Muls 2-3 - Gesamtbauwerke - Zeitplan – Bauprogramm - Balkendiagramm (GANTT)
- [44] 02_H61_EG_991_KLP_D0700_55009 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Muls 2-3 - Gesamtbauwerke - Zeitplan – Schema Ausführungstrecken der Innenschalen

- [37] Goel, R. K., 2008, Evaluation of TBM performance in a Himalaya tunnel, World Tunnel Congress 2008 – Underground Facilities for Better Environment and safety, India.
- [38] Grandori, R., Bieniawski, Z.T., Vizzino, D., Lizzardo, L., Romualdi, P., Busillo, A., 2011, Hard rock extreme conditions in the first 10 km of TBM driven Brenner Exploratory Tunnel, Proceedings of the rapid excavation and tunneling conference; p.667-685
- [39] Alber, M., 2000, Advance rates for hard rock TBMs and their effects on project economics, Tunnelling and Underground Space Technology, Vol. 15, No.1, p. 55-64.
- [40] Palmström, A., 1995, RMI-a rock mass characterization system for rock engineering purposes. PhD thesis, Oslo University, Norway; p.400
- [41] Grandori, R., 2007, TBM Performances and RME Classification System. Jornada sobre “Experiencias recientes con tuneladoras”. CEDEX, Madrid.

4.2.3 Documenti in uscita

- [42] 02_H61_EG_991_KBA_D0700_55001 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Muls 2-3 - Opere generali – Cronoprogramma - Programma lavori – Diagramma spazio/tempo
- [43] 02_H61_EG_991_KBA_D0700_55015 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Muls 2-3 - Opere generali – Cronoprogramma – Programma lavori – Diagramma a barre (GANTT)
- [44] 02_H61_EG_991_KLP_D0700_55009 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Muls 2-3 - Opere generali – Cronoprogramma – Schema tratte di esecuzione rivestimenti definitivi

5 ANHANG 1 – THEORETISCHE RME-ABHANDLUNG

Die Geschwindigkeitsschätzung basiert auf die Abhandlung [36].

5.1 ROCK MASS EXCAVABILITY INDEX (RME)

Diese Analyse basiert auf der Festlegung des RME Index (Rock Mass Excavability Index), ein Parameter mittels dem es möglich ist eine besondere Ausbruchstrecke hinsichtlich der geomechanische Qualität und Vorbereitung zum mechanisiertem Vortrieb mit der Tunnelbohrmaschine TBM zu charakterisieren.

In [32], aufgrund der Analyse von ca. 400 ausgeführten Tunnelstrecken, werden die Hypothesen die der RME-Festlegung zugrunde liegen bestimmt:

- Länge nicht unter 40 m ca.;
- gering bedeutende Änderungen im RME-Wert;
- Schwankung der Gebirgseinstufung (Rock Mass Rating = RMR) unter 10 Punkten;
- Es werden nicht die Ausfallzeiten der Maschine berücksichtigt;
- Der Nutzungsbeiwert (Verhältnis zwischen effektive TBM-Vortriebszeit und der Arbeitszykluslänge) ist zwischen 30% und 60% erfasst.

Der RME-Index ist das Ergebnis einer Summe von Einstufungen die an unterschiedlichen Faktoren, welche die TBM-Vortriebsgeschwindigkeit beeinflussen, beigemessen werden.

- Widerstand auf Monoaxialdruck des intakten Gesteins (MPa) (Uniaxial compressive strength of intact rock).
- Bohrbarkeit (Drillability).
- Diskontinuität an der Ortsbrust, (Discontinuities in front of the tunnel face).
- Stand-up Zeit (Stunden)
- Grundwasserzulauf (l/s), (Groundwater inflow).

Der Index nimmt eine Schwankung von 0 bis 100 ein; mit höheren Werten sind einfachere und vorteilhaftere Tunnelausbrüche verknüpft.

5.1.1 Bestimmung der RME bildenden Parameter

Die Einstufungen die den einzelnen Parameter beizumessen sind könne in annähernde Weise aus Tabelle 5 erhalten

5 APPENDICE 1 - TRATTAZIONE TEORICA DEL RME

La stima della velocità di avanzamento è basata sulla trattazione [36].

5.1 ROCK MASS EXCAVABILITY INDEX (RME)

Alla base dell'analisi in oggetto vi è la determinazione dell'indice RME (Rock Mass Excavability Index), parametro attraverso il quale è possibile caratterizzare una particolare tratta da scavare in termini di qualità geomeccaniche e di predisposizione allo scavo meccanizzato con uso di Tunnel Boring Machine TBM.

In [32], sulla base dell'analisi di circa 400 tratte di tunnel realizzati, vengono definite le ipotesi che stanno alla base della determinazione di RME.

- Lunghezza non inferiore a circa 40 m;
- Variazioni poco significative nel valore dell'RME.
- Variabilità del Rock Mass Rating (RMR) inferiore a 10 punti.
- Non vengono considerati i periodi di inattività della macchina.
- Il coefficiente di utilizzo (rapporto tra il tempo di effettivo avanzamento della TBM e la lunghezza del ciclo di lavoro) è considerato compreso tra il 30% e il 60%.

L'indice RME è il risultato di una somma di rating attribuiti a diversi fattori che influenzano la velocità di avanzamento della TBM:

- Resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta (MPa) (Uniaxial compressive strength of intact rock).
- Perforabilità (Drillability).
- Discontinuità sul fronte di scavo, (Discontinuities in front of the tunnel face).
- Stand-up Time (hours).
- Venute d'acqua (l/s), (Groundwater inflow).

L'indice assume una variabilità che va da 0 a 100; i valori maggiori sono associati a un più semplice e produttivo scavo della galleria.

5.1.1 Determinazione dei parametri costituenti RME

I rating da attribuire ai singoli parametri possono essere ottenuti in maniera approssimata dalla Tabella 5 o

werden oder in analytische Weise aus den in Folge aufgezeigten Diagrammen (Abbildung 5, Abbildung 6, Abbildung 7, Abbildung 8, Abbildung 9). analiticamente attraverso i grafici riportati in seguito (Figura 5, Figura 6, Figura 7, Figura 8, Figura 9).

Uniaxial compressive strength of intact rock [0 - 25 points]										
σ_c (MPa)	<5		5-30		30-90		90-180		>180	
rating	4		14		25		14		0	
Drillability [0 - 15 points]										
DRI	>80		80-65		65-50		50-40		<40	
Rating	15		10		7		3		0	
Discontinuities in front of the tunnel face [0 - 30 points]										
Homogeneity			Number of joints per meter					Orientation with respect to tunnel axis		
Homogeneous		Mixed	0-4	4-8	8-15	15-30	>30	Perpendicular	Oblique	Parallel
Rating	10	0	2	7	15	10	0	5	3	0
Stand up time [0 - 25 points]										
Hours	<5		5-24		24-96		96-192		>192	
Rating	0		2		10		15		25	
Groundwater inflow [0 - 5 points]										
Liters/sec	>100		70-100		30-70		10-30		<10	
Rating	0		1		2		4		5	

Tabelle 5: Werte der RME bildenden Parameter.

Tabella 5: Valori dei parametri costituenti RME.

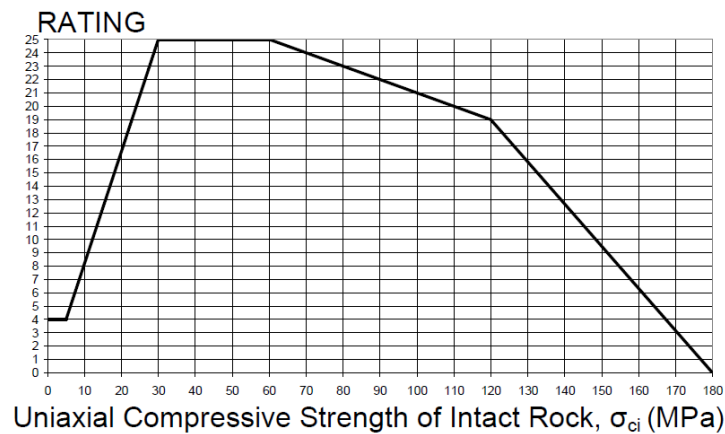


Abbildung 5: Einstufung hinsichtlich des Monoaxialdrucks des intakten Gesteins.

Figura 5: Rating in funzione della compressione monoassiale della roccia intatta.

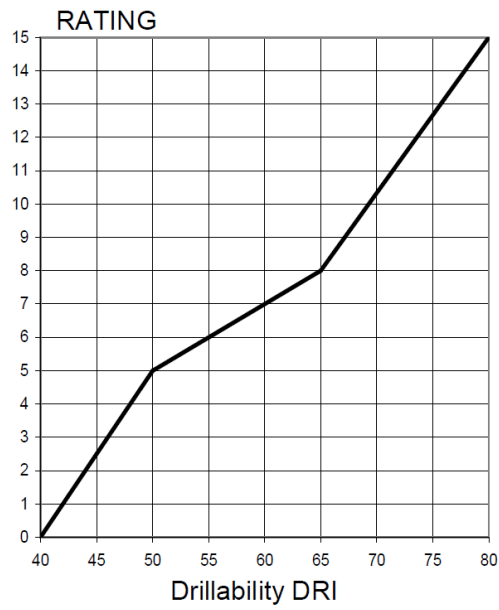


Abbildung 6: Einstufung hinsichtlich der Bohrbarkeit.

Figura 6: Rating in funzione della drillability.

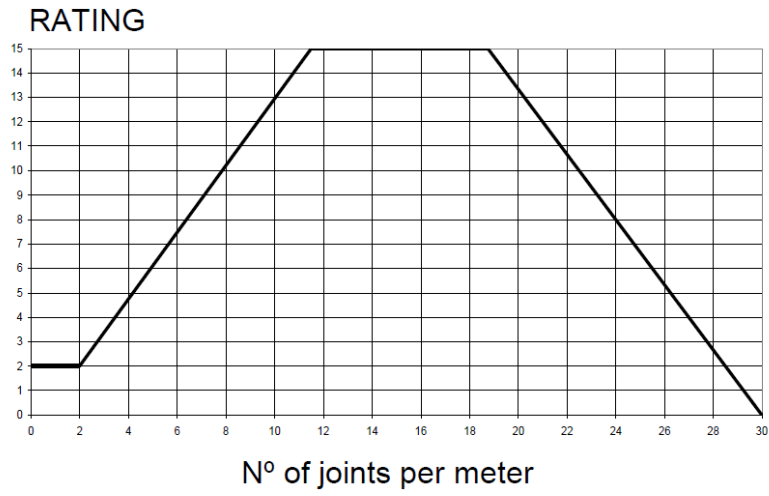


Abbildung 7: Einstufung hinsichtlich der Diskontinuität an der Ortsbrust.

Figura 7: Rating in funzione del numero delle discontinuità sul fronte scavo..

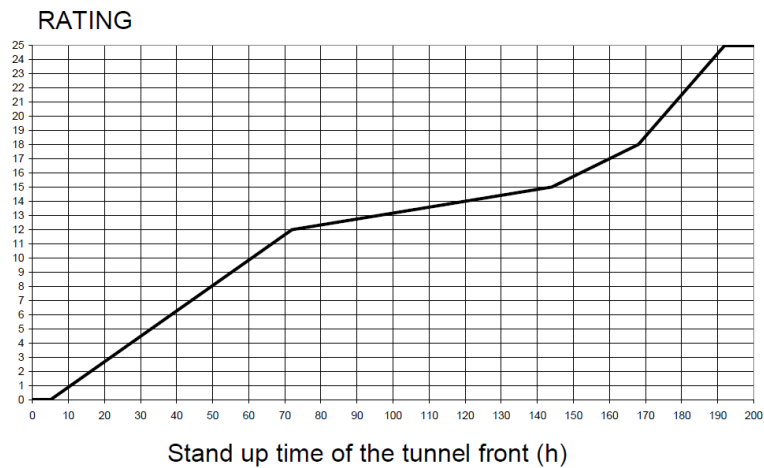


Abbildung 8: Einstufung hinsichtlich der Stand-up Zeit.

Figura 8: Rating in funzione dello Stand-up Time.

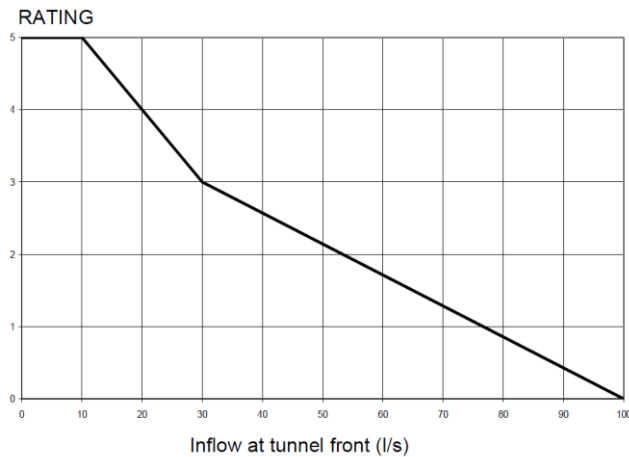


Abbildung 9: Einstufung hinsichtlich der Grundwasserzuläufe.

Figura 9: Rating in funzione delle venute d'acqua..

5.1.1.1 Bewertung des DRI Index

Der DRI Index ist aus folgendem empirischen Verhältnis ableitbar [40]:

$$DRI = E \times \sigma_{ci}^{-0,6}$$

Wobei E ein Faktor ist der verschiedene Gesteinsgruppen darstellt und folgende Werte einnimmt:

- E=1000 für Großteils der nicht schieferartigen „harten“ Gesteine ($\sigma_{ci} > 40$ MPa);
- E=750 für schieferartige metamorphische Gesteine ($\sigma_{ci} = 30 \div 150$ MPa)
- E=500 für tonartige Gesteine ($\sigma_{ci} = 10 \div 100$ MPa)

5.1.1.1 Valutazione dell'indice DRI

L'indice DRI è ricavabile attraverso la seguente relazione empirica [40]:

Dove E è un fattore che rappresenta vari gruppi di rocce e assume i seguenti valori:

- E=1000 per la maggior parte delle rocce non scistose “dure” ($\sigma_{ci} > 40$ MPa);
- E=750 per rocce scistose metamorfiche ($\sigma_{ci} = 30 \div 150$ MPa)
- E=500 per rocce argillose ($\sigma_{ci} = 10 \div 100$ MPa)

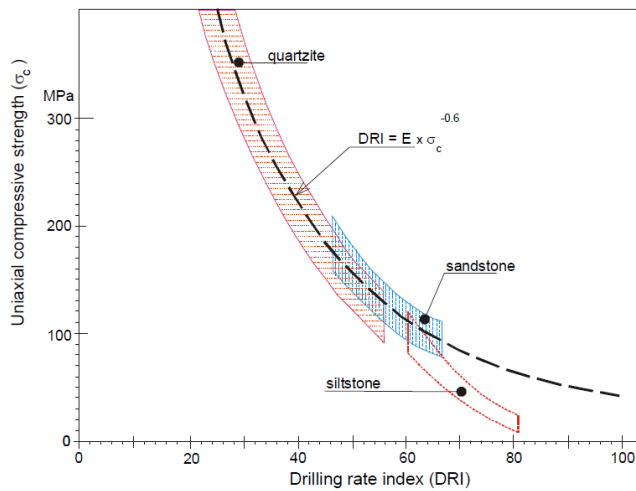


Abbildung 10: Wechselbeziehung zwischen DRI Index und Widerstand auf Monoaxialdruck des intakten Gesteins σ_{ci} [40]

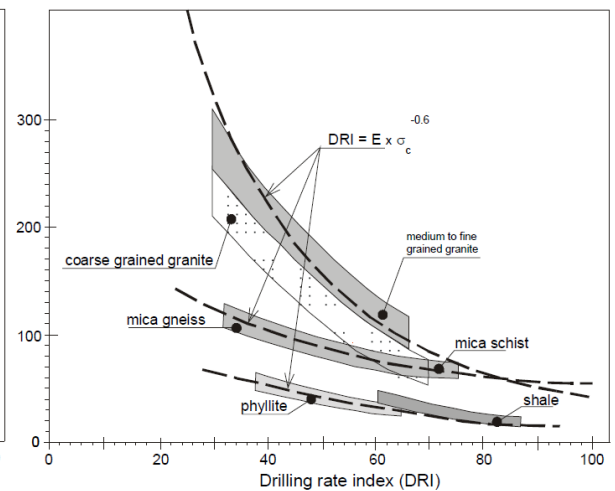


Figura 10: Correlazione tra l'indice DRI e la resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta σ_{ci} [40]

5.1.1.2 Bewertung der Stand-up Zeit

Zur Einschätzung der Stand-up Zeit kann man sich auf das folgende Diagramm beziehen, welches diesen Parameter mit dem RMR Index und dem Deckenspannweite (Roof Span) verknüpft.

5.1.1.2 Valutazione dello Stand-up Time

Per la stima dello Stand-up Time è possibile far riferimento al grafico sottostante che lega tale parametro all'indice RMR e al Roof Span.

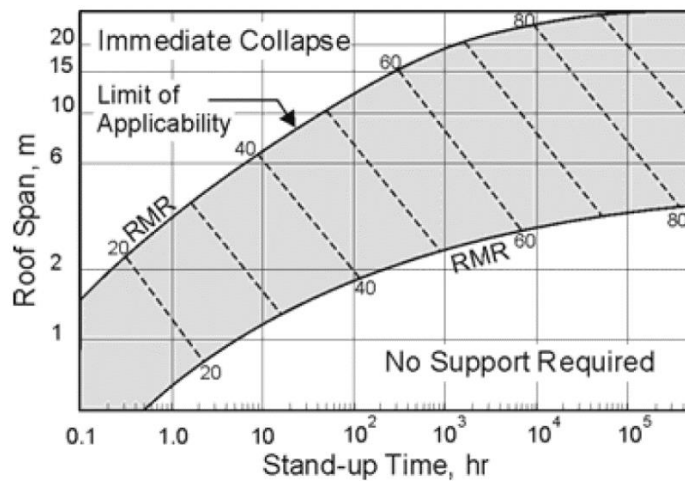


Abbildung 11: Verhältnis zwischen Stand-up Zeit, RMR und Roof Span

Figura 11: Relazione tra Stand-up time, RMR e Roof Span

Es wird festgestellt, dass dieses Diagramm ursprünglich für konventionelle Vortriebe erhalten wurden, daher erweist sich für TBM-Tunnels die Berechnung des RMR_{TBM} Index mittels des in [39] empfohlenen empirischen Verhältnisses als nötig:

Si evidenzia che tale grafico è stato originariamente ottenuto per scavi in tradizionale, quindi per gli scavi meccanizzati risulta necessario il calcolo dell'indice RMR_{TBM} attraverso la relazione empirica consigliata in [39]:

$$RMR_{TBM} = RMR_{D\&B} * 0,8 + 20$$

5.2 TEORETISCHES ARA

Nach Festlegung des RME kann eine theoretische durchschnittliche Vortriebgeschwindigkeit (ARA_T) aufgrund von einigen empirischen Wechselbeziehungen angesetzt werden, welche von Daten ausgehen, die aus einer weiten Statistik von mit verschiedenen TBM-Typen vorgetriebenen Tunnels entnommen wurden.

Um die RME mit den ARA_T für die unterschiedlichen TBM-Typen in Verbindung zu bringen muss vor allem die Tatsache berücksichtigt werden, dass die Widerstandswerte auf Monoaxialdruck des Gesteinsmaterials σ_{ci} sehr stark die TBM-Leistung beeinflussen.

Aus diesem Grund schlagen die Autoren vor unterschiedliche Verhältnisse zwischen RME und ARA_T für verschiedene TBM-Typen zu benutzen, sowie die Widerstände σ_{ci} über oder unter 45 MPa separat zu berücksichtigen.

Offene TBM

Für $\sigma_{ci} > 45$ MPa

$$ARA_T = 0.839 \times RME - 40.8 \quad R=0.763$$

Für $\sigma_{ci} < 45$ MPa

$$ARA_T = 0.324 \times RME - 6.8 \quad R=0.729$$

5.2 ARA TEORICO

Dopo aver determinato RME è possibile stimare una velocità media d'avanzamento teorica (ARA_T) sulla base di alcune correlazioni empiriche ottenute a partire da dati ricavati da un'ampia casistica di tunnel scavati con l'utilizzo di varie tipologie di TBM.

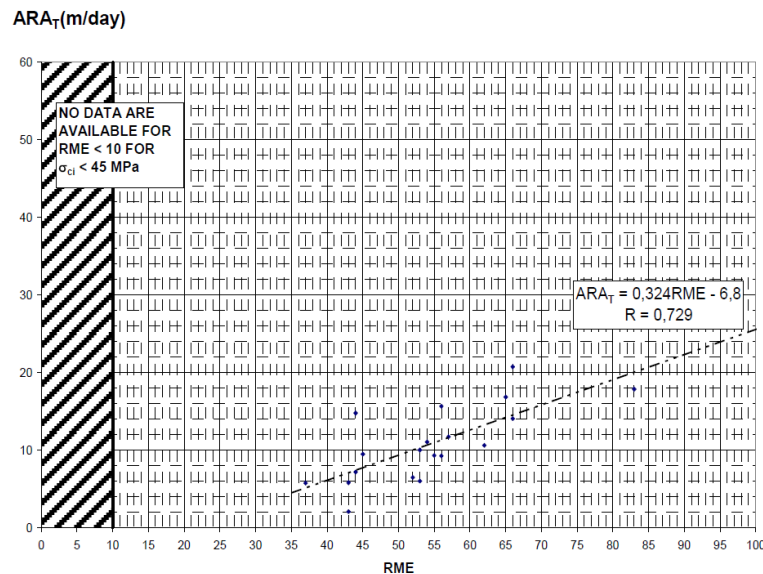
Per mettere in relazione con l' ARA_T per i diversi tipi di TBM, occorre innanzitutto tener conto del fatto che i valori della resistenza a compressione uniaassiale del materiale roccioso σ_{ci} influenzano fortemente le performance della TBM.

Per tale ragione, gli autori propongono di utilizzare relazioni tra RME e ARA_T differenti per diversi tipi di TBM e di considerare separatamente resistenze σ_{ci} maggiori o minori di 45 MPa.

TBM aperte

Per $\sigma_{ci} > 45$ MPa

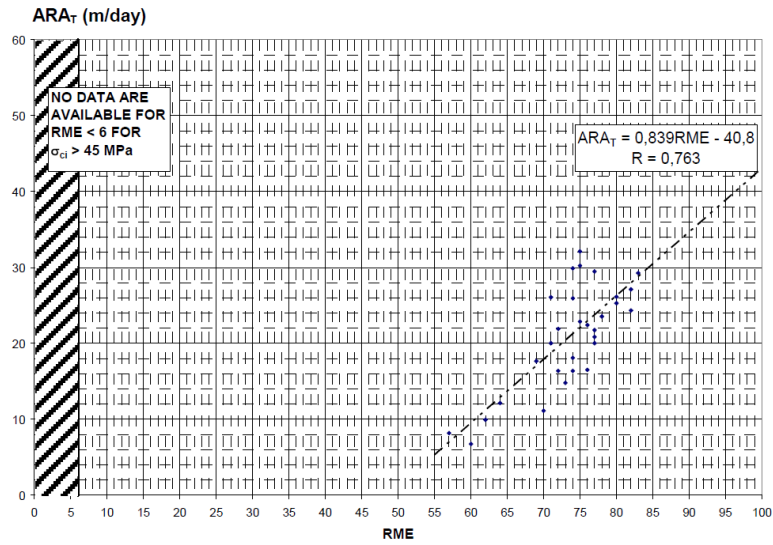
Per $\sigma_{ci} < 45$ MPa



I.- For terrains with $\sigma_{ci} < 45$ MPa

Abbildung 12: Wechselbeziehungen zwischen RME und ARA_T für offene TBM

Figura 12: Correlazione tra RME e ARA_T per Open TBM



II.- For terrains with $\sigma_{ci} > 45$ MPa

Abbildung 13: Wechselbeziehungen zwischen RME und ARA_T für offene TBM

Figura 13: Correlazione tra RME e ARA_T per Open TBM

Schild TBM

TBM semplicemente scudate

Für $\sigma_{ci} > 45$ MPa

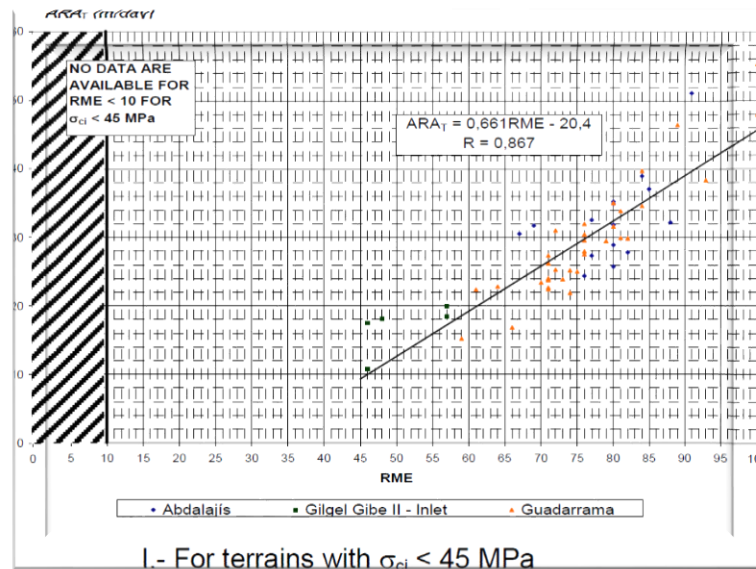
Per $\sigma_{ci} > 45$ MPa

$$ARA_T = 23 (1 - 242^x) \quad x = (45 - RMR)/17 \quad R=0.763$$

Für $\sigma_{ci} < 45$ MPa

Per $\sigma_{ci} < 45$ MPa

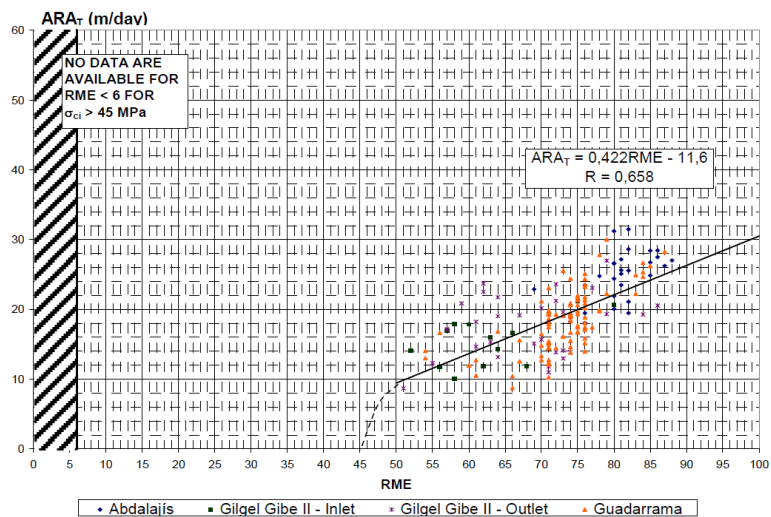
$$ARA_T = 10 \times \ln RME - 13 \quad R=0.84$$



I.- For terrains with $\sigma_{ci} < 45$ MPa

Abbildung 14: Wechselbeziehungen zwischen RME und ARA_T für Schild-TBM

Figura 14: Correlazione tra RME e ARA_T per Single Shield TBM



II.- For terrains with $\sigma_{ci} > 45$ MPa

Abbildung 15: Wechselbeziehungen zwischen RME und ARA_T für Schild-TBM

Figura 15: Correlazione tra RME e ARA_T per Single Shield TBM

Doppelschild-TBM

TBM doppio scudo

Für $\sigma_{ci} > 45$ MPa

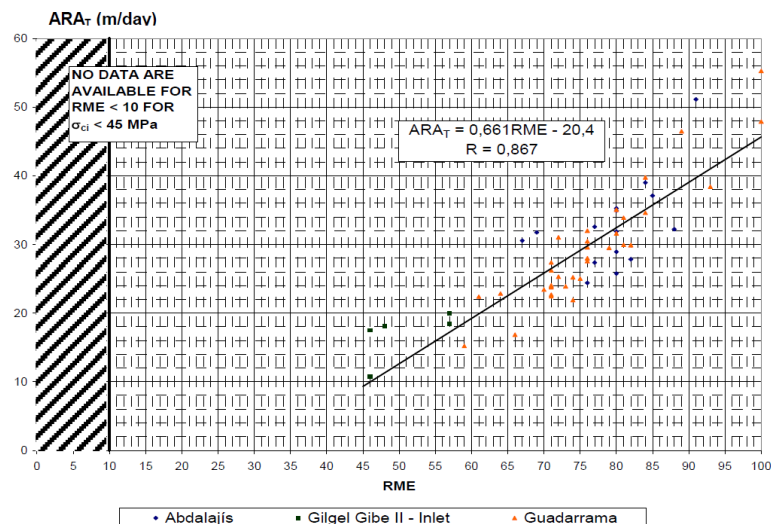
Per $\sigma_{ci} > 45$ MPa

$$ARA_T = 0.422 \times RME - 11.6 \quad R=0.658$$

Für $\sigma_{ci} < 45$ MPa

Per $\sigma_{ci} < 45$ MPa

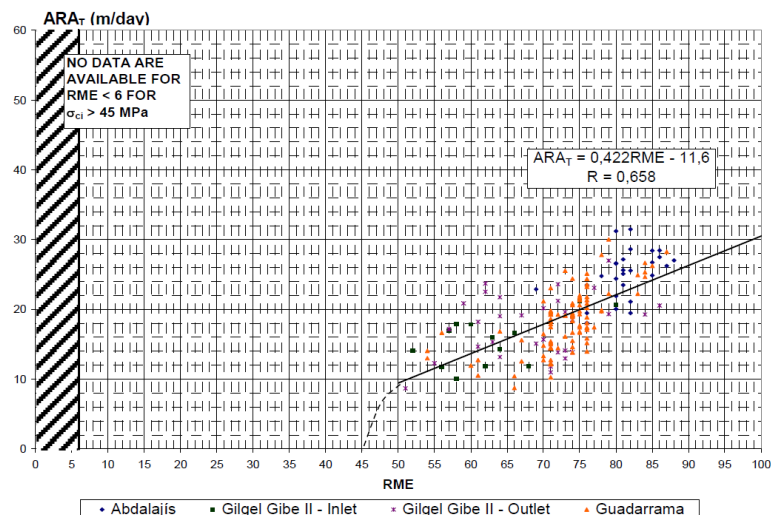
$$ARA_T = 0.661 \times RME - 20.4 \quad R=0.729$$



I.- For terrains with $\sigma_{ci} < 45$ MPa

Abbildung 16: Wechselbeziehungen zwischen RME und ARA_T für Doppelschild-TBM

Figura 16: Correlazione tra RME e ARA_T per Double Shield TBM



II.- For terrains with $\sigma_{ci} > 45$ MPa

Abbildung 17: Wechselbeziehungen zwischen RME und ARA_T für Doppelschild-TBM

Figura 17: Correlazione tra RME e ARA_T per Double Shield TBM

5.3 WAHLKRITERIEN DES TBM-TYPS IN BEZUG AUF DEN RME

Die Wechselbeziehungsanalyse zwischen den RME e ARA_T Indexen hat zu folgenden Allgemeinempfehlungen für die Wahl des einzusetzenden TBM-Typs gebracht:

- Für Gebirge mit einer ausgezeichneten Prädisposition zur Fräsfähigkeit, $RME > 80$ und $\sigma_{ci} > 45$ MPa, sind die offenen TBM die Maschinen welche die besten Leistungen bieten, während im Fall $\sigma_{ci} < 45$ MPa aber $RME > 80$, die Doppelschild-TBM vorzuziehen sind.
- Für Gebirge mit einer ausgezeichneten Prädisposition zur Fräsfähigkeit, mit einem RME zwischen 70 und 80 Punkten, erweisen sämtliche TBM-Typen ähnliche Leistungen wenn $\sigma_{ci} > 45$ MPa, ist. Im Fall von Widerstand auf Monoaxialdruck des Gesteins unter 45 MPa bieten die offenen TBM empfindbar weniger Vorteile im Vergleich zu den Schild-TBMs an.
- Für Gebirge mit durchschnittliche oder geringe Prädisposition zur Fräsfähigkeit, mit $RME < 70$ Punkte, sind die Schild-TBM die geeignetsten.

5.3 CRITERI DI SCELTA DEL TIPO DI TBM IN FUNZIONE DI RME

L'analisi delle correlazioni tra l'indice RME e ARA_T ha portato alle seguenti raccomandazioni generali per la scelta del tipo di TBM da impiegare:

- Per ammassi con una ottima predisposizione alla fresabilità, $RME > 80$ e $\sigma_{ci} > 45$ MPa, le TBM aperte sono le macchine che offrono le migliori performance, mentre nel caso di $\sigma_{ci} < 45$ MPa ma $RME > 80$, le TBM a doppio scudo sono preferibili.
- Per ammassi con una ottima predisposizione alla fresabilità, con un RME tra 70 e 80 punti, tutti i tipi di TBM mostrano performance simili se $\sigma_{ci} > 45$ MPa. In caso di resistenza a compressione uniassiale della roccia inferiore a 45 MPa, le TBM aperte offrono vantaggi sensibilmente minori rispetto le TBM a scudo singolo.
- Per ammassi di media o scarsa fresabilità, con $RME < 70$ punti, le TBM a scudo singolo sono le più appropriate.

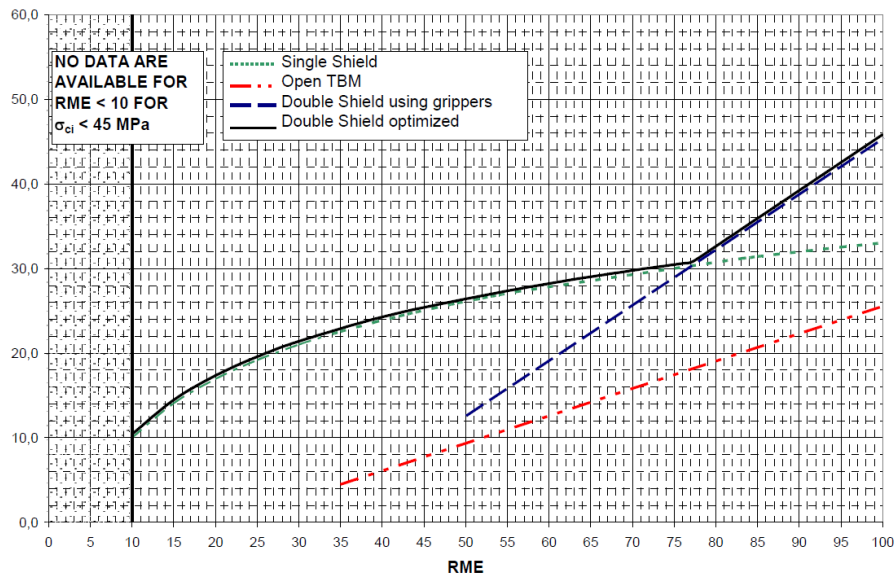


Abbildung 18: Wechselbeziehungen zwischen RME und ARA_T für unterschiedliche TBM-Typen in Gestein mit Widerstand auf Monoaxialdruck $\sigma_{ci} < 45$ MPa,

Figura 18: Correlazione tra RME e ARA_T per diverse tipologie di TBM in roccia con resistenza a compressione monoassiale $\sigma_{ci} < 45$ MPa

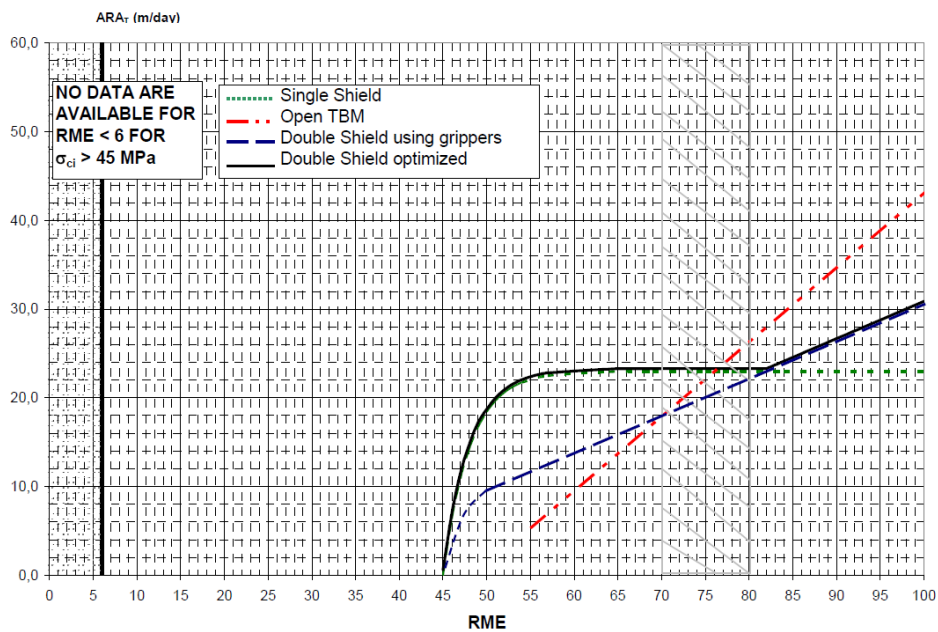


Abbildung 19: Wechselbeziehungen zwischen RME und ARA_T für unterschiedliche TBM-Typen in Gestein mit Widerstand auf Monoaxialdruck $\sigma_{ci} > 45$ MPa,

Figura 19: Correlazione tra RME e ARA_T per diverse tipologie di TBM in roccia con resistenza a compressione monoassiale $\sigma_{ci} > 45$ MPa

5.4 REELLE ARA

Der ARA_T ist ausschließlich durch den RME-Index festgelegt, der den Zweck hat die Prädisposition zur Fräsfähigkeit des Gebirges zu bewerten. Um die reelle Leistung der TBM hinsichtlich der Vortriebsgeschwindigkeit zu bewerten muss das Konzept des realen ARA (ARA_R) eingeführt werden, welcher einige Betriebsaspekte berücksichtigt, die nicht

5.4 ARA REALE

L' ARA_T è determinato esclusivamente tramite l'indice RME che ha lo scopo di valutare la predisposizione alla fresabilità dell'ammasso roccioso. Per valutare la reale performance della TBM in termini di velocità di avanzamento occorre introdurre il concetto di ARA reale (ARA_R), che tiene in considerazione alcuni aspetti operativi non prettamente legati

typischerweise mit der Gebirgsqualität verknüpft sind, durch Einführung von steigenden Beiwerten:

alla qualità dell'ammasso roccioso attraverso l'introduzione di coefficienti moltiplicativi:

$$ARAR=ARA_T \times F_E \times F_A \times F_D$$

Wobei:

Dove:

F_E = Beiwert der die Abhängigkeit von Erfahrung und Leistungsfähigkeit der Besatzung welche die TBM betätigt ausdrückt (factor of crew efficiency);

F_E = coefficiente che esprime la dipendenza dall'esperienza e l'efficienza dell'equipaggio che manovra la TBM. (factor of crew efficiency);

F_A = Beiwert der die Abhängigkeit von der Arbeiteranpassung an die Ortsbedingungen ausdrückt (factor of team adaptation to the terrain);

F_A = coefficiente che esprime la dipendenza dall'adattamento degli operatori alle condizioni lavorative in sito (factor of team adaptation to the terrain);

F_D = Beiwert der die Abhängigkeit vom Tunneldurchmesser ausdrückt (factor of tunnel diameter);

F_D = coefficiente che esprime la dipendenza dal diametro del tunnel (factor of tunnel diameter);

Beiwert F_E ist ausgehend von der gesammelten Erfahrung beim Bau der Tunnels von Guadarrama (Spanien) eingeführt worden, welche 28 km lang und mit vier TBM ausgehoben sind, auf Vorschlag des Dr. Remo Grandori [41]. Man berücksichtigt:

Il fattore F_E è stato introdotto a partire dall'esperienza acquisita durante la costruzione dei tunnel di Guadarrama (Spagna) lunghi 28 km e scavati da quattro TBM, basandosi sulla proposta del Dr. Remo Grandori [41]. Si considera:

$$F_E=0.7+F_{E1}+F_{E2}+F_{E3}$$

Die Beiwerte F_{Ei} können aus folgenden Tabellen erhalten werden.

I coefficienti F_{Ei} possono essere ottenuti dalle tabelle seguenti.

Contractor's TBM experience	No experience	1 to 5 tunnels built	6 to 10 tunnels built	11 to 20 tunnels built	>20 tunnels built
Value of F_{E1}	0	0,05	0,1	0,15	0,2

Tabelle 6: Bewertungskriterium des Beiwert F_{E1} .

Tabella 6: Criterio per la valutazione del coefficiente F_{E1} .

Qualifications of the tunnelling crew	Little trained and none with TBMs	Trained but none with TBMs	Trained overall and with TBMs
Value of F_{E2}	0	0,1	0,15

Tabelle 7: Bewertungskriterium des Beiwert F_{E2}

Tabella 7: Criterio per la valutazione del coefficiente F_{E2} .

Resolutions of disputes	TBM manufacturer rep on site	No TBM manufacturer rep on site	Time to resolve problems: < 1 month	Time to resolve problems: > 1 month
Value of F_{E3}	0,075	0	0,075	0

Tabelle 8: Bewertungskriterium des Beiwert F_{E3}

Tabella 8: Criterio per la valutazione del coefficiente F_{E3} .

Beiwert F_A berücksichtigt den Einfluss der Ausbruchlänge auf die TBM-Leistung, insbesondere wird unterstrichen, dass die Leistung mit Vergrößerung der Tunnellänge steigt. Dieser Parameter kann durch folgendes Diagramm geschätzt werden:

Il coefficiente F_A considera l'influenza della lunghezza di scavo sulla performance della TMB; si evidenzia in particolare che quest'ultima aumenta con l'aumentare della lunghezza del tunnel. È possibile stimare tale parametro attraverso il grafico seguente:

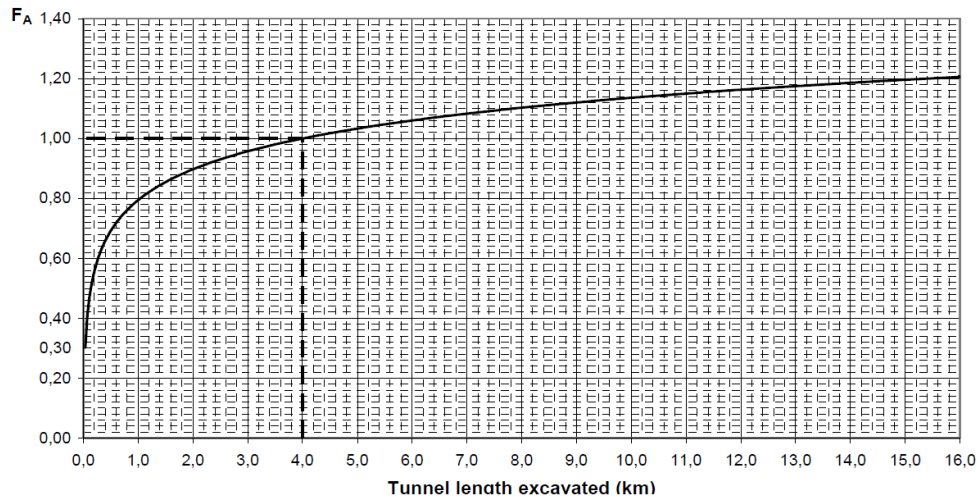


Abbildung 20: Änderung des F_A Parameter mit der Tunnellänge

Figura 20: Variazione del parametro F_A con la lunghezza del tunnel

Beiwert F_D berücksichtigt den Einfluss des Tunneldurchmessers und ist durch folgenden Ausdruck bewertbar:

Il coefficiente F_D considera l'influenza del diametro della galleria ed è valutabile con la seguente espressione:

$$F_D = -0.007D^3 + 0.1637D^2 - 1.2859D + 4.5158$$

Wobei:

Dove:

D = Tunneldurchmesser

D = Diametro del tunnel.

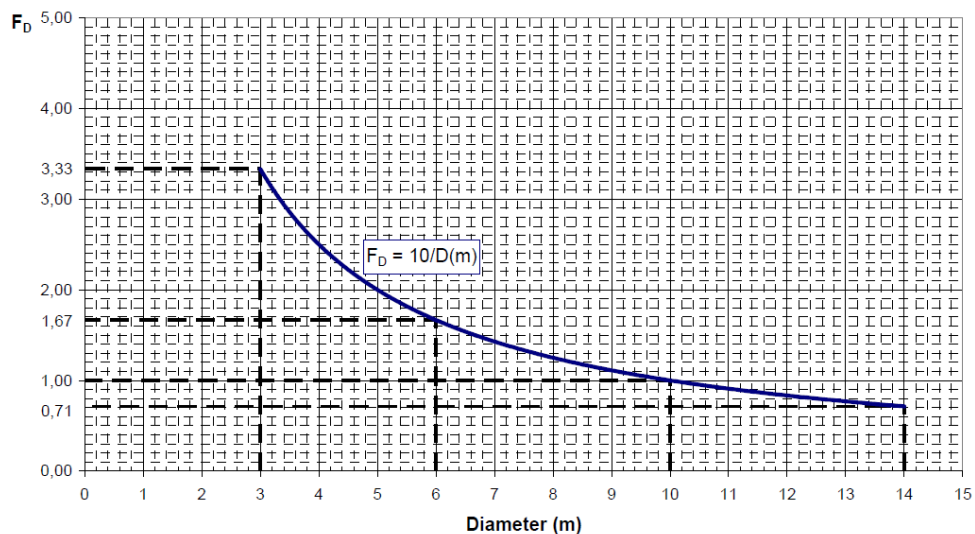


Abbildung 21: Änderung des F_D Parameter mit dem Tunneldurchmesser.

Figura 21: Variazione del parametro F_D con il diametro del tunnel.

6 ANHANG 2 – RME-ANWENDUNG AM PLAN

6.1 BERECHNUNG DES RME

Wie in der theoretischen Methodenabhandlung angegeben, ist eine Unterteilung in Strecken durchgeführt worden mit in Absatz 5.1 ausgedrückten Voraussetzungen, mit besondere Beachtung der geologischen Homogenität und der geomechanischen Gebirgsklasse.

6.1.1 Widerstand auf Monoaxialdruck des intakten Gesteins

In den unterliegenden Abbildungen ist der Wert $\sigma_{ci(k)}$ von 45 MPa als Schwelle unterstrichen, die zwei unterschiedliche Szenarien in der TBM-Vortriebsgeschwindigkeitsanalyse bestimmt.

6 APPENDICE 2 – APPLICAZIONE DEL RME AL PROGETTO

6.1 CALCOLO DELL'RME

Come indicato nella trattazione teorica del metodo, è stata effettuata una suddivisione in tratte aventi i requisiti espressi al paragrafo 5.1 e ponendo particolare attenzione all'omogeneità geologica e di classe geomeccanica dell'ammasso roccioso.

6.1.1 Resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta

Nelle figure sottostanti è evidenziato il valore di $\sigma_{ci(k)}$ pari a 45 MPa come soglia che definisce due distinti scenari nell'analisi delle velocità di avanzamento delle TBM.

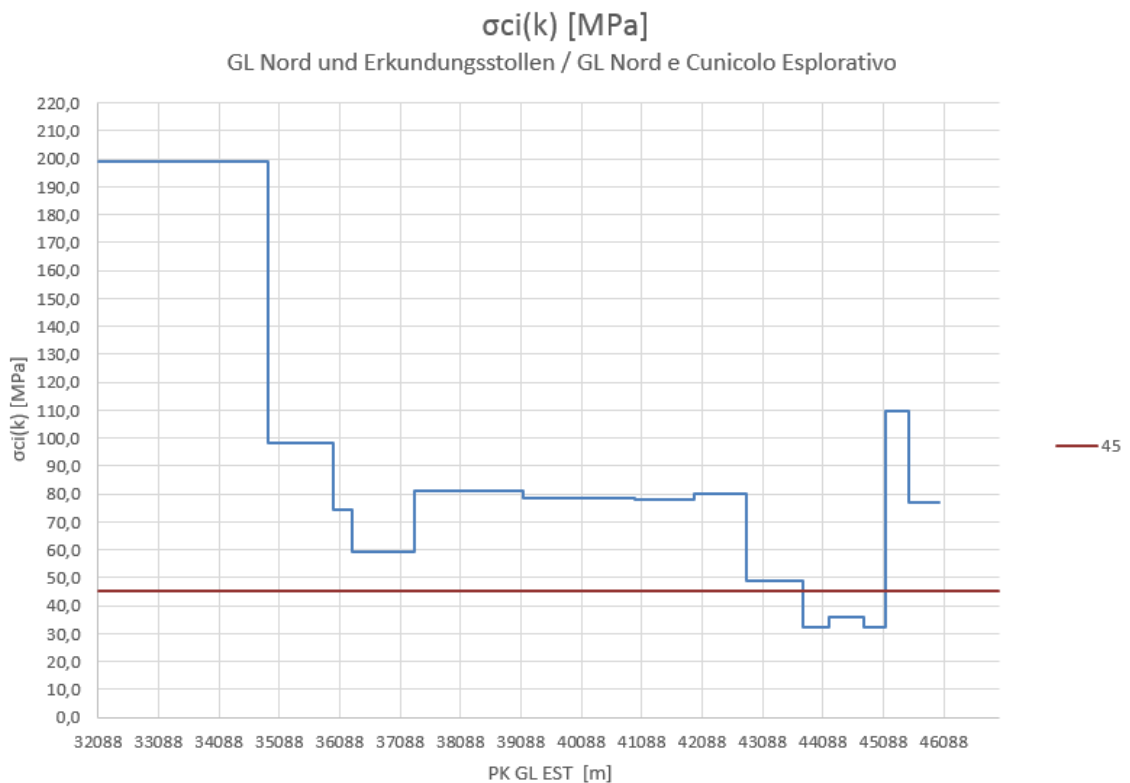


Abbildung 22: Verlauf typischer Widerstand auf Monoaxialdruck nördlich des Baulos Muls 1 (im Rahmen der geologischen homogenen Zonen vermittelte Werte), [4], [5], [6].

Figura 22: Andamento della resistenza a compressione monoassiale caratteristica a nord del Lotto Muls 1 (valori mediati nell'ambito delle zone geologiche omogenee) [4], [5], [6]

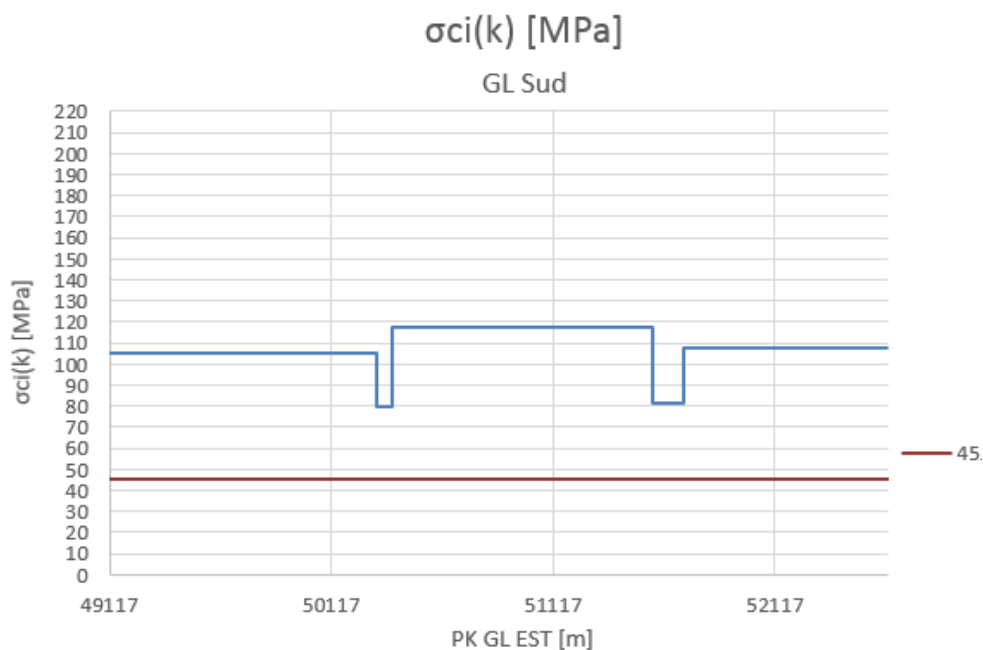


Abbildung 23: Verlauf typischer Widerstand auf Monoaxialdruck nördlich des Baulos Muls 1 (im Rahmen der geologischen homogenen Zonen vermittelte Werte), [7].

Figura 23: Andamento della resistenza a compressione monoassiale caratteristica a sud del Lotto Muls 1 (valori mediati nell'ambito delle zone geologiche omogenee) [7].

6.1.2 Bohrbarkeit

Zur Festlegung dieser Einstufung muss jeder analysierten Strecke ein Wert des Parameters E aufgrund der Lithologie beigemessen werden.

6.1.2 Drillability

Per la determinazione di tale rating è stato necessario attribuire ad ogni tratta analizzata un valore del parametro E in base alla litologia attraversata.

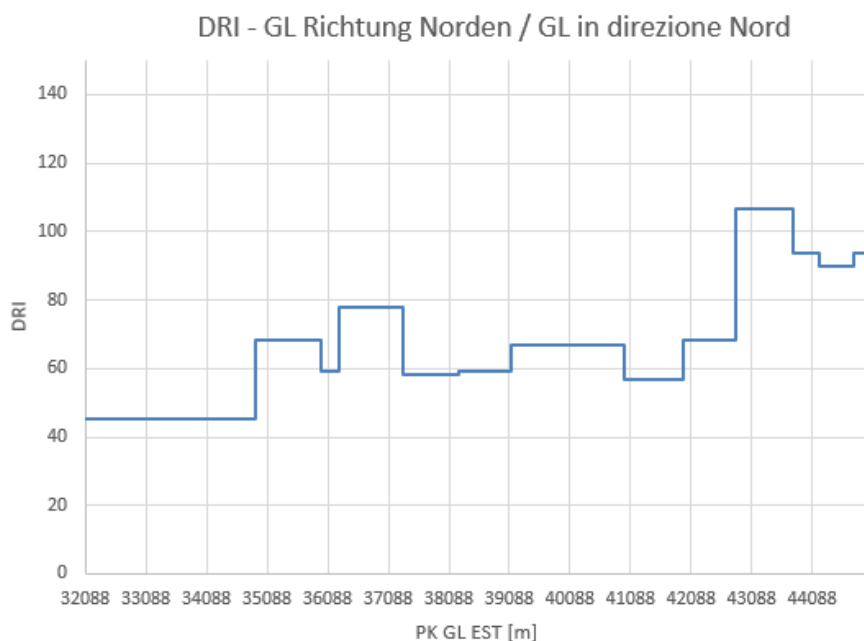


Abbildung 24: Verlauf DRI-Index (im Rahmen der geologischen homogenen Zonen vermittelte Werte), Haupttunnel Richtung Norden

Figura 24: Andamento dell'indice DRI (valori mediati nell'ambito delle zone geologiche omogenee) Gallerie di Linea direzione Nord.

DRI- GL Richtung Süden / GL in direzione Sud

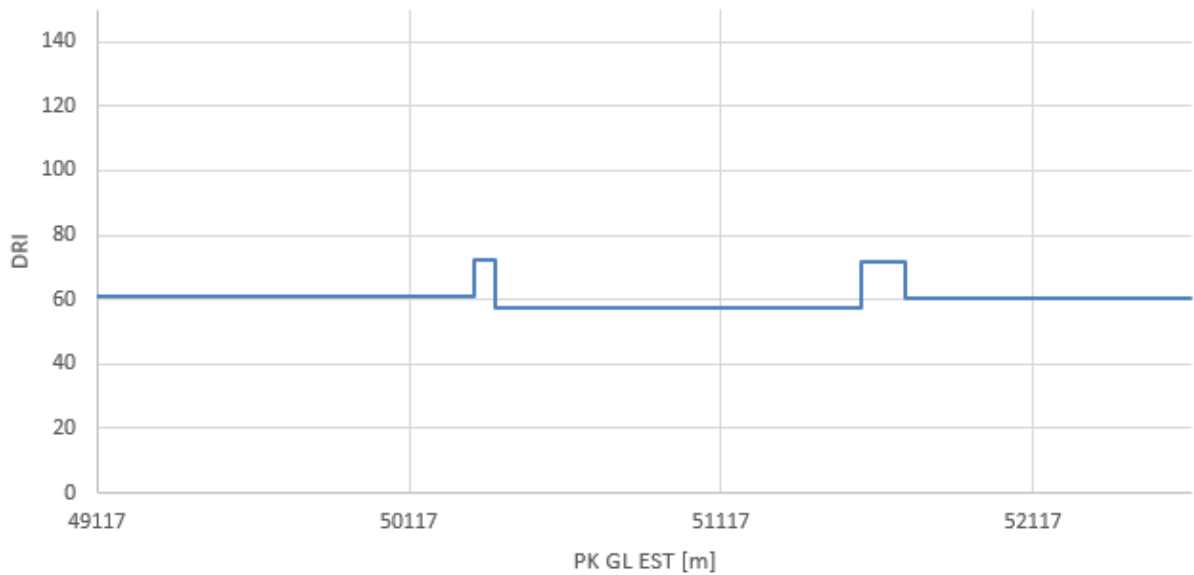


Abbildung 25: Verlauf DRI-Index (im Rahmen der geologischen homogenen Zonen vermittelte Werte), Haupttunnel Richtung Süden

Figura 25: Andamento indice DRI (valori mediati nell'ambito delle zone geologiche omogenee) Gallerie di Linea direzione Sud

6.1.3 Diskontinuität an der Ortsbrust

Da keine den vorkommenden Diskontinuitäten entsprechenden Daten zur Verfügung stehen, sind Verhältnisse aufgestellt worden welche die Parameter „Nummer der Knotenpunkte per Meter“ sowie „Ausrichtung bzgl. der Tunnelachse“ mit den Gebirgsklassen verknüpfen (Figura 26, Figura 27); es sind homogene Ortsbrustbedingungen berücksichtigt worden für sämtlich analysierte Strecken.

6.1.3 Discontinuities in front of the tunnel face

Non avendo a disposizione dati relativi alle discontinuità presenti al fronte scavo, sono state create delle relazioni che legano i parametri “Number of joints per meter” e “Orientation with respect to tunnel axis” alle classi dell’ammasso (Figura 26, Figura 27); sono state considerate condizioni omogenee del fronte scavo per tutte le tratte analizzate.

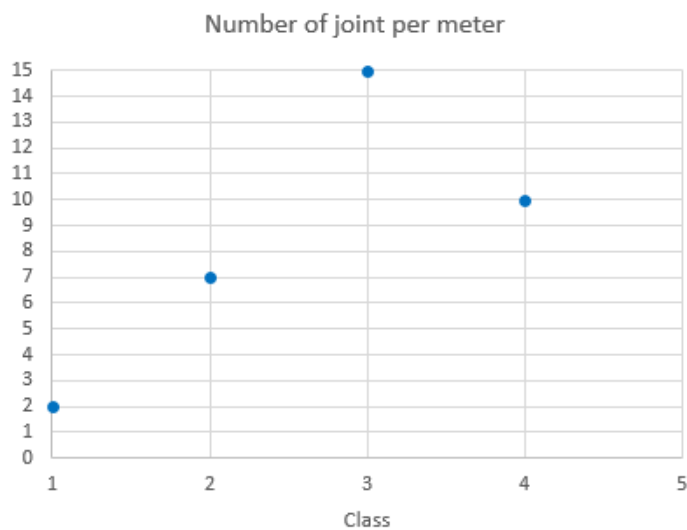


Abbildung 26: Berücksichtigtes Verhältnis zwischen der dem Parameter assoziierten Einstufung Nummer der Knotenpunkte per Meter und den Gebirgsklassen

Figura 26: Relazione considerata tra il rating associato al parametro Number of joints per meter e le classi dell’ammasso.

Orientation with respect to tunnel axis

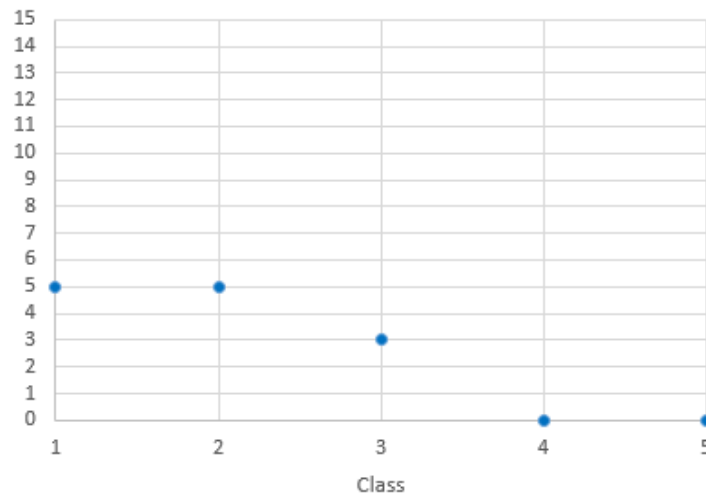


Abbildung 27: Berücksichtigtes Verhältnis zwischen der dem Parameter assoziierten Einstufung *Ausrichtung bzgl. der Tunnelachse* und den Gebirgsklassen

Figura 27: Relazione considerata tra il rating associato al parametro *Orientation with respect to tunnel axis* e le classi dell'ammasso.

6.1.4 Stand-up Zeit

Um die durch den Stand-up Zeit Parameter bedingte Einstufung durch das in Figura 11 dargestellte Diagramm zu berechnen, ist ein Wert der Deckenspannweite von 3 m entlang der Ausbruchstrecke nach Süden (Offene/Bohrkopf-TBM) berücksichtigt worden, während ein Wert gleich Null für die Ausbruchstrecke nach Norden gewählt wurde (Schild-TBM).

Es ist festzustellen, dass diese Einstufung auf Großteils der Strecken dieser Studie ihren Höchstwert von 25 angenommen hat wegen der hohen RMR_{TBM} Parameterwerte.

6.1.5 Grundwasserzulauf

Zur Feststellung der Einstufung aufgrund des Parameters *Grundwasserzulauf* sind die in jeder Strecke dieser Studie eintretenden Übergangswassermengen, in [14] festgelegt, während der Ausbruchphase in den Haupttunnels sowie dem Erkundungsstollen analysiert worden.

Es sind folgende Hypothesen berücksichtigt worden:

Ausbruchstrecken nach Norden (von km 32.088 bis km 44.191).

Die instationären Durchflussmengen des Erkundungsstollen und der Haupttunnel wurden aus den entsprechenden hydrogeologischen Profilen abgeleitet [11][12][13].

Es wird unterstrichen, dass für die Ausbruchrichtung nach Norden der *Grundwasserzulauf* den einzigen Parameter darstellt der den für die ARA_T Berechnung in den Haupttunnel benutzten RME von dem der ARA_T Berechnung im Erkundungsstollen unterscheidet.

6.1.4 Stand-up Time

Per calcolare il rating dovuto al parametro Stand-up Time attraverso il grafico rappresentato in Figura 11, si è considerato un valore di Roof Span pari a 3 m per la tratta di scavo in direzione sud (Open / Gripper TBM), mentre si è scelto un valore nullo per la tratta di scavo in direzione Nord (Shield TBM).

Si evidenzia che tale rating ha assunto il suo valore massimo, pari a 25, per gran parte delle tratte oggetto di studio a causa dei valori elevati del parametro RMR_{TBM} .

6.1.5 Groundwater inflow

Per la determinazione del rating dovuto al parametro *Groundwater inflow* sono state analizzate le portate transitorie, definite in [14], entranti in ogni tratta oggetto di studio, durante la fase di scavo nelle Gallerie di Linea e nel Cunicolo Esplorativo.

Sono state considerate le seguente ipotesi:

Tratte di scavo in direzione Nord (da km 32088 a km 44191).

La portate transitorie del Cunicolo Esplorativo e delle Gallerie di Linea sono state ricavate dai rispettivi profili idrogeologici [11][12][13].

Si precisa che per la direzione di scavo Nord, il *Groundwater inflow*, rappresenta l'unico parametro che differenzia l'RME utilizzato per il calcolo dell' ARA_T nelle Gallerie di Linea da quello utilizzato nel calcolo dell' ARA_T nel Cunicolo Esplorativo.

Es wird unterstreichen, dass diese Einstufung unterschiedliche Werte von 0 bis 5 einnehmen kann, und dass sie eine geringe Schwankung entlang der Streckenentwicklung dieser Studie aufzeigt, daher keine beachtlichen Änderungen des RME-Parameters erzeugt.

Ausbruchstrecken nach Süden (von km 49.117 bis km 52.628).

Für die Analyse des vom Fensterstollen Mauls nach Süden vorgetriebenen Haupttunnels wurde auf die hydrogeologischen Profile [13] Bezug genommen.

6.1.6 Erzielte Ergebnisse

Aus Figura 28, Figura 29, Figura 30, welche den Verlauf des RME-Index entlang der analysierten Tunnelstrecken aufzeigen, ist leicht bemerkbar, dass dieser Parameter, auf Großteils der Bauwerkentwicklung, Werte von über 75 einnimmt, mit Angabe einer durchschnittlichen guten Prädisposition zum TBM-Vortrieb.

Es wird unterstrichen, dass für den Haupttunnel und dem Erkundungsstollen, welche vom Fensterstollen Mauls ausgehend nach Norden ausgehoben sind, der RME-Index entlang der entsprechenden Kilometrierungsstrecken praktisch dieselben Werte einnimmt, da deren Berechnung sich nur in der Einstufung des Parameters des Grundwasserzulaufs unterscheidet.

Es ist auch interessant zu beobachten, dass bei den Kilometrierungen km 32+088 – 35+700 des Haupttunnels nach Norden der RME-Index ca. 50 entspricht, wegen der typischen Widerstandswerte auf Monoaxialdruck nahe an 200 MPa bei Vorkommen von Granitgneis.

Si noti che tale rating può assumere valori compresi tra 0 e 5 e presenta una bassa variabilità lungo lo sviluppo del percorso oggetto di studio, non generando quindi variazioni consistenti del parametro RME.

Tratte di scavo in direzione Sud (da km 49.117 a km 52.628).

Per l'analisi delle Gallerie di Linea a sud della Finestra di Mules si è fatto riferimento ai profili idrogeologici [10].

6.1.6 Risultati ottenuti

Da Figura 28, Figura 29, Figura 30, che mostrano l'andamento dell'indice RME lungo le tratte di tunnel analizzate, si nota come tale parametro assuma valori maggiori di 75 per gran parte dello sviluppo dell'opera, indicando, in media, una buona predisposizione alla scavo meccanizzato con TBM.

Si noti che per le Gallerie di Linea e il Cunicolo Esplorativo a nord della finestra di Mules l'indice RME assume valori praticamente identici lungo i tratti di progressive corrispondenti in quanto il loro calcolo differisce solo per il rating dovuto al parametro Groundwater Inflow.

È interessante anche osservare che tra le progressive km 32+088 – 35+700 delle Gallerie di Linea l'indice RME è pari a circa 50, a causa di valori della resistenza a compressione monoassiale caratteristica prossimi a 200 MPa, in presenza di gneiss granitico.

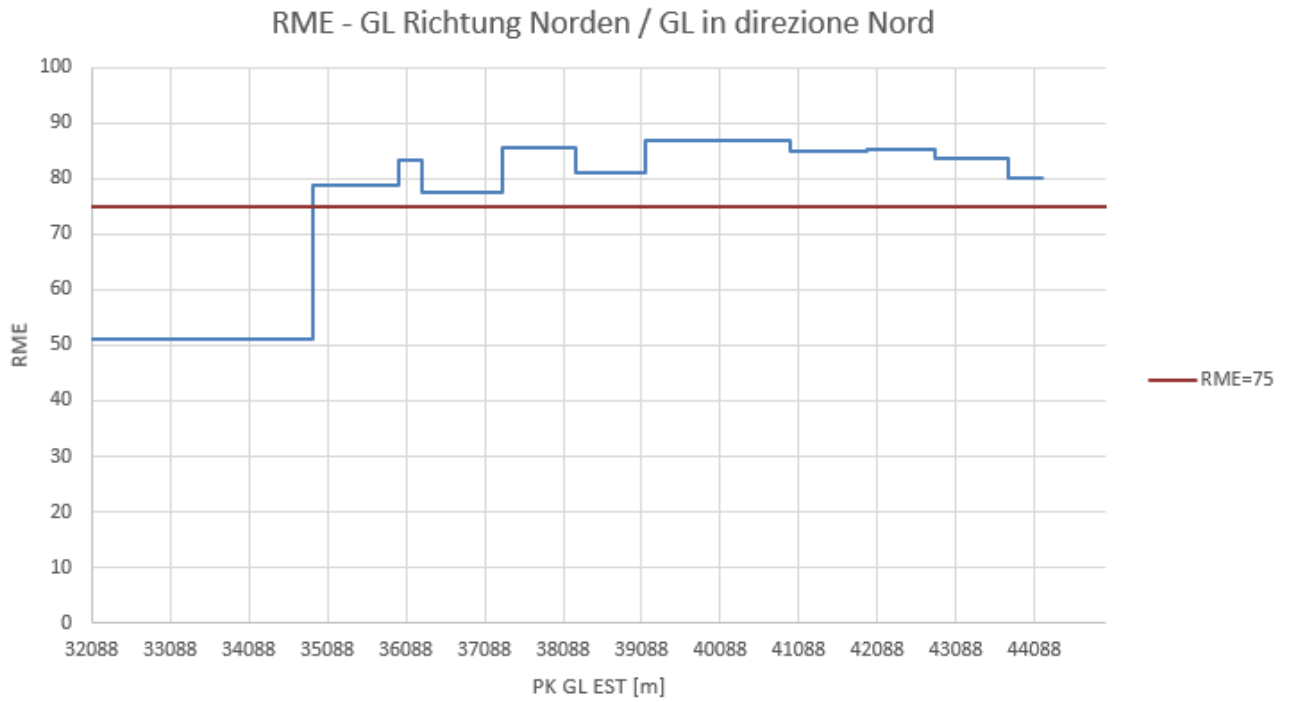


Abbildung 28: Verlauf RME-Mittelindex entlang der geomechanischen homogenen Strecken für den Haupttunnel Richtung Norden

Figura 28: Andamento dell'indice RME medio lungo le tratte geomeccaniche omogenee per le Gallerie di Linea direzione Nord.

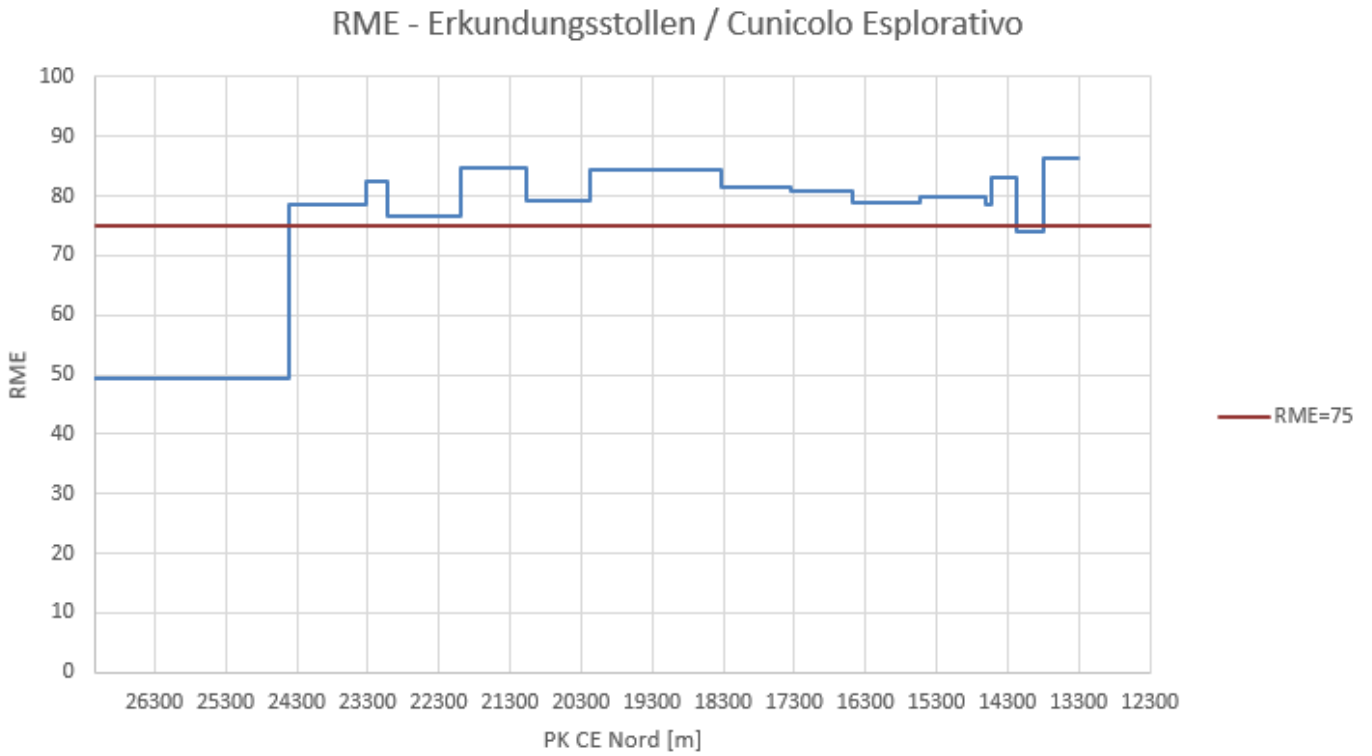


Abbildung 29: Verlauf RME- Mittelindex entlang der geomechanischen homogenen Strecken für den Erkundungsstollen

Figura 29: Andamento dell'indice RME medio lungo le tratte geomeccaniche omogenee per il Cunicolo Esplorativo.

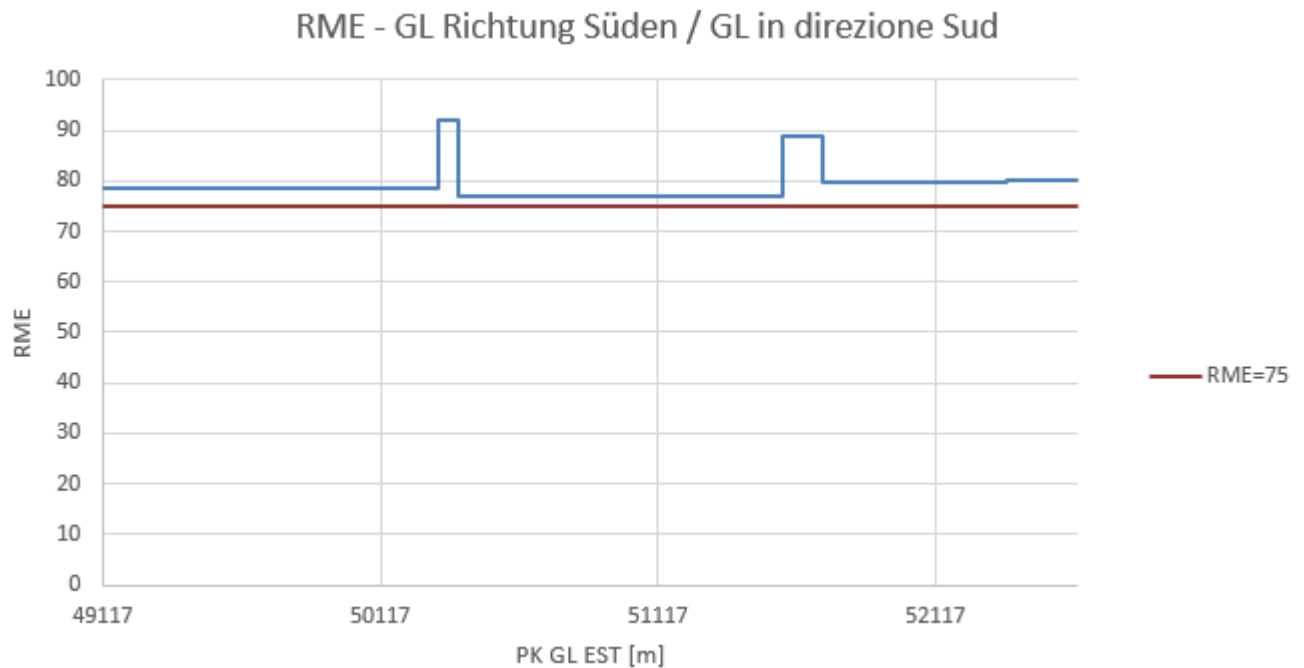


Abbildung 30: Verlauf RME- Mittelindex entlang der geomechanischen homogenen Strecken für den Haupttunnel Richtung Süden

Figura 30: Andamento dell'indice RME medio lungo le tratte geomeccaniche omogenee per le Gallerie di Linea direzione Sud

6.2 FESTLEGUNG DER ARA_T UND ARA_R

Nachdem der ARA_T Parameter, ausgehend vom RME-Index durch zuvor aufgezeigte empirische Verhältnisse, festgelegt wurde, müssen die steigernden Beiwerte F_E , F_A , F_D , zur Berechnung des Parameters ARA_R bestimmt werden.

Es wird bestimmt:

$$F = F_E \times F_A \times F_D.$$

GLN = Haupttunnel nach Norden

GLS= Haupttunnel nach Süden

CE= Erkundungsstollen nach Norden

6.2 DETERMINAZIONE ARA_T E ARA_R

Dopo aver determinato il parametro ARA_T a partire dall'indice RME attraverso le relazioni empiriche mostrate in precedenza, per il calcolo del parametro ARA_R è necessario determinare i coefficienti moltiplicativi F_E , F_A , F_D .

Si definisce:

$$F = F_E \times F_A \times F_D.$$

GLN = Gallerie di linea direzione Nord

GLS= Gallerie di linea direzione Sud

CE= Cunicolo esplorativo direzione Nord

Tratta	GLN	CE	GLS
Lunghezza(m)	12100	12100	3512
Diametro di scavo(m)	9,84	6,5	9,84
F_{E1}	0,2	0,2	0,2
F_{E2}	0,15	0,15	0,15
F_{E3}	0,15	0,15	0,15
F_E	1,2	1,2	1,2
F_A	1,18	1,18	0,98
F_D	1,04	1,15	1,04
F	1,48	1,63	1,23

Tabelle 9: Festlegung der steigernden Beiwerte zur ARA_R Berechnung

Tabella 9 Determinazione coefficienti moltiplicativi per il calcolo dell' ARA_R

Aus den erzielten Werten geht hervor, dass diese steigernden Beiwerte den ARA_T Wert um Prozentsätze erhöhen die von über 20%, im Fall des Haupttunnels nach Süden, bis zu 60% im Fall des Erkundungsstollens nach Norden variieren.

Dai valori ottenuti si evince che tali coefficienti moltiplicativi amplificano il valore dell' ARA_T di percentuali che variano da più del 20%, nel caso delle Gallerie di Linea direzione sud, al 60% nel caso del Cunicolo Esplorativo.

Für die Sicherheit ist entschieden worden die ARA -Werte nicht zu erhöhen.

A favore di sicurezza si è deciso di non amplificare i valori di ARA .

Daraus folgt, dass in dieser Studie folgendes Verhältnis als gültig berücksichtigt wurde:

Ne consegue che in questo studio si è considerata valida la seguente relazione:

$$ARA_T = ARA_R$$

6.3 ERGEBNISSE DER ARA BERECHNUNG

Die Analyse hat ermöglicht die Werte der Vortriebsgeschwindigkeit (ARA) für unterschiedliche TBM-Typen durch die Ausbruchstrecken dieser Studie festzulegen (Abbildung 31, Abbildung 32, Abbildung 33).

6.3 RISULTATI DEL CALCOLO DI ARA

L'analisi ha permesso di determinare dei valori di Velocità di Avanzamento (ARA) per diverse tipologie di TBM attraverso le tratte di scavo oggetto di questo studio (Figura 31, Figura 32, Figura 33).

ARA_T - Erkundungsstollen / Cunicolo esplorativo

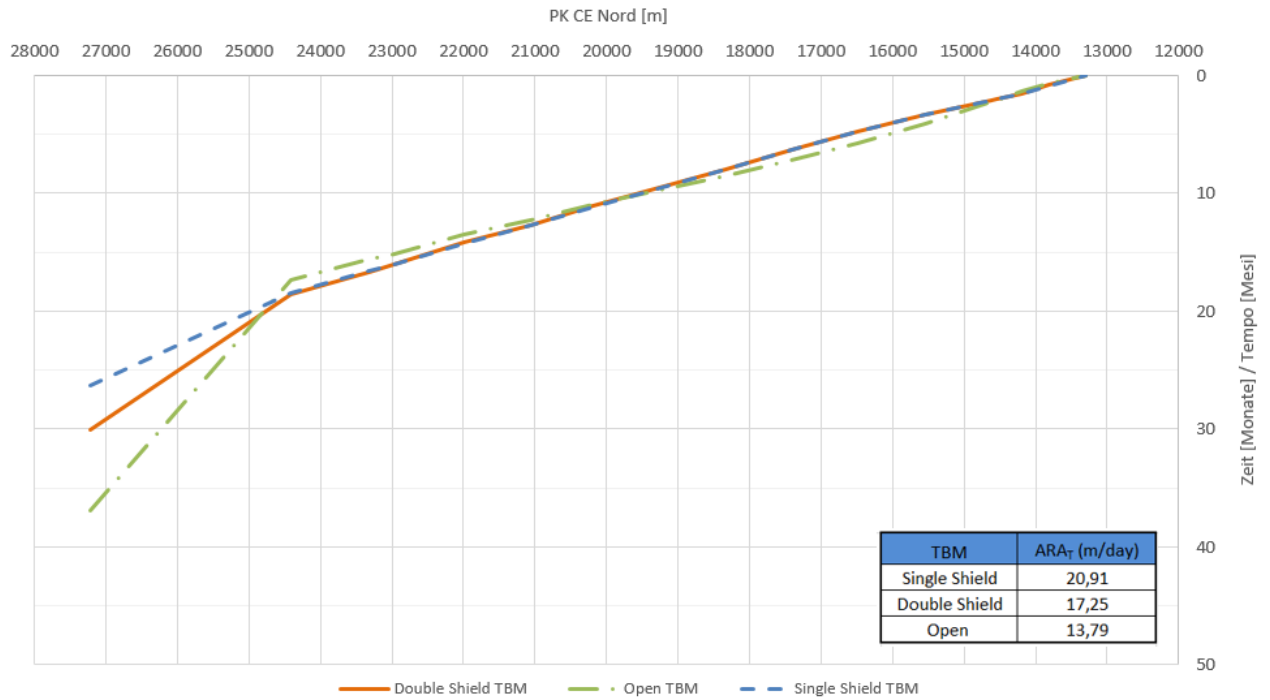


Abbildung 31: ARA_T Verlauf für unterschiedliche TBM-Typen im Erkundungsstollen

Figura 31: Andamento ARA_T per diversi tipologie di TBM nel Cunicolo esplorativo

ARA_T - Haupttunnels Nord / Gallerie di linea nord

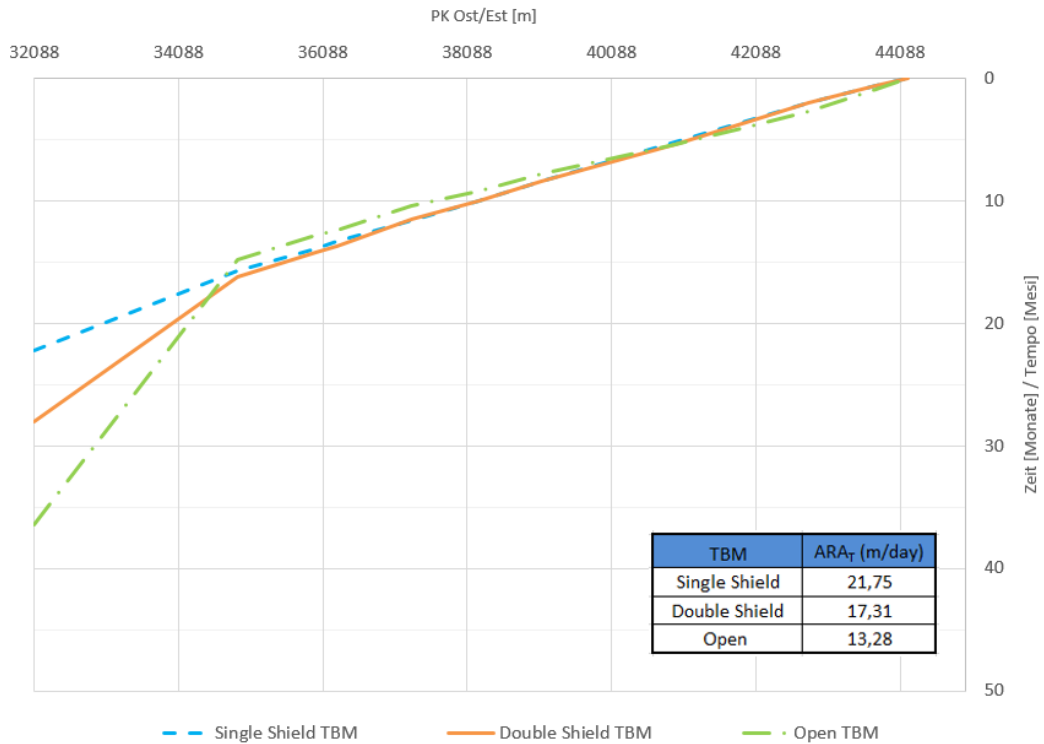


Abbildung 32: ARA_T Verlauf für unterschiedliche TBM-Typen im Haupttunnel Nord

Figura 32: Andamento ARA_T per diverse tipologie di TBM nella Gallerie di Linea Nord

ARA_T - Haupttunnels Süd / Galleria di linea sud

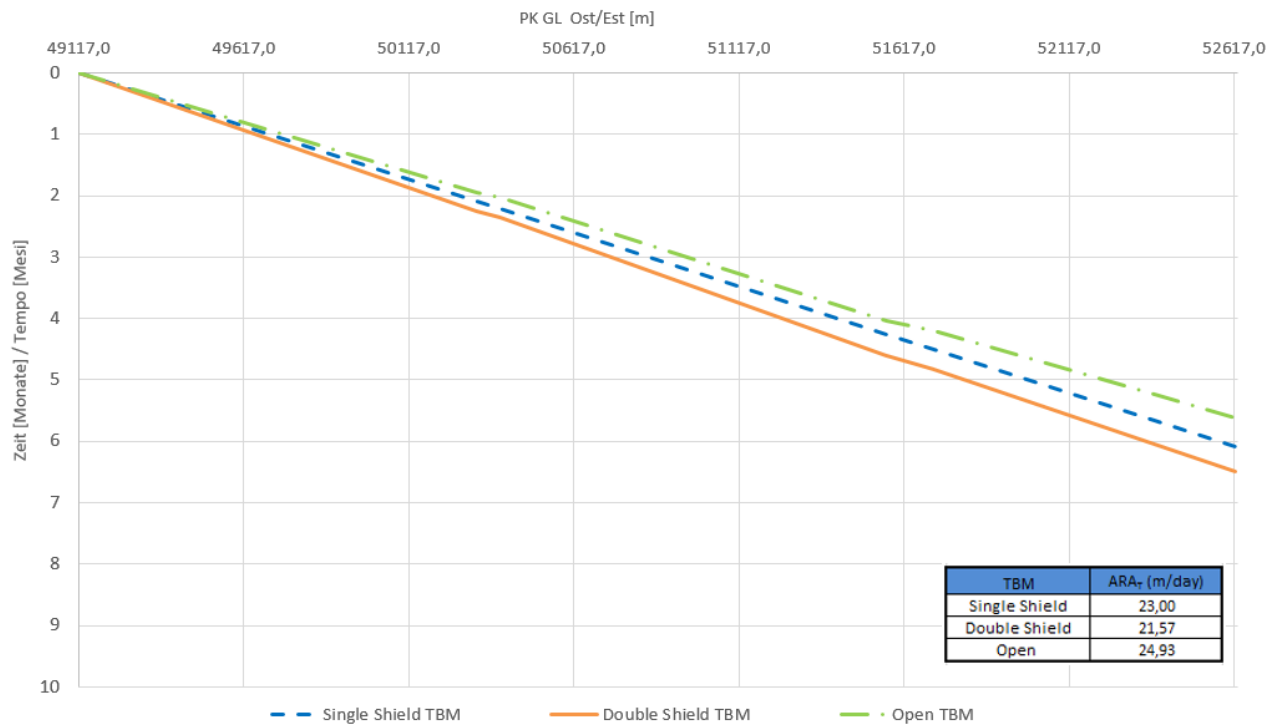


Abbildung 33: ARA_T Verlauf für unterschiedliche TBM-Typen im Haupttunnel Süd

Figura 33: Andamento ARA_T per diversi tipologie di TBM nelle Gallerie di Linea Sud

7 ANHANG 3 – WEITERE BEMERKUNGEN ZUR FESTLEGUNG DER TBM-VORTRIBSZEITEN DER GL UND DES CE NACH NORDEN

Die Vortriebe des Erkundungsstollens und der Haupttunnels, von den TBM-Richtungskavernen aus nach Norden bis zur Staatsgrenze, durchqueren einige geologisch komplexe Gebiete. Daher wurde die detaillierte Studie der obengenannten Strecken für angebracht gehalten. In folgenden Kapiteln sind Bemerkungen und Bewertungen zur Festlegung der benötigten Ausbruchzeiten für den Erkundungsstollen und den Haupttunneln, sowie den Zeiten der dazugehörigen Vorkehrungen zur Überwindung der geologisch kritischen Gebiete, aufgezeigt, wie in [17] vorgesehen.

7.1 GEOLOGIE

Die Ermittlung der homogenen Berechnungssektoren entlang der Strecke Muls – Brenner wurde aufgrund des Geomechanischen Detailberichts [9], sowie den relativen Geomechanischen Profile [4], [5], [6] durchgeführt.

Der Bericht [9] identifiziert entlang dieser Strecke fünfzehn homogene Sektoren, welche aufgrund der Gebirgseigenschaften bestimmt wurden und in deren Inneren in vierundfünfzig unterschiedlichen Gebirgstypen, jedes durch überwiegende Lithologie charakterisiert (Tabelle 10), unterteilt sind (homogenen geomechanische Grundeinheiten).

Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass viele der im Bericht [9] beschriebenen Gebirge in den unterschiedlichen homogenen Sektoren geologische sowie geomechanische ähnliche Eigenschaften aufweisen, und unter Berücksichtigung des hohen Unsicherheitsgrads der Positionierung der unterschiedlichen Gebirgstypen entlang der Strecke, wurde es, zum Zweck dieser Abhandlung, für nützlich empfunden die fünfzehn homogenen Gebiete in sechs homogene Makrosektoren zusammenzulegen.

Die Bezeichnung der so ermittelten homogenen Sektoren wird mit folgenden Elementen zusammengefasst:

- Fortlaufende Nummer des homogenen Gebiets: z.B. OB-1
- Tektonische Einheit: Abkürzung bzgl. der dominierenden tektonischen Einheit z.B. ZG – Zentralgneis

Diese Sektoren schließen sämtliche angrenzenden Strecken ein entlang denen das Vorkommen einzelner Gebirgstypen mit ähnlichen Eigenschaften vorgesehen ist und entsprechen Großteils den entlang der Tunnelachse (Tabelle 10).

7 APPENDICE 3 – ULTERIORI CONSIDERAZIONI PER LA DETERMINAZIONE DEI TEMPI DI SCAVO DELLE GL E DEL CE CON TBM VERSO NORD

Gli scavi del Cunicolo Esplorativo e delle Gallerie di Linea dai cameroni di lancio delle TBM verso nord fino al Confine di Stato attraversano alcune zone geologicamente complesse. Si è quindi ritenuto opportuno lo studio dettagliato delle tratte citate. Nei paragrafi successivi sono riportate le considerazioni e valutazioni fatte per la determinazione dei tempi necessari allo scavo del Cunicolo Esplorativo e delle Gallerie di Linea e dei relativi provvedimenti per il superamento delle zone geologicamente critiche, come previsto in [17].

7.1 GEOLOGIA

L'individuazione dei settori di calcolo omogenei lungo la tratta Muls - Brennero è stata effettuata in base alla Relazione Geomeccanica di Dettaglio [9] e ai relativi Profili Geomeccanici [4], [5], [6].

La relazione [9] individua lungo questa tratta quindici settori omogenei definiti in base alle caratteristiche dell'ammasso roccioso e suddivisi al loro interno in cinquantaquattro diversi tipi di ammasso roccioso (unità geomeccanica omogenea di base) caratterizzati ognuno da una litologia prevalente (Tabella 10)

Tenendo conto del fatto che molti dei tipi di ammassi rocciosi descritti nella relazione [9] nei differenti settori omogenei presentano caratteristiche geologiche e geomeccaniche simili e in considerazione dell'alto grado d'incertezza sulla posizione dei differenti tipi di ammasso roccioso lungo il tracciato, si è ritenuto utile, ai fini della presente trattazione, accorpare i quindici domini omogenei in sei macro settori omogenei.

La denominazione dei settori omogenei così individuati si riassume con i seguenti elementi:

- Numero progressivo del dominio omogeneo: per esempio OB-1
- Unità tettonica: abbreviazione in funzione dell'unità tettonica dominante: per esempio ZG - Gneiss centrale

Questi settori comprendono tutte le tratte adiacenti lungo cui è prevista la presenza dei singoli tipi di ammasso con caratteristiche simili e corrispondono in gran parte alle unità tettoniche presenti lungo l'asse della galleria (Tabella 10).

bestehenden tektonischen Einheiten. Lokal, zwischen km 41 und 43 (Oströhre), schließt der homogene Sektor OB-3-US Gesteine und Gebirge ein, welche unterschiedlichen tektonischen Einheiten angehören (Tabelle 10).

Die geomechanischen Parameter, welche die Berechnungssektoren charakterisieren, weisen mehr oder wenig größere Schwankungen innerhalb der Sektoren selbst auf, je nach anwesender Anzahl und Gebirgstyp. Die geomechanischen Parameter sind im [9] detailliert bestimmt.

Localmente, tra i km 41 e 43 (canna est), il settore omogeneo OB-3-US comprende rocce ed ammassi appartenenti a diverse unità tettoniche (Tabella 10).

I parametri geomeccanici che caratterizzano i settori di calcolo presentano variazioni più o meno grandi all'interno dei settori stessi a seconda del numero e tipo di ammassi rocciosi presenti. I parametri geomeccanici sono definiti in dettaglio in [9].

Zone number	Zone initial pk (approx.)	Zone final pk (approx.)	Zone length [m]	Rock mass name	Rock mass Length		Homogeneous sector	
	[km]	[km]			[% of zone length]	[m]	Description	Lenght [m]
01	32.0	34.9	2845	GA-ZG-G-1z	95%	2702.8	OB-6-ZS Subpennisches Basament (Zentralgneis und altes Dach). / Basamento Subpennidico	3934
				GA-ZG-S-1z	5%	142.3		
02	34.9	35.9	1089	GA-ZG-G-1b	85%	925.7		
				GA-ZG-S-1b	10%	108.9		
				GA-ZG-A-1b	5%	54.5		
03	35.9	36.3	296	GA-UST-PH-2b	45%	133.2	OB-5-UST Untere Schieferhülle / Schieferhülle inferiore	1331
				GA-UST-M-2b	30%	88.8		
				GA-UST-Q-2b	20%	59.2		
				GA-UST-A-2b	0-5%	0-14,8		
				GA-UST-R-2b	0-5%	0-14,8		
04	36.3	37.4	1035	GA-T-M-2b	40%	414.0		
				GA-T-PH-2b	25%	258.8		
				GA-T-Q-2b	20%	207.0		
				GA-T-A-2b	5-10%	51,75-103,5		
05	37.4	38.3	925	GA-T-R-2b	5-10%	51,75-103,5		
				GA-BS-KS-4b	55%	508.8	OB-4-BS Obere Schieferhülle (Pfitscherdecke) / Schieferhülle sup. (Falda di Vizze)	3650
				GA-BS-GM-4b	20%	185.0		
				GA-BS-KPH-4b	15%	138.8		
GA-BS-PR-4b	10%	92.5						
06	38.3	39.2	880	GA-BS-KS-4c	50%	440.0		
				GA-BS-GM-4c	25%	220.0		
				GA-BS-KPH-4c	15%	132.0		
				GA-BS-PR-4c	10%	88.0		
07	39.2	40.9	1845	GA-BS-GM-5c	35%	645.8		
				GA-BS-KS-5c	35%	645.8		
				GA-BS-KPH-5c	20%	369.0		
				GA-BS-PR-5c	8%	147.6		
				GA-BS-KQ-5c	2%	36.9		
08	40.9	41.9	990	GA-T-PH-6	38%	376.2	OB-3-US Untere Schieferhülle - Obere Schieferhülle (Pfitscherdecke und basis Glocknerdecke) / Schieferhülle inf.- Schieferhülle sup. (Falda di Vizze e base falda del Glockner)	2790
				GA-US-PH-6	35%	346.5		
				GA-US-Q-6	25%	247.5		
				GA-T-A-6	1-2%	9,9-19,8		
09	41.9	42.8	860	GA-T-R-6	0-1%	0-9,9		
				GA-US-PH-6a	35%	301.0		
				GA-US-Q-6a	30%	258.0		
				GA-BS-GM-6a	25%	215.0		
				GA-T-PH-6a	8%	68.8		
				GA-T-A-6a	0-2%	0-17,2		
10	42.8	43.8	940	GA-T-R-6a	0-2%	0-17,2		
				GA-BST-KS-8e	50%	470.0		
				GA-BST-KPH-8e	20%	188.0		
				GA-BST-M-8e	3%	28.2		
				GA-T-A-8e	0-2%	0-18,8		
11	43.8	44.6	921	GA-T-R-8e	0-2%	0-18,8		
				GA-BS-GM-8e	25%	235.0		
12	44.6	44.7	75	GA-BST-KS-8f	100%	921	OB-2-BST Obere Schieferhülle (Glocknerdecke) / Schieferhülle superiore (Falda del Glockner)	1342
				GA-BST-KPH-8f	87%	65.25		
				GA-T-R-8f	0-13%	0-9,75		
13	44.7	45.1	346	GA-T-A-8f	0-13%	0-9,75		
				GA-BST-KS-8f	100%	346		
14	45.1	45.5	390	GA-BCA-A-10g	85%	331.5	OB-1-BCA Ostalpin / Austroalpino	1920
				GA-BCA-GS-10g	15%	58.5		
15	45.5	47.0	1540	GA-BCA-GS-10g	90%	1386		
				GA-BCA-A-10g	10%	154		

Tabelle 10: Homogene Sektoren entlang der Strecke Mauls – Brenner; Kilometrierungen bzgl. der Oströhre

Tabella 10: Settori omogenei lungo la tratta Mules – Brennero; progressive con riferimento alla canna est.

7.2 WEITERE BEMERKUNGEN HINSICHTLICH DER AUSWAHL DES TBM-TYPS

Die Auswahl und Festlegung des mechanisierten Vortriebstyps stützt sich sowohl auf die Analyse der geologischen und hydrogeologischen typischen Daten als auch auf die Erwägung der technischen Machbarkeit, der Risikominimierung und daher der Planwirtschaftlichkeit.

Das Anwendungsfeld der Vortriebe des mechanisierten Typs im Gestein, orientiert sich anhand der Selbsterhaltung des Gesteins und der Notwendigkeit oder nicht von Sicherheitsvorkehrungen des Vortriebs. Im Falle von Gebirge mit guter Selbsterhaltungszeit und welche daher geringe Sicherheitsvorkehrungen benötigen, wird der Vortrieb mit einer offenen TBM vorgezogen. Dagegen im Falle, dass die Selbsterhaltungszeit des Gebirges begrenzt sei und die Absicherungsmaßnahmen einen höheren Zeit- und Materialaufwand benötigen, wird im Allgemeinen der Vortrieb mit Schild-TBM vorgezogen.

Die Technologie des mechanisierten Vortriebs des Typs Schild-TBM kann weiterhin in Schild und Doppelschild unterteilt werden. Der wesentliche Unterschied ist der, dass im Fall der Doppelschild-TBM die einzelnen Vortriebszyklen und der Aufbau des Tübbingrings gleichzeitig stattfinden können, daher hohe Vortriebsleistungen ermöglichen im Falle von Gestein mit guten geomechanischen Eigenschaften. Allerdings muss beobachtet werden, dass im Fall von geologisch schlechten Bedingungen oder von schwierigen Gebirge die Vortriebvorteile mit Doppelschild-TBM annulliert werden oder sich in deutlichen Nachteilen im Vergleich zu einer einfachen Schild-TBM umsetzen können.

Für diese Strecke wurden die verfügbaren Daten bzgl. der geologischen und geomechanischen Eigenschaften, insbesondere die, welche für den mechanisierten Vortrieb bedeuten sind, analysiert und ausgelegt. Insbesondere sind genauestens die Parameter GSI (Geological Strength Index), RMR (Rock Mass Rating), die Gebirgs- und Gesteinsstabilitätsbedingungen, das Belastungsverhältnis und die Wahrscheinlichkeit von Wasserzutritten analysiert worden. Aus der Bewertung der obengenannten Parameter ergibt sich, dass 30-35% der überprüften Strecken sich unter „gute“ geologische Bedingung befindet, daher den Einsatz einer offener TBM erlauben würden. Die restlichen 65-70% befinden sich allerdings unter Bedingungen bei denen die geologischen Eigenschaften zum Einsatz einer Schild-TBM führen.

7.2 ULTERIORI CONSIDERAZIONI IN MERITO ALLA SCELTA DEL TIPO DI TBM

La scelta e determinazione del tipo di avanzamento meccanizzato si basa sull'analisi dei dati geologici e idrogeologici caratteristici come sulla ponderazione dell'attuabilità tecnica, della minimizzazione dei rischi e quindi dell'economicità del progetto.

Il campo d'impiego di scavi di tipo meccanizzati in roccia, si orienta in base al tempo di autosostentamento della roccia e alla necessità o meno di provvedimenti di messa in sicurezza dello scavo. Nel caso di ammassi rocciosi con buon tempo di autosostentamento e che quindi richiedono interventi di messa in sicurezza ridotti, si predilige l'avanzamento con una TBM aperta. Nel caso invece il tempo di autosostentamento dell'ammasso roccioso sia limitato e gli interventi di messa in sicurezza richiedano maggiore dispendio di tempo e di materiale, si preferisce in generale l'avanzamento con una TBM scudata.

La tecnologia di scavo meccanizzato tipo TBM scudata può essere ulteriormente suddivisa in scudo semplice o doppio. La differenza sostanziale sta che nel caso di TBM doppio-scudata i singoli cicli di avanzamento ed il montaggio dell'anello di conci possono avvenire contemporaneamente permettendo quindi alti rendimenti di avanzamento in caso di presenza di buone caratteristiche geomeccaniche della roccia. Tuttavia si deve osservare che in caso di condizioni geologiche scadenti oppure di ammassi problematici, i vantaggi di un avanzamento con TBM doppio-scudata vengono annullati o possono facilmente tradursi in chiari svantaggi rispetto ad una TBM a scudo semplice.

Per la tratta in oggetto sono stati analizzati e interpretati i dati disponibili relativi alle caratteristiche geologiche e geomeccaniche soprattutto quelli rilevanti per l'avanzamento meccanizzato. In particolare sono stati analizzati attentamente i parametri GSI (Geological Strength Index), RMR (Rock Mass Rating), le condizioni di stabilità dell'ammasso, il rapporto di sollecitazione e la probabilità di venute d'acqua. Dalla valutazione dei parametri sopra citati risulta che il 30-35% della tratta in esame si trova in condizioni geologiche "buone" che permetterebbero quindi l'impiego di una TBM aperta. Il rimanente 65-70% del tracciato si trova tuttavia in condizioni in cui le caratteristiche geologiche fanno propendere per l'impiego di una TBM scudata.

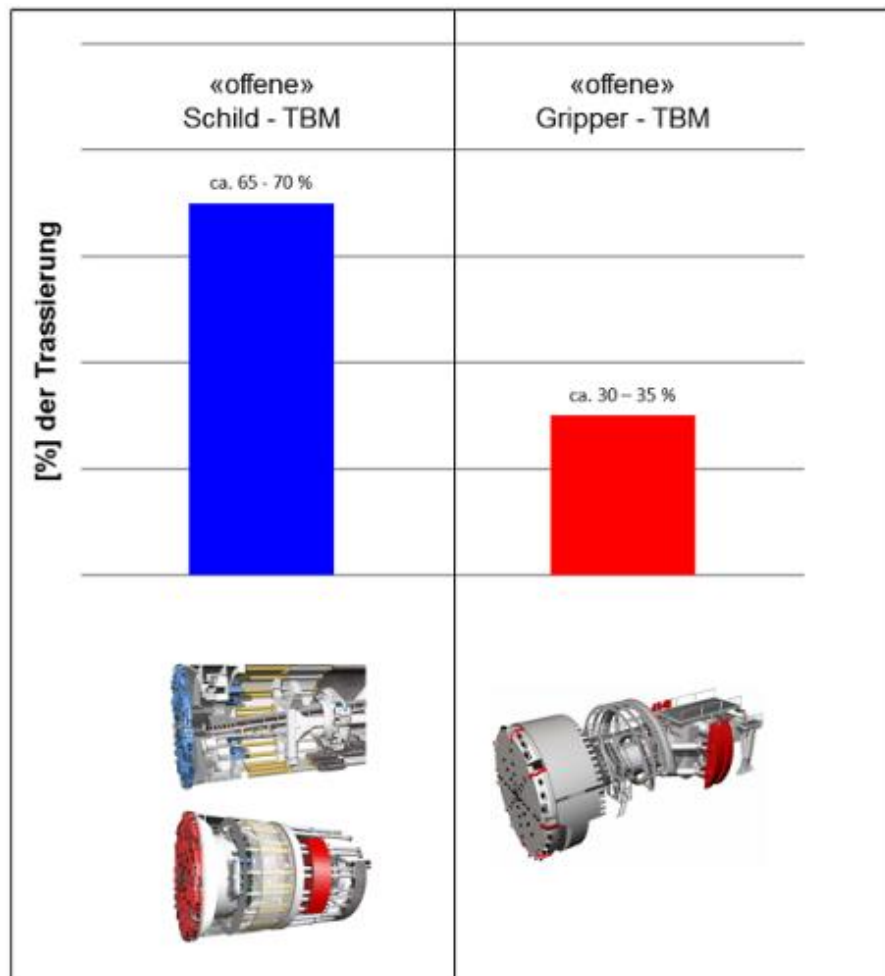


Abbildung 34: Typologien der erwogenen TBMs

Figura 34: Tipologie delle TBM considerate

Bezüglich der Auswahl zwischen einer einfach beschilderten und einer doppelbeschilderten TBM ist folgendes zu erwägen:

Gebiete von geologisch geringer Qualität

- Im Fall von Gesteinslawinen könnten diese Probleme erzeugen wenn Felsenblöcke oder Material zwischen den zwei Schildern einer Doppelschild-TBM fallen würden. In diesem Fall wäre es daher nötig das Doppelschild während des Vortriebs zusammen zu legen und die TBM würde de facto eine einfache Schild-TBM werden: die Vorteile der Doppelschild-TBM verschwinden.
- In den Gebieten bei denen das Gebirge schlechte geomechanische Eigenschaften erweist, wäre der Einsatz der „Gripper“, welche sich im hinteren Schild einer Doppelschild-TBM befinden, nicht möglich und es wäre daher nötig die zwei Schilder zu vereinigen: die Vorteile der Doppelschild-TBM verschwinden.

Per quanto riguarda la scelta tra un TBM semplicemente scudata e una doppio-scudata, si consideri quanto segue:

Zone geologicamente di bassa qualità

- Nel caso di frammenti dell'ammasso roccioso, questi potrebbero creare dei problemi se blocchi o materiale cadessero tra i due scudi di una TBM doppio-scudata. In questo caso si renderebbe quindi necessario unire il doppio scudo durante l'avanzamento e la TBM diventerebbe di fatto una TBM a scudo semplice: i vantaggi del tipo TBM a scudo doppio svaniscono.
- Nelle zone in cui l'ammasso roccioso presenta caratteristiche geomeccaniche scadenti, l'impiego dei „Gripper“ posti nello scudo posteriore di una TBM doppi-scudata, non sarebbe possibile e quindi si renderebbe necessario accoppiare i due scudi: i vantaggi del tipo TBM scudo doppio svaniscono.

Gebiete mit starken Konvergenzen oder Vorkommen von drückendem Gestein

- Die Doppelschild-TBM haben ein deutlich längeres Schild im Vergleich zu den Schild-TBM. Bedeutende Konvergenzen des Gesteins können die Reibung auf der größeren Doppelschildoberfläche erhöhen indem sie de facto die TBM verklemmen und deren Vortrieb blockieren.

Injektionen und Vortriebsmaßnahmen

- Perforierungen, Injektionen, Vortriebsmaßnahmen, usw. sind schwieriger bei Einsatz einer Schild-TBM im Vergleich zu einer offenen TBM. Die Problematik verschlimmert sich deutlich bei Einsatz einer Doppelschild-TBM, aufgrund der größeren Schildlänge.

Kosten

- Die Investitionskosten für eine Doppelschild-TBM sind wegen der größeren technischen Komplexität höher.

Schildkontrolle

- Die Kontrolle und Führung des Doppelschilds sind entschieden komplexer im Vergleich zum einfachen Schild, was den Einsatz von qualifizierterem Personal mit viel Erfahrung erfordert um die Systemvorteile zu auszunützen.

Angesichts der verfügbaren Informationen und bei Abwägung der obengenannten Punkte, wird der Einsatz einer einfachen Schild-TBM als das für die Situation geeignetste mechanisierte Vortriebssystem gehalten.

7.3 DURCHQUERUNG DER SCHWIERIGEN SEKTOREN

7.3.1 Vortriebsuntersuchungen

Zweck des Vortriebsuntersuchungsplans ist die Verwerfungszonen, oder die durch ein gestörtes Gebirge charakterisierten Gebiete ermitteln zu können bevor diese von den TBM angegangen werden. Um diesen Zweck zu erreichen müssen die Vortriebsuntersuchungen systematisch entlang der ganzen Streckenführung durchgeführt werden und deren Ergebnisse müssen analysiert werden bevor die Fräsen die untersuchten Gebiete durchfahren. Zur Bestimmung des Bauzeitplans wurden daher die zur Erreichung dieses Zweckes für nötig gehaltenen Untersuchungen ermittelt und es wurde deren zeitliche Auswirkung auf die Ausführung des Erkundungsstollens und der Haupttunnels berücksichtigt. Insbesondere werden zur Durchführung der Untersuchungen, bei denen man denkt, dass sie, mit einer angemessenen Tätigkeitseinplanung, in den Stillstandperioden für die

Zone con forti convergenze o presenza di rocce spingenti

- Le TBM doppio-scudate hanno lo scudo nettamente più lungo rispetto alle TBM scudate semplici. Importanti convergenze della roccia possono accrescere l'attrito sulla maggiore superficie dello scudo doppio incastrando di fatto la TBM e bloccandone l'avanzamento.

Iniezioni e interventi in avanzamento

- Perforazioni, iniezioni, interventi in avanzamento, ecc. sono più difficoltosi nel caso di impiego di una TBM a scudo semplice rispetto a una TBM aperta. La problematica viene notevolmente accentuata nell'impiego di una TBM doppio-scudata a causa della maggiore lunghezza dello scudo.

Costi

- I costi d'investimento per una TBM doppio-scudata sono più elevati a causa della maggiore complessità tecnica.

Controllo dello scudo

- Il controllo e la guida del doppio scudo sono decisamente più complessi rispetto allo scudo semplice, il che richiede l'impegno di personale più qualificato e con molta esperienza per usufruire dei vantaggi del sistema.

In base alle informazioni a disposizione e ponderando i punti sopra citati, si ritiene che l'impiego di una TBM a scudo semplice sia il sistema di avanzamento meccanizzato più idoneo alla situazione.

7.3 ATTRAVERSAMENTO SETTORI CRITICI

7.3.1 Indagini in avanzamento

Lo scopo del piano di indagini in avanzamento è di poter individuare le zone di faglia o le zone caratterizzate da un ammasso disturbato prima che queste vengano affrontate dalle TBM. Per raggiungere questo scopo le indagini in avanzamento devono essere eseguite in modo sistematico lungo tutto il tracciato e i loro risultati analizzati prima che le frese attraversino le zone investigate. Per la definizione del programma lavori sono state quindi individuate le indagini ritenute necessarie per raggiungere questo scopo e si è tenuto conto del loro impatto in termini di tempi sulla realizzazione del Cunicolo Esplorativo e delle Gallerie di Linea. In particolare per l'esecuzione delle indagini, che si ritiene possano essere eseguite durante i periodi di fermo per

Wartung ausgeführt werden könnten, pro Vortrieb 48 T/Jahr berücksichtigt.

7.3.1.1 Ausführungsverfahren der Vortriebsuntersuchungen [16]

Die systematische Ausführung der geophysischen Untersuchungen (TRT – Tunnel Reflection Tomography), sowie der Hammerbohrung entlang der ganzen Ausbruchstrecke des CE und entlang einigen Ausbruchstrecke der GL (siehe [16]) werden als Mindestmaßnahmen zur Ermittlung von Störzonen, bevor diese von der TBM durchquert werden, betrachtet. Diese Untersuchungen müssen in regelmäßigen Abständen systematisch durchgeführt werden um im Voraus eine Gesamtabdeckung bzgl. des Durchlaufs der Fräse selbst zu sichern.

Da die Zuverlässigkeit der gesammelten Daten mit Zunahme deren Abstand von der Kilometrierung, wo die Untersuchungen durchgeführt werden, abnimmt, muss zur Risikominimierung eine Teilüberlappung sowohl der einzelnen Bohrungen als auch der geophysischen Untersuchungen garantiert sein. Daher müssen die Vortriebsuntersuchungen ungefähr alle 100m Vortrieb durchgeführt werden und einen Abstand von 150m von der Ortsbrust abdecken, so dass eine Überlappung von 50m mit den vorhergehenden durchgeführten Untersuchungen gegeben ist. Dieser Abstand zwischen den einzelnen Untersuchungen erlaubt es Daten guter Qualität zu erhalten, mit Minimierung der Auswirkung der Untersuchungen selbst auf den Ausbruchvortrieb.

Bei den Hammerbohrungen müssen die Penetrationsgeschwindigkeit, das Drehmoment sowie der Druck von einem Datenlogger dauerregistriert werden, um so die Gebirgsbedingungen zu bewerten. Die Analyse und der Vergleich der mit unterschiedlichen Methoden gesammelten Daten müssen die Gebirgscharakterisierung ermöglichen sowie die bedeutenderen Verwerfungszonen ermitteln und sie von geringeren oder möglichen Verwerfungszonen sowie von den intakten Gebirgszonen unterscheiden.

Um die Planung zu verfeinern muss, zusätzlich zu diesen Untersuchungen, die TBM des CE und der GL Norden mit einem BEAM-System ausgestattet werden, welches es ermöglicht die Position der Verwerfungszonen in unmittelbarer Nähe der Ortsbrust mit höhere Genauigkeit zu ermitteln.

Die Analyse und die Auslegung der gesammelten Daten müssen innerhalb 24 Stunden nach Ausführung der Untersuchungen geschehen und jedenfalls bevor die untersuchten Gebiete von der TBM durchquert werden. Angesichts dieser Informationen wird es daher möglich sein

manutenzione con un'opportuna programmazione delle attività, sono considerati 48 gg/anno per ogni avanzamento.

7.3.1.1 Procedura di esecuzione delle indagini in avanzamento [16]

L'esecuzione sistematica di indagini geofisiche (TRT - Tunnel Reflection Tomography) e di sondaggi a distruzione lungo tutta la tratta da scavare del CE e lungo alcuni tratti delle GL (come previsto in [16]) è considerata come la misura minima per permettere di individuare la presenza di zone problematiche prima che queste vengano attraversate dalla TBM. Queste indagini devono essere eseguite sistematicamente a intervalli regolari in modo da garantire una copertura totale in anticipo rispetto al passaggio della fresa stessa.

Poiché l'attendibilità dei dati raccolti diminuisce con l'aumentare della loro distanza rispetto alla progressiva dalla quale vengono eseguite le indagini, per ridurre al minimo i rischi, deve essere garantita una sovrapposizione parziale sia dei singoli sondaggi che delle indagini geofisiche. Le indagini in avanzamento devono quindi essere eseguite all'incirca ogni 100m di avanzamento e coprire una distanza di 150m dal fronte di scavo in modo da avere una sovrapposizione di 50m con le indagini eseguite in precedenza. Questa distanza tra le singole indagini permette di ottenere dati di buona qualità minimizzando l'impatto delle indagini stesse sull'avanzamento dello scavo.

Nei sondaggi a distruzione la velocità di penetrazione, il torque e la spinta devono essere registrati in continuo da un datalogger permettendo così di valutare le condizioni dell'ammasso roccioso. L'analisi e il confronto dei dati raccolti con i differenti metodi di indagine dovranno permettere di caratterizzare l'ammasso roccioso e di individuare le zone di faglia più rilevanti e di distinguerle da zone di faglia minori o probabili e dalle zone di ammasso intatto. Con i sondaggi a distruzione può inoltre essere individuata la presenza lungo il tracciato di eventuali venute d'acqua significative.

Per affinare la previsione, in aggiunta a queste indagini, le TBM del CE e delle GL Nord dovranno essere inoltre dotate di un sistema BEAM che permetta di identificare con maggiore precisione la posizione delle zone di faglia nelle immediate vicinanze del fronte di scavo.

L'analisi e l'interpretazione dei dati raccolti devono avvenire entro 24 ore dall'esecuzione delle indagini e in ogni caso prima che le zone investigate siano attraversate dalla TBM. In base a queste informazioni sarà quindi possibile decidere se procedere con l'avanzamento o effettuare ulteriori indagini

zu entscheiden ob mit dem Vortrieb voranschreiten oder weiter Untersuchungen durchführen falls die Daten das Vorkommen von Störzonen in unmittelbarer Nähe der Ortsbrust erweisen.

Um die Auswirkung dieser Untersuchungen auf den Bauzeitplan zu minimisieren, werden die Vortriebssondierungen und die geophysischen Untersuchungen teilweise durch Nutzung der TBM-Wartungspausen oder andere vorgesehene nötigen Pausen durchgeführt werden, z.B. für den Ausbruch der Logistik Ausweichen. Die Vorbereitung des Instrumentariums für die geophysischen Untersuchungen kann während der Sondierungsausführung gemacht werden, so dass praktisch die Auswirkung dieser Untersuchungen auf den Fräsvortrieb auf null reduziert wird.

Falls die Vortriebsuntersuchungen Verwerfungen von bedeutender Stärke ermitteln sollten, kann bei Annäherung an die Verwerfungszone eine Kernsondierung durchgeführt werden, um die Gebirgsbedingungen genauer zu bewerten und ob die Durchquerung der ermittelten Verwerfungszone Risiken für die TBM betragen könnten. Aufgrund der Kernsondierungsergebnisse wird daher entschieden ob man mit dem Vortrieb fortfahren soll, ob weitere Untersuchungen zu machen sind oder ob vor der Wiederaufnahme des TBM-Vortriebs Maßnahmen zur Gebirgskonsolidierung durchzuführen sind (siehe folgende Kapitel für Details).

7.3.2 Maßnahmen zur Gebirgsbesserung

Der Erkundungsstollen wird vor den Haupttunnels ausgeführt und dessen Zweck ist es die kritischen Zonen zu ermitteln und detailliert zu charakterisieren, sowie deren Ausdehnung zu bestimmen. Aus diesem Grund hält man es für nötig dauernde Vortriebsprospektionsbohrungen durchzuführen.

Die Wahl der Typologie des Sondereingriffs stützt sich hauptsächlich auf die Ausdehnung sowie den Eigenschaften der zur durchquerenden Zone.

Die TBM müssen vorbereitet werden, um Eingriffe auszuführen können, seien es Injektions- oder Installationseingriffe der Einschlüsse, sei es Drainage Maßnahmen.

Die vorgesehenen technischen Lösungen zur Überwindung der geologisch schwierigeren Gebiete sind ausführlich in [17] beschrieben und in verschiedenen Planungstafeln dargestellt ([18], [19], [20], [21], [22], [23], [24], [25], [26], [27] und [28]); die Strecken mit besonderen Maßnahmen sind in Tafeln [29], [30] und [31] und in Tabelle 11 dargestellt. Insbesondere wird die Ausführung folgender Maßnahmen, welche immer mit den Vortriebsdrainagen verbunden sind:

- **Sondereingriffe Typ 1:** diese werden sowohl für den Erkundungsstollen als auch für die Haupttunnels

in caso i dati rivelino la presenza di condizioni critiche in prossimità del fronte di scavo.

Per minimizzare l'impatto di queste indagini sul Programma lavori, i sondaggi in avanzamento e le indagini geofisiche andranno in parte eseguite sfruttando le pause per la manutenzione della TBM o altre pause previste necessarie, per esempio per lo scavo delle Piazzole logistiche. La preparazione della strumentazione per le indagini geofisiche può essere fatta durante l'esecuzione dei sondaggi, riducendo in pratica a zero l'impatto di queste indagini sui tempi di avanzamento della fresa.

Nel caso le indagini in avanzamento individuino faglie di spessore significativo, in avvicinamento alla zona di faglia potrà essere eseguito un sondaggio a carotaggio per valutare più accuratamente le condizioni dell'ammasso e se l'attraversamento della zona individuata può comportare rischi per la TBM. In base ai risultati del sondaggio carotato si potrà ulteriormente decidere se proseguire con l'avanzamento, eseguire ulteriori indagini oppure gli interventi per consolidare l'ammasso prima di riprendere l'avanzamento con la TBM (si vedano paragrafi successivi per dettagli).

7.3.2 Interventi di miglioramento dell'ammasso

Il Cunicolo Esplorativo viene realizzato prima delle gallerie principali e ha lo scopo di individuare e caratterizzare dettagliatamente le zone critiche nonché di definirne l'estensione, per cui si ritiene necessario eseguire continui sondaggi di prospezione in avanzamento.

La scelta della tipologia di intervento particolare si basa prevalentemente sull'estensione e sulle caratteristiche della zona critica da attraversare.

Le TBM dovranno essere predisposte per eseguire gli interventi siano questi di iniezione o di installazione di inclusi che di drenaggio.

Le soluzioni tecniche previste per il superamento delle zone geologicamente più critiche sono ampiamente descritte in [17] e rappresentate in diverse tavole di progetto ([18],[19],[20],[21],[22],[23],[24],[25],[26],[27] e [28]); le tratte con interventi speciali sono indicate nelle tavole [29], [30] e [31] e in Tabella 11. In particolare si prevede l'esecuzione dei seguenti interventi, sempre accoppianti all'esecuzione di drenaggi in avanzamento:

- **Interventi particolari Tipo 1:** vengono realizzati sia per il CE che per le GL. Sono costituiti da inclusi in

durchgeführt. Sie bestehen aus zementierte GFK Einschlüsse, welche im Vortrieb, bzgl. der Ortsbrust, auf den Umfangrand der Tunnel und auf die Abbaufont geschleudert werden. Sie werden zur Durchquerung von schwierigen Strecken mit begrenzter Stärke (< 10 m) und geomechanischen nicht besonders kritische Eigenschaften angewandt. Deren Ausführungszeiten wurden in den Vortriebsstillstandzeiten berechnet, da es für möglich erhalten wird, sie, durch eine angemessene Arbeitseinplanung, gleichzeitig mit den, bereits für die Nischen und logistischen Ausweichen des Erkundungsstollens (60 T/Jahr), Querstollen für die GL (15 T/Jahr), berücksichtigten Maschinenstillstandperioden ausführen zu können.

- **Sondereingriffe Typ 2:** diese werden sowohl für den CE als auch für die GL durchgeführt. Sie bestehen aus zementierte Einschlüsse in GFK, welche im Vortrieb, bzgl. der Ortsbrust, auf den Umfangrand der Tunnel und auf die Abbaufont geschleudert werden. Sie werden zur Durchquerung von schwierigen Strecken mit begrenzter Stärke (< 10 m) und geomechanischen nicht besonders kritische Eigenschaften angewandt. Deren Ausführungszeiten wurden in den Vortriebsstillstandzeiten berechnet. Insbesondere wurden, für den CE, 25 Tage Stillstand für Gesamtperioden <10 Tage und weitere 15 Tage Stillstand in einer einzigen Periode, und für jeder der GL 21 Tage Stillstand für Gesamtperioden <10 Tage und weitere 15 Tage Stillstand in einer einzigen Periode, vorgesehen. Die Sondereingriffe Typ 2 werden insbesondere zur Minimalisierung der Belastungen auf zwei wichtige Quellen vorgesehen (Kaltwasserquelle im Pfitschtal und die Brenner Thermalquellen).
- **Sondereingriffe Typ 3:** diese werden im Laufe des Erkundungsstollenvortriebs auch für die Haupttunnels durchgeführt. Sie bestehen aus: CE Vortrieb nach vorhergehende Errichtung einer Umleitung aus dem die Konsolidierungsinjektionen von GFK Einschlüsse zum CE selbst ausgeführt werden können; Ausführung von einer zweiten Umleitung und von Injektionen zur Gebirgskonsolidierung von GFK Einschlüsse zu den GL. Sie werden zur Durchquerung von schwierigen Strecken angewandt. Deren Ausführungszeiten wurden in den Vortriebsstillstandzeiten des CE berechnet. Insbesondere wurden 137 Tage Stillstand für Gesamtperioden <30 Tage vorgesehen. Die Sondereingriffe Typ 3 werden in der kritischen Zone mit schlechten geomechanischen Eigenschaften und

VTR cementati lanciati in avanzamento rispetto al fronte di scavo sul contorno del perimetro delle gallerie e sul fronte. Vengono applicati per l'attraversamento di tratte problematiche di potenza limitata (< 10 m) e caratteristiche geomeccaniche non particolarmente critiche. I loro tempi di esecuzione non sono stati considerati nel calcolo dei tempi di fermo avanzamento in quanto si ritiene che essi possano essere realizzati adottando una opportuna programmazione del lavoro, di conserva con i periodi di fermo macchina già considerati per la realizzazione di nicchie e Piazzole Logistiche del Cunicolo Esplorativo (60 gg/anno), Cunicoli Trasversali per le GL (15 gg/anno).

- **Interventi particolari Tipo 2:** vengono realizzati sia per il CE che per le GL. Sono costituiti da iniezioni di consolidamento da inclusi in VTR lanciati in avanzamento rispetto al fronte di scavo sul contorno del perimetro delle gallerie e sul fronte. Vengono applicati per l'attraversamento di tratte problematiche di potenza limitata (< 10 m) e caratteristiche geomeccaniche critiche. I loro tempi di esecuzione sono stati considerati nel calcolo dei tempi di fermo avanzamento. In particolare sono stati previsti: per il CE n. 25 gg di fermo per periodi complessivi < 10 giorni e ulteriori 15 gg di fermo in un unico periodo; per ciascuna delle GL n. 21 gg di fermo per periodi complessivi < 10 giorni e ulteriori 15 gg di fermo in un unico periodo. Si prevedono interventi particolari Tipo 2 in particolare per minimizzare gli impatti su due importanti sorgenti (sorgente Kaltwasser in Val di Vizze e le sorgenti di Terme del Brennero).
- **Interventi particolari Tipo 3:** vengono realizzati nel corso dell'avanzamento del CE anche per le GL. Sono costituiti da: scavo del CE previa costruzione di un By-pass da cui effettuare iniezioni di consolidamento da inclusi in VTR verso il CE medesimo; realizzazione di un secondo By-pass e di iniezioni di consolidamento dell'ammasso da inclusi in VTR verso le GL. Vengono applicati per l'attraversamento di tratte problematiche di potenza > 10 m e caratteristiche geomeccaniche critiche. I loro tempi di esecuzione sono stati considerati nel calcolo dei tempi di fermo avanzamento del CE. In particolare sono stati previsti n. 137 gg di fermo per periodi complessivi > 30 gg. Si prevede l'applicazione degli interventi particolari Tipo 3 nella zona critica con caratteristiche geomeccaniche

mit hohen Überdeckungen der unteren Schieferhüllenformation vorgesehen.

scadenti, di importante estensione e associata a coperture elevate delle Formazioni dello Schieferhülle Inferiore.

Tratta	T-01	T-02	T-03	T-04	T-05	T-06	T-07	T-08	T-09	T-10	T-11	T-12	T-13	T-14	T-15	
pk iniz ≈ [km]	32	34.9	35.9	36.3	37.4	38.3	39.2	40.9	41.9	42.8	43.8	44.6	44.7	45.1	45.5	
pk fin ≈ [km]	34.9	35.9	36.3	37.4	38.3	39.2	40.9	41.9	42.8	43.8	44.6	44.7	45.1	45.5	47	
H min [m]	1385	945	940	755	615	620	865	1190	1510	1020	905	1060	1025	1095	590	
H max [m]	1715	1505	1015	1010	890	865	1255	1515	1610	1580	1060	1080	1115	1200	1135	
Erkundungsstollen / Cunicolo esplorativo																
L [m]	2845	1089	296	1035	925	880	1845	990	860	940	921	75	346	390	1540	14977
Typ / Tipo	Sondereingriffe / Interventi particolari (m)															Ltot(m)
1	12	0	18	90	12	36	0	36	36	18	12	12	12	12	0	306
2	12	0	24	36	12	0	12	0	18	0	0	12	0	0	0	126
3	-	-	-	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	50
Haupttunnel Ost / Galleria di linea EST																
L [m]	2812	1089	296	1035	925	880	1845	990	860	940	432					12104
Typ / Tipo	Sondereingriffe / Interventi particolari (m)															Ltot(m)
1	12	0	18	90	12	36	0	36	36	18	12					270
2	12	0	24	36	12	0	12	0	18	0	0					114
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					0
Haupttunnel West / Galleria di linea OVEST																
L [m]	2814	1089	296	1035	925	880	1845	990	860	940	433					12107
Typ / Tipo	Sondereingriffe / Interventi particolari (m)															Ltot(m)
1	12	0	18	90	12	36	0	36	36	18	12					270
2	12	0	24	36	12	0	12	0	18	0	0					114
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					0

Tabella 11: Anwendungsstrecken der Sondereingriffe an der nördlichen Strecke des Erkundungsstollen und der Haupttunnels.

Tabella 11: Tratte di applicazione degli interventi particolari nella tratta a nord di cunicolo esplorativo e gallerie di linea.