



Mit Beteiligung der Europäischen Union aus dem Haushalt der Transeuropäischen Verkehrsnetzefinanziertes Vorhaben


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







Ausbau Eisenbahnachse München-Verona
BRENNER BASISTUNNEL
Ausführungsplanung


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

D0700: Baulos Mauls 2-3	D0700: Lotto Mules 2-3
Projekteinheit Gesamtbauwerke Teil 2	WBS Opere generali Parte 2
Dokumentenart Technischer Bericht	Tipo Documento Relazione tecnica
Titel Technischer Bericht Baumaterialien	Titolo Relazione sui materiali

 Raggruppamento Temporaneo di Imprese 4P <small>olo Pro. Iter S.r.l., Via G.B. Sanmarini 5, 20125 Milano, Tel.: +39 026787911, Fax: +39 0287152612</small>	<i>Generalplaner / Responsabile integrazioni prestazioni specialistiche</i> Ing. Enrico Maria Pizzarotti Ord. Ingg. Milano N° A 29470
--	---

<i>Mandataria</i>  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	<i>Mandante</i> 	<i>Mandante</i> 	<i>Mandante</i>  ENGINEERING s.r.l./G.m.b.H.
		<i>Fachplaner / il progettista specialista</i> Ing. Davide Merlini Ord. Ingg. Como N° 2354 A	

	Datum / Data	Name / Nome	Gesellschaft / Società
Bearbeitet / Elaborato	30.01.2015	A. Battaglia	Pini Swiss
Geprüft / Verificato	30.01.2015	D. Merlini	Pini Swiss

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

Projekt-kilometer / Chilometro progetto	von / da 32.0+88 bis / a 54.0+15 bei / al	Projekt-kilometer / Chilometro opera	von / da 44.1+92 bis / a 46.7+69 bei / al	Status Dokument / Stato documento		Massstab / Scala	-
--	---	---	---	--	--	-------------------------	---

Staat Stato	Los Lotto	Einheit Unità	Nummer Numero	Dokumentenart Tipo Documento	Vertrag Contratto	Nummer Codice	Revision Revisione
02	H61	OP	040	KTB	D0700	22104	21

Bearbeitungsstand Stato di elaborazione

Revision Revisione	Änderungen / Cambiamenti	Verantwortlicher Änderung Responsabile modifica	Datum Data
00	Versione preliminare / Vorabzug	A.Battaglia	22.05.2014
10	Endabgabe / Consegna definitiva	A.Battaglia	31.07.2014
11	Projektvervollständigung und Umsetzung der Verbesserungen aus dem Prüfverfahren / Completamento progetto e recepimento istruttoria	A.Battaglia	09.10.2014
20	Überarbeitung infolge Dienstanweisung Nr. 1 vom 17.10.2014 / Revisione a seguito ODS n°1 del 17.10.14	A.Battaglia	04.12.2014
21	Abgabe für Ausschreibung / Emissione per Appalto	A.Battaglia	30.01.2015

1	BESCHREIBUNG DER BAUWERKE	
1	DESCRIZIONE DELLE OPERE	3
1.1	DEFINITION DER BAUWERKE DES BAULOSES MAULS 2-3	
1.1	DEFINIZIONE DELLE OPERE DEL LOTTO DI COSTRUZIONE MULES 2-3	3
1.2	UNTERTEILUNG DES BAULOS MAULS 2-3	
1.2	SUDDIVISIONE IN PARTI DEL LOTTO MULES 2-3	5
2	RECHTSGRUNDLAGEN	
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	9
3	MATERIALEIGENSCHAFTEN	
3	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	9
3.1	AUSBRUCHSSICHERUNG	
3.1	RIVESTIMENTO DI PRIMA FASE	9
3.1.1	Spritzbeton C30/37	
3.1.1	Betoncino proiettato C30/37	9
3.1.2	Anker	
3.1.2	Chiodature.....	10
3.1.3	Baustahl	
3.1.3	Acciaio da carpenteria.....	11
3.1.4	Bewehrungsstahl	
3.1.4	Acciaio per armature	12
3.2	INNENSCHALE	
3.2	RIVESTIMENTO DEFINITIVO	13
3.2.1	Beton C30/37	
3.2.1	Calcestruzzo C30/37	13
3.2.2	Bewehrungsstahl	
3.2.2	Acciaio per armature	14
4	DAUERHAFTIGKEIT UND NOMINALE LEBENSDAUER DER ERSTSICHERUNGEN	
4	DURABILITA' E VITA NOMINALE DELL'OPERA	15
5	VERZEICHNISSE	
5	ELENCHI	16
5.1	REFERENZDOKUMENTE	
5.1	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	16
5.1.1	Eingangsdokumenten	
5.1.1	Documenti in ingresso.....	16
6	BIBLIOGRAFIE UND QUELLEN	
6	BIBLIOGRAFIA E FONTI	17
6.1	NORMEN UND RICHTLINIEN	
6.1	NORMATIVA	17

1 BESCHREIBUNG DER BAUWERKE

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

Zwischen den zwei Tunneln liegen alle 333 m Verbindungsquerstellen.

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

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

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

1.1 DEFINITION DER BAUWERKE DES BAULOSES MAULS 2-3

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

1 DESCRIZIONE DELLE OPERE

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

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

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

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

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

1.1 DEFINIZIONE DELLE OPERE DEL LOTTO DI COSTRUZIONE MAULS 2-3

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

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

Bauwerke nördlich der Einbindung des Fensterstollens Mauls mit den Haupttunneln

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

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

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

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

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

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

Bauwerke südlich des Anbindungspunktes des Fensterstollens Muls mit den Haupttunneln

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

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

1.2 UNTERTEILUNG DES BAULOS MULS 2-3

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

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

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

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

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

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

1.2 SUDDIVISIONE IN PARTI DEL LOTTO MULS 2-3

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

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

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

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

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

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

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

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

km 11.1+97,5; km 11.4+93,5; km 11.7+19,5; km 12.0+15; km 12.3+42,5

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

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

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

- Verbindungsstollen für die Nothaltestelle FdE-C01 ÷ FdE-C06,
- Querkaverne Trens: Querschlag Typ 5 (km 45.3+75 Oströhre).
- Mittelstollen Trens und Abluftquerstollen, konventioneller Vortrieb und Innenschale:
 - von km 0.0+00 bis km 0.6+90, entsprechend den Kilometrierungen der Oströhre km 44.5+15 und km 45.1+92;
 - Abluftquerstollen FdE-V-01 ÷ FdE-V06 und Entlastungsstollen (km 44.5+35 Oströhre)
- Zugangstunnel (GA) zur Nothaltestelle, konventioneller Vortrieb und Innenschale: der 3.805 m lange Tunnel beginnt an eine Abzweigung bei km 1.4+79 ca. des Fensterstollen Mauls.
- Neuer Logistikknoten (NL), konventioneller Vortrieb und Endgestaltung; befindet sich seitlich der Trasse des Zugangstunnels (zwischen km 0.5+00 und 0.8+60 ca. des GA) und besteht aus:
 - einer 110 m langen Logistikkaverne;
 - drei Verbindungstunnel zum Zugangstunnel (38 m, 91 m und 179 m ca.);
 - Logistik Bypass zwischen dem Zugangstunnel und der Weströhre (148m ca.) und zwischen der Weströhre und der Oströhre (137 m ca.)
 - Verbindungsschacht zum Erkundungsstollen bei km 00.0+71.6 mit Bezug auf die Bauwerkskilometrierung.
- cunicoli di collegamento a servizio della Fermata di Emergenza FdE-C01 ÷ FdE-C06,
- caverna di Trens: cunicolo trasversale di collegamento tipo 5 (km 45.3+75 canna est).
- Cunicolo centrale di Trens e cunicoli trasversali di aspirazione d'aria, scavo con metodi tradizionali e rivestimento definitivo:
 - da km 0.0+00 a km 0.6+90, corrispondenti rispettivamente alle progressive della canna est km 44.5+15 e km 45.1+92;
 - cunicoli di ventilazione FdE-V-01 ÷ FdE-V06 e cunicolo di scarico (km 44.5+35 canna est)
- Galleria di Accesso (GA) alla Fermata di Emergenza di Trens, scavo con metodi tradizionali e rivestimento definitivo: la galleria, della lunghezza di 3'805 m circa, ha origine, mediante diramazione, dalla progressiva km 1.4+79 circa della finestra di Mules.
- Nuovo Nodo Logistico (NL), scavo con metodi tradizionali e sistemazione definitiva; situato lateralmente al tracciato della Galleria di Accesso (posizionato tra km 0.5+00 e 0.8+60 circa della GA), risulta costituito da:
 - camerone logistico della lunghezza di 110 m;
 - tre gallerie di collegamento con la GA (38 m, 91 m e 179 m circa);
 - by-pass logistico di collegamento tra la GA e la GL ovest (148m circa) e tra la GL ovest e la GL est (137 m circa)
 - pozzo di collegamento con il Cunicolo Esplorativo, ubicato al km 00.0+71.6 con riferimento delle progressive dell'opera.

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

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

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

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

2 RECHTSGRUNDLAGEN

Die Eigenschaften der für die konstruktiven Bauten verwendeten Materialien müssen den Ausführungen des neuen Ministerialdekrets „D.M. 2008“ sowie den Europäischen „Eurocode 2“-Normen unterliegen.

Insbesondere werden unter Kap.11 des M.D. die Koeffizienten sowie die Berechnungsmodalitäten zur Bestimmung der Festigkeitsparameter angeführt, auf die Bezug zu nehmen ist.

Das genannte Dekret liefert darüber hinaus genaue Angaben betreffend die Modalitäten zur strukturellen Überprüfung der Bauwerke. In Anlehnung an diese Modalitäten wurden die Mindestmerkmale festgelegt, denen sämtliche Baumaterialien entsprechen müssen. Im nachfolgenden Kapitel werden diese Merkmale bzw. Werte konkret angeführt.

Weitere Bezugsnormen:

- UNI 11104 aus 2004
- UNI EN 206-1 aus 2001

3 MATERIALEIGENSCHAFTEN

3.1 AUSBRUCHSSICHERUNG

3.1.1 Spritzbeton C30/37

- Charakteristischer Wert der Würfeldruckfestigkeit:

$$R_{ck} \geq 37MPa$$

- Charakteristischer Wert der Zylinderdruckfestigkeit:

$$f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} = 30.7MPa$$

- Charakteristischer Wert der Betonzugfestigkeit:

$$f_{ctk} = 0.7 \cdot 0.3 \cdot f_{ck}^{2/3} = 2.06MPa$$

- Elastizitätsmodul:

$$E_{cm} = 32000MPa$$

- Querdehnungszahl:

$$\nu = 0.2$$

- Teilsicherheitsbeiwert:

$$\gamma_c = 1.5$$

- Minderungsbeiwert zur Berücksichtigung der Langzeitwirkung der Betondruckfestigkeit:

$$\alpha_{cc} = 0.85$$

- Bemessungswert der Druckfestigkeit:

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 17.4MPa$$

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le caratteristiche dei materiali utilizzati nelle opere strutturali devono sottostare alle indicazioni contenute nel nuovo decreto ministeriale “D.M. 2008” e alle norme europee “Eurocodice 2”.

In particolare, all'interno del Cap.11 del D.M. vengono riportati i valori dei coefficienti ed indicate le modalità di calcolo per la determinazione dei parametri di resistenza di riferimento.

Il Decreto citato, fornisce inoltre precise indicazioni circa le modalità di verifica strutturale delle opere.

Seguendo tali modalità, si sono determinate le caratteristiche minime che tutti i materiali di costruzione devono garantire. Nel capitolo successivo si riportano, nello specifico, tali caratteristiche.

Altre norme di riferimento:

- UNI 11104 del 2004
- UNI EN 206-1 del 2006

3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

3.1 RIVESTIMENTO DI PRIMA FASE

3.1.1 Betoncino proiettato C30/37

- Resistenza caratteristica cubica:

$$R_{ck} \geq 37MPa$$

- Resistenza caratteristica cilindrica:

$$f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} = 30.7MPa$$

- Resistenza caratteristica media a trazione:

$$f_{ctk} = 0.7 \cdot 0.3 \cdot f_{ck}^{2/3} = 2.06MPa$$

- Modulo di elasticità:

$$E_{cm} = 32000MPa$$

- Coefficiente di Poisson:

$$\nu = 0.2$$

- Coefficiente parziale di sicurezza

$$\gamma_c = 1.5$$

- Coefficiente riduttivo della resistenza a compressione di lunga durata:

$$\alpha_{cc} = 0.85$$

- Resistenza a compressione di progetto:

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 17.4MPa$$

3.1.2 Anker

- Charakteristische Streckgrenze:
 $N_{yk} = 140kN$ Superswellex Pm16
 $N_{yk} = 200kN$ Superswellex Pm24
 $N_{yk} = 400kN$ Selbstbohranker R38N
 $N_{yk} = 413kN$ Dywidag SN28
 $N_{yk} = 630kN$ Selbstbohranker R51N
 $N_{yk} = 413kN$ Dywidag SN32
- Elastizitätsmodul:
 $E = 210000MPa$
- Teilsicherheitsbeiwert:
 $\gamma_s = 1.15$
- Bemessungswert der Streckgrenze:
 $N_{yd} = 122kN$ Superswellex Pm16
 $N_{yd} = 174kN$ Superswellex Pm24
 $N_{yd} = 348kN$ Selbstbohranker R38N
 $N_{yd} = 359kN$ Dywidag SN28
 $N_{yd} = 548kN$ Selbstbohranker R51N
 $N_{yd} = 660kN$ Dywidag SN32

Die Selbstbohranker und die Dywidag SN28/32 sind mit Baumörtel mit $R_{ck} \geq 25MPa$, $R_{cm} \geq 10MPa$ a 24h vermörtelt.

3.1.2 Chiodature

- Resistenza a trazione caratteristica:
 $N_{yk} = 140kN$ Superswellex Pm16
 $N_{yk} = 200kN$ Superswellex Pm24
 $N_{yk} = 400kN$ Autoperforanti R38N
 $N_{yk} = 413kN$ Barre SNF28
 $N_{yk} = 630kN$ Autoperforanti R51N
 $N_{yk} = 760kN$ Barre SNF32
- Modulo di elasticità:
 $E = 210000MPa$
- Coefficiente parziale di sicurezza
 $\gamma_s = 1.15$
- Resistenza a trazione di progetto:
 $N_{yd} = 122kN$ Superswellex Pm16
 $N_{yd} = 174kN$ Superswellex Pm24
 $N_{yd} = 348kN$ Autoperforanti R38N
 $N_{yd} = 413kN$ Barre SNF28
 $N_{yd} = 548kN$ Autoperforanti R51N
 $N_{yd} = 660kN$ Barre SNF32

Gli autoperforanti e le barre SNF28/32 sono cementate con malte cementizie aventi $R_{ck} \geq 25MPa$, $R_{cm} \geq 10MPa$ a 24h.

3.1.3 Baustahl

Es wird die Anwendung von Stahlprofilen des Typs HEA180, HEB120, HEM120, IPN180 und IPN200 aus S355J0 vorgesehen.

- Charakteristische Fließgrenze für Stärke kleiner als 40 mm:

$$f_{tk} = 510MPa$$

- Charakteristische Streckgrenze für Stärke kleiner als 40 mm:

$$f_{yk} = 355MPa$$

- Elastizitätsmodul:

$$E = 210000MPa$$

- Querdehnungszahl:

$$\nu = 0.3$$

- Teilsicherheitsbeiwert:

$$\gamma_{M0} = 1.05$$

- Bemessungswert der Streckgrenze:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = 338MPa$$

Kopfplatten \geq S275

Schraubenklasse \geq 8.8

Verbindungsseisen aus B450C

Es wird die Anwendung von Stahlprofilen des Typs TH 36 aus 31Mn4 vorgesehen.

- Charakteristische Fließgrenze für Stärke kleiner als 40 mm:

$$f_{tk} = 650MPa$$

- Charakteristische Streckgrenze für Stärke kleiner als 40 mm:

$$f_{yk} = 520Pa$$

- Elastizitätsmodul:

$$E = 205'000MPa$$

- Querdehnungszahl:

$$\nu = 0.3$$

- Teilsicherheitsbeiwert:

$$\gamma_{M0} = 1.05$$

- Bemessungswert der Streckgrenze:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = 495MPa$$

3.1.3 Acciaio da carpenteria

E' previsto l'utilizzo di cerniere HEA180, HEB120, HEM120, IPN180 e IPN200 d'acciaio S355JR.

- Tensione caratteristica di rottura per spessori inferiori a 40 mm:

$$f_{tk} = 510MPa$$

- Tensione caratteristica di snervamento per spessori inferiori a 40 mm:

$$f_{yk} = 355MPa$$

- Modulo di elasticità:

$$E = 210'000MPa$$

- Coefficiente di Poisson:

$$\nu = 0.3$$

- Coefficiente parziale di sicurezza

$$\gamma_{M0} = 1.05$$

- Resistenza a trazione di progetto:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = 338MPa$$

Piastre in acciaio di qualità \geq S275

Bullonatura classe \geq 8.8

Catene in B450C

E' previsto inoltre l'utilizzo di cerniere tipo TH 36 in acciaio 31Mn4 bonificato.

- Tensione caratteristica di rottura per spessori inferiori a 40 mm:

$$f_{uk} = 650Pa$$

- Tensione caratteristica di snervamento per spessori inferiori a 40 mm:

$$f_{yk} = 520MPa$$

- Modulo di elasticità:

$$E = 205'000MPa$$

- Coefficiente di Poisson:

$$\nu = 0.3$$

- Coefficiente parziale di sicurezza

$$\gamma_{M0} = 1.05$$

- Resistenza a trazione di progetto:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = 495MPa$$

Kopfplatten \geq S275

Schraubenklasse \geq 8.8

Verbindungsseisen aus B450C

Es ist außerdem die Anwendung von Gitterträgern 4 Φ 26 aus B450C vorgesehen.

- Charakteristische Fließgrenze:

$$f_{tk} = 540MPa$$

- Charakteristische Streckgrenz:

$$f_{yk} = 450Pa$$

- Verhältnis Fließgrenzen / Streckgrenze:

$$1.15 \leq f_{tk}/f_{yk} < 1.35$$

- Elastizitätsmodul:

$$E = 210000MPa$$

- Querdehnungszahl:

$$\nu = 0.3$$

- Teilsicherheitsbeiwert:

$$\gamma_{M0} = 1.20$$

- Bemessungswert der Streckgrenze:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = 375MPa$$

3.1.4 Bewehrungsstahl

Bewehrungsmatte aus geripptem Stahl B450C

- Charakteristische Fließgrenze:

$$f_{tk} = 540MPa$$

- Charakteristische Streckgrenze:

$$f_{yk} = 450MPa$$

- Verhältnis Fließgrenze / Streckgrenze:

$$1.15 \leq f_{tk}/f_{yk} < 1.35$$

- Elastizitätsmodul:

$$E = 210000MPa$$

- Querdehnungszahl:

$$\nu = 0.3$$

- Teilsicherheitsbeiwert:

$$\gamma_{M0} = 1.15$$

Piastre in acciaio di qualità \geq S275

Bullonatura classe \geq 8.8

Catene in B450C

E' previsto inoltre l'utilizzo di centine reticolari 4 Φ 26 in acciaio tipo B450C

- Tensione caratteristica di rottura:

$$f_{tk} = 540MPa$$

- Tensione caratteristica di snervamento:

$$f_{yk} = 450MPa$$

- Rapporto tensione di rottura / tensione di snervamento:

$$1.15 \leq f_{tk}/f_{yk} < 1.35$$

- Modulo di elasticità:

$$E = 210000MPa$$

- Coefficiente di Poisson:

$$\nu = 0.3$$

- Coefficiente parziale di sicurezza

$$\gamma_s = 1.20$$

- Resistenza a trazione di progetto:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 375MPa$$

3.1.4 Acciaio per armature

Rete in acciaio tipo B450C ad aderenza migliorata:

- Tensione caratteristica di rottura:

$$f_{tk} = 540MPa$$

- Tensione caratteristica di snervamento:

$$f_{yk} = 450MPa$$

- Rapporto tensione di rottura / tensione di snervamento:

$$1.15 \leq f_{tk}/f_{yk} < 1.35$$

- Modulo di elasticità:

$$E = 210000MPa$$

- Coefficiente di Poisson:

$$\nu = 0.3$$

- Coefficiente parziale di sicurezza

$$\gamma_s = 1.15$$

- Bemessungswert der Streckgrenze:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = 391MPa$$

3.2 INNENSCHALE

3.2.1 Beton C30/37

- Charakteristischer Wert der Würfeldruckfestigkeit:

$$R_{ck} \geq 37MPa$$

- Charakteristischer Wert der Zylinderdruckfestigkeit:

$$f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} = 30.7MPa$$

- Charakteristischer Wert der Betonzugfestigkeit:

$$f_{ctk} = 0.7 \cdot 0.3 \cdot f_{ck}^{2/3} = 2.06MPa$$

- Elastizitätsmodul:

$$E_{cm} = 33000MPa$$

- Querdehnungszahl:

$$\nu = 0.2$$

- Temperaturausdehnungskoeffizient:

$$\alpha = 10 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^{\circ}C}$$

- Teilsicherheitsbeiwert:

$$\gamma_c = 1.6$$

- Minderungsbeiwert zur Berücksichtigung der Langzeitwirkung der Betondruckfestigkeit und -zugfestigkeit:

- Stahlbeton

$$\alpha_{cc} = 0.85$$

- Unbewehrter Beton

$$\alpha_{cc} = 0.80$$

- Bemessungswert der Druckfestigkeit:

- Stahlbeton

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 16.31MPa$$

- Unbewehrter Beton

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 15.36MPa$$

- Bemessungswert der Zugfestigkeit:

- Stahlbeton

$$f_{ctd} = 0.00MPa$$

- Unbewehrter Beton

$$f_{ctd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ctk}}{\gamma_c} = 1.03MPa$$

- Resistenza a trazione di progetto:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 391MPa$$

3.2 RIVESTIMENTO DEFINITIVO

3.2.1 Calcestruzzo C30/37

- Resistenza caratteristica cubica:

$$R_{ck} \geq 37MPa$$

- Resistenza caratteristica cilindrica:

$$f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} = 30.7MPa$$

- Resistenza caratteristica media a trazione:

$$f_{ctk} = 0.7 \cdot 0.3 \cdot f_{ck}^{2/3} = 2.06MPa$$

- Modulo di elasticità:

$$E_{cm} = 33000MPa$$

- Coefficiente di Poisson:

$$\nu = 0.2$$

- Coefficiente di espansione termica lineare:

$$\alpha = 10 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^{\circ}C}$$

- Coefficiente parziale di sicurezza

$$\gamma_c = 1.6$$

- Coefficiente riduttivo della resistenza a compressione e a trazione di lunga durata:

- Calcestruzzo armato

$$\alpha_{cc} = 0.85$$

- Calcestruzzo non armato

$$\alpha_{cc} = 0.80$$

- Resistenza a compressione di progetto:

- Calcestruzzo armato

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 16.31MPa$$

- Calcestruzzo non armato

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 15.36MPa$$

- Resistenza a trazione di progetto:

- Calcestruzzo armato

$$f_{ctd} = 0.00MPa$$

- Calcestruzzo non armato

$$f_{ctd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ctk}}{\gamma_c} = 1.03MPa$$

3.2.2 Bewehrungsstahl

Bewehrungsseisen aus geripptem Stahl B450C:

- Charakteristische Fließgrenze:

$$f_{tk} = 540MPa$$

- Charakteristische Streckgrenze:

$$f_{yk} = 450MPa$$

- Verhältnis Fließgrenze / Streckgrenze:

$$1.15 \leq f_{tk}/f_{yk} < 1.35$$

- Elastizitätsmodul:

$$E = 210000MPa$$

- Querdehnungszahl:

$$\nu = 0.3$$

- Teilsicherheitsbeiwert:

$$\gamma_{M0} = 1.2$$

- Bemessungswert der Streckgrenze:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = 375MPa$$

3.2.2 Acciaio per armature

Barre in acciaio tipo B450C ad aderenza migliorata:

- Tensione caratteristica di rottura:

$$f_{tk} = 540MPa$$

- Tensione caratteristica di snervamento:

$$f_{yk} = 450MPa$$

- Rapporto tensione di rottura / tensione di snervamento:

$$1.15 \leq f_{tk}/f_{yk} < 1.35$$

- Modulo di elasticità:

$$E = 210000MPa$$

- Coefficiente di Poisson:

$$\nu = 0.3$$

- Coefficiente parziale di sicurezza

$$\gamma_s = 1.2$$

- Resistenza a trazione di progetto:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 375MPa$$

4 DAUERHAFTIGKEIT UND NOMINALE LEBENSDAUER DER ERSTSICHERUNGEN

Die charakteristischen Leistungskriterien der im vorherigen Kapitel benannten Materialien sind erforderlich, damit die baulichen Nachweise erfüllt werden.

Mit Bezug auf EC2 und N.T.C. 2008 ist die Dauerhaftigkeit eines Bauwerks abhängig von der Konstruktionsart, der Betonexpositions-klasse und der Mindestbetonüberdeckung.

Damit die Dauerhaftigkeit der Konstruktion gewährleistet werden kann, werden die minimalen Leistungskriterien in Funktion der Expositions-klasse gemäss UNI11104:2004 und UNI EN 206-1:2006 definiert. Es wird angenommen, dass im Zweifelsfall immer die konservativste Variante gewählt wird:

- Expositions-klasse XC3/XA1 → C30/37
- Expositions-klasse XC4/XA2 → C32/40

Die minimale Betonüberdeckung, damit eine **Lebensdauer > 100 Jahren** gewährleistet werden kann, ist gemäss N.T.C. 2008 definiert:

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

Tabelle 1: Mindestüberdeckung

Zur Vereinheitlichung ist eine Betondeckung von 5 cm über die gesamte Länge des Tunnels vorgesehen.

Für eine **Lebensdauer von 200 Jahren** wurden für die Nachweise der Innenschale (s. Absatz 3.2) erhöhte Teilsicherheitsbeiwerte Y_c und Y_s im Vergleich zu den entsprechenden Normen vorgesehen [7][12]. Insbesondere wurde für den Beton ein Sicherheitsbeiwert von 1.6 statt 1.5 angenommen, und für den Stahl ein Sicherheitsbeiwert von 1.2 statt 1.15 angenommen.

4 DURABILITA' E VITA NOMINALE DELL'OPERA

Le caratteristiche di resistenza dei materiali riportate nel capitolo precedente sono le minime necessarie per soddisfare le verifiche strutturali.

Con riferimento a quanto riportato nell' EC2 e nelle N.T.C. 2008 la durabilità di un'opera strutturale è funzione del tipo di struttura, della classe di esposizione del calcestruzzo e del copriferro.

Al fine di garantire la durabilità delle strutture, la classe di resistenza minima in funzione della classe di esposizione è definita in accordo alle normative UNI11104:2004 e alle UNI EN 206-1:2006 assumendo, ove le due sono in contrasto, la più cautelativa:

- Classe di esposizione XC3/XA1 → C30/37
- Classe di esposizione XC4/XA2 → C32/40

Il copriferro minimo per garantire una **vita utile > 100anni** è definito in accordo alle N.T.C. 2008:

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

Tabella 1: Copriferro minimo

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

Per considerare una **vita utile dell'opera pari a 200 anni** si sono utilizzati nei calcoli dei rivestimenti definitivi (si veda paragrafo 3.2) coefficienti di sicurezza sulle resistenze Y_c e Y_s maggiorati rispetto a quelli imposti dalle Normative di riferimento [7][12]. In particolare si è assunto un fattore di sicurezza sul calcestruzzo di 1.6 contro 1.5 e un fattore di sicurezza sull'acciaio di 1.2 contro 1.15.

5 VERZEICHNISSE

5.1 REFERENZDOKUMENTE

5.1.1 Eingangsdokumenten

- [1] 02_H61_EG_991_KAP_D0700_12004 - Brenner Basistunnel – Ausführungsplanung - D0700: Baulos Muls 2-3 – Gesamtbauwerke – Absteckplan– Grundriss Trassierung Oströhre
- [2] 02_H61_EG_991_KAP_D0700_12005 - Brenner Basistunnel – Ausführungsplanung - D0700: Baulos Muls 2-3 – Gesamtbauwerke – Absteckplan – Grundriss Trassierung Weströhre
- [3] 02_H61_EG_991_KLP_D0700_12050-12061 - Brenner Basistunnel – Ausführungsplanung - D0700: Baulos Muls 2-3 – Gesamtbauwerke – Lageplan –Lageplan der Bauwerke (Blätter 12/25 - 25/25)
- [4] 02_H61_EG_991_KLS_D0700_12100–12110 - Brenner Basistunnel – Ausführungsplanung - D0700: Baulos Muls 2-3 – Gesamtbauwerke – Längenschnitt – Bautechnisches Längenprofil und Trassierung – Oströhre (Blätter 15/25 - 25/25)
- [5] 02_H61_EG_991_KLS_D0700_12200 - 12210 - Brenner Basistunnel – Ausführungsplanung - D0700: Baulos Muls 2-3 – Gesamtbauwerke – Längenschnitt–Bautechnisches Längenprofil und Trassierung - Weströhre (Blätter 15/25 - 25/25)
- [6] 02_H61_OP_085_KLP_D0700_22127 - Brenner Basistunnel – Ausführungsplanung - D0700: Baulos Muls 2-3 – Logistikknoten – Lageplan – NL-Übersichtsplan

5 ELENCHI

5.1 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

5.1.1 Documenti in ingresso

- [1] 02_H61_EG_991_KAP_D0700_12004 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Muls 2-3 - Opere generali – Planimetria di tracciamento– Planimetria di tracciamento Galleria principale Est
- [2] 02_H61_EG_991_KAP_D0700_12005 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Muls 2-3 - Opere generali – Planimetria di tracciamento– Planimetria di tracciamento Galleria principale Ovest
- [3] 02_H61_EG_991_KLP_D0700_12050-12061 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Muls 2-3 - Opere generali – Planimetria – Planimetria delle opere (Tavv. 12/25 - 25/25)
- [4] 02_H61_EG_991_KLS_D0700_12100-12110 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Muls 2-3 - Opere generali – Profilo longitudinale - Profilo longitudinale delle opere e di tracciamento - Galleria principale Est (Tavv. 15/25 - 25/25)
- [5] 02_H61_EG_991_KLS_D0700_12200 - 12210 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Muls 2-3 - Opere generali – Profilo longitudinale - Profilo longitudinale delle opere e di tracciamento - Galleria principale Ovest (Tavv. 15/25 - 25/25)
- [6] 02_H61_OP_060_KHS_D0700_22127 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Muls 2-3 – Nodo logistico – Planimetria – NL-Planimetria generale

6 BIBLIOGRAFIE UND QUELLEN

6.1 NORMEN UND RICHTLINIEN

- [7] Technische Konstruktionsnormen 2008 – NTC 2008;
- [8] Leitfaden N.617, Vorgehensweise für technische Konstruktionsnormen, Ausgabe Januar 2008
- [9] DM 28/10/2005 Sicherheit für Bahntunnel
- [10] UNI EN1990:2006 - Eurocodice 0 – Grundlage für Konstruktion und Dokumentation zur nationalen Umsetzung ;
- [11] UNI EN 1991-1; Eurocode 1 – Actions on structures – 2010/2011
- [12] UNI EN 1992:2005 - Eurocodice 2 – Planung von für Stahlbetonbauwerke und Dokumente zur nationalen Umsetzung;
- [13] UNI EN 1993:2002 - Eurocodice 3 - Konstruktion von Stahlbauten
- [14] UNI EN 1997:2005 - Eurocode 7 – Geotechnik und Dokumente zur nationalen Umsetzung
- [15] UNI EN 1998:2009 - Eurocode 8 - Bestimmungen für von Bauwerken gegen Erdbeben
- [16] UNI 11104:2004
- [17] UNI EN 206-1:2006

6 BIBLIOGRAFIA E FONTI

6.1 NORMATIVA

- [7] Norme Tecniche delle Costruzioni 2008 – NTC 2008;
- [8] Circolare n.617, Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al DM 14 gennaio 2008
- [9] DM 28/10/2005 , Sicurezza nelle gallerie ferroviarie.
- [10] UNI EN1990:2006 - Eurocodice 0 – Basi per la progettazione strutturale e documento di applicazione nazionale3
- [11] UNI EN 1991-1:2005; Eurocodice 1 – Actions on structures – 2010/2011
- [12] UNI EN 1992:2005 - Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture in calcestruzzo e documento di applicazione nazionale
- [13] UNI EN 1993:2002 - Eurocodice 3 – Progettazione delle strutture in acciaio
- [14] UNI EN 1997:2005 - Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica e documento di applicazione nazionale
- [15] UNI EN 1998:2009 - Eurocodice 8 – Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture
- [16] UNI 11104:2004
- [17] UNI EN 206-1:2006