

# REGIONE CAMPANIA

Acqua Campania S.p.A.

UTILIZZO IDROPOTABILE DELLE ACQUE  
DELL'INVASO DI CAMPOLATTARO E  
POTENZIAMENTO DELL'ALIMENTAZIONE  
POTABILE PER L'AREA BENEVENTANA

## PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

Stralcio Allegato IV D.L. 31.05.2021 n.77 - L. di conversione 21.07.2021 n.108

Responsabile Unico del Procedimento  
Dirigente Ciclo Integrato delle Acque della G.R. della Campania  
Ing. Rosario Manzi

Il Concessionario  
**Acqua Campania S.p.A.**  
Direttore Generale  
Area Tecnica  
(Ing. Gianluca Maria SALVIA)

I Progettisti



Coordinatore responsabile della  
Integrazione delle Prestazioni  
Specialistiche

Revisione	Data	Descrizione	Redatto	Controllato	Approvato
0	Febbraio 2022	Integrazioni richieste dal Comitato Speciale (DPCM 4/11/2021)	P. Fantini	G. Ragazzo	F. Rossi
TITOLO : <b>RELAZIONE TECNICA</b> <b>GALLERIA DI DERIVAZIONE E OPERE CONNESSE - ALLEGATO - PROCEDURE D'EMERGENZA PER LO SCAVO CON TBM EPB</b>			Progettazione:  		
Allegato	<b>ED.02.7.3</b>		Revisione: 0	Scala: -	

## **INDICE**

<b>1. INTRODUZIONE.....</b>	<b>2</b>
1.1 Inquadramento generale .....	2
1.2 Obiettivo della nota .....	3
<b>2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>3</b>
2.1 Bibliografia tecnica.....	3
<b>3. AVANZAMENTO IN CONDIZIONI ANOMALE .....</b>	<b>4</b>
3.1 Venute di acqua attraverso la coclea .....	4
3.2 Oscillazione del valore della coppia sulla testa di scavo.....	5
3.3 Bloccaggio della testa di scavo .....	6
3.4 Anomalie nella lettura delle pressioni al fronte.....	7
3.5 Variazione della densità del materiale nella camera di scavo .....	7
3.6 Sovrascavo e sottoscavo .....	8
3.7 Pressione e volume della malta iniettata a tergo del rivestimento insufficienti	8
<b>4. RIDUZIONE DEL RISCHIO E GESTIONE DEL BLOCCO DELLA TBM .....</b>	<b>9</b>
4.1 Interventi in avanzamento per la riduzione del rischio di fermo macchina ...	10
4.1.1 Drenaggi .....	10
4.1.2 Intervento di consolidamento .....	11
4.2 Conduzione della macchina e organizzazione delle manutenzioni .....	12
4.3 Gestione del fermo macchina .....	13
4.3.1 Interventi di sblocco della coclea.....	13
4.3.2 Interventi di sblocco della macchina in seguito a fenomeni di instabilità del fronte .....	14
4.3.3 Interventi di sblocco della macchina in seguito a eccessive deformazioni dell'ammasso sullo scudo .....	14

## 1. INTRODUZIONE

Questo elaborato è realizzato nell'ambito delle attività di progetto di fattibilità tecnica ed economica (con riferimento allo schema di decreto ministeriale recante "definizione dei contenuti della progettazione nei tre livelli progettuali" ai sensi dell'articolo 23, comma 3 del decreto legislativo 18 aprile 2016, n. 50, capo 2), concernenti l'intervento di utilizzo idropotabile delle acque dell'invaso di Campolattaro.

### 1.1 INQUADRAMENTO GENERALE

La galleria di derivazione si stacca dalla Diga esistente giungendo al portale di imbocco posizionato tra la frazione di Monte e la frazione di Ponte nel Comune di Ponte. Il pozzo piezometrico, posizionato nelle progressive finali della galleria, è situato vicino al piazzale di imbocco, sempre nel Comune di Ponte. La Discenderia d'Accesso, invece, si trova nel Comune di Casalduni.

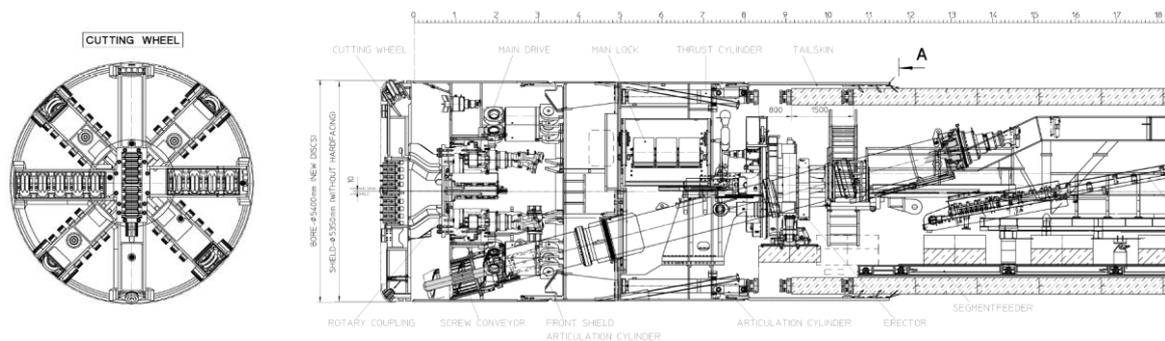


**Fig. 1.1 – Planimetria di inquadramento**

## 1.2 OBIETTIVO DELLA NOTA

Questo documento descrive l'insieme delle procedure da mettere in opera al verificarsi di situazioni di rischio o di eventi non identificati in fase di progettazione e definizione del piano di avanzamento della TBM.

- ✓ Avanzamento in condizioni anomale
- ✓ Procedure di prevenzione e intervento in caso di blocco macchina



**Fig. 1.2 – Schema della TBM tipo per lo scavo della galleria di derivazione**

## 2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

### 2.1 BIBLIOGRAFIA TECNICA

- [1] Maidl B, Herrenknecht M. et Al. « Mechanised Shield Tunnelling », Germany (2012)
- [2] Guglielmetti et Al. «Mechanised tunneling in urban area», Italy (2015)

### **3. 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),
- ✓ montaggio dell'anello di rivestimento in conci prefabbricati.

Le procedure che dovranno essere messe in atto variano in funzione dell'anomalia manifestatasi. 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 dovrà comunque essere condivisa con il Progettista responsabile del controllo nell'avanzamento.

#### **3.1 VENUTE DI ACQUA ATTRAVERSO LA COCLEA**

Sorgente di rischio e fenomeno: In corrispondenza di zone di fratturazione intensa e in passaggi incoerenti con forte trasmissività idraulica (faglie e contatti), 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 trascinarsi di frazioni fini verso la testa di scavo.

Misure di mitigazione del rischio: le misure ritenute in fase di progettazione per mitigare questo rischio sono elencate di seguito:

- ✓ Sistema tipo BEAM di indagini indirette all'avanzamento, che permette di monitorare la trasmissività dell'ammasso a monte del fronte di scavo,
- ✓ Perforazioni o carotaggi in avanzamento con preventer, per valutare la pressione d'acqua agente,
- ✓ Eventuale realizzazione di dreni in avanzamento nel caso le misure

confermino un gradiente elevato o una pressione idraulica maggiore della pressione di confinamento massima applicabile dalla TBM.

Procedura in situazione di emergenza: La telecamera posta sul primo nastro di smarino in corrispondenza della porta posteriore della coclea consente al Pilota della TBM di rilevare immediatamente tale fenomeno. In tale caso, egli provvede ad informare il Capo Squadra ed il Capo di Cantiere di Galleria, che è responsabile dell'applicazione delle procedure di emergenza. La procedura da adottare è la seguente:

- ✓ 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),
- ✓ continuare con lo scavo provando così ad incrementare la densità in camera di scavo,
- ✓ provare ad azionare nuovamente la coclea aprendo la porta posteriore,
- ✓ 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.

### **3.2 OSCILLAZIONE DEL VALORE DELLA COPPIA SULLA TESTA DI SCAVO**

#### Sorgente di rischio e fenomeno

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.

Misure di mitigazione del rischio: le misure ritenute in fase di progettazione per mitigare questo rischio sono elencate di seguito:

- ✓ Sistema tipo BEAM di indagini indirette all'avanzamento, che permette di monitorare la trasmissività dell'ammasso a monte del fronte di scavo,
- ✓ Indagini dirette tramite perforazioni o carotaggi, per valutare le anomalie riscontrate dalle indagini geofisiche,
- ✓ Realizzazione di iniezioni di consolidamento e/o dreni in avanzamento nelle zone potenzialmente critiche in termine di stabilità del fronte, di scavo.

Procedura in situazione di emergenza: La coppia applicata per la rotazione della testa di scavo è il principale parametro che evidenzia fenomeni di questo tipo. Di fronte ad una

tale evenienza il Pilota della TBM provvede ad informare il Capo Squadra ed il Capo di Cantiere di Galleria, che è responsabile dell'applicazione delle procedure di emergenza. La procedura da adottare è la seguente:

- ✓ mantenere costante la pressione al fronte,
- ✓ diminuire la velocità di rotazione della testa (< 1 r.p.m.);
- ✓ ridurre la penetrazione della TBM (< 20 mm/min);
- ✓ ridurre 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 interrompere lo scavo, informare la Direzione Tecnica di Cantiere che valuterà la situazione in sede di unità di crisi.

### **3.3 BLOCCAGGIO DELLA TESTA DI SCAVO**

Sorgente di rischio e fenomeno: 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.

Procedura in situazione di emergenza: é un fenomeno pericoloso per cui occorre immediatamente informare la Cellula di Gestione e Controllo 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 della Direzione di Cantiere. 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 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 Direzione Lavori.

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".

### **3.4 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".

### **3.5 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 kN/m<sup>3</sup>). 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

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 ( $P_{\text{sens.1,2}} - P_{\text{sens.3,4}} < 0,22 \text{ bar} (=14 \times 1,55)$ ), inietterà bentonite nella camera di scavo.

### **3.6 SOVRASCAVO E SOTTOSCAVO**

Se, in base a quanto riportato nel capitolo 4 di questa Proc-TBM, 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 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.

### **3.7 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

- ✓ 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 6,6m<sup>3</sup>, RP dovrà essere informato immediatamente quando si iniettano meno di 5,8 m<sup>3</sup> o quando si iniettano più di 7,6 m<sup>3</sup>. 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.

#### **4. RIDUZIONE DEL RISCHIO E GESTIONE DEL BLOCCO DELLA TBM**

La metodologia per la prevenzione del fermo macchina segue una precisa e articolata strategia, che viene riassunta nel seguente schema. I dati di base per l'implementazione sono:

- I. Dati di P.D. (profili geotecnici di progetto) che dovranno essere dettagliati in fase di P.E.,
- II. Indagini in avanzamento, parametri dati macchina,
- III. Acquisizione e processamento dei dati.

Tutti i dati acquisiti verranno analizzati e processati al fine di ridurre costantemente il livello di rischio e garantire la prevenzione del fermo macchina.

La retro-analisi dei dati raccolti in avanzamento è necessaria per confermare e/o calibrare le ipotesi di comportamento dell'ammasso adottate in fase di progettazione. In particolare, si considera che i primi 200 m di scavo in ogni formazione geologica costituiscono la zona di apprendimento dell'interazione terreno/scavo.

#### **4.1 INTERVENTI IN AVANZAMENTO PER LA RIDUZIONE DEL RISCHIO DI FERMO MACCHINA**

Le informazioni acquisite dalle indagini in avanzamento permetteranno di adeguare le modalità di approccio alla zona da scavare con la TBM (modalità aperta, modalità chiusa con fronte in pressione) e di poter verificare l'effettiva necessità di predisporre eventuali drenaggi e consolidamenti e, nel qual caso, adeguare la tipologia e la quantità degli interventi stessi.

La TBM in oggetto è attrezzata per l'esecuzione di drenaggi e interventi di consolidamento in avanzamento. Gli interventi di consolidamento sono riconducibili sostanzialmente all'esecuzione di:

- ✓ Drenaggi in avanzamento;
- ✓ Consolidamenti in avanzamento al fronte e al contorno.

Relativamente all'attrezzaggio ai fini delle dotazioni impiantistiche per le prospezioni ed i consolidamenti dalla TBM, le componenti migliorative riguardano:

- ✓ La perforatrice montata sul bridge, come anticipato, è dotata di un caricatore d'aste automatico (sistema tipo RHS) che permette di ridurre i tempi di perforazione al minimo necessario richiesto dalla consistenza dell'ammasso da attraversare ed è in grado di eseguire tutte le tipologie di intervento.

##### **4.1.1 Drenaggi**

I drenaggi, lanciati oltre il fronte di scavo, intercetteranno il flusso dell'acqua nell'ammasso, al contorno del nucleo d'avanzamento della galleria, col risultato d'impedire la circolazione idrica all'interno del nucleo – contorno e di abbattere la pressione idraulica. In questo modo sarà possibile l'avanzamento e, nel caso degli interventi di consolidamento di seguito descritti, rendere possibili le successive iniezioni. Si migliorano, di conseguenza, anche le caratteristiche di resistenza e deformabilità naturali del nucleo d'avanzamento, mettendolo in grado di esercitare un'apprezzabile azione di precontenimento del cavo.

Sono state previste 2 tipologie di drenaggi:

- ✓ Drenaggi temporanei. Verranno realizzati dallo scudo e l'acqua verrà

convogliata dai drenaggi all'interno della macchina e quindi allontanata dal sistema di pompe che sono previste nel back-up della TBM. Tali dreni avranno una funzione temporanea e verranno impiegati per incrementare l'efficacia degli interventi di consolidamento in presenza di acqua;

- ✓ Drenaggi permanenti. Verranno realizzati attraverso i conci di rivestimento e l'acqua verrà convogliata dai drenaggi all'interno della macchina e quindi allontanata dal sistema di pompe che sono previste nel back-up della TBM. Tali dreni avranno una funzione permanente e serviranno per abbattere le pressioni idrauliche, qualora verranno intercettate zone con elevate pressioni di acqua (superiori agli 8 bar, ovvero al valore massimo di pressione ottenibile in camera di scavo).

La posa in opera del drenaggio avviene a fronte fermo, previa realizzazione a distruzione di nucleo di fori entro cui viene inserito il tubo drenante. Quest'ultimo, di PVC, presenta un primo tratto microfessurato (lato fondo foro, per la captazione delle acque), ricoperto da una calza di geotessile (in tessuto non tessuto) onde evitarne l'intasamento, e un secondo tratto cieco, che viene solidarizzato alle pareti del foro tramite iniezioni di miscela cementizia.

I drenaggi avranno queste caratteristiche:

- ✓ Perforazione L=30/50 m;
- ✓ Messa in opera del tubo di drenaggio entro il foro;
- ✓ Cementazione del tratto cieco fino a boccaforo.

#### **4.1.2 Intervento di consolidamento**

Lo scopo di questo intervento è quello di consolidare l'ammasso. A seconda del numero degli elementi installati e del tipo di iniezione applicata, si possono ottenere sia la "cucitura" di elementi di ammasso disgiunti, sia il vero e proprio consolidamento al contorno dello scavo e sul fronte di scavo.

L'intervento viene eseguito direttamente dalla TBM. Dopo l'esecuzione di una serie di drenaggi al fine di ridurre le eventuali pressioni idrostatiche, è prevista la realizzazione di perforazioni al fronte e al contorno di lunghezza pari a 12-15 m, per la messa in opera di tubi valvolati in VTR per la successiva iniezione di consolidamento che sarà eseguita in pressione valvola per valvola. Le iniezioni verranno alimentate dall'impianto posto sul back-up. Inizialmente verrà realizzato l'intervento nella zona di calotta e successivamente quello in arco rovescio.

Si tratta quindi di un intervento che produce un'azione sia migliorativa sia conservativa, permettendo di conseguire notevoli vantaggi sia dal punto di vista operativo (riduzione della permeabilità, ridotti rischi di blocco della TBM) sia dal punto di vista statico (riduzione delle pressioni sullo scudo e sul rivestimento definitivo).

Le fasi esecutive dell'intervento di consolidamento tipo sono le seguenti:

- ✓ Individuazione della zona potenzialmente critica e arresto della TBM a circa 5 m dalla zona critica identificata;
- ✓ Esecuzione di drenaggi in avanzamento dallo scudo L=30 m (in caso di venute d'acqua);
- ✓ Esecuzione di consolidamenti in avanzamento al contorno attraverso lo scudo della TBM; installazione di elementi tubolari in VTR del tipo 60/40, iniezione in pressione valvola per valvola;
- ✓ Esecuzione di consolidamenti in avanzamento al fronte dalla testa della TBM; installazione di elementi tubolari in VTR del tipo 60/40, iniezione in pressione valvola per valvola;
- ✓ Avanzamento della TBM di massimo 6 m (4 anelli) prima dell'esecuzione di ulteriori interventi di consolidamento.

#### **4.2 CONDUZIONE DELLA MACCHINA E ORGANIZZAZIONE DELLE MANUTENZIONI**

Oltre a tutti gli aspetti presentati poc'anzi, un aspetto significativo è quello relativo alla modalità di conduzione della macchina e gli aspetti organizzativi delle attività di cantiere. Il sistema topografico di guida della fresa adottato trasmetterà in tempo reale le informazioni elencate a seguire volte alla corretta conduzione della TBM stessa:

La posizione relativa dell'asse geometrico dello scudo rispetto all'asse del tracciato della galleria;

- ✓ Il vettore di posizionamento della TBM;
- ✓ L'inclinazione verticale ed orizzontale dell'asse dello scudo rispetto l'inclinazione nominale dell'asse del tracciato galleria nel punto specifico;
- ✓ Il "roll", cioè la rappresentazione della rotazione dello scudo rispetto il proprio asse;
- ✓ Lo scostamento del centro della testa di scavo rispetto al punto dell'asse teorico della galleria;
- ✓ La "tendenza" (velocità di scostamento) in mm/m di avvicinamento o scostamento, sia verticale che orizzontale, della TBM rispetto l'asse tracciato teorico;
- ✓ Il calcolo della sequenza ottimale degli anelli in base all'ultimo anello costruito;
- ✓ La posizione della macchina;
- ✓ Il tracciato teorico nel punto specifico e l'aria dello scudo di coda (cioè il differenziale di estensione tra i gruppi di spinta);
- ✓ L'estensione attuale dei cilindri di spinta.

La TBM verrà condotta cercando di mantenere le velocità di avanzamento il più possibile elevate; la velocità di avanzamento è infatti un fattore chiave nei confronti della riduzione del rischio di blocco della macchina.

Le attività di manutenzione verranno opportunamente organizzate in modo da essere effettuate in anticipo rispetto all'attraversamento delle zone critiche.

### **4.3 GESTIONE DEL FERMO MACCHINA**

Da premettere che il blocco totale della TBM a seguito del manifestarsi di fenomeni di squeezing o di crollo, seppur possibile, appare improbabile alla luce delle contromisure intraprese al fine limitare il rischio di blocco derivante da tali fenomeni, e delle potenzialità della TBM scelta per lo scavo che portano ad un livello di rischio trascurabile. Premesso quanto sopra, nel seguito si descrivono gli interventi che verranno attuati in caso di effettivo blocco della TBM per condizioni geologiche ad oggi non prevedibili dai documenti di P.D.

La scelta dell'intervento più idoneo per sbloccare la TBM scaturirà dall'analisi di tutti i dati disponibili al momento del blocco, in particolare l'analisi dei parametri macchina registrati. Al fine di avere un quadro esaustivo per la migliore gestione possibile del fenomeno e indirizzare al meglio la scelta dell'intervento di sblocco TBM più idoneo, tali dati verranno integrati da una serie di indagini realizzate direttamente dalla TBM:

- ✓ Sondaggi a distruzione con il rilievo del foro mediante OPTV in modo da perimetrare la zona che possa aver provocato il blocco stesso e approfondire la conoscenza di dettaglio delle sue caratteristiche (in termini di litologia, caratteristiche meccaniche, ecc.). I sondaggi verranno effettuati in avanzamento;
- ✓ Integrazione con indagini di tipo geofisico (rifrazione, geoelettrica, georadar).

In relazione ai rischi potenziali individuati, riferiti in particolare allo scavo sotto alte coperture e nelle formazioni CPA e AV, il blocco della TBM può essere causato da:

- ✓ Blocco della coclea;
- ✓ Instabilità del fronte/crollo di porzioni d'ammasso;
- ✓ Blocco per eccessive deformazioni dell'ammasso sullo scudo.

In tutti i casi di fermo macchina la coclea verrà arrestata e chiusa la porta anteriore, non scaricando assolutamente la camera di scavo. Se dovessero manifestarsi riduzioni della pressione in camera di scavo nonché del livello di smarino, entrerà immediatamente in funzione il sistema AFSS di cui è equipaggiata la TBM, che inietterà in camera agente condizionante fino a compensare e ristabilire il valore delle pressioni interne.

#### **4.3.1 Interventi di sblocco della coclea**

Il blocco della coclea di estrazione dello smarino può essere dovuto a diverse cause:

- ✓ Presenza di ciottoli di dimensioni eccessive che restano bloccati tra elica e camicia della coclea;
- ✓ Cattivo condizionamento.

Per sbloccarla e riprendere quindi l'avanzamento si dovrà per prima cosa far girare la coclea in senso orario e antiorario alternato, in modo da cercare di sbloccarla. Se non si riuscisse, dovranno essere aperte le portelle sulla camicia della coclea stessa ed intervenire manualmente per rimuovere l'ostacolo. La camera di scavo verrà lasciata sempre in pressione.

#### **4.3.2 Interventi di sblocco della macchina in seguito a fenomeni di instabilità del fronte**

In caso di blocco della TBM derivante da fenomeni di instabilità del fronte o da crolli di materiale è necessario intervenire:

- ✓ Direttamente sul materiale franato eseguendo il consolidamento dello stesso al fine di creare una massa coesa attaccabile dalla testa di scavo della TBM, previo arretramento della stessa;
- ✓ Ripristinare il volume creato dal franamento per evitare l'innescò di rotture e franamenti progressivi dell'ammasso nella sua zona non sostenuta. Tale consolidamento consentirà anche la messa in opera in sicurezza dell'anello di rivestimento in conci.

La modalità di esecuzione dell'intervento prevede la realizzazione di intervento di consolidamento direttamente dalla TBM utilizzando le attrezzature di perforazione disponibili.

La procedura di consolidamento in sintesi è qui elencata:

1. Creazione di uno schermo protettivo tra testa della TBM e ammasso franato attraverso iniezione di resine poliuretatiche o organo-minerali, con lo scopo di evitare l'ingresso nella testa di scavo delle iniezioni consolidanti successive ed evitare che queste ultime facciano presa con la testa di scavo. Le iniezioni saranno effettuate con la perforatrice dallo scudo e dalle aperture della testa di scavo;
2. Iniezione di riempimento e stabilizzazione dei vuoti della zona superiore dell'accumulo di materiale franato, con resine poliuretatiche o resine bicomponenti organo-minerali, attraverso corrispondenti fori d'iniezione radiali realizzati dal Front shield;
3. A consolidamento eseguito ed a presa avvenuta, la testa di scavo della TBM viene fatta arretrare e quando il materiale consolidato ha raggiunto un grado di cementazione sufficiente, si riavvia lo scavo a numero di giri e penetrazioni controllate fino al superamento della zona critica;
4. A TBM ripartita, riempimento con resine poliuretatiche o resine bicomponenti organo-minerali del vuoto presente al disopra della zona di calotta, per mezzo di iniezioni radiali eseguite attraverso i conci di rivestimento appena dietro lo scudo.

In presenza di acqua in pressione, l'intervento di sblocco sarà preceduto dalla realizzazione di drenaggi eseguiti direttamente dalla TBM con la perforatrice attraverso lo scudo, al fine di ottenere una riduzione delle pressioni propedeutica alla realizzazione degli interventi di consolidamento.

#### **4.3.3 Interventi di sblocco della macchina in seguito a eccessive deformazioni dell'ammasso sullo scudo**

##### **1) Gruppi di spinta aggiuntivi**

Accertato il blocco della macchina e cioè che le spinte fornite dal sistema principale non siano più in grado, nonostante tutti gli accorgimenti predisposti a far avanzare lo scudo (macchina dotata di elevata capacità di spinta e coppia, impiego del sovrascavo, iniezione di agenti lubrificanti dagli ugelli presenti lungo lo scudo, ecc.), si potrà ricorrere all'utilizzo

di gruppi di spinta aggiuntivi e alla movimentazione dell'articolazione dello scudo per tentare lo sblocco degli scudi.

Qualora anche questa soluzione risultasse infruttuosa, è necessario rimuovere tutto o in buona parte l'ammasso che appoggia direttamente sullo scudo al fine di ridurre l'attrito sullo scudo e consentire la ripartenza della TBM. L'obiettivo degli interventi da porre in atto è quello di decomprimere lo scudo fino ad un minimo compatibile con le capacità di spinta della TBM. A tal fine si predisporranno i seguenti interventi per sboccare la macchina e riprendere così l'avanzamento dello scavo.

## 2) Idrodemolizione

La TBM proposta è dotata lungo lo scudo di fori attraverso i quali è possibile applicare un intervento di idrodemolizione. L'intervento consiste nella proiezione ad altissima pressione di acqua attraverso i fori lungo lo scudo al fine di ottenere la disgregazione dell'ammasso appoggiato allo scudo. Si tratta di un intervento relativamente veloce da porre in atto, dato che la TBM in oggetto è stata dotata di opportuni fori lungo lo scudo a cui collegare direttamente le attrezzature per l'idrodemolizione: si tratta di n.3 file da 12 linee aventi DN 113 mm.

A titolo di esempio, l'intervento in oggetto è stato applicato con successo per lo sblocco della TBM che sta scavando la galleria di linea Ovest del Tunnel di Base del Brennero nell'ambito del Lotto costruttivo Mules 2-3.



**Fig. 4.1 – Esempio di fori predisposti sullo scudo per l'intervento di idremolizione (sx), risultato ottenuto in seguito all'applicazione dell'intervento (dx)**

## 3) Cunicolo di sblocco

Se l'intervento di idrodemolizione non andrà a buon fine, ovvero la TBM non si sbloccherà, si prevede di scavare uno o due cunicoli laterali paralleli alla TBM al fine di togliere il materiale e liberare lo scudo dal carico esercitato dall'ammasso roccioso per riprendere le operazioni di scavo meccanizzato. Si tratta di cunicoli di piccole dimensioni che verranno scavati manualmente e pertanto le attrezzature di scavo e i relativi

interventi di sostegno dovranno essere adeguatamente compatibili per essere trasportati ed utilizzati dal personale addetto allo scavo.

Le fasi in cui si articola l'intervento sono di seguito riassunte:

- ✓ Fase 1: Attività di preparazione allo scavo del cunicolo. Durante questa fase verranno smontate le attrezzature interferenti con l'attacco del cunicolo e attuati gli interventi necessari per il sostegno dei conci durante il taglio dei conci stessi.
- ✓ Fase 2: Taglio e demolizione dei conci e successivo scavo del tratto di innesto del cunicolo.
- ✓ Fase 3: Scavo del cunicolo laterale parallelo alla TBM fino a raggiungere la testa di scavo in modo da poterla liberare. Dal cunicolo potranno inoltre essere realizzate delle perforazioni di detensionamento per potenziare l'efficacia dell'intervento.
- ✓ Fase 4: Tentativo di ripartenza della TBM. Se la macchina non è in grado di ripartire, verrà scavato un medesimo cunicolo laterale sull'altro lato della TBM per un ulteriore alleggerimento della pressione sullo scudo. Accertato che la TBM è stata sbloccata ed in grado di riprendere l'avanzamento, il cunicolo verrà completamente riempito con malta cementizia iniettata attraverso dei tubi a completo intasamento del cunicolo scavato, mentre il concio demolito per l'attacco del cunicolo verrà completamente ripristinato mediante il getto in opera di un rivestimento in c.a. avente prestazioni strutturali equivalenti a quelle del concio. Dopo il getto del nuovo rivestimento verranno realizzate delle iniezioni radiali di contatto per assicurare che il nuovo rivestimento sia perfettamente a contatto con l'ammasso. Inoltre, prima dell'intasamento del cunicolo, l'estradosso dello scudo della TBM verrà completamente ingrassato ed isolato con pannelli di polistirolo per evitare che lo scudo possa essere accidentalmente "cementato" durante le fasi di riempimento del cunicolo.

Come detto in precedenza, le operazioni di scavo e rivestimento verranno effettuate manualmente. I sostegni del cunicolo saranno opportunamente dimensionati per essere installati manualmente (come centine, reti elettrosaldate, spritz-beton). La sicurezza degli addetti al momento dello scavo sarà ulteriormente garantita applicando interventi di protezione in avanzamento allo scavo quali i marciavanti e bulloni di rinforzo del fronte di scavo.

Durante tutte le fasi lavorative il cunicolo e lo scudo della TBM verranno attentamente monitorati per controllare la risposta deformativa allo scavo.

Il monitoraggio del cunicolo di sblocco verrà attuato, indicativamente, mediante la predisposizione di:

- ✓ Stazioni per la misura delle convergenze del cunicolo. Verranno installate mire ottiche (in calotta, reni, piedritti) per la misura delle convergenze del cunicolo.
- ✓ Sistemi di monitoraggio installati sul rivestimento di prima fase per la misura dello stato di sforzo a cui sarà soggetto il rivestimento. Saranno installati

estensimetri a corda vibrante sulle ali delle centine e celle di carico al piede delle centine.

Il monitoraggio dello scudo verrà attuato, indicativamente, mediante la predisposizione di:

- ✓ Estensimetri incollati sulla parte interna dello scudo, previa operazione di pulizia della superficie interna dello scudo. Verranno predisposte diverse sezioni di misura lungo lo scudo, ciascuna costituita da estensimetri disposti in calotta e lungo i piedritti. Le misure estensimetriche consentiranno di monitorare la tensione sullo scudo e confrontarla con le capacità di resistenza dello scudo stesso.
- ✓ Stazioni per la misura delle convergenze dello scudo. Verranno installate mire ottiche per la misura delle convergenze dello scudo.

L'intervento in oggetto è stato applicato con successo dalla presente R.T.I. per lo sblocco della TBM-EPB che ha scavato la galleria Pavoncelli Bis (Fig. 4.2). Tra gli altri esempi, si cita lo sblocco del Cunicolo esplorativo del Tunnel di Base del Brennero nell'ambito del Lotto costruttivo Mules 2-3.



**Fig. 4.2 – Esempio di cunicolo di sblocco realizzato, galleria Pavoncelli Bis**