

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:



MANDANTI:



IL DIRETTORE DELLA PROGETTAZIONE:  
Ing. Paolo Cucino  
ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROV. DI TRENTO  
Dott. Paolo Cucino  
Responsabile integrazione fra le varie prestazioni specialistiche 6

### PROGETTO ESECUTIVO

#### PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"

RELAZIONE

08 - GALLERIE

C-GALLERIE NATURALI DI LINEA E DI INTERCONNESSIONE

Scavo meccanizzato

Relazione di monitoraggio

APPALTATORE		SCALA:
IL DIRETTORE TECNICO  Ing. Pietro Gianvecchio		-

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
I B O U	1 B	E	Z Z	R H	G N O O O O	0 0 8	C

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione	F.Amadini	24/12/2021	C.Iasello	30/12/2021	D.Buttafoco (Dolomiti)	19/01/2022	IL PROGETTISTA P.Cucino ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROV. DI TRENTO Dott. Paolo Cucino 16/03/2023 ISCRIZIONE ALBO N° 2216
B	Emissione	F.Amadini	26/07/2022	C.Iasello	27/07/2022	D.Buttafoco (Dolomiti)	28/07/2022	
C	Emissione	F.Amadini	13/03/2023	C.Iasello	14/03/2023	D.Buttafoco (Dolomiti)	15/03/2023	

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>08 - GALLERIE</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di monitoraggio	IBOU	1BEZZ	RH	GN0000008	C	2 di 28

## SOMMARIO

<b>1. PREMESSA.....</b>	<b>3</b>
1.1 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	4
<b>2. PIATTAFORMA DI MONITORAGGIO .....</b>	<b>5</b>
<b>3. INDAGINI SISTEMATICHE .....</b>	<b>9</b>
3.1 SONDAGGI A DISTRUZIONE.....	10
3.2 PARAMETRI MACCHINA .....	11
3.3 MONITORAGGIO DEL GAP E DELLA PRESSIONE SULLO SCUDO .....	12
3.4 MONITORAGGIO GAS E RADIAZIONI.....	13
3.5 MISURA DELLA PORTATA D'ACQUA .....	14
<b>4. INDAGINI PUNTUALI .....</b>	<b>15</b>
4.1 SONDAGGI A DISTRUZIONE CON RILIEVO OPTV .....	16
4.2 INDAGINI SISMICHE TSP .....	17
4.3 SONDAGGIO A CAROTAGGIO CONTINUO .....	18
4.4 MAPPATURA GEOLOGICA DEL FRONTE .....	19
4.5 RILIEVI IDROGEOLOGICI E TERMOMETRICI .....	21
<b>5. MONITORAGGIO IN CORSO D'OPERA E IN FASE DI ESERCIZIO.....</b>	<b>22</b>
5.1 METODOLOGIA.....	22
5.2 DEFINIZIONE DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO .....	23
5.3 ANELLO STRUMENTATO CON BARRETTE ESTENSIMETRICHE .....	24
5.4 MISURE TOPOGRAFICHE .....	27
5.5 ARRAY DI SENSORI MEMS ORIZZONTALI.....	27
<b>6. CONCLUSIONI .....</b>	<b>28</b>

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandatario:	Mandanti:	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>08 - GALLERIE</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di monitoraggio	IBOU	1BEZZ	RH	GN0000008	C	3 di 28

## 1. PREMESSA

Nell'ambito della realizzazione delle gallerie del lotto 1 Fortezza - Ponte Gardena, lo scavo di avanzamento è previsto col metodo sia tradizionale, sia meccanizzato a piena sezione con TBM scudata e l'applicazione di un rivestimento in anelli di calcestruzzo realizzati in conci prefabbricati.

In particolare, per la realizzazione di un tratto di 12 km circa della galleria Scaleres, a doppia canna a singolo binario, è previsto l'impiego di una TBM scudata da roccia, mentre per la realizzazione di un tratto di 9 km circa della galleria Gardena e Interconnessioni è previsto l'impiego di una TBM dual mode.

La presente relazione si pone l'obbiettivo di illustrare il piano di monitoraggio previsto per la realizzazione delle gallerie relativamente alla tratta da realizzare con scavo meccanizzato.

Lo scopo del monitoraggio è la definizione della litologia e del comportamento geomeccanico (parametri, stato tensionale e deformativo) dell'ammasso roccioso per la prevenzione dei rischi prima e dopo il passaggio della macchina, nonché comprendere e monitorare le tensioni e le deformazioni nell'anello in conci prefabbricati anche in seguito all'interazione con altri parti d'opera annesse.

Le attività di indagine e controllo previste sono le seguenti:

- 1) Indagini sistematiche durante l'avanzamento: sondaggi a distruzione di nucleo in avanzamento dalla TBM; rilievi geofisici; registrazione e analisi dei parametri di scavo della macchina; monitoraggio gas, radiazioni e portata d'acqua;
- 2) Indagini puntuali durante l'avanzamento in zone di probabile individuazione di faglie e zone che hanno evidenziato criticità durante le indagini sistematiche;
- 3) Monitoraggio in corso d'opera e in fase di esercizio.

Le informazioni ottenute attraverso l'analisi della geologia incontrata durante lo scavo, il risultato delle indagini sistematiche in avanzamento e dell'interpretazione delle prove, eseguita da parte di una squadra esperta guidata da un geologo, saranno riassunte in un report di seguimiento dell'avanzamento in scavo meccanizzato.

I risultati ottenuti in termini di relazione parametri di perforazione/struttura dell'ammasso saranno posti in relazione ai risultati di indagini e parametri di scavo, al fine di contribuire al protocollo di gestione delle eventuali anomalie stratigrafiche e strutturali riscontrabili durante lo scavo.

Tuttavia, è necessario sottolineare che il processo di monitoraggio e revisione del contesto geologico sarà da adattare in corso d'opera al contesto geomeccanico di riferimento e al reale comportamento dell'ammasso. Alla luce delle informazioni ottenute durante lo scavo delle gallerie, si provvederà all'aggiornamento del profilo geotecnico di riferimento.

Una volta confermata l'individuazione di una zona di faglia, si provvederà alla definizione della tipologia di contromisura da adottare (se necessario), come descritto nelle apposite relazioni [2].

Il piano di monitoraggio prevede invece l'installazione nelle zone critiche di anelli strumentato dotati di "strain gauges" annegati nei conci prefabbricati.

La frequenza di monitoraggio dipende direttamente dai risultati delle prospezioni e dall'andamento dei parametri di scavo della TBM, in quanto le zone critiche e quelle con tendenza a fenomeni di squeezing prevedono un aumento della frequenza di monitoraggio.

APPALTATORE: 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI  REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA  LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA  TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>  <b>PROGETTO ESECUTIVO</b>																	
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria							<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>RH</td> <td>GN0000008</td> <td>C</td> <td>4 di 28</td> </tr> </tbody> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.													
IBOU	1BEZZ	RH	GN0000008	C	4 di 28													
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione di monitoraggio																		

## 1.1 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

Per la completa comprensione della presenta relazione si prega di fare riferimento alle seguenti relazioni:

- [1] IB0U1BEZZRGGN0000001 - Relazione tecnica generale delle opere in sotterraneo
- [2] IB0U1BEZZRHGN0000004 - Relazione tecnica scavo meccanizzato e linee guida per l'applicazione degli interventi di drenaggio e consolidamento in avanzamento
- [3] IB0U1BEZZRHGN0000005 - Relazione di analisi dei parametri macchina

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione di monitoraggio	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000008	REV. C	FOGLIO. 5 di 28

## 2. PIATTAFORMA DI MONITORAGGIO

La piattaforma integrata We View è di particolare importanza ai fini del controllo ed efficienza operativa, della sicurezza, dell'ambiente e del controllo qualità del rivestimento posto in opera.

La piattaforma infatti monitora, elabora e trasmette i dati raccolti da tutti gli impianti, sensori e sistemi presenti nel cantiere in sotterraneo.

In altri termini, come schematizzato nella figura 10 qui sotto, la piattaforma si comporta come una grande contenitore centrale di raccolta dati.

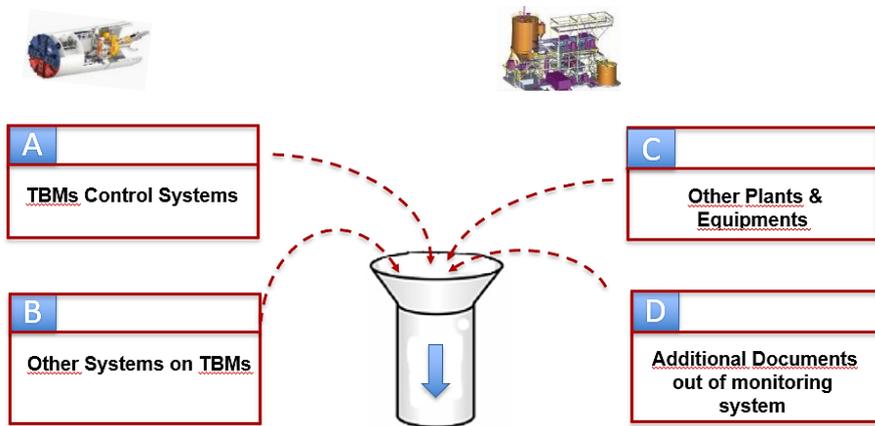


Fig. 1 –: Raccolta dati Piattaforma We View

Questi dati vengono elaborati dal Software della piattaforma e trasformati in tabelle, grafici e previsioni utili alla gestione operativa della TBM e di tutti gli impianti.

Lo stesso accade per tutti i dati e parametri relativi alla sicurezza ed all'ambiente.



Fig. 2 –: Elaborazione dati piattaforma We View

Sia i raw data che le elaborazioni degli stessi vengono resi disponibili su sito internet, nonché su una specifica app per Smartphones e Tablets.

APPALTATORE:  CONSORZIODOLOMITI	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione di monitoraggio	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000008	REV. C	FOGLIO. 6 di 28

Rapportini periodici (giornalieri, settimanali e mensili) ed allarmi vengono poi inviati in automatico come sinteticamente rappresentato in figura 12 qui sotto.

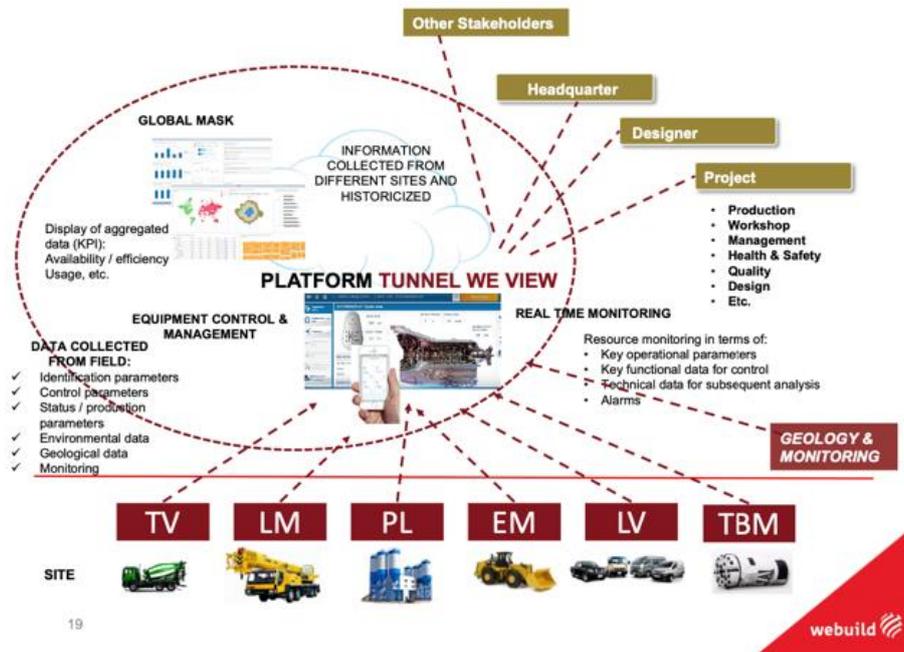


Fig. 3 –: Schematizzazione del funzionamento della Piattaforma We View

Relativamente alla sicurezza We View è in grado di monitorare diversi parametri chiave, quali: parametri operativi TBM, segnali di allarme incendio, ventilazione/qualità dell'aria, funzionamento sistema di aggotamento acque e molti altri e inviare allarmi in automatico qualora questi parametri escano da un range stabilito.

La notifica di allarme viene data o cancellata secondo criteri di durata come schematizzato nella figura qui sotto.

APPALTATORE: 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione di monitoraggio	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000008	REV. C	FOGLIO. 7 di 28

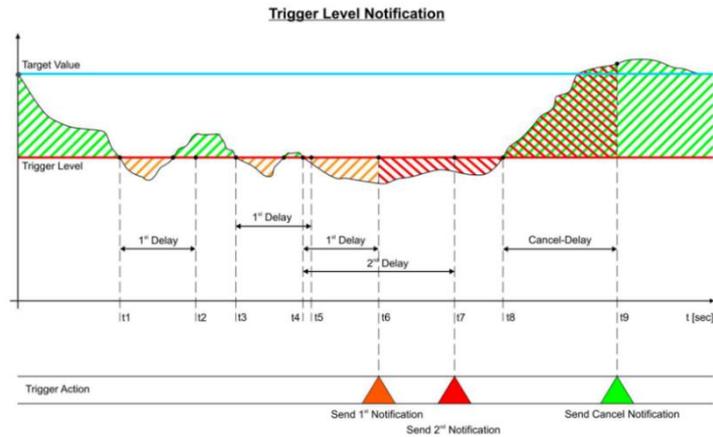


Fig. 4 – Criteri di attivazione e cancellazione delle notifiche di allarme

Relativamente ai parametri operativi della TBM, questi saranno elaborati in automatico e resi disponibili su visualizzazioni predefinite come quella qui sotto riportata come esempio.

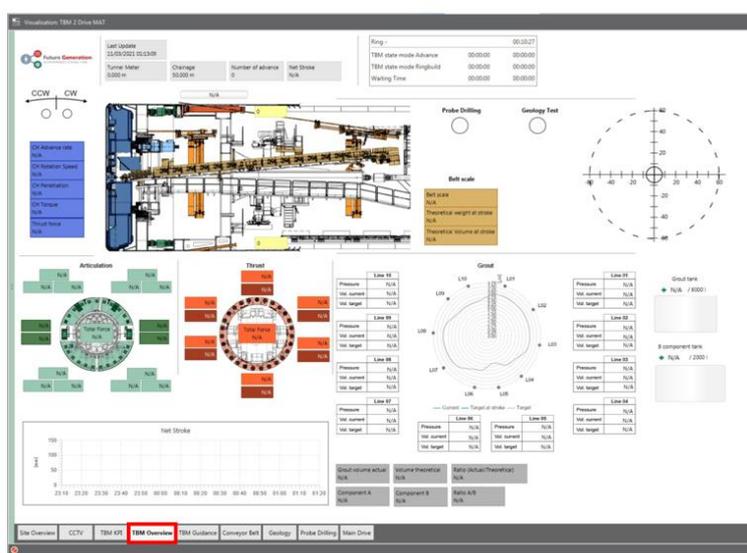


Fig. 5 – Visualizzazione tipica dei parametri operativi e di guida della TBM

Il sistema di reporting verrà customizzato per il progetto ed i rapportini inviati in automatico con tutte le informazioni utili a comprendere l'andamento della produzione e le problematiche occorse

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<b>Mandatario:</b> SWS Engineering S.p.A.	<b>Mandanti:</b> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione di monitoraggio	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000008	REV. C	FOGLIO. 8 di 28

Shift reporting on both, desktop and mobile.

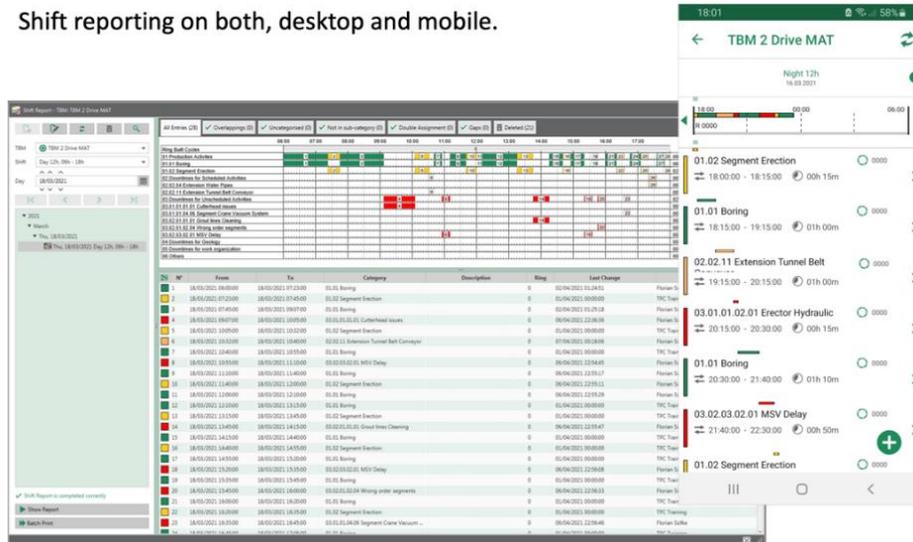


Fig. 6 – Esempio di shift report

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione di monitoraggio	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000008	REV. C	FOGLIO. 9 di 28

### 3. INDAGINI SISTEMATICHE

Durante lo scavo della Galleria Scaleres saranno eseguite prove sistematiche mirate alla definizione delle condizioni geomeccaniche e idrogeologiche in avanzamento in maniera continuativa per l'intera porzione di tracciato in meccanizzato.

Il piano delle prospezioni prevede le seguenti indagini sistematiche:

- 1) Sondaggi a distruzione di nucleo in avanzamento dalla TBM; In alcuni casi, in cui è previsto un consolidamento al fronte/contorno, per valutarne la efficacia, sarà possibile equipaggiare il sondaggio con una telecamera (PTV test)
- 2) Registrazione e analisi dei parametri di scavo della macchina;
- 3) Monitoraggio del gap e della pressione sullo scudo;
- 4) Monitoraggio gas e radiazioni;
- 5) Misure di portata d'acqua.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione di monitoraggio	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000008	REV. C	FOGLIO. 10 di 28

### 3.1 SONDAGGI A DISTRUZIONE

I sondaggi a distruzione di nucleo in avanzamento alla TBM verranno eseguiti principalmente dalla macchina che precede lo scavo tra le due, e verranno eseguiti durante il turno di manutenzione ordinaria della macchina della durata di circa 4 ore. In questo spazio temporale possono essere eseguite perforazioni di massimo 40-50 metri in avanzamento.

Questi sondaggi ordinari verranno eseguiti nelle zone con un medio livello di incertezza geologica con lo scopo di intercettare eventuali zone tettonizzate minori.

In avvicinamento a zone con grado di incertezza geologica elevata e/o presenza di zone faglie maggiori si procederà con indagini puntuali descritte nel capitolo successivo.

Le perforazioni saranno eseguite mediante la perforatrice a rotopercolazione con martello a fondo foro montata sul bridge della TBM, che permette un sondaggio con inclinazione fino a 8°-9°.

La perforatrice include un datalogger per la registrazione dei parametri di perforazione, dalla cui analisi sarà possibile fornire una interpretazione delle possibili variazioni litologiche lungo il sondaggio. I parametri registrati sono:

- velocità di avanzamento (m/h);
- coppia di rotazione (kNm);
- spinta (kN);
- velocità di rotazione (g/min);
- pressione del fluido (bar).



Fig. 7 – schema di plottaggio dei parametri di perforazione

Dai parametri misurati sarà possibile calcolare il valore di Energia specifica ( $GJ/m^3$ ) utile per l'interpretazione dei parametri di perforazione.

Tanto le diagrafie come il residuo saranno analizzati per la definizione di possibili zone con maggiore fratturazione non previste, e incrociati con i dati della macchina in fase di esecuzione.

Sarà possibile l'esecuzione di prove dirette e indirette in foro per la caratterizzazione geomeccanica e idrogeologica dell'ammasso roccioso (test geofisici, temperatura, manometri, trasduttori di pressione), nonché dello stato deformativo e tensionale (estensimetri, prove in foro per la determinazione dello stato tensionale naturale).

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandatario:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEMIN	SIFEL SIST	M Ingegneria		
08 - GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di monitoraggio	IBOU	1BEZZ	RH	GN0000008	C	11 di 28

### 3.2 PARAMETRI MACCHINA

L'analisi dell'andamento dei parametri del sistema di scavo della fresa a piena sezione è un sistema efficace per monitorare le condizioni dell'ammasso roccioso al contorno. I parametri sono registrati ad intervalli di circa 3-10s e organizzati in una base di dati che permette di filtrarli e ordinarli, oltre che sintetizzare i valori medi per ogni anello, ovvero ogni 1.8 m.

I parametri di maggior importanza sono:

- energia specifica di scavo (MJ/m<sup>3</sup>);
- forza di spinta (kN);
- coppia (MNm);
- velocità di rotazione (rpm);
- penetrazione (mm/giro) e velocità di avanzamento (mm/min);
- peso del materiale estratto (tons);
- pressione nella camera di scavo (bar) (solo per Gardena);
- volume intasamento (m<sup>3</sup>);
- velocità di deviazione piano-altimetrica (mm/m);
- celle di pressione e fontimeters.

L'andamento dei parametri di scavo sopra definiti sarà incrociato con i risultati delle indagini per definire il comportamento dei parametri in funzione della geologia.

Relativamente ai parametri operativi della TBM, questi saranno elaborati in automatico e resi disponibili su visualizzazioni predefinite come quella qui sotto riportata come esempio.

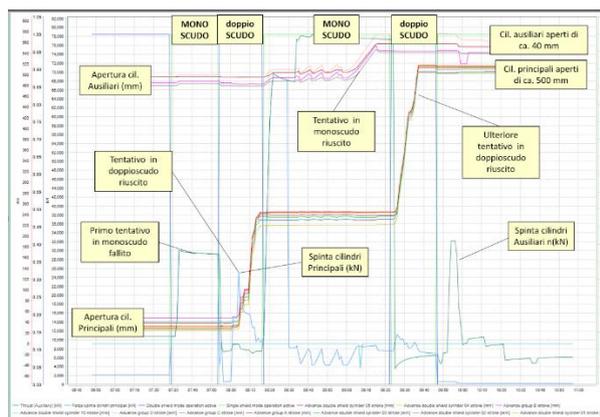
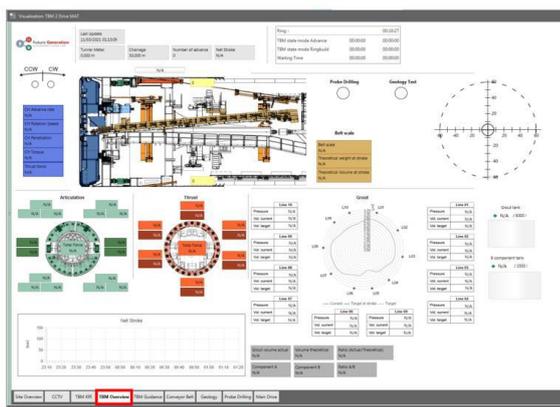


Fig. 8 - Visualizzazione tipica dei parametri operativi e di guida della TBM

Una esposizione più approfondita dei parametri macchina viene fornita nella relazione specifica IB0U1BEZZRHGN0000005 dove vengono illustrati i principali parametri macchina e la loro analisi.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione di monitoraggio	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000008	REV. C	FOGLIO. 12 di 28

### 3.3 MONITORAGGIO DEL GAP E DELLA PRESSIONE SULLO SCUDO

La TBM è attrezzata con 3 sezioni di lettura del gap distribuite sui due scudi, una sezione in corrispondenza della testa di scavo, una in mezzzeria e una in corrispondenza della coda dello scudo.

Per ciascuna sezione sono presenti dei martinetti (fontimeters) che misurano il gioco tra perimetro di scavo ed estradosso scudo, segnalando eventuali convergenze e situazioni di rischio (presenza di vuoti e sgrottamenti).

Sullo spessore dello scudo sono alloggiati un totale di 6 celle di pressione distribuite su due sezioni (una sezione con 3 celle di pressione sullo scudo anteriore ed una sezione con altrettante celle di pressione sullo scudo posteriore) per la misura della pressione indotta nell'arco del terzo superiore della zona di calotta dall'ammasso roccioso nel caso in cui lo stesso si appoggi allo scudo.

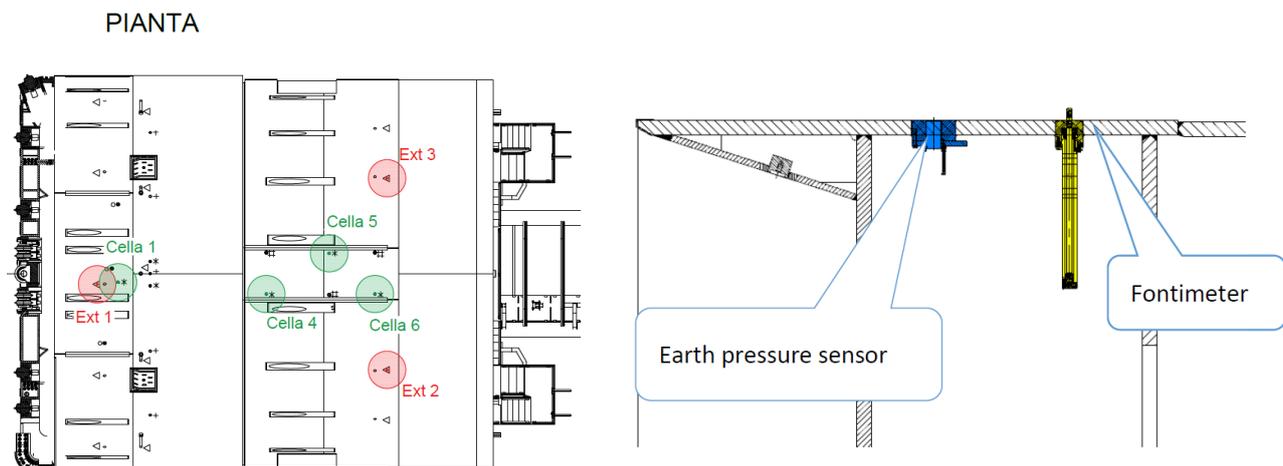


Fig. 9 – esempio di posizionamento dei fontimeters e celle di pressione sullo scudo e dettaglio

L'aver previsto 3 sensori per ciascuna sezione consente un controllo accurato della convergenza e della rapidità e distanza dal fronte con cui si sviluppa.

Le indicazioni dei sensori sono inviate alla piattaforma we-view del cantiere e quindi disponibili in tempo reale sia all'operatore della TBM sia ai responsabili operativi, consentendo così decisioni tempestive di intervento.

#### 3.3.1 Sottoattraversamento linea storica

Il sottoattraversamento della linea storica (si veda l'elaborato IB0U1BEZZCLIF0100001) consiste nell'attraversare, mediante scavo in EPB, la linea storica del Brennero in prossimità della stazione di Ponte Gardena. Le coperture in gioco, dell'ordine dei 5 metri, e la tipologia di terreno (materiali granulari parzialmente interessati dalla falda) hanno portato a utilizzare la pressione al fronte uguale a quella di blow-out per limitare i cedimenti della massicciata e lo sghembo della linea ferroviaria. Questa è una situazione

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
<b>08 - GALLERIE</b>		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di monitoraggio		IB0U	1BEZZ	RH	GN0000008	C	13 di 28

limite che si verifica solamente una volta lungo il lotto 1 e dovrà essere attenzionata in modo particolare per evitare innalzamenti del terreno.

Per questa ragione si è predisposto un sistema di monitoraggio (si veda l'elaborato IB0U1BEZZRHIF0100001) a monte del sottoattraversamento per poter calibrare le pressioni al fronte ed i parametri macchina per limitare la possibilità di blow-out. In progettazione esecutiva di dettaglio, si predisporrà una procedura operativa per poter efficacemente calibrare la pressione al fronte ed evitare fenomeni di innalzamento del terreno.

### 3.4 MONITORAGGIO GAS E RADIAZIONI

Il monitoraggio dei gas e delle radiazioni in corso d'opera è effettuato grazie alla posa di tre sensori catalitici collegati a una centralina d'analisi dei dati misurati.

I sensori catalitici sono posati uno in uscita del nastro primario della camera di scavo (telescopica), il secondo sul passaggio da nastro primario a nastro secondario e il terzo in uscita dell'abbattitore di polveri.

Il monitoraggio interessa le seguenti sostanze:

- Acido solfidrico;
- Anidride carbonica;
- Metano;
- Azoto;
- Radon;
- Radiattività naturale (uranio e torio nelle rocce).

In caso del superamento dei valori di soglia elencati in figura come valori limite ad 8 ore, il sistema di controllo della TBM deve provvedere al fermo dell'avanzamento.

Gas	Valore limite			
	8 ore		Breve termine TWA	
	mg/m <sup>3</sup>	ppm	mg/m <sup>3</sup>	ppm
Acido solfidrico <sup>1</sup>	7	5	14	10
Anidride carbonica <sup>1</sup>	9000	5000	-	-
Metano <sup>2</sup>	1000 mg/m <sup>3</sup>			
Azoto <sup>1</sup>	O <sub>2</sub> < 19.5%			
Radon <sup>3</sup>	500 Bq/m <sup>3</sup>			
Radiattività <sup>3</sup>	1000 Bq/m <sup>3</sup>			

Fig. 10 - Valori limite di esposizione professionale secondo:

1 Allegato XXXVIII del Testo Unico sulla Salute e Sicurezza sul Lavoro D.lgs. 81 del 9 aprile 2008.

2 ACGIH.

3 D.lgs. 241 del 26/05/2000

Per il controllo del radon dovrà essere realizzato il rilievo mediante rivelatori passivi ovvero tramite il posizionamento di pellicole sensibili alle radiazioni alfa ( $\alpha$ ) che si perforano quando colpite dalla radiazione.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>08 - GALLERIE</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di monitoraggio	IBOU	1BEZZ	RH	GN0000008	C	14 di 28

Il numero di fori presenti sulla pellicola in funzione della superficie esposta e del periodo di esposizione forniscono una buona indicazione della concentrazione di radon nell'ambiente. Per poter fornire indicazioni attendibili, tali rilevatori debbono essere esposti per almeno 30 giorni.

Viene previsto il rilievo della presenza di radon sul corpo macchina in corrispondenza della cabina di guida nel caso di avanzamento con TBM. Eventuali altri rilevatori potranno essere collocati in caso di bisogno in corrispondenza di zone di lavorazione specifiche, come per esempio le nicchie e i by-pass.

### 3.5 MISURA DELLA PORTATA D'ACQUA

Lo scavo della Galleria Scaleres viene condotto in discesa (seppur con una pendenza minima) e pertanto non sarà possibile l'evacuazione dell'acqua per gravità.

Durante lo scavo con TBM devono essere distinte due diverse portate d'acqua misurabili:

- Acque di lavorazione : introdotte nel circuito tramite l'impianto di raffreddamento / antincendio e vengono prelevate per l'utilizzo industriale al fronte di scavo per lavaggi, raffreddamenti e riduzione delle polveri;
- Acque di ammasso : sono le acque provenienti dall'ammasso roccioso che entrano per percolazione o per l'effetto dei drenaggi installati.

Il circuito delle acque di lavorazione per funzionare correttamente deve essere re-integrato in seguito ai prelievi eseguiti in TBM per gli usi indicati precedentemente, e pertanto misurando le portate di ingresso e uscita del circuito è possibile misurare con accuratezza il volume utilizzato.

Essendo la galleria scavata in discesa le acque in eccesso presenti al fronte dovranno essere evacuate mediante sistema di pompaggio posizionato nella zona frontale dello scudo. Il volume di acqua totale pompato verso il portale e l'impianto di trattamento sarà dato dalla somma del contributo delle acque di lavorazione e dalle acque di ammasso.

Per differenza sarà possibile conoscere il contributo delle due componenti idriche lungo il tracciato di scavo della TBM e sarà quindi possibile stimare il contributo idrogelologico di ciascuna tratta di galleria e verificare le stime condotte in fase di redazione del progetto.

APPALTATORE: 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione di monitoraggio	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000008	REV. C	FOGLIO. 15 di 28

#### 4. INDAGINI PUNTUALI

Durante lo scavo, con frequenza programmata o nel caso si ritengano necessari ulteriori approfondimenti di indagine in zone critiche, come ad esempio all'avvicinarsi ad una zona di faglia, il piano di monitoraggio prevede le seguenti indagini puntuali:

- 1) Sondaggi a distruzione con rilievo ottico del foro con OPTV;
- 2) Indagini sismiche TSP
- 3) Sondaggi a carotaggio in avanzamento dalla TBM;
- 4) Mappatura geologica del fronte;
- 5) Rilievi idrogeologici e termometrici.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione di monitoraggio	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000008	REV. C	FOGLIO. 16 di 28

#### 4.1 SONDAGGI A DISTRUZIONE CON RILIEVO OPTV

In avvicinamento a zone con grado di incertezza geologica elevata e/o presenza di zone faglie maggiori rilevate e identificate nel profilo geotecnico verranno eseguiti sondaggi a distruzione per una distanza dal fronte di scavo pari a 150 m, con una sovrapposizione di 50 m con il sondaggio precedente, con diametro di perforazione 76 mm.

In aggiunta ed in sostituzione del carotaggio continuo, potrà essere utilizzato il log ottico per la restituzione grafica/ geologica delle pareti del foro investigato.

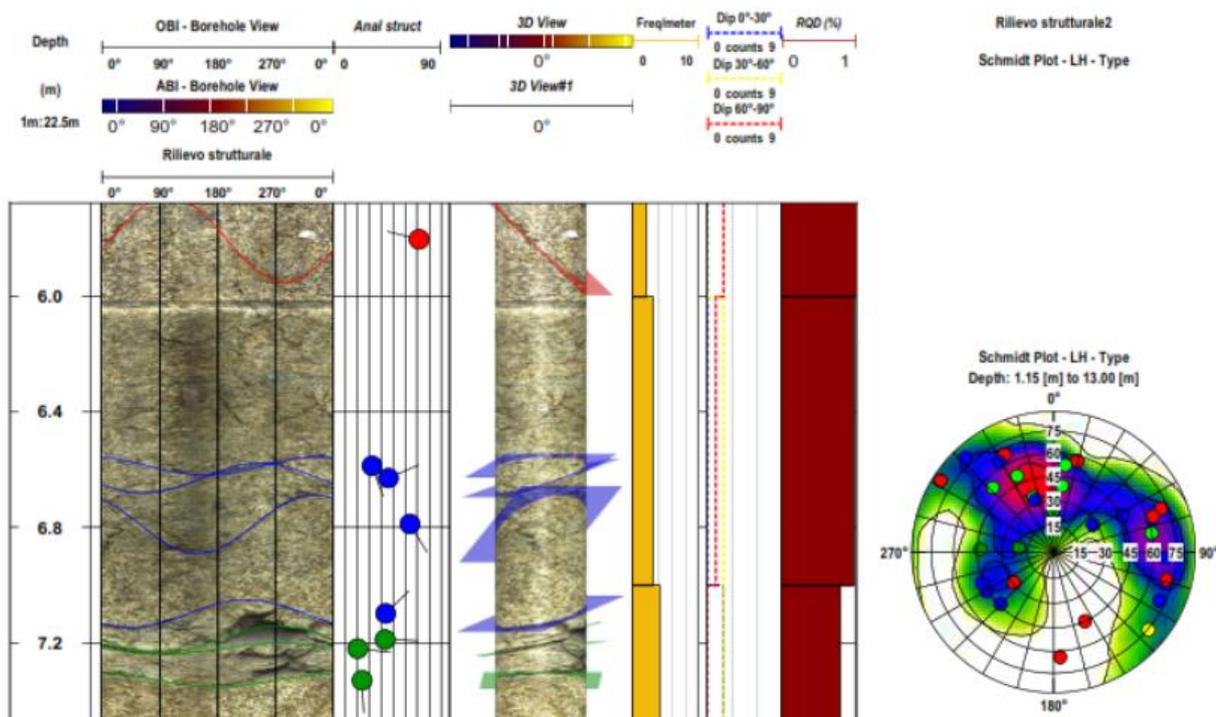


Fig. 11 – restituzione grafica ottenuta mediante log ottico OPTV

La scansione nel foro viene eseguita al fine di rilevare i dati litologici del sito di perforazione (fenditure, inclinazioni degli strati, scistosità ecc.) o per assicurare la qualità dei lavori. I valori di misurazione vengono registrati in tempo reale.

Le strutture possono essere visualizzate su video già durante la scansione sul posto. Il committente riceve poi le immagini originali ad alta risoluzione nonché l'analisi dei dati in formato PDF.

Per la ricognizione mediante scanner ottico, il foro di perforazione deve essere asciutto o riempito con acqua limpida.

Le riprese riproducono in immagini nitidissime e in colori naturali della parete del foro di perforazione. Con l'ausilio della bussola e del sensore inclinometrico integrati si possono così individuare e orientare le strutture senza problemi (con riferimento al nord magnetico). Può essere misurato anche il decorso della perforazione in inclinazione (Dip) e direzione (Azimuth).

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandatario:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST	M Ingegneria		
08 - GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di monitoraggio	IBOU	1BEZZ	RH	GN0000008	C	17 di 28

In caso di presenza d'acqua si dovrà usare il preventer e misurata la portata e la pressione idrostatica.

## 4.2 INDAGINI SISMICHE TSP

Nell'ambito delle indagini in corso di avanzamento viene proposta la metodologia TSP, Tunnel Seismic Prediction, sviluppata da Amberg Technologies AG e positivamente impiegata anche per la galleria del Brennero. L'indagine è mirata alla determinazione di eventuali variazioni di qualità dell'ammasso roccioso, presenza di discontinuità, presenza di faglie oltre il fronte di scavo e offre, rispetto all'esecuzione di perforazioni in avanzamento, la possibilità di una ricostruzione tridimensionale (di estrema importanza in geometrie complesse intersecate dal tunnel) e una grande velocità di esecuzione rispetto ai fermi macchina necessari con le perforazioni.

Il metodo si presenta quindi come metodo predittivo indiretto delle condizioni geologiche in avanzamento senza che sia logisticamente necessario l'accesso diretto al fronte di scavo.

Il metodo si basa sulla tecnologia della geosismica. Il segnale sismico è generato dalla detonazione di 24 punti di sorgente sismica, con cariche di esplosivo inserite in fori appositamente realizzati.

Il segnale sismico viene acquisito (e visualizzato in real time) da 2 coppie di ricevitori, geofoni triassiali, anch'essi inseriti in fori opportunamente predisposti. I geofoni triassiali vengono accoppiati alle pareti dei fori nei quali vengono inseriti mediante opportuni accorgimenti (casing dei sensori - Amberg AG).

I ricevitori provvedono a ricevere il segnale sismico generato dalle detonazioni e riflesso dalle discontinuità presenti nell'ammasso roccioso oltre il fronte di scavo.

Il dato così acquisito viene successivamente processato tramite il software di elaborazione dedicato, al fine di valutare le variazioni dei valori di velocità delle onde di compressione (P), di taglio (S) e conseguentemente i valori del coefficiente di Poisson e di modulo dinamico dei materiali costituenti l'ammasso.

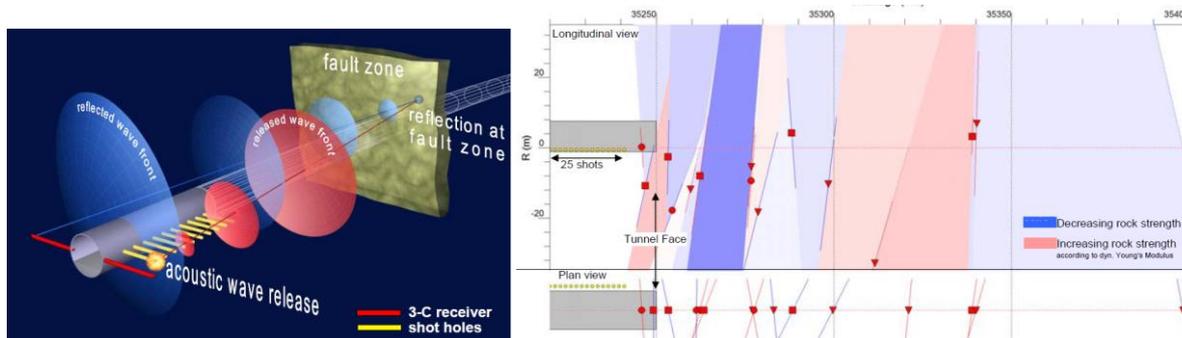


Fig. 12 – schema illustrativo del funzionamento dell'indagine sismica TSP

La capacità di penetrazione dell'indagine può arrivare, in condizioni ottimali, fino ad oltre 150 m anche se, ovviamente, la profondità di indagine e la risoluzione sono delle caratteristiche meccaniche dei materiali costituenti l'ammasso e dei contrasti di impedenza (variazioni di velocità e densità dell'ammasso nel tratto indagato).

Alternativamente alla tecnologia TSP si potrà valutare anche l'utilizzo di una TSPwE, una metodologia di ultima generazione che potrebbe permettere anche un rilevamento in avanzamento in continuità con l'avanzamento dello scavo.

In ogni caso questa tecnica di indagine potrà eventualmente essere accoppiata alle classiche perforazioni in avanzamento per determinate zone definite a priori come critiche (faglia di Val Funes, attraversamento della formazione delle Filladi carboniose, ecc.) o nel caso di segnalazioni dubbie da parte dell'indagine TSP.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione di monitoraggio	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000008	REV. C	FOGLIO. 18 di 28

### 4.3 SONDAGGIO A CAROTAGGIO CONTINUO

Qualora le informazioni ottenute dalle indagini sistematiche in avanzamento e puntuali siano incerte oppure siano necessarie maggiori informazioni, è opportuno procedere all'esecuzione di carotaggi.

I sondaggi a carotaggio possono arrivare ad una distanza massima dal fronte di scavo pari a 30-50 m, con diametro di perforazione 101 mm.



Fig. 13 – profilo geologico di dettaglio ricostruito mediante carotaggio continuo

Le carote estratte, riposte in apposite cassette catalogatrici, vengono analizzate da un geologo esperto che definisce l'RQD e le caratteristiche dei sistemi di discontinuità intercettati. Secondo quanto richiesto dalla DL, si effettueranno prelievi per eseguire in un secondo momento prove di laboratorio in zone già identificate come zone di faglia dal profilo geotecnico di PE.



Fig. 14 – esempio di carote estratte da perforatrice TBM

La DL potrà ulteriormente ordinare l'esecuzione di prove in foro preventive ad esempio agli interventi di consolidamento o di riduzione della permeabilità previsti (down-hole, cross-hole, dilatometriche, idrofratturazione, ecc.).

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandatario:	Mandanti:	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>08 - GALLERIE</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di monitoraggio	IBOU	1BEZZ	RH	GN0000008	C	19 di 28

#### 4.4 MAPPATURA GEOLOGICA DEL FRONTE

In condizioni ordinarie, i geologi eseguiranno con frequenza programmata i rilievi geologici del fronte durante il turno di manutenzione della macchina. Al geologo dovranno essere garantiti 15 min di tempo per effettuare il rilevamento del fronte di scavo.

Per ogni rilievo dovranno essere annotate la progressiva raggiunta dallo scavo, la data, l'ora, il tipo di avanzamento, l'orientazione dell'asse, la sezione di scavo e la copertura.

I rilievi geologici dovranno riportare le seguenti principali informazioni :

- Descrizione litologica e delle condizioni dell' ammasso roccioso;
- Identificazione dei potenziali rischi geologici;
- Condizioni idrogeologiche del fronte;
- Descrizione delle discontinuità;
- Pittogramma del fronte e foto rappresentative;
- Stima del valore di GSI;
- Quantificazione del valore di RMR e dei parametri ad esso associati (RQD, UCS etc);
- Indicazione dei sovrascavi.

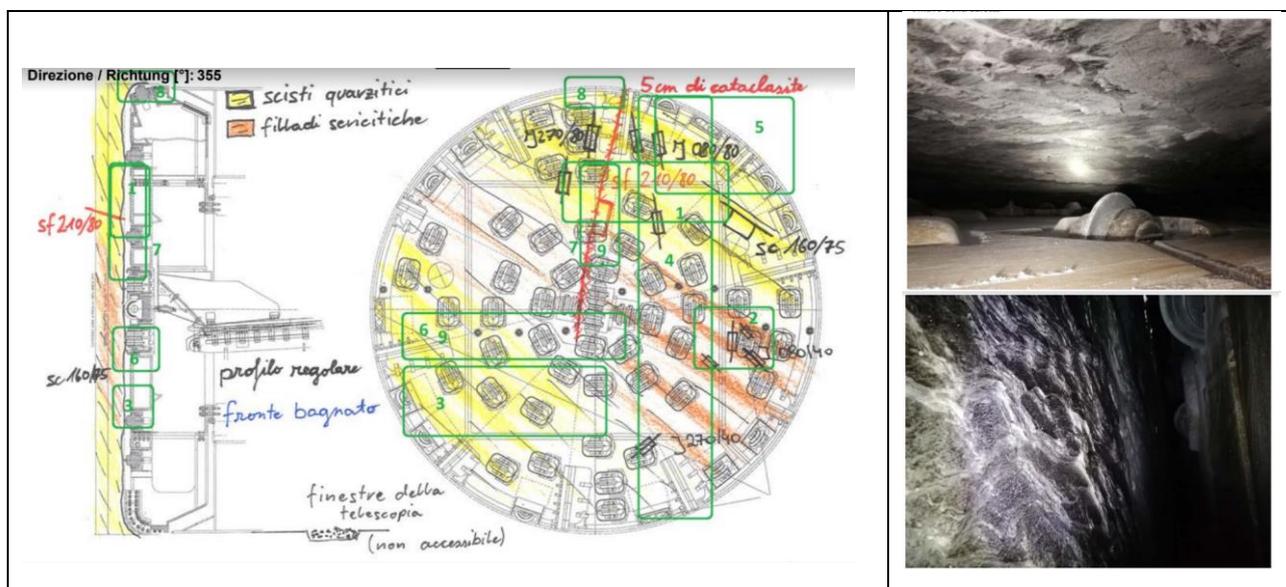


Fig. 15 – esempio di pittogramma geologico del fronte di scavo TBM

Il parametro di resistenza della roccia intatta potrà essere determinato con i seguenti metodi:

- Martello di Schmidt: con un numero significativo di rilievi, in caso di litologia costante;
- Point Load Test su un numero significativo di campioni prelevati al fronte: in caso di rinvenimento di litologie diverse da quelle incontrate in precedenza.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione di monitoraggio	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000008	REV. C	FOGLIO. 20 di 28



Fig. 16 – a) schmidt hammer b) Point Load Test

L' esecuzione di rilievi geologici sarà intensificata laddove sarà necessario ottenere informazioni più dettagliate relativamente a :

- Esecuzione di perforazioni a distruzione di nucleo con rilievo OPTV;
- Esecuzione di perforazioni con carotaggio continuo;
- Esecuzione di consolidamenti e/o trattamenti di impermeabilizzazione;
- Presenza di zone fortemente tettonizzate e/o transizioni litologiche;
- Prossimità con innesti di by-pass da scavare successivamente;
- Zone di interferenza e/o successiva demolizione per la realizzazione di cameroni.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione di monitoraggio	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000008	REV. C	FOGLIO. 21 di 28

#### 4.5 RILIEVI IDROGEOLOGICI E TERMOMETRICI

Quando si intercettino importanti venute d'acqua, queste dovranno essere monitorate fino al loro eventuale esaurimento.

Per ogni venuta d'acqua significativa incontrata durante lo scavo dovranno essere misurati i seguenti parametri:

- Progressiva;
- Portata (l/s);
- Conducibilità ( $\Omega$ s);
- Temperatura ( $^{\circ}$ C);
- pH;

a cui si aggiungerà una campionatura per l'analisi chimica delle acque.

Per il controllo del carico piezometrico al contorno del cavo andranno installati piezometrici elettrici a corda vibrante in 2 perforazioni inclinate di 10-15% verso il basso all'altezza dei piedritti. I piezometri devono essere dotati di:

- trasduttore di pressione a corda vibrante;
- termistore (misura in continuo della temperatura dell'acqua in equilibrio con la roccia).

Il trasduttore ed il termistore dovranno essere installati in foro e collegati al boccaforo tramite cavi per la trasmissione dei dati. La lunghezza dei fori e la posizione della cella di rilevamento dovranno essere decise di volta in volta in base alle effettive condizioni geologiche riscontrate.

La misura della temperatura della roccia in foro è finalizzata da un lato alla definizione del gradiente geotermico regionale e locale, dall'altro all'individuazione di eventuali importanti sistemi idrici ad alta permeabilità in salita o discesa all'interno dell'ammasso in grado di variare sensibilmente la temperatura delle rocce incassanti. I termometri saranno installati ad una distanza minima di 8 m dal cavo in corrispondenza delle stazioni di rilievo idrogeologico.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
<b>08 - GALLERIE</b>		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di monitoraggio		IBOU	1BEZZ	RH	GN0000008	C	22 di 28

## 5. MONITORAGGIO IN CORSO D'OPERA E IN FASE DI ESERCIZIO

### 5.1 METODOLOGIA

La metodologia adottata segue il principio di progettazione "osservazionale", correttamente applicata nel campo dell'ingegneria geotecnica e per le opere in sottterraneo come indicato nella figura seguente.



Fig. 5-1 Diagramma di flusso relativo alla metodologia di progettazione osservazionale

Il sistema di monitoraggio descritto nella presente relazione ha dunque lo scopo di definire gli strumenti ed i parametri significativi per operare il continuo confronto tra il comportamento reale del terreno e delle strutture (nuove e preesistenti) e le ipotesi progettuali.

In particolare, il Piano di Monitoraggio deve consentire:

- la verifica dell'efficacia delle soluzioni progettuali prescelte in ragione della variabilità locale dell'assetto geologico-strutturale, attraverso misure dello stato deformativo e tensionale delle strutture;
  - la misura della situazione deformativa del terreno nella zona d'influenza circostante gli scavi;
  - la verifica della situazione deformativa sui manufatti e strutture presenti nell'area di influenza degli scavi.
- Tutto ciò al fine di avallare le scelte operate e, se necessario, prevenire con sufficiente anticipo le possibili situazioni sfavorevoli effettuando le necessarie modifiche. Per consentire questo è necessario individuare alcuni parametri chiave e definire dei valori di soglia per gli stessi. Al superamento di limiti stabiliti in base alle condizioni previste, vengono quindi associate azioni e contromisure atte a garantire la sicurezza dei lavoratori e delle strutture (presenti o in fase di realizzazione).

Il progetto del sistema di monitoraggio comprende, dunque, i seguenti elementi:

- definizione dei parametri chiave del monitoraggio;
- definizione delle sezioni tipo di monitoraggio e della tipologia di strumentazione da mettere in opera, sia per le strutture che per i manufatti preesistenti;
- localizzazione delle sezioni tipo e dei manufatti cui applicare le strumentazioni;
- definizione della frequenza delle letture;

I controlli ed i monitoraggi saranno eseguiti durante tutta la fase di costruzione dell'opera e sino alla messa in servizio della stessa.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione di monitoraggio	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000008	REV. C	FOGLIO. 23 di 28

## 5.2 DEFINIZIONE DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO

Si prevede l'installazione di un sistema di monitoraggio strumentale in grado di valutare il comportamento degli anelli di rivestimento in conci prefabbricati. In particolare nelle zone di faglia e nelle zone di ammassi scadenti ove previste grandi deformazioni o al di sotto dei sottoattraversamenti si prevede anche una strumentazione finalizzata a monitorare il comportamento deformativo dell'anello di rivestimento e dell'ammasso al contorno del cavo.

La strumentazione predisposta è relativa al controllo dei seguenti parametri:

- carico idraulico a tergo dei rivestimenti
- stato tensionale dei rivestimenti in opera
- deformazione dell'ammasso e del terreno nell'intorno delle gallerie
- in aggiunta a questi elementi vengono inseriti 2 sistemi di arrays per il controllo della pavimentazione stradale (GN07 BD)

A tal fine è stata prevista la messa in opera di:

- N° 64 stazioni di misura dei carichi idraulici a tergo dei rivestimenti, descritta più avanti. Tali stazioni saranno riportate nell'elaborato di riferimento in fase di progettazione esecutiva di dettaglio
- N° 64 stazioni di misura dello stato tensionale, mediante posa di 8 coppie di barrette estensimetriche saldate alle armature e 2 celle di carico posizionate in corrispondenza del giunto longitudinale dei conci. Tali stazioni saranno riportate nell'elaborato di riferimento in fase di progettazione esecutiva di dettaglio
- N° 10 stazioni di monitoraggio delle deformazioni dell'ammasso, mediante l'utilizzo di 3 estensimetri e 4 basi di misura (4/8/12/16m), di cui 2 nella Galleria Scaleres, 6 nella Galleria Gardena, 1 ciascuna per le interconnessioni. Tali stazioni saranno riportate nell'elaborato di riferimento in fase di progettazione esecutiva di dettaglio

Le stazioni di misura sono distribuite lungo l'intero tracciato delle gallerie in questa forma:

- GN01: 31
- GN02: 16
- GN07: 12 (6 su BD e 6 su BP)

Il Progetto Esecutivo prevede per il monitoraggio dello scavo meccanizzato le seguenti attività:

- TRATTA IN ROCCIA
  - Anello strumentato con barrette estensimetriche in prossimità delle zone di faglia e comunque ogni 500 metri
- TRATTA IN TERRENO
  - Punti di misura 3D direttamente sulla superficie dell'asfalto con metodologia reflectorless ;
  - Punti di misura 3D composti da picchetti dotati di target riflettenti (campo aperto adiacente).
  - Array orizzontale di sensori mems per la misura spostamenti 3d ad elevata accuratezza posizionato in corrispondenza della pavimentazione stradale

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione di monitoraggio	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000008	REV. C	FOGLIO. 24 di 28

- Inclinometri in corrispondenza dei pendii interessati dallo scavo

Tutta la strumentazione elencata è da intendersi automatizzata con la possibilità di lettura in remoto in tempo reale in base alla frequenza richiesta.

### 5.3 ANELLO STRUMENTATO CON BARRETTE ESTENSIMETRICHE

È da sottolineare come il piano di monitoraggio è indicativo e dipende, in quanto a frequenze delle letture e dell'installazione di strumentazione, dai risultati delle prospezione e dell'avanzamento dello scavo.

Le misure della deformazione dei singoli conci degli anelli strumentati vanno effettuate mediante estensimetri a corda vibrante saldati alle armature dei conci.

Per ogni sezione di misura vanno strumentati tutti i conci con 2 barrette estensimetriche, delle quali una all'intradosso ed una all'estradosso, trasversalmente rispetto la direzione di scavo al centro del concio.



Fig. 2 – Estensimetri saldati all'armatura e installazione all'intradosso del concio

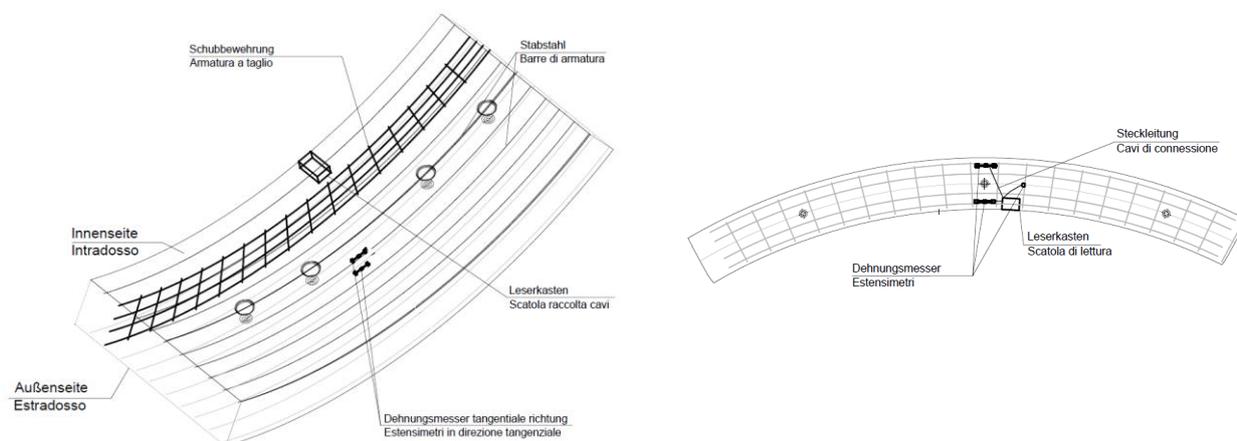


Fig. 3 – schema di posizionamento degli estensimetri

La lettura di "0" degli strumenti va effettuata immediatamente dopo l'installazione. La cadenza delle misure per quanto riguarda le barrette estensimetriche di carico, è quella di seguito elencata:

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione di monitoraggio	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000008	REV. C	FOGLIO. 25 di 28

1 lettura ogni 8 ore, con centralina di acquisizione automatica, per i primi 28 giorni a partire dalla messa in opera del rivestimento definitivo

1 lettura settimanale del 29esimo giorno fino al 90esimo giorno

1 lettura a settimana per i mesi successivi, fino a completa stabilizzazione delle misure, e comunque con un minio di 2 anni, così da poter valutare le possibili escursioni stagionali.

Una volta stabilizzate le misure, si procederà a misure integrative fino alla fine dei lavori secondo quanto stabilito dal capitolato RFI.

Gli anelli strumentati sono previsti in corrispondenza delle zone di faglia o delle zone critiche e sono indicati nei profili geotecnici.

Le sollecitazioni devono essere calcolate a partire dai valori di deformazione restituiti dagli estensimetri e dai valori del modulo di deformazione del calcestruzzo per i valori a compressione e del modulo dell' acciaio per i valori a trazione.

In fase di PED, si potrà optare per sostituire le armature del concio tipo A con fibre metalliche. Per i conci armati con fibre il modulo di deformazione sarà il medesimo sia per i valori di trazione che di compressione. In questo caso gli estensimetri saranno montati su una armatura di pelle per il corretto posizionamento all' interno del concio.

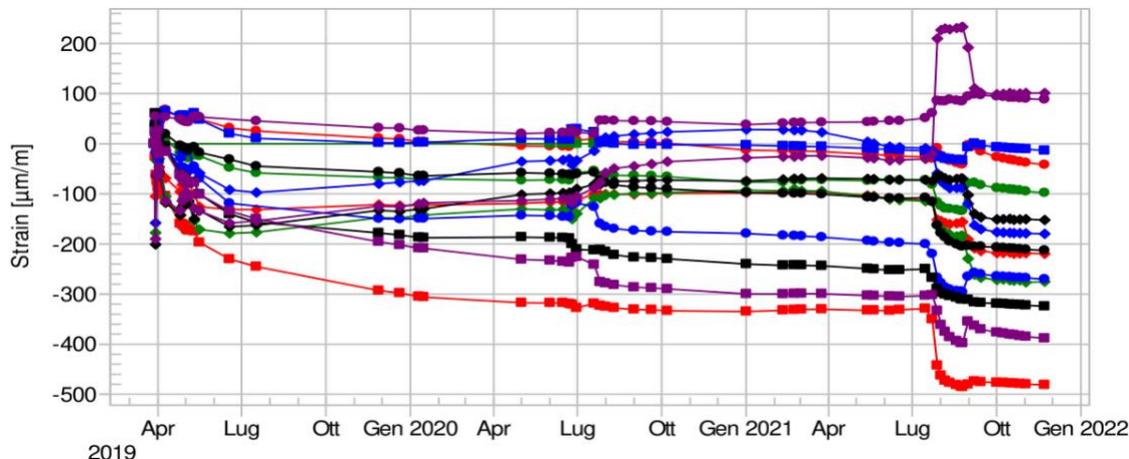


Fig. 4 – valori di micro-deformazione restituiti dalla strumentazione

Laddove richiesto dalla DL potranno essere installati ulteriori anelli strumentati per monitorare in modo più approfondito le zone critiche di interesse, o le zona adiacenti ad intersezioni, by-pass o demolizioni.

#### 5.4 MONITORAGGIO DEL CARICO IDRAULICO

Nel primo caso, si prevede la realizzazione di una perforazione del diametro minimo di 100-110 mm, al fine di installare un tubo da 90 mm attrezzato con un manometro per la misura delle pressioni. La lunghezza del tubo deve essere di 80-90 cm circa, al fine attraversare il concio di rivestimento e l'eventuale miscela di riempimento a tergo, così da essere a contatto con l'ammasso così come riportato nella figura seguente:

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione di monitoraggio	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GN000008</b>	REV. <b>C</b>	FOGLIO. <b>26 di 28</b>

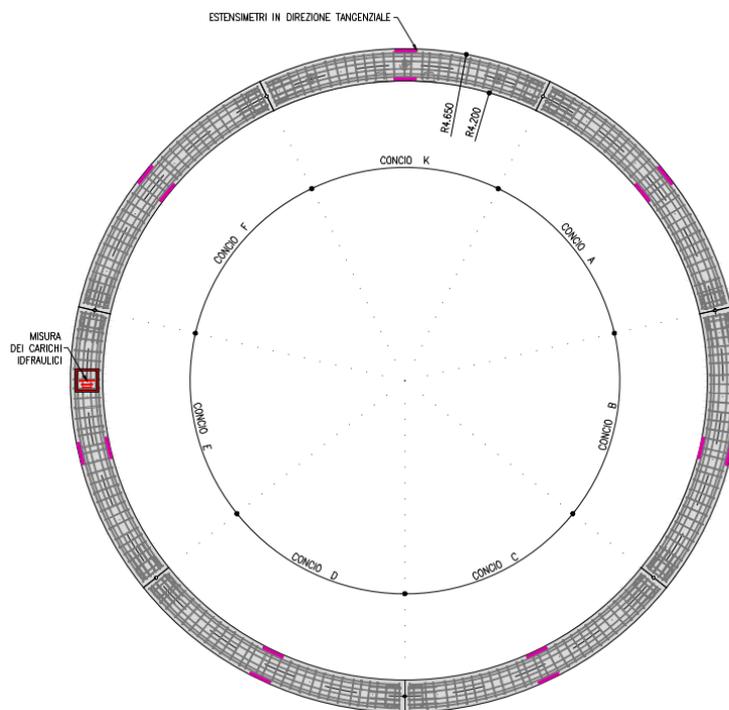


Figura 10-1: Installazione dispositivo misurazione idraulica

La cadenza delle misure per il monitoraggio del carico idraulico è quella di seguito elencata:

- N. 1 lettura alla settimana per i primi 90 giorni dall'installazione;
- N. 1 lettura al mese fino a stabilizzazione dei valori, e comunque con un minimo di 2 anni, così da poter valutare le possibili escursioni stagionali.

Per il carico idraulico a tergo dei concio si considera come valore soglia di allarme una pressione di 8-10 bar, 80-100 m di battente idraulico per gli ammassi sani e, 3-4 bar (30-40 metri di battente idraulico) per gli ammassi in faglia. Valutazione circa le modalità operative del sistema di drenaggio (efficienza dei dreni, intasamento e etc) verranno già eseguiti con carichi dell'ordine di 6 bar per ammassi sani e 2 bar per gli ammassi in faglia.

Misure di intervento in merito al superamento della soglia di tensione nei concio prefabbricati saranno definite alla luce dei valori di monitoraggio riscontrati, attesa la stabilizzazione del dato.

Per quanto riguarda il monitoraggio dei carichi idraulici, al raggiungimento della soglia di attenzione si procederà alla verifica visiva del concio in corrispondenza della strumentazione, valutando tra le altre cose la tenuta delle guarnizioni. Al fine di escludere eventuali errori di misura, si procederà poi al controllo dei carichi idraulici delle sezioni di monitoraggio nelle vicinanze (sezione precedente, sezione successiva, sezioni in corrispondenza della canna opposta). Se il superamento della soglia di attenzione venisse confermato, si procederà al controllo delle ipotesi di calcolo nella sezione in esame, alla stima del carico agente nella sezione (mediante stazioni di monitoraggio per il rivestimento definitivo nelle vicinanze) e verrà incrementata la frequenza di lettura ad 1 lettura al giorno.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
<b>08 - GALLERIE</b>		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di monitoraggio		IBOU	1BEZZ	RH	GN0000008	C	27 di 28

Al superamento della soglia di allarme, verranno invece messi in opera delle azioni correttive, come a titolo puramente esemplificativo, l'installazione di drenaggi aggiuntivi nel settore ove si è registrato il superamento. La tipologia di intervento e l'entità di quest'ultimo verrà decisa a seguito della valutazione del carico, di eventuali considerazioni integrative nonché di eventuali ulteriori analisi numeriche.

## 5.5 MISURE TOPOGRAFICHE

Le misure saranno eseguite in continuo mediante stazioni totali robotizzate comandate da remoto.

I requisiti delle stazioni totali sono:

- Precisione nella misura degli angoli di 0,5"
- Precisione misura della distanza 0,6mm+1ppm
- Velocità di rotazione di 200 gon/sec
- Velocità di misurazione (incluso la trasmissione dei dati) almeno 5 punti/min per la misurazione in un cerchio

Il sistema è concepito, per l'intero campo del rilievo per il monitoraggio dell'autostrada, per un intervallo di misurazione fino a 30 minuti ciascuna; inoltre, in caso di necessità sarà possibile stabilire fino a 20 punti con una priorità più alta, per i quali sarà possibile prevedere un intervallo di misurazione fino a 5 minuti.

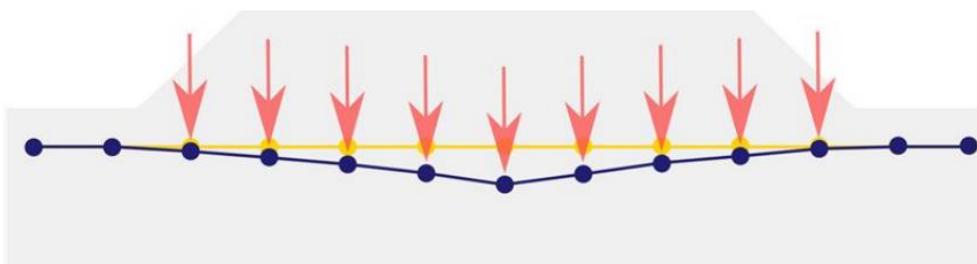
Si prevede l'utilizzo di due tipologie di misura topografiche:

- Sistema reflectorless che misura i cedimenti dell'asfalto senza impiegare alcun riflettore, garantendo in questo modo una migliore continuità delle misure grazie all'assenza di elementi soggetti a danneggiamento.
- Prismi/target riflettenti installati su bulloni di misurazione speciali in modo da garantire che la visuale non venga ostacolata né dalle barriere di sicurezza né dalla vegetazione nello spartitraffico dell'autostrada

## 5.6 ARRAY DI SENSORI MEMS ORIZZONTALI

Per incrementare la sicurezza e l'accuratezza delle misure, sono previsti 4 array orizzontali di sensori MEMS (Micro Electro-Mechanical Systems) per la misura di spostamenti 3D in corrispondenza della pavimentazione stradale.

Considerando l'estensione del bacino di subsidenza, e la necessità di misurare la distorsione angolare della pavimentazione stradale, sono previsti array di lunghezza 60 metri con un interasse dei sensori pari a 5 metri.



APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione di monitoraggio	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000008	REV. C	FOGLIO. 28 di 28

Fig. 5 – schema rappresentativo del funzionamento dell' array MEMS

Lo scavo meccanizzato prevede una velocità di avanzamento molto più elevata rispetto allo scavo in tradizionale e pertanto si rende necessario un sistema di monitoraggio altrettanto rapido, che permetta di intervenire tempestivamente nel mettere in campo le contromisure previste.

## 6. CONCLUSIONI

Nel presente documento sono state illustrate le principali indagini e prospezioni previste per lo scavo meccanizzato in roccia della Galleria Scaleres e Gardena/Interconnessioni.

Sono state definite le attività da condurre in modo sistematico durante l' avanzamento della TBM e le attività di indagine da condurre puntualmente, in prossimità di transizioni litologiche e zone altamente tettonizzate.

Infine è stato mostrato il monitoraggio previsto per il rivestimento definitivo realizzato con anelli di conci prefabbricati, composto principalmente da barrette estensimetriche per la zona in roccia.