



Mit Beteiligung der Europäischen Union aus dem Haushalt der Transeuropäischen Verkehrsnetze finanziertes Vorhaben  
Opera finanziata con la partecipazione dell'Unione Europea attraverso il bilancio delle reti di trasporto transeuropee



Ausbau Eisenbahnachse München-Verona  
**BRENNER BASISTUNNEL**  
Ausführungsplanung

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

**D0700: Baulos Mauls 2-3**

**D0700: Lotto Mules 2-3**

**Projekteinheit**

**WBS**

Gesamtbauwerke

Opere generali

**Dokumentenart**

**Tipo Documento**

Technischer Bericht

Relazione tecnica

**Titel**

**Titolo**

Technische Vertragsbedingungen  
Anlage H: Besondere Maßnahme zur  
Verbesserung und Abdichtung des Gebirges

Disposizioni tecniche di contratto  
Allegato H: Interventi particolari di consolidamento  
ed impermeabilizzazione dell'ammasso roccioso



**Raggruppamento Temporaneo di Imprese 4P**  
c/o Pro Iter S.r.l., Via G.B. Sammartini 5, 20125 Milano, Tel.: +39 026787911, Fax: +39 0287152612

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

*Mandataria*



*Mandante*



*Mandante*



*Mandante*



*Fachplaner / il progettista specialista*  
Ing. Davide Merlini  
Ord. Ingg. Como N° 2354 A

Datum / Data

Name / Nome

Gesellschaft / Società

Bearbeitet / Elaborato

30.01.2015

M. Tanzini

Pini Swiss

Geprüft / Verificato

30.01.2015

D. Merlini

Pini Swiss



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

DT

990

KTB

D0700

11165

21

## Bearbeitungsstand Stato di elaborazione

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

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG</b>	
1	GENERALITA' .....	5
<b>1.1</b>	<b>GEOMECHANISCHE PROGNOSEPROFILE</b>	
1.1	PROFILI GEOMECCANICI E PROGETTUALI DI PREVISIONE .....	5
<b>1.2</b>	<b>ARTEN DER BESONDEREN ARTEN ZUR VERBESSERUNG UND ABDICHTUNG</b>	
1.2	tipologie degli interventi particolari di consolidamento ed impermeabilizzazione .....	5
1.2.1	Maßnahme 1	
1.2.1	Intervento tipo 1 .....	5
1.2.2	Maßnahme 2	
1.2.2	Intervento tipo 2 .....	5
1.2.3	Maßnahme 3	
1.2.3	Intervento tipo 3 .....	6
1.2.4	Maßnahme 4	
1.2.4	Intervento tipo 4 .....	6
1.2.5	Anwendungskriterien der verschiedenen Typologien	
1.2.5	Criteri di applicazione delle diverse tipologie.....	7
<b>1.3</b>	<b>BEWEISSICHERUNG UND VORERKUNDUNG IM TUNNEL</b>	
1.3	monitoraggi e prospezioni in galleria .....	7
<b>1.4</b>	<b>PHASEN DER PRÜFUNG</b>	
1.4	Fase della verifica.....	8
<b>1.5</b>	<b>PLANUNGSPROZESS UND BAUPROZESS, ROLLEN UND VERANTWORTUNG</b>	
1.5	PROCESSO PROGETTUALE E COSTRUTTIVO, ruoli e responsabilita' .....	12
<b>2</b>	<b>VERSTÄRKUNG DES KERNS - DER ORTSBRUT MITTELS ZEMENTIERTEN GLASFASERROHREN</b>	
2	RINFORZO DEL NUCLEO – FRONTE CON TUBI IN VETRORESINA CEMENTATI .....	14
<b>2.1</b>	<b>BESCHREIBUNG DES EINGRIFFES</b>	
2.1	Descrizione dell'intervento .....	14
<b>2.2</b>	<b>EIGENSCHAFTEN DER MATERIALIEN</b>	
2.2	Caratteristiche dei materiali.....	14
<b>2.3</b>	<b>AUSFÜHRUNG</b>	
2.3	Modalità esecutive.....	15
<b>2.4</b>	<b>INDIREKTE ÜBERPRÜFUNG DER BEFESTIGUNG DES KERNS - DER ORTSBRUST</b>	
2.4	Verifica indiretta del consolidamento del nucleo – fronte.....	17
<b>3</b>	<b>EINSPRITZEN VON ZEMENTMISCHUNGEN</b>	
3	INIEZIONI DI MISCELE CEMENTIZIE .....	18
<b>3.1</b>	<b>BESCHREIBUNG DES EINGRIFFES</b>	
3.1	Descrizione dell'intervento .....	18
<b>3.2</b>	<b>VORLÄUFIGE VERSUCHE</b>	
3.2	Prove preliminari.....	19
<b>3.3</b>	<b>EIGENSCHAFTEN DER MATERIALIEN</b>	
3.3	Caratteristiche dei materiali.....	20
<b>3.4</b>	<b>AUSFÜHRUNG</b>	

3.4	Modalità esecutive.....	20
<b>3.5</b>	<b>DOKUMENTATION UND KONTROLLEN</b>	
3.5	CONTROLLI E DOCUMENTAZIONE.....	24
3.5.1	Kontrollen und Dokumentation für die Mischungen	
3.5.1	3.5.1    Controlli e documentazione sulle miscele.....	24
3.5.2	Kontrolle und Dokumentation der Bohrlöcher	
3.5.2	3.5.2    Controlli e documentazione sui fori.....	24
<b>3.6</b>	<b>PRÜFVERSUCHE</b>	
3.6	Prove di verifica.....	25
<b>4</b>	<b>INJEKTION VON HARZEN</b>	
4	INIEZIONI DI RESINE.....	26
<b>4.1</b>	<b>BESCHREIBUNG DES EINGRIFFES</b>	
4.1	Descrizione dell'intervento.....	26
<b>4.2</b>	<b>EIGENSCHAFTEN DER MATERIALIEN</b>	
4.2	Caratteristiche materiali.....	27
<b>4.3</b>	<b>AUSFÜHRUNG</b>	
4.3	Modalità esecutive.....	28
<b>4.4</b>	<b>PRÜFVERSUCHE</b>	
4.4	Prove di verifica.....	28
<b>5</b>	<b>DRÄNAGEN</b>	
5	DRENAGGI.....	30
<b>5.1</b>	<b>BESCHREIBUNG DES EINGRIFFES UND SEINES ZIELS</b>	
5.1	Descrizione dell'intervento e sue finalità.....	30
<b>5.2</b>	<b>AUSFÜHRUNG</b>	
5.2.1	Bohrung und Installierung der Dränagerohre	
5.2	5.2    Modalità esecutive.....	30
5.2.1	5.2.1    Perforazione e installazione dei tubi drenanti.....	30
5.2.2	Ummantelung des geschlitzten Abschnittes	
5.2.2	5.2.2    Rivestimento tratto finestrato.....	32
5.2.3	Spülung und Wartung der Dränagen	
5.2.3	5.2.3    Lavaggio e manutenzione dei dreni.....	32
5.2.4	Dokumentation und Kontrollen	
5.2.4	5.2.4    Documentazione e controlli.....	33
<b>6</b>	<b>VERZEICHNISSE</b>	
6	Elenchi.....	35
<b>6.1</b>	<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b>	
6.1	ELENCO DELLE ILLUSTRAZIONI.....	35
<b>6.2</b>	<b>ANLAGENVERZEICHNIS</b>	
6.2	Elenco Appendici.....	36
<b>6.3</b>	<b>PROJEKTSPEZIFISCHE GRUNDLAGEN</b>	
6.3	Documenti di riferimento.....	36
6.3.1	Eingangsdokumente	
6.3.1	6.3.1    Documenti in ingresso.....	36

6.3.1.1	Ausführungsprojekt Baulos Muls 2-3	
6.3.1.1	Progetto Esecutivo Lotto Muls 2-3 .....	36
6.3.2	Bibliografie	
6.3.2	Bibliografia .....	37
6.4	<b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS</b>	
6.4	Elenco delle abbreviazioni.....	38

# 1 EINLEITUNG

## 1.1 GEOMECHANISCHE PROGNOSEPROFILE

Die vorliegenden Vertragsbedingungen analysieren im Detail die unterschiedlichen Maßnahmen zur Verbesserung und Abdichtung, die von der Ausführungsplanung erstellt wurden. Diese gelten sei es für den bergmännischen Vortrieb als auch für dem TBM-Vortrieb und werden in folgenden Abschnitten angewandt, die in den geomechanischen Prognoseprofilen angegeben sind: [2], [3], [4], [5], [6], [7] e [8].

Die ersten drei Längsschnitte ([2], [3], [4]) beziehen sich auf den Mittelstollen, die nächsten beiden auf die Weströhre des Bahntunnels ([5], [6]), während sich die beiden übrigen auf die Oströhre des Bahntunnels ([7], [8]) beziehen.

Diese felsmechanischen Prognoseprofile geben eine Zusammenfassung der geologischen und felsmechanischen Studien wieder besonders im Hinblick auf die Lithologie, die felsmechanischen Eigenschaften (physikalische Eigenschaften, monoaxiale Druckfestigkeit, Scherparameter des Bruchkriteriums nach Hoek und Brown, Indexparameter (RMR und GSI) und Cerchiar Abrasivitätsindex) sowie auf die potenziellen Risikosituationen, die vorgesehenen Ausbruchquerschnitte im Verhältnis zu den unterschiedlichen Abschnitten und Arten des Innenausbaus.

In jedem Dokument sind für jeden Abschnitt mit homogenen felsmechanischem Verhalten die Gebirgsverhaltensklasse am Ausbruch (Klasse A: Kern - Ortsbrust stabil; Klasse B: Kern - Ortsbrust kurzzeitig stabil; Klasse C: Kern - Ortsbrust nicht stabil), nach dem Ansatz ADECO-RS.

Schließlich, werden an jedem Schnitt an den kritischsten Abschnitten, aufgrund der Entwicklung der Verformung und der Prognose des Gebirgsverhaltens beim Ausbruch vier verschiedene besondere Maßnahmen für die Verbesserung und die Abdichtung angegeben (Zeile 32 in jedem felsmechanischem Prognoseprofil).

## 1.2 ARTEN DER BESONDEREN ARTEN ZUR VERBESSERUNG UND ABDICHTUNG

### 1.2.1 Maßnahme 1

Die erste Art der Verbesserung, nach vorheriger Ausführung der Dränagen im Vortrieb, beruht auf die Verwendung von Bewehrungen aus glasfaserverstärktem Kunststoff, die in Bohrungen eingefügt werden und sofort durch Zementmörtel zementiert werden (man siehe graphische Unterlagen [9] und [17]). Der Eingriff ermöglicht eine deutliche Steigerung der Scher- und Verformungsparameter des Gebirges am Kern bzw. Ortsbrust des Tunnels und verringert somit drastisch die Extrusionsphänomene und Instabilität.

### 1.2.2 Maßnahme 2

Die zweite Maßnahme ([10], [18]) sieht vor, zuerst Dränagen im Vortrieb auszuführen und dann mittels traditionellen Injektionen kegelstumpfförmige Schirme aus befestigtem Gebirge auszuführen. Dafür wird der Vortrieb durch die

# 1 GENERALITA'

## 1.1 PROFILI GEOMECCANICI E PROGETTUALI DI PREVISIONE

Le presenti Disposizioni analizzano in dettaglio le diverse tipologie di interventi particolari di consolidamento ed impermeabilizzazione, messi a punto dalla progettazione esecutiva, sia per scavi in tradizionale sia per gli scavi meccanizzati, ed indicati, per quanto concerne le tratte di applicazione previste, nei profili longitudinali geomeccanici e progettuali di previsione: [2], [3], [4], [5], [6], [7] e [8].

I primi 3 profili longitudinali ([2], [3], [4]) si riferiscono al Cunicolo Esplorativo, i successivi 2 alla canna Ovest della galleria ferroviaria ([5], [6]), mentre i restanti due alla canna Est della galleria ferroviaria ([7], [8]).

Tali profili geomeccanici e progettuali riportano la sintesi degli studi geologici e geomeccanici condotti con particolare riferimento alla litologia, alle proprietà geomeccaniche (proprietà fisiche, resistenza a compressione monoassiale, parametri di resistenza relativi al criterio di rottura di Hoek e Brown, parametri indice (RMR e GSI) e indice di abrasività Cerchiar), alle situazioni di rischio potenziale, alle sezioni di scavo previste per le varie tratte e alle tipologie dei rivestimenti definitivi.

In ciascun elaborato è, inoltre, riportata, per ogni tratta a comportamento geomeccanico omogeneo, la classe di comportamento dell'ammasso roccioso allo scavo (classe A: nucleo - fronte stabile; classe B: nucleo - fronte stabile a breve termine; classe C: nucleo - fronte instabile), sulla base dell'approccio ADECO-RS.

Infine, su ogni profilo, sulla base della valutazione dell'evoluzione della risposta deformativa, e della previsione del comportamento dell'ammasso roccioso allo scavo sono stati indicati, nelle tratte più critiche, quattro differenti tipi di interventi particolari di consolidamento e impermeabilizzazione (riportati nella riga 32 di ciascun profilo geomeccanico e progettuale di previsione).

## 1.2 TIPOLOGIE DEGLI INTERVENTI PARTICOLARI DI CONSOLIDAMENTO ED IMPERMEABILIZZAZIONE

### 1.2.1 Intervento tipo 1

La prima tipologia di consolidamento prevista, previa l'esecuzione di drenaggi in avanzamento, è basata sull'utilizzo di armature di vetroresina inserite in opportune perforazioni e immediatamente cementate con malta cementizia (si veda gli elaborati grafici [9] e [17]). L'intervento consente di ottenere un significativo incremento delle caratteristiche di resistenza e deformabilità dell'ammasso roccioso in corrispondenza del nucleo - fronte della galleria e quindi di ridurre drasticamente i fenomeni estrusivi e di instabilità.

### 1.2.2 Intervento tipo 2

L'intervento tipo 2 ([10], [18]) prevede, previa l'esecuzione di drenaggi in avanzamento, la realizzazione di ombrelli tronco - conici di ammasso consolidato mediante iniezioni tradizionali; a questo riguardo si alterna allo scavo d'avanzamento una fase di

Verbesserungsarbeiten unterbrochen. Man injiziert dem Gebirge auf einem mehr oder weniger dicken Streifen am Umfang des zukünftigen Ausbruchs sowie am Kern / an der Ortsbrust eine Zementmischung mit mittlerem-hohem Druck. Die Injektionen erfolgen durch Bohrlöcher, die vorher durch das Schild der TBM durchgeführt und mit eigens dafür bestimmten Rohren mit Ventilen (Manschettenrohren) ausgestattet worden sind. An den Manschettenrohren werden pro Meter Multipacker nach dem MPSP-System eingebaut, um die einzelnen behandelten Abschnitte zu isolieren. Dadurch wird ein Tragebogen und ein Kern aus befestigtem Gebirge von geringer Durchlässigkeit und besseren felsmechanischen Eigenschaften als die des natürlichen Gebirges gebildet, was den Verfall der Begrenzungsspannung limitiert und zugleich die Spannungen am Umriss des Hohlraums leichter kanalisiert und zur Bildung des künstlichen Bogeneffekts nahe am Ausbruchsschnitt führt.

### 1.2.3 Maßnahme 3

Die dritte Maßnahme (Projektunterlagen: [11], [12], [13], [14], [15]) beruht auf folgende Hauptphasen: (1) Erkennen der kritischen Zone und Vortrieb der TBM bis ca. 30 m vor die kritische Zone; (2) Ausbruch eines ersten Bypass, parallel zum Erkundungsstollen bis an die Grenze der ausgemachten kritischen Zone; (3) Ausbruch des Bypass durch die kritische Zone mit den folgenden Maßnahmen, die man auf jeden 6 Metern Vortrieb wiederholen muss: (a) Ausführung von mindestens 5 Dränbohrungen von 30 m Länge auf je 12 m Vortrieb; (b) Ausführung von 28 Injektionsbohrungen von 12 m Länge und Einbringung der Rohre aus Glasfaserkunststoff; (c) Expansion der Bohrlochpacker mittels Injektion mit Doppelpacker, vom Bohrlochende aus startend und Spülen des Rohrs; (d) nach mindestens 48 Stunden, Injektion mit Doppelpacker durch die freien Ventile, vom Bohrlochende zum Bohrlochkopf hin; (4) Verfestigung zum Erkundungsstollen hin: (a) Ausführung vom Bypass aus von Dränbohrungen von 30 m Länge und 6 m Abstand; (b) Verfestigungseingriffe zum Erkundungsstollen hin. Ausführung von 10 Injektionsbohrungen mit Längsschritt von 1.5 m und 20 m Länge und Einbau der Rohre aus Glasfaserkunststoff; (c) Expansion der Bohrlochpacker mittels Injektion mit Doppelpacker, vom Bohrlochende aus startend und Spülen des Rohrs; (d) nach mindestens 48 Stunden, Injektion mit Doppelpacker durch die freien Ventile, vom Bohrlochende zum Bohrlochkopf hin; (5) Fortführung des Ausbruchs des Erkundungsstollens; (6) Bau des Bypass parallel zum Erkundungsstollen bis an die Grenze der ausgemachten kritischen Zone; (7) Ausführung der Injektionen für die Verfestigung und Abdichtung vom Bypass aus zu den Haupttunneln hin gleichzeitig mit dem Ausbruch des Erkundungsstollens mit folgender Abfolge: (a) Ausführung 1 Dränbohrung von 40 m Länge zum Haupttunnel hin mit 6 m Abstand; (b) Verfestigungseingriffe zu den Haupttunneln hin. Ausführung von 13 Injektionsbohrungen mit Längsschritt von 1.5 m und 30 m Länge; (c) Expansion der Bohrlochpacker mittels Injektion mit Doppelpacker, vom Bohrlochende aus startend und Spülen des Rohrs; (d) nach mindestens 48 Stunden, Injektion mit Doppelpacker durch die freien Ventile, vom Bohrlochende zum Bohrlochkopf hin.

### 1.2.4 Maßnahme 4

Die vierte Maßnahme ([16]) sieht die Ausführung einer radialen Abdichtung durch den Innenausbau vor und zwar mittels der Injektion von Polyurethanharz oder von zwei Komponenten, nicht umweltgefährdenden Organomineralharzen. Die

consolidamento, durante la quale l'ammasso roccioso in una fascia più o meno spessa al contorno del futuro scavo, unitamente a quello costituente il nucleo – fronte, viene iniettato con miscele cementizie a medio – alte pressioni. Le iniezioni si operano da fori opportunamente realizzati, per esempio, attraverso lo scudo della TBM e appositamente allestiti con tubi valvolati (manchettes). Sui tubi valvolati, ogni metro sono montati sacchi otturatori tipo MPSP, per isolare le sezioni di trattamento. Si realizza in tal modo un arco portante e un nucleo di ammasso roccioso consolidato e di ridotta permeabilità, con caratteristiche geomeccaniche migliori di quelle naturali, che limita il decadimento della tensione di confinamento e al contempo facilita la canalizzazione delle tensioni al contorno del cavo e la formazione dell'effetto arco artificiale in posizione prossima al profilo dello scavo.

### 1.2.3 Intervento tipo 3

La terza tipologia (elaborati progettuali: [11], [12], [13], [14], [15]) è basata sulle seguenti principali fasi: (1) individuazione della zona critica e avanzamento della TBM fino a circa 30 m dalla zona critica; (2) scavo di un primo by-pass parallelo al cunicolo esplorativo fino al limite della zona critica individuata; (3) scavo del by-pass attraverso la zona critica con le seguenti modalità da ripetere ogni 6 m di avanzamento: (a) esecuzione di almeno 5 fori di drenaggio della lunghezza di 30 m ogni 12 m di avanzamento; (b) esecuzione di 28 fori di iniezione della lunghezza di 12 m e installazione di tubi in vetroresina; (c) espansione dei sacchi otturatori mediante iniezione con doppio otturatore partendo dal fondo e lavaggio del tubo; (d) dopo almeno 48 ore, iniezione con doppio otturatore delle valvole libere, dal fondo verso boccaforo; (4) consolidamento verso il cunicolo esplorativo: (a) esecuzione dal by-pass di fori di drenaggio della lunghezza di 30 m ad intervallo di 6 m; (b) interventi di consolidamento verso il cunicolo esplorativo. Esecuzione di 10 fori di iniezione a passo longitudinale di 1.5 m della lunghezza di 20 m e installazione dei tubi in vetroresina; (c) espansione dei sacchi otturatori mediante iniezione con doppio otturatore partendo dal fondo e lavaggio del tubo; (d) dopo almeno 48 ore, iniezione con doppio otturatore delle valvole libere, dal fondo verso boccaforo; (5) ripresa dello scavo del cunicolo esplorativo; (6) costruzione del by-pass parallelo allo scavo del cunicolo esplorativo fino al limite della zona critica individuata; (7) esecuzione delle iniezioni di consolidamento e impermeabilizzazione dal by-pass verso le gallerie di linea contemporaneamente allo scavo del cunicolo esplorativo con la seguente sequenza: (a) esecuzione di 1 foro di drenaggio della lunghezza di 40 m verso la galleria di linea ad intervallo di 6 m; (b) interventi di consolidamento verso le gallerie di linea. Esecuzione di 13 fori di iniezione a passo longitudinale di 1.5 m e della lunghezza di 30 m; (c) espansione dei sacchi otturatori mediante iniezioni con doppio otturatore partendo dal fondo e lavaggio del foro; (d) dopo almeno 48 ore, iniezione con doppio otturatore delle valvole libere, dal fondo verso boccaforo.

### 1.2.4 Intervento tipo 4

L'intervento tipo 4 ([16]) prevede l'esecuzione di un intervento di impermeabilizzazione radiale attraverso il rivestimento definitivo, mediante l'iniezione di resine poliuretaniche o organominerali bicomponenti non inquinanti. , L'esecuzione

Ausführung des Eingriffs ist in primäre Bohrlöcher und in sekundäre Bohrlöcher von geringerer Länge aufgeteilt. Der Legeabstand der strahlenförmig angeordneten Bohrlöcher ist 1,5 m.

### 1.2.5 Anwendungskriterien der verschiedenen Typologien

Bezug nehmend auf die oben genannten 7 felsmechanischen Längsprofile und Prognoseprofile ([2], [3], [4], [5], [6], [7] e [8]) wurde für den TBM-Vortrieb Richtung Norden (Erkundungsstollen und Haupttunnel) die erste Verbesserungsart nur an einigen besonders kritischen Abschnitten dem Gebirgsverhalten des Typs B des Ansatzes ADECO-RS (Kern-Ortsbrust kurzzeitig stabil) angewandt, die zweite Verbesserungs- und Abdichtungsart wurde nur an einigen besonders kritischen Schnitten dem Gebirgsverhalten des Typs C (instabiler Kern-Ortsbrust).

Die dritte Maßnahme ist viel komplizierter und wurde geplant, um so weit wie möglich die hydrogeologische Belastung bei Vorhandensein von Grundwasser bei der Untertunnelung des Pfitscher Tales einzugrenzen.

Die vierte Maßnahme, die radiale Abdichtung, wird an besonders kritischen Stellen, was die Hydrogeologie betrifft, durchgeführt, um auf lange Dauer sei es das mögliche Entwässerungssystem des Hohlraums als auch den Innenausbau zu schützen.

### 1.3 BEWEISSICHERUNG UND VORERKUNDUNG IM TUNNEL

Die Verlässlichkeit der Projektprognose und die genauere Identifizierung der effektiven Abschnitte, die die jeweiligen besonderen Maßnahmen zur Verbesserung und Abdichtung brauchen, wird durch passende Untersuchungen und Beweissicherungen während des Vortriebs geprüft.

Die Untersuchungen im Vortrieb und die vorgesehene Überwachung werden in einem eigenen Bericht behandelt, auf den man verweist ([19]); im vorliegenden Bericht werden sie kurz angesprochen, um ihre grundlegende Wichtigkeit hervorzuheben. Diese besteht nicht nur darin, die Abschnitte korrekt zu erkennen, an dem ein sicherer Vortrieb gewisse Verbesserungs- und Abdichtungsmaßnahmen braucht, und diese korrekt zu bemessen, sondern diese Untersuchungen im Vortrieb ermöglichen es auch die geeigneten Materialeigenschaften und Ausführung der Verbesserungsmethoden (Art der Mischung, Injektionskriterien usw.) zu bestimmen.

Die Schild-TBM für den Vortrieb, sei es für den Mittelstollen als auch für die beiden Eisenbahntunnel, wird eigens dafür geplant, vom Fräskopf und vom Schild aus, Untersuchungen im Vortrieb durchzuführen, sowie die notwendigen Maßnahmen für die Verbesserung des Kerns - der Ortsbrust durchzuführen und zwar durch Glasfaserrohre, durch kegelstumpfförmige Schirme, bei denen die Bodenabschnitte durch traditionelle Injektionen verfestigt sind.

Die von der Planung vorgesehenen Untersuchungen im Vortrieb umfassen Zerstörungsbohrungen im Vortrieb und kontinuierlicher Aufzeichnung der Bohrparameter (Dactest Technologie, automatischer, kontinuierlicher Log); TRT Seismik (Tunnel Reflection Tomography), die die Variationen im

dell'intervento è suddiviso in fori primari e in fori secondari di lunghezza ridotta, il passo longitudinale delle raggiere di fori è di 1.5 m.

### 1.2.5 Criteri di applicazione delle diverse tipologie

Con riferimento ai citati 7 profili longitudinali geomeccanici e progettuali di previsione ([2], [3], [4], [5], [6], [7] e [8]), per lo scavo meccanizzato con TBM verso nord (Cunicolo Esplorativo e Gallerie di Linea) la prima tipologia di consolidamento è stata associata, solo in alcune tratte particolarmente critiche, al comportamento tipo B dell'approccio ADECO-RS (nucleo - fronte stabile a breve termine), la seconda tipologia di consolidamento ed impermeabilizzazione è stata associata, solo in alcune tratte particolarmente critiche, al comportamento tipo C (nucleo - fronte instabile).

La terza tipologia di intervento, molto più complessa, è stata prevista per limitare i possibili impatti idrogeologici in presenza di acquiferi in corrispondenza del sottoattraversamento della val Vizze.

La quarta tipologia di impermeabilizzazioni radiali sarà eseguita in zone particolarmente critiche dal punto di vista idrogeologico, al fine di salvaguardare nel lungo termine sia il possibile drenaggio operato dal cavo sia le condizioni statiche del rivestimento definitivo.

### 1.3 MONITORAGGI E PROSPEZIONI IN GALLERIA

L'attendibilità della previsione progettuale e l'identificazione più circostanziata delle effettive tratte che necessitano delle diverse tipologie di interventi particolari di consolidamento ed impermeabilizzazioni è verificata e messa a punto mediante opportune indagini e monitoraggi durante l'avanzamento degli scavi.

Le investigazioni in avanzamento e i monitoraggi previsti sono trattati in una apposita relazione alla quale si rimanda ([19]); tali indagini evidenziano l'importanza fondamentale che assolveranno non solo per la corretta individuazione delle tratte nelle quali l'avanzamento in sicurezza degli scavi renderà necessaria l'esecuzione degli interventi di consolidamento ed impermeabilizzazione, correttamente dimensionati, ma anche perché le indagini in avanzamento permetteranno, dove si renderanno necessari gli interventi di consolidamento ed impermeabilizzazione, di mettere a punto le caratteristiche dei materiali da impiegare e le modalità esecutive (caratteristiche della miscela, criteri di iniezione, etc.).

Le TBM scudate previste per la realizzazione degli scavi, sia del cunicolo centrale sia delle due gallerie ferroviarie, dovranno essere appositamente progettate per consentire, sia dalla testa fresante sia dallo scudo, l'esecuzione delle indagini in avanzamento e per realizzare i necessari schemi per il consolidamento del nucleo - fronte, mediante tubi in vetroresina, e gli ombrelli tronco - conici di terreno consolidato mediante iniezioni tradizionali.

Le indagini in avanzamento previste dalla progettazione esecutiva, comprendono sondaggi in avanzamento realizzati con perforazione a distruzione del nucleo e con registrazione continua dei parametri di perforazione (tecnologia Dactest; diagrafia automatica continua); indagini sismiche TRT (Tunnel



Kluftzustand des Gebirges, Störungen oder andere Unregelmäßigkeiten innerhalb des Gebirges misst; geophysikalische Untersuchungen mit der Bore-Tunnelling Electrical Ahead Monitoring (BEAM) - Methode. Diese basiert auf die induzierte Polarisation, wobei der Kopf der TBM Strom induziert. Diese Untersuchungen erlauben es, den Kluftzustand des Gebirges sowie durch Grundwasser gesättigte Zonen festzustellen.

Außerdem ist die Durchführung mit kontinuierlicher Bohrkernentnahme vorgesehen mit Versuchen vor Ort zur hydraulischen (Lugeon-Versuch) und felsmechanischen (Bohrlochaufweitungsversuch) Charakterisierung der Gebirge mit der Möglichkeit der Entnahme von ungestörten Probekörpern, die dann im Labor auf Widerstand und Verformbarkeit untersucht werden.

Durch die Vorauserkundungen und die vorgesehene Überwachung im Vortrieb ist es möglich jene Gebirgszonen auszumachen, die Verbesserungs- und Abdichtungsmaßnahmen notwendig haben, und in jenen Abschnitten alle Informationen zur de Eigenschaften des Gebirges zu ermitteln, die notwendig sind, um die Ausführung der Injektionen zu planen, wie in der Illustrazione 1 zusammengefasst wird.

Reflection Tomography) che consentono di individuare la variazione dello stato di fratturazione dell'ammasso roccioso, faglie o altre irregolarità dell'ammasso roccioso; indagini geofisiche con metodo Bore-Tunnelling Electrical Ahead Monitoring (BEAM), basato sulla polarizzazione indotta nel terreno utilizzando la testa della TBM come induttore, indagini che consentono di ricavare lo stato di fratturazione dell'ammasso roccioso nonché la presenza di zone sature dovute alla presenza di acquiferi.

E' inoltre prevista l'eventuale esecuzione di sondaggi a carotaggio continuo con prove in sito per la caratterizzazione idraulica (prove Lugeon) e geomeccanica (prove dilatometriche) degli ammassi rocciosi con possibile prelievo di campioni indisturbati da sottoporre a prove di laboratorio per determinarne la resistenza e la deformabilità.

Con le prospezioni e i monitoraggi previsti in avanzamento è possibile individuare le zone di ammasso che necessitano di interventi di consolidamento e impermeabilizzazione e, in tali tratte, di avere tutte le caratteristiche degli ammassi rocciosi necessarie per la messa a punto delle fasi esecutive delle iniezioni, come riepilogato sinteticamente nell'Illustrazione 1.

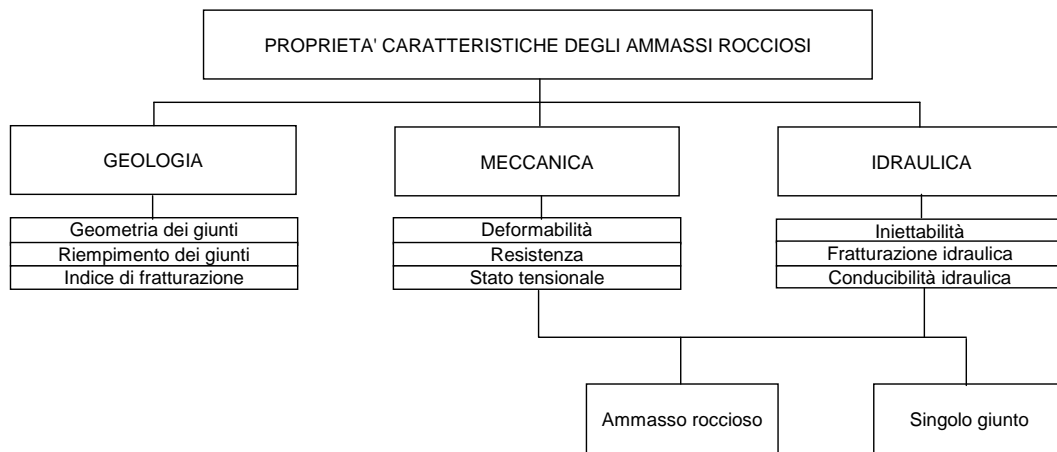


Abbildung 1 *Eigenschaften des Gebirges, die notwendig sind die Verfahren und Ausführung der Injektionen zu bestimmen (Quelle [25]).*

Illustrazione 1 *Proprietà dell'ammasso roccioso necessarie per la definizione delle modalità operative di iniezione (fonte [25]).*

**1.4 PHASEN DER PRÜFUNG**

Nach Ausführung der besonderen Maßnahmen für die Verbesserung und Verdichtung müssen Überprüfungen durchgeführt werden, um das effektive Gelingen des Injektionseingriffes zu verifizieren. Diese Kontrollphase wird in den nachfolgenden Kapiteln erläutert und zwar für jede der vier Arten der Maßnahmen für die Verbesserung und/ oder Verdichtung.

Man nimmt aber vorweg, dass man sich, was die Prüfungsphase der Verbesserungsmaßnahmen betrifft, auf die jüngsten Studien, Erfahrungen und Publikationen bezieht, einschließlich der jüngsten Erfahrungen von Barton. Barton (2002, 2006) hat mit zahlreichen "Fallstudien" gezeigt, dass es für die Gebirge verlässliche Korrelationen zwischen den Kompressionswellen, der Durchlässigkeit und dem Verformungsmodul des Gebirges

**1.4 FASE DELLA VERIFICA**

Una volta realizzati gli interventi particolari di consolidamento ed impermeabilizzazione dovranno essere condotte delle prove per verificare l'effettiva buona riuscita dell'intervento di iniezione. Tale fase di controllo verrà discussa ed esposta nei successivi capitoli, relativamente alle quattro diverse tipologie di interventi particolari di consolidamento e/o impermeabilizzazione.

Si anticipa che, relativamente alla fase di verifica degli interventi di consolidamento, si farà riferimento ai più recenti studi, esperienze e pubblicazioni di letteratura incluse le recenti esperienze pubblicate in letteratura da Barton. Barton (2002, 2006) ha infatti mostrato con numerosissime "case histories", l'esistenza, per gli ammassi rocciosi, di attendibili correlazioni fra la velocità delle onde di compressione, la permeabilità ed il

gibt und dass es aufgrund der Klassifikationssysteme (Q, RMR, GSI, usw.) möglich ist, qualitativ die Zunahme der geomechanischen Eigenschaften (Kohäsion und Reibungswinkel) des betroffenen Gebirges durch die Verbesserungsinjektionen zu bewerten.

Die Illustrazione 2 zeigt z. B. eine Korrelation von Barton (2002) zwischen der Durchlässigkeit, in Lugeon Einheiten, und dem Wert des Index  $Q_c$ , den man durch den Index  $Q$ , normalisiert auf die monoaxiale Druckfestigkeit erhält.

modulo di deformabilità dell'ammasso roccioso e come sia possibile sulla base dei sistemi di classificazione (Q, RMR, GSI, etc.), valutare qualitativamente l'incremento delle caratteristiche geomeccaniche (coesione e angolo di resistenza al taglio) dell'ammasso roccioso interessato dalle iniezioni di consolidamento.

Nell'Illustrazione 2 è mostrata, ad esempio, una correlazione indicata da Barton (2002) fra il valore della permeabilità espressa in unità Lugeon e il valore dell'indice  $Q_c$  ottenuto dall'indice  $Q$  normalizzato alla resistenza a compressione monoassiale.

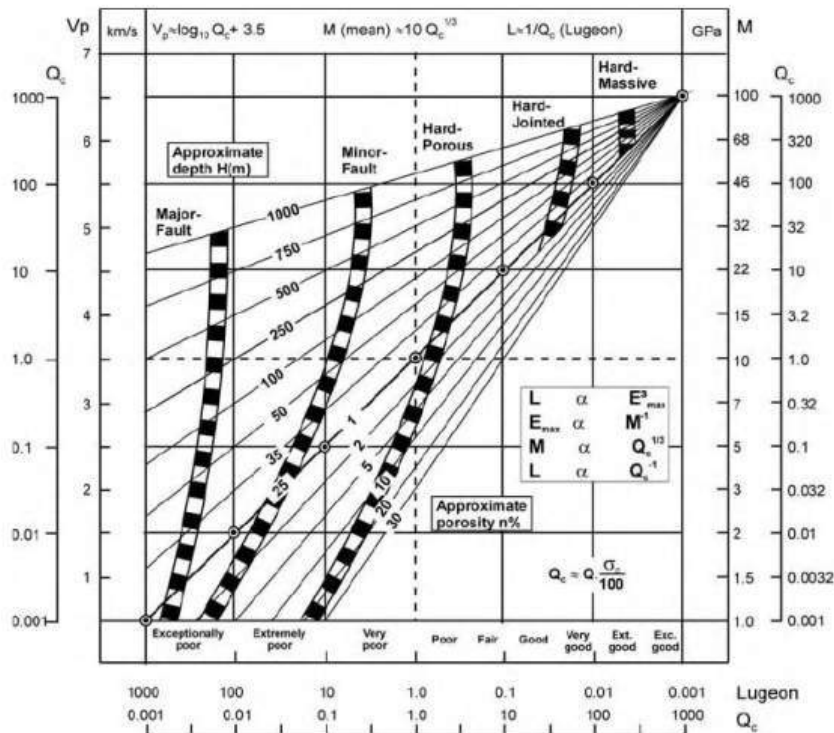
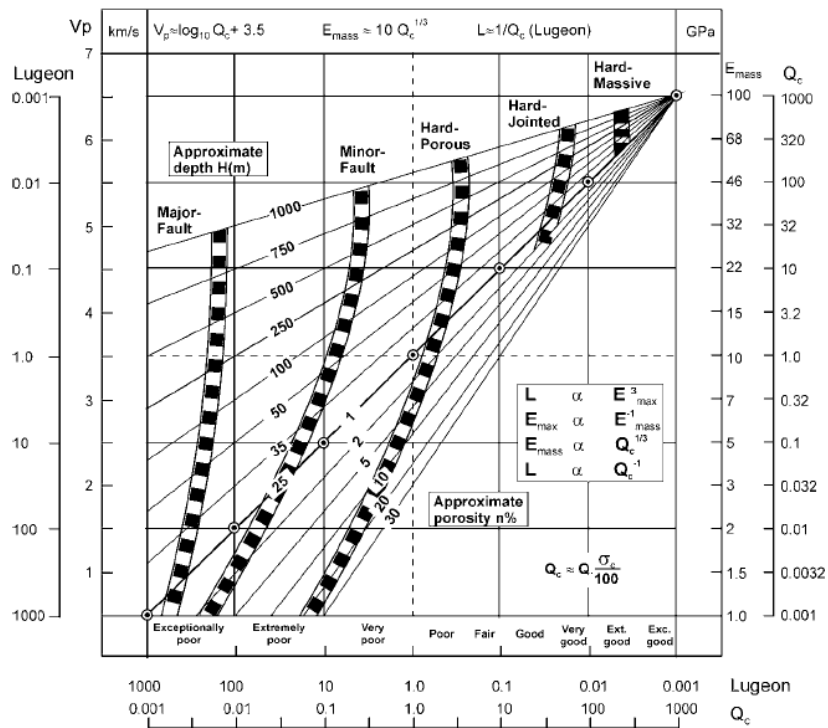


Abbildung 2 Diagramme des Qualitätsindex  $Q$  mit den dazugehörigen Werten  $Q_c$ ,  $V_p$ ,  $E_{mass}$  und der Durchlässigkeitswerte in Lugeon Einheiten.

Illustrazione 2 Diagrammi dell'indice di qualità  $Q$  con i relativi valori di  $Q_c$ ,  $V_p$ ,  $E_{mass}$  e dei valori di permeabilità espressi in unità Lugeon.

Die Illustration 3 zeigt die Relation zwischen  $V_p$  und  $Q_c$  im Verhältnis zur berücksichtigten Tiefe  $H$  und der Porosität  $n$  (man bemerke, dass die Diagonale in der Mitte des Diagramms bei  $H=25$  und  $n=1\%$  der Relation  $V_p = \log Q + 3.5$  entspricht) und diese erlaubt es, das Verformungsmodul des Gebirges zu schätzen.

L'illustrazione 3 pone in relazione il valore di  $V_p$  e di  $Q_c$ , in ragione della profondità  $H$  considerata e della porosità  $n$  (si noti che la diagonale posta al centro del diagramma per  $H=25$  m e  $n=1\%$  corrisponde alla relazione  $V_p = \log Q + 3.5$ ) e consente anche la stima del modulo di deformazione dell'ammasso roccioso.

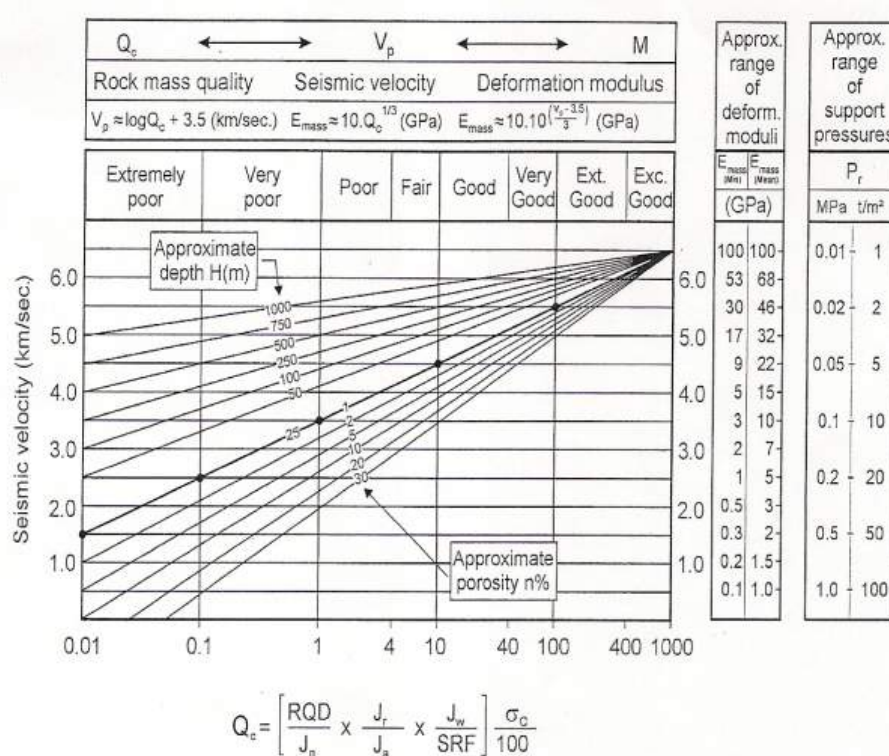


Abbildung 3 Korrelation zwischen  $V_p$ ,  $Q_c$  und des statischen Verformungsmodul  $E_{mass}$  des Gebirges in Funktion der Tiefe und Porosität.

Illustrazione 3 Correlazione fra il valore di  $V_p$ ,  $Q_c$  e del modulo di deformazione statica  $E_{mass}$  dell'ammasso roccioso in funzione della profondità e della porosità.

Barton zeigt, wie der Effekt von Injektionen im Gebirge effektiv verschiedene geomechanischen Eigenschaften des Gebirges verbessern kann; die seismische Geschwindigkeit erhöht sich und daraus folgt eine Verringerung sei es des Verformungsmoduls bei kleinen Verformungen als auch von des operativen Verformungsmoduls, das während des Tunnelausbruchs mobilisiert wird. Barton hat gezeigt, wie die Parameter, die den Index  $Q$  definieren, die Grundlage sind, um die möglichen Auswirkungen der Injektionen auf das Gebirge "quantitativ" zu verstehen. Dafür führt Barton ein erklärendes Beispiel an, das seinen "Fallstudien" entnommen ist. Barton nimmt an, dass die Injektionen eines Eingriffes zur Vorverbesserung eines Gebirges für ein gewisses Gebirge die folgenden, vorsichtigen Erhöhungen mit sich bringen: RQD erhöht sich von 30% zu 50%;  $J_n$  vermindert sich, z. B. von 9 auf 6,  $J_r$  erhöht sich, z. B. von 1 auf 2 (aufgrund der Verfüllung und Verstopfung der Klüfte),  $J_a$  verringert sich, z. B. von 2 auf 1 (aufgrund der Verfüllung und Verstopfung der Klüfte),  $J_w$  erhöht sich, z. B. von 0,5 auf 1, während SRF könnte in gestörten Gesteinen mit wenig Ton, oder falls man sich in geringen Tiefen (oberflächliche Tunnels) befindet, steigern; unter Berücksichtigung dieser Hypothesen zeit die folgende Illustration 4 die Steigerung der Eigenschaften vor und nach der Injektion.

Barton mostra come l'effetto di iniezioni eseguite in corrispondenza di ammassi rocciosi possa effettivamente migliorare diverse proprietà geomeccaniche dell'ammasso roccioso a cominciare dall'incremento della velocità sismica e conseguente diminuzione sia del modulo di deformabilità a piccole deformazioni sia di quello operativo mobilizzato durante lo scavo della galleria. Barton ha mostrato come i parametri che definiscono l'indice  $Q$  costituiscono le basi per una compressione "quantitativa" dei potenziali effetti delle iniezioni su un ammasso roccioso. A questo riguardo Barton porta un esempio esplicativo ripreso dalle sue "case histories". Barton assume che per un determinato ammasso roccioso le iniezioni di un intervento di preconsolidamento dell'ammasso roccioso comporti, cautelativamente, i seguenti incrementi: RQD aumenti dal 30% al 50%,  $J_n$  si riduca, ad esempio, da 9 a 6,  $J_r$  aumenti, ad esempio, da 1 a 2 (a causa del riempimento e intasamento delle fratture),  $J_a$  si riduca, ad esempio, da 2 a 1 (a causa del riempimento e intasamento delle fratture),  $J_w$  aumenti, ad esempio, da 0.5 a 1, mentre SRF potrebbe aumentare in rocce fagliate con poca presenza di argilla o se ci si trova a poca profondità (gallerie superficiali); con tali ipotesi la seguente Illustrazione 4 riporta l'incremento delle proprietà prima e dopo l'iniezione.

Before pre-grouting	After pre-grouting
Q = 0.8 (very poor)	Q = 16.7 (good)
Q <sub>c</sub> = 0.4	Q <sub>c</sub> = 8.3
V <sub>p</sub> = 3.1 km/s	V <sub>p</sub> = 4.4 km/s
E <sub>mass</sub> = 7 GPa	E <sub>mass</sub> = 20 GPa
Sigma <sub>cm</sub> = 9 MPa	Sigma <sub>cm</sub> = 25 MPa
P <sub>r</sub> = 13.6 t/m <sup>2</sup>	P <sub>r</sub> = 4.9 t/m <sup>2</sup>
L = 2.5 Lugeon	L = 0.1 Lugeon
K = 2.5 x 10 <sup>-7</sup> m/s	K = 10 <sup>-8</sup> m/s
Δ = 25 mm	Δ = 1 mm
FC = 14°	FC = 63°
CC = 1.7 MPa	CC = 8.3 MPa
B 1.6m c/c	B 2.4m c/c
S(fr) 10 cm	None

Note: Q<sub>c</sub> = Q<sub>x\_c</sub>/100, and <sub>c</sub> assumed equal to 50 MPa

Abbildung 4 Beispiel der Prüfung der Steigerung der felsmechanischen Eigenschaften nach einem Eingriff mittels Zementinjektionen [22]

Illustrazione 4 Esempio di valutazione dell'incremento delle proprietà geomeccaniche dopo un intervento di iniezioni cementizie [22].

### 1.5 PLANUNGSPROZESS UND BAUPROZESS, ROLLEN UND VERANTWORTUNG

Mit Bezug zur Abbildung 5 fußt der Planungs- und Bauprozess, durch den jene Abschnitte erkannt werden, die aus geologischer, hydrogeologischer und felsmechanischer Sicht eine besondere Verbesserungs- und Abdichtungsmaßnahme benötigen, auf folgende Grundlagen:

- Die systematischen Untersuchungen im Vortrieb erlauben es, die geologischen, hydrogeologischen und felsmechanischen Verhältnisse hinter der Ortsbrust zu ermitteln, wobei eventuelle Schwierigkeiten, kritischen Zonen, Störungszonen, Zonen mit hohem Wasserzufluss, usw., erkannt werden;
- im Falle, dass die systematischen Untersuchungen im Vortrieb kritische geologische, hydrogeologische und felsmechanische Verhältnisse ermitteln, ist die Ausführung punktueller Untersuchungen geplant, wie z. B. die Ausführung von Bohrungen und geomechanischen in-situ Versuchen;
- in diesen kritischen Zonen, aufgrund der planerischen Kriterien der Interpretation der Vorauserkundungen im Tunnel, erlauben es die systematischen und punktuellen Untersuchungen, eine der vier besonderen Maßnahmen zur Verbesserung und Verdichtung des Gebirges zu ergreifen;
- aufgrund der punktuellen Untersuchungen (und der eigens durchgeführten vor Ort-Versuche) kann man außerdem vorläufig die Ausführungsmodalitäten der Injektionen zur Verbesserung und Abdichtung je nach ausgewählter Typologie definieren; diese Ausführungsmodalitäten werden dann auf jedem Fall durch ein Versuchsfeld überprüft;

### 1.5 PROCESSO PROGETTUALE E COSTRUTTIVO, RUOLI E RESPONSABILITA'

Con riferimento all'illustrazione 5, il processo progettuale e costruttivo attraverso il quale si perviene alla individuazione delle tratte che, dal punto di vista geologico, idrogeologico e geomeccanico, necessitano di un intervento particolare di consolidamento e impermeabilizzazione dell'ammasso roccioso è basato sui seguenti punti fondamentali:

- le indagini sistematiche nel corso dell'avanzamento permettono di accertare le condizioni geologiche idrogeologiche e geomeccaniche oltre il fronte di scavo, individuando eventuali difficoltà, zone critiche, zone di faglia, zone con elevati battenti d'acqua, etc.;
- nel caso le indagini sistematiche in avanzamento indichino delle situazioni geologiche idrogeologiche e geomeccaniche critiche, come la presenza di zone di faglia, è prevista l'esecuzione di indagini puntuali quali, ad esempio, l'esecuzione di carotaggi e prove geomeccaniche in sito;
- in tali zone critiche, sulla base dei criteri progettuali di interpretazione delle prospezioni in galleria, le indagini sistematiche e puntuali permettono l'adozione di una delle 4 tipologie di interventi particolari di consolidamento ed impermeabilizzazione dell'ammasso roccioso;
- sulla base delle indagini puntuali (e delle prove in sito appositamente effettuate) è inoltre possibile definire, preliminarmente, le modalità esecutive delle iniezioni di consolidamento ed impermeabilizzazione relative alla tipologia scelta; modalità esecutive che saranno poi comunque verificate mediante un apposito campo prova;

- man fährt schließlich mit der Ausführung der Verbesserungs- und Abdichtungsmaßnahmen fort, nach vorheriger Realisierung eines Versuchsfeldes, mit Kontrollen während der Arbeiten, vor allem was die Eigenschaften der verwendeten Injektionsmischungen betrifft und das verwendete Kriterium der Injektion (für die Zementmischungsinjektionen verwendet man die GIN Methode);
- schließlich, bei Abschluss des Eingriffes werden passende Kontroll- und Validierungsversuche des Eingriffes durchgeführt, um den effektiven Erfolg der Maßnahme in Hinblick auf die Projektziele derselben festzustellen.
- si procede quindi con l'esecuzione dell'intervento di consolidamento ed impermeabilizzazione, previa realizzazione di un campo prove, con dei controlli in corso d'opera relativi soprattutto alle caratteristiche delle miscele di iniezione impiegate e al criterio utilizzato per le iniezioni (per le iniezioni di miscele cementizie si adatterà il metodo GIN);
- infine, al termine dell'intervento, vengono realizzate delle apposite prove di verifica e validazione dell'intervento realizzato consentendo di appurare l'effettivo successo dell'intervento con riferimento agli obiettivi progettuali dello stesso.

Die Abbildung 5 gibt Rollen und Verantwortlichkeiten während des gesamten Prozesses wieder. Wie man sieht, werden die Tätigkeiten hauptsächlich vom Auftragnehmer und unter seiner Verantwortung ausgeführt. Aber aufgrund der Besonderheiten und der kritischen Punkte dieser Eingriffe, ist für eine sichere Ausführung der Ausbrüche der unterschiedlichen Tunnel die Verantwortung des Projektanten des Detailprojekts (Auftragnehmer) und der Bauleitung von grundlegender Wichtigkeit. Dies, um die korrekte Anwendung des Projekts und die Kontrolle der Arbeitsschritte, deren kunstgerechte Ausführung zur effektiven Erreichung der Projektziele grundlegend ist, zu garantieren.

Sempre nell'illustrazione 5 sono riportati i ruoli e le responsabilità durante l'intero processo. Come si può notare le attività sono principalmente realizzate a cura e responsabilità dell'Appaltatore tuttavia, tenendo conto delle particolarità e criticità di tali interventi, per l'avanzamento in sicurezza degli scavi delle diverse gallerie, le responsabilità del Progettista del Progetto di Dettaglio (Appaltatore) e della Direzione Lavori restano, in ogni fase, di fondamentale importanza, rispettivamente, per la corretta applicazione del progetto e per il controllo delle lavorazioni la cui esecuzione a regola d'arte è indispensabile per l'effettivo raggiungimento degli obiettivi previsti dal progetto.

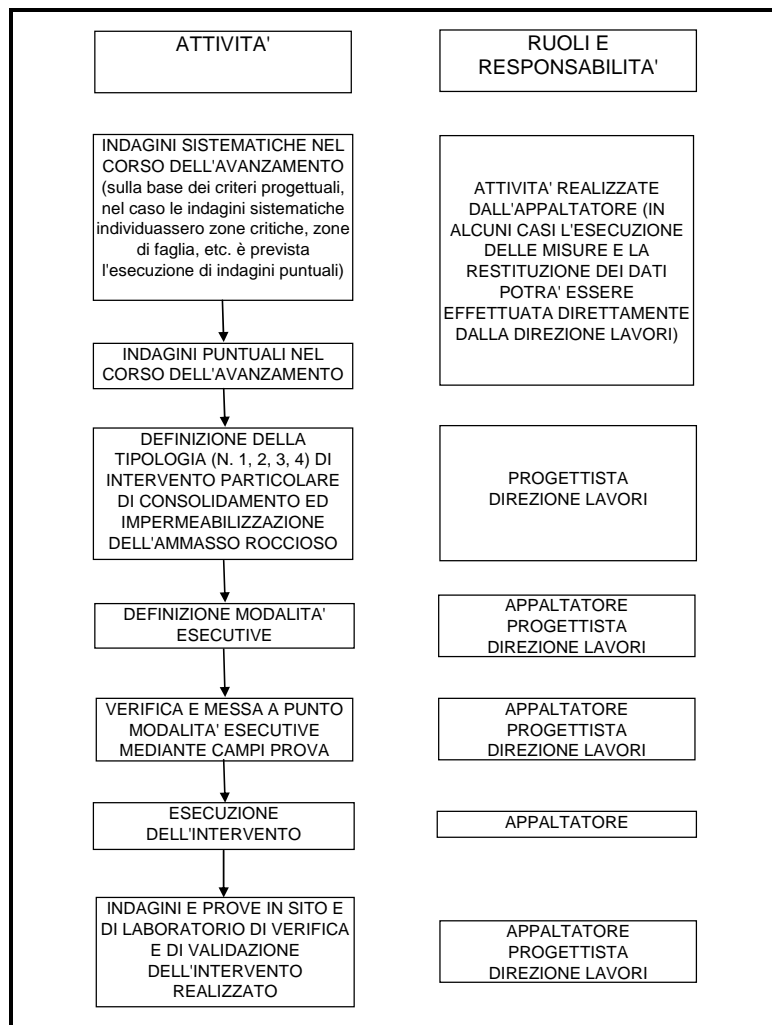


Abbildung 5

Tätigkeiten des Planungs-und Bauprozesses

Illustrazione 5

Attività del processo progettuale e

*im Hinblick auf die Ausführung der besonderen Verbesserungs- und Abdichtungsmaßnahmen des Gebirges.*

*costruttivo relativo all'esecuzione di interventi particolari di consolidamento ed impermeabilizzazione dell'ammasso roccioso.*

## 2 VERSTÄRKUNG DES KERNS - DER ORTSBRUT MITTELS ZEMENTIERTEN GLASFASERROHREN

### 2.1 BESCHREIBUNG DES EINGRIFFES

Der in diesem Kapitel beschriebene Eingriff betrifft nur die Typologie 1 der besonderen Verbesserungs- und Abdichtungsmaßnahmen des Gebirges. In diesem Fall sieht man die Verwendung von Bewehrungen aus glasfaserverstärktem Kunststoff vor, die in Bohrungen eingefügt werden und sofort durch Zementmörtel zementiert werden. Was Länge und Anzahl der Bohrungen betrifft, sei es für den Mittelstollen als auch für die beiden Bahntunnel, verweist man auf die jeweiligen graphischen Projektunterlagen ([9], [17]). Die Bohrungen werden durch eigens dafür bestimmte Vorkehrungen getroffen, die im Projekt der TBM vorgesehen sind, sei es durch das Schild als auch durch den Fräskopf der TBM. Die durch das Schild durchgeführten Bohrungen können eine Neigung nach außen von ca. 7-8° aufweisen, was eine Verbesserung - Verstärkung auch des externen Teils des Ausbruchprofils erlaubt. Die durch den Fräskopf der TBM durchgeführten Bohrungen werden subparallel zur Tunnelachse durchgeführt.

Der Eingriff muss es ermöglichen, eine deutliche Steigerung der Scher- und Verformungsparameter des Gebirges zu erhalten und somit drastisch die Extrusionsphänomene und Instabilität zu verringern. Aus statischer Sicht, abgesehen davon, dass sie bessere Standsicherheitsbedingungen der Ortsbrust garantiert, verringert die Einschränkung der Extrusionsphänomene, was zur Minimierung der Druckentlastung führt, den Einfluss von Verwitterungserscheinungen im Gebirge, die im Laufe der Zeit Ursprung des steigenden Drucks auf den Ausbau sind und die man in unterirdischen Bauten auch Jahre nach dem Bau beobachtet.

### 2.2 EIGENSCHAFTEN DER MATERIALIEN

Die verwendeten Glasfaserrohre haben folgende, grundlegende Eigenschaften:

- Sie werden aus Polyester-Thermoplast-Harzen hergestellt, die mit Glasfaserkunststoffen verstärkt werden, wobei der Gewichtsgehalt der Fasern nicht geringer als 50% ist;
- Rohre mit Außendurchmesser  $\phi_e = 60$  mm, mit Dicke von 10 mm und daraus folgendem internem Durchmesser  $\phi_i = 40$  mm;
- charakteristische Zugfestigkeit  $f_k \geq 900$  kN.

Da es sich um einfach zementierte Elemente aus glasfaserverstärktem Kunststoff handelt wird ein Zementmörtel aus Zement mit hoher Festigkeit und einem Verhältnis Wasser/Zement gleich 0.5 verwendet.

Der Mischung müssen außerdem geeignete Haftbeschleuniger beigemischt werden, die auf anorganischer Basis und chloridfrei sind, mit einem Verhältnis (nach Gewicht) Zusatzmittel / Zement zwischen 6 und 8%.

## 2 RINFORZO DEL NUCLEO – FRONTE CON TUBI IN VETRORESINA CEMENTATI

### 2.1 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

L'intervento descritto nel presente capitolo è relativo alla sola tipologia 1 degli interventi particolari di consolidamento dell'ammasso roccioso. In tale caso è previsto l'utilizzo di armature di vetroresina inserite in opportune perforazioni e immediatamente cementate con malte cementizie. Per il numero e la lunghezza delle perforazioni, sia per il cunicolo centrale sia per le due gallerie ferroviarie di linea, si rimanda ai relativi elaborati grafici progettuali ([9], [17]). Le perforazioni saranno effettuate mediante apposite predisposizioni che saranno previste dal progetto delle TBM, attraverso sia lo scudo sia la testa fresante della TBM. Le perforazioni realizzate attraverso lo scudo potranno avere una inclinazione verso l'esterno di circa 7-8° permettendo un consolidamento - rinforzo anche della parte esterna al profilo di scavo. Le perforazioni attraverso la testa fresante della TBM saranno realizzati in direzione subparallela all'asse della galleria.

L'intervento deve consentire di ottenere un significativo incremento delle caratteristiche di resistenza e deformabilità dell'ammasso trattato, quindi di ridurre drasticamente i fenomeni estrusivi e di instabilità. Dal punto di vista statico, la limitazione del fenomeno dell'estrusione, minimizzando la decompressione del mezzo, oltre a garantire migliori condizioni di stabilità del fronte di scavo, riduce l'importanza dei fenomeni di alterazione dell'ammasso, che sono all'origine delle spinte crescenti nel tempo sui rivestimenti, che si osservano, nelle opere in sotterraneo, anche a distanza di anni dalla costruzione.

### 2.2 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

I tubi in vetroresina utilizzati hanno le seguenti caratteristiche fondamentali:

- prodotti con resina poliesteri termoindurente rinforzata con fibre di vetro con contenuto in peso della fibra di vetro non inferiore al 50%;
- tubi del diametro esterno  $\phi_e = 60$  mm, con spessore di 10 mm e conseguente diametro interno  $\phi_i = 40$  mm;
- resistenza a trazione caratteristica  $f_k \geq 900$  kN.

Trattandosi di elementi in vetroresina semplicemente cementati viene utilizzata una malta cementizia costituita da cemento ad elevata resistenza con un rapporto acqua / cemento pari a 0.5.

La miscela deve inoltre essere additivata con idonei acceleranti di presa, a base di sostanze inorganiche e privo di cloruri, con un rapporto (in peso) additivi / cemento tra il 6 e l'8%.

Die Festigkeitswerte des Zementmörtels für die Zementierung sind folgende:

- charakteristische kubische Festigkeit:  
 $R_{ck} \geq 25 \text{ MPa}$
- charakteristische zylindrische Festigkeit:  
 $f_{ck} = 0.83 R_{ck} \geq 20.7 \text{ MPa}$
- Kubische Festigkeit nach 24 h:  
 $R_{ck} \text{ nach } 24 \text{ h} \geq 10 \text{ MPa}$ .

### 2.3 AUSFÜHRUNG

Abgesehen von der Art der Bohrung, wird sie vorzugsweise trocken ausgeführt oder mit Gebrauch von Flüssigkeiten, die die Umgebung des Bohrlochs so wenig wie möglich schädigen. Wie in den graphischen Projektunterlagen angegeben ([9], [17]), werden die Bohrungen horizontal, subhorizontal oder auf jeden Fall geneigt ausgeführt; der Bohrdurchmesser ist größer oder gleich 101 mm. Diesen Durchmesser hält man als angemessen, um die nachfolgenden Bewehrungs- und Injektionsoperationen leicht und angemessen durchzuführen. Die Einführung der Bewehrung muss unmittelbar nach Ausführung eines jeden Bohrlochs erfolgen.

Jedes Rohr wird mit den Vorrichtungen für die Injektionen ausgestattet und zwar sind dies: Injektionsrohre und Luftablassrohre, Fasen am Bohrlochkopf. Diesbezüglich zeigt die Illustration 6 ein Schema der Vorrichtungen für die korrekte Anbringung und Ausführung der Zementation eines glasfaserverstärkten Kunststoffrohres.

Inoltre la malta cementizia per la cementazione sarà caratterizzata dai seguenti valori di resistenza:

- Resistenza caratteristica cubica:  
 $R_{ck} \geq 25 \text{ MPa}$
- Resistenza caratteristica cilindrica:  
 $f_{ck} = 0.83 R_{ck} \geq 20.7 \text{ MPa}$
- Resistenza media cubica a 24h:  
 $R_{ck} \text{ a } 24 \text{ h} \geq 10 \text{ MPa}$ .

### 2.3 MODALITÀ ESECUTIVE

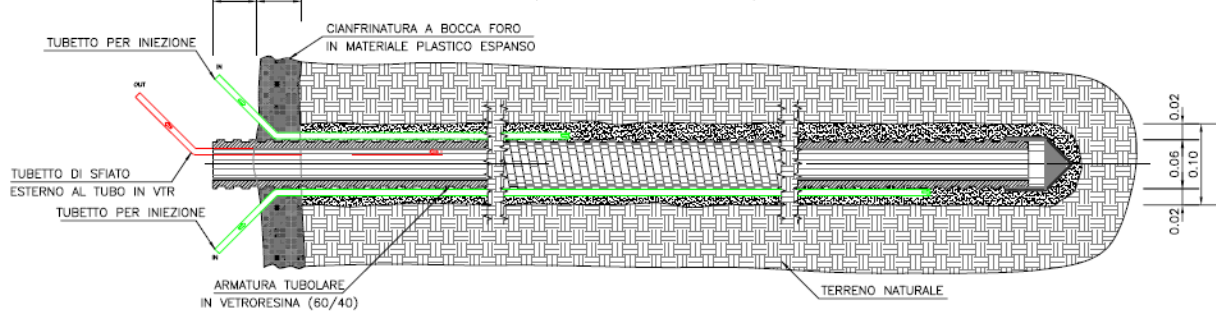
La perforazione qualsiasi sia il sistema di perforazione adottato, è eseguita preferibilmente a secco o con utilizzo di fluidi che minimizzino il danneggiamento del terreno circostante il foro. Come indicato negli elaborati grafici progettuali ([9], [17]) le perforazioni avranno andamento orizzontale, sub-orizzontale o comunque inclinato; il diametro di perforazione è maggiore o uguale a 101 mm; diametro ritenuto compatibile con l'agevole e adeguata esecuzione delle successive operazioni d'armatura e iniezione. L'inserimento dell'armatura deve avvenire immediatamente dopo l'esecuzione di ciascun foro.

Ogni tubo sarà corredato dei dispositivi per le iniezioni di bloccaggio ed in particolare: tubi di iniezione e di sfogo aria, , cianfrinatura a bocca foro. A questo riguardo l'illustrazione 6 mostra uno schema illustrativo dei dispositivi per la corretta messa in opera ed esecuzione della cementazione di un tubo in vetroresina.

## ARMATURA TUBOLARE DI VETRORESINA

1:5

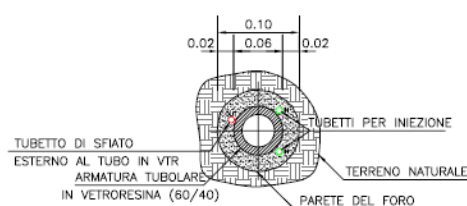
DETTAGLI - SEZ. LONGITUDINALE  
(LAVORAZIONE OTTIMALE)



## ARMATURA TUBOLARE DI VETRORESINA

1:5

DETTAGLI - SEZ. TRASVERSALE TIPO  
(LAVORAZIONE OTTIMALE)





*Abbildung 6 Installationsschema innerhalb des Bohrloches einer rohrförmigen Bewehrung aus Glasfaserkunststoff.*

Mit Verweis auf die Illustrazione 6 erfolgt die Zementierung des Glasfaserkunststoffrohres mittels passenden, kleinen Injektion- und Entlüftungsrohren, um die Bildung von Luftblasen zu vermeiden und somit schlecht zementierte Abschnitte. Dies geschieht durch das Einspritzen der Zementmischung in das Bohrloch durch das kleine Injektionsrohr, bis die Mischung durch das zweite, kleine Entlüftungsrohr wieder austritt. Dann wird letzteres geschlossen (einfach durch Biegung des Rohrs) und die Mischung wird auf einen Druck von ca. 5 bar gebracht, die einige Sekunden beibehalten werden, bevor das Pumpen unterbrochen wird. Die Injektion muss erfolgen: (1) Vom Bohrlochende bis zur Ortsbrustwand, wenn die Bohrlöcher nach unten geneigt sind; (2) umgekehrt, wenn diese nach oben geneigt sind.

Das Rohr wird mittels einer speziellen Ausstattung in das Bohrloch gezogen, dann wird es durch den Zementmörtel (nicht schrumpfend) befestigt, die mit geringem Druck zwischen dem Rohr und der Bohrlochwand eingespritzt wird, sowie in das Rohr selbst. Die Bewehrung und die Zementeinspritzung müssen unmittelbar nach der Bohrung erfolgen. Es darf nicht mehr als 1 Stunde zwischen den beiden Phasen vergehen.

*Illustrazione 6 Schema di installazione all'interno del foro di una armatura tubolare di vetroresina.*

Con riferimento all'Illustrazione 6, per evitare la formazione di bolle d'aria e tratti mal cementati, la cementazione dell'elemento di vetroresina deve avvenire utilizzando appositi tubicini d'iniezione e di sfiato. Essa, in particolare, si realizza pompando la miscela cementizia all'interno del foro attraverso un tubicino di mandata, fino ad ottenere il rifluimento della stessa dal tubetto di sfiato mantenuto aperto. A questo punto quest'ultimo viene chiuso (mediante semplice piegatura) e la miscela portata in pressione fino a circa 5 bar, che vengono mantenuti per qualche secondo prima d'interrompere il pompaggio. L'iniezione deve avvenire: (1) da fondo foro verso il paramento del fronte, quando i fori sono inclinati verso il basso; (2) viceversa quando essi sono inclinati verso l'alto.

Il tubo viene introdotto nel foro mediante apposita attrezzatura; si procederà quindi al suo inghisaggio mediante la malta cementizia (antiritiro) iniettata a bassa pressione tra tubo e pareti del foro ed all'interno del tubo stesso. L'introduzione dell'armatura e l'esecuzione delle iniezioni devono essere effettuate in una fase immediatamente successiva a quella di perforazione. Non dovrà trascorrere più di 1 ora tra le due fasi.

## 2.4 INDIREKTE ÜBERPRÜFUNG DER BEFESTIGUNG DES KERNS - DER ORTSBRUST

Die Verbesserungsmaßnahmen des Kerns - Umrisses des Ausbruchs erfolgen von Seiten des Auftragnehmers, dessen Verantwortung es ist, sie fachgerecht und den Geometrien und Angaben der graphischen Projektunterlagen entsprechend auszuführen ([9], [17]). Die Bauleitung muss folgendes genehmigen: (1) Die Verwendung der Gerätschaften für die Ausführung der unterschiedlichen, vorgesehenen Arbeitsschritte, (2) die Eigenschaften der verwendeten Materialien und (3) die Ausführungsmodalitäten.

Die vorgesehene Verbesserungsmaßnahme muss imstande sein, den Abfall der Scher- und Verformungsparameter des Gebirges zu verhindern, oder mindestens seine Ausbreitung zu verhindern; der Stabilisierungseingriff wird imstande sein, Plastifizierungsphänomene zu kontrollieren, die Unversehrtheit des Kerns zu schützen und die Bildung des Bogeneffektes so nahe wie möglich am Ausbruchprofil zu garantieren. Da der Ausbruch mittels der Schild-TBM erfolgt (Illustrazione 7), kann die Wirksamkeit der Verbesserungsmaßnahme indirekt durch die Überprüfung der normalen Ausbruchparameter, die das Betriebssystem der TBM während dieser Vortriebe systematisch aufzeichnet, verifiziert werden. Besonders achtet man dabei auf den Druck, der auf dem Schild lastet und den man durch den Vortriebsschub erhält, den die Schubheber auf die Innenschale ausüben. Diese Werte werden ständig vom Kontrollsystem der Maschine registriert. Unter Anwendung der Symbole aus dem Buch von Herrenknecht et al. [28], zeigt die nachfolgende Formel die Abhängigkeit der Kraft  $W_M$ , die von den Hebern auf die Tübbinge der Innenschale ausgeübt werden muss, damit die TBM selbst vorankommt, von dem Druck, den das Gebirge auf das Schild ausübt. Dieser Wert hängt wiederum vom Reibungskoeffizienten des Schildes - Bodens ab, von den felsmechanischen Eigenschaften und vom Spannungszustand des Gebirges:

$$W_M = \mu \cdot [2 \pi \cdot r \cdot l \cdot (p_v + p_h) \cdot 0.5 + G_S]$$

wobei:

- $\mu$  Reibungskoeffizient Schild - Boden
- $r$  Ausbruchradius des Tunnels
- $p_v$  vertikale, effektive Spannung des Bodens, die auf das Schild wirkt
- $p_h$  horizontale, effektive Spannung des Bodens, die auf das Schild wirkt
- $l$  Länge des Schildes
- $G_S$  Gewicht der Maschine

## 2.4 VERIFICA INDIRETTA DEL CONSOLIDAMENTO DEL NUCLEO – FRONTE

Gli interventi di consolidamento del nucleo – contorno di scavo sono realizzati dall'Appaltatore che ha la responsabilità di realizzarli a regola d'arte e secondo le geometrie ed indicazioni riportate sugli elaborati grafici progettuali ([9], [17]). La Direzione Lavori deve approvare: (1) l'impiego delle attrezzature per l'esecuzione delle diverse lavorazioni previste, (2) le caratteristiche dei materiali impiegati e (3) le modalità esecutive.

L'intervento di consolidamento previsto dovrà essere in grado di impedire il decadimento delle caratteristiche di resistenza e deformabilità dell'ammasso, o perlomeno di limitarne l'estensione; l'intervento di stabilizzazione sarà in grado di controllare i fenomeni di plasticizzazione, salvaguardare l'integrità del nucleo e garantire la formazione dell'effetto arco il più possibile vicino al profilo di scavo. Poiché gli scavi avverranno con delle TBM scudate (Illustrazione 7), l'efficacia dell'intervento di consolidamento potrà risultare verificabile, indirettamente, dall'esame degli usuali parametri di scavo che saranno sistematicamente acquisiti dal sistema di gestione della stessa TBM durante tali avanzamenti, con particolare riferimento alla pressione agente sullo scudo e ottenibile dal valore della spinta di avanzamento, applicata dai martinetti di spinta sui conci del rivestimento definitivo, valori che saranno costantemente acquisiti dall'apposito sistema di controllo della macchina. Con la simbologia indicata nel libro di Herrenknecht et al. [28], la seguente semplice formula evidenzia la dipendenza della forza,  $W_M$ , che deve essere applicata dai martinetti ai conci prefabbricati del rivestimento definitivo per l'avanzamento della stessa TBM, dalla pressione che l'ammasso roccioso applica allo scudo; valore a sua volta dipendente dal coefficiente di attrito scudo – terreno, dalle proprietà geomeccaniche e dallo stato tensionale presente nell'ammasso roccioso:

$$W_M = \mu \cdot [2 \pi \cdot r \cdot l \cdot (p_v + p_h) \cdot 0.5 + G_S]$$

essendo:

- $\mu$  coefficiente di attrito scudo - terreno
- $r$  raggio di scavo della galleria
- $p_v$  tensione verticale efficace del terreno agente sullo scudo
- $p_h$  tensione orizzontale efficace del terreno agente sullo scudo
- $l$  lunghezza dello scudo
- $G_S$  peso della macchina.

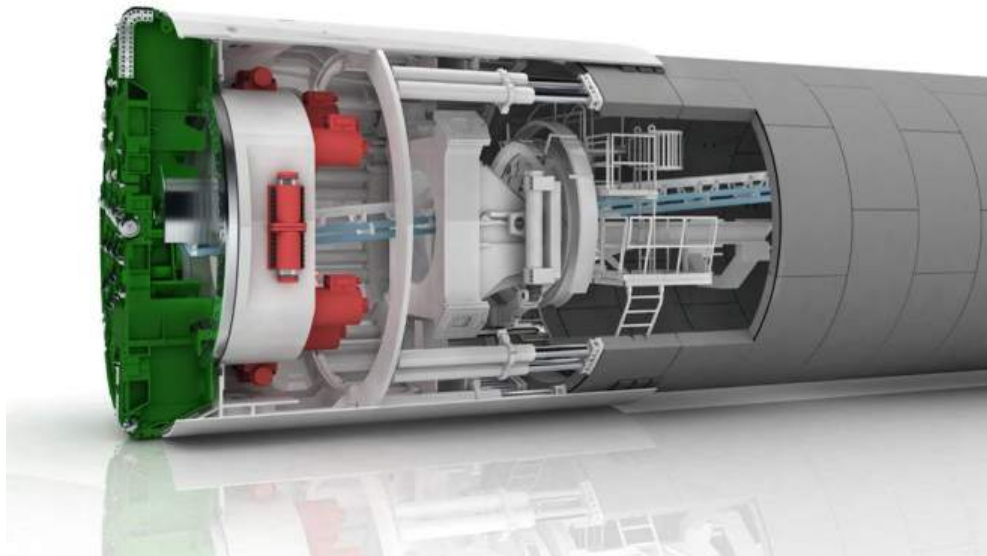


Abbildung 7 TBM mit Einzelschild

Illustrazione 7 TBM monoscudata

### 3 EINSPRITZEN VON ZEMENTMISCHUNGEN

#### 3.1 BESCHREIBUNG DES EINGRIFFES

Mit Bezug auf die Unterlagen über die Maßnahmen zur Verbesserung und Abdichtung des Typs 2 und des Typs 3 ([10], [18] [11], [12], [13], [14], [15]), in den Abschnitten laut geomechanischen Prognoseprofilen, erfolgt der Vortrieb mit vorheriger Verfestigung des Gebirges am Umriss des Hohlraums und am Kern - Ortsbrust und zwar mittels Mittel- Hochdruck - Injektionen von Zementmischungen. Bezug nehmend auf die graphischen Projektunterlagen, erfolgen die Injektionen durch Bohrlöcher, die vorher durch das Schild oder den Kopf der TBM durchgeführt und mit eigens dafür bestimmten Rohren mit Ventilen (Manschettenrohren) ausgestattet worden sind. An den Manschettenrohren werden pro Meter Multipacker nach dem MPSP-System eingebaut, um die einzelnen behandelten Abschnitte zu isolieren. Dadurch wird ein Tragebogen aus befestigtem Gebirge von geringer Durchlässigkeit und besseren felsmechanischen Eigenschaften als die des natürlichen Gebirges gebildet, was den Verfall der Begrenzungsspannung limitiert und zugleich die Spannungen am Umriss des Hohlraums leichter kanalisiert und zur Bildung des künstlichen Bogeneffekts nahe am Ausbruchsschnitt führt. Es handelt sich schließlich um einen Verbesserungs- und Konservierungseingriff, der bemerkenswerte Vorteile mit sich bringt, sei es was die Ausführung (Abdichtung des Hohlraums, geringeres Risiko einer Blockierung der TBM), als auch was die Statik betrifft (Verringerung der Drucklast auf dem Schild und dem Innenausbau).

### 3 INIEZIONI DI MISCELE CEMENTIZIE

#### 3.1 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

Con riferimento agli elaborati relativi alla tipologia di consolidamento ed impermeabilizzazione Tipo 2 e Tipo 3 ([10], [18] [11], [12], [13], [14], [15]), nelle tratte indicate negli elaborati geomeccanici e progettuali di previsione, l'avanzamento avverrà previa realizzazione di consolidamenti dell'ammasso al contorno del cavo ed in corrispondenza del nucleo - fronte di scavo, mediante iniezioni con miscele cementizie a medio - alte pressioni. Con riferimento agli elaborati grafici progettuali, le iniezioni si operano da fori opportunamente realizzati attraverso la testa e lo scudo della TBM e appositamente allestiti con tubi valvolati (manchettes). Sui tubi valvolati, ogni metro sono montati dei sacchi otturatori tipo MPSP, per isolare le sezioni di trattamento. Si realizza in tal modo un arco portante di ammasso roccioso consolidato e di ridotta permeabilità, con caratteristiche geomeccaniche migliori di quelle naturali, che limita il decadimento della tensione di confinamento e al contempo facilita la canalizzazione delle tensioni al contorno del cavo e la formazione dell'effetto arco artificiale in posizione prossima al profilo dello scavo. Si tratta quindi di un intervento che produce un'azione sia migliorativa sia conservativa, permettendo di conseguire notevoli vantaggi sia dal punto di vista operativo (impermeabilizzazione del cavo, ridotti rischi di blocco della TBM) sia dal punto di vista statico (riduzione delle pressioni sullo scudo e sul rivestimento definitivo).

### 3.2 VORLÄUFIGE VERSUCHE

Die Erkundungen im Vortrieb erlauben es, eine Reihe von Daten bezüglich folgenden Eigenschaften zu ermitteln: (1) Scher- und Verformungsparameter der zu behandelnden Materialien, (2) Durchlässigkeitseigenschaften derselben, durch Porosität und/oder Klüftung. Diese Kenndaten erlauben es, die folgenden grundlegenden Punkte zur korrekten Ausführung der Injektionen vor Beginn des Eingriffes zu definieren:

- Bezüglich der Möglichkeiten, die der Schild der TBM eröffnet, Menge und Verteilung der Einspritzrohre (in Funktion der mechanischen Eigenschaften des zu behandelnden Materials und des Maß an Hohlraumstützung, das man in der Projektphase festgelegt hat);
- Abstand der Ventile (in Funktion der Durchlässigkeit des Bodens), im Projekt sind 1 Ventil pro Meter vorgesehen; man hält diesen Wert für die unterschiedlichen felsmechanischen Verhältnisse für angemessen;
- Injektionsdruck;
- Feinheit des Zements (was die Durchlässigkeit der Mischung und die Haftgeschwindigkeit der Mischung beeinflusst);
- Zusammensetzung der Mischung mit besonderem Hinblick auf:
  - die Viskosität (die gering sein muss, um den Eingriff in kurzer Zeit durchzuführen);
  - das Verhältnis Wasser-Zement (dies beeinflusst überwiegend die Viskosität und die endgültigen mechanischen Eigenschaften des verfestigten Bodens);
  - den Gebrauch von geeigneten Zusatzmitteln (z. B. um die Haftung zu verlangsamen oder um große Hohlräume zu füllen).

Die vorläufige Überprüfung der Angemessenheit des geplanten Eingriffes, sei es aus operativer Sicht, als auch aus der Sicht seiner Wirksamkeit, wird auf Versuchsfeldern durchgeführt. Somit können wichtige Hinweise gewonnen werden, was die Definition der Injektionsparameter (Schüttung und Grenzdruck) als auch die realen Verbesserungseffekte am Gebirge betrifft.

### 3.2 PROVE PRELIMINARI

Le indagini previste in avanzamento permettono l'acquisizione di una serie di dati conoscitivi riguardo a: (1) caratteristiche di resistenza e deformabilità del materiale da trattare, (2) caratteristiche di permeabilità dello stesso, per porosità e/o per fratturazione. Tali dati conoscitivi permettono, prima dell'inizio del trattamento, di definire i seguenti punti fondamentali per la corretta esecuzione delle iniezioni:

- con riferimento alle possibilità offerte dallo scudo della TBM, quantità e distribuzione dei tubi d'iniezione (in funzione delle caratteristiche meccaniche del materiale da trattare e del grado di precontenimento che in fase progettuale si è stabilito di dover esercitare);
- passo delle valvole (in funzione della permeabilità del terreno), previste dal progetto pari ad 1 valvola a metro; valore ritenuto adeguato alle diverse condizioni geomeccaniche previste;
- pressione d'iniezione;
- finezza del cemento (che influenza la penetrabilità della miscela e la velocità di presa della miscela);
- composizione della miscela con particolare riguardo:
  - alla viscosità (che deve essere ridotta per poter eseguire l'intervento in tempi brevi);
  - al rapporto acqua / cemento (che influenza in maniera preponderante la viscosità e le caratteristiche meccaniche finali del terreno consolidato);
  - all'impiego di additivi adeguati (per esempio, per rallentare la presa o per riempire cavità di grandi dimensioni).

La verifica preliminare dell'adeguatezza dell'intervento progettato, sia dal punto di vista operativo sia da quello dell'efficacia, sarà condotta mediante la realizzazione di campi prova, dai quali potranno essere tratte preziose indicazioni sia riguardo alla definizione dei parametri d'iniezione (portata e pressione limite) sia riguardo al reale effetto di consolidamento ottenibile dall'ammasso roccioso.

### 3.3 EIGENSCHAFTEN DER MATERIALIEN

Die verwendeten Glasfaserrohre haben folgende, grundlegende Eigenschaften:

- Sie werden aus Polyester-Thermoplast-Harzen hergestellt, die mit Glasfaserkunststoffen verstärkt werden, wobei der Gewichtsgehalt der Fasern nicht geringer als 50% ist;
- Rohre mit Außendurchmesser  $\phi_e = 60$  mm, mit Dicke von 10 mm und daraus folgendem internem Durchmesser  $\phi_i = 40$  mm;

charakteristische Zugfestigkeit  $f_k \geq 900$  kN.

Die Injektionsmischung weist folgende grundlegende Eigenschaften auf:

- Zusammensetzung der Zementmischung
  - Zement, erhalten aus reinem Klinker von Portlandzement
  - Microsilica (eventuell)
  - Zusatzmittel (Anti-Flockungsmittel / Verflüssige / Verzögerer)
  - Wasser
- Mahlfineheitswert des Zements:
  - $d_{95} < 20 \mu\text{m}$
  - Blaine  $> 800 \text{ m}^2 / \text{kg}$
- Verhältnis Wasser-Zement:  $A / C = 0.67 \div 1$
- Verhältnis Zusatzmittel / Zement (in Gewicht):  $A / C < 3\%$
- Bluten:  $< 1\%$  nach 2 h
- Viskosität (Marsh-Kegel, 4.76 mm): 30 – 40 sec.

Die oben genannten Eigenschaften der Injektionsmischung müssen auf jeden Fall angemessene Durchlässigkeit und Festigkeitseigenschaften garantieren.

### 3.4 AUSFÜHRUNG

Die Bohrungen, deren Länge und Geometrie in den jeweiligen graphischen Projektunterlagen ([10], [18]) angeführt sind, haben einen Durchmesser von 101 mm. Die Ausführung der Bohrungen muss mit geeigneten Gerätschaften erfolgen, die sich den verschiedenen geomechanischen Verhältnissen laut Ausführungsplanung anpassen. Bei der Wahl der Bohrmaschinen muss man außerdem beachten, dass die Bohrlochwände bei besonders kritischen geomechanischen Verhältnissen einzubrechen drohen, was das Einführen der Injektionsrohre erschwert. Man muss daher vorsehen, dass man die Bohrlöcher eventuell ummantelt. Dieser Mantel muss natürlich vor Beginn der Injektionen entfernt werden.

Nach Abschluss der Bohrung jedes Bohrlochs, wird ein glasfaserverstärktes Kunststoffrohr  $\phi 60/40$  mit Manschettenventilen alle 50 m angebracht. Am Rohr befindet sich im Meterabstand ein Bohrlochpacker aus Polypropylen mit durchgehender Faser und einem Gewicht von mehr oder gleich  $500 \text{ g/m}^2$  mit Zugfestigkeit von mehr als  $30 \text{ kN/m}$ , maximalen Durchmesser von 120 mm, Länge von 500 mm, der an das Rohr mit doppeltem Metallschellen auf jeder Seite (die zweite am

### 3.3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

I tubi in vetroresina utilizzati hanno le seguenti caratteristiche fondamentali:

- prodotti con resina poliesteri termoindurente rinforzata con fibre di vetro con contenuto in peso della fibra di vetro non inferiore al 50%;
- tubi del diametro esterno  $\phi_e = 60$  mm, con spessore di 10 mm e conseguente diametro interno  $\phi_i = 40$  mm;

resistenza a trazione caratteristica  $f_k \geq 900$  kN.

La miscela di iniezione è caratterizzata dalle seguenti caratteristiche fondamentali.

- Composizione miscela cementizia
  - Cemento ottenuto dalla macinazione di puro clinker di cemento Portland
  - Microsilica (eventuale)
  - Additivi (anti flocculante / superfluidificante, ritardante)
  - Acqua
- Valore di finezza del cemento (microfine):
  - $d_{95} < 20 \mu\text{m}$
  - Blaine  $> 800 \text{ m}^2 / \text{kg}$
- Rapporto acqua / cemento:  $A / C = 0.67 \div 1$
- Rapporto (in peso) additivi / cemento:  $A / C < 3\%$
- Bleeding:  $< 1\%$  dopo 2 h
- Viscosità (cono di Marsh, 4.76 mm): 30 – 40 sec.

Le caratteristiche della miscela di iniezione sopra indicate devono garantire comunque adeguate condizioni di penetrabilità e di resistenza.

### 3.4 MODALITÀ ESECUTIVE

Le perforazioni con le lunghezze e geometrie indicate nei relativi elaborati grafici ([10], [18]) avranno un diametro pari a 101 mm. L'esecuzione delle perforazioni deve avvenire con attrezzature adeguate alle diverse condizioni geomeccaniche ipotizzate dalla progettazione esecutiva. Nella scelta delle macchine di perforazione si deve inoltre tenere conto che in condizioni geomeccaniche particolarmente critiche può accadere che le pareti del foro tendano a franare, rendendo difficile l'inserimento dei tubi di iniezione. Si deve pertanto prevedere l'eventualità di dover rivestire i fori con una camicia di rivestimento, che ovviamente deve essere estratta prima di eseguire le iniezioni.

Completata la perforazione di ciascun foro, viene messo in opera un tubo in vetroresina  $\phi 60/40$  con valvole a manchette ogni 50 cm dotato ogni metro di sacco otturatore in polipropilene a fibra continua con peso maggiore o uguale a  $500 \text{ g/m}^2$  avente resistenza a trazione maggiore di  $30 \text{ kN/m}$ , diametro massimo di 120 mm, lunghezza di 500 mm, fissato al tubo con doppia fascetta metallica per ogni lato (la seconda su risvolto) come indicato nella schema dell'illustrazione 8. La canna valvolata

Aufschlag), wie das Schema der Illustrazione 8 zeigt. Das Ventilrohr muss so verlängert werden, dass es aus dem Bohrlochkopf herausragt, um die folgenden Injektionsschritte zu ermöglichen.

deve essere prolungata fino a fuoriuscire a boccaforo per un tratto adeguato a consentire le successive operazioni di iniezione.

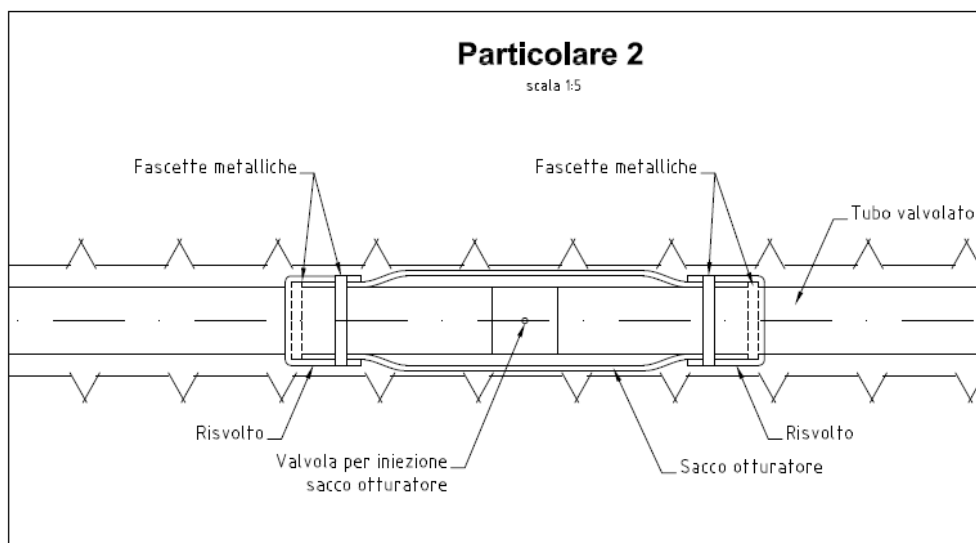
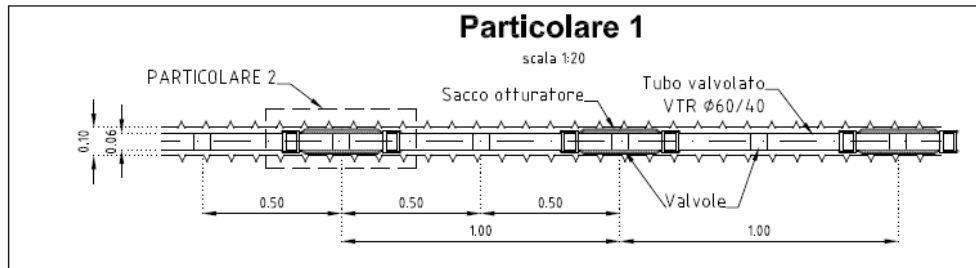


Abbildung 8 Installierungsschema der Bohrlochpacker für die Injektionen mit MPSP- System.

Illustrazione 8 Schema di installazione dei sacchi otturatori relativi alle iniezioni con il sistema MPSP.

Es folgen schließlich die folgenden Ausführungsphasen:

- Expansion der Bohrlochpacker mittels Injektion mit Doppelpacker, vom Bohrlochende aus startend und Spülen des Rohrs;
- nach mindestens 48 Stunden, Injektion mit Doppelpacker durch die freien Ventile, vom Bohrlochende zum Bohrlochkopf hin.

Seguono successivamente le seguenti fasi esecutive:

- espansione dei sacchi otturatori mediante iniezione con doppio otturatore partendo dal fondo e lavaggio del tubo;
- dopo almeno 48 ore, iniezione con doppio otturatore dalle valvole libere, dal fondo verso boccaforo.

Soweit mit der Geometrie der Bohrlöcher, die durch den Schild der TBM möglich ist, vereinbar ist, was die äußeren - inneren Kronen betrifft, so erfolgen die Injektionen von der äußersten Krone zur innersten.

Compatibilmente con le geometrie dei fori rese possibili dallo scudo della TBM, per quanto concerne le corone esterne – interne, le iniezioni sono eseguite partendo dalla corona più esterna verso quella più interna.

Die verwendeten Gerätschaften für diese Behandlung müssen die Ausführung aller Arbeitsschritte in Kontinuität erfolgen und die Uniformität der Behandlung garantieren.

Le attrezzature impiegate per eseguire il trattamento devono permettere di eseguire tutte le lavorazioni con continuità e in modo da assicurare l'uniformità necessaria al trattamento.

Die Mischvorrichtung ist daher mit einer Waage für den Zement, einer Messvorrichtung für das Wasser und für die Dosiermenge der Zusatzmittel und für die Zählung der progressiven Mischzyklen ausgestattet.

L'impianto di miscelazione è perciò munito di dispositivi di pesatura del cemento, di misura dell'acqua, di dosaggio degli additivi e di conta cicli progressivo di miscelazione.

Die Injektionszentrale ist mit Hochdruckpumpen mit Manometer am Bohrlochkopf ausgestattet.

La centrale di iniezione, a sua volta, è attrezzata con pompe ad alta pressione munite di manometri ubicati a bocca – foro.

Was hingegen die Kriterien betrifft, die man während des Injektionsprozesses (maximales Volumen, maximaler Druck, usw.) einhalten muss, so wendet man das GIN- Konzept an (Grouting Intensity Number) (Lombardi, 1996). Dieses Kriterium bestimmt einen Parameter, der die Injektionsintensität darstellt (Maß der angewandten Energie), d. h. die GIN-Zahl: Produkt aus Enddruck und injiziertem Volumen. Im Gegenteil zu dem, was man traditionell verwendet: Man bestimmt getrennt den Wert dieser beiden Parameter. Mit diesem Kriterium will man hauptsächlich den Gebrauch von hohen Drücken bei großen Injektionsvolumina ausschließen und daher das Risiko der hydraulischen Frakturierung des Gebirges limitieren. Die Haupteigenschaften der Methode sind: a) Zuerst wird Wasser in den Abschnitte, die über dem Grundwasser liegen, injiziert, um sie vor der Injektion zu sättigen und die plötzliche Entwässerung der Mischung zu verhindern. c) Während des gesamten Injektionsprozesses wird eine einzige, vorher festgelegte, stabile Mischung verwendet, die vorzugsweise durch den Zusatz eines "Betonverflüssigers" "verflüssigt" ist, anstatt der üblichen Mischungen, die nach und nach dicker werden und zu Beginn instabil sind, weil zu flüssig; c) Verwendung einer konstanten Schüttung der Pumpe, was zu einer graduellen Erhöhung des Drucks bei der allmählichen Eindringung der Mischung in die Klüfte führt. d) Echtzeit Wiedergabe durch ein informatisches System des Drucks und der Aufnahme. b) Unterbrechung der Injektion, wenn die Druck-Volumen Kurve, bezogen auf eine Einheitslänge des Bohrlochabschnitts, die Grenzkurve erreicht, die von der vorher bestimmten GIN Zahl definiert ist. Diese hängt für jeden behandelten Bereich von den felsmechanischen Eigenschaften und von den geplanten Endzielen ab.

Um die Qualität des angewandten Kriteriums aufzuzeigen, werden nachfolgend einige theoretische Überlegungen zur GIN Methode angeführt aus den Publikationen von Lombardi ([26]), der diese Methode entwickelt hat.

Unter Injektionsintensität versteht man das Produkt des Drucks im Moment des Anhaltens der Behandlung - d. h. wenn der Fluss der Mischung gleich null ist - multipliziert mit dem Volumen, das in eine Einheitslänge des Bohrlochabschnitts, meist 1 m, injiziert wurde ([27]).

Man hat schließlich:

$$I_{finale} = p_{finale} \cdot \frac{V_{finale}}{L}$$

oder allgemeiner:

$$I = p \cdot V = GIN$$

GIN = Grouting Intensity Number

Die Einheiten sind normalerweise: bar (oder Kilogramm/cm<sup>2</sup>) und Liter pro Meter.

Der GIN-Wert - d. h. das Produkt aus Injektionsdruck und Volumen der Mischung - kann als eine "Injektionsenergie" in das Gebirge interpretiert werden, nach Abzug der "Arbeit", die aufgebracht wurde, um die Reibung durch Kohäsion und Viskosität, die sich dem Fluss der Mischung entgegenzusetzen, zu überwinden.

Die Verwendung der GIN Methode erlaubt es, neben dem Druck und dem Volumen, auch die Injektionsintensität (d. h. das Produkt der beiden Variablen) zu limitieren. Die Illustrazione 9

Per quanto riguarda i criteri da seguire nel processo di iniezione (volume massimo, pressione massima, etc.) viene adottato il concetto GIN (Grouting Intensity Number) (Lombardi, 1996). Con tale criterio viene fissato un parametro che rappresenta l'intensità di iniezione (misura dell'energia applicata) ovvero il numero GIN: prodotto di pressione finale e volume iniettato, contrariamente a quanto avviene tradizionalmente, dove si predermina separatamente l'entità di questi due parametri. Con tale criterio si intende essenzialmente escludere l'uso di pressioni elevate in concomitanza a volumi d'iniezione importanti e con ciò limitare il rischio di idrofratturazione dell'ammasso. Le caratteristiche principali del metodo consistono in: a) iniezione preliminare di acqua nelle zone sopra falda allo scopo di saturarle prima di procedere all'iniezione, onde evitare il prosciugamento repentino della miscela; b) utilizzo durante l'intero processo di iniezione di una sola miscela predeterminata, stabile, preferibilmente "fluidificata" mediante aggiunta di un superplastificante, invece delle consuete miscele via via più dense ed inizialmente instabili perché troppo fluide; c) utilizzo di una portata della pompa costante, che porta ad un graduale aumento della pressione man mano che la miscela penetra nelle fessure; d) restituzione in tempo reale mediante sistema informatico dell'andamento della pressione e degli assorbimenti; e) blocco dell'iniezione quando la curva pressione - volume, riferita ad un tratto di foro di lunghezza unitaria, interseca la curva limite definita dal numero GIN prestabilito, che per ogni zona trattata dipende dalle caratteristiche geomeccaniche e dagli obiettivi finali richiesti dal progetto.

Allo scopo di illustrare le potenzialità del criterio che viene adottato si riportano alcune considerazioni teoriche sul metodo GIN riprese dalle pubblicazioni di Lombardi ([26]), che ne ha messo a punto il metodo.

Per intensità di iniezione si intende il prodotto della pressione al momento dell'arresto dell'operazione - ovvero a flusso di miscela nullo - moltiplicata per il volume iniettato in un tratto di foro di lunghezza unitaria, generalmente di 1 m ([27]).

Si ha pertanto:

$$I_{finale} = p_{finale} \cdot \frac{V_{finale}}{L}$$

o in forma più generica:

$$I = p \cdot V = GIN$$

GIN = Grouting Intensity Number

Dove le unità sono abitualmente: bar (o chilogrammi / cm<sup>2</sup>) e litri per metro.

Il valore GIN - ovvero il prodotto della pressione di iniezione per il volume di miscela - può essere interpretato come una misura dell'energia "iniettata" nella massa rocciosa dopo deduzione del "lavoro" consumato per vincere gli "attriti", causati da coesione e viscosità, che si oppongono al flusso della miscela.

L'adozione del metodo GIN permette di limitare oltre alla pressione e al volume anche l'intensità di iniezione (ovvero il prodotto delle due variabili). Con riferimento all'Illustrazione 9 la

zeigt im Teil (a) die traditionelle Methode, bei der man gleichzeitig den Druck limitiert und das Volumen der Mischung. Die Illustrazione 9 (b) zeigt hingegen das GIN Konzept, bei dem auch der Wert des Produktes Druck - Aufnahme. Zweck der Methode ist es, den Bereich der hyperbolischen Kurve BDC auszuschließen, in der das Risiko der hydraulischen Frakturierung besonders hoch ist. Daher folgt, laut diesen Anweisungen, dass alle Injektionen an der Grenze ABCG aufhören müssen und sind daher nicht akzeptabel. Mit diesem Kriterium will man hauptsächlich den Gebrauch von hohen Drücken bei großen Injektionsvolumina ausschließen und daher das Risiko der hydraulischen Frakturierung des Gebirges limitieren.

parte (a) mostra il metodo tradizionale con il quale si fissa contemporaneamente un limite alla pressione e un secondo limite al volume di miscela. Nell'illustrazione 9 (b) è rappresentato invece il concetto GIN, nel quale viene limitato anche il valore del prodotto pressione - assorbimento. Lo scopo del metodo è quello di escludere la zona a delimitazione iperbolica BDC nella quale il rischio di fratturazione idraulica è particolarmente elevato. Di conseguenza, secondo queste prescrizioni, tutte le iniezioni devono terminare sulla frontiera ABCG. Punti terminali del processo come fossero F o H sarebbero contrari a quanto prescritto e dunque inaccettabili. Questo modo di procedere intende semplicemente escludere l'uso di pressioni elevate in concomitanza a volumi di iniezione importanti, e con ciò limitare il rischio di fratturazione idraulica.

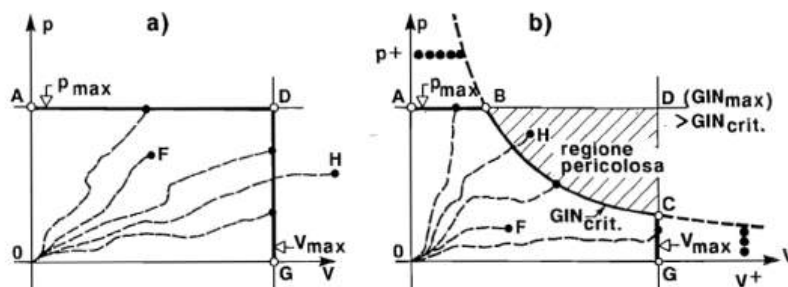


Abbildung 9 Begrenzung des Injektionsprozesses: a) traditionelle Methode; b) Gin-Methode mit Möglichkeit die Grenzen des Drucks und des Volumens zu erhöhen, ohne das Risiko der hydraulischen Frakturierung zu erhöhen (Quelle: [26]).

Illustrazione 9 Delimitazione del procedimento di iniezione: a) metodo tradizionale; b) metodo GIN con possibilità di aumentare i limiti di pressione e di volume senza aumentare il rischio di fratturazione idraulica (fonte: [26]).

Die GIN-Parameter werden für jeden Bereich des Gebirges definiert, in dem die felsmechanischen Eigenschaften als ausreichend einheitlich angenommen werden oder wo der, den man durch die Injektionen erreichen will, ähnlich, wenn nicht identisch ist. Diese Definition ist durch die Ausführung von Versuchsfeldern möglich. Die Illustrazione 10 gibt einige typische GIN-Grenzen auf, die der Autor indikativ angibt.

La definizione dei parametri GIN va effettuata per ogni zona dell'ammasso roccioso nella quale le caratteristiche geomecniche sono ritenute sufficientemente uniformi e dove lo scopo da raggiungere con l'iniezione sia simile se non identico. Tale definizione è resa possibile mediante l'esecuzione di campi prova. L'illustrazione 10 riporta alcuni limiti GIN tipici che sono suggeriti dall'Autore quale prima indicazione.

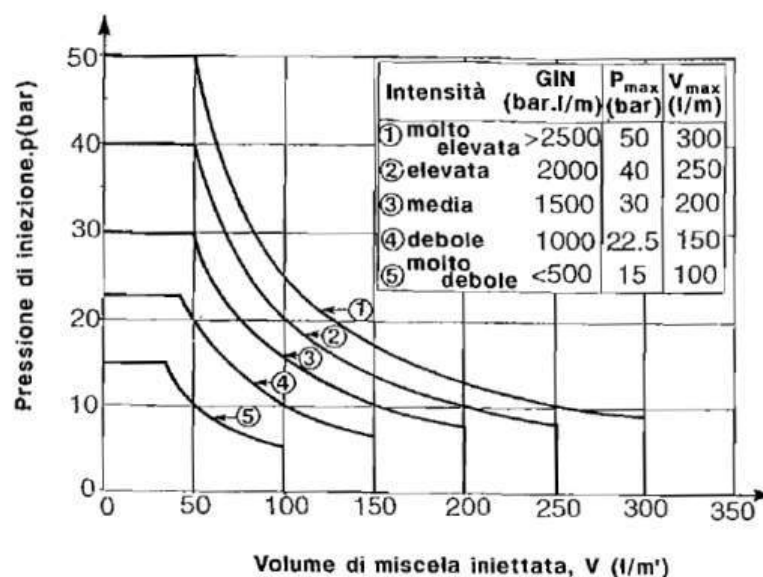




Abbildung 10 Indikative GIN-Grenzen (Quelle: [26]).

Was die Abschnitte des Brenner Basistunnels betrifft, Gegenstand dieses Berichts, für die Verbesserungseingriffe vorgesehen sind, wurden vorläufig die folgenden Werte angenommen. Diese müssen zwingend durch Feldversuche vor der eigentlichen Ausführung der Injektionen untersucht werden (Abbildung 11/Illustrazione 11)

- GIN-Werte zwischen 2000 und 2500 bar l/m
- maximaler limitierender Druck  $\leq 50$  bar
- limitierendes Volumen  $\leq 500$  l/m (unter Berücksichtigung eines maximalen Einflussradius von 2.5 m)
- eine konstante Injektionsschüttung  $\leq 10$  l/min, bei regelmäßigem Fluss während sie bei hoher Aufnahme 20 l/min nicht übertreffen darf.

### 3.5 DOKUMENTATION UND KONTROLLEN

#### 3.5.1 Kontrollen und Dokumentation für die Mischungen

Die auf der Baustelle hergestellten Mischungen müssen täglich vom Auftragnehmer und auf seine Kosten den folgenden Kontrollen unterzogen werden:

- Massendichte;
- Marsh-Viskosität;
- Dekantieren und volumetrischer Ertrag;
- scheinbare Viskosität (Rheometer);
- Druckfiltration;
- Haftzeit;
- Probenentnahme für Durchlässigkeits- und Kompressionsversuche.

Die gemessenen Werte müssen regelmäßig in ein Register übertragen werden, das auf der Baustelle aufbewahrt wird, und in das die Bauleitung einen Sichtvermerk zur Genehmigung während der Annahmekontrollen setzt.

#### 3.5.2 Kontrolle und Dokumentation der Bohrlöcher

Für jedes durchgeführte und injizierte Bohrloch muss der Auftraggeber ein Formular mit den folgenden Informationen ausfertigen:

- Nummer des Bohrlochs und Datum der Ausführung;
- Länge der Bohrung;
- Ausführungsart der Bohrung;
- Werkzeug;
- Fluid;
- Ummantelung;
- Eigenschaften des Injektionsrohrs (Abstand und Position der Ventile und der MPSP-Säcke);
- Tabellen der selektiven Injektionen mit Angaben für jedes Ventil und jede Phase:

Illustrazione 10 Limiti GIN da utilizzarsi come prima indicazione (fonte: [26]).

Per quanto concerne le tratte della Galleria di Base del Brennero, oggetto della presente relazione, nelle quali sono previsti tali interventi di consolidamento si sono assunti, preliminarmente, in quanto necessariamente oggetto di necessari campi prova, prima della effettiva esecuzione delle iniezioni, i seguenti valori (Illustrazione 11):

- valori di GIN compresi fra 2000 e 2500 bar l / m
- massima pressione limitante  $\leq 50$  bar
- volume limitante  $\leq 500$  l/m (considerando un raggio di influenza massimo di 2.5 m)
- una portata di iniezione costante  $\leq 10$  l / min, per flusso regolare mentre in caso di alto assorbimento non deve essere superiore a 20 l / min)

### 3.5 CONTROLLI E DOCUMENTAZIONE

#### 3.5.1 Controlli e documentazione sulle miscele

Le miscele confezionate in cantiere devono essere sottoposte giornalmente, a cura ed onere dell'Appaltatore, ai seguenti controlli:

- massa volumica;
- viscosità Marsh;
- decantazione e resa volumetrica;
- viscosità apparente (Rheometer);
- pressofiltrazione;
- tempo di presa;
- prelievo di campioni per prove di permeabilità e di compressione.

I valori misurati devono essere regolarmente riportati in un registro da conservare in cantiere, su cui la Direzione Lavori appone il visto per approvazione nel corso dei controlli di accettazione.

#### 3.5.2 Controlli e documentazione sui fori

Per ogni foro eseguito e iniettato l'Appaltatore deve produrre una scheda contenente le seguenti indicazioni:

- numero del foro e data di esecuzione;
- lunghezza della perforazione;
- modalità di esecuzione della perforazione;
- utensile;
- fluido;
- rivestimenti;
- caratteristiche del tubo di iniezione (passo e posizione delle valvole e dei sacchi MPSP);
- tabelle delle iniezioni selettive indicanti per ogni valvola e per ogni fase;

- Datum;
- Öffnungsdruck;
- Aufnahmevolumina;
- erreichte Drücke;
- Eigenschaften der verwendeten Mischung;
- Zusammensetzung und Massendichte;
- Marsh-Viskosität;
- volumetrische Ausbeute und Dekantieren;
- Identifikationsangaben zu den entnommenen Probekörpern für die nachfolgenden Laborversuche.
- data;
- pressioni di apertura;
- volumi di assorbimento;
- pressioni raggiunte;
- caratteristiche della miscela utilizzata;
- composizione e massa volumica;
- viscosità Marsh;
- rendimento volumetrico e decantazione;
- dati di identificazione dei campioni prelevati per le successive prove di laboratorio.

Diese Formulare müssen vom Auftragnehmer aufbewahrt und periodisch der Bauleitung übermittelt werden.

Le suddette schede devono conservate a cura dell'Appaltatore e trasmesse periodicamente alla Direzione Lavori.

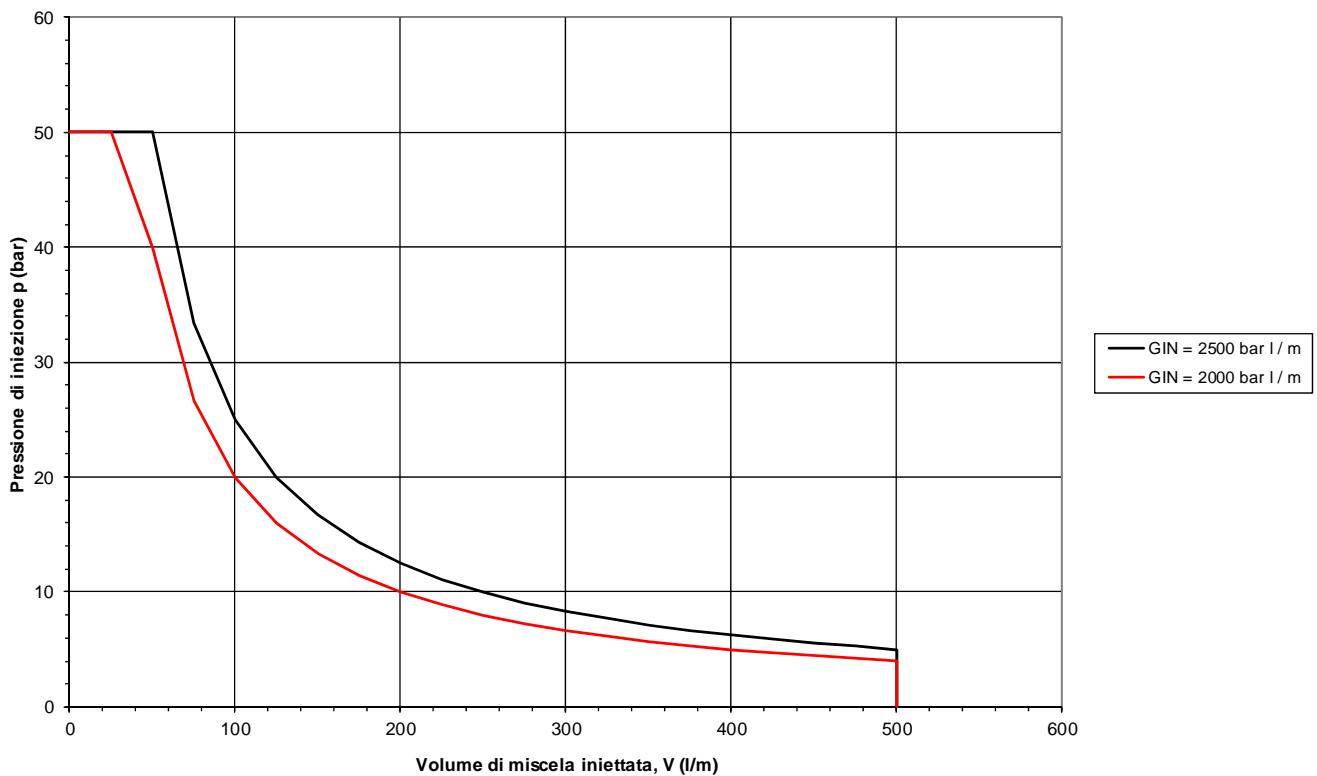


Abbildung 11 Hypothese der GIN-Grenzen für die Injektionen in Gebirge, bei der die Maßnahmen 2 und 3 vorgesehen sind.

Illustrazione 11 Ipotesi dei limiti GIN per le iniezioni degli ammassi rocciosi interessati dalle tipologie di intervento 2 e 3.

### 3.6 PRÜFVERSUCHE

Die häufig durchgeführten Kontrollen hängen auch von den lokalen geomechanischen Eigenschaften ab (auf jeden Fall müssen sie so häufig durchgeführt werden, um eine ausreichende Vorstellung der Qualität der Verbesserung auf der Gesamtlänge des Eingriffes zu erhalten) und haben das Ziel, die Kongruenz der Ergebnisse, erhalten durch die Mindestwerte der Festigkeiten, und der Bautoleranzen, während der Projektplanung bestimmt, zu überprüfen. Diese müssen wenn möglich vor dem Vortriebsausbruch des vorher konsolidierten Abschnittes erfolgen.

Die wichtigsten Nachweise betreffen die Dicke der befestigten

### 3.6 PROVE DI VERIFICA

I controlli che devono essere effettuati con frequenza e dipendono anche dalle locali caratteristiche geomeccaniche del mezzo (e in ogni caso devono essere di entità tale da fornire sufficientemente un'idea chiara della qualità del consolidamento ottenuto per tutta la lunghezza del trattamento) sono finalizzati a verificare la congruenza dei risultati conseguiti con i valori minimi di resistenza e le tolleranze stabilite in sede progettuale. Essi, possibilmente, devono essere eseguiti prima di avviare lo scavo d'avanzamento della tratta preconsolidata in esame.

Le verifiche più importanti da eseguire riguardano lo spessore

Gebirgsschicht und die Druckfestigkeit desselben während der unterschiedlichen Reifungsphasen des Eingriffs. Beide können durch Kernbohrungen mit doppelten Kernrohren kontrolliert werden. Von jeder Kernbohrung werden die Abschnitte ausgewählt, die den Druckfestigkeitsversuchen unterzogen werden. Innerhalb der Bohrlöcher können vor Ort Versuche, wie Druckversuche oder Bohrlochaufweitungsversuche, Durchlässigkeitsversuche nach Lugeon, geophysikalische Versuche zur Messung der Geschwindigkeit der Kompressionswellen  $V_p$  durchgeführt werden.

Die geophysikalischen Erkundungsmethoden bieten eine große Potenzialität, um die Ergebnisse eines Verbesserungseingriffs mittels Injektionen zu überprüfen. Die Illustration 12 zeigt ein interessantes Beispiel.

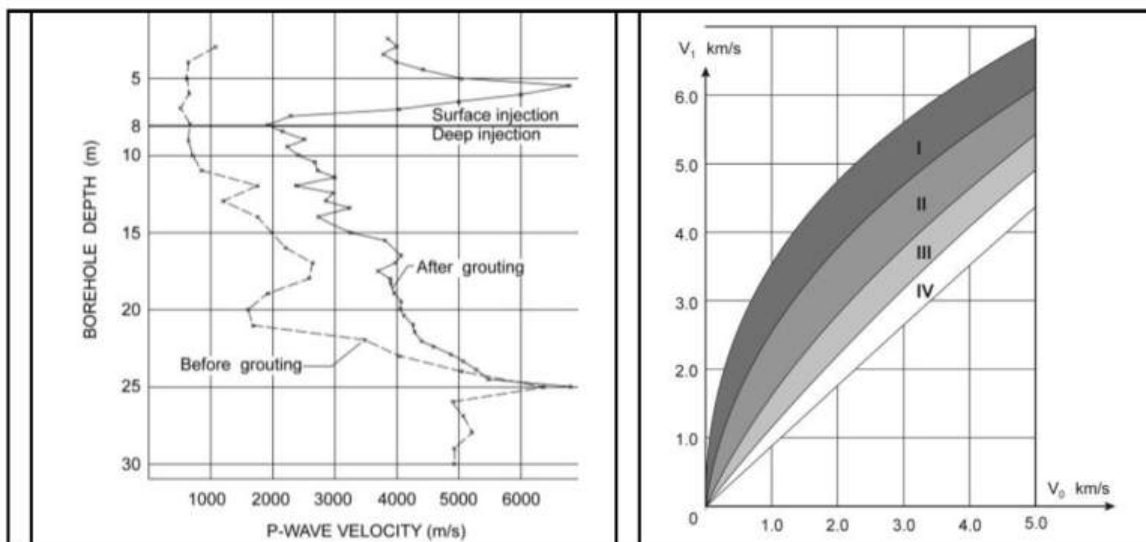


Abbildung 12 (a) Beispiel der Zunahme der Geschwindigkeiten der Kompressionswellen beim Gebirge an den Gründungen eines Dammes durch Konsolidierung mittels Zementmischungen; (b) Bewertung der Wirkungskraft (I: ausgezeichnet, II: gut, III: befriedigend, IV: unbefriedigend) der Konsolidierungseingriffe des Gebirges mittels Zementmischungen an den Gründungen der Bogenstaumauer von Inguri aufgrund der Messung der Geschwindigkeit der Kompressionswellen vor ( $V_0$ ) und nach dem Eingriff ( $V_1$ ).

dello strato di ammasso consolidato e la resistenza a compressione dello stesso nei diversi stadi di maturazione del trattamento. Entrambi possono essere accertati eseguendo dei carotaggi a rotazione continua con batteria d'aste e doppio carotiere. Da ogni carotaggio si selezionano gli spezzoni da sottoporre a prove di resistenza a compressione semplice. All'interno dei fori carotati possono essere realizzate prove in sito di tipo pressimetrico o dilatometrico, prove di permeabilità Lugeon, prove geofisiche per misurare la velocità delle onde di compressione  $V_p$ .

Con riferimento alle potenzialità di utilizzo delle indagini geofisiche, per verificare i risultati di un intervento di consolidamento mediante iniezioni, nella Illustrazione 12 è mostrato un interessante esempio.

Illustrazione 12 (a) Esempio di incremento della velocità delle onde di compressione in corrispondenza dell'ammasso roccioso di fondazione di una diga per un consolidamento con miscele cementizie; (b) Valutazione dell'efficienza (I: eccellente; II: buono; III: soddisfacente; IV: insoddisfacente) degli interventi di consolidamento con miscele cementizie dell'ammasso roccioso di fondazione della diga ad arco di Inguri sulla base della misura della velocità delle onde di compressione prima ( $V_0$ ) e dopo l'intervento ( $V_1$ ).

## 4 INJEKTION VON HARZEN

### 4.1 BESCHREIBUNG DES EINGRIFFES

Mit Hinweis auf die graphischen Unterlagen des Ausführungsprojektes bzgl. Maßnahme 4 der besonderen Eingriffe zur Verbesserung und Abdichtung ([15], [16]), die radiale Injektionen in primären und sekundären Bohrlöchern mit Harzen vorsehen, beschreibt das vorliegende Kapitel die Eigenschaften der verwendeten Materialien, die Ausführung der Harzinjektionen und die Prüfungen.

Die Harzinjektionen haben den Zweck, die Umwelt so wenig wie möglich zu beeinflussen und zwar was die Drainagefunktion des

## 4 INIEZIONI DI RESINE

### 4.1 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

Con riferimento agli elaborati grafici di progetto esecutivo relativi Tipo 4 degli interventi particolari di consolidamento ed impermeabilizzazione ([15], [16]) che prevedono, delle iniezioni radiali comprendenti fori primari e secondari, entrambi iniettati con resine, nel presente capitolo si illustrano le caratteristiche dei materiali impiegati, le modalità di esecuzione delle iniezioni di resine e le prove di verifica.

La realizzazione di iniezioni con resine avrà la finalità di tipo ambientale relativa alla limitazione del drenaggio operato dallo

Ausbruchs der verschiedenen Tunnel betrifft, um den Negativeffekt der Ausbrüche auf das Vorhandensein von Grundwasser so weit wie möglich zu minimieren (vor allem im Abschnitt der Untertunnelung des Pfitschertals).

#### 4.2 EIGENSCHAFTEN DER MATERIALIEN

Es werden Polyurethanharze und Organomineralharze aus zwei Komponenten und nicht umweltgefährdend mit folgenden Eigenschaften verwendet:

- Expansionsfaktor  
F < 30
- Viskosität  
< 300 mPa x s bei 23°

Das zwei Komponenten Polyurethanharz ist lösungsmittelfrei und ist zur Abdichtung von großen Wassereintritten und für die Stabilisierung von Böden im Allgemeinen geeignet. Es reagiert immer; bei Wasser bildet sich ein fester Schaum; ohne Wasser reagiert es und bildet ein hartes und undurchlässiges Harz. Die Reaktion erfolgt in beiden Fällen sehr schnell und ist in kurzer Zeit abgeschlossen. Verschiedene Beschleuniger ermöglichen es dem Produkt Schaum mit unterschiedlichen Eigenschaften zu bilden, wobei die Komponenten A und B immer im Volumenverhältnis von 1:1 gemischt werden. Die Illustration 13 zeigt im ersten Fall (a), dass die Mischung eine heftige Reaktion mit bedeutender Volumenentwicklung (Expansionsfaktor 10-20) zeigt und dass ein Schaum mit einer mittleren - geschlossenen Zellstruktur mit hohem Expansionsfaktor gebildet wird. Im zweiten Fall (b, Illustration 13) hat man eine schnelle Reaktion und Bildung von dichter und fester Schaum mit geringer Volumenentwicklung (Expansionsfaktor 4-8) und Bildung einer geschlossenen Zellstruktur mit hoher mechanischen Festigkeit.

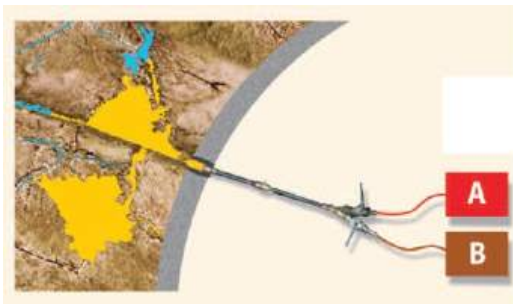


Abbildung 13 Polyurethanharzmischungen: Fall a und Fall b.

Die zwei Komponenten Organomineralharze sind lösungsmittelfrei, feuerbeständig, hoch reagierend, geeignet, um Leer- und Hohlräume schnell zu verfüllen und für die Verbesserung von geschichteten, stark geklüftetem und gestörtem Untergrund. Es braucht kein Wasser, um eine Schaumreaktion hervorzurufen. Es ist nicht brennbar und löscht sich von selbst. Es durch einen hohen freien volumetrischen Expansionsfaktor (20 ÷ 30) gekennzeichnet. Wie alle stark reagierenden Schaumbilder mit hohem volumetrischen Expansionsfaktor, kann sie auch für eine schnelle zeitweilige Abdichtung von Wasseraustritten eingesetzt werden. Die Komponenten A und B werden im Volumenverhältnis von 1:1 gemischt und brauchen dann keinen Beschleuniger mehr.

scavo delle diverse gallerie, riducendo ai minimi termini ogni possibile effetto negativo degli scavi sulla presenza degli acquiferi (in modo particolare nella tratta di sottoattraversamento della val Vize).

#### 4.2 CARATTERISTICHE MATERIALI

Verranno utilizzate resine poliuretaniche o organominerali bicomponenti non inquinanti caratterizzate dalle seguenti proprietà:

- Fattore di espansione  
F < 30
- Viscosità  
< 300 mPa x s a 23°

La resina poliuretaniche bicomponente priva di solventi, è indicata per il tamponamento di copiose venute d'acqua e per il consolidamento di terreni in genere. Reagisce sempre: in presenza d'acqua dà origine ad una schiuma consistente; in assenza reagisce formando una resina solida e impermeabile. La reazione, in entrambi i casi, è molto rapida e si completa in tempi brevi. Diversi tipi di accelerante consentono al prodotto di originare schiume aventi caratteristiche differenti, mescolando i componenti A e B sempre in rapporto volumetrico 1:1. Con riferimento alla Illustrazione 13, nel primo caso (caso a), la miscela manifesta una rapida reazione con elevato sviluppo volumetrico (fattore di espansione 10-20) e viene prodotta una schiuma con struttura a celle medio - chiuse e con elevato fattore di espansione. Nel secondo caso (caso b) mostrato nella Illustrazione 13 si ha una rapida reazione con sviluppo di schiuma densa e consistente a ridotto aumento volumetrico (fattore di espansione 4 - 8) con la produzione di una schiuma con struttura a celle chiuse ad elevata resistenza meccanica.

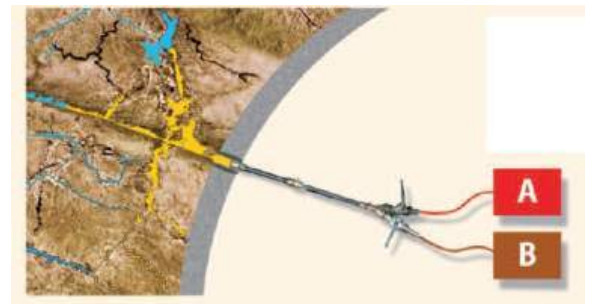


Illustrazione 13 Miscela di resine poliuretaniche: caso a e caso b.

Le resina organo-minerale bicomponente è priva di solventi, resistente al fuoco, altamente reattiva, indicata per il rapido riempimento di vuoti e cavità, e per il consolidamento di supporti stratificati, altamente fessurati e rimaneggiati. Non necessita di acqua per innescare la reazione schiumosa. Non è infiammabile ed è autoestinguente. E' caratterizzata da un elevato fattore di espansione volumetrica libera (20 ÷ 30). Come tutti gli schiumogeni ad alta reattività ed elevato fattore di espansione volumetrico, può essere impiegata anche per un rapido tamponamento temporaneo di venute d'acqua. Componente A e componente B, una volta mescolati in rapporto volumetrico 1:1, non richiedono l'utilizzo di alcun accelerante.

#### 4.3 AUSFÜHRUNG

Die Bohrungen für die Harzinjektionen brauchen einen kleineren Durchmesser als die für die Zementmischungen. In diesem Falle reichen Bohrlöcher von 2" Durchmesser. Die Injektionen erfolgen mittels einfachem Packer im Vortrieb oder im Rückzug, je nach Stabilitätsbedingungen des Bohrlochs. Der Druck und das Volumen der Injektion müssen mittels Versuchen vor Ort bestimmt werden. Als indikativer Wert des limitierenden Volumens kann man  $V_{\max} = 50 \text{ l / m}$  annehmen.

Die Illustration 14 zeigt das Schema des Mischkopfes der beiden Komponenten.

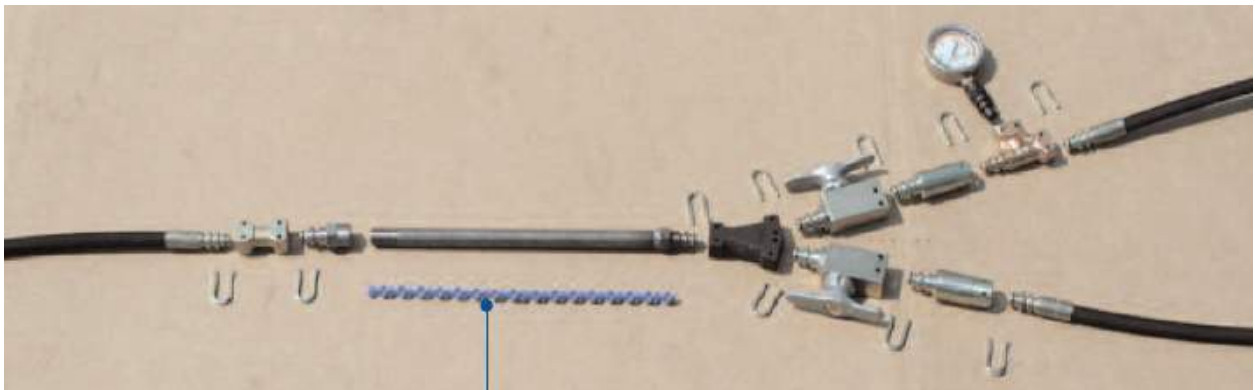


Abbildung 14 Schema des Mischkopfes der beiden Komponenten.

Nachfolgend werden auch die grundlegenden Spezifikationen der Pumpvorrichtungen angegeben:

- volumetrisches Verhältnis der Mischung der 2 Komponenten immer 1:1
- hoher Injektionsdruck (>100 bar, oft >150 bar)
- hohe Schüttungskapazität im Falle der Injektionen zur Abdichtung von konzentrierten Wassereinbrüchen.
- einfache Verwendungsweise auch unter schwierigsten Bedingungen
- Druckluft.

#### 4.4 PRÜFVERSUCHE

Neben den vorher genannten vor Ort Versuchen, führt man zur Prüfung des Abdichtungseingriffes vorzugsweise Kernbohrungen mit Durchlässigkeitsversuchen nach Lugeon durch.

Die Interpretation der Durchlässigkeitsversuche nach Lugeon erfolgt mit der Methode von Housby (1976), die nachfolgend erläutert wird.

Die von Housby vorgeschlagene Methode besteht aus folgenden Punkten.

- 1) Ausführung des Versuchs mit Durchführung der folgenden 5 Druckstufen, jede dauert 10 Minuten:
  - Die erste Stufe dauert 10 Minuten und der Druck ist gering (Druck "a").
  - Die zweite Stufe dauert 10 Minuten und der Druck ist

#### 4.3 MODALITÀ ESECUTIVE

Le perforazioni per l'iniezione delle resine saranno caratterizzate da un diametro inferiore a quello adottato per le iniezioni cementizie. In questo caso saranno sufficienti dei fori del diametro di 2". Le iniezioni verranno effettuare con un otturatore semplice in ritorno o avanzamento a seconda delle condizioni di stabilità del foro. La pressione e il volume di iniezione dovranno essere determinati mediante prove in sito. Come valore indicativo del volume limitante si può assumere un valore pari a  $V_{\max} = 50 \text{ l / m}$

Nella Illustrazione 14 è mostrato lo schema della testa di mescolazione dei due componenti.

Illustrazione 14 Schema della testa di muscolazione dei due componenti.

Di seguito sono inoltre riportate le specifiche fondamentali delle attrezzature di pompaggio:

- rapporto volumetrico della mescolazione dei prodotti bicomponenti sempre 1:1
- alta pressione di iniezione (>100 bar, spesso >150 bar)
- alta capacità di portata quando si tratta delle iniezioni per tamponare le venute concentrate d'acqua
- semplicità da utilizzare anche nelle condizioni più difficili
- aria compressa.

#### 4.4 PROVE DI VERIFICA

Oltre alle altre prove in sito descritte nei precedenti capitoli, per la verifica dell'intervento di impermeabilizzazione si adotta preferibilmente l'esecuzione di sondaggi a carotaggio continuo con prove di permeabilità Lugeon.

Per l'interpretazione delle prove di permeabilità Lugeon verrà adottato il metodo proposto da Housby (1976), di seguito descritto.

Il metodo proposto da Housby contempla i seguenti punti.

- 2) Esecuzione della prova realizzando i seguenti 5 successivi gradini di pressione, ciascuno della durata di 10 minuti:
  - Il primo gradino, della durata di 10 minuti, a bassa pressione (definita pressione "a").
  - Il secondo gradino, della durata di 10 minuti, ad una

mittel (Druck "b").

- Die dritte Stufe dauert 10 Minuten und der Druck entspricht dem höchsten Peak-Druck (Druck "c").
- Die vierte Stufe dauert 10 Minuten und der Druck ist gering (wieder Druck "b").
- Die fünfte Stufe dauert 10 Minuten und der Druck ist gering (wieder Druck "a").

3) Für jede Druckstufe errechnet man die jeweilige Lugeon Einheit nach folgender Formel:

$$\text{Lugeon Einheit} = \frac{\text{Aufnahme in Litern/ Meter/Minute} \times 10 \text{ kg/cm}^2}{\text{pressione utilizzata durante la prova in kg/cm}^2}$$

5) Nach Errechnung der fünf Lugeon Einheiten, die den fünf Druckstufen entsprechen, werden diese untersucht und überprüft und dann wird die Lugeon Einheit ausgewählt, die für den ganzen Versuch repräsentativ ist. Die Illustration 15 zeigt die Kriterien, aufgrund deren die repräsentative Lugeon Einheit für den gesamten Versuch ausgewählt wird.

pressione media (definita pressione "b").

- Il terzo gradino, della durata di 10 minuti, alla massima pressione di picco (definita pressione "c").
- Il quarto gradino, della durata di 10 minuti, alla pressione media (definita ancora pressione "b").
- Il quinto gradino, della durata di 10 minuti, a bassa pressione (definita ancora pressione "a").

4) Per ogni gradino di pressione si calcola il relativo valore di Unità Lugeon secondo la seguente formula:

$$\text{Unità Lugeon} = \frac{\text{assorbimento in litri/metro/minuto} \times 10 \text{ kg/cm}^2}{\text{pressione utilizzata durante la prova in kg/cm}^2}$$

6) Una volta calcolati i cinque valori di Unità Lugeon, relativi ai cinque gradini di pressione, essi sono esaminati e confrontati e conseguentemente viene scelto il valore di Unità Lugeon che si ritiene rappresentativo dell'intera prova. La Illustrazione 15 mostra i criteri in base ai quali viene scelto il valore di unità Lugeon rappresentativo della prova.

	TEST PRESSURE	LUGEON PATTERN (Lugeons calculated for each 10 minute run)	CHARACTERISTICS OF THE LUGEON PATTERN AND INTERPRETATION OF IT	WHICH OF THE LUGEON VALUES IN THE PATTERN SHOULD BE USED AS THE REPORTED PERMEABILITY
<b>GROUP A - LAMINAR FLOW</b>				
1ST	Ten minute run		ALL 5 LUGEONS ARE ABOUT EQUAL HENCE LAMINAR FLOW	USE THE AVERAGE OF THE FIVE LUGEONS
2ND				
3RD				
4TH				
5TH				
<b>GROUP B - TURBOLENT FLOW</b>				
1ST	Ten minute run		LOWEST LUGEON VALUE OCCURING AT HIGHEST PRESSURE HENCE TURBOLENT FLOW	USE THE LUGEON VALUE FOR THE HIGHEST PRESSURE
2ND				
3RD				
4TH				
5TH				
<b>GROUP C - DILATION</b>				
1ST	Ten minute run		HIGHEST LUGEON OCCURING AT HIGHEST PRESSURE HENCE DILATION	USE THE LUGEON VALUE FOR THE LOWEST (OR MEDIUM) PRESSURES
2ND				
3RD				
4TH				
5TH				
<b>GROUP D - WASH - OUT</b>				
1ST	Ten minute run		LUGEONS INCREASING AS TEST PROCEEDS HENCE THE TEST IS CAUSING CHANGES TO THE ROCK MASS	USE THE HIGHEST LUGEON VALUE
2ND				
3RD				
4TH				
5TH				
<b>GROUP E - VOID FILLING</b>				
1ST	Ten minute run		LUGEONS DECREASING AS TEST PROCEEDS HENCE THE TEST IS GRADUALLY FILLING EXTENSIVE VOIDS	USUALLY USE THE FINAL LUGEON VALUE
2ND				
3RD				
4TH				
5TH				

Abbildung 15 Interpretation der Lugeon-Versuche [24]

Illustrazione 15 Interpretazione delle prove Lugeon [24].

## 5 DRÄNAGEN

### 5.1 BESCHREIBUNG DES EINGRIFFES UND SEINES ZIELS

Die Typologien 2 und 3 der besonderen Verbesserungs- und Abdichtungsmaßnahmen sehen die Ausführung eines eigens dafür bestimmten Entwässerungseingriffes vor, der aus Bohrlöchern von 30 m nach jeden 15 m des Vortriebs laut Geometrien aus den graphischen Unterlagen besteht. Die Entwässerungsbohrungen, die in der Nähe der Bereiche ausgeführt werden, die durch Injektionen mit Zementmischungen behandelt werden, müssen mit einem PVC Rohr ausgestattet werden, dessen zementierter, nicht geschlitzter Teil 20 m lang und der mikrogeschlitzte Teil 10 m lang ist, wobei beide durch einen Packer getrennt sind.

Die Dränagen, die über die Ortsbrust hinausgehen, fangen den Wasserfluss des Gebirges ab und zwar am Umfang des Vortriebkerns des Tunnel. Das führt dazu, dass kein Wasser im Kern zirkuliert und dass der Wasserdruck vermindert wird, was die folgenden Injektionen möglich macht. So werden schließlich auch die natürlichen Scher- und Verformungsparameter des Vortriebkerns verbessert, was zu einer spürbaren vorläufigen Hohlraumstützung führt.

Daher ist es grundlegend, dass die Dränagen rigoros außerhalb des Kerns angebracht werden, an der Außenseite des Umfangs der Ausbruchsschnitts, der Geometrie eines kegelstumpfförmigen Schirmes folgend (siehe graphische Unterlagen der verschiedenen Eingriffe, die von der Ausführungsplanung des Brenner Basistunnels vorgesehen sind). Dieser muss hintereinander mit dem Vortrieb der Ortsbrust ausgeführt werden, damit der Kern immer vollständig geschützt ist.

Das heißt, dass man abwechselnd am Vortrieb arbeitet und dann die Dränagen anbringt, um so eine durchgehende Reihe von überlappenden kegelstumpfförmigen Schirmen erhält. Die Überlappung darf nicht geringer als der Durchmesser des Tunnels sein.

### 5.2 AUSFÜHRUNG

#### 5.2.1 Bohrung und Installation der Dränagerohre

Die Anbringung der Dränagen erfolgt an der stillstehenden Ortsbrust, durch Zerstörungsbohrungen von 101 mm Durchmesser, in die das Dränagerohr eingefügt wird. Dieses besteht aus PVC und weist einen mikrogeschlitzten Abschnitt (an der Bohrlochenseite, um das Wasser zu sammeln), der mit Geotextil umhüllt ist (Vlies), um Verstopfungen zu verhindern, der Rest des Rohres ist kein Filterrohr. Dieser Teil wird im Bohrloch durch Injektionen mit Zementmischung befestigt (Illustration 16). Die beiden Abschnitte sind außen durch eine Membran getrennt, die verhindert, dass das dränierte Wasser die Injektion stört. Ein "Bohrlochpacker" wird außen an das Rohr angebracht und durch die Zementmischung durch ein eigens an der Rohrwand angebrachtes Ventil aufgeblasen, unmittelbar ober der Membran. Dieser erlaubt es, bei der Injektion den Filterabschnitt vom Nichtfilterabschnitt zu isolieren.

Was die Zementierung des Nichtfilterabschnittes betrifft, so kann der Auftragnehmer der Bauleitung ein einfacheres Zementierverfahren als das der Maßnahme 1 (Injektionsrohre

## 5 DRENAGGI

### 5.1 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO E SUE FINALITÀ

Le tipologie 2 e 3 degli interventi particolari di consolidamento ed impermeabilizzazione prevedono l'esecuzione di un apposito intervento di drenaggio con fori della lunghezza di 30 m, ogni 15 m di avanzamento secondo le geometrie indicate negli elaborati grafici. Le perforazioni di drenaggio eseguite in prossimità delle zone da trattare con iniezioni cementizie, devono essere attrezzate con tubo in PVC avente un tratto cieco cementato di lunghezza 20 m e un tratto microfessurato di lunghezza 10 m, separati da un otturatore.

I drenaggi, lanciati oltre il fronte di scavo, intercetteranno il flusso dell'acqua nell'ammasso roccioso, al contorno del nucleo d'avanzamento della galleria, col risultato d'impedire la circolazione idrica all'interno del nucleo – contorno e di abbattere la pressione idraulica, rendendo possibili le successive iniezioni. Si migliorano, di conseguenza, anche le caratteristiche di resistenza e deformabilità naturali del nucleo d'avanzamento, mettendolo in grado di esercitare un'apprezzabile azione di precontenimento del cavo.

A questo scopo, è fondamentale che i dreni siano posizionati (si veda gli elaborati grafici dei diversi interventi previsti dalla progettazione esecutiva della galleria di base del Brennero) rigorosamente all'esterno del nucleo, all'estradosso del perimetro della sezione di scavo, secondo una geometria a ombrello tronco – conico, da ripetere in sequenza, al procedere dell'avanzamento del fronte, in modo da mantenere il nucleo sempre completamente protetto.

In pratica, occorre alternare le fasi d'avanzamento del fronte e d'esecuzione dei dreni, in modo tale da ottenere una successione continua di ombrelli tronco – conici sovrapposti l'un l'altro per un tratto non inferiore al diametro della galleria.

### 5.2 MODALITÀ ESECUTIVE

#### 5.2.1 Perforazione e installazione dei tubi drenanti

La posa in opera del drenaggio avviene a fronte fermo, previa realizzazione a distruzione di nucleo di fori del diametro di 101 mm entro cui viene inserito il tubo drenante. Quest'ultimo, di PVC, presenta un primo tratto microfessurato (lato fondo foro, per la captazione delle acque), ricoperto da una calza di geotessile (tessuto non tessuto) onde evitarne l'intasamento, e un secondo tratto cieco, che viene solidarizzato alle pareti del foro tramite iniezioni di miscela cementizia (Illustrazione 16). I due tratti sono separati esternamente da una membrana che impedisce alle acque drenate di ostacolare le operazioni d'iniezione. Un "sacco otturatore", posizionato esternamente al tubo e gonfiato dalla miscela cementizia attraverso una valvola appositamente posizionata sulla parete del tubo, immediatamente a monte della membrana, permette, al momento delle iniezioni di inghisaggio, d'isolare il tratto cieco da quello attivo.

Per quanto concerne la cementazione del tratto cieco, l'Appaltatore potrà proporre alla Direzione Lavori per

und Luftablassrohre, Fasen am Bohrlochkopf) zur Genehmigung vorschlagen.

Aus operativer Sicht, besteht die Anbringung der Dränagen aus folgenden Schritten:

1. Ausführung der Bohrung unter Einhaltung der Geometrie laut Projekt. Die verwendeten Gerätschaften müssen, wenn möglich, den folgenden grundlegenden Ansprüchen gerecht werden:
  - Möglichkeit, ohne Rangieren des Bohrgestänges, Bohrungen ohne provisorischer Ummantelung von bis zu 15 m Länge durchzuführen, wobei genau die für diese Anwendung typische, kegelstumpfförmige Geometrie eingehalten muss, die in der Projektphase ausgearbeitet wurde;
  - rotierender Bohrkopf mit Durchlass und begrenzter Größe zur Außenseite hin im Verhältnis zur Bohrachse;
  - Gleitschlitten muss ausreichend starr sein, Führungseinheiten des Bohrgestänge und die Anlagen für den Stillstand der Gerätschaften müssen so gestaltet sein, dass die vorgeschriebenen Geometrietoleranzen eingehalten werden.

Die Bohrungen müssen mit Werkzeugen erfolgen, die den vom Projekt vorgeschriebenen Durchmesser (101 mm) erreichen und die nachfolgenden Schritte der Einfügung der perforierten Rohre ermöglichen. Falls die Bohrlochwände nicht von selbst so lange standsicher sind, damit das Dränagerohr eingefügt werden kann, so muss die Bohrung mit abwechselndem Vortrieb eines provisorischen Mantelrohres erfolgen, das bis zur Anbringung der Dränage im Bohrloch bleibt. In diesem Fall, bei hohen Schüttungen und Drücken, kann man den perfekten Halt am Bohrlochkopf durch eine rohrförmige Verbindung mit innerem Verschluss (an das sich das Bohrrohr koppelt) erreichen. Außerdem gibt es einen externen Abflussmund, der die kontrollierte Ableitung der Gesteinstrümmel erlaubt sowie die Auslösung von Geschiebetransport verhindert. Wenn notwendig, so erlaubt die rohrförmige Verbindung, auch Preventer genannt, eine schnelle Schließung des Bohrlochs, falls es zu unkontrolliertem Zurückfließen von Wasser und/oder Bodenpartikeln kommt. Man empfiehlt den Preventer starr mit dem Gebirge durch geeignete Zementation zu verbinden (Illustrazione 17).

2. Einführung des Dränagerohrs in das Bohrloch, umhüllt mit Geotextil um die Schlitz vor Verstopfung zu schützen und Aktivierung des Rohrs. Falls die Bohrlochwände keine Standsicherheitsprobleme aufweisen, kann das mikroperforierte Rohr nach seiner Anbringung einfach gefast und außen versiegelt werden. Das gesammelte Wasser muss in Rohre geleitet werden und weit weg vom Schild der TBM abgeleitet werden. Ansonsten, vor allem bei Arbeiten unter hohem Druck, muss man eine provisorisch Ummantelung vorsehen und schließlich, die folgenden Schritte:
  - Einfügen des geschlitzten Rohrs in die Mantelrohre;
  - Einholung der Mantelrohre auf einer Länge, die dem geschlitzten Abschnitt des Dränagerohrs und des Bohrlochpacker entspricht, damit dieses direkt in

approvazione un sistema di cementazione più semplice del tipo di quello adottato per l'intervento Tipo 1 (tubi di iniezione e di sfiato e cianfrinatura a boccaforo).

Dal punto di vista operativo, l'installazione dei dreni si articola secondo le seguenti fasi:

1. Esecuzione della perforazione, nel rispetto delle geometrie indicate dal progetto. L'attrezzatura impiegata deve rispondere, se possibile, ai seguenti requisiti fondamentali:
  - possibilità di eseguire, senza manovra d'asta, perforazioni con rivestimento provvisorio fino a 15 m di lunghezza, rispettando fedelmente la geometria tronco – conica, tipica dell'applicazione, studiata in fase progettuale;
  - testa di rotazione con foro passante e con ingombro verso l'estradosso limitato rispetto all'asse di perforazione;
  - slitta di scorrimento di costruzione sufficientemente rigida, dispositivi di guida delle aste e apparecchi di stazionamento dell'attrezzatura tali da assicurare il rispetto delle tolleranze geometriche prescritte.

La perforazione deve essere realizzata impiegando utensili atti a ottenere fori del diametro prescritto dal progetto (101 mm) e a consentire la regolarità delle successive operazioni d'inserimento dei tubi fessurati. Qualora le pareti del foro non siano in grado di autosostenersi per il tempo necessario all'inserimento del dreno, la perforazione dovrà essere eseguita tramite l'avanzamento alternato di un tubo di rivestimento provvisorio, da mantenere in opera fino ad avvenuto inserimento del dreno. In tal caso quando la portata e la pressione dell'acqua sono elevate, la perfetta tenuta a boccaforo si può ottenere predisponendo un raccordo tubolare munito di premistoppa interno (al quale si accoppia a tenuta il tubo di perforazione) e di una bocca di deflusso esterna, atta a consentire la fuoriuscita controllata dei detriti di perforazione e a evitare l'innesco di fenomeni di trasporto solido. Se necessario, il raccordo tubolare, detto anche preventer, permette di chiudere rapidamente il foro nel caso di verifiche di rifluimenti incontrollati d'acqua e/o particelle di terreno. E' consigliabile che il preventer sia rigidamente connesso all'ammasso roccioso circostante mediante opportuna cementazione (Illustrazione 17).

2. Inserimento nel foro del tubo drenante, ricoperto dalla calza di geotessile per proteggere le fessure dall'intasamento, e sua attivazione. Se le pareti del foro non danno luogo a problemi di stabilità, il tubo microfessurato, dopo l'inserimento, può essere semplicemente cianfrinato e sigillato all'esterno, mentre l'acqua captata deve essere intubata e opportunamente convogliata lontano dalla zona dello scudo della TBM. Altrimenti, specie lavorando sotto pressioni elevate, si deve prevedere il rivestimento provvisorio e, quindi, le seguenti operazioni:
  - inserimento del tubo fessurato entro il rivestimento provvisorio;
  - recupero del tubo di rivestimento del foro per un lunghezza pari a quella costituita dal tratto fessurato



Kontakt mit den Bohrlochwänden kommt;

- Aufblasen des Bohrlochpackers mit einer Mischung von kontrolliertem Druck, durch das jeweilige Ventil injiziert. Nach Überprüfung des Aufblasens des Packers, wird der Injektionsdruck beibehalten, bis sich die Zementmörtelmischung im Sack erhärtet; schließlich werden alle Mantelrohre entfernt und sofort der Nichtfilterabschnitt durch Injektion vom oberen Ventil aus verstopft;
- Bruch der Membran am Bohrlochpacker durch Einführung eines normalen, starren Bohrgestänges in das Dränagerohr.

3. Kontrolle des korrekten Funktionierens der Dränage. Diese Kontrolle wird sofort nach Anbringung der Dränage durchgeführt und dann periodisch während der gesamten Gebrauchsdauer.

### 5.2.2 Ummantelung des geschlitzten Abschnittes

Der geschlitzte Abschnitt muss normalerweise mit einer dünnen Schicht von Geotextil umhüllt werden, dessen Eigenschaften den folgenden entsprechen:

- Einheitsmasse:  $\geq 400 \text{ g/m}^2$ ;
- Dicke:  $\geq 3,0 \text{ mm}$  zu  $2 \text{ kPa}$ ;  $\geq 1,9 \text{ mm}$  zu  $200 \text{ kPa}$  (CNR-BU n° 110-111);
- Zugfestigkeit auf Streifen von  $20 \text{ cm}$ :  $\geq 24 \text{ kN/m}$  (CNR-BU n° 142);
- Prozentuelle Längung des Bruchs:  $\geq 80\%$  (CNR-BU n° 142);
- Widerstand gegen Zerreißen  $\geq 1,4 \text{ kN}$  (CNR-BU n° 143);
- Widerstand gegen Durchstanzen:  $\geq 4,0 \text{ kN}$  (UNI 8279/13);
- radiale Durchlässigkeit für Wasser:  $\geq 0,3 \text{ cm/s}$  zu  $2 \text{ kPa}$ ;  $\geq 0,03 \text{ cm/s}$  zu  $200 \text{ kPa}$  (UNI 8279/14).

Die Versuche zur Überprüfung der Eigenschaften der dünnen Geotextilschicht müssen alle  $15.000 \text{ m}^2$  des Vliesstoffs erfolgen, der eingebaut wird.

### 5.2.3 Spülung und Wartung der Dränagen

Nach der Anbringung muss die Dränage mit Wasser gespült werden mittels einer Lanze mit metallischen Ende, auf dem Düsen zum radialen Wasseraustritt; die Lanze muss innerhalb des Rohres dank richtig gelegener Polster bewegt werden, um die Dränage vor Schäden zu schützen.

Das Ausspülen muss vom Dränageende bis zum Anfang erfolgen, graduell und fortlaufend, nachdem der Austritt von klarem Wasser vom Bohrlochkopf beobachtet wird.

Das Ausspülen muss so oft wiederholt werden, bis ein natürlicher, "umgekehrter Filter" in der Umgebung der Dränage entsteht. Somit garantiert man, dass es in der Betriebsphase bei der Entwässerung nicht zu Geschiebetransport kommt.

del dreno e del sacco otturatore, in modo tale che quest'ultimo possa entrare direttamente a contatto con le pareti del foro;

- gonfiaggio del sacco otturatore con miscela a pressione controllata, iniettata, attraverso la relativa valvola. Verificato l'avvenuto gonfiaggio del sacco, la pressione d'iniezione viene mantenuta fin quando la malta cementizia entro il sacco otturatore ha fatto presa; si procede, quindi, alla completa estrazione del tubo del rivestimento e all'immediata esecuzione dell'iniezione di intasamento del tratto cieco del dreno, a partire dalla valvola superiore;
- rottura della membrana interna sita in corrispondenza del sacco otturatore mediante introduzione nel dreno di una normale asta rigida.

3. Controllo del corretto funzionamento del dreno. Questo controllo sarà eseguito subito dopo la posa in opera del drenaggio e, periodicamente, durante tutto il periodo di utilizzo.

### 5.2.2 Rivestimento tratto finestrato

Il tratto filtrante dovrà di norma essere rivestito con un foglio di geotessile, le cui caratteristiche dovranno essere conformi a quelle di seguito specificate:

- massa unitaria:  $\geq 400 \text{ g/m}^2$ ;
- spessore:  $\geq 3,0 \text{ mm}$  a  $2 \text{ kPa}$ ;  $\geq 1,9 \text{ mm}$  a  $200 \text{ kPa}$  (CNR-BU n° 110-111);
- resistenza a trazione su striscia di  $20 \text{ cm}$ :  $\geq 24 \text{ kN/m}$  (CNR-BU n° 142);
- allungamento percentuale della rottura:  $\geq 80\%$  (CNR-BU n° 142);
- resistenza alla lacerazione:  $\geq 1,4 \text{ kN}$  (CNR-BU n° 143);
- resistenza al punzonamento:  $\geq 4,0 \text{ kN}$  (UNI 8279/13);
- permeabilità radiale all'acqua:  $\geq 0,3 \text{ cm/s}$  a  $2 \text{ kPa}$ ;  $\geq 0,03 \text{ cm/s}$  a  $200 \text{ kPa}$  (UNI 8279/14).

Le prove per la verifica delle caratteristiche del foglio di geotessile devono essere eseguite ogni  $15.000 \text{ m}^2$  di tessuto non tessuto posto in opera.

### 5.2.3 Lavaggio e manutenzione dei dreni

Successivamente alla installazione, il dreno deve essere lavato con acqua mediante una lancia con tratto terminale metallico dotato di ugelli per la fuoriuscita radiale del liquido; la lancia deve scorrere entro il tubo grazie a dei cuscinetti opportunamente disposti e tali da prevenire ogni danneggiamento del dreno.

Il lavaggio deve essere eseguito a partire dal fondo del dreno risalendo a giorno in forma graduale e progressiva dopo aver osservato la fuoriuscita di acqua limpida da bocca foro.

Il lavaggio deve essere ripetuto fino a quando non viene realizzato un "filtro rovescio" naturale nel terreno circostante il dreno, in modo tale da assicurare che nella fase di esercizio il drenaggio delle acque non sia accompagnato da fenomeni di trasporto solido.

Nach Anbringung und Spülung muss jede Dränage so erhalten werden, dass man den Bohrlochkopf für periodische Kontrollen und Schüttungsmessungen erreicht.

#### 5.2.4 Dokumentation und Kontrollen

Für jeden installierte Dränage muss der Auftragnehmer ein eigens dafür vorgesehenes Formular mit folgenden Informationen ausfüllen:

- Identifizierung;
- Größe des Bohrloches und der installierten Dränage;
- geometrische Übersicht der Installierung und der eventuellen Zementierung;
- Ergebnisse der Spülung.

Die Abweichung am Lageplan von der Projektlage darf nicht 10 cm überschreiten, mit Ausnahme der Genehmigung bei besonderen Fällen von höheren Werten von Seiten der Geschäftsführung.

Während der Verwendung der Dränage müssen außerdem folgende Daten aufgenommen und registriert werden:

- entnommene Schüttung;
- Messung der festen Fraktion in Suspension;
- Messung der Länge des Dränagerohrs, das effektiv frei und begehbar ist.

A installazione e lavaggio avvenuti, ogni dreno deve essere mantenuto in modo da permettere l'accesso alla bocca per periodiche ispezioni e misure della portata di acqua emunta.

#### 5.2.4 Documentazione e controlli

Per ogni dreno installato l'Appaltatore deve compilare un'apposita scheda contenente le seguenti informazioni:

- identificazione;
- caratteristiche dimensionali del foro realizzato e del dreno installato;
- schema geometrico dell'installazione e della eventuale cementazione;
- risultati visivi del lavaggio.

La discordanza planimetrica dalla posizione di progetto non deve essere superiore a 10 cm, salvo eventuale approvazione, per casi particolari, di valori più elevati da parte della Direzione Lavori.

Durante l'utilizzo del dreno devono inoltre essere rilevati e registrati i seguenti dati:

- la portata d'acqua emunta;
- la misura della frazione solida in sospensione;
- la misura della lunghezza di tubo drenante effettivamente libera e percorribile.

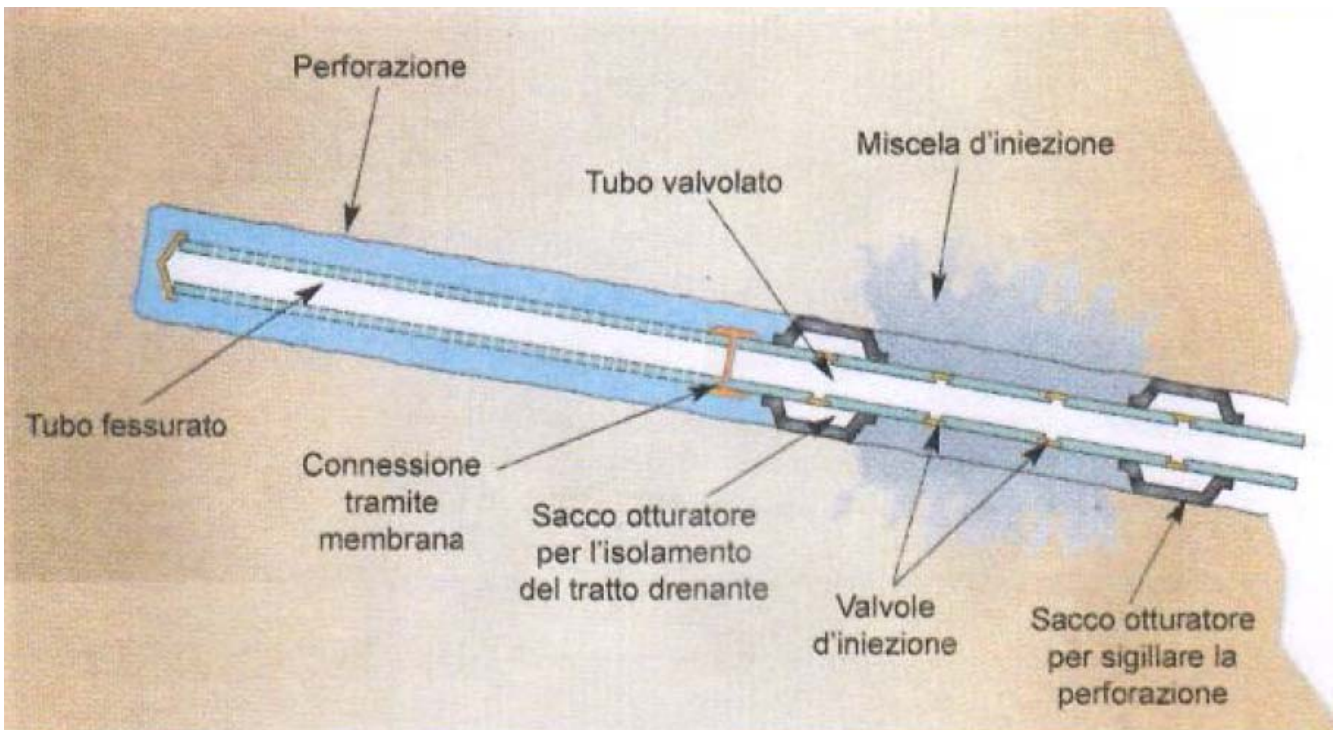


Abbildung 16 Installierungsübersicht der Dränagen mit geschlitztem Abschnitt und nicht geschlitztem Abschnitt, durch Packer isoliert. (Lunardi, 2006)

Illustrazione 16 Schema di installazione di dreni con tratto fessurato e tratto cieco isolato da opportuni otturatori (Fonte: Lunardi, 2006).

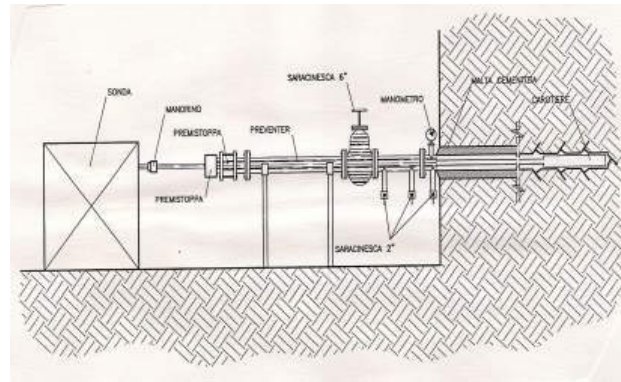


Abbildung 17 Übersichtsschema, nicht maßstäblich einer Bohrung /Dränage zur hydrogeologischen Vorauserkundung, die mit einem Preventersystem ausgestattet ist.

Illustrazione 17 Schema illustrativo, fuori scala, di sondaggio / dreno di prospezione idrogeologica attrezzato con preventer.

## 6 VERZEICHNISSE

### 6.1 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1	Eigenschaften des Gebirges, die notwendig sind die Verfahren und Ausführung der Injektionen zu bestimmen (Quelle [25])...... 8
Abbildung 2	Diagramme des Qualitätsindex Q mit den dazugehörigen Werten Qc, Vp, Emass und der Durchlässigkeitswerte in Lugeon Einheiten. .... 10
Abbildung 3	Korrelation zwischen Vp, Qc und des statischen Verformungsmodul Emass des Gebirges in Funktion der Tiefe und Porosität. .... 11
Abbildung 4	Beispiel der Prüfung der Steigerung der felsmechanischen Eigenschaften nach einem Eingriff mittels Zementinjektionen [22]...... 12
Abbildung 5	Tätigkeiten des Planungs- und Bauprozesses im Hinblick auf die Ausführung der besonderen Verbesserungs- und Abdichtungsmaßnahmen des Gebirges..... 13
Abbildung 6	Installationsschema innerhalb des Bohrloches einer rohrförmigen Bewehrung aus Glasfaserkunststoff. .... 16
Abbildung 7	TBM mit Einzelschild ..... 18
Abbildung 8	Installierungsschema der Bohrlochpacker für die Injektionen mit MPSP- System. .... 21
Abbildung 9	Begrenzung des Injektionsprozesses: a) traditionelle Methode; b) Gin-Methode mit Möglichkeit die Grenzen des Drucks und des Volumens zu erhöhen, ohne das Risiko der hydraulischen Frakturierung zu erhöhen (Quelle: [26]). .... 23
Abbildung 10	Indikative GIN-Grenzen (Quelle: [26]). .... 24
Abbildung 11	Hypothese der GIN-Grenzen für die Injektionen in Gebirge, bei der die Maßnahmen 2 und 3 vorgesehen sind. .... 25
Abbildung 12	(a) Beispiel der Zunahme der Geschwindigkeiten der Kompressionswellen beim Gebirge an den Gründungen eines Dammes durch Konsolidierung mittels Zementmischungen; (b) Bewertung der Wirkungskraft (I: ausgezeichnet, II: gut, III: befriedigend, IV: unbefriedigend) der Konsolidierungseingriffe des Gebirges mittels Zementmischungen an den Gründungen der Bogenstaumauer von Inguri aufgrund der Messung der Geschwindigkeit der Kompressionswellen vor (V0) und nach dem Eingriff (V1). .... 26
Abbildung 13	Polyurethanharzmischungen: Fall a und Fall b..... 27
Abbildung 14	Schema des Mischkopfes der beiden Komponenten..... 28
Abbildung 15	Interpretation der Lugeon-Versuche [24]... 29
Abbildung 16	Installierungsübersicht der Dränagen mit geschlitztem Abschnitt und nicht

## 6 ELENCHI

### 6.1 ELENCO DELLE ILLUSTRAZIONI

Illustrazione 1	Proprietà dell'ammasso roccioso necessarie per la definizione delle modalità operative di iniezione (fonte [25]). .... 8
Illustrazione 2	Diagrammi dell'indice di qualità Q con i relativi valori di Qc, Vp, Emass e dei valori di permeabilità espressi in unità Lugeon. .... 10
Illustrazione 3	Correlazione fra il valore di Vp, Qc e del modulo di deformazione statica Emass dell'ammasso roccioso in funzione della profondità e della porosità. .... 11
Illustrazione 4	Esempio di valutazione dell'incremento delle proprietà geomeccaniche dopo un intervento di iniezioni cementizie [22]. .... 12
Illustrazione 5	Attività del processo progettuale e costruttivo relativo all'esecuzione di interventi particolari di consolidamento ed impermeabilizzazione dell'ammasso roccioso. .... 13
Illustrazione 6	Schema di installazione all'interno del foro di una armatura tubolare di vetroresina..... 16
Illustrazione 7	TBM monoscudata ..... 18
Illustrazione 8	Schema di installazione dei sacchi otturatori relativi alle iniezioni con il sistema MPSP. ... 21
Illustrazione 9	Delimitazione del procedimento di iniezione: a) metodo tradizionale; b) metodo GIN con possibilità di aumentare i limiti di pressione e di volume senza aumentare il rischio di fratturazione idraulica (fonte: [26]). .... 23
Illustrazione 10	Limiti GIN da utilizzarsi come prima indicazione (fonte: [26]). .... 24
Illustrazione 11	Ipotesi dei limiti GIN per le iniezioni degli ammassi rocciosi interessati dalle tipologie di intervento 2 e 3 ..... 25
Illustrazione 12	(a) Esempio di incremento della velocità delle onde di compressione in corrispondenza dell'ammasso roccioso di fondazione di una diga per un consolidamento con miscela cementizie; (b) Valutazione dell'efficienza (I: eccellente; II: buono; III: soddisfacente; IV: insoddisfacente) degli interventi di consolidamento con miscele cementizie dell'ammasso roccioso di fondazione della diga ad arco di Inguri sulla base della misura della velocità delle onde di compressione prima (V0) e dopo l'intervento (V1). .... 26
Illustrazione 13	Miscela di resine poliuretaniche: caso a e caso b. .... 27
Illustrazione 14	Schema della testa di muscolazione dei due componenti..... 28
Illustrazione 15	Interpretazione delle prove Lugeon [24]. ... 29
Illustrazione 16	Schema di installazione di dreni con tratto fessurato e tratto cieco isolato da opportuni otturatori (Fonte: Lunardi, 2006). .... 33

	geschlitztem Abschnitt, durch Packer isoliert. (Lunardi, 2006) .....	33
Abbildung 17	Übersichtsschema, nicht maßstäblich einer Bohrung /Dränage zur hydrogeologischen Vorauserkundung, die mit einem Preventersystem ausgestattet ist.....	34

Illustrazione 17	Schema illustrativo, fuori scala, di sondaggio / dreno di prospezione idrogeologica attrezzato con preventer. ....	34
------------------	--	----

## 6.2 ANLAGENVERZEICHNIS

- ANHANG 1 - Prüfplan

## 6.3 PROJEKTSPEZIFISCHE GRUNDLAGEN

### 6.3.1 Eingangsdokumente

#### 6.3.1.1 Ausführungsprojekt Baulos Mauis 2-3

- |      |  |
|------|--|
| [1]  | 02_H61_DT_990_KTB_D0700_11115<br>Technische Vertragsbestimmungen, Ausbruchsarbeiten mit Sprengvortrieb                                   |
| [2]  | 02_H61_GD_025_GLS_D0700_23002 - Geomechanisches Prognoseprofil - C-MS - von km 12+459 bis km 17+000                                      |
| [3]  | 02_H61_GD_025_GLS_D0700_23003 - Geomechanisches Prognoseprofil - C-MS - von km 17+000 bis km 22+000                                      |
| [4]  | 02_H61_GD_025_GLS_D0700_23004 - Geomechanisches Prognoseprofil - C-MS - von km 22+000 bis km 27+217                                      |
| [5]  | 02_H61_GD_025_GLS_D0700_23007 - Geomechanisches Prognoseprofil - C-MS Ost- von km 32+047 bis km 38+000                                   |
| [6]  | 02_H61_GD_025_GLS_D0700_23008 - Geomechanisches Prognoseprofil - C-MS West - von km 38+000 bis km 44+155                                 |
| [7]  | 02_H61_GD_025_GLS_D0700_23006 - Geomechanisches Prognoseprofil - C-MS Ost- von km 32+088 bis km 38+000                                   |
| [8]  | 02_H61_GD_025_GLS_D0700_23005 - Geomechanisches Prognoseprofil - GL-MS Ost - von km 38+000 bis km 44+192                                 |
| [9]  | 02_H61_KU_015_KBN_D0700_23280 - Erkundungsstollen, Bauphasen, Besondere Eingriffe zur Sicherung C-MS, Typ 1                              |
| [10] | 02_H61_KU_015_KBN_D0700_23281 - Erkundungsstollen, Bauphasen, Besondere Eingriffe zur Sicherung und Abdichtung C-MS, Typ 2               |
| [11] | 02_H61_KU_015_KBN_D0700_23282 - Erkundungsstollen, Bauphasen, Besondere Eingriffe zur Sicherung und Abdichtung C-MS, Typ 3, Phasen 1 - 3 |
| [12] | 02_H61_KU_015_KBN_D0700_23283 - Erkundungsstollen, Bauphasen, Besondere Eingriffe zur Sicherung und Abdichtung C-MS, Typ 3, Phase 4      |

## 6.2 ELENCO APPENDICI

- APPENDICE 1 – Piano delle Prove

## 6.3 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

### 6.3.1 Documenti in ingresso

#### 6.3.1.1 Progetto Esecutivo Lotto Mules 2-3

- |      |  |
|------|--|
| [1]  | 02_H61_DT_990_KTB_D0700_11115<br>Disposizioni tecniche di contratto, Lavori in sotterraneo, Lavori di scavo tradizionale   |
| [2]  | 02_H61_GD_025_GLS_D0700_23002 - Profilo geomeccanico e progettuale di previsione - C-MS - da km 12+459 a km 17+000   |
| [3]  | 02_H61_GD_025_GLS_D0700_23003 - Profilo geomeccanico e progettuale di previsione - C-MS - da km 17+000 a km 22+000   |
| [4]  | 02_H61_GD_025_GLS_D0700_23004 - Profilo geomeccanico e progettuale di previsione - C-MS - da km 22+000 a km 27+217   |
| [5]  | 02_H61_GD_025_GLS_D0700_23007_ - Profilo geomeccanico e progettuale di previsione - GL-MS Ovest - da km 32+047 a km 38+000   |
| [6]  | 02_H61_GD_025_GLS_D0700_23008 - Profilo geomeccanico e progettuale di previsione - GL-MS Ovest - da km 38+000 a km 44+155  |
| [7]  | 02_H61_GD_025_GLS_D0700_23006 - Profilo geomeccanico e progettuale di previsione - GL-MS Est - da km 32+088 a km 38+000  |
| [8]  | 02_H61_GD_025_GLS_D0700_23005 - Profilo geomeccanico e progettuale di previsione - GL-MS Est - da km 38+000 a km 44+192  |
| [9]  | 02_H61_KU_015_KBN_D0700_23280 - Cunicolo esplorativo, Fasi di costruzione, Interventi particolari di consolidamento C-MS, Tipo 1                                   |
| [10] | 02_H61_KU_015_KBN_D0700_23281 - Cunicolo esplorativo, Fasi di costruzione, Interventi particolari di consolidamento e impermeabilizzazione C-MS Tipo 2             |
| [11] | 02_H61_KU_015_KBN_D0700_23282 - Cunicolo esplorativo, Fasi di costruzione, Interventi particolari di consolidamento e impermeabilizzazione C-MS Tipo 3, Fasi 1 - 3 |
| [12] | 02_H61_KU_015_KBN_D0700_23283 - Cunicolo esplorativo, Fasi di costruzione, Interventi particolari di consolidamento e impermeabilizzazione C-MS Tipo 3, Fase 4     |

- [13] 02\_H61\_KU\_015\_KBN\_D0700\_23284 - Erkundungsstollen, Bauphasen, Besondere Eingriffe zur Sicherung und Abdichtung C-MS, Typ 3, Phasen 5 und 6
- [14] 02\_H61\_KU\_015\_KBN\_D0700\_23285 - Erkundungsstollen, Bauphasen, Besondere Eingriffe zur Sicherung C-MS, Typ 3, Phase 7, Grundriss
- [15] 02\_H61\_KU\_015\_KBN\_D0700\_23286 - Erkundungsstollen, Bauphasen, Besondere Eingriffe zur Sicherung C-MS, Typ 3, Phase 7, Schnitt A-A
- [16] 02\_H61\_KU\_015\_KRP\_D0700\_23290 - Erkundungsstollen, Regelprofil, Spezielle Eingriffe zur Abdichtung, Typ 4
- [17] 02\_H61\_KU\_015\_KBN\_D0700\_23680 - Erkundungsstollen, Bauphasen, Besondere Eingriffe zur Sicherung GL-MS, Typ 1
- [18] 02\_H61\_KU\_015\_KBN\_D0700\_23681 - Erkundungsstollen, Bauphasen, Besondere Eingriffe zur Sicherung GL-MS, Typ 2
- [19] 02\_H61\_MO\_994\_BT B\_D0700\_17001 – Bericht über die Beweissicherungen und Vorauserkundungen im Tunnel
- [13] 02\_H61\_KU\_015\_KBN\_D0700\_23284 - Cunicolo esplorativo, Fasi di costruzione, Interventi particolari di consolidamento e impermeabilizzazione C-MS Tipo 3, Fasi 5 e 6
- [14] 02\_H61\_KU\_015\_KBN\_D0700\_23285 - Cunicolo esplorativo, Fasi di costruzione, Interventi particolari di consolidamento C-MS, Tipo 3, Fase 7 Pianta
- [15] 02\_H61\_KU\_015\_KBN\_D0700\_23286 - Cunicolo esplorativo, Fasi di costruzione, Interventi particolari di consolidamento C-MS, Tipo 3, Fase 7 Sezione A-A
- [16] 02\_H61\_KU\_015\_KRP\_D0700\_23290 - Cunicolo esplorativo, Sezioni tipo, Interventi speciali di impermeabilizzazione, Tipo 4
- [17] 02\_H61\_KU\_015\_KBN\_D0700\_23680 - Cunicolo esplorativo, Fasi di costruzione, Interventi particolari di consolidamento GL-MS, Tipo 1
- [18] 02\_H61\_KU\_015\_KBN\_D0700\_23681 - Cunicolo esplorativo, Fasi di costruzione, Interventi particolari di consolidamento GL-MS, Tipo 2
- [19] 02\_H61\_MO\_994\_BT B\_D0700\_17001 – Relazione sui monitoraggi e le prospezioni in galleria.

### 6.3.2 Bibliografie

- [20] AFTES (1991). Recommendations on grouting for underground works. Tunneling and Underground Space Technology, Vol. 6, No. 4, pp. 383-461.
- [21] Barton, N., Buen, B. and Roald, S. (2002). "Strengthening the case for grouting". Tunnels and Tunnelling International, pp.34-36, Dec. 2001, 37-39, Jan. 2002.
- [22] Barton, N. (2002) "Some new Q-value correlations to assist in site characterization and tunnel design". Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 39, pp185-216.
- [23] Barton, N. (2006) "Rock Quality, Seismic Velocity, Attenuation and Anisotropy". Taylor & Francis, UK & Netherlands, 729 pp. Bruce D. A., Gallavresi F. (1988). The MPSP system: a new method of grouting difficult rock formations. ASCE, 1988.
- [24] Houslyby, A.C. (1976). Routine interpretation of the Lugeon water – test. The Quarterly Journal of Engineering Geology, Vol. 9(4), pp. 303-313.
- [25] ISRM (1996). Commission on rock grouting. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. Vol. 33, No. 8, pp. 803-847.
- [26] Lombardi G. (1999). Iniezioni di masse rocciose con miscele cementizie. Il concetto GIN. Rivista Italiana di Geotecnica. N. 2/99.
- [27] Lombardi, G., Deere D. (1993). Grouting design and control using the GIN-principle. Water Power & Dam Construction, June, pp. 15-22.
- [28] Lunardi, P. (2006). Progetto e costruzione di gallerie, analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli (ADECO-RS). Editore Ulrico Hoepli Milano.
- [29] Maildl, B., Herrenknecht M., Maildl, U., Wehrmeyer. G.
- [20] AFTES (1991). Recommendations on grouting for underground works. Tunneling and Underground Space Technology, Vol. 6, No. 4, pp. 383-461.
- [21] Barton, N., Buen, B. and Roald, S. (2002). "Strengthening the case for grouting". Tunnels and Tunnelling International, pp.34-36, Dec. 2001, 37-39, Jan. 2002.
- [22] Barton, N. (2002) "Some new Q-value correlations to assist in site characterization and tunnel design". Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 39, pp185-216.
- [23] Barton, N. (2006) "Rock Quality, Seismic Velocity, Attenuation and Anisotropy". Taylor & Francis, UK & Netherlands, 729 pp. Bruce D. A., Gallavresi F. (1988). The MPSP system: a new method of grouting difficult rock formations. ASCE, 1988.
- [24] Houslyby, A.C. (1976). Routine interpretation of the Lugeon water – test. The Quarterly Journal of Engineering Geology, Vol. 9(4), pp. 303-313.
- [25] ISRM (1996). Commission on rock grouting. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. Vol. 33, No. 8, pp. 803-847.
- [26] Lombardi G. (1999). Iniezioni di masse rocciose con miscele cementizie. Il concetto GIN. Rivista Italiana di Geotecnica. N. 2/99.
- [27] Lombardi, G., Deere D. (1993). Grouting design and control using the GIN-principle. Water Power & Dam Construction, June, pp. 15-22.
- [28] Lunardi, P. (2006). Progetto e costruzione di gallerie, analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli (ADECO-RS). Editore Ulrico Hoepli Milano.
- [29] Maildl, B., Herrenknecht M., Maildl, U., Wehrmeyer. G.

(2012). Mechanised Shield Tunnelling. 2nd Edition. Wiley-Blackwell, Ernst & Sohn.

#### 6.4 ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

EP	.....	Erstprüfung
IP	.....	Identitätsprüfung
KP	.....	Konformitätsprüfung
w/b	.....	Wasser-Bindemittel-Wert
w/z	.....	Wasser-Zement-Wert

(2012). Mechanised Shield Tunnelling. 2nd Edition. Wiley-Blackwell, Ernst & Sohn.

#### 6.4 ELENCO DELLE ABBREVIAZIONI

EP	.....	Prova iniziale
IP	.....	Prova d'identità
KP	.....	Prova di conformità
a/l	.....	Acqua/legante
a/c	.....	Acqua/cemento

# H1 PRÜFPLAN

# H1 PIANO DELLE PROVE

Materiale	Parametri	Tipo di prova	Frequenza e numero	Criteria / integrazioni / note / avvertenze
Ammasso roccioso	<ul style="list-style-type: none"> <li>Verifica delle condizioni geologiche di progetto</li> <li>Valutazione delle condizioni geomeccaniche (fratture, riempimenti, zone di roccia molto fratturata e/o fagliata, etc.)</li> <li>Grado di fratturazione dell'ammasso roccioso</li> <li>Classificazione dell'ammasso roccioso secondo i diversi parametri indice</li> <li>Prelievo di campioni indisturbati per prove di laboratorio</li> <li>Esecuzione di prove in sito (dilatometriche e di permeabilità).</li> </ul>	Sondaggi a carotaggio continuo della lunghezza di 30 m	I sondaggi saranno eseguiti per ogni campo di consolidamento / impermeabilizzazione e realizzate dallo scudo e dalla testa fresante della TBM prima dell'inizio del consolidamento (prova iniziale EP) e al termine del campo di consolidamento (prova di conformità, KP, e di identità, IP). In totale saranno pertanto eseguiti 2 (prima dell'inizio dell'intervento di consolidamento) + 2 (al termine dell'intervento di consolidamento) per un totale di 4 sondaggi a carotaggio continuo	Associazione Geotecnica Italiana. Raccomandazioni sulla programmazione delle ed esecuzione delle indagini geotecniche. ISRM Suggested Method for Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses, 1978
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Misura della velocità delle onde di compressione Vp e andamento dell'indice di qualità Q, sulla base delle correlazioni indicate da Barton fra Vp e il valore dell'indice Q</li> </ul>	Rilievi di carotaggio sonico in perforazioni	I rilievi saranno eseguiti nei 4 sondaggi a carotaggio continuo (sopra indicati) previsti per ogni campo di consolidamento ed impermeabilizzazione	ISRM, Suggested method for Geophysical Logging of the Boreholes, 1981
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Modulo di deformabilità dell'ammasso roccioso</li> </ul>	Prove dilatometriche	Saranno eseguite n. 3 prove dilatometriche per ciascuno dei 4 sondaggi a carotaggio continuo per un totale di 3 x 4 = 12 prove	ISRM, Suggested Method for Deformability Determination Using a Flexible Dilatometer, 1987.
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Permeabilità dell'ammasso roccioso</li> </ul>	Prove d'acqua in pressione tipo Lugeon	Saranno eseguite n. 3 prove di permeabilità Lugeon per ciascuno dei 4 sondaggi a carotaggio continuo, per un totale di 3 x 4 = 12 prove	Houlsby, A.C. (1976). Routine interpretation of the Lugeon water – test.
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Resistenza a compressione monoassiale della matrice rocciosa</li> </ul>	Prove di laboratorio di compressione monoassiale	Saranno prelevati n. 2 campioni indisturbati per ciascuno dei 4 sondaggio per un totale di 4 x 2 = 8 campioni indisturbati da sottoporre a prove di laboratorio di compressione monoassiale	ISRM, Suggested Method for Complete Stress – Strain Curve for Intact Rock in Uniaxial Compression, 1999
Malte cementizie per la cementazione dei tubi in VTR (tipologia di intervento n. 1)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Resistenza caratteristica cubica Rck e resistenza media cubica a 24 h (la resistenza caratteristica cubica deve risultare uguale o superiore a 25 MPa mentre la resistenza media cubica a 24 h deve essere uguale o superiore a 10 MPa)</li> </ul>	Prove di laboratorio di compressione monoassiale su cubetti	Verranno eseguite prove di laboratorio di compressione monoassiale per determinare rispettivamente la resistenza caratteristica cubica (n. 3 prove) e la resistenza media cubica a 24 h (n. 3 prove) per un totale di n. 6 prove	NTC 2008
Miscela cementizia per iniezioni	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nel corso delle iniezioni, la miscela sarà regolarmente campionata e sottoposta a prove per il controllo della viscosità e delle caratteristiche volumetriche e di stabilità.</li> </ul>	Misure di laboratorio della densità, viscosità Marsh, e del bleeding.	Le prove saranno eseguite preliminarmente all'inizio delle iniezioni per valutarne la rispondenza alle richieste progettuali. Saranno sufficienti n. 5 determinazioni di densità, viscosità e bleeding	UNI EN 445, UNI EN 446, UNI EN 447, Raccomandazioni di Aicap – Agi sugli ancoraggi nei terreni e nelle rocce, giugno 2012
Resine poliuretaniche o organominerali bicomponenti non inquinanti	Preliminarmente all'inizio delle iniezioni verrà determinato il fattore di espansione (che deve essere < 30) e la viscosità che deve essere < 300 mPa x s a 23° C	Misure di laboratorio del fattore di espansione, della viscosità, dei tempi di reazione e della resistenza a compressione a rottura	Le prove saranno eseguite preliminarmente all'inizio delle iniezioni per valutarne la rispondenza alle richieste progettuali. Saranno sufficienti n. 5 determinazioni del fattore di espansione, della viscosità, dei tempi di reazione e della resistenza a compressione a rottura	EN 196-1



Material	Parameter	Art der Versuche	Frequenz und Anzahl	Kriterien / Ergänzungen /Anmerkungen / Hinweise
Gebirge	<ul style="list-style-type: none"> <li>Überprüfung der geologischen Projektverhältnisse</li> <li>Bewertung der felsmechanischen Verhältnisse (Klüfte, Verfüllungen, stark zerklüftetes und/oder gestörtes Gestein, usw.)</li> <li>Klüftungsgrad des Gebirges</li> <li>Gebirgsklassifizierung nach verschiedenen Indexparametern</li> <li>Ungestörte Probenentnahme für Laborversuche</li> <li>Ausführung von vor Ort Versuchen (Bohrlochaufweitungsversuch und Durchlässigkeit)</li> </ul>	Kontinuierliche Kernbohrung von 30 m Länge	Die Bohrungen werden für jeden Verbesserungs-/Abdichtungsabschnitt durch den Schild und den Fräskopf der TBM vor Beginn der Verbesserung (Erstprüfung EP) und am Ende des Verbesserungsabschnittes (Konformitätsprüfung, KP und Identitätsprüfung, IP) durchgeführt.  Insgesamt werden schließlich 2 Bohrungen (vor dem Verbesserungseingriff) und 2 (am Ende des Verbesserungseingriffes) durchgeführt, was 4 kontinuierlichen Kernbohrungen entspricht.	Associazione Geotecnica Italiana. Raccomandazioni sulla programmazione delle ed esecuzione delle indagini geotecniche.  ISRM Suggested Method for Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses, 1978
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Messung der Geschwindigkeit der Kompressionswellen <math>V_p</math> und Verlauf des Qualitätsindex Q, aufgrund der von Barton angeführten Korrelation zwischen <math>V_p</math> und dem Index Q</li> </ul>	Sonische Bohraufnahme während der Bohrung	Die Aufnahmen erfolgen in den 4 kontinuierlichen Kernbohrungen (siehe oben), die für jeden Verbesserungs- und Abdichtungsabschnitt vorgesehen sind	ISRM, Suggested method for Geophysical Logging of the Boreholes, 1981
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Verformungsmodul des Gebirges</li> </ul>	Bohrlochaufweitungsversuch	Es werden Nr. 3 Bohrlochaufweitungsversuche für jede der 4 Kernbohrungen durchgeführt, was insgesamt $3 \times 4 = 12$ Versuche ausmacht	ISRM, Suggested Method for Deformability Determination Using a Flexible Dilatometer, 1987.
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Durchlässigkeit des Gebirges</li> </ul>	Wasserdruckversuch nach Lugeon	Es werden Nr. 3 Lugeon Versuche für jede der 4 Kernbohrungen durchgeführt, was insgesamt $3 \times 4 = 12$ Versuche ausmacht	Houlsby, A.C. (1976). Routine interpretation of the Lugeon water – test.
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Monoaxiale Druckfestigkeit der Gesteinsmatrix</li> </ul>	Laborversuche der monoaxialen Druckfestigkeit	Es werden Nr. 2 ungestörte Probekörper in jeder der 4 Kernbohrungen entnommen, was insgesamt $4 \times 2 = 8$ ungestörten Probekörpern entspricht, die im Labor auf die monoaxiale Druckfestigkeit untersucht werden	ISRM, Suggested Method for Complete Stress – Strain Curve for Intact Rock in Uniaxial Compression, 1999
Zementmörtel für die Zementierung der GFK Rohre (Art des Eingriffes Nr. 1)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Charakteristische, kubische Festigkeit <math>R_{ck}</math> und mittlere kubische Festigkeit nach 24 h (die charakteristische kubische Festigkeit muss gleich oder mehr als 25 MPa, die mittlere kubische Festigkeit nach 24 h muss gleich oder mehr als 10 MPa betragen)</li> </ul>	Laborversuche der monoaxialen Druckfestigkeit auf Würfeln	Es werden Laborversuche der mini-axialen Druckfestigkeit ausgeführt, um jeweils die charakteristische kubische Festigkeit (Nr. 3 Versuche) und die mittlere kubische Festigkeit nach 24 h (Nr. 3 Versuche) zu ermitteln, insgesamt also Nr. 6 Versuche	NTC 2008
Zementmischung für Injektionen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Im Laufe der Injektionen wird die Mischung regelmäßig beprobt und Kontrollversuchen unterzogen und zwar was die Viskosität, die volumetrischen Eigenschaften und die Stabilität betrifft.</li> </ul>	Laborversuche der Dichte, Marsh-Viskosität und des bleeding	Die Versuche werden vor dem Beginn der Injektionen durchgeführt, um zu ermitteln ob diese den Projektansprüchen gerecht werden. Es sind Nr. 5 Bestimmungen der Dichte, Viskosität und des bleeding ausreichend	UNI EN 445, UNI EN 446, UNI EN 447, Raccomandazioni di Aicap – Agi sugli ancoraggi nei terreni e nelle rocce, giugno 2012
Polyurethanharze oder Organomineralharze, zwei Komponenten und nicht umweltgefährdend	Vor dem Beginn der Injektionen wird der Expansionsfaktor bestimmt (muss $< 30$ sein) und die Viskosität, die $< 300 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ bei $23^\circ\text{C}$ sein muss.	Laborversuche des Expansionsfaktor, der Viskosität, der Reaktionszeiten und der Druckspannung bei Bruch	Die Versuche werden vor dem Beginn der Injektionen durchgeführt, um zu ermitteln ob diese den Projektansprüchen gerecht werden. Es sind Nr. 5 Bestimmungen des Expansionsfaktor, der Viskosität, der Reaktionszeiten und der Druckspannung bei Bruch ausreichend	EN 196-1