

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



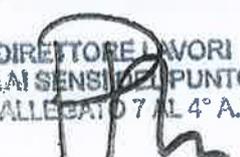
**INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N. 443/01**

**TRATTA A.V. /A.C. TERZO VALICO DEI GIOVI  
PROGETTO ESECUTIVO**

ALLEGATO ALL'ORDINE DI SERVIZIO  
N. 2505  
DEL 03/12/21

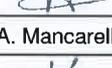
**GALLERIA NATURALE DI VALICO  
SCAVO IN MECCANIZZATO – BINARIO PARI E DISPARI**

**Valutazione dei rischi**

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE DEI LAVORI
Il Direttore del Consorzio <b>CODIV</b> Ing. F. Poma 	IL DIRETTORE LAVORI ATTUALI SENSIBILI PUNTO 1 DELL'ALLEGATO 7 AL 4° A.M. 

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
I G 5 1	0 0	E	C V	N T	G N 0 0 0 0	0 3 1	C

**Progettazione :**

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	IL PROGETTISTA
A00	Emissione per RdM IG5103ECVRMGN1410001 IG5103ECVRMGN1510001	COCIV	25/05/2020	COCIV	25/05/2020	A. Mancarella 	25/05/2020	 Consorzio Collegamenti Integrati Veloci Dott. Ing. A. Mancarella Ordine Ingegneri Prov. TO n. 6271 R
B00	Revisione per istruttoria IG5103E07ISGN1410001A IG5103E07ISGN1510001A	COCIV	23/09/2020	COCIV	16/10/2020	A. Mancarella 	16/10/2020	
C00	Revisione per istruttoria IG5103E07ISGN1410002A IG5103E07ISGN1510003A	COCIV	15/06/2021	COCIV	15/06/2021	A. Mancarella 	15/06/2021	

n. Elab.: Stampato dal Servizio di plottaggio ITALFERR S.p.A. File: IG51-00-E-CV-NT-GN00-00-031-C00

ALBA s.r.l.

CUP: F81H92000000008



<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-00-E-CV-NT-GN00-00-031-C00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 3 di 37</p>

## INDICE

1.	INTRODUZIONE.....	4
2.	ELABORATI DI RIFERIMENTO.....	6
3.	ANALISI DEL RISCHIO - STEP 1: INDIVIDUAZIONE E CLASSIFICAZIONE DEI RISCHI.....	7
4.	ANALISI DEL RISCHIO - STEP 2: AZIONI PREVENTIVE PER LA MITIGAZIONE DEI RISCHI.....	11
4.1.	Rischio #1: Venute d'acqua concentrate .....	12
4.2.	Rischio #2: Carico idraulico in regime stabilizzato .....	15
4.3.	Rischi #3 / #4 / #5: Zone fratturate/alterate / Faglie / Anomalie tettoniche .....	18
4.4.	Rischio #6: Fronte misto / Condizioni di fratturazione medio-alta / Presenza di trovanti	20
4.5.	Rischio #7: Difficoltà di penetrazione (Problemi di fresabilità) .....	23
4.6.	Rischio #8: Problemi di abrasività.....	25
4.7.	Rischio #8: Presenza di gas .....	28
4.8.	Monitoraggio dei rischi .....	30
5.	ANALISI DEL RISCHIO - STEP 3: CONTROMISURE PER LA GESTIONE DEL RISCHIO RESIDUO.....	32
5.1.	Rischio #1: Venute d'acqua concentrate - Gestione del Rischio Residuo .....	33
5.2.	Rischio #2: Carico idraulico in regime stabilizzato - Gestione del Rischio Residuo	35
5.3.	Rischi #3 / #4: Zone fratturate/alterate / Faglie - Gestione del Rischio Residuo.	35
5.4.	Rischi #6 / #7 / #8: Condizioni di particolare usura dei componenti della testa fresante e della coclea - Gestione del Rischio Residuo.....	36
5.5.	Rischio #9: Presenza di gas - Gestione del Rischio Residuo .....	36
6.	CONCLUSIONI .....	37

## 1. INTRODUZIONE

Il presente documento, introdotto nella WBS GN00, è relativo alle WBS GN141 e GN151 comprese nella Tratta 4 della galleria di Valico, che appartiene al tracciato della linea ferroviaria del “Terzo Valico dei Giovi”, ed in particolare al tratto compreso dalla pk 17+780.00 (B.P.) / 17+790.03 (B.D.) alla pk 19+700.00, per uno sviluppo di circa 1.9 km per ogni binario.

Lo scopo della presente relazione è l’approfondimento sulla valutazione dei rischi relativi alla tratta in meccanizzato prevista, con la presente modifica, estesa sino alla finestra Vallemme.

Il documento è stato organizzato ed articolato in maniera da illustrare le varie fasi che accompagnano un processo di gestione del rischio (*Risk Management*), secondo principi e metodologie sviluppate per diversi sistemi di gestione (ad esempio, ISO 9001 e ISO 31000 “*Gestione del rischio – Principi e Linee Guida*”).

Secondo tali principi e metodologie, il Processo di Gestione del Rischio può essere schematizzato, per il particolare contesto analizzato, in una serie di azioni articolate in due fasi:

1. Fase progettuale e di pianificazione: è caratterizzata dall’esecuzione di tre step fondamentali (Identificazione dei Rischi, Analisi dei Rischi, Valutazione dei Rischi), che danno luogo a delle strategie/azioni volte a mitigare i rischi iniziali.
2. Fase esecutiva: consiste nell’effettiva implementazione del trattamento pianificato, usualmente articolato secondo le fasi del Ciclo PDCA (*ciclo di Deming*).

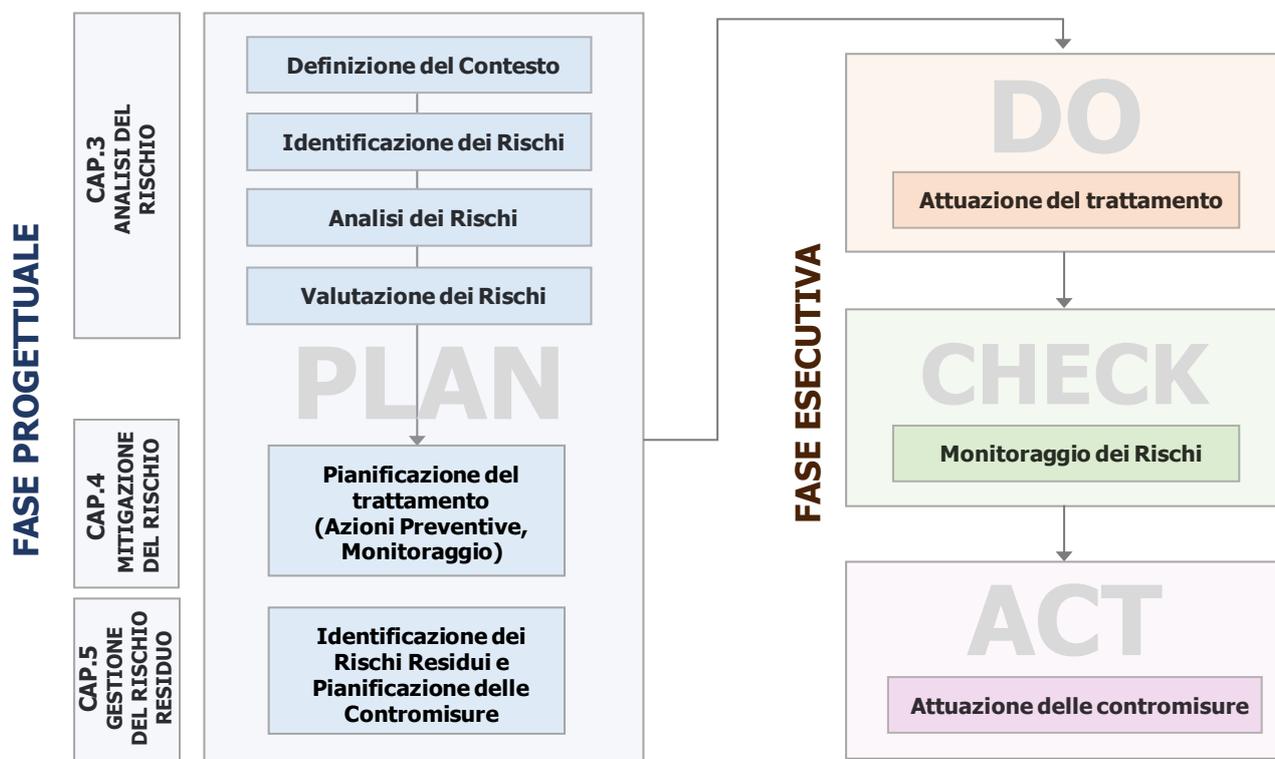


Figura 1.1. Schema adottato per il processo di gestione del rischio

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-00-E-CV-NT-GN00-00-031-C00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 5 di 37</p>

Utilizzando tale schema concettuale è stata dunque avviata una *Analisi del Contesto*, effettuata facendo riferimento ad altri documenti tecnici relativi alla tratta oggetto di approfondimento (cfr. par. 2). Tale analisi ha permesso di individuare i rischi presenti nella tratta durante la fase di scavo, con particolare riferimento sia a quelli legati al comportamento degli ammassi (geologici, geomorfologici e geotecnici), sia a quelli legati alla gestione delle acque (idrogeologici), sia a quelli operativi o logistici (ad esempio, gas, abrasività, manutenzioni).

A valle dell'individuazione del rischio, è stato quindi possibile studiare e selezionare appropriate Misure di Mitigazione (*Risk Treatment*, o misure per il trattamento del rischio), alcune delle quali implementabili già in una fase progettuale, altre più attinenti alla fase esecutiva. Tra queste ultime possono esservi misure già pianificate, da attuare immediatamente prima dell'ingresso nella tratta in oggetto (possibili modifiche e apprestamenti sulla TBM) o nella fase di esercizio (utilizzo di conci con adeguate caratteristiche statiche e funzionali, programmazione di interventi sulla TBM, implementazione di indagini e monitoraggi, esecuzione di interventi particolari). Con il termine "*Azioni Preventive*" ci si riferirà, nell'ambito di questa relazione, alle misure di mitigazione già pianificate, includendo anche le misure che si intende proporre per il monitoraggio del rischio in corso d'opera.

In risposta a specifiche richieste sull'argomento, è stata posta particolare attenzione alla definizione, già in questa fase, delle azioni preventive che ricadono in ambito operativo (*procedure operative*) e che si intende attuare per la gestione di alcuni rischi caratterizzati da maggiori probabilità di accadimento (ad esempio, quelli connessi all'abrasività o a rischio idraulico). In particolare, vengono allegate alla relazione dei documenti sintetici, redatti dall'affidatario, allo scopo di illustrare in dettaglio le modalità di attuazione di tali misure di mitigazione, includendo anche delle indicazioni di massima (in termini di programmazione) di tali interventi (strettamente dipendenti dall'effettiva occorrenza del rischio e risultano quindi estremamente complessi, se non impossibili, da quantificare in questa fase).

Al cap. 5, infine, il documento contiene delle valutazioni specifiche riguardanti le *Contromisure* da adottare qualora l'evento temuto si verifici nonostante le azioni preventive attuate; il complesso di tali misure ricade nell'ambito della gestione operativa del Rischio Residuo.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-00-E-CV-NT-GN00-00-031-C00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 6 di 37</p>

## 2. ELABORATI DI RIFERIMENTO

Nel presente documento si farà riferimento ai seguenti elaborati:

- [Rif. 1] Relazione Tecnica Scavo in meccanizzato – Galleria di Valico (IG51-00-E-CV-RO-GN00-00-015)
- [Rif. 2] Relazione Geotecnica Tratta 4 (IG51-00-E-CV-RB-GN00-00-001)
- [Rif. 3] Addendum Relazione geotecnica, di monitoraggio e di calcolo - WBS GN14R, GN15R, GN14S, GN15S (IG51-00-E-CV-RO-GN00-00-019)
- [Rif. 4] Relazione di Calcolo Tratta 4 (IG51-00-E-CV-CL-GN00-00-001)
- [Rif. 5] Relazione di Calcolo Scavo in meccanizzato – Galleria di Valico (IG51-02-E-CV-CL-GN00-00-001)
- [Rif. 6] Relazione di Monitoraggio Scavo in meccanizzato – Galleria di Valico (IG51-02-E-CV-RO-GN00-00-001)
- [Rif. 7] Relazione Geotecnica Scavo in meccanizzato – Galleria di Valico (IG51-02-E-CV-RB-GN00-00-001)
- [Rif. 8] Relazione Tecnica, di Calcolo e di Monitoraggio - Scavo in meccanizzato - WBS GN141, GN151 (IG51-00-E-CV-RO-GN00-00-032)

### 3. ANALISI DEL RISCHIO - STEP 1: INDIVIDUAZIONE E CLASSIFICAZIONE DEI RISCHI

Nella “*Relazione Tecnica, di Calcolo e di Monitoraggio*” viene riportata una descrizione generale delle opere in progetto e dei principali aspetti relativi al contesto geologico e idrogeologico della tratta per cui si prevede di estendere lo scavo meccanizzato (da pk 17+780/17+790 a pk 19+700 ca), che riguarda circa 1.9 km di galleria con sezione a canne separate e con coperture variabili tra 155 m e 275 m (WBS GN141 e GN151).

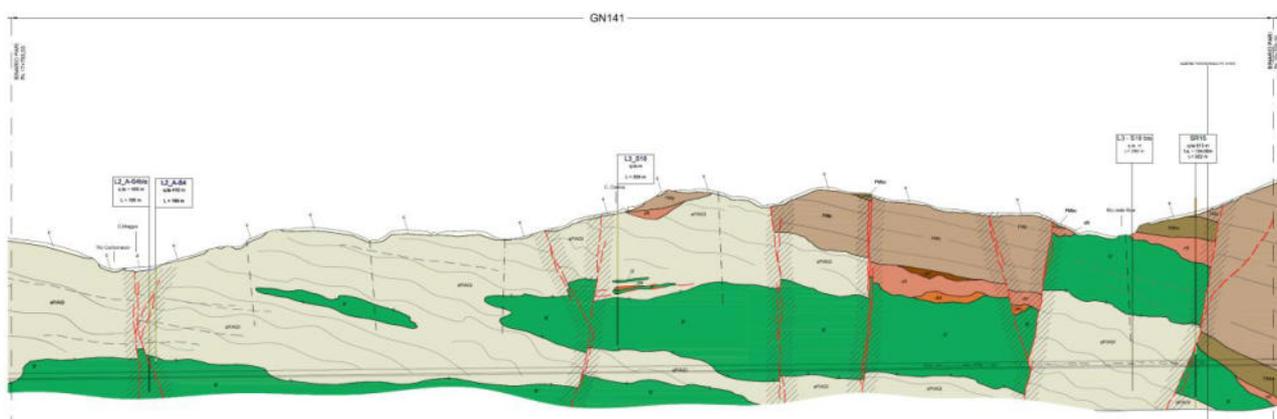


Figura 3.1. Profilo longitudinale - Binario pari

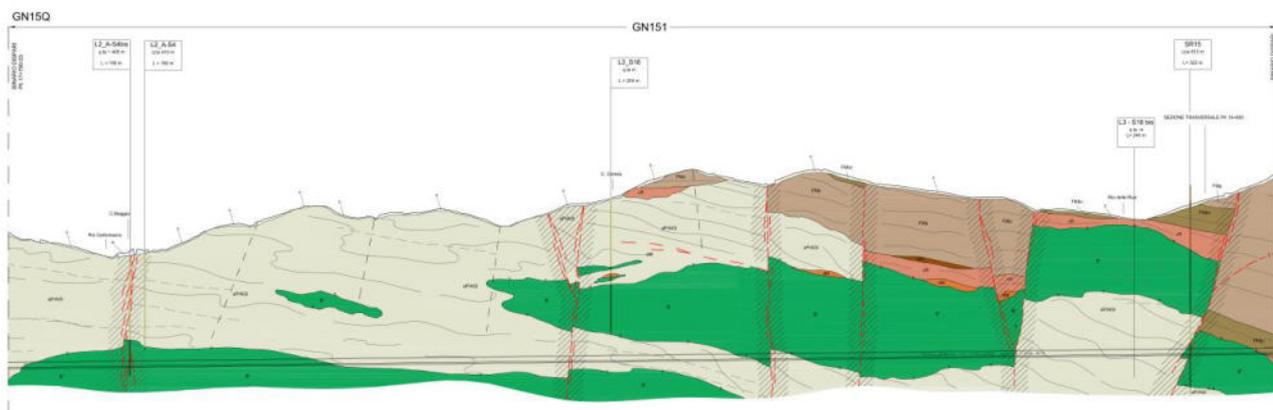


Figura 3.2. Profilo longitudinale - Binario dispari

La tabella alla pagina seguente riepiloga le principali criticità individuate in relazione allo scavo in meccanizzato nella tratta in oggetto (*sorgenti di rischio*). I rischi identificati, ed in particolare la loro possibilità di accadimento, derivano da un'analisi delle criticità (*analisi del contesto*) emerse durante la fase conoscitiva nella tratta in oggetto, in particolare quelle di carattere geologico, idrogeologico e geotecnico e quelle legate al comportamento deformativo del cavo in seguito alla realizzazione dello scavo (analisi tenso-deformativa).

A titolo di esempio, per la determinazione della probabilità di accadimento dei rischi #7 e #8 (problemi di fresabilità e di abrasività), vengono effettuate analisi specifiche per la determinazione di parametri indice relativi ai contesti geologici della tratta di estensione dello scavo meccanizzato (cfr.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Foglio 8 di 37
IG51-00-E-CV-NT-GN00-00-031-C00		

par 6.3 del documento citato); vengono inoltre espresse ulteriori considerazioni basate sulle evidenze riscontrate in corso d'opera in gallerie scavate in contesti analoghi. L'insieme di tali considerazioni ha portato, in ultima analisi, ad una definizione di una probabilità di accadimento "alta".

Allo stesso modo, per i rischi legati alle caratteristiche degli ammassi incontrati (ad esempio, presenza di fronti misti e/o zone di faglia), l'individuazione della probabilità di accadimento si basa sull'analisi delle informazioni geologiche e geotecniche alla base della progettazione, mentre la valutazione degli impatti è conseguente al comportamento tenso-deformativo dell'ammasso in seguito allo scavo della galleria, le cui valutazioni sono riportate nella relazione di calcolo.

Pertanto, una volta definite le probabilità di accadimento, sono state effettuate delle valutazioni riguardanti i possibili *impatti*, ovvero i possibili effetti legati all'accadimento dell'evento in termini di salute, sicurezza, economici e ambientali.

Il rischio legato ad un particolare evento viene quindi definito in funzione dei parametri sopra riportati, ovvero Probabilità di accadimento e Impatto, e viene individuato nell'ultima colonna della tabella seguente. Per chiarezza di esposizione, ci si riferisce qui ad un rischio "iniziale", ovvero in assenza di misure di mitigazione. Le stesse misure (definite nel par. 4), infatti, hanno lo scopo di mitigare il rischio, ovvero di portarlo entro limiti ritenuti accettabili.

IDENTIFICAZIONE DEI RISCHI				VALUTAZIONE DEI RISCHI		
ID	SORGENTE DI RISCHIO	DESCRIZIONE DEL CONTESTO	POTENZIALI CONSEGUENZE	PROBABILITA' DI ACCADIMENTO	IMPATTO	RISCHIO INIZIALE
1	<b>Venute d'acqua concentrate</b>	Attraversamento di zone ad alta permeabilità con battente elevato (condizione associabile alle zone di Basalti fratturate).	<ul style="list-style-type: none"> <li>Incremento delle pressioni in camera di scavo.</li> <li>Condizioni di instabilità locale del fronte di scavo.</li> <li>Possibili flussi d'acqua dalle spazzole di coda e al fronte</li> </ul>	Bassa	Media	Medio
2	<b>Carico idraulico in regime stabilizzato</b>	Elevata pressione dell'acqua agente a lungo termine sul rivestimento	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aumento della pressione radiale sul rivestimento.</li> <li>Possibile rottura delle guarnizioni tra gli anelli.</li> <li>Possibili venute d'acqua in galleria.</li> </ul>	Bassa	Alta	Medio
3	<b>Zone fratturate / alterate</b>	Attraversamento di zone con parametri mediamente scadenti (gruppo 2) alle massime coperture.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Elevati carichi sul rivestimento.</li> <li>Carichi radiali sullo scudo della TBM.</li> <li>Possibili rallentamenti negli</li> </ul>	Media	Media	Medio

IDENTIFICAZIONE DEI RISCHI				VALUTAZIONE DEI RISCHI		
ID	SORGENTE DI RISCHIO	DESCRIZIONE DEL CONTESTO	POTENZIALI CONSEGUENZE	PROBABILITA' DI ACCADIMENTO	IMPATTO	RISCHIO INIZIALE
			avanzamenti.			
4	<b>Faglie</b>	Attraversamento di zone di faglia (gruppo 3A/3B ad elevate coperture).	<ul style="list-style-type: none"> <li>Elevati carichi sul rivestimento.</li> <li>Presenza di fronti instabili.</li> <li>Elevati carichi sullo scudo con rischio bloccaggio.</li> </ul>	Bassa	Alta	Medio
5	<b>Anomalie tettoniche</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Condizioni di spinte anomale (di natura tettonica)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Elevati carichi sul rivestimento.</li> <li>Carichi non isotropi e asimmetrici sulle strutture.</li> <li>Carichi differiti nel tempo anche a distanza dal fronte di scavo.</li> <li>Elevati carichi sullo scudo di coda con rischio bloccaggio.</li> </ul>	Bassa	Alta	Medio
6	<b>Fronte misto / Condizioni di fratturazione medio-alta / Presenza di trovanti</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Presenza di fronti misti nelle tratte di passaggio tra Basalti e Argille a Palombini.</li> <li>Condizioni di fratturazione medio/alta con distacco di blocchi</li> <li>Presenza di trovanti (<i>boulders</i>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Problemi di usura e/o danneggiamento degli utensili e dei diversi componenti della testa di scavo.</li> <li>Usura della coclea di estrazione e difficoltà di estrazione materiale.</li> <li>Possibilità di sovrascavi locali sui paramenti o in calotta.</li> </ul>	Media	Media	Medio
7	<b>Difficoltà di penetrazione (Problemi di fresabilità)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Probabile presenza di materiali ad elevata resistenza all'interno delle porzioni meno fratturate dei Metabasalti.</li> <li>Presenza di inclusioni o trovanti di dimensioni significative, con resistenze a compressione superiori a 100-150 MPa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Riduzione del tasso di avanzamento.</li> <li>Incremento dell'usura degli utensili della testa di scavo.</li> </ul>	Alta	Media	Alto
8	<b>Usura delle componenti della testa fresante (Problemi di abrasività)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Attraversamento della formazione delle Argille a Palombini con presenza elevata della componente calcitico/quarzitica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Problemi di usura degli utensili e dei diversi componenti della testa di scavo.</li> <li>Usura della coclea.</li> </ul>	Alta	Media	Alto

IDENTIFICAZIONE DEI RISCHI				VALUTAZIONE DEI RISCHI		
ID	SORGENTE DI RISCHIO	DESCRIZIONE DEL CONTESTO	POTENZIALI CONSEGUENZE	PROBABILITA' DI ACCADIMENTO	IMPATTO	RISCHIO INIZIALE
9	<b>Presenza di gas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presenza di gas lungo tutta la tratta in oggetto, principalmente (ma non solo) nelle zone caratterizzate da una permeabilità più elevata e caratteristiche più scadenti, quali faglie e zone di alterazione.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rischi legati alla sicurezza degli operatori.</li> </ul>	Alta	Alta	Alto

**Tabella 3.1. Estensione tratta in meccanizzato - Individuazione dei fattori di rischio**

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG51-00-E-CV-NT-GN00-00-031-C00	Foglio 11 di 37

#### 4. ANALISI DEL RISCHIO - STEP 2: AZIONI PREVENTIVE PER LA MITIGAZIONE DEI RISCHI

Al paragrafo precedente sono stati individuati e analizzati i rischi connessi all'estensione dello scavo meccanizzato per circa 1.9 km (da pk 17+780/17+790 a pk 19+700 ca); in particolare, sono state definite le probabilità di accadimento e i possibili impatti, consentendo quindi una classificazione del rischio, quantificato come "basso", "medio" ed "alto".

Come si può evincere dall'analisi della tabella 3.1, tale estensione non è esente da rischi, dacché tale classificazione ha permesso di individuare come "medi" i rischi numerati da #1 a #6, e sono emerse alcune potenziali criticità legate ai rischi da #7 a #9, ovvero, rispettivamente, difficoltà di penetrazione legate a problemi di fresabilità, usura dei componenti della testa fresante (problemi di abrasività) e presenza di gas. Questi ultimi tre rischi sono stati pertanto classificati come "alti".

Per ognuno dei rischi è stata quindi studiata e messa a punto "in un sistema integrato tra progettazione, aspetti tecnologici e modalità operative" una serie di interventi di mitigazione del rischio complessivamente classificati come "Azioni preventive". Per la definizione di tali azioni sono stati quindi coinvolti, per diversi aspetti, sia l'Impresa Affidataria responsabile dell'esecuzione dei lavori, sia il produttore della TBM, sia il progettista delle opere.

Le tipologie di Azioni Preventive individuate e di seguito illustrate possono essere maggiormente legate alla fase progettuale (ad es. dimensionamento dei conci), o alla fase di allestimento della macchina (ad esempio, configurazione della testa di scavo), o all'ambito operativo (ad es. programmazione delle ispezioni del fronte e della testa di scavo). Tuttavia, in alcuni casi, una distinzione chiara della fase corrispondente non è sempre attuabile, dal momento che alcune azioni, pur pianificate in anticipo (ossia in questa fase progettuale) vedranno un'effettiva attuazione ed implementazione solo a scavo in corso ed in funzione dell'effettivo contesto rilevato in corso d'opera. È ad esempio il caso degli utensili a prestazioni maggiorate (rischi #7 e #8), necessari ad affrontare contesti particolarmente tenaci o abrasivi, che verranno approvvigionati in anticipo, ma utilizzati effettivamente solo laddove necessario.

Le Azioni Preventive individuate permettono di mitigare il rischio, riportandolo entro limiti ingegneristicamente ed economicamente accettabili, ma non permettono di azzerare il rischio. Esistono dei *Rischi residui*, dunque, connessi all'inattuabilità o all'inefficacia dell'azione preventiva proposta. Al capitolo 5 verranno dunque definite delle *Contromisure*, ossia misure da attuarsi in tali casi per fronteggiare i rischi residui, o eventuali condizioni non previste.

È opportuno precisare che le Azioni Preventive relative ai diversi scenari di rischio ipotizzati potranno anche sovrapporsi, in condizioni specifiche che diano luogo all'occorrenza contemporanea di due o più rischi (è il caso, ad esempio, dall'attraversamento di zone di faglia, contesti potenzialmente suscettibili ai rischi identificati ai numeri da #1 a #4 o #9, che potrebbero richiedere l'attuazione di più Azioni Preventive in contemporanea).

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG51-00-E-CV-NT-GN00-00-031-C00</p>	<p>Foglio 12 di 37</p>

#### 4.1. Rischio #1: Venute d'acqua concentrate

Come riportato nella “*Relazione Tecnica, di Calcolo e di Monitoraggio*” la possibilità di venute è circoscritta prevalentemente alle zone di faglia, con particolare riferimento alla formazione dei Metabasalti che mostra generalmente conducibilità idrauliche maggiori rispetto a quelle delle Argille a Palombini. È inoltre estremamente improbabile che tali venute si verifichino nel breve termine con pressioni corrispondenti all'intero carico idraulico.

Dal punto di vista delle conseguenze, l'occorrenza di venute d'acqua di tal tipo può presentare problemi principalmente di carattere operativo, con possibili incrementi delle pressioni in camera di scavo e flussi d'acqua dalle spazzole di coda, pertanto ad essa è associato un impatto “medio”.

Anche dal punto di vista ambientale, il rischio di isterilimento delle sorgenti in superficie è stato valutato come estremamente limitato (se non nullo) dal momento che le scarse caratteristiche di connettività degli ammassi interessati dallo scavo, e in particolare dei Metabasalti, rendono l'aquifero superficiale sostanzialmente indipendente da possibili venute d'acqua in galleria.

La principale misura preventiva prevista in fase Progettuale per far fronte a tale rischio è stata già implementata nella scelta della macchina utilizzata, ovvero una TBM-EPB che permette di procedere all'occorrenza in *modalità chiusa*, applicando una contropressione al fronte con pressioni operative di 3 bar (e sino a 5 bar in particolari contesti). Si prevede che anche durante l'attraversamento delle zone tettonizzate ed in presenza delle massime forze di filtrazione previste all'interno del tratto analizzato, associate al massimo battente idraulico (250 m), il limite tecnologico di contro-pressione al fronte considerato per la fresa in modalità chiusa sia idoneo per garantire condizioni di stabilità del fronte di scavo e ridurre gli afflussi d'acqua.

Per il resto della tratta, in assenza di falda, si prevede la possibilità di avanzare in *modalità aperta*, senza la necessità di applicare contropressioni al fronte, mentre in corrispondenza delle zone di faglia si prevede l'avanzamento in *modalità semi-aperta*, ovvero con la camera di scavo parzialmente piena. Tale modalità permette di garantire un rapido passaggio alla modalità chiusa nel caso in cui vengano effettivamente riscontrate venute d'acqua al fronte di scavo comunque già indagate e previste con le indagini in avanzamento.

Dal punto di vista delle misure da attuarsi in fase di avanzamento, si prevede di proseguire lo scavo attraverso l'esecuzione di indagini in avanzamento, delle quali alcune aventi carattere sistematico (indagini geoelettriche di tipo BEAM) ed altre da attuarsi all'occorrenza, in prossimità di zone di faglia o in presenza di anomalie registrate da parte del sistema BEAM.

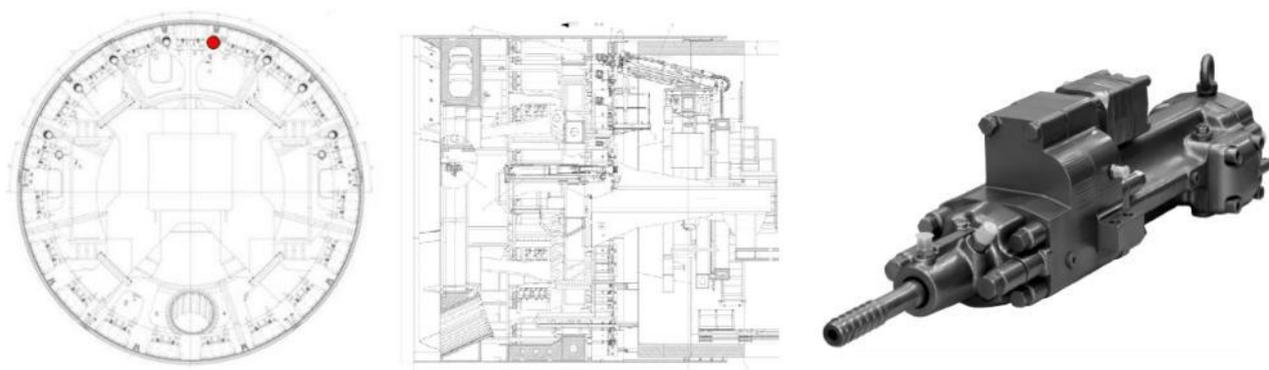
È opportuno segnalare come i recenti avanzamenti della TBM all'interno della Formazione di Molare (all'interno di ammassi caratterizzati dalla presenza di zone ad elevato rischio idraulico) abbiano fornito indicazioni confortanti riguardo all'efficacia del sistema proposto: laddove il sistema BEAM ha registrato delle anomalie, si sono effettivamente registrate delle (seppur non significative) venute d'acqua in fase di scavo.

Le indagini geoelettriche eseguite tramite BEAM non avranno alcun impatto sul programma lavori in quanto il sistema lavora autonomamente in continuo e in parallelo alle attività di scavo, restituendo

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG51-00-E-CV-NT-GN00-00-031-C00	Foglio 13 di 37

ad ogni metro di avanzamento una proiezione dei successivi 30 metri e fornendo degli indici funzionali per la definizione delle caratteristiche dell'ammasso.

Le indagini proposte in prossimità delle faglie consistono in sondaggi a distruzione con valutazione della pressione idraulica nel foro (laddove venga effettivamente riscontrata la presenza di acqua) e del tempo di ripristino delle pressioni idrauliche. Tali indagini verranno eseguite attraverso una perforatrice idraulica già presente in TBM, che viene montata all'occorrenza sulla piastra dell'ereuttore con una inclinazione di 12° rispetto all'asse della macchina.



**Figura 4.1. Perforatrice idraulica in TBM**



**Figura 4.2. Esecuzione di perforazioni in avanzamento sulla TBM S-979**

Per la descrizione dettagliata delle modalità di esecuzione delle perforazioni e di misurazione delle pressioni idrauliche, si rimanda al documento 1 in allegato: *“Perforazione in avanzamento - Mitigazione del rischio venute d’acqua concentrate in fase operativa prima dello scavo”*.

A differenza delle indagini geoelettriche, i sondaggi a distruzione richiederanno un fermo macchina. Tipicamente un'indagine di questo tipo, considerando tutte le fasi necessarie alla sua esecuzione (allestimento, perforazione, valutazione dei parametri idraulici), richiede una giornata di lavoro. Nel caso in oggetto si prevede in linea di massima di eseguire, per ogni WBS, circa dodici indagini (con un massimo di due per ogni zona di faglia nelle zone a maggior rischio idraulico). Anche in questo in caso, la previsione potrà essere rivista in fase di esercizio in quanto strettamente connessa alle incertezze sulle condizioni locali dell'ammasso riscontrate in fase di scavo.

Nello schema che segue vengono riepilogate le Misure di Mitigazione sviluppate per far fronte al rischio di venute d'acqua concentrate in fase di scavo.

## RISCHIO #1 –VENUTE D'ACQUA

### DESCRIZIONE DEL RISCHIO

Attraversamento di zone ad alta permeabilità con battente elevato (condizione associabile alle zone di Basalti fratturate).

### VALUTAZIONE DEL RISCHIO INIZIALE

**MEDIO** ●



## SCHEMA ILLUSTRATIVO DELLE AZIONI PREVENTIVE

### Misure di Mitigazione Preventive

### Mitigazione in fase di avanzamento

FASE PROGETTUALE / ALLESTIMENTO

#### 1. Tipologia di macchina

La macchina utilizzata (TBM-EPB) permette di avanzare in modalità aperta, semi aperta o chiusa. In corrispondenza di tratti con potenziali venute d'acqua si potrà procedere con l'applicazione di contropressione al fronte.

AMBITO OPERATIVO

#### 1. Esecuzione di indagini in avanzamento,

di tipo sistematico (indagini geoelettriche di tipo BEAM) o di tipo occasionale, da attuarsi in prossimità delle zone a maggiore rischio (perforazioni in con misurazione della pressione di eventuali venute d'acqua).

RIF. ALLEGATO 1



#### 2. Avanzamento in modalità chiusa

con incremento della densità apparente in camera di scavo e l'applicazione di contropressioni al fronte.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG51-00-E-CV-NT-GN00-00-031-C00	Foglio 15 di 37

## 4.2. Rischio #2: Carico idraulico in regime stabilizzato

Come riportato nella “*Relazione Tecnica, di Calcolo e di Monitoraggio*”, alla sezione 4.3, lungo il tratto analizzato e al di fuori delle zone di faglia, sono previsti valori di conducibilità idraulica da bassi fino a medio-bassi, con carichi idraulici stimati per le condizioni idrogeologiche imperturbate variabili fino ad un massimo di 250 m.

Come evidenziato nella matrice di rischio in tabella 3.1, la presenza di elevate pressioni idrauliche a tergo del rivestimento in conci della galleria è un fattore di rischio, sia per un aumento della pressione radiale (e di conseguenza dello stato di sollecitazione dei conci prefabbricati), sia per la possibilità di rotture locali delle guarnizioni tra gli anelli (soprattutto in caso di danneggiamenti, seppur lievi, in fase di movimentazione e posa in opera dei conci).

Nei casi in cui le indagini integrative confermino gli esiti delle analisi condotte in merito all’evoluzione del carico idraulico nella fase successiva allo scavo, si potranno installare opportuni sistemi di drenaggio, comprensivi di sezioni drenanti, dimensionati in funzione delle classi di comportamento idrogeologico previste; tali schemi di drenaggio dovranno necessariamente essere tarati in corso d’opera a valle dei risultati ottenuti dalle sezioni di indagine previste.

Si tratta, in ultima analisi, di sistemi analoghi a quelli attualmente previsti nel progetto della stessa galleria all’interno della formazione di Molare, che presenta criticità analoghe se non più gravose.

Le indagini al contorno della galleria potranno essere eseguite attraverso l’installazione di piezometri “spia”, realizzati con celle piezometriche elettriche, ubicati in corrispondenza di fori di opportune geometrie che metteranno in comunicazione le celle piezometriche con l’acqua presente al contorno della galleria.

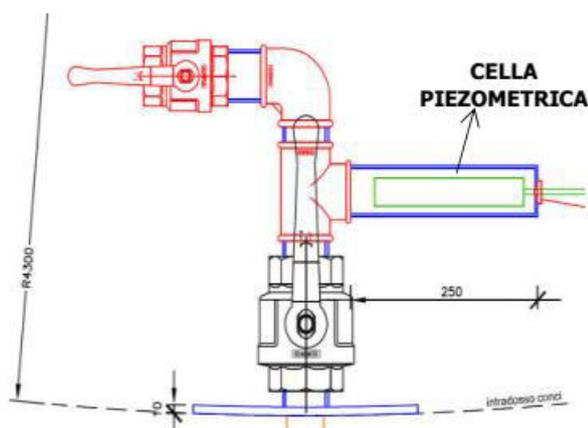


Figura 4.3. Sistema per il monitoraggio delle pressioni idrauliche al contorno della galleria

Il sistema proposto prevede il fissaggio preliminare di una piastra calandrata, completa di valvola a sfera, e la successiva realizzazione del foro tramite carotatrice dall’interno della valvola fino a fondo foro oltrepassando l’intero spessore del rivestimento in calcestruzzo e lo strato di bicomponente. Una volta completato il foro ed estratta la carotatrice, il sistema proposto consente l’immediata

messa in sicurezza attraverso la chiusura della valvola a sfera. Viene poi installato il sistema per il monitoraggio idraulico (in rosso in figura 4-3), con la cella piezometrica.

Tale sistema è giudicato il più idoneo per consentire l'esecuzione di un gran numero di piezometri "spia", che dovranno necessariamente essere installati in corso d'opera. Le progressive indicative di tali piezometri sono indicate nella tabella seguente.

WBS	Formazione geologica	Pk indicativa di installazione
GN141	FMbc	19+650
	B'/aP (zona di faglia)	19+570
	aP	19+450
	aP/B' (zona di faglia)	19+330
	B'	19+200
	B' (zona di faglia)	19+075
	B' (zona di faglia)	18+949
	aP/B'	18+850
	aP	18+750
	aP (zona di faglia)	18+650
	aP	18+500
	aP	18+350
	aP/B'	18+175
	B'	18+100
	GN151	B' (zona di faglia)
B'		17+850
B'		19+650
B'/aP (zona di faglia)		19+570
aP		19+450
aP/B' (zona di faglia)		19+305
B'		19+200
B' (zona di faglia)		19+075
aP/B' (zona di faglia)		18+940
aP		18+790
aP (zona di faglia)		18+640
aP		18+500
aP		18+350
aP/B'		18+275
B'		18+180
B'	18+050	
B' (zona di faglia)	17+960	
B'	17+850	

**Tabella 4.1. Progressive indicative di installazione dei piezometri "spia"**

Nello schema che segue vengono riepilogate le Misure di Mitigazione sviluppate per far fronte al rischio di carico idraulico elevato a tergo dei conci.

## RISCHIO #2 – CARICO IDRAULICO IN REGIME STABILIZZATO

### DESCRIZIONE DEL RISCHIO

Elevata pressione dell'acqua agente a lungo termine sul rivestimento (zone di faglia).

### VALUTAZIONE DEL RISCHIO INIZIALE

**MEDIO** ●

### SCHEMA ILLUSTRATIVO DELLE AZIONI PREVENTIVE

#### Misure di Mitigazione Preventive

#### Mitigazione in fase di avanzamento

FASE PROGETTUALE / ALLESTIMENTO

#### 1. Conci di elevate caratteristiche meccaniche

Impiego di conci Rck=60 MPa e armatura specifica per la tratta ed uso di fibre in acciaio.

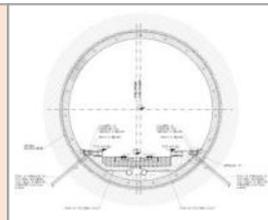
AMBITO OPERATIVO

#### 1. Esecuzione di indagini piezometriche al contorno della galleria, attraverso «sezioni spia», che permetteranno di verificare le ipotesi progettuali relative alle classi di comportamento idrogeologico, e di tarare eventuali interventi di drenaggio.



#### 2. Sezioni di drenaggio

Nei casi in cui gli esiti delle indagini piezometriche ne confermi la necessità, si potranno adottare opportuni sistemi di drenaggio al contorno della galleria (sezioni drenanti).



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-00-E-CV-NT-GN00-00-031-C00 <span style="float: right;">Foglio 18 di 37</span>

### 4.3. Rischi #3 / #4 / #5: Zone fratturate/alterate / Faglie / Anomalie tettoniche

Pur trattandosi di condizioni geologicamente differenti, in considerazione della similarità in termini di possibili conseguenze e in termini di interventi di mitigazione, i tre scenari di “*Avanzamento in Zone fratturate o alterate*”, “*Avanzamento in faglie*” e “*Anomalie Tettoniche*” sono stati qui raggruppati.

Le analisi riportate nella “*Relazione Tecnica, di Calcolo e di Monitoraggio*” per la valutazione degli scenari sopra descritti, non escludono, nelle condizioni più sfavorevoli, elevati carichi attesi sul rivestimento definitivo in conci prefabbricati.

Per tale motivo, è stato previsto l'utilizzo di conci in calcestruzzo con classe di resistenza maggiorata ( $R_{ck}=60$  MPa - carpenteria di tipo “3”), unitamente ad un'armatura di tipo “3”, ovvero costituita da ferri  $14\Phi 20$ .

La contemporanea adozione di fibre in acciaio costituisce un ulteriore elemento di protezione del rivestimento definitivo delle gallerie.

Nell'attraversamento di fasce tettonizzate, con particolare riferimento alle elevate coperture, si prevede il contatto tra ammasso e scudo, il quale, nelle condizioni più sfavorevoli ed in assenza di contromisure idonee, potrebbe comportare un regime di pressioni sullo scudo stesso superiori al limite di progetto (5 bar).

In tali condizioni, si potrà intervenire incrementando la sezione di scavo (“extra-scavo”), tramite modifica del layout degli utensili di scavo ( $D_{testa}=9820$  mm) e/o, per le condizioni più sfavorevoli, mediante l'impiego di un *copy-cutter* ( $D_{testa}=9950$  mm).

In considerazione del relativo grado di incertezza in merito all'effettiva posizione delle zone di faglia, si prevede l'implementazione dell'extra-scavo permanente mediante configurazione della testa con layout maggiorato lungo tutta la tratta in oggetto, limitando l'utilizzo del copy-cutter a situazioni eccezionali in funzione delle condizioni effettivamente riscontrate in corso d'opera.

**RISCHIO #3****ZONE FRATTURATE / ALTERATE****DESCRIZIONE DEL RISCHIO**

Attraversamento di zone con parametri mediamente scadenti, alle massime coperture

**RISCHIO #4****FAGLIE****DESCRIZIONE DEL RISCHIO**

Attraversamento di zone di faglia (gruppo 3A/3B ad elevate coperture).

**RISCHIO #5****ANOMALIE TETTONICHE****DESCRIZIONE DEL RISCHIO**

Attraversamento di zone di faglia (gruppo 3A/3B ad elevate coperture)

**VALUTAZIONE DEL RISCHIO INIZIALE****MEDIO** ●**MEDIO** ●**MEDIO** ●**SCHEMA ILLUSTRATIVO DELLE AZIONI PREVENTIVE****FASE PROGETTUALE / ALLESTIMENTO****Misure di Mitigazione Preventive****1. Conci di elevate caratteristiche meccaniche**

Impiego di conci Rck=60 MPa e armatura specifica per la tratta ed uso di fibre in acciaio.

**2. Extra Scavo**

Implementazione di extra-scavo permanente mediante configurazione della testa con layout maggiorato

**AMBITO OPERATIVO****Mitigazione in fase di avanzamento****1. Ulteriore extra scavo**

Si prevede l'utilizzo di ulteriore extra-scavo (copy-cutter) a situazioni eccezionali, in funzione delle condizioni effettivamente riscontrate in corso d'opera.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-00-E-CV-NT-GN00-00-031-C00 <span style="float: right;">Foglio 20 di 37</span>

#### 4.4. **Rischio #6: Fronte misto / Condizioni di fratturazione medio-alta / Presenza di trovanti**

Le caratteristiche e la disposizione delle formazioni geologiche lungo il tracciato inducono a prevedere la possibilità condizioni di fronte misto, in particolar modo nelle zone di contatto, con possibilità di distacco di blocchi di dimensioni variabili. Un simile scenario nella tratta in oggetto è associabile alle zone di contatto tra le Argille a Palombini e i Metabasalti, che determinano condizioni di fronte misto, particolarmente significative ai fini dello scavo con TBM a causa della repentina variazione al fronte delle caratteristiche di resistenza e abrasività del materiale.

In maniera analoga, possono verificarsi condizioni di non omogeneità del fronte di scavo anche all'interno della stessa formazione, con presenza di zone caratterizzate da maggiore fratturazione e/o trovanti di dimensioni decimetriche/metriche (a cui, per semplicità, ci si riferirà con il termine di *boulders*), in alcuni casi caratterizzati da resistenze anche significative ( $UCS > 100$  MPa).

È evidente come tutte le situazioni sopra descritte possano creare problematiche all'avanzamento della TBM, principalmente in termini di usura dei componenti della macchina e in particolare degli utensili della testa di scavo e della coclea.

Nel caso specifico della presenza di *boulders*, si è riscontrato che la concentrazione della forza di spinta della TBM sui soli cutters che insistono sui "massi" in questione potrebbe generare rotture anomale dei cutters stessi per superamento del loro carico massimo di resistenza.

Nel caso di "*Avanzamento in condizione a Fronte Misto*" potrebbe sussistere un'ulteriore condizione di rischio (seppur abbastanza improbabile) determinata dalla possibilità di asimmetrie di spinta della testa fresante sul fronte e di spinta dei martinetti sui conci in opera.

Sulla base dell'analisi delle evidenze in corso d'opera, nella fase di valutazione, tale rischio è stato classificato come "medio", in quanto le conseguenze si limitano prevalentemente a problematiche di usura delle componenti della TBM.

Le esperienze acquisite in contesti simili hanno permesso di mettere a punto una serie di azioni preventive per la mitigazione del rischio legato a tali scenari.

##### 1. Analisi dei parametri macchina

Le esperienze condotte di recente in contesti geologici con problematiche di fronte misto e di possibile presenza di trovanti ha permesso di mettere a punto una metodica che si è dimostrata particolarmente efficace per diagnosticare prontamente tali problematiche, basata sull'analisi dei valori delle forze applicate sui tre gruppi idraulici di regolazione del *main drive*. In pratica quest'azione è immediata, dal momento che tramite il pannello di controllo della TBM vengono visualizzati istantaneamente i carichi sul *main drive* e l'operatore controlla in continuo tali parametri. Una volta diagnosticata la condizione di rischio, si potrà intervenire con le azioni di cui ai punti seguenti.



Figura 4.4. Particolare del pannello di controllo della TBM con i carichi sul main drive

2. Mantenimento di adeguati livelli prestazionali degli utensili di scavo

Nella tratta in oggetto si prevedono ispezioni sistematiche della testa di scavo per controllare lo stato di usura degli utensili ed effettuare interventi puntuali al fine di mantenere un perfetto stato di efficienza dei componenti. Si rimanda a tal proposito alle azioni preventive riportate nel paragrafo 4.6 (abrasività).

3. Configurazione modificata della testa con utensili a prestazioni maggiorate

Laddove durante gli avanzamenti si riscontrino situazioni di fronte misto, si potrà valutare l'installazione di cutters HD ("Heavy Duty"), caratterizzati da maggiori caratteristiche meccaniche e maggior resistenza all'usura e al danneggiamento rispetto a quelli di tipo "Standard". Per ulteriori dettagli, si rimanda all'allegato 2: "Mitigazione del rischio presenza di trovanti fronte misto e abrasività dei materiali in fase operativa durante lo scavo".

4. Regolazione dei parametri macchina

Laddove si verificano condizioni quali presenza di trovanti, si potrà intervenire riducendo la velocità di rotazione e, se necessario, anche la spinta, in modo da ridurre possibili danneggiamenti agli utensili e alle componenti della testa fresante.

5. Adeguate condizionamento del materiale in camera di scavo

L'adozione di un adeguato condizionamento del materiale scavato permette di ridurre l'usura delle componenti meccaniche della TBM, in special modo utensili e coclea.

## 6. Introduzione di fibre in acciaio nei conci

Per prevenire fenomeni locali di fessurazione legati a condizioni anomale di spinta in condizioni di fronte misto è stato anche previsto l'utilizzo di fibre in acciaio nei conci prefabbricati (dosaggio 15 kg/m<sup>3</sup>).

### RISCHIO #6 – FRONTE MISTO / CONDIZIONI DI FRATTURAZIONE MEDIO-ALTA / PRESENZA DI BOULDERS

#### DESCRIZIONE DEL RISCHIO

- Presenza di fronti misti nelle tratte di passaggio tra Basalti e Argille a Palombini.
- Condizioni di fratturazione medio/alta con distacco di blocchi
- Presenza di trovanti (boulders)

VALUTAZIONE DEL RISCHIO INIZIALE **MEDIO** ●

#### SCHEMA ILLUSTRATIVO DELLE AZIONI PREVENTIVE

##### Misure di Mitigazione Preventive

#### 1. Introduzione di fibre in acciaio nei conci

Per prevenire fenomeni locali di fessurazione legate a condizioni anomale di spinta in condizioni di fronte misto è stato previsto l'utilizzo di fibre in acciaio nei conci prefabbricati (dosaggio 15 kg/m<sup>3</sup>).

##### Mitigazione in fase di avanzamento

#### 1. Mantenimento di adeguati livelli prestazionali degli utensili di scavo:

Si prevedono ispezioni sistematiche della testa di scavo, per controllare lo stato di usura degli utensili ed effettuare interventi puntuali al fine di mantenere un perfetto stato di efficienza dei componenti della TBM.

#### 2. Configurazione modificata della testa con utensili a prestazioni maggiorate:

Laddove si riscontrino durante gli avanzamenti situazioni a fronte misto, si potrà valutare l'installazione di cutters HD caratterizzati da maggiori caratteristiche meccaniche e maggior resistenza all'usura.

#### 3. Regolazione dei Parametri Macchina:

In presenza di trovanti, si potrà intervenire riducendo la velocità di rotazione e, se necessario anche la spinta, in modo da ridurre possibili danneggiamenti agli utensili e ai componenti della testa fresante.

#### 4. Adeguato condizionamento del materiale in camera di scavo:

Un adeguato condizionamento del materiale scavato permette di ridurre l'usura delle componenti meccaniche della TBM, in special modo utensili, scudo e coclea.

FASE PROGETTUALE / ALLESTIMENTO

AMBITO OPERATIVO

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-00-E-CV-NT-GN00-00-031-C00 <span style="float: right;">Foglio 23 di 37</span>

#### 4.5. Rischio #7: Difficoltà di penetrazione (Problemi di fresabilità)

Al punto 6.3 della “*Relazione Tecnica, di Calcolo e di Monitoraggio*” vengono presentati i risultati delle prove di fresabilità condotte su campioni lapidei riconducibili alle formazioni geologiche attraversate all’interno del tratto analizzato.

Nonostante le evidenze di tale studio restituiscano indici corrispondenti ad una fresabilità “elevata” all’interno dei Metabasalti, all’interno delle porzioni meno fratturate degli stessi non è da escludere la presenza di materiali ad elevata resistenza che potrebbero determinare significative riduzioni della fresabilità del materiale.



**Figura 4.5. Fronti di scavo costituiti da Metabasalti competenti**

Inoltre, si è rilevato come le evidenze in corso d’opera nelle tratte scavate in tradizionale (cfr. par. 6.3.3 della stessa relazione) abbiano rilevato la possibile presenza di inclusioni/trovanti, di dimensioni anche decametriche con elevate caratteristiche di resistenza ( $UCS > 100$  MPa).

Le possibili conseguenze legate all’avanzamento in tali condizioni sono legate principalmente ai tassi di avanzamento, e di conseguenza alle produzioni. Un’ulteriore conseguenza è data da una maggiore usura degli utensili della testa di scavo, e in particolare dei cutters.

Nella fase di valutazione di rischi, l’impatto legato a tale rischio è stato classificato come “medio”, in quanto le conseguenze si limitano prevalentemente a problematiche di usura delle componenti della TBM.

Le azioni preventive per la mitigazione di tale tipologia di rischio sono le seguenti.

1. Regolazione dei parametri macchina

In tali contesti, il livello operativo della TBM dovrà essere opportunamente adattato. In particolare, la regolazione della spinta consentirà la massimizzazione dell’efficienza di taglio nell’azione degli utensili di scavo; l’aumento della velocità di rotazione consentirà di limitare eventuali riduzioni dei tassi di avanzamento. A tal proposito, sono in fase di studio con il

produttore della TBM alcune modifiche al main drive che potrebbero permettere, in ultima analisi, di aumentare il limite massimo della velocità di rotazione della testa.

## 2. Mantenimento di adeguati livelli prestazionali degli utensili di scavo

Considerando il contesto geologico che si andrà ad attraversare e sulla base dell'esperienza pregressa delle tratte già scavate, saranno necessarie ispezioni sistematiche della testa di scavo per controllare lo stato di usura degli utensili ed effettuare interventi puntuali di manutenzione per garantire un adeguato stato di efficienza delle componenti. Si rimanda a tal proposito alle azioni preventive riportate nel paragrafo successivo (abrasività).

## 3. Configurazione modificata della testa con utensili a prestazioni maggiorate

In caso di problematiche di usura relative a tali contesti, si potrà intervenire attraverso l'installazione di cutters HD ("Heavy Duty") o, in casi particolari, di cutters con inserti in "widia" (si tratta di rulli tronco-conici su cui sono saldati inserti in widia detti "bottoni" che, agendo sulla roccia, ne agevolano il distacco). Per ulteriori dettagli, si rimanda all'allegato 2: "*Mitigazione del rischio presenza di trovanti fronte misto e abrasività dei materiali in fase operativa durante lo scavo*".

### RISCHIO #7 – PROBLEMI DI FRESABILITÀ

#### DESCRIZIONE DEL RISCHIO

- Probabile presenza di materiali ad elevata resistenza all'interno delle porzioni meno fratturate dei Metabasalti.
- Presenza di inclusioni o trovanti di dimensioni significative, con resistenze a compressione superiori a 100-150 MPa.

VALUTAZIONE DEL RISCHIO INIZIALE **ALTO** ●

#### SCHEMA ILLUSTRATIVO DELLE AZIONI PREVENTIVE

##### Misure di Mitigazione Preventive

##### 1. Possibili Modifiche al Main Drive

Sono in fase di studio alcune modifiche al *main drive* che potrebbero permettere, in ultima analisi, di aumentare il limite massimo della velocità di rotazione della testa.

##### Mitigazione in fase di avanzamento

##### 1. Mantenimento di adeguati livelli prestazionali degli utensili di scavo:

Si prevedono ispezioni sistematiche della testa di scavo, per controllare lo stato di usura degli utensili ed effettuare interventi puntuali al fine di mantenere un perfetto stato di efficienza dei componenti della TBM.

##### 2. Configurazione modificata della testa con utensili a prestazioni maggiorate:

In caso di problematiche di usura relative a tali contesti, si potrà intervenire attraverso l'installazione di cutters HD ("Heavy Duty"), o, in casi particolari, di cutters con inserti "widia".

##### 3. Regolazione dei Parametri Macchina:

In tali contesti, il livello operativo della TBM dovrà essere opportunamente adattato. In particolare, la regolazione della spinta consentirà la massimizzazione dell'efficienza di taglio nell'azione degli utensili di scavo.

FASE PROGETTUALE / ALLESTIMENTO

AMBITO OPERATIVO

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG51-00-E-CV-NT-GN00-00-031-C00	Foglio 25 di 37

#### 4.6. Rischio #8: Problemi di abrasività

Nella tratta in oggetto si rileva un elevato rischio di usura sui componenti della TBM, con particolare riferimento a utensili e coclea, in considerazione dell'abrasività delle formazioni attraversate.

Tale rischio risulta marcato soprattutto nella formazione delle Argille a Palombini, caratterizzate dalla possibile presenza al fronte di una componente calcitico/quarzitica (v. fig. 4.6). Tale condizione, oltre a determinare un aumento delle caratteristiche di resistenza alla scala locale con conseguente puntuale riduzione della fresabilità, comporta il significativo incremento delle caratteristiche di abrasività.



**Figura 4.6. Fronti di scavo costituiti da Argille a Palombini con venature calcitico/quarzitiche**

Se non adeguatamente fronteggiata, tale condizione può comportare notevoli ripercussioni sui tassi di avanzamento, principalmente a causa dell'usura delle componenti della TBM (utensili della testa e coclea).

Particolare attenzione dovrà dunque essere posta alle seguenti misure di mitigazione.

1. Adeguato condizionamento del materiale in camera di scavo

L'adozione di un adeguato condizionamento del materiale scavato permette di ridurre gli attriti, ed in ultima analisi, l'usura delle componenti meccaniche della TBM, in special modo utensili e coclea.

2. Mantenimento di adeguati livelli prestazionali degli utensili di scavo

Considerando il contesto geologico che si andrà ad attraversare e sulla base dell'esperienza pregressa delle tratte già scavate, saranno necessarie ispezioni sistematiche della testa di scavo per controllare lo stato di usura degli utensili ed effettuare interventi puntuali di manutenzione per garantire un adeguato stato di efficienza delle componenti.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-00-E-CV-NT-GN00-00-031-C00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 26 di 37</p>

Ci saranno inoltre degli interventi di ispezione programmati, con cadenza settimanale, che saranno finalizzati agli interventi più significativi, quali ad esempio sostituzione degli utensili danneggiati, usurati e/o bloccati, eventuali riconfigurazioni della testa e lavorazioni su parti non sostituibili. Tali operazioni richiederanno tipicamente una o due giornate di lavoro e verranno effettuate nelle zone caratterizzate da minor rischio idrogeologico, ovvero fuori dalle zone di faglia. Ad ogni modo, a causa delle incertezze legate alle condizioni locali dell'ammasso, la suddetta previsione potrà essere rivista in fase di avanzamento sulla base delle necessità operative.

In linea di massima, sono state previste nella programmazione anche tre fermi macchina straordinari, della durata di una settimana circa.

### 3. Configurazione modificata della testa con utensili a prestazioni maggiorate

Laddove si riscontrino condizioni di elevata abrasività, si potrà valutare l'installazione di cutters HD ("Heavy Duty"), caratterizzati da maggiori caratteristiche meccaniche e maggior resistenza all'usura e al danneggiamento rispetto a quelli di tipo "Standard". Per ulteriori dettagli, si rimanda all'allegato 2: "*Mitigazione del rischio presenza di trovanti fronte misto e abrasività dei materiali in fase operativa durante lo scavo*". L'utilizzo di parti meccaniche ad alta resistenza all'abrasione potrà essere esteso ad altre componentistiche della macchina.

## RISCHIO #8 – PROBLEMI DI ABRASIVITÀ

### DESCRIZIONE DEL RISCHIO

- Attraversamento della formazione delle Argille a Palombini con presenza elevata della componente calcitico/quarzitica.
- Problemi di usura degli utensili e dei diversi componenti della testa di scavo e della coclea.

VALUTAZIONE DEL RISCHIO INIZIALE **ALTO** ●

### SCHEMA ILLUSTRATIVO DELLE AZIONI PREVENTIVE

#### Misure di Mitigazione Preventive

##### 1. Possibili Modifiche al Main Drive

Sono in fase di studio alcune modifiche al *main drive* che potrebbero permettere, in ultima analisi, di aumentare il limite massimo della velocità di rotazione della testa.

#### Mitigazione in fase di avanzamento

##### 1. Mantenimento di adeguati livelli prestazionali degli utensili di scavo:

Si prevedono ispezioni sistematiche della testa di scavo, per controllare lo stato di usura degli utensili ed effettuare interventi puntuali al fine di mantenere un perfetto stato di efficienza dei componenti della TBM.

##### 2. Configurazione modificata della testa con utensili a prestazioni maggiorate:

Laddove si riscontrino condizioni di elevata abrasività, si potrà valutare l'installazione di cutters HD ("Heavy Duty"), caratterizzati da maggiori caratteristiche meccaniche e maggior resistenza all'usura.

##### 3. Adeguato condizionamento del materiale in camera di scavo:

Un adeguato condizionamento del materiale scavato permette di ridurre l'usura delle componenti meccaniche della TBM, in special modo utensili, scudo e coclea.

FASE PROGETTUALE / ALLESTIMENTO

AMBITO OPERATIVO

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-00-E-CV-NT-GN00-00-031-C00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 28 di 37</p>

#### 4.7. Rischio #8: Presenza di gas

La valutazione dei pericoli associati alla presenza di metano all'interno delle formazioni geologiche che caratterizzano la tratta in oggetto è stata effettuata all'interno di documenti specifici, al quale si rimanda:

[Rif. 9] *Relazione geologica di approfondimento criticità: amianto nelle "pietre verdi" e gas metano – Galleria di Valico (IG51-00-E-CV-RO-GE00-00-001) – Valida per la tratta di Galleria di Valico tra le PK 19+700 fino all'imbocco nord, PK 28+210.*

[Rif. 10] *Profili geologici con indicazione Probabilità Presenza Amianto e Rischio Gas tra le pk 17+780.00 a PK 19+700.00 per il Binario Pari (IG51-03-E-CV-F6-GN14-10-005) e per il Binario Dispari (IG51-03-E-CV-F6-GN15-10-005).*

Le valutazioni condotte, basate sull'esito di una specifica campagna di sondaggi (L2S5, L2S6, L2AS3, L2S30, L2AS4, L2AS4bis e L3S18) e sulle evidenze emerse durante lo scavo della Finestra Vallemme (successivamente confermate durante lo scavo dei cameroni GN14P e GN15Q), hanno portato alla definizione di uno scenario di "presenza di gas" lungo tutto la tratta di oggetto, principalmente (ma non solo) correlate all'intercettazione di zone del massiccio con caratteristiche meccaniche scadenti e permeabilità più elevata, che comprendono le faglie ed il loro fascio di interferenza.

La prosecuzione dello scavo meccanizzato all'interno di in una formazione grisutosa ha reso quindi indispensabile effettuare degli approfondimenti specifici, svolti da aziende specializzate insieme al produttore della TBM ed all'Impresa Affidataria, volti alla verifica della possibilità di intervenire con adeguate misure per mitigare i rischi legati alla sicurezza (rappresentati all'interno di documenti specifici, non allegati alla presente documentazione progettuale).

Le analisi effettuate hanno permesso di definire un sistema di sicurezza "multi-barriera" per la mitigazione del rischio gas. Tale sistema, basato sugli approcci delle NIR258 e NIR44, comprende interventi, modifiche "dedicate" e trasformazioni antideflagranti alle macchine, alle attrezzature e agli impianti presenti nello scudo, nel back-up e in galleria, oltre che modifiche nell'organizzazione del lavoro.

Una descrizione dettagliata del sistema di sicurezza sviluppato esula dagli scopi della presente relazione; tuttavia, nel seguito, vengono riportati sinteticamente gli aspetti maggiormente significativi del sistema proposto.

##### 1. Adeguamento della TBM

Sono state studiate delle modifiche alla TBM introducendo soluzioni tecniche che permettono di mantenere adeguati livelli di sicurezza, secondo la logica di compartimentazione definita dalla NIR44. Tali modifiche riguardano principalmente l'introduzione di un impianto di ventilazione in aspirazione ATEX, funzionale alla captazione dell'atmosfera da uno o più punti nell'immediato intorno allo scarico della coclea. Si prevedono adeguamenti anche al sistema di ventilazione premente, modifiche al sistema nastro TBM (attraverso un'apposita cofanatura), oltre che a diverse componenti della

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG51-00-E-CV-NT-GN00-00-031-C00	Foglio 29 di 37

macchina (sistemi di drenaggio, unità per le perforazioni in avanzamento, spazzole e pompe grasse, sistemi di alimentazione, sistemi per il controllo della ventilazione, ecc.), che permetteranno, in ultima analisi, di realizzare una zona ATEX che si estenderà per una lunghezza opportuna.

## 2. Inibizione delle sorgenti di innesco

L'inibizione delle sorgenti di innesco prevedrà, oltre all'utilizzo di attrezzature e mezzi certificati ATEX, anche possibilità di sistemi di sezionamento automatico asserviti a sistemi di monitoraggio ad alta affidabilità.

## 3. Adozione di procedure specifiche

In maniera analoga a quanto già attuato per l'attuale avanzamento della TBM, verranno adottate procedure specifiche da attuarsi durante le varie fasi lavorative, che comprenderanno sia le attività di monitoraggio e i controlli specifici, sia le azioni da adottarsi in caso di presenza di gas metano.

### **RISCHIO #9 – PRESENZA DI GAS**

#### **DESCRIZIONE DEL RISCHIO**

- Presenza di gas lungo tutta la tratta in oggetto, principalmente – ma non solo - nelle zone caratterizzate da una permeabilità più elevata.

**VALUTAZIONE DEL RISCHIO INIZIALE** **ALTO** ●

#### **SCHEMA ILLUSTRATIVO DELLE AZIONI PREVENTIVE**

##### Misure di Mitigazione Preventive

##### **1. Adeguamento della TBM**

Introduzione di soluzioni tecniche che permettono di mantenere adeguati livelli di sicurezza:

- Introduzione di un impianto di ventilazione in aspirazione ATEX che aspiri l'aria in corrispondenza dei punti singolari di potenziale presenza di gas.
- Adeguamento dell'attuale sistema di ventilazione premente.
- Installazione di una cofanatura attorno allo scarico della codea e lungo il nastro TBM mantenuto costantemente in depressione dal sistema di aspirazione.
- Realizzazione di una zona ATEX in TBM per una lunghezza determinata oltre la sezione terminale del tunnel nastro.

**FASE PROGETTUALE / ALLESTIMENTO**

##### Mitigazione in fase di avanzamento

##### **1. Adozione di Procedure**

**Specifiche:** riferite alle varie fasi lavorative del ciclo di avanzamento, comprendenti anche tutte le attività di monitoraggio e di controllo delle possibili emissioni di gas.

**2. Utilizzo di mezzi e attrezzature ATEX** all'interno della zona ATEX

**AMBITO OPERATIVO**

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-00-E-CV-NT-GN00-00-031-C00 <span style="float: right;">Foglio 30 di 37</span>

#### 4.8. Monitoraggio dei rischi

I sistemi per la Gestione del Rischio attribuiscono notevole importanza alla fase di Monitoraggio del Rischio, da attuarsi nella fase successiva all'implementazione delle Misure di Mitigazione (v. fig. 1.1 con la rappresentazione del processo di Gestione del Rischio). Le Azioni Preventive descritte nei punti precedenti contengono quindi diversi elementi riferibili alla fase di Monitoraggio del Rischio, che possono essere ricercati sia sotto forma di indagini integrative (ad esempio, le indagini idrauliche in avanzamento), sia sotto forma di azioni ispettive e di controllo (è il caso delle ispezioni sulle componenti della TBM), sia sotto forma di monitoraggio strutturale (sui conci della galleria).

Nonostante tali aspetti siano stati riportati nei punti specifici delle Azioni Preventive, si ritiene utile, in questo paragrafo, riportare una tabella riepilogativa delle azioni previste per il Monitoraggio dei Rischi in corso d'opera.

ID	SORGENTE DI RISCHIO	DESCRIZIONE DEL CONTESTO	POTENZIALI CONSEGUENZE	MISURE PER IL MONITORAGGIO DEL RISCHIO
1	<b>Venute d'acqua concentrate</b>	Attraversamento di zone ad alta permeabilità con battente elevato (condizione associabile alle zone di Basalti fratturate).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incremento delle pressioni in camera di scavo.</li> <li>• Condizioni di instabilità locale del fronte di scavo.</li> <li>• Possibili flussi d'acqua dalle spazzole di coda e al fronte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analisi dei parametri macchina.</li> <li>• Indagini in avanzamento sistematiche (sistema BEAM) e occasionali (sondaggi con la misurazione delle pressioni).</li> </ul>
2	<b>Carico idraulico in regime stabilizzato</b>	Elevata pressione dell'acqua agente a lungo termine sul rivestimento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento della pressione radiale sul rivestimento.</li> <li>• Possibile rottura delle guarnizioni tra gli anelli.</li> <li>• Possibili venute d'acqua in galleria.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Installazione di piezometri spia al contorno della galleria</li> </ul>
3	<b>Zone fratturate / alterate</b>	Attraversamento di zone con parametri mediamente scadenti (gruppo 2) alle massime coperture.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elevati carichi sul rivestimento.</li> <li>• Carichi radiali sullo scudo della TBM.</li> <li>• Possibili rallentamenti negli avanzamenti.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monitoraggio strutturale dei conci.</li> <li>• Analisi dei parametri macchina.</li> </ul>
4	<b>Faglie</b>	Attraversamento di zone di faglia (gruppo 3A/3B ad elevate coperture).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elevati carichi sul rivestimento.</li> <li>• Presenza di fronti instabili.</li> <li>• Elevati carichi sullo scudo con rischio bloccaggio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monitoraggio strutturale dei conci.</li> <li>• Analisi dei parametri macchina.</li> </ul>
5	<b>Anomalie tettoniche</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Condizioni di spinte anomale (di natura tettonica)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elevati carichi sul rivestimento.</li> <li>• Carichi non isotropi e</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monitoraggio strutturale dei conci.</li> <li>• Analisi dei parametri</li> </ul>

ID	SORGENTE DI RISCHIO	DESCRIZIONE DEL CONTESTO	POTENZIALI CONSEGUENZE	MISURE PER IL MONITORAGGIO DEL RISCHIO
			simmetrici sulle strutture. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Carichi differiti nel tempo anche a distanza dal fronte di scavo.</li> <li>• Elevati carichi sullo scudo di coda con rischio bloccaggio.</li> </ul>	macchina.
6	<b>Fronte Misto / Condizioni di fratturazione medio-alta / Presenza di boulders</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presenza di fronti misti nelle tratte di passaggio tra Basalti e Argille a Palombini.</li> <li>• Condizioni di fratturazione medio/alta con distacco di blocchi</li> <li>• Presenza di trovanti (<i>boulders</i>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Problemi di usura e/o danneggiamento degli utensili e dei diversi componenti della testa di scavo.</li> <li>• Usura della coclea di estrazione e difficoltà di estrazione materiale.</li> <li>• Possibilità di sovrascavi locali sui paramenti o in calotta.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Regolari ispezioni della testa di scavo e delle altre componenti a rischio usura.</li> <li>• Analisi dei parametri macchina.</li> </ul>
7	Difficoltà di penetrazione ( <b>Problemi di Fresabilità</b> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Probabile presenza di materiali ad elevata resistenza all'interno delle porzioni meno fratturate dei Metabasalti.</li> <li>• Presenza di inclusioni o trovanti di dimensioni significative, con resistenze a compressione superiori a 100-150 MPa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Riduzione del tasso di avanzamento.</li> <li>• Incremento dell'usura degli utensili della testa di scavo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Regolari ispezioni della testa di scavo e delle altre componenti a rischio usura.</li> <li>• Analisi dei parametri macchina.</li> </ul>
8	Usura dei componenti della testa fresante ( <b>Problemi di Abrasività</b> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Attraversamento della formazione delle Argille a Palombini con presenza elevata della componente calcitico/quarzitica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Problemi di usura degli utensili e dei diversi componenti della testa di scavo.</li> <li>• Usura della coclea.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Regolari ispezioni della testa di scavo e delle altre componenti a rischio usura.</li> <li>• Analisi dei parametri macchina.</li> </ul>
9	<b>Presenza di Gas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presenza di gas lungo tutta la tratta in oggetto, principalmente – ma non solo - nelle zone caratterizzate da una permeabilità più elevata e caratteristiche più scadenti, quali le faglie e le zone di alterazione.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rischi legati alla sicurezza degli operatori.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistemi di monitoraggio gas specifici, sviluppati nell'ambito della documentazione di sicurezza.</li> </ul>

**Tabella 4-1 – Estensione tratta in meccanizzato - Individuazione dei fattori di rischio**

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-00-E-CV-NT-GN00-00-031-C00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 32 di 37</p>

## 5. ANALISI DEL RISCHIO - STEP 3: CONTROMISURE PER LA GESTIONE DEL RISCHIO RESIDUO

Nei paragrafi precedenti sono stati effettuati gli step inerenti all'analisi dei rischi connessi all'estensione della tratta in meccanizzato, attraverso un processo che ha permesso di identificare i rischi, e di valutarli in termini di probabilità di accadimento e di possibile impatto.

Una volta quantificati i rischi sono state definite le Misure di per la Mitigazione degli stessi, da adottarsi in fase progettuale (ad esempio, criteri di dimensionamento dei conci), in una fase preliminare allo scavo nella zona interessata da tali scenari di rischio (ad esempio, modifiche alla TBM), o in fase di scavo (in particolar modo per quanto riguarda le modalità di gestione della TBM e le specifiche procedure da adottarsi in relazione ai vari rischi).

Sono state altresì definite le misure proposte per il Monitoraggio dei Rischi che consentiranno di verificare le ipotesi di progetto, di intervenire con le tipologie di trattamento definite nella fase progettuale ed eventualmente di riesaminare gli scenari di rischio.

Tutte le azioni sopra descritte non possono escludere una probabilità di accadimento di eventi ai quali si associano i "Rischi Residui", definiti nelle metodologie di Gestione del Rischio come *"quei rischi che non è possibile escludere anche dopo che è stata adottata la risposta al rischio pianificata, così come quelli che sono stati deliberatamente accettati"*.

Nel contesto legato all'estensione dello scavo meccanizzato verso Vallemme, possono essere definite due principali tipologie di rischio residuo:

1. Un rischio legato all'inefficacia di una Azione Preventiva, perché non adottata tempestivamente, correttamente e/o in qualche maniera inattuabile.
2. Un rischio che, per probabilità o dimensione, risulti maggiore rispetto a quanto ipotizzato, rendendo inefficaci le azioni proposte.

A seguito di una specifica richiesta, vengono ipotizzate, già in questa fase progettuale, alcune misure da attuarsi per la Gestione del Rischio Residuo, alle quali ci si riferirà come "Contromisure", e che verranno di seguito descritte.

## 5.1. Rischio #1: Venute d'acqua concentrate - Gestione del Rischio Residuo

Come descritto in precedenza, l'occorrenza di venute d'acqua concentrate in avanzamento presenta problemi principalmente di tipo operativo, con possibile incremento delle pressioni in camera di scavo, occorrenza di flussi d'acqua al fronte e fuoriuscite d'acqua dalle spazzole di coda.

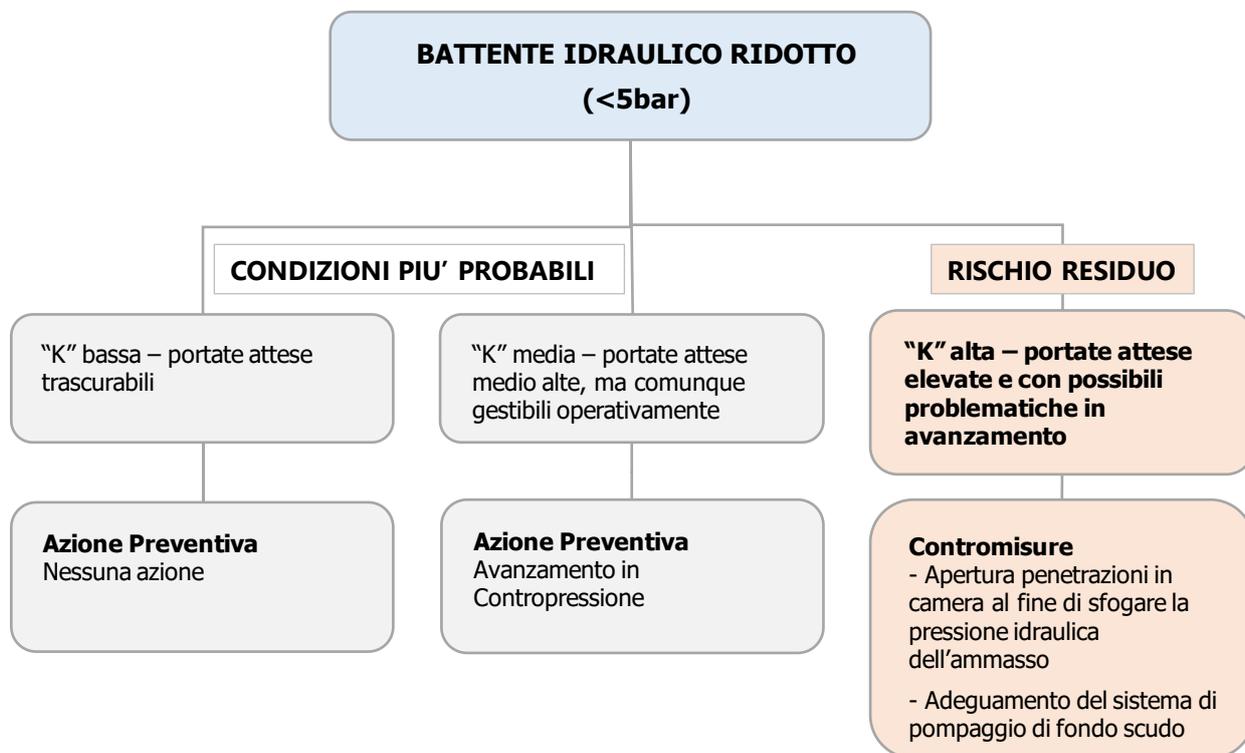
La gestione delle venute d'acqua *non ordinarie*, ovvero quelle poco gestibili operativamente con le modalità di avanzamento in contropressione, risulta fortemente influenzata dai valori di pressione idraulica effettivamente rilevati al fronte e nel corso delle indagini in avanzamento e viene rappresentata sinteticamente nel diagramma di flusso sottostante.

Nel caso di venute d'acqua corrispondenti a battenti idraulici ridotti (<5 bar), le condizioni attese durante l'avanzamento prevedono valori di permeabilità medi (rappresentati nei profili con le classi 4 e 5 (ovvero corrispondenti a valori di permeabilità compresi tra  $10^{-6}$  e  $10^{-8}$  m/s). In tali condizioni, si prevedono portate da trascurabili a medio alte (in particolar modo in corrispondenza di alcune faglie).

### RISCHIO #1 –VENUTE D'ACQUA

#### DESCRIZIONE DEL RISCHIO RESIDUO

- Possibile incremento delle pressioni in camera di scavo
- Possibile occorrenza di flussi d'acqua al fronte e fuoriuscita dalle spazzole di coda.

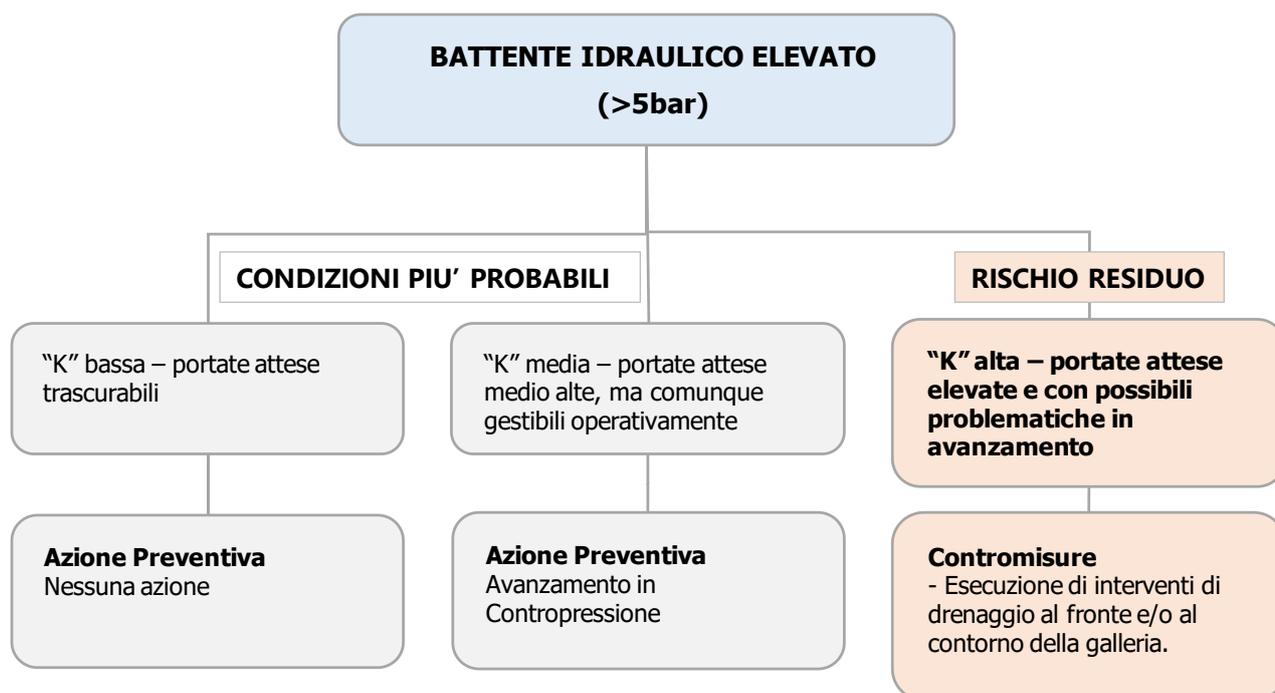


Le Azioni Preventive definite nel par. 4.1 prevedono, in tali condizioni, l'avanzamento in modalità chiusa (con contropressione) come misura efficace per gestire le possibili venute d'acqua concentrate. Non è da escludersi, tuttavia, in contesti particolari, che portate particolarmente alte possano creare problemi durante l'avanzamento, come quelli sopra descritti.

In tali condizioni particolari, le Contromisure pianificate prevedono l'apertura delle penetrazioni in camera di scavo che consentiranno di sfogare le pressioni idrauliche dell'ammasso, con messa in opera sistemi provvisori per l'aggottamento controllato delle acque da fondo scudo.

Nei casi in cui il grado di connettività idraulica dell'ammasso produca valori di battente idraulico maggiori di 5 bar, rimane un rischio residuo legato all'occorrenza contemporanea di alti valori di portata e di pressione.

Il sistema di monitoraggio descritto tra le azioni preventive al par.4.1, ed in particolare l'esecuzione di perforazioni in avanzamento, non solo consentirà di identificare prontamente tale situazione di potenziale rischio per le componenti meccaniche della TBM, ma risulterebbe efficace anche allo scopo di intervenire in tale caso, seppur molto remoto. Le stesse perforazioni infatti possono essere attrezzate come drenaggi in avanzamento, nei limiti della geometria della perforatrice, con le modalità indicate anche in allegato 1 (messa in opera di una tubazione dedicata afferente alla vasca del sistema di dewatering). Tale sistema, adottabile a favore di sicurezza anche nel caso di alti valori di portata con pressioni comprese tra 3 e 5 bar, dovrà essere attivato fino all'abbassamento delle pressioni a regimi gestibili dallo scavo con la TBM.



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG51-00-E-CV-NT-GN00-00-031-C00	Foglio 35 di 37

## 5.2. Rischio #2: Carico idraulico in regime stabilizzato - Gestione del Rischio Residuo

Come discusso in precedenza, la presenza di elevate pressioni idrauliche a tergo del rivestimento in conci della galleria è un fattore di rischio, sia per un aumento della pressione radiale (e di conseguenza dello stato di sollecitazione dei conci prefabbricati), sia per la possibilità di rotture locali delle guarnizioni tra gli anelli (soprattutto in caso di danneggiamenti, seppur lievi, in fase di movimentazione e posa in opera dei conci).

Per tale motivo, qualora gli esiti delle indagini integrative evidenzino la presenza di zone soggette ad elevati carichi idraulici al contorno della galleria, il progetto prevede l'esecuzione di opportuni sistemi di drenaggio (sezioni drenanti) che permetteranno di abbattere tali valori.

## 5.3. Rischi #3 / #4: Zone fratturate/alterate / Faglie - Gestione del Rischio Residuo

Durante l'attraversamento di fasce tettonizzate, con particolare riferimento alle elevate coperture, si prevede il contatto tra ammasso e scudo, che nelle condizioni più sfavorevoli ed in assenza di contromisure idonee potrebbe comportare un regime di pressioni sullo scudo superiori al limite progettuale per esso considerato (5 bar).

Per tali condizioni si sono già definite delle Azioni Preventive, consistenti nell'incremento della sezione di scavo.

L'eventualità di bloccaggio della TBM è il principale Rischio Residuo che può verificarsi, in tali contesti, in assenza di efficacia degli interventi sopra descritti.

Al progressivo aumento della spinta radiale sulla macchina si verifica un aumento dell'attrito tra la TBM e l'ammasso roccioso circostante, con una progressiva diminuzione della velocità di avanzamento, fino al bloccaggio della macchina.

Il documento all'allegato 3 "*Sblocco TBM tipo EPB in presenza di roccia premente*" definisce le possibili azioni (contromisure) legate a tale rischio residuo, maturate dall'Impresa Affidataria nell'esperienza in situazioni analoghe e che possono essere riassunte come segue:

1. Aumento della capacità di spinta della TBM attraverso una centralina ausiliaria. Bisogna precisare, a tal proposito, che la macchina prevede già la possibilità di operare con una forza nominale di avanzamento massima pari a 120000 KN, anche allo scopo di evitare situazioni di tal tipo (si tratta, a tutti gli effetti, di una ulteriore azione preventiva implementata per far fronte ad un rischio residuo).
2. Iniezione di lubrificanti a tergo dello scudo, attraverso opportune valvole posizionabili nello scudo di coda.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-00-E-CV-NT-GN00-00-031-C00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 36 di 37</p>

3. Idrodemolizione della parte dell'ammasso roccioso a contatto con lo scudo, attraverso l'apertura di apposite "finestre" nello scudo di coda.

#### **5.4. Rischi #6 / #7 / #8: Condizioni di particolare usura dei componenti della testa fresante e della coclea - Gestione del Rischio Residuo**

La gestione del rischio residuo in tali contesti prevede l'esecuzione di interventi di manutenzione straordinaria, da attuarsi in condizioni di eccezionale usura delle componenti (usura "secondaria", che si estende nelle zone della testa fresante dove non è previsto il contatto diretto con il fronte di scavo, cioè sulla carpenteria della testa fresante e sui supporti degli utensili).

Tali interventi straordinari, sinteticamente descritti in allegato 2, potrebbero richiedere un fermo prolungato per la necessità di accesso diretto al fronte di scavo, che normalmente viene eseguito attraverso procedure specifiche adattate al particolare contesto geomeccanico ed idraulico.

#### **5.5. Rischio #9: Presenza di gas - Gestione del Rischio Residuo**

Le procedure per la Gestione del Rischio Residuo collegato alla presenza di gas vengono riportate in apposite Procedure Operative che ricadono nella documentazione di Sicurezza e prevedono misure destinate alla salvaguardia dei lavoratori. Al raggiungimento della soglia di allarme, in estrema sintesi, tali misure prevedono:

1. L'attivazione automatica di segnalazioni acustiche ed ottiche di colore rosso (stato di allarme).
2. L'evacuazione della galleria da parte del personale attraverso mezzi dedicati.
3. La continuità dei sistemi di ventilazione ATEX ed il monitoraggio continuo delle concentrazioni di gas con sistemi ATEX, fino al rientro dalla soglia di pre-allarme.

Il rientro in galleria da parte del personale segue comunque procedure specifiche attuate da personale specializzato (Responsabili di Monitoraggio / Preposti).

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-00-E-CV-NT-GN00-00-031-C00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 37 di 37</p>

## 6. CONCLUSIONI

La presente relazione costituisce parte integrante della documentazione relativa alle Modifiche Tecniche pe l'estensione dello scavo meccanizzato fino alla finestra Vallemme, con particolare riferimento all'Analisi dei Rischi connessi a tale soluzione progettuale.

L'approccio utilizzato per tali valutazioni segue i principi consolidati dei processi di gestione del rischio (*Risk Management*), applicati allo specifico contesto geologico, geomeccanico e ambientale.

Attraverso il processo di Analisi del Rischio, sono state sviluppate specifiche Azioni Preventive già nell'attuale fase progettuale, volte a mitigare i rischi iniziali e comprendenti anche i sistemi che si prevede di utilizzare per il Monitoraggio dei Rischi.

Sono stati inoltre individuati i possibili scenari legati all'occorrenza di un Rischio Residuo, definendo, già in questa fase, possibili Contromisure da adottarsi in situazioni di tal tipo.

L'insieme delle valutazioni sopra descritte conferma la fattibilità tecnico-operativa dell'avanzamento in meccanizzato ed è stato preso a riferimento per le valutazioni di tipo programmatico e tempistico relative a tale soluzione.



---

## **Perforazione in avanzamento**

*Mitigazione del rischio venute d'acqua concentrate  
in fase operativa prima dello scavo*

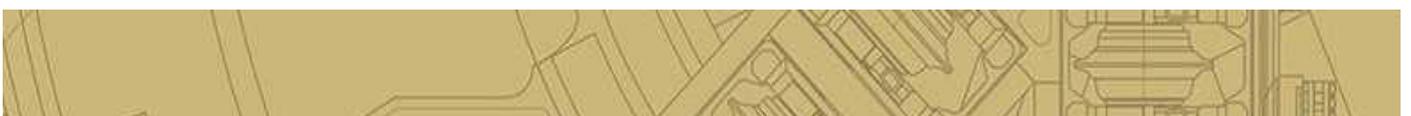
---

### **Cantiere**

“Scavo meccanizzato gallerie tratto aggiuntivo Lotto Val  
Lemme da progressiva 19+700 a progressiva 17+800”

*Infrastrutture Ferroviarie Strategiche definite dalla Legge Obiettivo*

*N.443/01*



## SOMMARIO

1. Premessa .....	3
2. Profilo geologico e previsioni attese .....	3
3. Perforazione a distruzione .....	3
3.1 Attrezzature di perforazione .....	3
3.2 Modalità esecutiva .....	4
3.3 Accorgimenti in caso di venute d'acqua .....	6
3.4 Risultati dell'indagine .....	8

### 1. PREMESSA

Oggetto di tale relazione è il *sondaggio* mediante *perforazione a distruzione* in avanzamento rispetto al fronte di scavo della **TBM**.

### 2. PROFILO GEOLOGICO E PREVISIONI ATTESE

*Caratteristiche principali:* attraversamento di zone ad alta permeabilità con battente elevato. Condizione associabile alle zone di basalti fratturate.

*Conseguenze di carattere progettuale:* aumento locale della pressione al fronte scavo; instabilità del fronte locale per pressofiltrazione

### 3. PERFORAZIONE A DISTRUZIONE

#### 3.1 Attrezzatura di perforazione

Per il sondaggio in esame viene utilizzata una perforatrice idraulica, idonea a funzionare in atmosfera potenzialmente esplosiva (apparecchi del gruppo I, categoria M2) ed in grado di impedire durante la perforazione l'immissione di gas nell'ambiente mediante soluzioni quali, ad esempio, il preventer radiale.

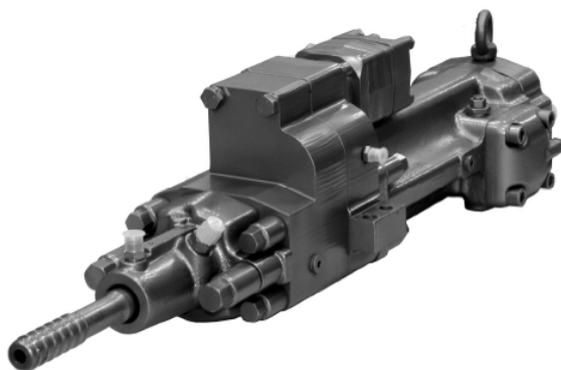


Fig.1 Perforatrice idraulica

#### 3.2 Modalità esecutiva

La TBM è stata progettata tenendo conto della necessità di eseguire agevolmente delle perforazioni in avanzamento rispetto al fronte di scavo. A questo riguardo, in corrispondenza della testa fresante e dello scudo della TBM, ci sono delle possibili ubicazioni delle sonde e attrezzature per la realizzazione di tali perforazioni. (Fig.2).

La perforatrice viene montata sulla tavola dell'ereuttore, come mostrato nella (Foto.n°1), orientata con una inclinazione di 12° rispetto all'asse della TBM.

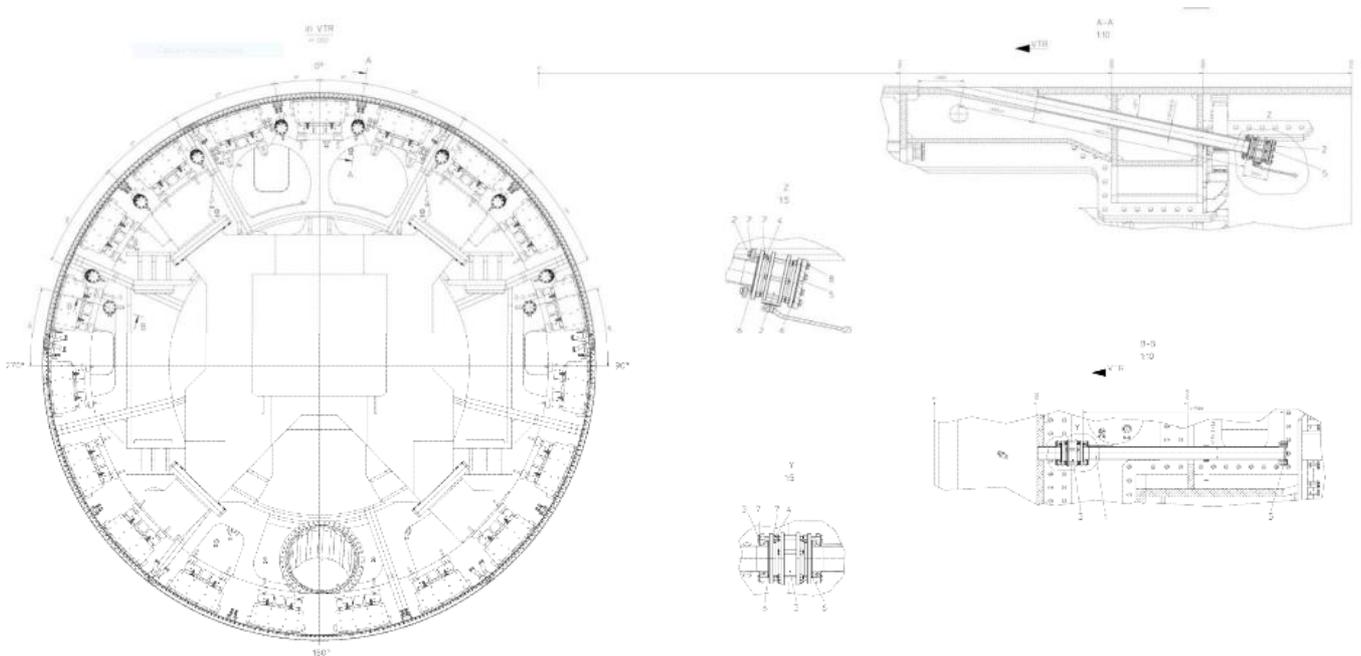
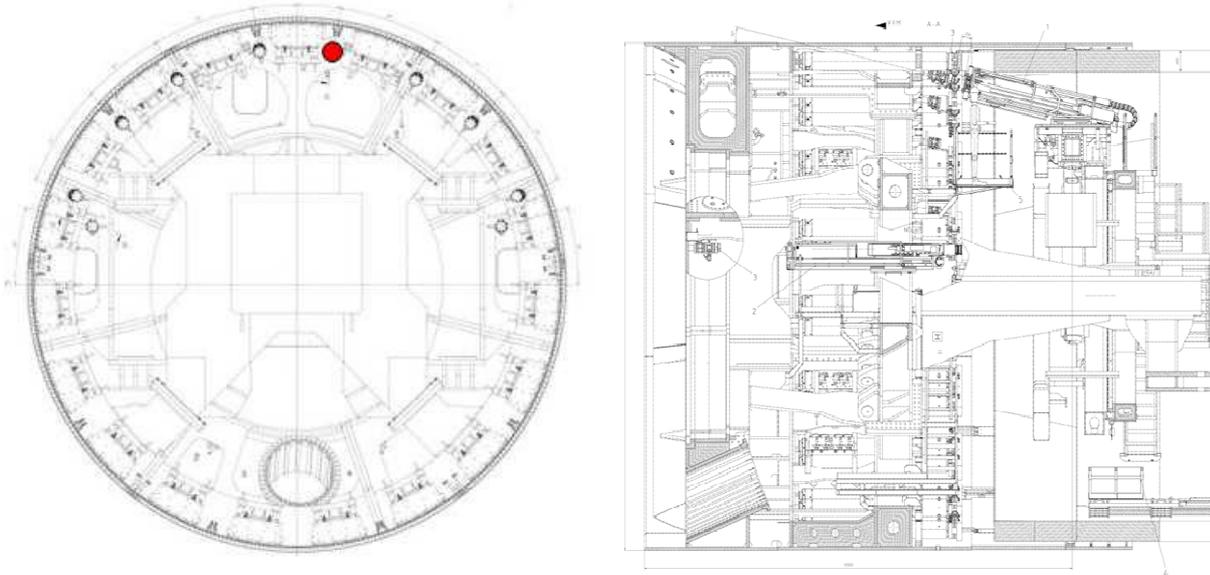


Fig.2 Possibili ubicazioni delle sonde per la realizzazione perforazioni



Esempio punto inserimento aste

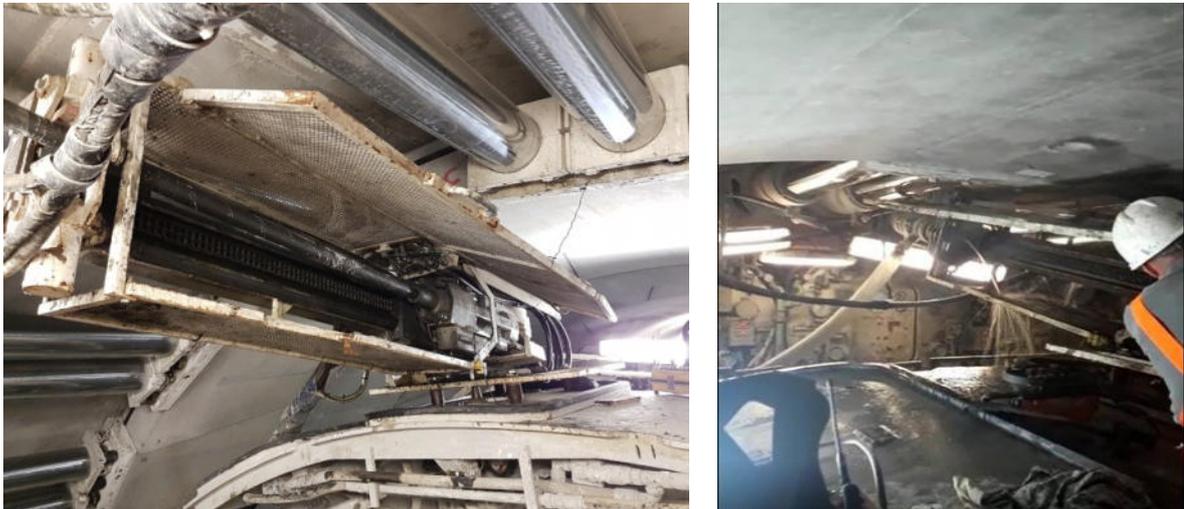


Foto n°1 \_ Ubicazioni della perforatrice idraulica

Dopo l'installazione della perforatrice, si installa il preventer (Fig.3): esso rappresenta un particolare dispositivo di sicurezza, che ha il compito di evitare che eventuali venute d'acqua possano raggiungere l'interno della TBM durante le operazioni di perforazione



Fig.3: Preventer tipo utilizzato durante le perforazioni

Montata la perforatrice e il preventer iniziano le attività. Per la perforazione a distruzione viene utilizzata in genere una batteria di aste di 1.80 m ciascuna, inserite a mano a mano nel foro di sondaggio, in numero tale da raggiungere la lunghezza desiderata.

L'attrezzatura è dotata di strumentazione che consente di misurare i parametri di perforazione Foto n°2 (spinta sull'utensile, numero di giri, coppia di rotazione, pressione e portata di fluido).



Foto n°2 \_ Misurazione parametri di perforazione

I principali parametri registrati durante la perforazione verranno elaborati e diagrammati in funzione del tempo  $f(t)$

- *Advance speed (mm/min)*
- *Percussion pressure (bar)*
- *Rotation pressure (bar)*
- *Rotation speed (bar)*

### 3.3 Accorgimenti in caso di venute d'acqua

Nel caso in cui, durante l'esecuzione della perforazione o alla fine della stessa, si verificassero venute d'acqua dal foro, al fine di misurare il gradiente di pressione, verrà installato un paker di tenuta. Nello specifico, terminata l'operazione di smontaggio delle aste, attraverso il passaggio del preventer, il paker precedentemente montato su tubazione rigida verrà posizionato nel foro.



Foto n°3 \_ Packer gonfiabile

### **Installazione packer**

Una volta rimosse le aste utilizzate per la perforazione, verrà installato il packer con la seguente procedura:

1. *Posa del packer*, nel foro praticato mediante perforazione (Fig.4)



Fig.4\_Posa packer

2. *Gonfiaggio packer*: una volta installato il packer si procederà al gonfiaggio dello stesso mediante una pompa idraulica (Fig.5);



Fig.5\_Posa packer

3. *Lettura pressione acqua: terminata l'installazione del packer verrà chiusa la valvola (posta a valle del packer) per isolare il sistema; sarà necessario attendere qualche minuto per la stabilizzazione della pressione dell'acqua per poi procedere alla sua lettura attraverso un manometro (Fig.6).*



*Fig.6\_Manometro tipo per lettura pressione*

### ***Pressioni elevate e convogliamento dell'acqua***

Nel caso di pressioni elevate (maggiori di bar 3), l'acqua proveniente dalla perforazione verrà convogliata con una tubazione dedicata nella vasca del dewatering; da quest' ultima, tramite il sistema di pompaggio dewatering, raggiungerà l'impianto di depurazione per essere ultrafiltrata. Tale operazione continuerà fino all' abbassamento delle pressioni a regimi gestibili dallo scavo con la TBM.

## ***3.4 Risultati delle indagini***

### ***Verifica condizioni idrogeologiche***

I sondaggi eseguiti in avanzamento rispetto al fronte di scavo, possono rappresentare un valido strumento di interpretazione delle condizioni di scavo nelle zone critiche dal punto di vista idrogeologico per presenza di acqua e di acqua in pressione al fine di anticipare le misure di condizionamento del materiale scavato.

---

## **Cutter tools**

*Mitigazione del rischio presenza di trovanti fronte misto e abrasività dei materiali in fase operativa durante lo scavo*

---

## **Cantiere**

“Scavo meccanizzato gallerie tratto aggiuntivo Lotto Val Lemme da progressiva 19+700 a progressiva 17+800”

*Infrastrutture Ferroviarie Strategiche definite dalla Legge Obiettivo  
N.443/01*



## **SOMMARIO**

<i>1. Premessa</i> .....	3
<i>2. Condizioni geologiche attese</i> .....	3
<i>3. Disk Cutter Life</i> .....	3
3.1 Tipologia di usura.....	3
3.2 Tipologia e scelta dei cutters.....	5
<i>4. Manutenzione del fronte scavo</i> .....	6
4.1 Manutenzione straordinaria.....	6
<i>5. Conclusioni</i> .....	7

## 1. Premessa

Oggetto di tale relazione sono le problematiche relative ai Cutter Tools, cioè gli specifici utensili per lo scavo in presenza di fronte misto caratterizzato dalla presenza di materiale altamente abrasivo e con trovanti di elevata durezza

La valutazione dell'usura degli utensili è fondamentale per la valutazione delle velocità di scavo: lo stato di usura dei disk cutters incide direttamente sulla penetrazione nel fronte di scavo e maggiore è il tempo dedicato alla loro manutenzione minori saranno le produzioni.

## 2. Condizioni Geologiche Attese

*Condizioni geologiche principali in esame:*

- ✓ difficoltà di penetrazione dovute alla presenza di trovanti caratterizzati da valori di resistenza a compressione molto elevati (intorno ai 100 Mpa).
- ✓ Possibile presenza di fronti misti nelle tratte di passaggio tra Basalti e Argille a Palombini
- ✓ Abrasività dei materiali attraversati con locali livelli di quarzo elevati

## 3. Disk Cutter Life

### 3.1 Tipologia di usura

Nello scavo meccanizzato, in linea generale si possono distinguere due tipi di usura come analizzato nella letteratura tecnica:

- *usura primaria*, che si sviluppa sugli utensili di scavo che vengono sostituiti nelle regolari fasi di manutenzione. Tale usura è quella che si sviluppa solamente sulla parte rimovibile dell'utensile e adibita al contatto diretto con il fronte di scavo.



*Foto n°1\_ Usura normale: usura uniforme dell'anello tagliente oltre la quota definita, misurata tramite dima*

- *usura secondaria*, che si sviluppa sul corpo intero dell'utensile, cioè nelle zone dove non è previsto il contatto diretto con il fronte di scavo e sulla carpenteria della testa fresante e sui supporti degli utensili. Si tratta di una tipologia di usura molto pericolosa in quanto provoca dei danni che richiedono

interventi di manutenzione di tipo “straordinario e può causare seri danni strutturali. Questo fenomeno si contrasta grazie ad una *corretta manutenzione degli utensili di scavo e regolare ispezione delle condizioni degli stessi.*

*Alcuni esempi di usura anomala dell'anello*



*Cuscinetto bloccato*

*Rottura anello tagliente*

*Chipping (rottura a schegge 'chip')*

*Foto n°2*

In fase operativa durante lo scavo è importante il controllo dei dati di scavo (parametri di spinta, spinta sul cuscinetto) e la valutazione degli andamenti anomali, con riduzione della penetrazione TBM se necessario e della velocità di rotazione della coclea. Il controllo viene effettuato automaticamente ed a seguito di consultazione tecnica tra il geologo e gli ingegneri di tunnel: qualora il fronte presenta elevate resistenze o abrasività o eterogeneità la spinta della TBM (quindi il carico su ogni cutters) viene limitata da programma *plc*.

La valutazione dell'usura degli utensili è fondamentale per la valutazione delle velocità di scavo: *lo stato di usura dei disk cutters incide direttamente sulla penetrazione nel fronte di scavo e maggiore è il tempo dedicato alla loro manutenzione minori saranno le produzioni.*

Si precisa dunque che in condizioni ideali l'usura del cutter si deve sviluppare solamente sul tagliente, cioè l'anello in acciaio speciale che presenta un profilo specificatamente realizzato per lo scavo (*Foto n°1*). Tale anello è facilmente sostituibile (in officina) mantenendo la struttura portante del cutter stesso (corpo, assiale e relativi cuscinetti), rappresenta quindi la situazione ideale di usura che permette una facile manutenzione e l'ottimizzazione degli utensili.

In alcuni casi si possono sviluppare delle situazioni anomale di usura, che possono evolvere in rotture vere e proprie, con blocco del cutter, usura (secondaria) del corpo di supporto, perdita dell'anello di taglio e quindi usura (secondaria) del corpo del cutter

(Foto n°2)

L'usura secondaria e le rotture rappresentano una problematica potenzialmente molto pericolosa per lo scavo in quanto si tratta di fenomeni irregolari e quindi imprevedibili dalla cui origine si può sviluppare anche una usura secondaria sulla testa di scavo e sulle carpenterie in generale.

Tali fenomeni irregolari ed imprevedibili vengono amplificati dai seguenti fattori:

- ✓ Cattiva scelta dei cutter (guarnizione inefficace, cuscinetti di scarsa qualità)

- ✓ Sovraccarico sugli utensili, dovuto ad una cattiva conduzione della fresa (monitoraggio spinta sulla testa) oppure uno stato di fratturazione tale da determinare scalini e quindi *locali concentrazioni di carichi*.
- ✓ Usura del corpo del cutter dovuta al materiale in rimescolamento nella camera di lavoro, generalmente questo fenomeno cresce con l'aumento della pressione di lavoro (caso di fresa di tipo EPB)

È impossibile escludere il rischio di questa tipologia di rotture o usure secondarie, anche se è possibile adottare modalità di gestione dell'avanzamento tali da ridurre la frequenza (utilizzo di condizionanti adatti, monitoraggio spinta e/o penetrazione, scelta dei componenti). È invece fondamentale monitorare questi fenomeni, in modo da evitare che da un problema localizzato al singolo cutter si sviluppi un'usura secondaria sulla testa fresante, mediante frequenti controlli in camera di scavo e immediate sostituzioni. Un cutter bloccato, nel caso di roccia mediamente abrasiva, viene completamente distrutto nell'ambito di qualche avanzamento ed innesca inevitabilmente la rottura dei cutters adiacenti creando un effetto domino.

### **3.2 Tipologie e scelta dei Cutters**

#### ***Cutters HD***

In generale gli utensili attualmente presenti in commercio sono tipicamente di due tipologie: acciaio Heavy Duty (HD) e acciaio Standard. Sia il primo, più duro, che il secondo, più tenero, sono formati da una lega di acciaio dove la principale distinzione riguarda il quantitativo di manganese, in maggiore quantità negli utensili di tipo Heavy Duty. Quest'ultimo resiste molto all'usura, per tale motivo vengono utilizzati esclusivamente per lo scavo in rocce molto abrasive e con elevata resistenza meccanica alla rottura.

#### ***Cutters con inserti widia***

Utensile avente profilo di taglio di forma triangolare con bordo tagliente irrobustito con un rivestimento in carburo di tungsteno: essi sono costituiti da rulli tronco-conici su cui sono saldati inserti di widia detti "bottoni" che, agendo sulla roccia, ne determinano il distacco.



Foto n°3\_ **Cutters con inserti widia**

#### 4. Manutenzione del fronte di scavo

Un tema molto importante da valutare in corso d'opera riguarda le modalità con cui vengono eseguiti gli ingressi in camera di scavo, finalizzati ad ispezionare le parti meccaniche della testa fresante, in particolare gli utensili di scavo ed operare la loro sostituzione in funzione del livello di usura riscontrato. Tali operazioni rappresentano un processo di routine sulle frese di scavo e sono effettuate con *procedure di lavoro* definite per la *sicurezza degli operatori*.

Durante l'avanzamento **al variare delle formazioni attraversate e quindi delle condizioni al contorno (fronte di scavo stabile o instabile, assenza acqua, venute d'acqua o acqua in pressione) potranno variare le modalità operative degli interventi di manutenzione del fronte di scavo.**



*Foto n°4\_ Esempio di fronte stabile\_ le condizioni migliori per la manutenzione al fronte scavo, il personale accede alla camera di scavo con procedure standard (Open Mode)*

##### 4.1 Manutenzione Straordinaria

L'usura secondaria, che si sviluppa sul corpo intero dell'utensile, cioè si estende nelle zone dove non è previsto il contatto diretto con il fronte di scavo, sulla carpenteria della testa fresante e sui supporti degli utensili, provoca dei danni che richiedono interventi di manutenzione di tipo "straordinario".

Tali operazioni di manutenzione straordinaria possono richiedere un fermo prolungato, procedure di lavoro complesse, ben progettate e definite per la sicurezza degli operatori.

I primi parametri indicativi di valutazione, in fase operativa durante lo scavo, sono i dati di scavo (parametri di spinta, spinta sul cuscinetto) e la valutazione degli andamenti anomali.

## **5. Conclusioni**

Premesso quanto sopra, ritornando nel caso specifico dello scavo della tratta di galleria da progressiva 19+700 a progressiva 17+800 si propone (in base alla esperienza acquisita e sopra riportata) il seguente *modus operandi*:

- 1) Utilizzo cutters HD sempre per affrontare le rocce di durezza elevata ed elevata abrasività
- 2) Incremento ispezioni in testa – si controllerà la testa una volta ogni due giorni- per cambiare con celerità i cutters maggiormente usurati ed evitare i fenomeni di usura descritti nei paragrafi precedenti
- 3) montaggio dei cutters con inserti in *widia* qualora si presentassero al fronte fenomeni estremi come la presenza di clasti con durezza molto elevate od eccezionali fenomeni di usura dovuti all' abrasività.



---

## **Sblocco TBM tipo EPB in presenza di roccia premente**

---

### **Cantiere**

“Scavo meccanizzato gallerie tratto aggiuntivo Lotto Val Lemme da progressiva 19+700 a progressiva 17+800”

*Infrastrutture Ferroviarie Strategiche definite dalla Legge Obiettivo*

*N.443/01*



## **SOMMARIO**

1. Premessa.....	3
2. Descrizione del problema.....	3
3. Procedure sblocco macchine .....	3
4. Prosieguo dello scavo.....	5

## 1. Premessa

Nonostante le TBM tipo EPB utilizzate sul Lotto Radimero e che saranno impiegate per il proseguimento sul Lotto Val Lemme, siano caratterizzate da una forza nominale di avanzamento superiore a KN 120.000, di seguito sarà analizzato quanto progettato in caso di blocco della macchina causato da *convergenze* dovute a roccia premente, che causa notevoli pressioni intorno agli scudi della TBM.

## 2. Descrizione del problema

Il motivo per cui una macchina rischia di bloccarsi può essere associato allo *schacciamento* dell'ammasso roccioso, comportando un aumento della spinta radiale sulla macchina e quindi l'attrito tra la TBM e l'ammasso roccioso circostante. Tale condizione fa registrare valori anomali della macchina: i valori di spinta registrati sui martinetti idraulici possono raggiungere il limite superiore di pressione e la velocità di avanzamento subisce una drastica diminuzione fino a valori pari a zero (fermo TBM).

## 3. Procedure sblocco macchina

Per la risoluzione del problema sarà necessario la risoluzione della convergenza con

- ✓ diminuzione del grado di attrito
- ✓ diminuzione della forza radiale
- ✓ aumento della forza di spinta

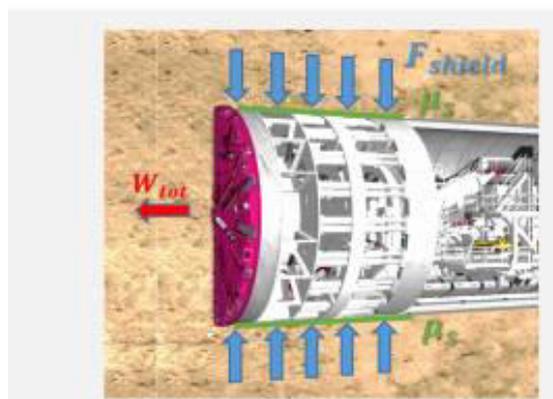


Fig.1 Schema forze in atto

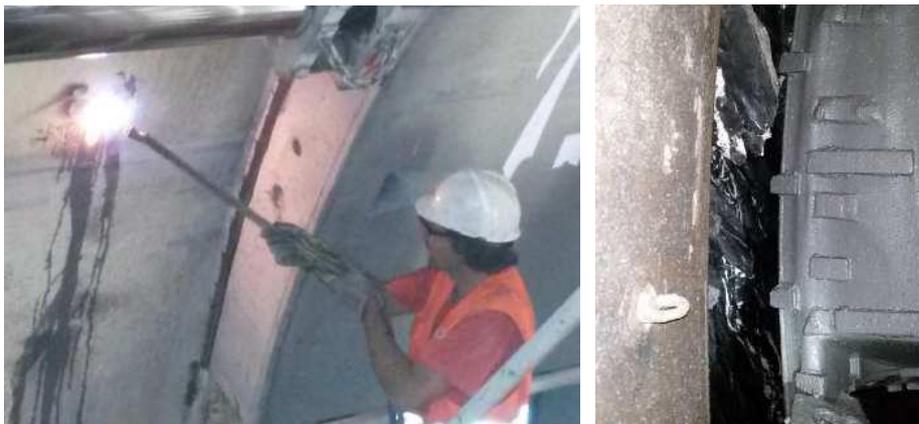
A tal fine si metteranno in atto le seguenti procedure

- Iniezione liquidi bentonitici attraverso le valvole predisposte negli scudi



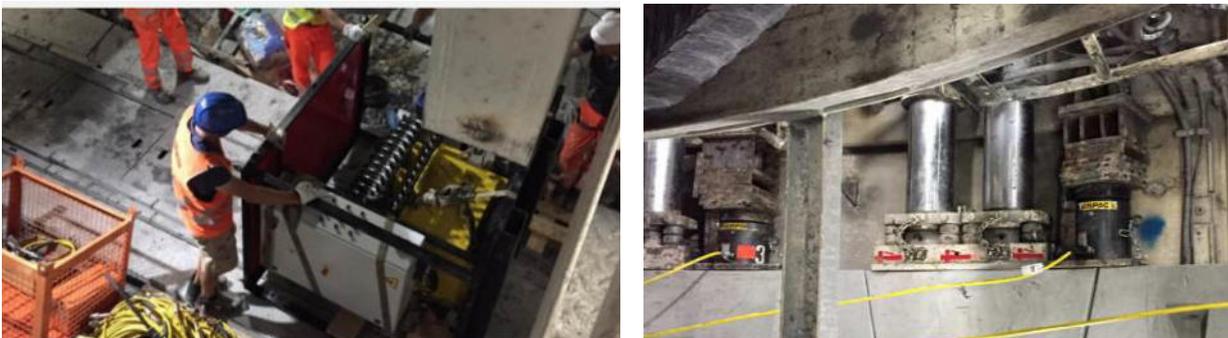
*Foto n°1 Valvole scudi*

- Per la riduzione della forza radiale si procederà all' aperture di "finestre" sullo scudo di coda e idrodemolizione del materiale a contatto con gli scudo.



*Foto n°2 Realizzazione di asole per idrodemolizioni dell'ammasso roccioso*

- Aumento della spinta incrementando i cilindri con jacks ausiliari



*Foto n°2 Installazione del sistema di spinta supplementare lungo i cilindri di coda*

#### 4. Proseguo dello scavo

Lo scavo dovrà continuare con l'incremento del diametro di scavo qualora non ancora attuato.

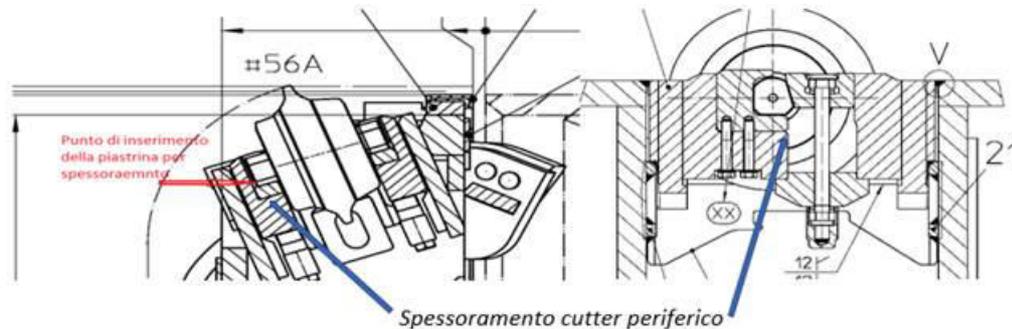


Fig.2 Spessoramento cutter periferico

I fenomeni deformativi di convergenza del cavo si possono ridurre negli effetti operando un "sovrascavo" (~5cm). Verrà aumentato il diametro di scavo della testa fresante affinché l'attuale gap tra scudi della TBM e profilo di taglio passi da mm 25 (sul raggio di scavo) a mm 50.

Lo spessoramento avverrà tramite l'inserimento di una piastrina di spessore calibrato sotto il cuneo a "C" del sistema di fissaggio del cutter stesso.

Qualora in particolari punti della tratta d'interesse, si dovessero notare dai parametri della TBM (per esempio aumento della forza di spinta senza incremento della forza esercitata sul main drive) situazioni che potrebbero far pensare ad una convergenza dell'ammasso sugli scudi, sarà possibile aumentare ancora il diametro di scavo estendendo il sistema copycutter. Tale sistema, comandato elettronicamente dalla cabina di pilotaggio consente di allargare il diametro fino a mm 60.