

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



CONTRAENTE GENERALE



**PROGETTO ESECUTIVO** DI 1° LIVELLO

**LINEA FERROVIARIA MILANO-NAPOLI  
NODO DI FIRENZE - PENETRAZIONE URBANA LINEA A.V.**

PASSANTE A.V.

Lotto 2

ELABORATO: **GALLERIE NATURALI ESEGUITE CON SISTEMA MECCANIZZATO  
PROCEDURE DI SCAVO E CONTROLLO CON EPB**

ITALFERR		CONTRAENTE GENERALE	DIREZIONE LAVORI	Data
Vidimato	Data			

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	SCALA
F E W 1	4 0	E	Z Z	S P	G N 0 1 0 0	0 0 2	A	-

PROGETTAZIONE CONTRAENTE GENERALE:    Aspetti generali:    AMBIENTE - DURAZZANI - GEOECO Progetti  
Strutture - Architettura:    SWS Engineering - Studio MAJOWIECKI - OPEN PROJECT - Studio LEMBO FAZIO - ECI-Eco Consulting Ingegneria  
Impiantistica:    ANSALDO - BETA PROGETTI - T.e.T.I.- TESIFER

Revis.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autoriz./Data
A	Emissione	Ing. Oss	16/07/2009	Ing.Cucino	20/07/2009	Ing.Lanzafame	24/07/2009	Ing.Fuoco
B								
C								

File: FEW1_40_E_ZZ_SP_GN0100_002_A.doc	Codifica GC:	n. Elab.:
--	--------------	-----------

Committente Principale <b>RFI</b>	Alta Sorveglianza <b>ITALFERR</b>	Contraente Generale <b>NODAVIA s.c.p.a.</b>
<b>PASSANTE – LOTTO 2</b> GALLERIE NATURALI ESEGUITE CON SISTEMA MECCANIZZATO SPECIFICHE TECNICHE E PROCEDURE DI SCAVO CON EPB		<b>PROGETTO ESECUTIVO DI I LIVELLO</b>

## INDICE

1.	INTRODUZIONE .....	4
2.	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	5
2.1	ELABORATI DI PROGETTO DI RIFERIMENTO .....	5
3.	GENERALITÀ DELL'INTERVENTO .....	6
3.1	SPECIFICHE TECNICHE MACCHINA DI SCAVO EPB .....	7
3.1.1	<i>Requisiti</i> .....	7
3.1.2	<i>Prescrizioni operative di avanzamento</i> .....	8
3.1.3	<i>Controlli</i> .....	9
4.	CONDIZIONI PROGETTUALI .....	10
4.1	CONDIZIONI AMBIENTALI .....	10
4.2	REQUISITI E PRESCRIZIONI .....	10
5.	ORGANIZZAZIONE E MATERIALI PER LO SCAVO DELOLA GALLERIA .....	13
5.1	PERSONALE E RUOLI DI RIFERIMENTO .....	13
5.2	MEZZI OPERATIVI/COMPONENTI TBM .....	14
5.3	MATERIALI IMPIEGATI .....	15
5.4	CONTROLLI, MONITORAGGI E PARAMETRI FRESA .....	16
6.	METODOLOGIA OPERATIVA .....	17
6.1	PREMESSA .....	17
6.2	DEFINIZIONE DELLE CONDIZIONI NORMALI ED ANOMALE .....	17
6.3	PARAMETRI DI CONTROLLO DELLO SCAVO .....	18
6.4	AVANZAMENTO IN CONDIZIONE NORMALI .....	18
6.4.1	<i>Scavo di avanzamento</i> .....	19
6.4.2	<i>Intasamento con miscela bicomponente a tergo del rivestimento</i> .....	20
6.4.3	<i>Montaggio dell'anello di rivestimento in conci prefabbricati</i> .....	20
6.5	FERMI MACCHINA .....	21
6.5.1	<i>Fermo senza svuotamento della camera di scavo:</i> .....	21
6.5.1.1	In presenza di falda .....	21
6.5.1.2	In assenza di falda .....	22
6.5.2	<i>Fermo con svuotamento della camera di scavo:</i> .....	22
6.5.2.1	In presenza di falda .....	22

Committente Principale <b>RFI</b>	Alta Sorveglianza <b>ITALFERR</b>	Contraente Generale <b>NODAVIA s.c.p.a.</b>
<b>PASSANTE – LOTTO 2</b> GALLERIE NATURALI ESEGUITE CON SISTEMA MECCANIZZATO SPECIFICHE TECNICHE E PROCEDURE DI SCAVO CON EPB		<b>PROGETTO ESECUTIVO DI I LIVELLO</b>

	6.5.2.2 In assenza di falda.....	23
	6.5.3 Fermi lunghi.....	23
6.6	<b>AVANZAMENTO IN CONDIZIONI ANOMALE.....</b>	<b>23</b>
	6.6.1 Venute di acqua attraverso la coclea .....	24
	6.6.2 Oscillazione del valore della coppia sulla testa di scavo.....	25
	6.6.3 Bloccaggio della testa di scavo .....	25
	6.6.4 Anomalie nella lettura delle pressioni al fronte.....	26
	6.6.5 Variazione della densità del materiale nella camera di scavo ....	26
	6.6.6 Sovrascavo e sottoscavo.....	27
	6.6.7 Pressione e volume della malta iniettata a tergo del rivestimento insufficienti.....	27
7.	<b>PIANO DEI CONTROLLI.....</b>	<b>28</b>
	7.1 <b>PRESSIONE DI SUPPORTO DEL FRONTE DI SCAVO .....</b>	<b>29</b>
	7.2 <b>DENSITÀ DEL MATERIALE NELLA CAMERA DI SCAVO.....</b>	<b>30</b>
	7.3 <b>PRESSIONE E VOLUME DI INIEZIONE.....</b>	<b>30</b>
	7.4 <b>CONTROLLO DEL PESO E DEL VOLUME DEL TERRENO SCAVATO.....</b>	<b>31</b>
	7.5 <b>CONTROLLO DEL CONDIZIONAMENTO DEL TERRENO.....</b>	<b>32</b>
	7.5.1 Schiuma .....	32
	7.5.2 Polimero .....	32
	7.5.3 Bentonite .....	32
	7.6 <b>CONTROLLO DELLE CONDIZIONI ANOMALE DURANTE LO SCAVO.....</b>	<b>33</b>

Committente Principale <b>RFI</b>	Alta Sorveglianza <b>ITALFERR</b>	Contraente Generale <b>NODAVIA s.c.p.a.</b>
<b>PASSANTE – LOTTO 2</b> GALLERIE NATURALI ESEGUITE CON SISTEMA MECCANIZZATO SPECIFICHE TECNICHE E PROCEDURE DI SCAVO CON EPB		<b>PROGETTO ESECUTIVO DI I LIVELLO</b>

## 1. INTRODUZIONE

La presente relazione è parte integrante del progetto esecutivo per la realizzazione del passante A.V. per la “Penetrazione Urbana del Nodo di Firenze” quale collegamento tra la nuova tratta A.V. Bologna-Firenze e la linea D.D. Firenze-Roma in corso di riqualificazione agli standard A.V..

Il progetto del Passante A.V. di Firenze prevede due macrolotti funzionali temporalmente differenziati:

1. Il I° Lotto prevede l’innesto della linea Alta Velocità BO-FI con gli impianti di superficie di Firenze sino a Santa Maria Novella mediante “Scavalco” tra Firenze Castello e Firenze Rifredi;
2. Il II° Lotto prevede il passante A.V. da Firenze Castello a Firenze Campo di Marte e nuova Stazione A.V..

Le due fasi sono sostanzialmente differenziate dai tempi realizzativi delle opere della tratta A.V. Bologna-Firenze e da quelli del Nodo di Firenze.

Le opere per la realizzazione del Passante A.V. di Firenze richiedono tempi più lunghi rispetto a quelli previsti per il completamento della tratta Bologna-Firenze e pertanto, in prima fase funzionale, l’esercizio A.V. si svolgerà sui binari di superficie da Firenze Castello a Firenze Santa Maria Novella.

Allo scopo di minimizzare al massimo le interferenze sulla circolazione è prevista la realizzazione delle opere per lo “Scavalco” delle linee ferroviarie per permettere la fluidificazione dei flussi ferroviari tra le linee:

- a. Da/per Prato/Bologna con Firenze SMN/Firenze Campo Marte;
- b. Da/per tratta A.V. Bologna-Firenze con Firenze SMN/Firenze Campo Marte.

Nella seconda fase, con il completamento del Passante, la linea sarà su sede propria da Castello fino a Rovezzano dove si allaccerà alla D.D. per Roma.

Nello specifico il presente documento definisce le operazioni che devono essere effettuate per avanzare correttamente con Tunnel Boring Machine (TBM) di tipo a contropressione di terra (Earth Pressure Balance: EPB) nonché le modalità ed i controlli dello scavo medesimo

Nel dettaglio il rapporto sarà articolato secondo lo schema di seguito elencato:

1. Breve richiamo delle ipotesi/condizioni progettuali;
2. Organizzazione e materiali per lo scavo in galleria;
3. Metodologia operativa per il controllo delle condizioni di scavo e azioni d’intervento;
4. Gestione dei fermi macchina;
5. Piano dei controlli.

Committente Principale <b>RFI</b>	Alta Sorveglianza <b>ITALFERR</b>	Contraente Generale <b>NODAVIA s.c.p.a.</b>
<b>PASSANTE – LOTTO 2</b> GALLERIE NATURALI ESEGUITE CON SISTEMA MECCANIZZATO SPECIFICHE TECNICHE E PROCEDURE DI SCAVO CON EPB		<b>PROGETTO ESECUTIVO DI I LIVELLO</b>

## 2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

### 2.1 Elaborati di progetto di riferimento

- [P1] Elaborati e documentazione Progetto Definitivo
- [P2] Elaborati e documentazione Progetto Esecutivo di I° Livello

Committente Principale <b>RFI</b>	Alta Sorveglianza <b>ITALFERR</b>	Contraente Generale <b>NODAVIA s.c.p.a.</b>
<b>PASSANTE – LOTTO 2</b> GALLERIE NATURALI ESEGUITE CON SISTEMA MECCANIZZATO SPECIFICHE TECNICHE E PROCEDURE DI SCAVO CON EPB		<b>PROGETTO ESECUTIVO DI I LIVELLO</b>

### 3. GENERALITÀ DELL'INTERVENTO

Per la realizzazione delle gallerie naturali del passante AV di Firenze è previsto l'impiego di una macchina da scavo meccanizzato integrale scudata con sostegno in pressione del fronte.

Le due gallerie, di diametro interno di 8,30 m e spessore del rivestimento di 0,40 m, sviluppano complessivamente circa 9.950 m.

Le due gallerie verranno scavate a partire dall'imbocco sud di Campo di Marte fino allo sbocco nord di Rifredi. Le due canne corrono circa parallele, mantenendo una distanza tra gli assi di circa 19.3 m, tranne agli imbocchi, dove la distanza è di circa 16.5 m per Campo di Marte e 11.5 m per Rifredi. Il tracciato prevede due curve, di cui una con raggio pari a 480 m, e la seconda con raggio pari a 305 m.

L'andamento altimetrico delle gallerie prevede un punto di minimo assoluto nei pressi del quale verrà realizzato un pozzo di aggettamento adibito all'evacuazione di eventuale acqua o liquidi in genere che si dovessero riversare nelle gallerie. Per motivi planimetrici il pozzo dista circa 34 m dal punto di minimo; in questo tratto la canaletta sarà in contropendenza rispetto alla galleria.

La galleria binario pari verrà scavata per prima; lo scavo inizierà in corrispondenza della progr. 1+317 circa (imbocco Sud Campo di Marte) e proseguirà fino al pozzo costruttivo nord (progr. 4+835 circa) attraversando a pieno la stazione A.V. non ancora realizzata. Dal pozzo costruttivo nord la fresa proseguirà lo scavo fino all'imbocco nord Rifredi (progr. 6+891), dove verrà disassemblata, trasportata all'imbocco sud e qui rimontata per iniziare lo scavo della galleria binario dispari. Dall'imbocco Sud lo scavo della galleria binario dispari proseguirà fino al camerone della stazione: la fresa attraverserà il camerone a vuoto fino al pozzo costruttivo nord (tra le progressive 4+322.7 e 4+844.8), da dove riprenderà lo scavo a pieno fino all'imbocco nord Rifredi.

Le due canne saranno collegate trasversalmente da cunicoli di bypass disposti ogni 450 m circa.

Per la descrizione delle condizioni geotecniche dei terreni da attraversare, si rimanda ai documenti di progetto:

"Relazione sulla caratterizzazione geotecnica e comportamento dei terreni nei confronti dello scavo meccanizzato" (codifica FEW1-40-E-ZZ-RB-GN0100-001);

"Profilo geotecnico con indicazioni per lo scavo meccanizzato" (codifica FEW1-40-E-ZZ-F6-GN0100-001, 002, 003).

Lo studio geotecnico è stato finalizzato ad individuare le diverse situazioni che si possono riscontrare nello scavo meccanizzato delle gallerie con macchina EPB. Il tracciato è stato suddiviso in 5 tratte omogenee per condizioni geotecniche, coperture ed interferenze. In ciascuna zona sono state riportate le informazioni stratigrafiche, geotecniche e geomeccaniche ed i risultati delle analisi specifiche per lo scavo meccanizzato relative alla stabilità del fronte.

I principali aspetti geotecnici da affrontare nella gestione dello scavo meccanizzato sono:

- elevata possibilità di incontrare terreni incoerenti acquiferi, anche al di fuori dei punti già segnalati dall'indagine, senza alcuna eccezione lungo tutto il tracciato; questi terreni potranno interessare in tutto o in parte la sezione trasversale delle gallerie. Nel contesto geologico di deposizione l'incontro di ghiaie o sabbie acquifere durante lo scavo di terreni a grana fine e viceversa, può essere improvviso e non prevedibile, per la difficoltà di determinare con esattezza l'estensione

Committente Principale <b>RFI</b>	Alta Sorveglianza <b>ITALFERR</b>	Contraente Generale <b>NODAVIA s.c.p.a.</b>
<b>PASSANTE – LOTTO 2</b> GALLERIE NATURALI ESEGUITE CON SISTEMA MECCANIZZATO SPECIFICHE TECNICHE E PROCEDURE DI SCAVO CON EPB		<b>PROGETTO ESECUTIVO DI I LIVELLO</b>

tridimensionale dei diversi materiali. Nei terreni acquiferi incoerenti possono verificarsi cadute della consistenza del terreno nella camera di scavo; risulta pertanto necessario che la macchina sia dotata di un adeguato sistema di monitoraggio e di condizionamento del terreno;

- le caratteristiche stratigrafico-geotecniche lungo il tracciato, di disomogeneità dei terreni all'interno della stessa sezione di scavo e di gradienti idraulici differenziati, non permettono di affidarsi esclusivamente a modellazioni geotecniche per simulare le condizioni di interazione terreno-macchina. La definizione del valore della pressione da applicare al fronte e i restanti parametri di macchina andranno pertanto ricercati in fase di scavo e costantemente verificati con il monitoraggio in corso d'opera;
- la presenza in alcune zone di argille ad alta plasticità (principalmente nei depositi del Sintema del Lago) può creare problemi per il raggiungimento della lavorabilità del terreno nella camera di scavo. Per ovviare a ciò si richiede che vengano utilizzati idonei additivi e fillers;
- probabile presenza di ciottoli di dimensione superiore a 200 mm soprattutto nei depositi dell'Arno.

### 3.1 Specifiche tecniche macchina di scavo EPB

#### 3.1.1 Requisiti

In questa parte del documento sono riportati i principali requisiti e specifiche che la macchina deve assicurare.

Le operazioni di scavo nel loro complesso dovranno:

- a) Garantire in ogni momento la sicurezza degli addetti in tutte le fasi operative, nelle varie aree di lavoro, con particolare riguardo al verificarsi di situazioni critiche quali per esempio l'eventuale sviluppo di incendio a bordo, l'entrata d'acqua attraverso guarnizioni rovinata, etc.;
- b) Garantire lo scavo lungo tutto lo sviluppo delle gallerie con il fronte sempre, costantemente e completamente in pressione, sia durante le operazioni di scavo sia durante i fermi macchina di qualsiasi durata; ciò al fine di poter effettuare un corretto controllo sulla stabilità del fronte e un corretto controllo e contenimento delle deformazioni del terreno. Durante l'avanzamento della macchina la camera di scavo dovrà essere sempre completamente piena del materiale estratto, opportunamente additivato, evitando nel modo più assoluto la presenza al suo posto di aria o acqua ancorché in pressione;
- c) Garantire una corretta iniezione di intasamento a tergo dei conci, controllata in termini di volume e pressione, contestuale all'avanzamento della macchina, in grado di riempire completamente e stabilmente ogni eventuale vuoto tra concio e terreno;
- d) Mettere a disposizione del Ufficio Tecnico del CG, della Direzione Lavori e del Progettista, in modo assolutamente trasparente, tutti i dati rilevati relativi ai parametri di scavo, ai parametri operativi della macchina nel suo complesso e alle deformazioni indotte sia in profondità che in superficie. Tali dati dovranno essere disponibili in continuo o con la periodicità stabilita, sia in cantiere che in ogni altra sede indicata, sotto forma di grafici immediatamente leggibili, strutturati ed elaborati secondo quanto indicato dalla Direzioni Lavori o dal Progettista.
- e) Garantire la possibilità di scavare in fronti misti e disomogenei con terreni di natura e di comportamento geotecnico differenti, anche sotto falda;

Committente Principale <b>RFI</b>	Alta Sorveglianza <b>ITALFERR</b>	Contraente Generale <b>NODAVIA s.c.p.a.</b>
<b>PASSANTE – LOTTO 2</b> GALLERIE NATURALI ESEGUITE CON SISTEMA MECCANIZZATO SPECIFICHE TECNICHE E PROCEDURE DI SCAVO CON EPB		<b>PROGETTO ESECUTIVO DI I LIVELLO</b>

- f) Garantire il superamento di eventuali zone a comportamento litoide non individuate nella fase di progettazione;
- g) Garantire in ogni punto del tracciato la possibilità di produrre cedimenti al piano campagna contenuti entro un valore corrispondente ad un Volume perso (Vp) pari a 0,5%.
- h) Garantire che gli scostamenti dell'asse della galleria dall'asse teorico non siano superiori a 10 cm;
- i) Garantire la possibilità di superare eventuali punti critici, anche quelli non individuati nella fase di studio geologico e caratterizzazione geotecnica, per esempio:
  - attraversamento di faglie;
  - rinvenimento di grossi trovanti;
  - attraversamento di terreni a comportamento plastico e anche spingente;
- j) Permettere l'esecuzione di perforazioni esplorative in avanzamento e di perforazioni per interventi di consolidamento al contorno superiore e inferiore del fronte;
- k) Minimizzare le vibrazioni in fase di scavo;
- l) Garantire la possibilità di una lavorazione continuativa senza alcuna interruzione di sorta in occasione del sottoattraversamento di sezioni particolarmente impegnative.

### 3.1.2 Prescrizioni operative di avanzamento

L'avanzamento dovrà avvenire con la camera di scavo costantemente e completamente piena del materiale estratto, opportunamente condizionato, in modo da garantire una distribuzione omogenea ed uniforme di pressione di terra al fronte e senza cali di pressione tra una spinta e quella successiva. Il condizionamento dei terreni nella camera di scavo dovrà avvenire, in funzione delle caratteristiche granulometriche dei terreni da scavare, con l'aggiunta in camera di lavoro, oltre che di schiume anche, se necessario, di polimeri e di materiale fino (filler). Non sono ammessi avanzamenti a camera vuota o con camera non completamente piena.

L'avanzamento dovrà avvenire con una corretta applicazione della pressione al fronte in modo da garantire costantemente la necessaria stabilità del fronte di scavo ma anche il controllo delle deformazioni e quindi il contenimento dei cedimenti in superficie. Nella relazione tecnica e di calcolo dello scavo meccanizzato sono state individuate, per ciascuna tratta omogenea da scavare, due valori di pressioni al fronte: un valore di pressione di riferimento calcolato con il metodo di COB ed un valore di pressione massimo calcolato nelle condizioni di spinta a riposo.

In fase di scavo verrà applicata sul fronte della galleria una pressione circa uguale alla pressione di riferimento calcolata con il metodo di COB. Nella fase di progettazione di dettaglio verranno definiti per ogni zona omogenea due valori limite (uno superiore ed uno inferiore), della pressione da applicare al fronte. Verrà inoltre definita una procedura operativa, che individua delle soglie di attenzione e di allarme e le azioni da adottare nel caso di superamento di queste soglie. In relazione ai risultati del monitoraggio effettuato sul piano campagna e sugli edifici presenti, in fase di scavo potranno essere modificati i valori limiti e le relative soglie.

L'avanzamento dovrà avvenire con una corretta esecuzione delle iniezioni a tergo, eseguite in linea di principio da tutte le linee distribuite sulla circonferenza dello scudo e con i valori di pressione di iniezione che dovranno essere valutati per le varie tratte geotecnicamente omogenee. I valori di



Committente Principale <b>RFI</b>	Alta Sorveglianza <b>ITALFERR</b>	Contraente Generale <b>NODAVIA s.c.p.a.</b>
<b>PASSANTE – LOTTO 2</b> GALLERIE NATURALI ESEGUITE CON SISTEMA MECCANIZZATO SPECIFICHE TECNICHE E PROCEDURE DI SCAVO CON EPB		<b>PROGETTO ESECUTIVO DI I LIVELLO</b>

pressione di iniezione a tergo dovranno essere calcolati e differenziati per i vari punti di iniezione in funzione della posizione degli stessi sullo scudo e quindi in funzione del carico litostatico ed idraulico presente e con riguardo anche alle pressioni massime ammissibili sull'estradosso dei conci. L'intasamento a tergo dovrà avvenire contemporaneamente all'avanzamento iniettando, alla pressione stabilita, il volume di malta necessario a garantire la completa ed omogenea saturazione dell'intercapedine a tergo dei conci e fino alle pressioni di rifiuto stabilite.

Per l'intasamento dell'intercapedine a tergo dei conci dovrà essere utilizzata una miscela idonea e caratterizzata da una viscosità tale da non disperdersi nel terreno e nel contempo tale da impedire l'otturazione delle tubazioni, e comunque miscele che non siano caratterizzate da elevati valori di bleeding o da elevati valori di ritiro.

Le operazioni di fermo scavo e di ripresa delle operazioni di avanzamento dovranno avvenire mettendo rigorosamente in atto le modalità di corretta esecuzione; in particolare la ripresa dell'avanzamento dovrà necessariamente avvenire riempiendo preventivamente la camera di scavo attraverso la paratia stagna con materiale proveniente dall'esterno se la stessa, per operazioni di manutenzione, dovesse risultare parzialmente svuotata.

### *3.1.3 Controlli*

Lo scavo dovrà avvenire necessariamente operando i seguenti controlli regolati da procedure operative condivise ed approvate:

- a) controllo continuo delle pressioni in camera di scavo attraverso la lettura dei valori dei sensori di pressione che dovranno rispettare i valori di riferimento individuati. Il controllo deve essere eseguito mediante una procedura operativa che individua le azioni da adottare in caso di superamento delle soglie di attenzione ed allarme prefissate;
- b) controllo continuo del materiale spillato dalla camera di scavo mediante pesatura con l'utilizzo di due bilance. Il controllo deve seguire una procedura operativa in cui sono fissate le soglie di attenzione e di allarme sul peso dei materiali estratti, fissate sia alla fine di ogni spinta che durante la spinta, eseguendo almeno tre controlli nel corso del singolo avanzamento ed in cui sono determinate le azioni da attuare al superamento delle soglie fissate;
- c) controllo della taratura delle bilance con personale dedicato e responsabile allo svolgimento di questa attività da eseguirsi almeno una volta ad ogni inizio turno;
- d) eventuale controllo del volume dello smarino mediante elaborazione delle letture dello scanner installato sul nastro trasportatore, da effettuarsi sia a fine spinta che durante la stessa spinta di avanzamento (almeno tre volte nel corso della stessa), regolato da una procedura che individua soglie ed azioni da attuare al superamento delle stesse;
- e) controllo continuo dei volumi e delle pressioni delle malte di intasamento iniettate a tergo dei rivestimenti definitivi.

Committente Principale <b>RFI</b>	Alta Sorveglianza <b>ITALFERR</b>	Contraente Generale <b>NODAVIA s.c.p.a.</b>
PASSANTE – LOTTO 2 GALLERIE NATURALI ESEGUITE CON SISTEMA MECCANIZZATO SPECIFICHE TECNICHE E PROCEDURE DI SCAVO CON EPB		<b>PROGETTO ESECUTIVO DI I LIVELLO</b>

#### 4. CONDIZIONI PROGETTUALI

##### 4.1 Condizioni Ambientali

Lo scavo della galleria mediante TBM-EPB avviene con supporto del fronte di scavo mediante il materiale scavato, che transita nella camera di scavo ed è da questa evacuato in modo controllato, facendo in modo di assicurare una “corretta” pressione nella camera stessa, che è per l’appunto la pressione di supporto del fronte di scavo.

La pressione sul fronte di scavo deve essere esercitata da materiale di densità opportuna. Nella camera di scavo transita materiale costituito dal terreno naturale il quale è stato condizionato mediante schiume e/o polimero e/o bentonite, secondo quantità e modalità dipendenti dalle caratteristiche fisiche e geotecniche del terreno che si sta scavando.

I parametri relativi all’ambiente in cui si svolgono le azioni che formano l’oggetto della procedura sono:

- Pressione di supporto del fronte di scavo
- Densità del materiale nella camera di scavo
- Pressione e volume della malta iniettata
- Peso e volume del materiale scavato
- Condizionamento del terreno
- Situazioni potenzialmente pericolose che possono verificarsi durante lo scavo

##### 4.2 Requisiti e prescrizioni

###### *Pressione di supporto del fronte di scavo*

Il valore della contropressione di terra a supporto del fronte di scavo è fornito anticipatamente e per tratti di tunnel, congiuntamente a due valori uno di attenzione ed uno di allarme. I menzionati valori delle contropressioni verranno dedotti dalla relazione di calcolo per le diverse sezioni del profilo. I valori di soglia (attenzione ed allarme) sono valutati in modo che le contropressioni corrispondenti garantiscano comunque un adeguato coefficiente di sicurezza.

I due valori limite sono valutati come di seguito:

Attenzione	$> 1.2 P_D$	$< 0.9 P_D$
Allarme	$> 1.3 P_D$	$< 0.8 P_D$

Essendo  $P_D$  la pressione di supporto di progetto. La pressione da considerare è quella relativa ai sensori di terra posti nella posizione più alta, di corona (vedere disegno allegato riguardante disposizione dei sensori sul Bulk-head).

Committente Principale <b>RFI</b>	Alta Sorveglianza <b>ITALFERR</b>	Contraente Generale <b>NODAVIA s.c.p.a.</b>
PASSANTE – LOTTO 2 GALLERIE NATURALI ESEGUITE CON SISTEMA MECCANIZZATO SPECIFICHE TECNICHE E PROCEDURE DI SCAVO CON EPB		<b>PROGETTO ESECUTIVO DI I LIVELLO</b>

Così, ad esempio, per una pressione di supporto di progetto del fronte di scavo pari 0.6 bar. Risulta pertanto che ci si troverà di fronte a condizioni di attenzione ed allarme quando la media delle due pressioni misurate in calotta sarà:

Attenzione	$> 0.72_{\text{bar}}$	$< 0.54_{\text{bar}}$
Allarme	$> 0.78_{\text{bar}}$	$< 0.48_{\text{bar}}$

Il controllo di tale parametro avviene in continuo durante lo scavo.

### *Controllo della densità del materiale nella camera di scavo*

La camera di scavo deve essere riempita di materiale sufficientemente addensato al fine di evitare che nella camera sia presente un miscuglio terra-schiuma-aria poco denso, la quale esercita una pressione di sostegno sul fronte di scavo pari a quella di progetto ma che in realtà può manifestare vuoti nella camera di scavo in seguito a fermi prolungati per assestamento del materiale per effetto del suo peso.

Si esegue il controllo del grado di riempimento nella camera di scavo mediante un parametro che definiamo "densità apparente". La determinazione di tale parametro avviene come rapporto tra la differenza di pressione misurata tra due coppie di sensori e la loro distanza verticale. Operativamente si mediano le pressioni le coppie di sensori posti nella zona superiore della camera di scavo, una coppia in calotta ed una coppia in corrispondenza della camera iperbarica; la differenza tra i due valori medi divisa per la distanza in verticale tra le due coppie, ottenendo un valore  $\gamma_{\text{app}}$  da confrontare con valori di soglia minimi di allarme e di attenzione.

Attenzione	$< 14 \text{ kN/m}^3$
Allarme	$< 12 \text{ kN/m}^3$

I suddetti valori di soglia sono al momento da considerarsi non definitivi e solo uno studio approfondito del fenomeno nei primi metri di scavo potrà consentire di definire i valori che assicurano un adeguato margine di sicurezza (reale "buon" riempimento della camera di scavo).

La grandezza così definita non ha esattamente il significato fisico di una densità in quanto il tipo di misura eseguito avrebbe senso solo in condizioni statiche. Essa tuttavia può aiutare ad accertare che il materiale presente nella camera di scavo sia realmente consistente e sia quindi in grado di supportare il fronte di scavo specialmente quando si arrestano le operazioni di scavo. Il controllo avverrà in maniera continuata, durante lo scavo, mediante l'impiego del PLC, con la continua visualizzazione a schermo del parametro stesso.

Committente Principale <b>RFI</b>	Alta Sorveglianza <b>ITALFERR</b>	Contraente Generale <b>NODAVIA s.c.p.a.</b>
<b>PASSANTE – LOTTO 2</b> GALLERIE NATURALI ESEGUITE CON SISTEMA MECCANIZZATO SPECIFICHE TECNICHE E PROCEDURE DI SCAVO CON EPB		<b>PROGETTO ESECUTIVO DI I LIVELLO</b>

### *Pressione e volume di iniezione*

L'iniezione di "Back filling" dovrà essere controllata e monitorata sia in termini di pressioni di iniezione che di volume registrandone in continuo i parametri.

### *Controllo del peso e del volume del terreno scavato*

Il controllo della quantità di materiale estratto mediante la coclea è aspetto dello scavo di fondamentale importanza potendo tramite esso controllare la possibilità che si producano sovrascavi o sottoscavi.

Due bilance saranno collocate sul nastro in corrispondenza dell'uscita della coclea, con il compito di misurare la portata di materiale estratto dalla coclea (tonnellate) e tramite PLC viene calcolato il peso cumulato per ciascun avanzamento e quindi il peso cumulato totale, il peso cumulato va confrontato con il valore teorico derivante dal prodotto dei metri avanzati e della densità prevista in sito. Il software installato sul computer della TBM restituirà in tempo reale il continuo valore del peso teorico e del peso reale del materiale estratto.

Detto V il peso cumulato scavato ad un certo avanzamento, si considerano quali valori di attenzione e di allarme rispetto ad esso, quelli derivanti dalla seguente tabella:

Attenzione	$V > 1.1 V_T$	$V < 0.9 V_T$
Allarme	$V > 1.2 V_T$	$V < 0.8 V_T$

essendo  $V_T$  il peso teorico da essere scavato.

Sarà redatta una tabella con i pesi teorici previsti ogni 10 cm di scavo in avanzamento.

Ipotizzando una densità in banco pari a  $2 \text{ ton/m}^3$ , ed essendo l'area della sezione di scavo pari a  $\sim 69.3 \text{ m}^2$  i valori di riferimento sono:

$$69.3 \text{ m}^2 \times 0.1 \text{ m} \times 2 \text{ ton/m}^3 = 13.8 \text{ ton} \quad \rightarrow \quad 10 \text{ cm}$$

$$69.3 \text{ m}^2 \times 0.2 \text{ m} \times 2 \text{ ton/m}^3 = 27.7 \text{ ton} \quad \rightarrow \quad 20 \text{ cm}$$

$$69.3 \text{ m}^2 \times 0.3 \text{ m} \times 2 \text{ ton/m}^3 = 41.6 \text{ ton} \quad \rightarrow \quad 30 \text{ cm}$$

$$69.3 \text{ m}^2 \times 0.4 \text{ m} \times 2 \text{ ton/m}^3 = 55.4 \text{ ton} \quad \rightarrow \quad 40 \text{ cm}$$

$$69.3 \text{ m}^2 \times 0.5 \text{ m} \times 2 \text{ ton/m}^3 = 69.3 \text{ ton} \quad \rightarrow \quad 50 \text{ cm}$$

$$69.3 \text{ m}^2 \times 0.6 \text{ m} \times 2 \text{ ton/m}^3 = 83.2 \text{ ton} \quad \rightarrow \quad 60 \text{ cm}$$

Ad esempio, dopo 50 cm di scavo, i valori di attenzione e di allarme (limiti superiori) sono rispettivamente :

$$V_{\text{att}} = 76.2 \text{ ton} / 50 \text{ cm}$$

$$V_{\text{all}} = 83.1 \text{ ton} / 50 \text{ cm}$$

Fissato il valore della densità in banco (ad es.  $2 \text{ ton/m}^3$ ) il PLC della TBM calcola automaticamente ed in continuo i valori i soglia di attenzione e di allarme sia inferiori che superiori.

Committente Principale <b>RFI</b>	Alta Sorveglianza <b>ITALFERR</b>	Contraente Generale <b>NODAVIA s.c.p.a.</b>
PASSANTE – LOTTO 2 GALLERIE NATURALI ESEGUITE CON SISTEMA MECCANIZZATO SPECIFICHE TECNICHE E PROCEDURE DI SCAVO CON EPB		<b>PROGETTO ESECUTIVO DI I LIVELLO</b>

## 5. ORGANIZZAZIONE E MATERIALI PER LO SCAVO DELOLA GALLERIA

### 5.1 Personale e ruoli di riferimento

Le funzioni che le diverse figure svolgono nell'ambito della lavorazione oggetto della presente procedura sono descritte nel seguito.

Il **Direttore del Cantiere (DC)** è responsabile per la direzione e la supervisione dell'esecuzione dei lavori, definisce e chiarisce aspetti tecnici e/o gestionali della commessa.

Il **Responsabile di Sicurezza (RS)** provvede alla distribuzione controllata della documentazione progettuale all'interno del cantiere; valuta i rischi relativi alle attività operative e redige il Piano di Sicurezza aggiornandolo continuamente in funzione delle mutate esigenze del cantiere. Si occupa della formazione ed informazione dei lavoratori e di tutte le altre incombenze previste dalle legge. Raccoglie e conserva tutte le certificazioni, i manuali d'uso e quant'altro sia necessario per la corretta gestione delle macchine e dei mezzi presenti in cantiere.

Il **Responsabile della produzione in sotterraneo (RP)** riferisce direttamente al DC ed è responsabile della programmazione, del budget e dell'esecuzione di tutti i lavori in sotterraneo, di tutti i lavori preparatori e degli approvvigionamenti necessari all'esecuzione dei lavori.

Il **Responsabile TBM (RT)** è alle dirette dipendenze di RP e si occupa della corretta gestione di macchine e personale adibiti allo scavo della galleria; sovrintende sia alla produzione che alla manutenzione delle macchine; pianifica con il capo officina la manutenzione delle attrezzature di sua competenza; garantisce durante il cambio turno che le informazioni vengano correttamente trasmesse tra le maestranze.

Il **responsabile di turno (CS = Capo Squadra)** è responsabile per l'esecuzione delle seguenti operazioni:

- organizzazione delle attività lavorative strettamente connesse allo scavo;
- montaggio dell'anello di rivestimento;
- iniezione malta di intasamento a tergo del rivestimento.

L'**operatore della TBM (OT)** è responsabile delle seguenti operazioni:

- Controllo della pressione di supporto del fronte;
- Controllo del peso e dei volumi del materiale estratto dalla camera di scavo;
- Condizionamento del terreno di scavo secondo le istruzioni fornitegli dall'RT;
- Controllo dell'insorgenza di situazioni anomale nello scavo.

L'**operatore dell'erettore (OE)** è responsabile per il corretto montaggio degli anelli di rivestimento secondo le posizioni comunicategli da RT.

L'**operatore del riempimento a tergo del rivestimento (OR)** è responsabile delle seguenti operazioni:

- Controllo approvvigionamento malta;
- Controllo della pressione di iniezione;
- Controllo del volume iniettato.

Committente Principale <b>RFI</b>	Alta Sorveglianza <b>ITALFERR</b>	Contraente Generale <b>NODAVIA s.c.p.a.</b>
PASSANTE – LOTTO 2 GALLERIE NATURALI ESEGUITE CON SISTEMA MECCANIZZATO SPECIFICHE TECNICHE E PROCEDURE DI SCAVO CON EPB		PROGETTO ESECUTIVO <b>DI I LIVELLO</b>

## 5.2 Mezzi operativi/componenti TBM

I mezzi/macchinari necessari alle azioni oggetto di questo documento sono tutti quelli che compongono la TBM con Back Up relativo ed in particolare, quelli che entrano nella procedura presente sono:

- Testa di scavo TBM;
- Camera di scavo TBM - ospita il terreno proveniente dal fronte fornendogli un supporto;
- Coclea di estrazione - evacua il materiale (terreno naturale + additivi) dalla camera di scavo;
- Bilance su nastro trasportatore - forniscono il valore del peso cumulato per ciascuno scavo e la portata istantanea del nastro;
- Sensori di pressione - forniscono i valori della pressione di supporto del fronte come pressione di terra nella camera di scavo;
- Erettore dei conchi di rivestimento - opera il posizionamento dei conchi di rivestimento consentendo il montaggio dell'anello di rivestimento.

Nella figura seguente si riporta la schematizzazione dei componenti TBM sopra elencati, per una dettagliata descrizione di tutti i componenti TBM si rimanda al "Manuale della TBM".

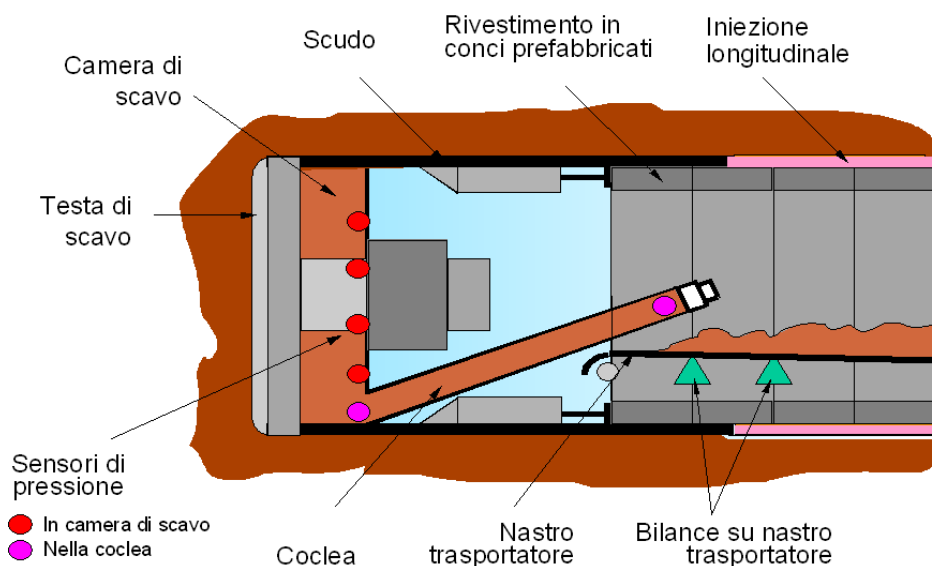


Figura 1: Schema concettuale di una TBM-EPB con evidenza dei principali componenti

Committente Principale <b>RFI</b>	Alta Sorveglianza <b>ITALFERR</b>	Contraente Generale <b>NODAVIA s.c.p.a.</b>
PASSANTE – LOTTO 2 GALLERIE NATURALI ESEGUITE CON SISTEMA MECCANIZZATO SPECIFICHE TECNICHE E PROCEDURE DI SCAVO CON EPB		<b>PROGETTO ESECUTIVO DI I LIVELLO</b>

### 5.3 Materiali impiegati

I principali materiali oggetto della presente procedura sono quelli necessari per il condizionamento del terreno, il grasso di coda e la malta di intasamento:

**Schiuma derivata da tensioattivo:** è impiegata per il trattamento del terreno sul fronte di scavo e/o nella camera di scavo e/o nella coclea di estrazione, con lo scopo di ridurre:

- la plasticità e collosità del terreno;
- la coppia sulla testa di scavo;
- la permeabilità del terreno nella camera di scavo;
- la coppia sulla coclea di estrazione;
- l'attrito sulla testa di scavo.

**Bentonite:** è normalmente impiegata eventualmente per il condizionamento del terreno. Può essere usata per sopperire alla mancanza di particelle "fini", questo al fine di "chiudere" la granulometria del terreno naturale ed abbassarne la permeabilità. Si può così ottenere una sorta di "tappo" sia nella coclea che nella parte bassa della camera di scavo soprattutto sotto falda. Sopperendo alla carenza delle particelle "fini" aiuta il condizionamento del terreno. Si usa per sigillare il fronte di scavo, sfruttando le sue proprietà tixotropiche, prima di mettere in pressione di aria la camera di scavo per poter operare in condizioni iperbariche. Nel dettaglio serve per:

- rendere il fronte di scavo impermeabile alla aria compressa e quindi permettere lo svuotamento della camera al fine delle operazioni di manutenzione straordinaria;
- il mantenimento delle pressioni di progetto in camera di scavo durante i fermi più o meno prolungati;
- sopperire alle eventuali carenze di frazione granulometrica fine del terreno.

**Polimero:** è aggiunto alla bentonite a/o alla schiuma con funzione di stabilizzante della miscela. Potrà essere usato sia da solo per sopperire alla carenza dei "fini" e migliorare il controllo delle pressioni nella camera di scavo (per ridurre gli effetti della segregazione) che insieme alle schiume, in una configurazione polimerica diversa, per renderle più stabili

**Grasso di coda:** viene pompato nell'intercapedine tra manto e spazzole per garantirne la tenuta.

**Miscela Bicomponente:** miscela cementizia a presa ritardata (componente A) e accelerante (componente B) impiegata per intasare lo spazio tra l'estradosso del rivestimento in conci prefabbricati ed il profilo di scavo (si veda lo schema riportato nella figura a fianco).

Committente Principale <b>RFI</b>	Alta Sorveglianza <b>ITALFERR</b>	Contraente Generale <b>NODAVIA s.c.p.a.</b>
PASSANTE – LOTTO 2 GALLERIE NATURALI ESEGUITE CON SISTEMA MECCANIZZATO SPECIFICHE TECNICHE E PROCEDURE DI SCAVO CON EPB		<b>PROGETTO ESECUTIVO DI I LIVELLO</b>

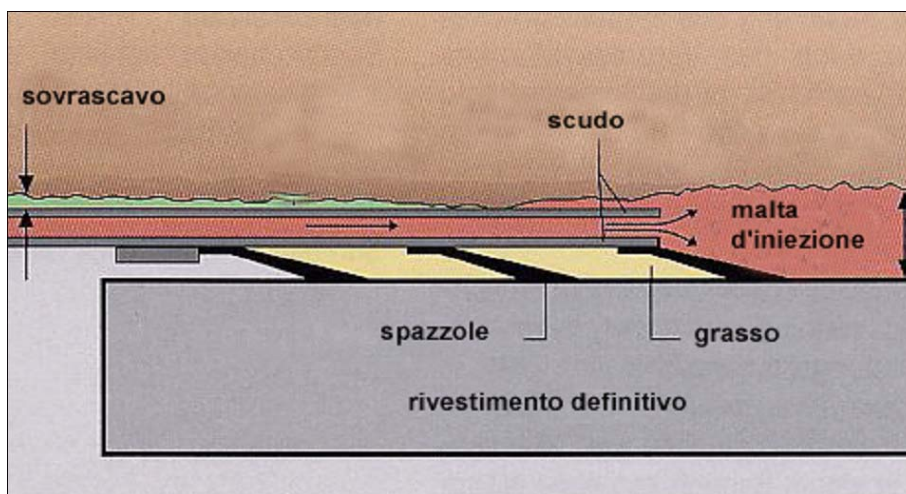


Figura 2: Schema illustrativo dell'iniezione longitudinale dalla coda dello scudo TBM

#### 5.4 Controlli, monitoraggi e parametri fresa

I controlli sono costituiti dalle seguenti azioni e dai corrispondenti addetti:

- Monitoraggi di superficie e misura dei cedimenti (Unità operativa + Unità di supporto tecnico)
- Graficizzazione dati delle TBM (Unità operativa)
- Analisi dei parametri di macchina e dati di monitoraggio per progettazione di dettaglio ciclica (Progettista).

Il progettista, nel caso riscontrasse anomalie durante l'avanzamento, deve avvertire RP e DC e in casi gravi obbligare OT al rispetto delle procedure e se necessario fermare la TBM.

- Elaborazione rapportini giornalieri.



Committente Principale <b>RFI</b>	Alta Sorveglianza <b>ITALFERR</b>	Contraente Generale <b>NODAVIA s.c.p.a.</b>
PASSANTE – LOTTO 2 GALLERIE NATURALI ESEGUITE CON SISTEMA MECCANIZZATO SPECIFICHE TECNICHE E PROCEDURE DI SCAVO CON EPB		<b>PROGETTO ESECUTIVO DI I LIVELLO</b>

## 6. METODOLOGIA OPERATIVA

### 6.1 Premessa

La realizzazione di gallerie mediante TBM tipo EPB si basa sul principio del sostegno del fronte di scavo mediante il medesimo materiale scavato, transitante nella "camera di scavo" e pressurizzato mediante l'impulso della macchina ed un sistema di evacuazione dello stesso dalla camera di scavo "controllato". Il materiale nella camera di scavo dovrà essere pressurizzato ad un opportuno livello dipendente dalle condizioni al contorno (caratteristiche geotecniche dei terreni, quota della falda rispetto alla quota dell'asse del tunnel, gradienti idraulici di filtrazione dell'acqua, permeabilità del terreno, eventuale presenza di strutture potenzialmente interferenti, ecc.).

Sotto l'impulso applicato allo scudo della TBM e quindi alla testa di scavo in rotazione, il terreno viene asportato dal fronte e fluisce nella camera di scavo da cui viene estratto mediante la coclea nei volumi voluti in modo da comprimerlo fino ad ottenere una pressione che è quella che sosterrà il fronte di scavo.

Contemporaneamente allo scavo, lo scudo si sfilava dall'anello che era stato precedentemente montato nel suo interno ed il vuoto anulare tra la superficie di estradosso dell'anello di rivestimento ed il profilo naturale del terreno viene riempito mediante iniezioni longitudinali di malta ad opportuna pressione ed in volume almeno pari al volume teorico del vuoto anulare sopramenzionato. Gli ugelli di iniezione della malta sono montati alla fine dello scudo che verso l'interno è protetto dal pericolo di ingresso della malta mediante diverse file di spazzole tra le quali è iniettato in continuo grasso di opportune caratteristiche.

Durante l'avanzamento deve essere estratto il volume di materiale che entra nella camera di scavo ossia il volume teorico più gli eventuali additivi iniettati sul fronte o nella camera. È fondamentale pertanto controllare il volume estratto con la coclea per poter intervenire nel caso in cui si estragga più materiale del teorico scavato (sovrascavo) o meno materiale del teorico scavato (sottoscavo).

### 6.2 Definizione delle condizioni normali ed anomale

Le configurazioni/condizioni considerate per l'avanzamento dello scavo sono di seguito elencate:

- Condizioni normali;
- Fermi macchina e ripresa avanzamenti dopo manutenzione;
- Condizioni anomale.

Si considerano **condizioni normali** di scavo tutte le condizioni che presentano i parametri caratteristici dello scavo con TBM entro i limiti di attenzione.

Tra le condizioni di scavo normali sono comprese anche quelle conseguenti alla **ripresa degli avanzamenti dopo interventi di manutenzione** in camera di scavo.

Si considerano **condizioni anomale**:

- venute d'acqua in pressione attraverso la coclea di estrazione;
- oscillazioni improvvise del valore della coppia sulla testa di scavo;

Committente Principale <b>RFI</b>	Alta Sorveglianza <b>ITALFERR</b>	Contraente Generale <b>NODAVIA s.c.p.a.</b>
<b>PASSANTE – LOTTO 2</b> GALLERIE NATURALI ESEGUITE CON SISTEMA MECCANIZZATO SPECIFICHE TECNICHE E PROCEDURE DI SCAVO CON EPB		<b>PROGETTO ESECUTIVO DI I LIVELLO</b>

- blocco della testa di scavo;
- anomali valori delle pressioni in camera di scavo;
- improvvise e significative variazioni della densità del materiale presente nella camera di scavo;
- peso del materiale estratto dalla coclea oltre i limiti di attenzione;
- mancato raggiungimento della pressione di iniezione e/o del volume di malta iniettata a tergo del rivestimento.

### 6.3 Parametri di controllo dello scavo

Il responsabile TBM (RT), attraverso l'esame dei parametri di controllo dello scavo e dei relativi limiti di soglia e di allarme, verifica se si sta procedendo in una condizione normale (vedere paragrafo 6.4) od anomala (vedere paragrafo 6.6).

I parametri, da verificare attraverso sensori ed attrezzature di rilevamento, sono i seguenti:

- pressione di supporto del fronte (valore della pressione del materiale presente nella camera di scavo fornito dai sensori di terra);
- pressione e volume della malta di intasamento del vuoto anulare compreso tra l'estradosso del rivestimento in conci prefabbricati ed il profilo di scavo;
- peso del materiale estratto con i relativi valori di attenzione e allarme;

RT deve inoltre accertare che la taratura della bilancia impiegata per la misura del peso del materiale estratto dalla coclea sia stata eseguita secondo le definite cadenze temporali e che le letture siano attendibili.

L'inizio delle operazioni di scavo è subordinato alla verifica di eventuali anomalie meccaniche od elettriche e dei dati sopra menzionati.

Se uno dei parametri di controllo dello scavo supera i valori di attenzione (più avanti definiti) OT deve informare immediatamente RT che darà istruzioni in base alle specifiche competenze.

Se i parametri di controllo dello scavo raggiungono i valori di allarme, lo scavo stesso deve essere arrestato, in attesa di decidere le necessarie contromisure.

Analogamente, se nella fase di riempimento a tergo del rivestimento non si dovessero raggiungere le quantità e/o le pressioni stabilite, OR informerà immediatamente RT che prenderà le decisioni del caso.

### 6.4 Avanzamento in condizione normali

Le tre principali operazioni che compongono il ciclo produttivo sono:

- Scavo di avanzamento
- Intasamento con malta cementizia a tergo del rivestimento (avviene contemporaneamente allo scavo);
- Montaggio dell'anello di rivestimento in conci prefabbricati.

Committente Principale <b>RFI</b>	Alta Sorveglianza <b>ITALFERR</b>	Contraente Generale <b>NODAVIA s.c.p.a.</b>
<b>PASSANTE – LOTTO 2</b> GALLERIE NATURALI ESEGUITE CON SISTEMA MECCANIZZATO SPECIFICHE TECNICHE E PROCEDURE DI SCAVO CON EPB		<b>PROGETTO ESECUTIVO DI I LIVELLO</b>

#### 6.4.1 Scavo di avanzamento

La sequenza delle operazioni preliminari che OT pone in essere è la seguente:

- avviamento dei motori elettrici e delle centraline idrauliche necessarie alle operazioni di scavo;
- avviamento dell'impianto per l'iniezione di schiume e/o polimero e/o bentonite direttamente sul fronte di scavo e/o nella camera di scavo e/o nella coclea di estrazione;
- avviamento della rotazione testa di scavo fino al raggiungimento della velocità di rotazione prevista;
- messa in pressione dei cilindri di spinta.

Con l'avviamento della coclea di estrazione inizia l'evacuazione controllata del materiale dalla camera di scavo. Il controllo della portata, che avviene tramite regolazione della velocità di rotazione (variabile da 0 a 18 rpm) è finalizzato al mantenimento in camera di scavo della pressione prevista in progetto per il supporto del fronte di scavo.

OT regolerà la velocità di rotazione della coclea in funzione della velocità di penetrazione della TBM, per mantenere la pressione di progetto, il flusso di materiale che fuoriesce dalla coclea dovrà essere pari al flusso di materiale che entra nella camera di scavo (terreno naturale + additivi).

Compito di OT è di mantenere il più possibile questa condizione di "equilibrio", agendo come descritto più avanti in questa procedura.

Si impone alla TBM direzione e posizione regolando la pressione sui cilindri di spinta. Il sistema di guida della TBM visualizza, graficamente e numericamente ed in continuo, la posizione della TBM (del suo asse geometrico) in relazione all'asse del tracciato del tunnel in maniera che OT abbia un riferimento costante.

Il sistema di guida fornisce inoltre la posizione assoluta nelle tre coordinate spaziali di un punto in asse sulla coda dello scudo e di un punto in asse in prossimità della testa di scavo, l'inclinazione verticale ed orizzontale dell'asse della TBM relativamente alla posizione teorica dell'asse e la rotazione dello scudo intorno al proprio asse. In particolare OT può visualizzare, istante per istante, lo scostamento (verticale ed orizzontale) del centro della testa di scavo dal punto dell'asse teorico della galleria su un piano perpendicolare allo stesso. Visualizzato è anche lo scostamento del centro della sezione terminale dello scudo dal centro teorico del tunnel in detta sezione. Il sistema di guida visualizza graficamente e numericamente la "tendenza" verticale ed orizzontale della TBM in relazione all'asse teorico e calcola eventuali curve di correzione visualizzando la posizione della TBM relativamente a detta curva di correzione.

Il controllo dell'asse reale della galleria sarà effettuato mediante periodici rilievi topografici, atti a verificare che questo rientri all'interno delle tolleranze stabilite.

Giunti ad una estensione dei cilindri di spinta pari a 1,50 m, OT arresta l'afflusso dei materiali di condizionamento del terreno (eccetto in caso in cui è necessario iniettare bentonite per garantire il mantenimento della pressione di progetto), riduce la velocità di rotazione della testa fino ad arrestarla, riduce la pressione di spinta sui martinetti e la velocità di rotazione della coclea di estrazione fino ad arrestarla, chiude la porta posteriore a tenuta della coclea e la fase di scavo è così terminata.

Committente Principale <b>RFI</b>	Alta Sorveglianza <b>ITALFERR</b>	Contraente Generale <b>NODAVIA s.c.p.a.</b>
PASSANTE – LOTTO 2 GALLERIE NATURALI ESEGUITE CON SISTEMA MECCANIZZATO SPECIFICHE TECNICHE E PROCEDURE DI SCAVO CON EPB		<b>PROGETTO ESECUTIVO DI I LIVELLO</b>

#### *6.4.2 Intasamento con miscela bicomponente a tergo del rivestimento.*

Durante l'intera fase di scavo e continuativamente con l'avanzare della TBM, viene iniettata la miscela bicomponente a tergo del rivestimento. Tramite le pompe di iniezione si inietta la miscela attraverso le sei linee costituite da tubazioni terminanti oltre tre serie di spazzole metalliche montate sulla circonferenza dello scudo e tra le quali è iniettato con continuità grasso. L'iniezione avviene in corrispondenza dell'estremità dello scudo, direttamente sulla superficie esterna del rivestimento galleria in conci prefabbricati. Le linee di iniezione installate sullo scudo sono dotate di una seconda tubazione (di riserva) sulla quale deviare il flusso della malta in caso di blocco della tubazione in uso.

Il controllo dei volumi di malta iniettata a tergo dei conci è fondamentale per il controllo degli assetamenti del terreno in superficie. Il volume teorico da iniettare, nelle condizioni ideali con i denti di scavo all'100% di utilizzo, è pari a 6,6 mc per anello.

In funzione della lunghezza realmente scavata (+/- 1.500 mm.), se il tracciato è dritto o in curva, del comportamento del materiale scavato, del consumo dei denti perimetrali, la quantità reale potrà variare. La variabile più importante può essere il consumo dei denti, sapendo che un consumo dei denti perimetrali di tre centimetri fa diventare il consumo teorico di 5,2 mc per anello.

L'iniezione a tergo dei conci si farà attraverso sei posizioni: 2 alle ore 12, due alle ore 10 e 14 e due alle ore 16 e 20. Nel caso una delle canne sia tappata si sostituirà immediatamente con quella di riserva.

Prima d'iniziare lo scavo si dovrà cominciare il pompaggio della malta in modo di non avere vuoti dietro lo scudo.

L'attività di OT e OR dovrà essere strettamente coordinata e i due dovranno comunicare via telefono sulle varie fasi di lavoro.

Una volta finito lo scavo, si dovrà continuare il pompaggio fin che si raggiunge la pressione di riferimento minima per ogni singola posizione. Il sistema di pompaggio è dotato di una valvola di massima pressione che interrompe il funzionamento della pompa al raggiungimento del valore massimo di sicurezza, mentre non c'è ripresa automatica del pompaggio al calare della pressione: OR è responsabile di questa operazione.

I valori di pressione minimi e massimi validi per ciascuna tratta omogenea saranno forniti insieme ai valori di pressione di sostegno al fronte in apposito documento progettuale. Per l'iniezione della malta di intasamento saranno forniti valori di pressione differenziati in funzione della posizione dei punti di iniezione e quindi in funzione del carico litostatico ed idraulico qualora presente.

#### *6.4.3 Montaggio dell'anello di rivestimento in conci prefabbricati*

Il sistema di guida della TBM è dotato di software che consente di calcolare la posizione ottimale dell'anello da montare in modo da garantire la corrispondenza dell'asse della galleria all'asse teorico entro le tolleranze di progetto secondo la logica dell'anello "universale":

- OT inserisce nel computer della TBM i dati che gli consentiranno di valutare la "posizione" con la quale dovrà essere montato l'anello di rivestimento;
- In output il computer fornisce la posizione del concio di chiave cui corrisponde una data sequenza di montaggio dell'anello;

Committente Principale <b>RFI</b>	Alta Sorveglianza <b>ITALFERR</b>	Contraente Generale <b>NODAVIA s.c.p.a.</b>
<b>PASSANTE – LOTTO 2</b> GALLERIE NATURALI ESEGUITE CON SISTEMA MECCANIZZATO SPECIFICHE TECNICHE E PROCEDURE DI SCAVO CON EPB		<b>PROGETTO ESECUTIVO DI I LIVELLO</b>

- i conci di rivestimento sono posizionati, alla fine dello scavo, secondo la corretta sequenza di montaggio, nella zona di alimentazione e pronti per essere agganciati dall'erettore con il quale si procederà al montaggio dell'anello;
- OT comunica ad OE la posizione dell'anello da montare e questi inizia il montaggio dell'anello con il concio che si trova in posizione opposta alla chiave;
- mediante l'erettore viene agganciato il concio e contemporaneamente vengono retratti i cilindri di spinta in corrispondenza della posizione in cui andrà montato detto concio;
- il concio è accostato all'anello precedentemente montato nella posizione in cui dovrà essere fissato opportunamente;
- i cilindri, precedentemente retratti vengono riaccostati sul nuovo concio montato;
- con la medesima procedura si esegue il montaggio degli altri conci fissandoli all'anello precedente e tra di loro;
- alla fine si monta la chiave fissandola all'anello precedentemente montato; (tot. 6 + 1 conci di rivestimento)
- viene in ultimo collocato un ulteriore pezzo prefabbricato sul concio di base che funge da supporto per i binari di linea

All'inizio dello scavo il treno di produzione è posizionato in galleria con:

- n° 3 vagoni (piattine) porta conci, posti in corrispondenza della zona movimentazione conci; durante lo scavo i conci vengono scaricati dalle piattine e disposti su di un alimentatore in prossimità dell'erettore;
- n° 1 piattina porta materiali.

## 6.5 FERMI MACCHINA

Le frese EPB si possono fermare principalmente nelle seguenti situazioni:

1. Fermo che non prevede lo svuotamento della camera di scavo;
2. Fermo di qualsiasi natura che include lo svuotamento parziale o totale della camera di scavo.

In funzione della presenza di falda o no vengono adottate per ogni tipo di fermo le procedure riportate di seguito.

### 6.5.1 Fermo senza svuotamento della camera di scavo:

#### 6.5.1.1 In presenza di falda

L'operatore della fresa OT completa il turno di lavoro con la realizzazione dell'ultima spinta nelle condizioni di pressioni di scavo previste per ogni tratta nell'elaborato di dettaglio.

Non vengono chiuse le porte di brandeggio meccanico.

OT, che rimarrà in permanenza sulla macchina anche durante il fermo, dovrà verificare che la pressione al fronte rimanga all'interno del range prefissato; se necessario, quando la pressione dovesse

Committente Principale <b>RFI</b>	Alta Sorveglianza <b>ITALFERR</b>	Contraente Generale <b>NODAVIA s.c.p.a.</b>
<b>PASSANTE – LOTTO 2</b> GALLERIE NATURALI ESEGUITE CON SISTEMA MECCANIZZATO SPECIFICHE TECNICHE E PROCEDURE DI SCAVO CON EPB		<b>PROGETTO ESECUTIVO DI I LIVELLO</b>

scendere per effetto del normale “rilassamento” al di sotto del valore di attenzione, provvederà a pompare bentonite fino a riportare il valore a quello di riferimento. Questa operazione verrà ripetuta tutte le volte che sarà necessario, curando che la pressione non scenda mai sotto  $P_{att}$ .

La ripartenza inizierà girando la testa ed eventualmente spingendo sul fronte prima d’attivare la coclea, per aumentare la pressione sui sensori fino a quando si raggiunge la situazione prevista per lo scavo, solo in quel momento si inizierà lo smarino.

#### 6.5.1.2 In assenza di falda

Tutto si svolgerà come già indicato, salvo il fatto che durante gli ultimi giri si dovrà usare eventualmente bentonite o aumentare la quantità di schiuma additivata con polimeri per aiutare a mantenere le pressioni durante il fermo.

Analogamente OT procederà alla iniezione di bentonite nella camera per compensare il rilassamento delle pressioni del materiale all’interno della camera di scavo e continuerà a farlo tutte le volte che verrà raggiunto il valore di attenzione inferiore.

Non si chiuderanno le porte di brandeggio meccanico.

La ripartenza inizierà girando la testa ed eventualmente contemporaneamente spingendo sul fronte senza attivare la coclea per aumentare la pressione sui sensori fino al valore previsto per lo scavo da effettuare.

#### 6.5.2 Fermo con svuotamento della camera di scavo:

##### 6.5.2.1 In presenza di falda

Nel caso in cui non si possa evitare d’intervenire nella testa, l’operatore della fresa inizia a mescolare bentonite al terreno in modo da ottenere una pasta il più possibile omogenea ed impermeabile. Nel momento in cui dalla coclea si evidenziano le prime tracce di bentonite si chiudono le porte del brandeggio meccanico e si inizia a svuotare la testa fino al livello necessario per l’attività da eseguire. Contemporaneamente allo svuotamento si riempie il vuoto che si crea con aria in pressione a valori indicati dal progetto di dettaglio, in modo da garantire la stabilità del fronte. In questo caso, per effettuare l’intervento nella testa, si dovrà fare uso della camera iperbarica.

Le porte di brandeggio meccanico sono state chiuse.

La ripartenza avviene effettuando il riempimento della camera di scavo, prima dell’apertura delle porte, con una sospensione di bentonite e/o con una miscela di sabbia, acqua e bentonite; successivamente si aprono le porte e si inizia a scavare.

In alternativa si apriranno direttamente le porte iniziando a scavare. senza asportare terreno in modo che, aprendo le valvole per la fuoriuscita dell’aria all’interno della fresa, il vuoto venga progressivamente riempito dal terreno.

La scelta tra i due metodi avverrà previo accordo con la Direzione dei Lavori.

La coclea verrà aperta, e quindi si inizierà lo smarino, quando la pressione dei sensori superiori risulta di poco superiore a quella di riferimento.

Committente Principale <b>RFI</b>	Alta Sorveglianza <b>ITALFERR</b>	Contraente Generale <b>NODAVIA s.c.p.a.</b>
<b>PASSANTE – LOTTO 2</b> GALLERIE NATURALI ESEGUITE CON SISTEMA MECCANIZZATO SPECIFICHE TECNICHE E PROCEDURE DI SCAVO CON EPB		<b>PROGETTO ESECUTIVO DI I LIVELLO</b>

#### 6.5.2.2 In assenza di falda

L'operatore della fresa completa il turno di lavoro con la realizzazione dell'ultima spinta nelle condizioni di pressioni di scavo previste per ogni tratta nell'elaborato di dettaglio.

Dopo di che si chiuderanno le porte di brandeggio meccanico e si farà funzionare la coclea, svuotando dalla testa la quantità di marino necessaria per raggiungere il livello ottimale che permetta di eseguire l'intervento nella testa.

Le porte di brandeggio meccanico sono state chiuse.

La ripartenza avverrà con il riempimento completo del vuoto nella camera di scavo con inerti (sabbie) fino al livello della porta di ingresso della camera iberbarica, iniettando poi bentonite fino al raggiungimento della pressione minima di allarme; non si supera questo valore per non ostacolare l'apertura delle porte del brandeggio.

Non appena raggiunta la pressione minima, si apriranno le porte e inizierà lo scavo facendo mescolare il materiale in ingresso con la sabbia e bentonite, con coclea chiusa in modo da mantenere le pressioni. Durante la prosecuzione dello scavo, nel momento in cui le pressioni raggiungono i valori medi di riferimento, si apre la coclea e si inizia a smarinare il terreno misto che mano a mano lascerà lo spazio al terreno naturale.

#### 6.5.3 Fermi lunghi

Se il fermo, per qualsiasi ragione, dovesse prolungarsi oltre qualche giorno, nell'ultima fase di scavo (se programmato) o eseguendo uno scavo apposito, l'operatore della fresa miscelerà bentonite al terreno presente nella testa in modo da ottenere una pasta ricca di bentonite che serve ad evitare il blocco per cementazione delle porte di chiusura della testa. Nel momento in cui si vedono uscire dalla coclea le prime tracce di bentonite miscelate al terreno si chiude la ghigliottina della coclea e si prosegue lo scavo fino a terminare la spinta.

Al termine dell'ultima spinta, dopo aver atteso qualche ora, funzione del tempo di presa della malta, si procederà ad avanzare la macchina di qualche centimetro (p. es. 5cm) e si inietterà bentonite (invece che malta) nei tubi di riempimento a tergo del rivestimento, fino a riempire il vuoto creato con l'avanzamento: ciò per evitare che la malta faccia presa nelle spazzole, rischiandone il danneggiamento.

A questo momento si chiudono le porte di brandeggio meccanico della testa.

Le porte di brandeggio meccanico devono rimanere chiuse durante tutto il periodo di fermo.

La ripartenza avviene come già indicato nei casi precedenti.

## 6.6 AVANZAMENTO IN CONDIZIONI ANOMALE

Come per l'avanzamento in condizioni normali, il ciclo produttivo, anche nel caso di condizioni anomale si compone di due fasi successive:

- scavo di avanzamento (durante il quale avviene l'intasamento con malta cementizia a tergo del rivestimento);

Committente Principale <b>RFI</b>	Alta Sorveglianza <b>ITALFERR</b>	Contraente Generale <b>NODAVIA s.c.p.a.</b>
<b>PASSANTE – LOTTO 2</b> GALLERIE NATURALI ESEGUITE CON SISTEMA MECCANIZZATO SPECIFICHE TECNICHE E PROCEDURE DI SCAVO CON EPB		<b>PROGETTO ESECUTIVO DI I LIVELLO</b>

- montaggio dell'anello di rivestimento in conci prefabbricati.

Le operazioni che verranno eseguite variano in funzione dell'anomalia manifestatasi. Nel seguito si riporta la metodologia operativa che verrà adottata in funzione della specifica anomalia manifestatasi. Per quanto riguarda il montaggio dell'anello di rivestimento valgono le stesse modalità operative descritte per il caso di avanzamento in condizioni normali.

Si considerano condizioni anomale:

- venute d'acqua in pressione attraverso la coclea di estrazione;
- oscillazioni improvvise del valore della coppia sulla testa di scavo;
- blocco della testa di scavo;
- anomali valori delle pressioni in camera di scavo;
- improvvise e significative variazioni della densità del materiale presente nella camera di scavo;
- peso del materiale estratto dalla coclea oltre i limiti di attenzione;
- mancato raggiungimento della pressione di iniezione e/o del volume di malta iniettata a tergo del rivestimento

Il controllo dello scavo in una di queste condizioni avverrà seguendo la metodologia operativa descritta nei capitoli seguenti e comunque condivisa con il Progettista che ha la responsabilità del controllo nell'avanzamento.

#### *6.6.1 Venute di acqua attraverso la coclea*

Come indicato nei documenti contrattuali, possono incontrarsi durante lo scavo lenti di materiali sabbiosi sciolti che se confinati da livelli di materiale a bassa permeabilità possono essere sede di "falda sospesa".

Di fronte a tale circostanza il carico idraulico nella camera di scavo può diventare bruscamente elevato con un sensibile gradiente idraulico che produce filtrazione idraulica nella testa di scavo mettendo in pressione la coclea di estrazione. L'effetto è la fuoriuscita d'acqua in pressione dalla porta posteriore della coclea. Il processo risulta pericoloso se si verifica trascinamento di frazioni fini verso la testa di scavo.

La telecamera posta sul primo nastro di smarino in corrispondenza della porta posteriore della coclea consente ad OT di rilevare immediatamente tale fenomeno ed allora: OT informa immediatamente RT che è responsabile della corretta applicazione della presente procedura e che provvede ad informare RP. La sequenza delle operazioni è:

- se è in corso iniezione di acqua sul fronte, arrestarla immediatamente;
- chiudere la porta posteriore a tenuta stagna della coclea;
- aumentare il grado di trattamento del terreno (incrementare la percentuale di schiuma nel terreno, abbassare l'espansione della schiuma, aumentare il dosaggio del tensioattivo con l'aggiunta di polimero);
- continuare con lo scavo provando così ad incrementare la densità in camera di scavo;
- provare ad azionare nuovamente la coclea aprendo la porta posteriore;



Committente Principale <b>RFI</b>	Alta Sorveglianza <b>ITALFERR</b>	Contraente Generale <b>NODAVIA s.c.p.a.</b>
<b>PASSANTE – LOTTO 2</b> GALLERIE NATURALI ESEGUITE CON SISTEMA MECCANIZZATO SPECIFICHE TECNICHE E PROCEDURE DI SCAVO CON EPB		<b>PROGETTO ESECUTIVO DI I LIVELLO</b>

- se il flusso d'acqua persiste iniettare alla base della coclea polimero o bentonite direttamente fino ad ottenere una consistenza plastica del terreno;

Tutte le operazioni vengono registrate nel rapportino di scavo.

#### *6.6.2 Oscillazione del valore della coppia sulla testa di scavo*

I parametri di scavo hanno valori che in condizioni normali si mantengono costanti o comunque variano non repentinamente. Una variazione improvvisa o una oscillazione apparentemente immotivata di detti parametri può quindi costituire il sintomo di una situazione di instabilità del fronte di scavo, oppure di una repentina variazione delle caratteristiche geologiche e meccaniche del terreno scavato. La coppia applicata per la rotazione della testa di scavo (torque) è il principale parametro che evidenzia fenomeni di questo tipo. Di fronte ad una tale evenienza si opera come di seguito descritto:

OT informa RT che è responsabile della corretta applicazione della presente procedura e:

- mantiene costante la pressione al fronte;
- diminuisce la velocità di rotazione della testa (< 1 r.p.m.);
- riduce la penetrazione della TBM (< 20 mm/min);
- riduce la velocità di rotazione della coclea in funzione della ridotta penetrazione della TBM e per garantire il mantenimento di una pressione costante sul fronte;
- se il problema persiste interrompe lo scavo, RT informa RP;

#### *6.6.3 Bloccaggio della testa di scavo*

Il bloccaggio della testa di scavo può essere dovuto a diverse cause:

- Instabilità del fronte con franamenti;
- Attrezzo di scavo o altro che blocca la testa;
- Materiale sul fronte ed in camera mal condizionato;

E' un fenomeno pericoloso per cui occorre immediatamente informare RP e la persona di massimo grado gerarchico presente nel cantiere. Se il bloccaggio non è completo ed è possibile la rotazione per alcuni gradi in un senso o nell'altro, è possibile che un grosso blocco o una parte metallica rotta nella struttura di raccolta del materiale sulla testa abbia prodotto il bloccaggio. In tal caso potrebbe essere possibile ravvisare il suono del medesimo che urta con parti metalliche attraverso la parete stagna posteriore. Se questo avviene si potranno arrestare le operazioni ed organizzare l'intervento nella camera di scavo previa autorizzazione di DC. Nel caso la testa sia completamente bloccata e nulla induca a ritenere che il bloccaggio sia dovuto ad un blocco o ad altro corpo estraneo, si procede come segue:

- Arrestare la coclea e chiudere la porta posteriore, non scaricare assolutamente la camera di scavo e se necessario, in quanto si manifesta una riduzione delle pressioni nella camera di scavo, iniettare sul fronte bentonite;
- Predisporre la comunicazione con una persona che stazionerà in prossimità del bulk-head a farà attenzione ad eventuali rumori provenienti dalla camera di scavo in quanto il bloccaggio potrebbe

Committente Principale <b>RFI</b>	Alta Sorveglianza <b>ITALFERR</b>	Contraente Generale <b>NODAVIA s.c.p.a.</b>
<b>PASSANTE – LOTTO 2</b> GALLERIE NATURALI ESEGUITE CON SISTEMA MECCANIZZATO SPECIFICHE TECNICHE E PROCEDURE DI SCAVO CON EPB		<b>PROGETTO ESECUTIVO DI I LIVELLO</b>

essere dovuto alla presenza di blocchi non caricati dalle pale di carico o elementi metallici della carpenteria della testa (scrapers o altre parti metalliche rotte);

- Se non è possibile sbloccare la testa, la si tira indietro di 10 15 mm provando a ruotarla alternativamente in senso orario o antiorario;
- Se non si consegue lo sblocco, si procede alla iniezione di bentonite direttamente sul fronte tramite gli spruzzatori della schiuma;
- Si ritrae la testa per ulteriori 10 15 mm e si prova nuovamente la rotazione;
- Se ancora non si riesce a sbloccare la testa si procede impiegando la "coppia massima di sbloccaggio (Overtorque)";
- Se anche con l'overtorque non si consegue lo sbloccaggio occorrerà arrestare tutte le operazioni a sarà responsabilità di DC, già informato precedentemente, attivare un "coordinamento tecnico" cui parteciperanno oltre ai tecnici dell'Appaltatore anche un rappresentante della DL;

Il procedimento seguito, le azioni eseguite, le quantità di materiale iniettate, i tempi dedicati alle varie operazioni durante il blocco, vanno riportati sul "Rapportino attività di scavo".

#### *6.6.4 Anomalie nella lettura delle pressioni al fronte*

Variazioni repentine della pressione di supporto del fronte possono anticipare o accompagnare incrementi della coppia sulla testa o bloccaggi della stessa. Si opererà come di seguito:

La pressione aumenta:

- Si diminuisce la velocità di rotazione della testa (<1 r.p.m.);
- Si riduce la spinta fino a scendere sotto una velocità di penetrazione  $V_p = 10\text{mm/min}$ ;
- Si aumenta il flusso di schiuma del 20 % senza incrementare la quantità di materiale scaricato con la coclea;
- Si avverte RT

La pressione diminuisce:

- Si inietta bentonite per ripristinare immediatamente la pressione di supporto di progetto;
- Se non si riesce a far salire la pressione, si arresta lo scavo e si chiude la porta della coclea;
- Si continua a iniettare bentonite e polimero fino al raggiungimento della pressione di progetto;

Il procedimento seguito, le azioni eseguite, le quantità di materiale iniettate, i tempi dedicati alle varie operazioni durante il blocco, vanno riportati nel "Rapportino attività di scavo".

#### *6.6.5 Variazione della densità del materiale nella camera di scavo*

La densità del materiale nella camera di scavo (densità apparente) deve mantenersi vicino al valore previsto ( $14 \text{ kN/m}^3$ ). Così come illustrato nel capitolo 4 di questa proc-TBM, la densità apparente può essere calcolata mediante la misura delle differenze di pressioni tra i sensori posizionati a quote diverse

Committente Principale <b>RFI</b>	Alta Sorveglianza <b>ITALFERR</b>	Contraente Generale <b>NODAVIA s.c.p.a.</b>
<b>PASSANTE – LOTTO 2</b> GALLERIE NATURALI ESEGUITE CON SISTEMA MECCANIZZATO SPECIFICHE TECNICHE E PROCEDURE DI SCAVO CON EPB		<b>PROGETTO ESECUTIVO DI I LIVELLO</b>

RT avrà cura, durante il montaggio dell'anello, di valutare la differenza delle pressioni ai diversi livelli e, qualora si riscontrassero differenze di pressione tra le coppie di sensori ( $P_{sens. 1,2} - P_{sens. 3,4} < 0,22 \text{ bar}$  ( $= 14 \times 1,55$ )), inietterà bentonite nella camera di scavo.

#### *6.6.6 Sovrascavo e sottoscavo*

Se, in base a quanto riportato nel capitolo 4 di questa specifica, si constata che è in corso un sovrascavo, superata la soglia di attenzione occorrerà operare come segue:

- Si informa R.T.
- Si riduce la velocità di rotazione della coclea
- Si riduce la velocità di rotazione della testa ( $< 1 \text{ r.p.m.}$ )
- Si riduce la spinta e quindi la velocità di penetrazione. Se lo scavo finisce senza problemi, si riporta quanto successo nel rapporto di scavo. Se si raggiunge il valore di allarme, si deve arrestare immediatamente lo scavo e informare DC.

Questi attiverà un "coordinamento tecnico" al quale verrà invitato un rappresentante della DL. Tale coordinamento tecnico deciderà il tipo di intervento da applicare.

- Quando la coda della fresa si troverà a passare sotto la progressiva corrispondente a quella del possibile sovrascavo, RT disporrà che l'iniezione di malta a tergo dei conci sia spinta al massimo possibile, curando in dettaglio pressioni e volumi di iniezione.
- D'intesa con la D.L. si effettueranno carotaggi/perforazioni di controllo, per la verifica del corretto intasamento ed eventualmente si deciderà di eseguire delle iniezioni di riempimento e ricomprensione.

Se si produce sottoscavo, raggiunta la soglia di allarme occorrerà:

- Informare R.T. il quale provvederà ad avvisare RP.
- Arrestare lo scavo.

Si evidenzia che tra le potenziali ragioni che giustificano la presenza di un sottoscavo ci sono:

- la presenza di una cavità stabile nel sottosuolo;
- un errore nella stima della densità in banco. Questo caso risulta pericoloso in quanto può significare un peggioramento delle caratteristiche del materiale in banco.

#### *6.6.7 Pressione e volume della malta iniettata a tergo del rivestimento insufficienti*

La procedura di iniezione risulta corretta se la pressione di iniezione, per ciascun ciclo di pompaggio, raggiunge il massimo previsto e ridiscende a valori minimi in maniera regolare.

Il sistema di pompaggio consente di regolare il numero di cicli di pompaggio per minuto così da seguire la velocità di penetrazione. Se quest'ultima è molto elevata, si prosegue con l'iniezione anche dopo lo scavo fino a raggiungere la pressione di progetto.

L'operatore addetto al pompaggio OR e OT devono essere costantemente in contatto.

Pressione di iniezione e quantità di malta sotto i valori normali

Committente Principale <b>RFI</b>	Alta Sorveglianza <b>ITALFERR</b>	Contraente Generale <b>NODAVIA s.c.p.a.</b>
<b>PASSANTE – LOTTO 2</b> GALLERIE NATURALI ESEGUITE CON SISTEMA MECCANIZZATO SPECIFICHE TECNICHE E PROCEDURE DI SCAVO CON EPB		<b>PROGETTO ESECUTIVO DI I LIVELLO</b>

- Si aumenta il numero di cicli di pompaggio per minuto fino a raggiungere i valori desiderati;  
Pressione di iniezione bassa ma volumi iniettati corretti
- Si aumenta il numero di cicli di pompaggio per minuto fino a raggiungere i valori desiderati;
- Se la pressione non sale si diminuisce la spinta e quindi la velocità di penetrazione
- Se ancora non sale: fermare lo scavo e continuare ad iniettare fino al raggiungimento della pressione voluta.

Pressione di iniezione raggiunta, ma con quantità di malta sotto i valori normali

- Controllare le linee di iniezione per un probabile intasamento. In caso di intasamento di una sola linea, nella parte bullonata allo scudo, si devia il flusso della malta sulla linea di riserva di cui è dotata ciascuna delle sei linee. Contemporaneamente si procede alla pulizia del tratto di tubazione bloccato. Queste operazioni avvengono senza arrestare lo scavo e continuando la registrazione dei dati riguardanti volumi di malta iniettati e pressioni di iniezione.

I casi sopraindicati verranno riportati nel "Rapporto di scavo" in termini qualitativi e quantitativi.

La pressione di iniezione della malta è misurata mediante appositi sensori di pressione montati sulle linee di iniezione vicino all'innesto nello scudo. La pressione di iniezione ed i volumi iniettati sono indicati sul pannello di controllo a disposizione di OR e trasmessi via PLC su monitor. E' così possibile controllare in continuo i due parametri. OR può quindi regolare il numero di cicli di pompaggio per minuto, mentre i valori minimi e massimi della pressione di iniezione sono definiti come "parametri di scavo" secondo le indicazioni di RP.

Se il volume di malta è diverso dai valori previsti è necessario che RT ne sia informato immediatamente e questi informerà RP qualora detta differenza superi i valori di soglia superiore e inferiore. Quindi su un volume teorico di malta da consumare per avanzamento pari a  $6,6 \text{ m}^3$ , RP dovrà essere informato immediatamente quando si iniettano meno di  $5,8 \text{ m}^3$  o quando si iniettano più di  $7,6 \text{ m}^3$ . Un volume di malta decisamente superiore al volume teorico di riempimento del gap tra rivestimento e profilo di scavo può indicare un sovrascavo o una dispersione di malta verso cavità naturali.

## 7. PIANO DEI CONTROLLI

I controlli che verranno svolti durante lo scavo comprendono le seguenti operazioni e parametri:

- pressione di supporto dei fronte di scavo;
- densità del materiale nella camera di scavo;
- pressione e volume della malta iniettata;
- peso e volume del materiale scavato;
- condizionamento del terreno
- situazioni potenzialmente pericolose che possono verificarsi durante lo scavo

Committente Principale <b>RFI</b>	Alta Sorveglianza <b>ITALFERR</b>	Contraente Generale <b>NODAVIA s.c.p.a.</b>
PASSANTE – LOTTO 2 GALLERIE NATURALI ESEGUITE CON SISTEMA MECCANIZZATO SPECIFICHE TECNICHE E PROCEDURE DI SCAVO CON EPB		PROGETTO ESECUTIVO DI I LIVELLO

## 7.1 PRESSIONE DI SUPPORTO DEL FRONTE DI SCAVO

Il valore della contropressione da applicare in camera di scavo a supporto del fronte ( $P_{fronte}$ ) è calcolato per ciascuna galleria sulla base di:

- dati di PED e prescrizioni contrattuali (con particolare riferimento alle prescrizioni di CSA);
- unità geotecniche e relative caratteristiche previste lungo il tracciato (con particolare riferimento ai terreni che interesseranno la sezione di scavo e la fascia al di sopra della calotta galleria);
- condizioni particolari e potenziali interferenze presenti lungo il tracciato;
- esperienza di avanzamento con TBM – EPB maturata (condizioni operative, parametri TBM, risposta deformativa degli ammassi: volumi persi e subsidenze, ecc.);

I sopra elencati elementi saranno parte di uno specifico documento finalizzato a fornire i valori di  $P_{fronte}$  congiuntamente ai valori di soglia (attenzione:  $P_{fronte\ att.}$  ed allarme:  $P_{fronte\ all.}$ ), per tratte discrete di galleria.

Verranno forniti i valori di riferimento, di attenzione e di allarme delle pressioni in camera di scavo per i successivi 300 m; i valori saranno riferiti di norma a tratte di 300 m e verranno forniti quando la TBM si trova ad una distanza non inferiore a 100 m dall'inizio dello scavo nella tratta medesima.

Tale documento verrà aggiornato per tratte successive sulla base dell'esperienza di avanzamento con TBM – EPB raccolta durante lo scavo delle tratte precedenti (PAT).

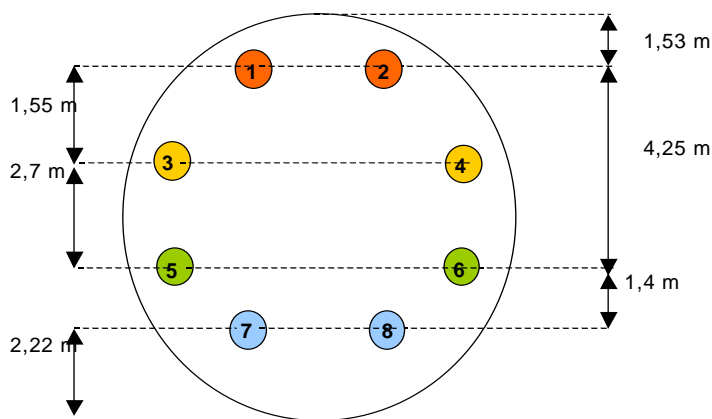


Figura 3: Posizione dei sensori di controllo della pressione

Il valori di soglia sono valutati in modo che le contropressioni corrispondenti garantiscano comunque un adeguato coefficiente di sicurezza.

Si evidenzia che i valori di  $P_{fronte}$  da controllare sono quelli relativi ai sensori di terra posti alla quota più vicina alla calotta della galleria (sensori n° 1 e 2: si veda la figura a fianco).

Il valori di soglia sono valutati in modo che le contropressioni corrispondenti garantiscano comunque un adeguato coefficiente di sicurezza.

Si evidenzia che i valori di  $P_{fronte}$  da controllare sono quelli relativi ai sensori di terra posti alla quota più vicina alla calotta della galleria (sensori n° 1 e 2: si veda la figura a fianco).

Quando  $P_{fronte}$  è contenuto entro i limiti di attenzione, OT gestisce autonomamente l'avanzamento TBM con i mezzi a sua disposizione per garantire le corrette modalità di scavo (mantenimento della

Committente Principale <b>RFI</b>	Alta Sorveglianza <b>ITALFERR</b>	Contraente Generale <b>NODAVIA s.c.p.a.</b>
PASSANTE – LOTTO 2 GALLERIE NATURALI ESEGUITE CON SISTEMA MECCANIZZATO SPECIFICHE TECNICHE E PROCEDURE DI SCAVO CON EPB		<b>PROGETTO ESECUTIVO DI I LIVELLO</b>

pressione di progetto attraverso la regolazione della velocità di rotazione della coclea e della velocità di avanzamento TBM).

Qualora non fosse possibile mantenere  $P_{fronte}$  nei limiti di attenzione OT informerà immediatamente RT. Si dovrà in seguito a ciò fare riferimento alle "Condizioni di scavo anomale" riportate in appendice.

Il controllo di  $P_{fronte}$  da parte di OT avviene in modo continuo durante tutto il tempo necessario all'effettuazione dello scavo.

## 7.2 DENSITÀ DEL MATERIALE NELLA CAMERA DI SCAVO

La garanzia che venga esercitata una  $P_{fronte}$  omogeneamente distribuita è data dalla presenza in camera di scavo di un materiale adeguatamente denso ed omogeneo sufficientemente addensato.

La presenza in camera di scavo di un "miscuglio terra schiuma aria" cioè di un materiale avente densità variabile comporta una  $P_{fronte}$  che, pur potendo essere pari a quella di progetto, non garantisce il sostegno del fronte. In particolare si possono manifestare vuoti nella parte superiore della camera di scavo in seguito a fermi prolungati per assestamento del materiale per effetto del suo peso.

Conseguenza di quanto sopra è l'indispensabilità di verificare che la densità apparente del materiale ( $\gamma$ ) presente nella camera di scavo a diverse quote sia costante, per far ciò si controllano le differenze di pressione tra le coppie di sensori ( $P_{sens.sup} - P_{sens.inf}$ ) dividendo il risultato ottenuto per la distanza verticale tra le stesse coppie ( $\Delta h_{sup.-inf}$ ):

$$\gamma = (P_{sens.sup} - P_{sens.inf}) / \Delta h_{sup.-inf} \text{ [kN/m}^3\text{]}$$

Ad esempio, per verificare che la densità del materiale presente nella parte alta della camera di scavo è pari a  $\gamma = 15 \text{ kN/m}^3$ , tenendo conto che la distanza tra la coppia di sensori di pressione in calotta (sensori n° 1 e 2 della figura 3) ed i due sensori sottostanti (sensori n° 3 e 4) è  $\Delta h_{sup.-inf} = 1,55 \text{ m}$ , e che la pressione misurata ai sensori superiori è pari a  $P_{sens.sup} = 0,85 \text{ bar}$ , la pressione misurata ai sensori inferiori dovrà essere :

$$P_{sens.inf} = 0,85 + (1,55 \times 15) / 100 = 1,08 \text{ bar}$$

RT è preposto al controllo della densità in camera di scavo alla fine di ciascuno scavo.

## 7.3 PRESSIONE E VOLUME DI INIEZIONE

Se alla fine dello scavo non si sono raggiunti i valori prefissati di quantità e/o pressione di iniezione della malta di riempimento a tergo del rivestimento, OR continuerà a pompare anche durante il montaggio dell'anello, fino al raggiungimento della pressione minima. Se ciò non dovesse accadere prima dell'inizio del nuovo scavo, OR avvertirà RT che prenderà gli opportuni provvedimenti, se necessario prorogando l'inizio dello scavo della successiva spinta ed avvisando RP.

La procedura di iniezione risulta corretta se la pressione di iniezione, per ciascun ciclo di pompaggio, raggiunge il massimo previsto e ridiscende a valori minimi.

Il sistema di pompaggio consente di regolare il numero di cicli di pompaggio per minuto così da seguire la velocità di penetrazione.

Committente Principale <b>RFI</b>	Alta Sorveglianza <b>ITALFERR</b>	Contraente Generale <b>NODAVIA s.c.p.a.</b>
<b>PASSANTE – LOTTO 2</b> GALLERIE NATURALI ESEGUITE CON SISTEMA MECCANIZZATO SPECIFICHE TECNICHE E PROCEDURE DI SCAVO CON EPB		<b>PROGETTO ESECUTIVO DI I LIVELLO</b>

La pressione di iniezione della malta è misurata mediante appositi sensori di pressione montati sulle linee di iniezione vicino all'innesto nello scudo. La pressione di iniezione ed i volumi iniettati sono indicati sul pannello di controllo a disposizione di OR e trasmessi via PLC su monitor. E' così possibile controllare in continuo i due parametri. OR può quindi regolare il numero di cicli di pompaggio per minuto, mentre i valori minimi e massimi della pressione di iniezione sono definiti come "parametri di scavo" secondo le indicazioni di RP.

Se il volume di malta è diverso dai valori previsti è necessario che RT ne sia informato immediatamente e questi informerà RP qualora detta differenza superi i valori di soglia superiore e inferiore. Quindi su un volume teorico di malta da consumare per avanzamento pari a  $6,6 \text{ m}^3$  (riferito alla misura manuale riportata nel rapportino giornaliero), RP dovrà essere informato immediatamente quando si iniettano meno di  $5,8 \text{ m}^3$  o quando si iniettano più di  $7,6 \text{ m}^3$ . Un volume di malta decisamente superiore al volume teorico di riempimento del gap tra rivestimento e profilo di scavo può indicare un sovrascavo o una dispersione di malta verso cavità naturali.

Al superamento di uno dei 2 limiti, superiore o inferiore, saranno effettuati uno o più carotaggi/perforazioni per la verifica del corretto intasamento a tergo del rivestimento. Se necessario verranno effettuate, in accordo con la DL, iniezioni secondarie dalla galleria attraverso i fori presenti nei conci di rivestimento

#### 7.4 CONTROLLO DEL PESO E DEL VOLUME DEL TERRENO SCAVATO

Il controllo della quantità di materiale estratto mediante la coclea dalla camera di scavo è aspetto dello scavo di fondamentale importanza potendo, tramite esso, controllare la possibilità che si producano sovrascavi o sottoscavi.

Una bilancia collocata sul nastro trasportatore a valle dell'uscita della coclea permette di misurare la portata di materiale estratto dalla coclea (tonnellate/ora) e tramite PLC viene calcolato il peso cumulato per ciascun avanzamento e quindi il peso cumulato totale. Il peso cumulato va confrontato con il valore teorico derivante dal prodotto dei metri avanzati e della densità relativa al materiale di scavo ( $\gamma_{\text{insitu}}$ ).

Nel caso di mal funzionamento della bilancia, sullo stesso nastro è stata montata una bilancia volumetrica di riserva, che verrà presa in considerazione solo nel caso di pesate anomale.

Si evidenzia la necessità di tenere conto del peso degli additivi introdotti in camera di scavo per il condizionamento.

Il valore di riferimento del  $\gamma_{\text{insitu}}$  da porre a base dei calcoli sarà proposto dall'appaltatore in sede di riunioni periodiche con la Direzione dei Lavori e ratificato di comune accordo, sulla base anche delle risultanze di prove granulometriche e di densità del marino raccolto dal nastro di scarico.

OT, tramite PLC ha a disposizione il peso cumulato per ciascun avanzamento e può quindi tenere costantemente sotto controllo la quantità di materiale estratto.

Lo scavo è sospeso immediatamente qualora il volume scavato raggiunga la soglia di allarme; in questo caso si dovrà fare riferimento a quanto riportato nel paragrafo 6.6 "Istruzioni per il controllo di condizioni di scavo potenzialmente pericolose".

Il controllo della evacuazione del corretto peso di materiale è sotto la responsabilità di OT. Se si perviene a valori vicini ai limiti di allarme, OT, secondo quanto riportato nell'appendice relativamente alle condizioni di scavo anomale, opererà per rientrare nei valori "normali" agendo sulla velocità di

Committente Principale <b>RFI</b>	Alta Sorveglianza <b>ITALFERR</b>	Contraente Generale <b>NODAVIA s.c.p.a.</b>
<b>PASSANTE – LOTTO 2</b> GALLERIE NATURALI ESEGUITE CON SISTEMA MECCANIZZATO SPECIFICHE TECNICHE E PROCEDURE DI SCAVO CON EPB		<b>PROGETTO ESECUTIVO DI I LIVELLO</b>

rotazione della coclea o sulla velocità di avanzamento della TBM (attraverso la pressione di spinta) o su entrambe.

Se la situazione di attenzione perdura o se si arriva alla soglia di allarme, OT arresterà immediatamente lo scavo, informerà RP e quindi DC per una valutazione della strategia esecutiva da seguire.

## 7.5 CONTROLLO DEL CONDIZIONAMENTO DEL TERRENO

Il condizionamento, del terreno durante lo scavo avviene per mezzo di

- Schiuma
- Polimero
- Bentonite.

### 7.5.1 Schiuma

La schiuma si ottiene per miscelazione di acqua, tensioattivo ed aria in misura variabile in ragione del tipo di terreno e del tipo di schiuma utilizzata.

Il grado di trattamento del terreno è definito dal F.I.R. (Foam injection ratio): volume di schiuma iniettata per metro cubo di terreno abbattuto (espresso in percentuale). Le proprietà della schiuma dipendono invece dal F.E.R. (Foam Expansion Ratio): rapporto tra il volume d'aria e volume della fase liquida;

Per dosaggio si intende la percentuale di tensioattivo nell'acqua.

Tali parametri possono essere variati in qualsiasi momento da RT quando valuta la necessità di modificare l'entità del condizionamento del terreno. Il controllo è di tipo visivo direttamente sul marino fuoriuscente dalla coclea.

### 7.5.2 Polimero

Si può addizionarlo alla schiuma per stabilizzarla chimicamente. Il suo impiego potrà infatti garantire, qualora necessario, una maggiore durata delle proprietà della schiuma in particolare riducendo gli effetti di assorbimento dell'acqua della schiuma da parte del terreno (contenuto d'acqua naturale nel terreno molto basso).

### 7.5.3 Bentonite

Può parzialmente sostituire la schiuma nel trattamento del terreno in particolari casi.

La responsabilità della scelta del tipo di condizionamento del terreno è di RP mentre RT farà in modo che ciascun turno applichi le indicazioni fornitegli. DC può emettere istruzioni e indicazioni sul tipo di trattamento che dovranno pertanto essere seguite durante lo scavo.



Committente Principale <b>RFI</b>	Alta Sorveglianza <b>ITALFERR</b>	Contraente Generale <b>NODAVIA s.c.p.a.</b>
<b>PASSANTE – Lotto 2</b> GALLERIE NATURALI ESEGUITE CON SISTEMA MECCANIZZATO SPECIFICHE TECNICHE E PROCEDURE DI SCAVO CON EPB		<b>PROGETTO ESECUTIVO DI I LIVELLO</b>

## 7.6 CONTROLLO DELLE CONDIZIONI ANOMALE DURANTE LO SCAVO

Di fronte al verificarsi di una delle condizioni anomale definite nel paragrafo 6.6, OT deve immediatamente avvertire RT il quale sarà responsabile della corretta applicazione di quanto definito nel paragrafo 6.6 della presente procedura ed informerà della applicazione di detta procedura DC.