

LIAISON LYON - TURIN / COLLEGAMENTO TORINO - LIONE

Partie commune franco-italienne
Section transfrontalière

Parte comune italo-francese
Sezione transfrontaliera

NOUVELLE LIGNE LYON TURIN – NUOVA LINEA TORINO LIONE
PARTIE COMMUNE FRANCO-ITALIENNE – PARTE COMUNE ITALO-FRANCESE

PARTE IN TERRITORIO ITALIANO – PROGETTO IN VARIANTE
(OTTEMPERANZA ALLA PRESCRIZIONE N. 235 DELLA DELIBERA CIPE 19/2015)

CUP C11J05000030001 – PROGETTO DEFINITIVO

GENIE CIVIL – OPERE CIVILI

CONSTRUCTION - COSTRUZIONE

METHODES DE CONSTRUCTION EN SOUTERRAIN – METODOLOGIA COSTRUTTIVA IN
SOTTERRANEO

TUNNEL DE BASE - COTE ITALIE – TUNNEL DI BASE - LATO ITALIA

CREUSEMENT AU TUNNELIER – SCAVO MECCANIZZATO CON FRESA

Indice	Date/ Data	Modifications / Modifiche	Etabli par / Concepito da	Vérifié par / Controllato da	Autorisé par / Autorizzato da
0	30/11/2012	Première diffusion / Prima Diffusione	M. JANUTOLO (BG) A. MIGNINI (AMB)	M. RUSSO C. OGNIBENE	L. CHANTRON M. PANTALEO
A	08/02/2013	Révision suite aux commentaires LTF/ Revisione a seguito commenti LTF	M. JANUTOLO (BG) E. GARIN (BG) S. MINON (BG)	M. RUSSO C. OGNIBENE	L. CHANTRON M. PANTALEO
B	15/11/2016	Première émission PRV – révision générale / Prima emissione PRV – revisione generale	M. JANUTOLO (BG) C. SALOT (BG)	F. MAGNORFI C. OGNIBENE	L. CHANTRON A. MORDASINI
C	01/12/2017	Révision suite aux commentaires TELT et passage au statut AP/ Revisione a seguito commenti TELT e passaggio allo stato AP	M. JANUTOLO (BG) C. SALOT (BG)	F. MAGNORFI C. OGNIBENE	L. CHANTRON A. MORDASINI



CODE DOC	P	R	V	C	3	A	T	S	3	0	8	9	6	C
	Phase / Fase			Sigle étude / Sigla			Émetteur / Emittente			Numero			Indice	

A	P	N	O	T
Statut / Stato		Type / Tipo		

ADRESSE GED INDIRIZZO GED	C3A	//	//	33	02	02	10	05
------------------------------	------------	----	----	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

ECHELLE / SCALA
-



TELT sas – Savoie Technolac - Bâtiment "Homère"
13 allée du Lac de Constance – 73370 LE BOURGET DU LAC (France)
Tél. : +33 (0)4.79.68.56.50 – Fax : +33 (0)4.79.68.56.75
RCS Chambéry 439 556 952 – TVA FR 03439556952
Propriété TELT Tous droits réservés – Proprietà TELT Tutti i diritti riservati

Ce projet
est cofinancé par
l'Union européenne
(DG-TREN)



Questo progetto
è cofinanziato
dall'Unione europea
(TEN-T)

SOMMAIRE / INDICE

1. INTRODUZIONE	4
1.1 Generalità.....	4
1.2 Modifiche rispetto al Progetto Definitivo Approvato.....	4
2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	5
2.1 Quadro normativo di riferimento.....	5
2.2 Documenti di progetto	5
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOMECCANICO.....	6
4. CARATTERISTICHE DELLA FRESA	7
5. CARATTERISTICHE DEL RIVESTIMENTO IN CONCI PREFABBRICATI.....	9
6. MODALITÀ DI LAVORO E RENDIMENTI LUNGO IL TRACCIATO.....	9
7. CALCOLO PRESSIONI ZONA CENISCHIA.....	12
8. CALCOLO DELLE SPINTE NECESSARIE PER L'AVANZAMENTO.....	12
9. TRATTAMENTI PRIMA E DOPO LO SCAVO.....	15
10. TRASLAZIONE DELLE FRESE NELLA GALLERIA ARTIFICIALE	18
11. CONCLUSIONI.....	20
ALLEGATO 1: CALCOLO DELLE PRESSIONI AL FRONTE SOTTO LA VAL CENISCHIA.....	21

LISTE DES FIGURES / INDICE DELLE FIGURE

Figura 1: utilizzo ottimale EPB/slurry	7
Figura 2: Profilo longitudinale di spostamento considerando il confinamento dello scudo per la sezione C2	13
Figura 3: Curva caratteristica per la sezione C2	14
Figura 4: Schema sistema di iniezioni in avanzamento	16
Figura 5: Schema di scavo in mina lungo la fresa per intervento in avanzamento allo scavo.	17
Figura 6: Schema di scavo di galleria laterale per intervento in avanzamento allo scavo.....	17
Figura 7: Traslazione delle frese nella galleria artificiale	19

RESUME / RIASSUNTO

Ce document fournit le projet et les principales caractéristiques des tunneliers qui devront creuser sur le côté Italie à partir de Maddalena 2 jusqu'au portail Est du TdB. Il s'agit d'un tunnelier mixte à bouclier à circuit hydraulique capable à s'adapter aux différentes conditions géologiques/geomecaniques à traverser. Les principales fonctions de la machine ont été décrites ; de plus, les poussées et les pressions au front ont été évaluées et les traitements et les interventions pendant le creusement ont été illustrés.

Il presente documento fornisce il progetto e le principali caratteristiche delle TBM che dovranno scavare sul lato Italia a partire da Maddalena 2 fino al portale Est del TdB a Susa. Si tratta di una fresa mista scudata a circuito idraulico capace di adattarsi alle diverse condizioni geologiche/geomeccaniche da attraversare. Le principali funzionalità della macchina sono state descritte; si sono altresì stimate le spinte, le pressioni al fronte ed illustrati i trattamenti e gli interventi durante lo scavo.

1. Introduzione

1.1 Generalità

In questo documento si descrive la fresa mista scudata prevista sul lato Italia per le seguenti opere:

- Galleria Maddalena 2, dal PM 160 al PM 3058;
- Canna BP del Tunnel di Base dalla pk 53+515 alla pk 61+076.5 (scavo in continuità con la galleria Maddalena 2);
- Canna BD del Tunnel di Base dalla pk 53+690 alla pk 61+076.5.

La soluzione di PRV prevede, per la fresa che scava il BP del TdB:

- Montaggio della fresa nell'area di cantiere della Maddalena;
- Scavo in modalità aperta da roccia della galleria Maddalena 2 e del TdB fino alla pk 55+950;
- 1^a modifica fresa e scavo in modalità chiusa/confinata sotto la Val Cenischia fino alla pk 57+400;
- 2^a modifica fresa e scavo in modalità aperta da roccia fino all'imbocco (pk 61+076.5);
- Traslazione della fresa nella galleria artificiale e smontaggio nell'area di cantiere a Susa.

La fresa che scava il BD del TdB viene invece montata in sotterraneo in un'apposita caverna di montaggio per essere lanciata alla pk 53+690. Successivamente procedendo verso Est valgono le stesse operazioni descritte per il BP.

Con riferimento alla soluzione di PRV di cui sopra, il presente documento illustra di seguito le caratteristiche ed il rendimento atteso della fresa mista scudata, in funzione delle diverse zone geologiche da scavare.

1.2 Modifiche rispetto al Progetto Definitivo Approvato

Le variazioni del PRV rispetto al Progetto Definitivo Approvato sono molteplici e sono sintetizzate nel seguito:

- Nuove opere: la galleria Maddalena 2 sostituisce la galleria di Val Clarea e viene scavata con la fresa oggetto di questa relazione per buona parte della tratta.
- Metodi di scavo: la variante progettuale a seguito della prescrizione n. 235 in fase di approvazione del Progetto Definitivo da parte del CIPE porta ad una revisione dei fronti di attacco e dei metodi di scavo per alcune litologie, come descritto nell'elaborato PRV_C3A_0880_33-02-02_Relazione illustrativa sui metodi di scavo delle gallerie e delle opere connesse. Questo porta ad avere uno sfruttamento maggiore della TBM nel caso della canna BP, che scava circa 10.5 km al posto di 8.6 km nel Progetto Definitivo Approvato (la TBM scava anche la galleria Maddalena 2). A differenza del PD, inoltre, lo scavo è in contropendenza e la TBM scava anche le rocce verdi. La copertura è leggermente inferiore (1200 m circa al posto di 1400 m).
- Ritorno di esperienza geologico/idrogeologico/geomeccanico del cunicolo della Maddalena: riguarda il complesso d'Ambin ed il complesso di Clarea. In particolare, si è notato come le faglie in questi ammassi non portano a condizioni di particolare criticità e solo in alcuni casi vi è una degradazione significativa dell'indice GSI, che

comunque si prevede che non scenda al di sotto di 45 lungo il tracciato in queste litologie. I fenomeni di rilascio in calotta osservati nel cunicolo non dovrebbero creare particolari problemi con questo tipo di macchina. Inoltre, nella tratta di Maddalena 2 parallelo al cunicolo della Maddalena l'affidabilità del modello geologico/geomeccanico è alta. In generale, vi sono dunque meno incertezze rispetto al PD in queste litologie.

- Gestione rocce verdi: si rimanda al documento specifico PRV_C3A_7610_33-02-02. Le frese verranno decontaminate e traslate nella galleria artificiale, prima di essere smontate nell'area di cantiere esterna all'imbocco Est. Le gallerie artificiali sono state rialzate di circa 75 cm per permettere queste operazioni.

Le principali caratteristiche della fresa sono comunque rimaste invariate rispetto al PD.

2. Documenti di riferimento

2.1 Quadro normativo di riferimento

Il quadro normativo di riferimento è trattato nell'allegato 4.1 del Dossier Preliminare della Sicurezza (documento PRF_C1_0003_00-00-00_10-03).

2.2 Documenti di progetto

Sono direttamente collegati alla presente relazione i documenti del capitolo 26-19 (Tunnel di Base-sezione corrente lato Italia) e 48-21 (Galleria della Maddalena – galleria Maddalena 2):

- PRV_C3A_3949_26-19-00 Relazione tecnica e di calcolo
- PRV_C3A_3950_26-19-00 Relazione di calcolo del rivestimento con conci prefabbricati
- PRV_C3A_3951_26-19-00 Profilo longitudinale geologico-geomeccanico con applicazione delle sezioni tipo - 1/2
- PRV_C3A_3948_26-19-00 Profilo longitudinale geologico-geomeccanico con applicazione delle sezioni tipo - 2/2
- PRV_C3A_3956_26-19-40 Relazione tecnica sul sistema di drenaggio
- PD2_C3A_0620_26-19-30 Sezione tipo TM45. Geometria anello e disposizione conci
- PD2_C3A_0621_26-19-30 Sezione tipo TM40. Geometria anello e disposizione conci
- PD2_C3A_4851_26-19-30 Dettaglio dei conci prefabbricati
- PD2_C3A_4014_26-19-30 Interventi eccezionali scavo in meccanizzato TBM scudata
- PD2_C3A_4015_26-19-30 Interventi eccezionali scavo in meccanizzato TBM scudata
- PRV_C3A_7540_26-48-21 Relazione tecnica descrittiva
- PRV_C3A_7541_26-48-21 Relazione tecnica e di calcolo dei sostegni.

Nella preparazione del presente documento si sono consultati in forma libera i seguenti documenti (raccomandazioni e letteratura sullo state-of-the-art di frese scudate nonché calcolo della pressione al fronte):

- GT4R3A1 Choix des techniques d'excavation mécanisée (AFTES)

- Maidl B, Schmid L, Ritz W, Herrenknecht M (2008): *Hardrock Tunnel Boring Machines*
- Bringiotti (2003): *Guida al Tunnelling l'evoluzione e la sfida*
- Barla G, Pelizza S (2000): *TBM tunnelling in difficult ground conditions*. Proceedings of GeoEng 2000, Australia
- Gollegger J, Priller A, Rausch M (2009): *The use of open tunnel boring machines in squeezing rock in the Gotthard Base Tunnel*, Geomechanics and Tunneling, 2(5), 591-600
- Gutter W., Romualdi P. (2003): *New design for a 10 m universal double shield TBM for long railway tunnels in critical and varying rock conditions*. Proceedings for RETC 2003, New Orleans, USA.
- Grandori R, Romualdi P. (2006): *Galleria di Abdalajis. La sfida della TBM universale a doppio scudo*. Strade ed autostrade
- Palaez M, Arroyo J C, Alonso N (2009): *Experience acquired in the excavation of railway tunnels in Spain using tunnel boring machines*. Proceedings of WTC 2009, Budapest, Hungary.
- Mendana F (2004): *Double Shield tunnellers in the construction of Guadarrama tunnels*. Congress on mechanized tunnels: challenging case histories, Torino.
- Gonzalez J. F., Gandia J, Fernandez N: (2004): *Tunel de Abdalajis ejecutado con TBM para la linea de Alta Velocidad Cordoba-Malaga*, Revista de obras publicas, 350.
- Ramoni M (2010): *On the feasibility of TBM drives in squeezing ground and the risk of shield jamming*. Dissertation no. 18965, ETH Zurich, Switzerland
- Ramoni M, Anagnostou G (2011): *The interaction between shield, ground and tunnel support in TBM tunnelling through squeezing conditions*, Rock Mechanics and Rock Engineering, 44, 37-61.
- Zhao K. (2012): *3D numerical modelling of squeezing conditions in mechanized excavation of deep tunnels*. Tesi di Dottorato. Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica, Politecnico di Torino.
- Fritz P. (2003): *Slurry shield tunnelling in highly permeable ground*, 39th US Rock Mechanics Symposium.
- Holzhauser J, Hunt S W, Mayer C (2006): *Global experience with soft ground and weak rock tunnelling under very high groundwater heads*, North American Tunnelling Congress, Chicago.
- Werner Burger, François Dudouit (2011): *The Hallandsås dual mode TBM*, ETH Kolloquium, May 2011, Zurich.
- Golder Associates Ltd (2009): *Ground control for slurry TBM tunneling*
- Anagnostou G, Kovari K (1996): *Face stability in slurry and EPB shield tunneling*, Geotechnical aspects of underground constructions in soft ground.

3. Inquadramento geologico-geomeccanico

Le caratteristiche delle zone geologiche che la fresa dovrà attraversare sono riassunte nei profili geotecnici-geomeccanici PRV_C3A_3951 e 3948_26-19-00 e PRV_C3B_7207_26-48-01.

Le caratteristiche dell'ammasso roccioso, le analisi di comportamento allo scavo (con il metodo delle linee caratteristiche) e le problematiche di scavo possibili lungo il tracciato sono

contenute nella relazione PRV_C3A_3949_26-19-00. Le informazioni contenute in tale relazione costituiscono dunque la base per la concezione e progettazione della macchina e del sistema di sostegno, di seguito illustrata.

4. Caratteristiche della fresa

Di seguito vengono identificati i requisiti di base di una fresa mista capace di adattarsi alle diverse zone e condizioni da attraversare lungo il tratto predefinito, assumendo che le due gallerie saranno scavate da due frese uguali ed in maniera indipendente. I valori proposti sono dei range di min-max per coprire le diverse condizioni previste e la loro valutazione si è basata sulle esperienze precedenti e la letteratura tecnica citate in bibliografia.

Sarà da valutare in una fase successiva le possibili interferenze tra le due canne così come la possibilità o meno di utilizzare il primo tunnel per eventuali trattamenti/interventi non pianificati in avanzamento allo scavo del secondo tunnel nelle zone critiche di faglia ed alluvionali.

La fresa deve attraversare i depositi alluvionali della Val Cenischia. Tenendo conto della granulometria di queste alluvioni e dell'elevato battente idrico e pressioni conseguenti (fino a 6 bar), si è selezionata una TBM di tipo slurry.

Questa tecnologia infatti, sebbene più costosa di quella EPB, consente di fronteggiare pressioni maggiori a causa del sistema idraulico di estrazione dello smarino. Il sistema di estrazione a vite delle EPB non risulta, infatti, adeguato a scavare con pressioni così importanti.

Inoltre la curva granulometrica di queste alluvioni non rientra nel fuso ottimale di lavoro di una macchina tipo EPB (Fritz, 2003; Holzhauser et al., 2006).

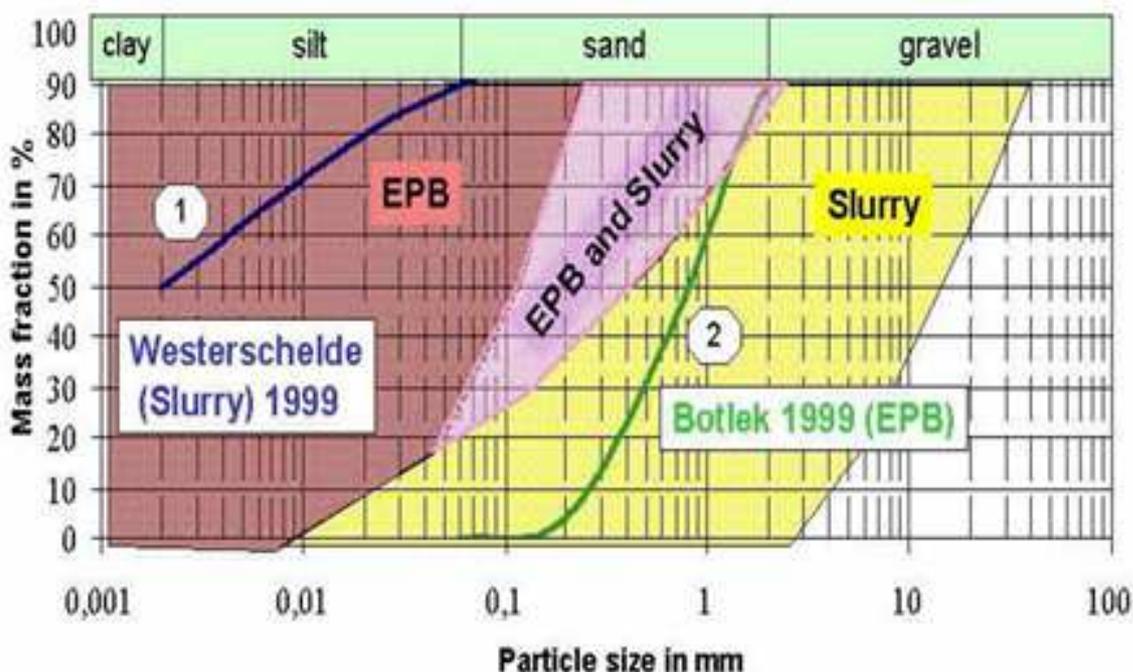


Figura 1: utilizzo ottimale EPB/slurry

La configurazione della fresa sarà quella atta a garantirne le massime prestazioni possibili nelle condizioni previste (v. valori max. parametri meccanici, in particolare spinta e coppia), da accompagnare con un'attenta pianificazione della campagna e procedure di indagini, trattamenti e drenaggi da realizzare in avanzamento e dietro lo scudo.

Le caratteristiche previste della fresa sono le seguenti:

- Scudo chiuso singolo con testa retrattile articolata e spinta longitudinale su conci + grippers laterali (solo per situazioni puntuali per correzione scudo)
- Iniezione intercapedine (gap) con pea gravel (ghiaietto) e malta cementizia (grouting) attraverso rivestimento/scudo di coda a seconda del sistema di impermeabilizzazione previsto (caso drenato o non drenato; vedere relazioni PRV_C3A_3956_26-19-40 e PRV_C3A_7565_26-48-26);
- Diametro nominale di scavo: 9.950 mm (testa fresante più grande dello scudo di 50 mm)
- Diametro massimo di scavo: 10.150 mm (200 mm di sovrascavo con dispositivi, che si può considerare come valore limite per la loro fattibilità; si veda ad es. Ramoni, 2010)
- Conicità: 50 mm sul raggio
- Intercapedine tra coda dello scudo ed estradosso del rivestimento definitivo: 100 mm
- Lunghezza scudo: 10 m
- Apertura testa: 6-8%
- Utensili di taglio: 75-60 dischi da 19" con raffreddamento a getto d'acqua (a parità di energia impiegata, maggiore è il diametro del disco e maggiore è la penetrazione però aumenta il rilascio di calore e la temperatura della testa), con una spaziatura di 80-100mm ed una penetrazione attesa di 8-10mm/rivoluzione ovvero un rapporto spaziatura/penetrazione di 8-10. Basato sul σ_c e sul CAI atteso, la vita media attesa dei dischi nei calcescisti e gneiss di questa zona è stimata pari a circa 800-1000 m³ che si riduce per i dischi più centrali e si allunga per quelli periferici. Ciò presuppone un cambio di quelli centrali circa ogni 400-500m e di quelli periferici ogni 800-1000m.
- Modalità di scavo aperta con nastro per estrazione smarino (capacità 1500-1800 t/hr), ad eccezione della tratta sotto la Val Cenischia (vedere § 6).
- Installazione pompe ad alta capacità per drenaggio acque con capacità fino a circa 300-400 lt/sec.
- Motorizzazione: 12-14 motori elettrici da 315-350kW con variatore di frequenza (65-80kW/disco). Bisogna prevedere una potenza totale in cantiere di circa 2 x 5MW + 2 x 2MW per le installazioni ausiliarie ovvero un totale di 14MW.
- Vita utile del cuscinetto: 15000 ore.
- Spinta nominale: 120.000 kN.
- Spinta sbloccaggio: 150.000 kN.
- Momento nominale testa: 16.000-21.000 kNm.
- Momento sbloccaggio testa: 25.000-30.000 kNm.
- Rivoluzioni testa: 0-6 rpm.
- Attrezzatura per perforazione in avanzamento per riconoscimento geognostico fino a 20-30m con 20-30 posizioni.
- Attrezzatura per iniezioni di consolidamento in avanzamento per trattamento faglie e zone fortemente fratturate.

Scavo meccanizzato con fresa lato Italia / Creusement au tunnelier coté Italie

- Attrezzatura (2 bracci indipendenti) per perforazioni/infilaggi di consolidamento attraverso lo scudo di coda e per perforazione a distruzione attraverso i conci, con giro di $\pm 180^\circ$ e capacità di traslazione su monorotaia di 8-10m di escursione longitudinale (per trattamento di circa 4-6 anelli dietro lo scudo). Ciò permetterà di trattare in calotta le zone fratturate e di faglia con comportamento spingente al fine di ridurre il rischio di bloccaggio dello scudo nella zona a scaglie ed eventualmente nelle zone a grande copertura (massiccio d'Ambin) e di limitare il fenomeno differito di creep intorno al rivestimento nelle zone di faglia e delle carniole.
- 15 coppie di martinetti di spinta.
- La fresa, i suoi componenti e lo svolgimento delle attività di avanzamento devono garantire le prescrizioni degli “Indirizzi operativi comuni per la costruzione in sicurezza del megatunnel sulla linea ferroviaria”.

Sarà inoltre fondamentale la capacità di monitorare in tempo reale tutti i parametri operativi della fresa e dello stato tenso-deformativo del rivestimento, così come la facoltà di eseguire analisi incrociate e a ritroso dei dati per ridurre progressivamente i margini di rischio.

5. Caratteristiche del rivestimento in conci prefabbricati

Il diametro esterno è pari a 9.6 m. La lunghezza media dell'anello, compatibile con la corsa del martinetto ed il montaggio della chiave, è di 1.80 m, per uno spessore dei conci di 45 cm dalla PK 53+515 BP/53+690 BD a 57+400 (BP e BD) del TdB ed in Maddalena 2 e di 40 cm dalla pk 57+400 alla pk 61+076,5. I conci sono in c.a. con cls di resistenza C45/55 in corrispondenza allo spessore dei conci di 45 cm (TM45) e C40/50 in corrispondenza allo spessore dei conci di 40 cm (TM40).

L'anello costituito da conci è composto da 8 elementi:

- 6 conci generici romboidali (variabili solo per la rastrematura), di 48° .
- 1 concio di controchiave, di 48° .
- 1 concio di forma trapezia di 24° .

I giunti trasversali e longitudinali sono piani; i conci sono collegati tra loro (sia trasversalmente che longitudinalmente) da bullonature inclinate e da connettori biconici. Gli anelli successivi vengono montati in modo che i giunti non siano allineati.

Per il processo di prefabbricazione dei conci si veda la relazione PRV_C3A_3950_26-19-00.

L'impermeabilizzazione del rivestimento è garantita dall'uso di giunti elastomerici EPDM da inserirsi nella scanalatura prevista a questo scopo. Si prevedono dei giunti di tipo M385 87 A - "Groene Hart" o equivalente. I fornitori indicano che è possibile lavorare sotto pressioni massime di 25 bar per un'apertura di 3 mm e di 16 bar per un'apertura di 4 mm per un offset massimo teorico di 15 mm. Nel caso attuale devono resistere a pressioni di 10 bar per un offset massimo teorico di 15 mm e per una vita utile di 120 anni.

6. Modalità di lavoro e rendimenti lungo il tracciato

Assemblaggio fresa (nell'area di cantiere esterna della Maddalena per lo scavo Maddalena 2 + BP; nella caverna di montaggio da Pk 53+690 a Pk 53+650 per BD)

Scavo meccanizzato con fresa lato Italia / Creusement au tunnelier coté Italie

- Durata fabbricazione fresa e trasporto a cantiere: circa 12-15 mesi.
- Durata montaggio/commissioning fresa e installazioni cantiere: circa 3-4 mesi
- Preparazione galleria e traslazione fresa: circa 2 mesi
- Durata totale fabbricazione/montaggio/commissioning/traslazione fresa 1: circa **17-21 mesi** (15-19 mesi per fresa 2).

Scavo serie di Ambin e Clarea (dal PM 160 al PM 3058 di Maddalena 2 e dalla Pk 53+515 alla Pk 54+900 del BP; dalla pk 53+690 alla pk 54+900 del BD)

- Perforazioni in avanzamento per riconoscimento geognostico fino a 20-30m
- Velocità di penetrazione attesa: 4-6m/hr: scavo medio anello 20-30min. e montaggio anello 20-30min
- Rendimento medio previsto: 30-50% del tempo per lo scavo e montaggio anello ed un 50-70% per manutenzione e prospezione. Quanto sopra equivale a una media di circa 4-8 anelli/gg o 7-14 m/gg o 180-360 m/mese.
- Durata scavo prevista: circa **23 mesi per Maddalena 2+BP** (compresa la realizzazione delle sezioni di innesto) e **6 mesi per il BD**.

Scavo Zona a Scaglie (dalla Pk 54+900 alla Pk 55+950, sia per BP che per BD):

- Perforazione in avanzamento per riconoscimento geognostico fino a 20-30m
- Iniezioni orizzontali di consolidamento in avanzamento per trattamento faglie e zone fortemente fratturate
- Ombrello di infilaggi in avanzamento per supporto calotta in entrata e uscita faglie e zone fortemente fratturate
- Velocità di penetrazione attesa: 3-5m/hr : scavo medio anello 30-40min. e montaggio anello 30-40min
- Rendimento medio previsto: 30-40% del tempo per lo scavo e montaggio anello ed un 60-70% per manutenzione, prospezione e trattamento in avanzamento. Quanto sopra equivale a una media di circa 5-6 anelli/gg o 9-11m/gg o 210-260m/mese.
- Durata scavo prevista: circa **4 mesi (sia BP che BD)**.

1ª modifica TBM (Pk 55+950):

- Ritiro nastro e messa a punto circuito idraulico (senza bolla d'aria)
- Commissioning impianto di trattamento dei fluidi bentonici da installare nell'area esterna del cantiere della Maddalena
- Apertura parziale della ruota fino a 15-20% per permettere l'entrata di massi decimetrici
- Installazione di un frantoio per frantumare i blocchi decimetrici
- Prove di tenuta della giunta del cuscinetto con pressioni fino a circa 7 bar (pressione nella parte bassa della camera + fluttuazione di 0,5bar)
- Preparazione linee di schiuma per uso di polimeri fluidificanti e coagulanti per agevolare l'estrazione del materiale con bentonite e ridurre consumo tubazioni
- Preparazione ingrassaggio spazzole con grasso ad alta densità
- Sostituzione di circa 50-60% dei dischi con scrapers
- Durata prevista modifica: **1 mese** in caso tali modifiche vengano realizzate senza cunicolo di accesso al fronte della fresa.

Scavo meccanizzato con fresa lato Italia / Creusement au tunnelier coté Italie

Scavo Transizione Cenischia - Zona a Scaglie (circa 50 m dalla Pk 55+950 alla Pk 56+000):

- Scavo confinato con pressioni variabili fino ad incontrare i depositi del Cenischia
- Rendimento medio previsto: 6-10m/gg o 150-240 m/mese
- Durata prevista: circa **0.25 mesi** senza cambio utensili.

Scavo Cenischia (circa 1200m da Pk 56+000 a Pk 57+250):

- Modalità di scavo chiusa con pressioni in chiave di 5.6 bar (v. calcolo in allegato 1)
- Rendimento medio previsto: 6-10m/gg o 150-240 m/mese
- Durata prevista: circa **6 mesi** senza/con cambio utensili. In caso fosse necessario realizzare una revisione della testa (da evitare), si dovrà prevedere il trattamento del fronte da dentro la fresa al fine di ridurre il carico idrostatico attraverso la riduzione della permeabilità circostante ed il drenaggio controllato del freatico.

Scavo transizione Zona Piemontese - Cenischia (circa 150 m da Pk 57+250 a 57+400)

- Modalità di scavo chiusa con pressioni fino ad annullarsi
- Rendimento medio previsto: 5-6 anelli/gg o 9-11m/gg
- Durata scavo prevista: circa 2-3 settimane
- Durata totale prevista per modifica e scavo: circa **1-1.5 mesi**.

2^a modifica TBM (Pk 57+400):

- Modifica utensili con installazione 100% dischi da 19”
- Modifica apertura testa da ridurre a 5-8%
- Reinstallazione del nastro trasportatore al posto del circuito idraulico
- Cambio tipologia conci: spessore 45 cm e classe C45/55
- Durata prevista modifica: **1,5-2 mesi**.

Scavo Zona Piemontese (da Pk 57+400 a Pk 60+710):

- Rendimento medio previsto : 40-50% del tempo per lo scavo e montaggio anello ed un 50-60% per manutenzione, prospezione e trattamento in avanzamento. Quanto sopra equivale a una media di circa 8 anelli/gg o 12-15m/gg o 270-350m/mese
- Velocità di penetrazione attesa: 5-7m/hr: scavo medio anello 20-30min. e montaggio anello 20-30min
- Durata scavo: circa **11 mesi**.

Preparazione scavo rocce verdi (pk 60+710):

- La macchina ed in particolare il back-up verranno attrezzati per lo scavo delle rocce verdi, secondo quanto descritto nella relazione PRV_C3A_7610_33-02-02.
- Utensili da taglio: si prevede un 15% in più di dischi al fine di avere dei chips un po' più piccoli e quindi migliorare le modalità di gestione dello smarino descritte nella relazione sopra menzionata.
- Durata prevista: circa **3 mesi**.

Scavo rocce verdi (da Pk 60+710 a Pk 61+076.5):

Scavo meccanizzato con fresa lato Italia / Creusement au tunnelier coté Italie

- Rendimento medio previsto: al fine di consentire le operazioni di stoccaggio in sotterraneo senza generare stoccaggi tampone, si deve limitare la produzione a 4 m/gg ovvero 84 m/mese.
- Durata scavo: circa **4 mesi**.

Per quanto riguarda il planning, si veda il documento PRV_C30_0087_35-00-00.

7. Calcolo pressioni zona Cenischia

Si calcola la pressione $P_{st(S1)}$ misurata dal sensore collocato nella parte alta della camera e corrispondente a circa 0,5m sotto la chiave della sezione di scavo. Da tale valore si può derivare un diagramma di pressioni nella camera in funzione della densità apparente del materiale in essa contenuta (γ_{SL}), che sarà un mix di materiale di scavo, bentonite, acqua e schiume additivate.

Il calcolo si basa sul metodo di Anagnostou e Kovari (1996) basato sulla formulazione di Horn per terreni sciolti.

La pressione P_{st} corrisponde al valore limite ultimo (SLU tensioni efficaci) trasmesso in calotta dall'acqua e dalla struttura del terreno durante lo scavo (situazione di breve periodo). Si veda l'allegato 1 per i richiami teorici (formula) e le assunzioni effettuate.

Per quanto riguarda i valori adottati per la formula di Anagnostou & Kovari, si assume quanto segue:

- Peso specifico totale del terreno $\gamma=19,3 \text{ kN/m}^3$
- Coesione $c' = 0$
- $Z_w = 0, 10, 20$ o 25 m a seconda della posizione.
- F_0, F_1, F_2 e F_3 sono fattori adimensionali che dipendono dall'angolo di attrito ϕ' , da H , da D e da altri parametri secondo gli abachi (vedere allegato 1)
- Peso volumico del fango $\gamma_{SL} = 11,5 \text{ kN/m}^3$
- Angolo di attrito $\phi' = 26,3^\circ$
- Fattore di Sicurezza = 1,2 da applicare all'angolo di attrito, altrimenti 1
- Sovraccarico in superficie $q = 0$
- Tolleranza del sensore di pressione = $\pm 0,2 \text{ bar}$, in quanto si considera un controllo della pressione con la sola iniezione di fluido bentonitico senza bolla d'aria.

In allegato 1 vengono illustrati i risultati del calcolo in forma tabellare e grafica con riferimento a 4 posizioni diverse sotto la Val Cenischia (progressive ed altezze della falda diverse).

8. Calcolo delle spinte necessarie per l'avanzamento

Le convergenze elevate in alcune tratte possono provocare la chiusura dell'intercapedine tra scudo ed ammasso e richiedere dunque spinte notevoli per poter vincere l'attrito dovuto al contatto. Si è perciò verificato che la spinta nominale massima della fresa di 120 MN possa essere sufficiente.

Scavo meccanizzato con fresa lato Italia / Creusement au tunnelier coté Italie

Per valutare la lunghezza di chiusura e le pressioni dell'ammasso, si è utilizzata la sezione di verifica C2 già mostrata nei documenti PRV_C3A_3949 e 3950_26-19-00; in particolare, si è considerato il profilo longitudinale di spostamento (LDP) che tiene conto del contatto scudo-ammasso roccioso (figure 2 e 3). Si ricorda che si ha uno sovrascavo sul diametro ΔD pari a 25 cm (5 cm di sovrascavo di base dovuto ai dischi + 20 cm con i dispositivi adeguati) oltre alla conicità che è pari a 5 cm alla fine dello scudo.

Bisogna considerare la configurazione geometrica effettiva della macchina, per cui l'intercapedine è massima in chiave mentre è minima in corrispondenza dell'arco rovescio. Il contatto avviene quindi prima in arco rovescio, poi progressivamente nei piedritti fino alla chiusura totale dell'intercapedine. Inoltre, le spinte dell'ammasso in arco rovescio provocano una traslazione verso l'alto dello scudo che viene a ridurre la distanza libera (dovuta all'intercapedine) in calotta. Tuttavia, questa traslazione, dato il peso dello scudo, è inferiore allo spostamento radiale in assenza di sostegni (si stima un 60% di esso).

Nel punto di chiusura totale si stima quindi che lo spostamento radiale in calotta effettivo è pari a circa 22 cm mentre in arco rovescio a circa 13 cm. La somma di essi porta ai 35 cm disponibili alla coda dello scudo. Occorre considerare lo spostamento effettivo u (quello tale da determinare la chiusura dell'intercapedine), che è dato dalla seguente formula:

$$u = u_c - u_0$$

con u_c lo spostamento totale calcolato (dalla LDP), pari a 32 cm in calotta in questo caso e u_0 lo spostamento al fronte, pari a 10 cm.

La chiusura totale (contatto in calotta) avviene per una lunghezza di circa 0.7 m, ovvero a 9.3 m dalla testa fresante.

Lo scudo si caricherà progressivamente ed il valore massimo si ha alla coda di esso. La pressione dell'ammasso sulla coda è pari a 1.7 MPa.

Queste considerazioni sono basate sui calcoli convergenza-confinamento effettuati ma anche su documenti di letteratura sull'argomento. Si veda in particolare Ramoni e Anagnostou (2011) e Zhao (2012).

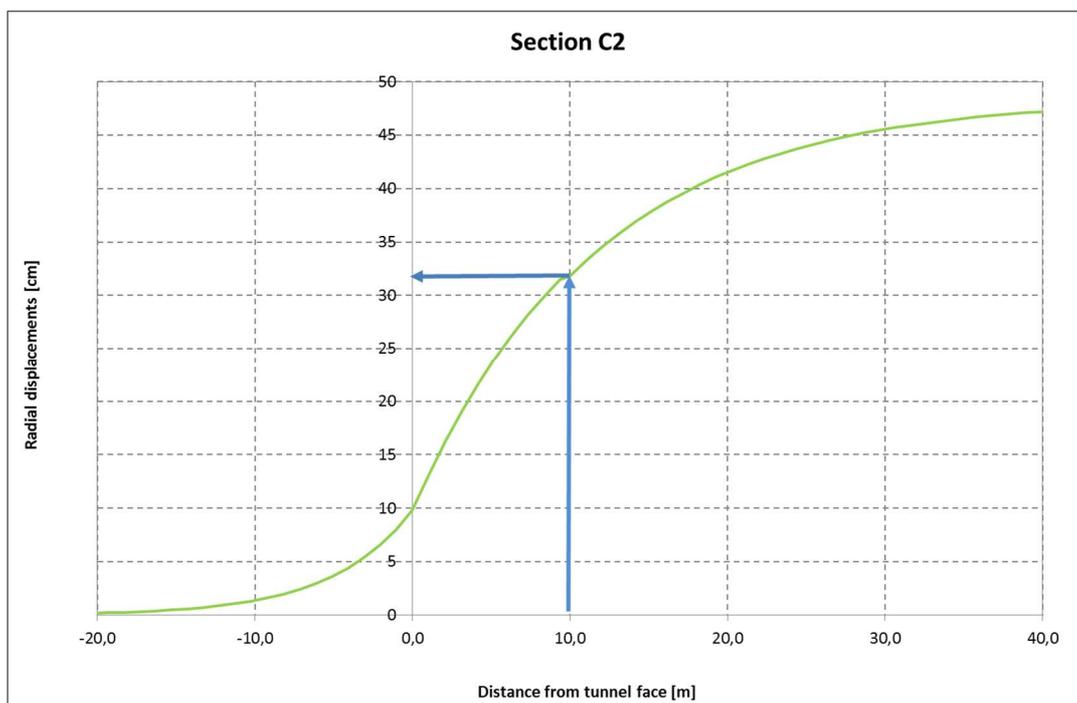


Figura 2: Profilo longitudinale di spostamento considerando il confinamento dello scudo per la sezione C2

Scavo meccanizzato con fresa lato Italia / Creusement au tunnelier coté Italie

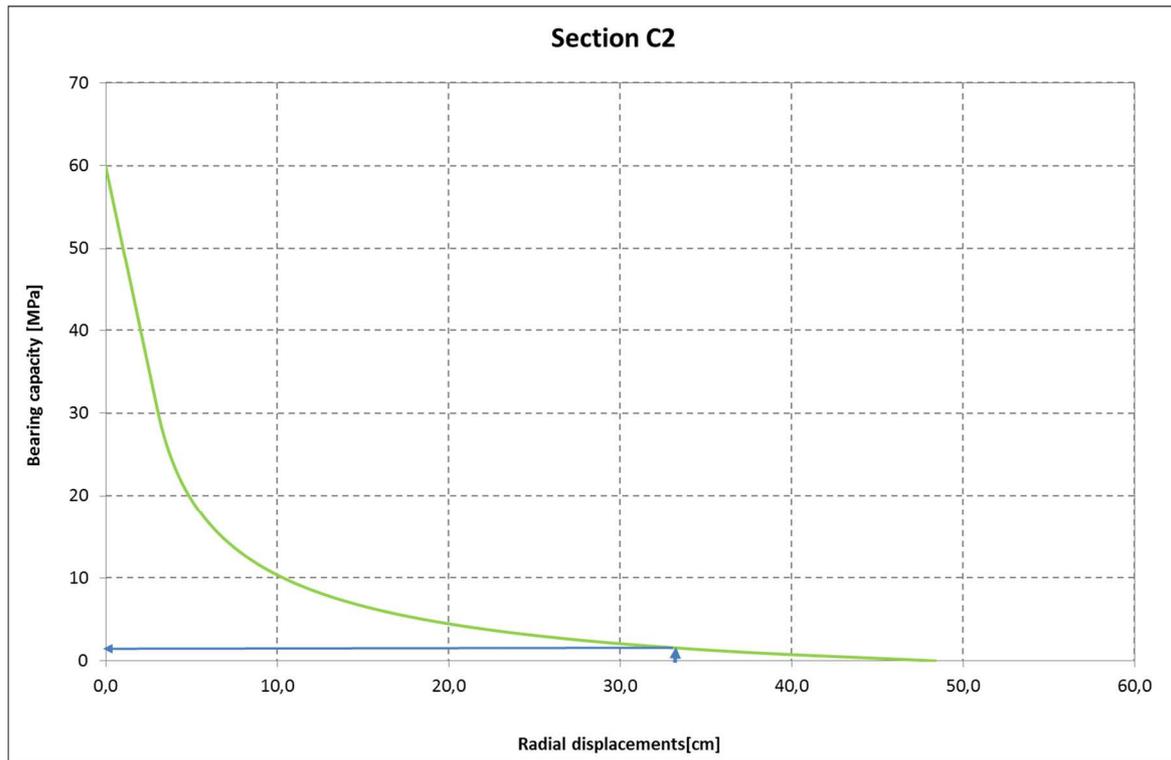


Figura 3: Curva caratteristica per la sezione C2

La forza di spinta necessaria per vincere l'attrito è stimata con la formula seguente:

$$F_f = \mu p 2\pi RL$$

Con:

- μ coefficiente di attrito. Ramoni e Anagnostou (2011) suggeriscono di usare $\mu=0.15-0.3$ per il coefficiente cinetico durante l'avanzamento e $0.25-0.45$ per il coefficiente statico usato per riprendere lo scavo dopo un fermo macchina. Il coefficiente di 0.3 è stato usato in questa verifica (come suggerito da Zhao, 2012). Tale valore non tiene conto di una eventuale lubrificazione dello scudo con iniezione di fluido bentonitico (ipotesi conservativa)
- p pressione dell'ammasso, considerando il valore in corrispondenza alla coda dello scudo
- R raggio dello scudo
- L lunghezza di contatto. Si è visto che il contatto totale avviene per una lunghezza di 0.7 m. In arco rovescio il contatto sarà pressoché immediato. In corrispondenza dei piedritti (situazione intermedia) si ha un'intercapedine utile pari a 14 cm. Considerando uno spostamento totale pari a 24 cm, si ottiene una distanza del fronte pari a 5 m. Si considera quindi $L=5$ m.

Si ottiene $F_f=80$ MN. A questo bisogna sommare la spinta alla testa F_N , che può essere calcolata come segue per la configurazione della macchina con sovrascavo (si suppone l'uso di circa 70 cutters da 19''):

$$F_N=70 \times 300 = 21000 \text{ kN}$$

Si ottiene dunque una spinta totale pari a circa 100 MN, inferiore a quella nominale.

Si fa notare inoltre come il metodo curve caratteristiche-LDP tende a sovrastimare la spinta rispetto a modelli assialsimmetrici o 3D (si veda Zhao, 2012 a questo proposito).

Durante il sottoattraversamento della Val Cenischia, data la coesione quasi nulla dei terreni, lo scudo sarà a contatto con il terreno lungo quasi tutto il suo sviluppo. Tuttavia le pressioni di contatto – dovute solo alle tensioni efficaci con la TBM in avanzamento – sono di gran lunga inferiori. Considerando $p=138.4$ kPa (secondo la relazione PRV_C3A_3950_26-19-00) e $L=9$ m, si ottiene $F_f=11.6$ MN.

Per quanto riguarda la stima delle sollecitazioni trasmesse all'anello in caso di manovra di "sbloccaggio" (es: spinte asimmetriche sui conci), si considera tale evenienza da verificare in fase esecutiva.

9. Trattamenti prima e dopo lo scavo

Uno dei requisiti fondamentali della fresa mista illustrata nel presente documento, è la possibilità di scavare sia in modalità chiusa in presenza di forti pressioni idrostatiche (vedi calcolo delle pressioni di lavoro zona Cenischia in allegato 1) come altresì essere capace di scavare in modalità aperta attraverso zone di forte instabilità con possibili venute d'acqua ad alta pressione (zona a scaglie).

Per quanto riguarda lo scavo in modalità chiusa, può sorgere l'esigenza di dover intervenire sulla testa della fresa per una manutenzione straordinaria non programmata, dovuta per esempio ad un consumo eccessivo degli utensili o al bloccaggio delle aperture. In entrambi i casi ciò comporta il parziale o totale svuotamento della camera di materiale e la necessità di entrare con personale qualificato e autorizzato in condizioni iperbariche che potrebbero richiedere pressioni superiori ai 5 bar al fine di poter ispezionare correttamente il fronte e la ruota di taglio.

Per fare ciò è necessario eseguire un trattamento previo del fronte (da dentro la macchina in caso per varie ragioni non sia possibile dalla superficie), che può consistere nella creazione di un semplice cake di bentonite o in un blocco di materiale trattato con iniezioni di malta cementizia e/o additivata con sostanze reagenti all'acqua.

Quanto sopra è necessario per permettere alla fresa di fermarsi in una medio fortemente impermeabile, che permetta nell'immediato intorno di pompare acqua e ridurre a valori accettabili la pressione idrostatica e di conseguenza quella della bolla d'aria necessaria a mantenere il fronte in condizioni stabili durante le operazioni di manutenzione.

Per quanto riguarda invece lo scavo in modalità aperta, altra caratteristica della fresa è quella di poter eseguire indagini e trattamenti in avanzamento come altresì migliorare i parametri dell'ammasso una volta passato lo scudo, ovvero da un lato la capacità di identificare e trattare efficacemente possibili zone con forte rischio di instabilità e di venute d'acqua e dall'altra poter intervenire sull'ammasso da dentro il tunnel eseguito.

A tale scopo la fresa deve essere dotata di sistemi di perforazione ed iniezione con una distanza e raggio d'azione sufficienti a garantire le condizioni di sicurezza e produzioni medie previste. Le iniezioni saranno eseguite al fronte attraverso la testa fresante o in periferia attraverso lo scudo, come illustrato in Figura 5, in maniera a simile a quanto effettuato nel caso della TBM di Hallandsas (Burger and Dudit, 2011).

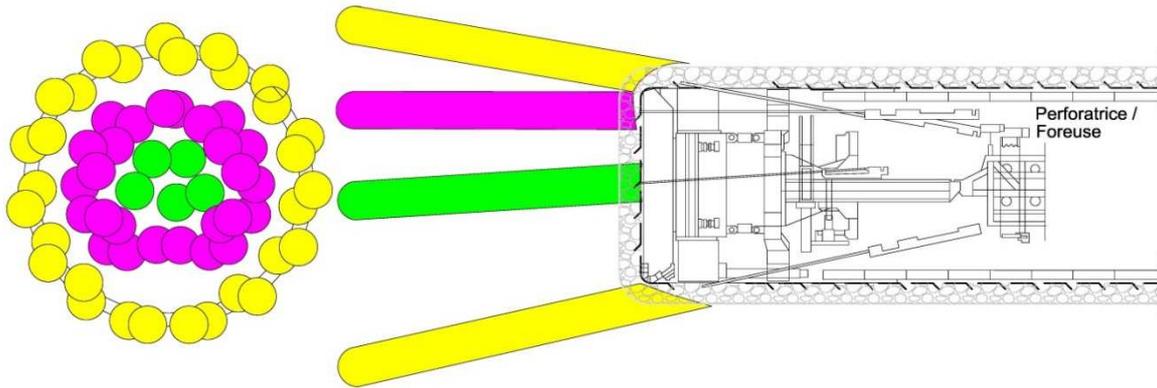


Figura 4: Schema sistema di iniezioni in avanzamento

Si possono inoltre effettuare, in casi più critici, degli infilaggi a partire dalla coda dello scudo, iniettati eventualmente con miscele di resine chimiche, come nel caso della TBM di Abdalajis (Grandori e Romualdi, 2006).

In caso ciò non sia sufficiente e si produca un bloccaggio della fresa, si dovrà valutare l'opportunità di realizzare dei cunicoli laterali lungo lo scudo, in caso di ammasso stabile, o vere e proprie gallerie laterali (bypass) che permettano di raggiungere il fronte di scavo ed effettuare tutti quei trattamenti necessari per permettere lo sbloccaggio ed il ripristino delle regolari operazioni di scavo con la fresa. A tale scopo si fa riferimento agli schemi illustrati nelle seguenti figure 5 e 6.

Scavo meccanizzato con fresa lato Italia / Creusement au tunnelier coté Italie

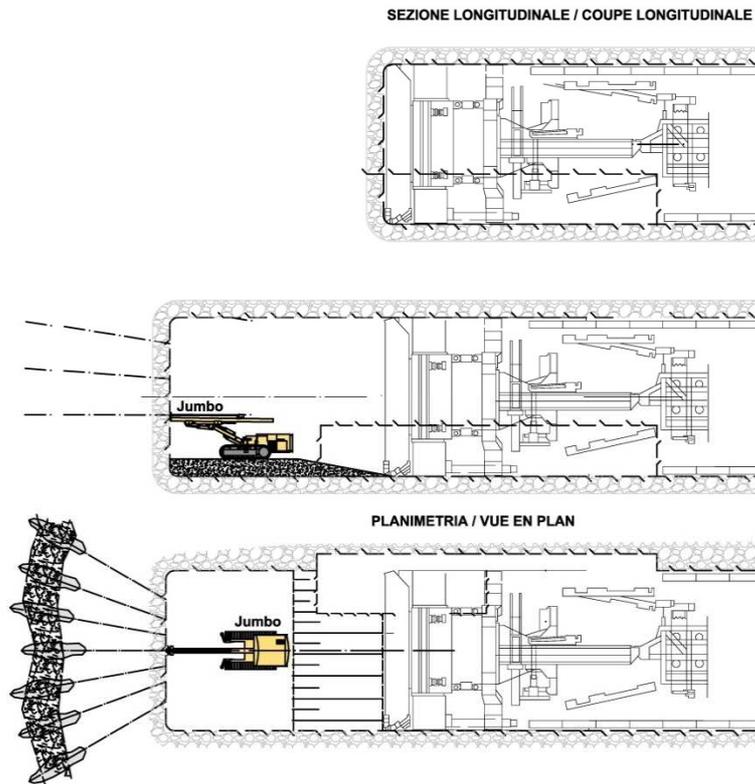


Figura 5: Schema di scavo in mina lungo la fresa per intervento in avanzamento allo scavo

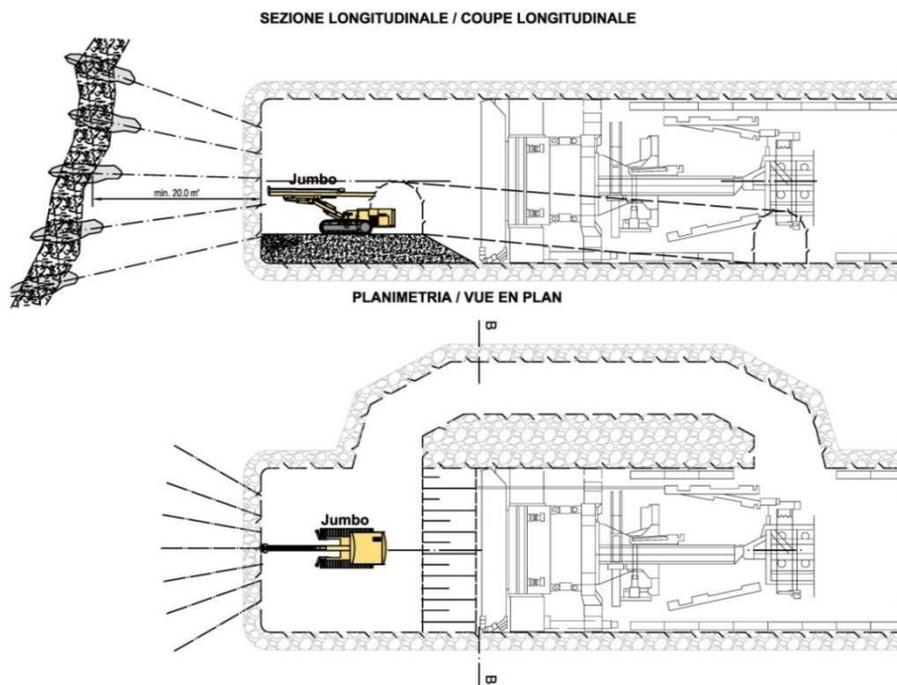


Figura 6: Schema di scavo di galleria laterale per intervento in avanzamento allo scavo

Scavo meccanizzato con fresa lato Italia / Creusement au tunnelier coté Italie

Per maggiori dettagli su questi interventi, si vedano gli elaborati PRV_C3A_4014e4015_26-19-30_interventi eccezionali scavo in meccanizzato TBM scudata.

Per la localizzazione di tali trattamenti lungo il tracciato in funzione dei rischi geologici/idrogeologici/geotecnici, si vedano i documenti PRV_C3A_3951_26-19-00, PRV_C3A_3948_26-19-00 (profili long. geotecnici), PRV_C3B_0088 e 0089_00-06-00 (analisi dei rischi geologici). In particolare, in questo paragrafo si sono considerati i rischi seguenti:

- Permeabilità superiore alle previsioni
- Presenza di venute d'acqua persistenti (costanti)
- Carsismo
- Faglie non previste (o di entità superiore alle previsioni)
- Instabilità del fronte di scavo
- Difficoltà di realizzare interventi in condizioni iperbariche.

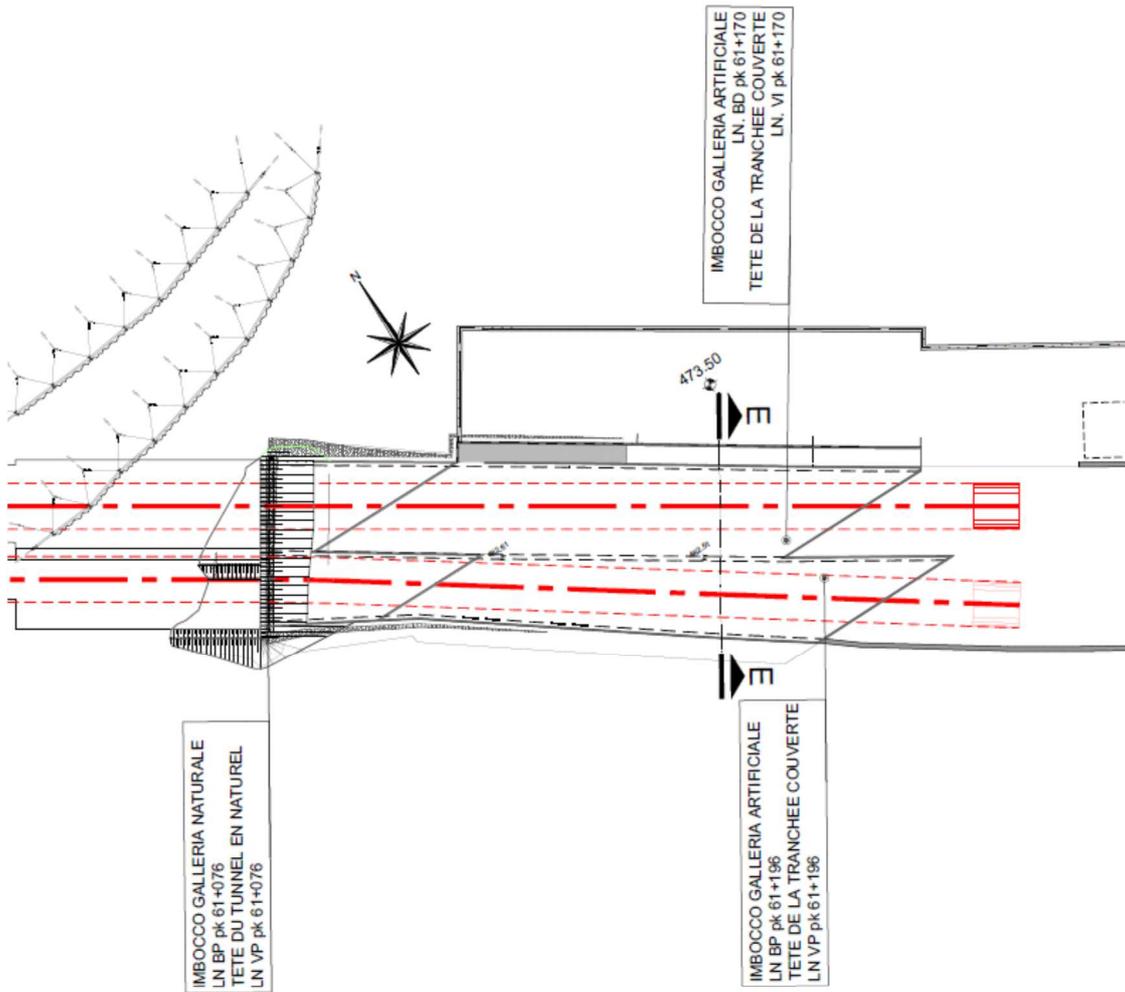
Per i tipi di iniezione si veda il documento PRV_C3A_3949_26-19-00.

10. Traslazione delle frese nella galleria artificiale

Nella galleria artificiale all'imbocco Est le frese verranno traslate e sottoposte ad operazioni di lavaggio e decontaminazione, prima di essere smontate nell'area di cantiere esterna che fa seguito alle caverne.

Il percorso di traslazione delle frese all'interno della galleria artificiale e la posizione delle frese ad una data sezione sono illustrate nella figura seguente.

Scavo meccanizzato con fresa lato Italia / Creusement au tunnelier coté Italie



SEZIONE E - E: pk 61+174 BP
 COUPE E - E: pk 61+174 VP

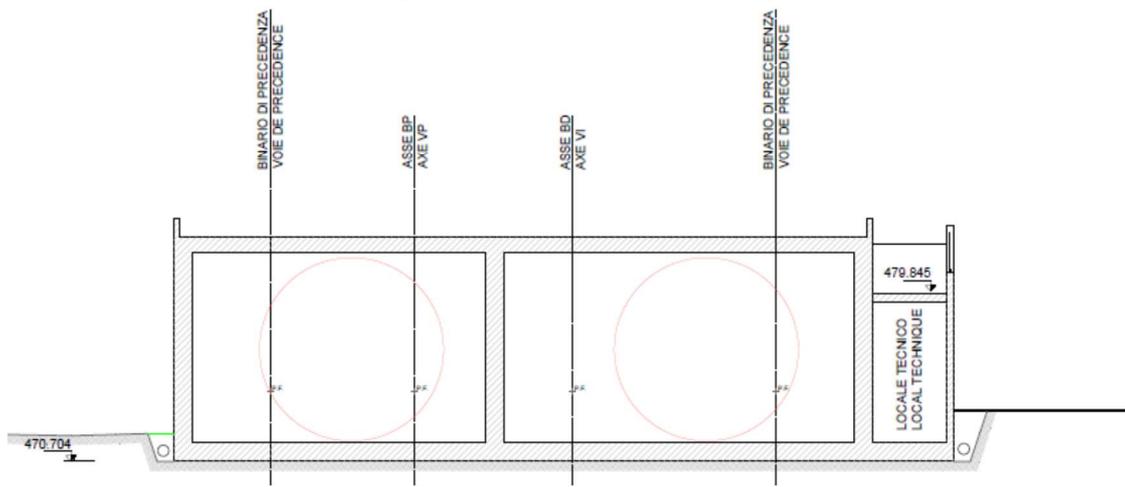


Figura 7: Traslazione delle frese nella galleria artificiale

11. Conclusioni

In questo documento si è dimensionata una fresa mista scudata per poter affrontare lo scavo della galleria Maddalena 2 e del Tunnel di Base lato Italia per 10.5 km circa sul BP e per 7.4 km circa sul BD in ammassi rocciosi e terreni dalle caratteristiche notevolmente diverse.

Le caratteristiche di base sono state illustrate, così come gli interventi in corrispondenza di faglie e zone geotecniche difficili e la traslazione delle frese nella galleria artificiale.

Scavo meccanizzato con fresa lato Italia / Creusement au tunnelier coté Italie

Allegato 1: Calcolo delle pressioni al fronte sotto la Val Cenischia

Scavo meccanizzato con fresa lato Italia / Creusement au tunnelier coté Italie

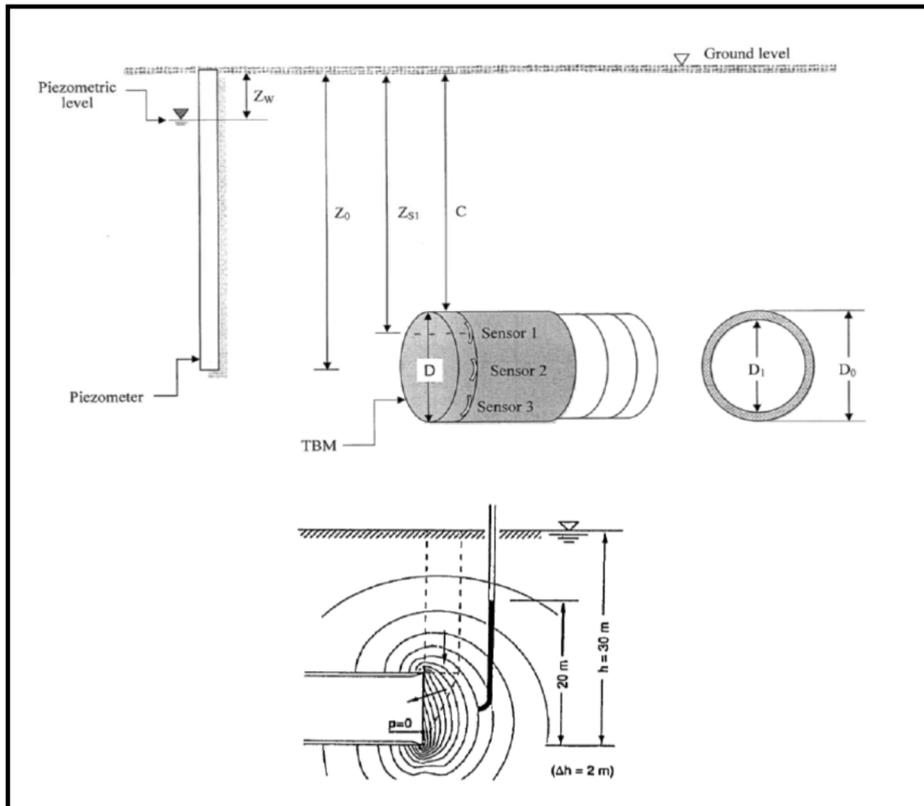


Analisi della stabilità del fronte per TBM a contropressione di fango (slurry)
 Metodo di G. Anagnostou e K. Kovari
 Applicazione: Tunnel di base lato Italia

1) Definizione dei parametri utilizzati per il calcolo

Simbolo	Definizione	Unità
C	Copertura (cf punto 2)	m
D	Diametro di scavo del tunnel (cf punto 2)	m
Z ₀	Profondità tra la superficie (piano campagna) e l'asse del tunnel (cf punto 2)	m
Z _{S1}	Profondità tra la superficie (piano campagna) ed il sensore di pressione 1 (cf punto 2)	m
Z _w	Profondità tra la superficie (piano campagna) ed il livello della falda (cf punto 2)	m
γ	Peso volumico totale del terreno	kN/m ³
γ'	Peso volumico del terreno allegerito	kN/m ³
γ _{SL}	Peso volumico del fango	kN/m ³
γ _w	Peso volumico dell'acqua	kN/m ³
P _S	Pressione di fango applicata al fronte	kPa
P _{St}	Pressione target di fango applicata al fronte	kPa
P _{St(Crown)}	Pressione target di fango del tunnel in calotta	kPa
P _{St(S1)}	Pressione target di fango al sensore di pressione n°1	kPa
P _{S(S1)}	Pressione di fango al sensore di pressione n°1	kPa
v	Tolleranza dei sensori di pressione	kPa
q	Sovraccarico medio in superficie	kPa
Δh	Variazione di altezza piezometrica tra esterno ed interno del tunnel (cf punto 2)	m
c'	Coesione efficace	kPa
φ'	Angolo di attrito efficace	°
eZ _{S1}	Spessore di TBM tra sensore di pressione n°1 e profondità di scavo (Z _{S1} -C)	m
S	Fattore di sicurezza	/
F ₀	Coefficiente adimensionale definito da Anagnostou e Kovari su abaco (cf punto 3)	/
F ₁	Coefficiente adimensionale definito da Anagnostou e Kovari su abaco (cf punto 3)	/
F ₂	Coefficiente adimensionale definito da Anagnostou e Kovari su abaco (cf punto 3)	/
F ₃	Coefficiente adimensionale definito da Anagnostou e Kovari su abaco (cf punto 3)	/

2) Illustrazione



Scavo meccanizzato con fresa lato Italia / Creusement au tunnelier coté Italie



Analisi della stabilità del fronte per TBM a contropressione di fango (slurry)

Metodo di G. Anagnostou e K. Kovari

Applicazione: Tunnel di base lato Italia

3) Richiami teorici

3.1) Teoria di Anagnostou e Kovari sul calcolo della pressione effettiva minima da applicare al fronte

- > Basato sul metodo dell'equilibrio limite
- > Membrana omogenea di fango che si sviluppa al fronte
- > Utilizzo del modello della membrana

3.2) Calcolo della pressione target di fango sul contorno del tunnel

$$P_{St(crown)} = \underbrace{\text{Pressione dell'acqua}}_A + \underbrace{\text{Pressione del terreno}}_B + \underbrace{\text{Pressione dovuta al sovraccarico}}_C + \underbrace{\text{tolleranza del sensore di pressione}}_D$$

- A = $(C-Z_w) \cdot \gamma_w$
- B = $F_0 \cdot \gamma \cdot D - F_1 \cdot c' + F_2 \cdot \gamma \cdot \Delta h - F_3 \cdot c' \cdot \Delta h / D$ (servirsi degli abachi qui di seguito per determinare F_0, F_1, F_2 e F_3)
- C = Calcolato utilizzando gli abachi di Atkinson e Mair (1977)
- D = Tolleranza del sensore di pressione (se non conosciuta si può utilizzare 20kPa (0.2 bars))

Attenzione: $\Delta h = 0$ nel caso di un tunnel a contropressione di fango utilizzando il modello della membrana

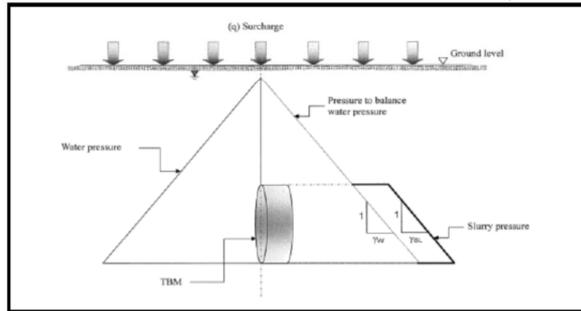
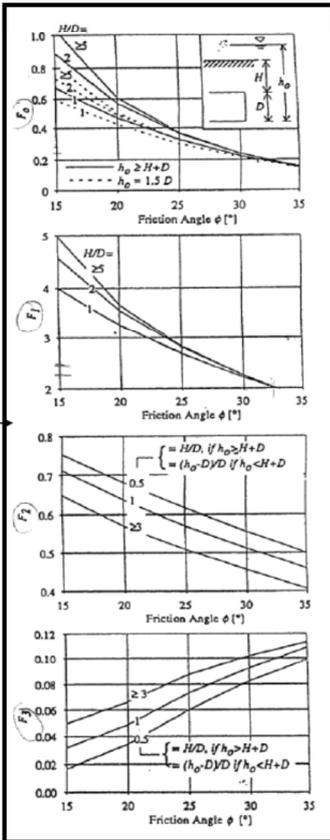
3.3) Calcolo della pressione target a livello del sensore di pressione n°1

- > La pressione da applicare dipende dalla posizione del sensore sulla TBM
- > La pressione da applicare dipende anche dalla distanza tra scavo e peso volumico del fango γ_{SL}

$$P_{St(S1)} = P_{St(crown)} + (Z_{S1} - C) \cdot \gamma_{SL} = P_{St}$$

3.4) Durante lo scavo, la pressione da applicare non può scendere oltre P_S

$$P_S = P_{St(S1)} = P_{St(S1)} - V$$



Scavo meccanizzato con fresa lato Italia / Creusement au tunnelier coté Italie



Analisi della stabilità del fronte per TBM a contropressione di fango (slurry)

Metodo di G. Anagnostou e K. Kovari

Applicazione: Tunnel di base lato Italia

4) Applicazione numerica

4.1) Geometria

Posizione	progressiva (PK)	C	Z _w
Pont Ventoux	Da 56 a 56.4	45	25
Valle 1	Da 56.4 a 56.8	45	20
Valle 2	Da 56.8 a 56.9	48	10
Valle e torrente	Da 56.9 a 57.2	48	0

4.2) Dati di ingresso

Simbolo	Valore	Coefficiente di sicurezza	Valore con coefficiente di sicurezza
D	10	1	10
eZ _{s1}	0,5	1	0,5
γ	19,3	1	19,3
γ' (= γ - γ _w)	9,5	1	9,5
γ _{SL}	11,5	1	11,5
γ _w	9,8	1	9,8
v	50	1	50
q	0	0	0
Δh	0	1	0
c'	0	1,2	0
φ'	26,3	1	26,3
tg(φ')	0,493941271	1,2	0,592729525

Questi valori saranno utilizzati per il calcolo

4.3) Determinazione dei coefficienti adimensionali F₀, F₁, F₂ e F₃

C	C/D	C+D	h ₀	(h ₀ -D)/D	1,5°D	F0	F1	F2	F3
45	4,5	55	30	2	15	0,34	2,75	0,5	0,09
45	4,5	55	35	2,5	15	0,34	2,75	0,5	0,09
48	4,8	58	48	3,8	15	0,34	2,75	0,52	0,085
48	4,8	58	58	4,8	15	0,34	2,75	0,54	0,082

Determinati su abachi. Cf punto 3.2

4.4) Calcolo della pressione target di fango in calotta del tunnel P_{st(Crown)}

C	Z ₀	Z _w	A	B	C	D	P _{st(Crown)}
45	50	25	196	32,3	0	50	278,3
45	50	20	245	32,3	0	50	327,3
48	53	10	372,4	32,3	0	50	454,7
48	53	0	470,4	32,3	0	50	552,7

4.5) Calcolo della pressione target di fango n°1 P_{st(S1)}

C	Z _{s1}	P _{st(crown)}	(Z _{s1} -C)*γ _{SL}	P _{st(S1)} = P _{st}	P _{st(S1)} = P _{st} [BAR]
45	45,5	278,3	5,75	284,05	2,8
45	45,5	327,3	5,75	333,05	3,3
48	48,5	454,7	5,75	460,45	4,6
48	48,5	552,7	5,75	558,45	5,6

4.6) Durante lo scavo la pressione non può scendere oltre P_s

P _{st(S1)}	v	P _s	P _s [BAR]
284,05	50	234,05	2,3
333,05	50	283,05	2,8
460,45	50	410,45	4,1
558,45	50	508,45	5,1

Scavo meccanizzato con fresa lato Italia / Creusement au tunnelier coté Italie



Analisi della stabilità del fronte per TBM a contropressione di fango (slurry)

Metodo di G. Anagnostou e K. Kovari

Applicazione: Tunnel di base lato Italia

5) Rappresentazione grafica

Posizione	P_k	$P_{SI(S1)} = P_{SI}$ [BAR]	P_s [BAR]
Pont Ventoux	56,0	2,8	2,3
	56,1	2,8	2,3
	56,2	2,8	2,3
	56,3	2,8	2,3
	56,4	2,8	2,3
Valle 1	56,4	3,3	2,8
	56,5	3,3	2,8
	56,6	3,3	2,8
	56,7	3,3	2,8
	56,8	3,3	2,8
Valle 2	56,8	4,6	4,1
	56,9	4,6	4,1
Valle e torrente	56,9	5,6	5,1
	57,0	5,6	5,1
	57,1	5,6	5,1
	57,2	5,6	5,1

