

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:



MANDANTI:



IL DIRETTORE DELLA PROGETTAZIONE:

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROV. DI TRENTO
Ing. 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

D - GALLERIA SCALERES

Imbocco Nord

Imbocco Nord - Relazione monitoraggio delle opere di imbocco

APPALTATORE		SCALA:
IL DIRETTORE TECNICO 		-

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
I B O U	1 B	E	Z Z	R H	G A 0 1 0 0	0 0 2	C

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione	S.Spinello	12/01/2022	A.Valente	13/01/2022	D.Buttafoco	14/01/2022	IL PROGETTISTA A.Polli 09/03/2023
B	Emissione per indicazione Committenza	B. Fiorentino	18/07/2022	A.Valente	19/07/2022	D.Buttafoco	20/07/2022	
C	Emissione per indicazione Committenza	B. Fiorentino	25/02/2023	A.Valente	26/02/2023	D.Buttafoco	27/02/2023	

File: IB0U1BEZZRHGA0100002C.docx

n. Elab.: 1

APPALDATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Imbocco Nord - Relazione monitoraggio delle opere di imbocco	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GA0100002	REV. C	FOGLIO. 1 di 26

SOMMARIO

1. PREMESSA	3
2. MONITORAGGIO	4
2.1 MONITORAGGIO SUPERFICIALE ESTERNO	4
2.2 MONITORAGGIO DELLE PARETI CHIODATE.....	4
2.3 MONITORAGGIO DELL'OPERA DI SOSTEGNO.....	6
2.4 MONITORAGGIO IN GALLERIA.....	6
3. SPECIFICHE TECNICHE: STRUMENTAZIONE DI MONITORAGGIO	8
3.1 MONITORAGGIO SUPERFICIALE ESTERNO	8
3.1.1 Capisaldi topografici.....	8
3.1.2 Inclinometri	8
3.1.3 Estensimetri multibase.....	9
3.1.4 Frequenze di lettura.....	10
3.2 MONITORAGGIO DELLE PARETI CHIODATE.....	11
3.2.1 Mire ottiche.....	11
3.2.2 Celle di carico delle chiodature	12
3.2.3 Fessurimetri.....	13
3.3 MONITORAGGIO DELL'OPERA DI SOSTEGNO:.....	14
3.3.1 Mire ottiche.....	14
3.4 MONITORAGGIO IN GALLERIA.....	15
3.4.1 Misure di convergenza a cinque punti	15
3.4.2 Misura dello stato tensionale con barrette estensimetriche e celle di carico	16
3.4.3 Barrette estensimetriche a corda vibrante entro il rivestimento definitivo	18
4. VALORI DI SOGLIA	20
4.1 DEFINIZIONE DEI VALORI SOGLIA	20
4.2 QUANTIFICAZIONE DEI VALORI DI SOGLIA	20
4.2.1 Monitoraggio di superficie	20
4.2.2 Monitoraggio pareti chiodate	21
4.2.3 Monitoraggio opera di sostegno	21
4.2.4 Monitoraggio in galleria	22

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Imbocco Nord - Relazione monitoraggio delle opere di imbocco	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GA0100002	REV. C	FOGLIO. 2 di 26

5.	GESTIONE DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO	23
5.1	ELABORAZIONE DATI.....	23
5.2	PIATTAFORMA WEB – GIS PER VISUALIZZAZIONE E RACCOLTA DATI DI MONITORAGGIO	23
5.3	GESTIONE DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO	23
5.4	UNITÀ OPERATIVA	24
5.5	MODALITÀ DI ACQUISIZIONE ELABORAZIONE E TRASMISSIONE DEI DATI	24
5.6	MONITORAGGIO TOPOGRAFICO DI SUPERFICIE	25
5.7	MONITORAGGIO GEOTECNICO	25

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Imbocco Nord - Relazione monitoraggio delle opere di imbocco	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GA0100002	REV. C	FOGLIO. 3 di 26

1. PREMESSA

Nell'ambito della Progettazione Esecutiva della linea ferroviaria Fortezza – Ponte Gardena Lotto 1 – Galleria Scaleres, relazione descrive il piano di monitoraggio che dovrà essere posto in opera per le opere di imbocco Nord della galleria naturale Scaleres.

La galleria Scaleres ricade nei territori comunali di Fortezza, Varna, Bressanone, Velturmo, l'imbocco Nord è situato nella Valle dell'Isarco in sponda destra del Fiume in località Fortezza.

Il pendio è interamente costituito da litotipi appartenenti alla formazione denominata "Granito di Bressanone" con accentuata acclività (mediamente 45-50°). Il substrato roccioso granitico si presenta generalmente con ridotte coperture, talvolta con roccia alterata affiorante ed è caratterizzato da una porzione superficiale a maggior fratturazione ed alterazione con aumento progressivo delle caratteristiche geomeccaniche con la profondità. Al piede del pendio è presente detrito di falda derivante dal disfacimento della roccia in posto di spessore variabile.

Nel seguito, sono presentate le architetture del sistema di monitoraggio con riferimento agli interventi da realizzarsi in superficie e sulle opere di imbocco nonché le specifiche tecniche della strumentazione da utilizzare.

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Imbocco Nord - Relazione monitoraggio delle opere di imbocco	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GA0100002	REV. C	FOGLIO. 4 di 26

2. MONITORAGGIO

Il sistema di monitoraggio dell'Imbocco Nord della Galleria Scaleres è composto dai seguenti elementi:

- Monitoraggio superficiale esterno: verifica del comportamento del pendio indotto dallo scavo della galleria naturale, si veda il Par. 2.1;
- Monitoraggio dei fronti di scavo in roccia: verifica del comportamento delle pareti chiodate di monte, si veda il Par. 2.2;
- Monitoraggio dell'opera di sostegno: verifica delle componenti deformative della berlinese perimetrale, si veda il Par. 2.3.
- Monitoraggio in galleria: verifica, limitatamente al concio d'attacco, del comportamento del rivestimento provvisorio e di quello definitivo, si veda il Par. 2.4.

2.1 MONITORAGGIO SUPERFICIALE ESTERNO

Al fine di verificare il comportamento tenso-deformativo del terreno indotto dallo scavo delle due canne della Galleria Scaleres, il monitoraggio superficiale è caratterizzato dalle seguenti sezioni strumentate tipo:

- sezioni topografiche;
- sezioni complete tipo 1.

La sezione topografica, predisposte per il monitoraggio dei cedimenti superficiali e del volume di subsidenza, sono costituite da capisaldi topografici posti sul piano campagna. Il passo tra i punti di rilievo è stabilito in funzione della curva di subsidenza, come illustrato negli elaborati grafici.

Sono previste una sezione topografica posta alla pk 0+540.00 ed una sezione completa tipo 1 posta alla pk 0+558.50, tale da garantire la copertura minima di 15m da estradosso gallerie.

Le sezioni complete tipo 1 prevedono, in aggiunta alle topografiche:

- tre inclinometri, di cui due posti ai lati delle due canne e uno in mezzo ad esse, spinti fino ad una profondità di almeno 5 m sotto l'arco rovescio
- un estensimetro multibase, posto in chiave calotta del binario pari, allo scopo di monitorare il comportamento dell'ammasso in funzione anche della acclività del terreno.

La quota assoluta della testa degli strumenti dovrà essere rilevata mediante livellazione di precisione con frequenza minima da stabilire.

Le sezioni strumentate sono caratterizzate da coperture variabili da un minimo di 5 m, in corrispondenza dell'imbocco della galleria naturale, fino a circa 18 m.

2.2 MONITORAGGIO DELLE PARETI CHIODATE

Al fine di monitorare le componenti di spostamento delle pareti di scavo in roccia, si prevede la realizzazione di un monitoraggio topografico con:

- n. 1 mira ottica a quota +756 m slm nel tratto 06-05b;

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Imbocco Nord - Relazione monitoraggio delle opere di imbocco	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GA0100002	REV. C	FOGLIO. 5 di 26

- n. 1 mira ottica a quota +752 m slm nel tratto 06-05b;
- n. 1 mira ottica a quota +748 m slm nel tratto 06-05b;
- n. 3 mire ottiche a quota +756 m slm nel tratto 05a-04b;
- n. 1 mira ottica a quota +752 m slm nel tratto 05a-04b;
- n. 1 mira ottica a quota +748 m slm nel tratto 05a-04b;
- n. 2 mire ottiche a quota +756 m slm nel tratto 04a-03b;
- n. 3 mire ottiche a quota +752 m slm nel tratto 04a-03b;
- n. 1 mira ottica a quota +760.89 m slm nel tratto 03a-02b;
- n. 2 mire ottiche a quota +756.89 m slm nel tratto 03a-02b;
- n. 3 mire ottiche a quota +752.89 m slm nel tratto 03a-02b;
- n. 2 mire ottiche a quota +748.90 m slm nel tratto 03a-02b;
- n. 1 mira ottica a quota +760.89 m slm nel tratto 02a-01;
- n. 2 mire ottiche a quota +756.89 m slm nel tratto 02a-01;
- n. 1 mira ottica a quota +752.90 m slm nel tratto 02a-01;
- n. 2 mire ottiche a quota +752.26 m slm nel tratto 02a-01;
- n. 1 mira ottica a quota +748.90 m slm nel tratto 02a-01;
- n. 3 mire ottiche a quota +748.26 m slm nel tratto 02a-01;

Per un totale di 31 mire disposte come riportato sugli elaborati progettuali.

Si prevede inoltre l'installazione di celle di carico per i chiodi:

- n. 2 sulla parete 05a-04b;
- n. 2 sulla parete 04a-03b;
- n. 2 sulla parete 03a-02b;
- n. 3 sulla parete 02a-01.

Per un totale di 9 celle di carico disposte come riportato sugli elaborati progettuali.

Si prevede infine l'installazione di fessurimetri meccanici monodirezionali:

- n. 1 fessurimetro a quota +758.00 m slm nel tratto 05a-04b;
- n. 1 fessurimetro a quota +752.00 m slm nel tratto 05a-04b;
- n. 1 fessurimetro a quota +758.00 m slm nel tratto 04a-03b;
- n. 1 fessurimetro a quota +752.00 m slm nel tratto 04a-03b;
- n. 1 fessurimetro a quota +758.89 m slm nel tratto 03a-02b;
- n. 1 fessurimetro a quota +755.89 m slm nel tratto 03a-02b;
- n. 1 fessurimetro a quota +758.27 m slm nel tratto 02a-01;

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Imbocco Nord - Relazione monitoraggio delle opere di imbocco	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GA0100002	REV. C	FOGLIO. 6 di 26

- n. 2 fessurimetri a quota +752.26 m slm nel tratto 02a-01;
- n. 2 fessurimetri a quota +748.26 m slm nel tratto 02a-01.

Per un totale di 11 fessurimetri disposti come riportato sugli elaborati progettuali.

2.3 MONITORAGGIO DELL'OPERA DI SOSTEGNO

Al fine di misurare le componenti di spostamento indotte sull'opera di sostegno presente all'Imbocco Nord della Galleria Scaleres, si prevede la realizzazione di un monitoraggio topografico con:

- n. 2 mire ottiche sulla trave di coronamento della berlinese del tratto A-B;
- n. 2 mire ottiche sul fronte della berlinese del tratto A-B, a 2.7m da testa cordolo;
- n. 5 mire ottiche sulla trave di coronamento della berlinese del tratto B-C;
- n. 5 mire ottiche sul fronte della berlinese del tratto B-C, a 2.7m da testa cordolo;
- n. 1 mira ottica sulla trave di coronamento della berlinese del tratto D-E;
- n. 1 mira ottica sul fronte della berlinese del tratto D-E, a 2.7m da testa cordolo.

Per un totale di n. 16 mire disposte come riportato sugli elaborati progettuali.

2.4 MONITORAGGIO IN GALLERIA

Lo scopo del monitoraggio del concio d'attacco è quello di tenere sotto controllo l'evolversi della risposta tenso-deformativa dell'ammasso allo scavo e di verificare la corrispondenza tra il comportamento reale delle strutture in fase di realizzazione ed il comportamento ipotizzato nelle varie fasi progettuali.

Il sistema di monitoraggio è stato progettato in modo da poter fornire, nel modo più completo e rapido possibile, tutti gli elementi necessari ad effettuare un'analisi della situazione in corso d'opera e della sua possibile evoluzione, finalizzata alla definizione di eventuali azioni correttive (intensificazione delle misure, installazione di ulteriore strumentazione, interventi sulle fasi esecutive, modalità di avanzamento, etc.) mirate ad evitare il manifestarsi di situazioni di pericolo.

Per valutare il comportamento tenso-deformativo dell'ammasso durante lo scavo e gli effetti dello scavo della prima canna sulla seconda si prevede l'installazione di:

- strumentazione impiegata per il monitoraggio della fase di scavo e del terreno:
 - misure di convergenza a cinque punti;
- strumentazione impiegata per il monitoraggio del priverivestimento:
 - stazioni di misura dello stato tensionale del priverivestimento con celle di carico e barrette estensimetriche;
- strumentazione impiegata per il monitoraggio del rivestimento definitivo:
 - barrette estensimetriche a corda vibrante del rivestimento definitivo;

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO												
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria													
08 - GALLERIE Imbocco Nord - Relazione monitoraggio delle opere di imbocco	<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>GA0100002</td> <td>C</td> <td>7 di 26</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	RH	GA0100002	C	7 di 26
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.								
IBOU	1BEZZ	RH	GA0100002	C	7 di 26								

In particolare, come indicato sugli elaborati progettuali si prevede:

- n.2 sezione tipo 1: sezione per il controllo della convergenza, composta da 5 mire ottiche;
- n.1 sezione tipo 4: sezione di controllo del rivestimento di prima fase, composta da 5 coppie di barrette estensimetriche e 2 celle di pressione;
- n.1 sezione tipo 5: sezione di controllo del rivestimento definitivo, composta da 6 coppie di barrette estensimetriche.

La posizione delle suddette sezioni di monitoraggio è indicata nella planimetria dell'intervento.

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Imbocco Nord - Relazione monitoraggio delle opere di imbocco	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GA0100002	REV. C	FOGLIO. 8 di 26

3. SPECIFICHE TECNICHE: STRUMENTAZIONE DI MONITORAGGIO

Si riportano di seguito la descrizione degli strumenti utilizzati per il monitoraggio dall'esterno delle gallerie di progetto e le relative specifiche tecniche.

3.1 MONITORAGGIO SUPERFICIALE ESTERNO

Si prevede l'installazione dei seguenti strumenti:

- Capisaldi topografici per la misura dei cedimenti in superficie;
- Inclinometri per la valutazione della distribuzione degli spostamenti orizzontali con la profondità e l'individuazione della posizione di un potenziale piano di scivolamento lungo il pendio;
- Estensimetri multibase per la valutazione della deformazione assiale in asse alla galleria.

3.1.1 Capisaldi topografici

Il monitoraggio topografico con capisaldi consente il controllo plano-altimetrico dell'area superficiale del pendio potenzialmente interessata dai cedimenti.

È il sistema più semplice e veloce per monitorare gli spostamenti di punti facilmente accessibili e quindi monitorabili in modo discontinuo.

I capisaldi sono costituiti da barre cementate in pozzetti aventi testa sferica, su cui può essere montata a scadenze prestabilite l'attrezzatura per il rilievo delle quote del punto in riferimento alla costruzione o alla realizzazione di un'opera.

Le mire ottiche sono installate sul piano campagna lungo sezioni trasversali all'asse della galleria. Per la sezione topografica strumentata sono previste 10 mire, disposte con passo 4.1 m sopra alle due canne e passo 5.0 m spostandosi verso monte. Anche per la sezione completa tipo 1 sono previste 10 mire, disposte con il medesimo passo della sezione topografica.

Le letture saranno effettuate manualmente, con cadenza dipendente dalla distanza della strumentazione dal fronte.

3.1.2 Inclinometri

Nelle sezioni complete tipo 1 i tubi inclinometrici sono disposti in numero di 3 secondo la distribuzione indicata negli elaborati grafici. I tubi, di diametro esterno 71 mm e diametro interno 60 mm, saranno dotati di apposito tappo di fondo e chiusino di superficie per poter permettere le letture manuali nel tempo secondo quanto stabilito dall'apposito piano.

La sonda inclinometrica sarà composta da un corpo in acciaio inossidabile munito di due coppie di rotelle a bilanciere con interasse di 500 mm e connettore subacqueo per collegamento al cavo operativo.

Le caratteristiche della sonda sono riepilogate di seguito:

- Sensore: biassiale a servo-accelerometri

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandataria:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Imbocco Nord - Relazione monitoraggio delle opere di imbocco	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GA0100002	REV. C	FOGLIO. 9 di 26

- Campo di misura: $\pm 30^\circ$
- Segnale in uscita: $\pm 5V @ FS$
- Tensione di alimentazione: da ± 12.5 a $\pm 15V DC$
- Risoluzione: 0.01mm su 500mm (equivalente a 2×10^{-5} rad)
- Precisione (linearità + isteresi): 0.02% FS
- Ripetibilità: 0.01% FS
- Temperatura di esercizio: $-20^\circ C$ $+70^\circ C$
- Materiale: acciaio inox
- Diametro corpo sonda: 28mm
- Lunghezza (senza connettori): 750mm
- Distanza fra i carrelli: 500mm
- Peso: 2.0 kg

Il cavo inclinometrico sarà del tipo a 6 poli, rinforzato da fune in acciaio, marcato ogni 50cm, completo di connettore subacqueo e rullo avvolgicavo in PVC con supporto in acciaio tubolare.

L'acquisizione dei dati e la registrazione degli stessi sarà effettuata mediante apposito datalogger dotato di software di elaborazione dati che fornisce le seguenti elaborazioni grafiche dei dati inclinometrici:

- deformata reale del tubo inclinometrico.
- andamento della deformata riferito alla prima misura effettuata (misura di zero).
- spostamenti di ogni punto di misura riferiti alla misura di zero.
- andamento della deformazione di un dato punto di misura nel tempo.

Le letture saranno effettuate manualmente, con cadenza dipendente dalla distanza della strumentazione dal fronte.

3.1.3 Estensimetri multibase

Gli estensimetri multibase sono strumenti che vengono installati in foro per monitorare la variazione di distanza tra due o più punti lungo l'asse del foro stesso.

La posizione dei punti di misura è determinata rispetto alla posizione di un punto di riferimento fisso, ottenendo conseguentemente lo spostamento assoluto. La distanza tra la superficie del collare posizionato a boccaforo e il punto fisso può essere misurata utilizzando un trasduttore sia meccanico che elettrico. Il sistema MPBX (Multi Point Base Extensometers) è utilizzato per monitorare la deformazione assiale di un foro appropriatamente orientato a seconda dell'informazione voluta e delle condizioni del mezzo da monitorare. In foro possono essere utilizzate barre in luogo di cavi, che sono semplici e più facili da installare.

Caratteristiche sensori

- Numero di basi: da 4 a 5

APPALTATORE: webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Imbocco Nord - Relazione monitoraggio delle opere di imbocco	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GA0100002	REV. C	FOGLIO. 10 di 26

- Testa di misura: ϕ 120 mm
- Aste di misura: acciaio inox
- Calibro digitale: campo di misura da 0 a 200 mm – risoluzione 0.01 mm

E' prevista l'installazione di 1 estensimetro multibase nella sezione strumentata tipo 1. Le letture saranno effettuate manualmente, con cadenza dipendente dalla distanza della strumentazione dal fronte.

3.1.4 Frequenze di lettura

Gli strumenti di misura dovranno esser installati molto tempo prima che il fronte raggiunga gli stessi.

La lettura di zero, condizione indisturbata, dovrà essere effettuata non appena lo strumento non risentirà più degli effetti delle operazioni di installazione.

Oltre alla lettura di zero, si effettueranno altre serie di rilievi e letture complete per tutti gli strumenti della sezione di monitoraggio secondo la frequenza delle successive sessioni di rilievo riportata nella tabella riassuntiva seguente.

MONITORAGGIO TOPOGRAFICO DI SUPERFICIE		
Strumentazione	Distanza dal fronte della sezione di monitoraggio	Frequenza dei rilievi
Capisaldi topografici sul P.C. Estensimetri multibase Inclinometri	Tra -20 e +40 m	1 volta al giorno
	> + 40 m e <60 m	Una volta la settimana. Se l'andamento delle misure nel tempo non è asintotico, si continuerà con la frequenza di una volta al giorno fino alla stabilizzazione della misure.
	>60	Una volta ogni 15 giorni per i primi 3 mesi, poi una volta ogni 3 mesi fino alla fine dei lavori.
	Nel caso di superamento delle soglie	Le frequenze dovranno avvenire secondo le indicazioni della Direzione Lavori.

Fig. 1 – Frequenze del monitoraggio topografico di superficie

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Imbocco Nord - Relazione monitoraggio delle opere di imbocco	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GA0100002	REV. C	FOGLIO. 11 di 26

3.2 MONITORAGGIO DELLE PARETI CHIODATE

3.2.1 Mire ottiche

3.2.1.1. Attrezzatura

Le mire ottiche saranno installate sulle pareti chiodate come indicato al Par. 2.2 e negli elaborati progettuali. I chiodi saranno scelti tra i modelli presenti sul mercato in modo tale da garantire un perfetto accoppiamento della testa chiodo con il supporto del prisma ottico successivamente utilizzato per le misure di precisione.

3.2.1.2. Modalità d'installazione

L'installazione dei chiodi di misura topografica dovrà essere realizzata secondo la seguente procedura:

- Tracciamento topografico delle posizioni di installazione;
- Realizzazione del foro di alloggiamento del chiodo di diametro adeguato;
- Infissione e sigillatura del chiodo nel foro precedentemente realizzato.

Al termine delle operazioni di posa potrà essere realizzata la prima livellazione topografica di riferimento per i successivi rilievi (lettura di zero). Il caposaldo di riferimento dovrà essere in posizione tale per cui eventuali cedimenti siano minimi e controllabili topograficamente con altri riferimenti certi.

I riferimenti dovranno essere installati ad ogni scavo di ribasso e prima dell'esecuzione del successivo.

3.2.1.3. Sistema di acquisizione dati

I riferimenti così installati dovranno fornire gli spostamenti assoluti di ciascuna mira nelle tre componenti: abbassamenti, spostamenti N e spostamenti E.

Le misure devono essere effettuate con stazione totale, strumentazione che permette sia la misura di angoli che di distanze. È preferibile l'utilizzo di stazione totale automatizzata al fine di mantenere un'elevata precisione di collimazione indipendentemente dall'operatore. La stazione totale dovrà essere posizionata su apposito master da realizzarsi in posizione frontale rispetto all'area d'imbocco al fine di avere una buona visibilità di tutta l'area oggetto di monitoraggio.

Il sistema di acquisizione dati è costituito da una stazione totale topografica con possibilità di connettività WiFi dotata di distanziometro elettronico. Sarà realizzato in posizione idonea un pilastro in c.a. dotato di piastra di ancoraggio ove si posizionerà lo strumento per effettuare il rilievo topografico. La messa in stazione del teodolite avverrà utilizzando il metodo della stazione libera riferita a capisaldi di coordinate note. A tal fine saranno identificati almeno 4 capisaldi posizionati in siti stabili e geometricamente ben distribuiti. Il rilievo avverrà in maniera automatica attraverso l'utilizzo di un opportuno software installato sulla stazione totale (on-board).

3.2.1.4. Frequenza dei rilevamenti

Le letture possono essere effettuate in continuo tramite centralina automatica ogni 24 ore. Eventuali ulteriori letture potranno essere previste, in funzione degli spostamenti registrati durante le letture precedenti.

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Imbocco Nord - Relazione monitoraggio delle opere di imbocco	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GA0100002	REV. C	FOGLIO. 12 di 26

3.2.2 Celle di carico delle chiodature

Le celle di carico devono essere disposte in testa ad alcuni chiodi con lo scopo di misurare i carichi trasmessi e l'evoluzione degli stessi nel tempo e col proseguire delle lavorazioni. Le celle devono essere dotate di target ottici per la misura degli spostamenti che eventualmente potranno subire. Si prevede l'impiego di celle di carico idrauliche di forma toroidale con camera di pressione, manometro per la lettura del carico e piastra di distribuzione in acciaio per garantire una omogenea ripartizione del carico.

3.2.2.1. Attrezzatura

Le caratteristiche delle celle sono riepilogate di seguito:

- Corpo in acciaio inox di forma toroidale sensibilizzato con strain-gauge di tipo resistivo in numero variabile ma dimensionati in modo tale da garantire una minore sensibilità ai carichi eccentrici, collegati in modo da permettere l'acquisizione dati su un unico canale di misura 4- 20 mA.
- Una piastra circolare in acciaio che permette una omogenea ripartizione del carico del tirante sulla camera di pressione della cella;
- Un cavo elettrico di opportune caratteristiche che realizzi il collegamento dello strumento all'unità di lettura
- Un sistema di misura della pressione con manometro che legge direttamente in kN.

Sotto carico la cella toroidale subisce una deformazione che viene rilevata dagli estensimetri, i quali variando il loro valore di resistenza generano in uscita un segnale elettrico proporzionale al carico applicato.

Le principali caratteristiche tecniche delle celle di carico per bulloni strumentati sono le seguenti:

- Campo di misura, 0 ÷ 600 kN
- Sovraccarico ammissibile, 150 % f.s.
- Segnali in uscita, 4 ÷ 20 mA
- Precisione globale, < 0.5 % f.s.
- Deriva termica di zero, < 0.01 % f.s./°C
- Campo di temperatura, -10 ÷ +50 °C

3.2.2.2. Modalità di posa in opera

Le celle vanno inserite nel punto di rilevamento del carico ponendo particolare cura affinché le due superfici d'appoggio della cella risultino piane e non deformabili, così che il carico sia trasferito correttamente alla cella.

La superficie di contatto cella – piastra di ripartizione deve essere perfettamente piana e per garantire una sufficiente rigidità è necessario che la cella di carico appoggi su una piastra d'acciaio di spessore opportuno e di diametro superiore a quello della cella. Analogamente, sull'altra superficie della cella, per le stesse ragioni, viene installata una piastra di acciaio che garantisca una migliore ripartizione del carico.

Lo strumento sarà installato con la seguente procedura:

- Spianare e lisciare la superficie di contatto all'interno del foro predisposto per il chiodo da strumentare, scalpellando le asperità maggiori;
- Appoggiare la cella di carico alla superficie predisposta ed installare la piastra di distribuzione;

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Imbocco Nord - Relazione monitoraggio delle opere di imbocco	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GA0100002	REV. C	FOGLIO. 13 di 26

- Collegare lo strumento alla centralina.

In aggiunta alle suddette celle di carico, andrà installata una cella termometrica, per la misura delle variazioni di temperatura dell'aria.

3.2.2.3. Frequenza rilevamenti

Le celle di carico sono lette in automatico e quindi permettono l'acquisizione con cadenza costante e frequente. In particolare, si dovrà predisporre il sistema di acquisizione dati con la seguente frequenza dei rilevamenti:

- letture ogni 6 ore (con centralina di acquisizione automatica) per i primi 3 mesi successivi all'installazione.
- letture ogni 12 ore (con centralina di acquisizione automatica) a regime.

Contemporaneamente alle letture dei carichi si dovranno eseguire le misure con cella termometrica.

3.2.2.4. Restituzione dati

I dati misurati saranno restituiti in forma di tabella e con i seguenti diagrammi:

- Variazioni di carico rispetto al tempo;
- Variazioni di carico rispetto alla temperatura

3.2.3 Fessurimetri

3.2.3.1. Attrezzatura

Il fessurimetro elettrico è costituito da un contenitore cilindrico reso stagno, per l'alloggiamento del trasduttore di spostamento, all'estremità dello strumento sono posizionati i due ancoraggi per il fissaggio ai lati della frattura o del giunto. I fessurimetri sono disponibili nella versione elettrica con trasduttore potenziometrico e a corda vibrante, con differenti campi di misura per soddisfare qualsiasi esigenza. La resistenza elettrica del trasduttore relativamente bassa permette una buona insensibilità a disturbi e rumori elettrici esterni anche su medie distanze. Lo strumento può essere fornito di un convertitore 4-20 mA con morsettiera e minibox. L'uscita dati in mm può essere misurata tramite una centralina portatile manuale oppure tramite datalogger.

3.2.3.2. Modalità di installazione

Lo strumento viene fornito preassemblato, per cui l'installazione richiede semplici operazioni. Eseguiti i fori e fissati i tasselli, lo strumento risulta installato. È necessario effettuare una lettura di controllo per valutare l'opportunità di regolare la posizione iniziale dell'astina del trasduttore in modo da ottenere una misura di riferimento prestabilita. La possibilità di regolazione è particolarmente utile in esercizio quando si è prossimi al fondo scala inferiore o superiore. In tali situazioni, si potrà riprendere la posizione per riportarla nel campo centrale di misura.

3.2.3.3. Specifiche tecniche

Specifiche tecniche fessurimetri elettrici:

- Campo di misura: 50, 100 mm;
- Non linearità: +/- 0.1% del F.S.

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Imbocco Nord - Relazione monitoraggio delle opere di imbocco	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GA0100002	REV. C	FOGLIO. 14 di 26

- Precisione totale: <0.3% del F.S.
- Temperatura di funzionamento: da -20°C a +60°C
- Segnale in uscita: mv/V – 4-20 mA
- Materiale: Acciaio inox
- Diametro: 15mm
- Grado di protezione: IP 67

3.2.3.4. Frequenza dei rilevamenti

Il numero minimo dei rilevamenti da eseguire dopo la misura iniziale di riferimento, per ogni fessurimetro elettrico è il seguente:

- letture ogni 6 ore (con centralina di acquisizione automatica) per i primi 3 mesi successivi all'installazione.
- letture ogni 12 ore (con centralina di acquisizione automatica) a regime.

Le suddette frequenze sono comunque da tarare in corso d'opera.

3.3 MONITORAGGIO DELL'OPERA DI SOSTEGNO:

3.3.1 Mire ottiche

3.3.1.1. Attrezzatura

Le mire ottiche saranno installate sul cordolo di testa della berlinese e sul fronte della berlinese a una distanza di 2.70m da testa cordolo. I chiodi saranno scelti tra i modelli presenti sul mercato in modo tale da garantire un perfetto accoppiamento della testa chiodo con il supporto del prisma ottico successivamente utilizzato per le misure di precisione.

3.3.1.2. Modalità d'installazione

L'installazione dei chiodi di misura topografica dovrà essere realizzata secondo la seguente procedura:

- Tracciamento topografico delle posizioni di installazione;
- Realizzazione del foro di alloggiamento del chiodo di diametro adeguato;
- Infissione e sigillatura del chiodo nel foro precedentemente realizzato.

Al termine delle operazioni di posa potrà essere realizzata la prima livellazione topografica di riferimento per i successivi rilievi (lettura di zero). Il caposaldo di riferimento dovrà essere in posizione tale per cui eventuali cedimenti siano minimi e controllabili topograficamente con altri riferimenti certi.

I riferimenti dovranno essere installati prima dell'esecuzione dello scavo di sbancamento della paratia.

3.3.1.3. Sistema di acquisizione dati

I riferimenti così installati dovranno fornire gli spostamenti assoluti in testa alla paratia nelle tre componenti: abbassamenti, spostamenti radiali e tangenziali della paratia, o in alternativa, abbassamenti, spostamenti N e spostamenti E.

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Imbocco Nord - Relazione monitoraggio delle opere di imbocco	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GA0100002	REV. C	FOGLIO. 15 di 26

Il sistema di acquisizione dati è costituito da una stazione composta da un teodolite accoppiato a un distanziometro elettronico di precisione. È richiesta la precisione seguente:

- teodolite: lettura angolare non superiore a 2 secondi centesimali;
- distanziometro elettronico: $\pm 3 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$.

3.3.1.4. Frequenza dei rilevamenti

I riferimenti topografici andranno letti in corrispondenza delle diverse fasi di scavo e più precisamente:

- 1 misura prima e dopo ogni ribasso di scavo;

Completati gli scavi, il programma di misure dovrà proseguire con le seguenti scadenze:

- 1 misura ogni settimana dopo il raggiungimento del fondo scavo;
- 1 lettura settimanale per il successivo mese;
- 1 misura ogni 2 settimane nei successivi 6 mesi dalla fine dello scavo e fino al ritombamento dell'opera.

Eventuali ulteriori letture potranno essere previste, in funzione degli spostamenti registrati durante le letture precedenti.

Le cadenze sopra elencate dovranno essere il più possibile coincidenti con l'inizio o la fine delle principali lavorazioni previste.

3.4 MONITORAGGIO IN GALLERIA

3.4.1 Misure di convergenza a cinque punti

Tali misure consistono nel rilevare la posizione piano – altimetrica di una serie di 5 punti per ogni sezione. L'obiettivo di questi rilievi è la valutazione degli spostamenti delle pareti dello scavo e conseguentemente il controllo delle deformazioni. La misurazione avviene tramite l'impiego di bulloni di convergenza e distometri meccanici. In alternativa possono essere utilizzati target riflettenti.

3.4.1.1. Installazione

Le basi di misura sono costituite da 5 chiodi di convergenza L = 50-80 cm posizionati sullo spritz-beton del rivestimento di 1° fase su cui vengono montati altrettanti marcatori costituiti da prismi cardanici riflettenti o catadiottri, posizionati a ridosso del fronte di scavo alla progressiva della stazione di misura. Nel caso in cui si manifestassero comportamenti differenziati in termini deformativi tra spritz-beton e centine, a tali chiodi andranno affiancati dei supporti vincolati alle centine, su cui potranno essere montati i già citati marcatori (prismi cardanici riflettenti o catadiottri), posizionati a circa 1.0 m dal fronte di scavo.

3.4.1.2. Rilevamenti e restituzione risultati

La frequenza dei rilevamenti è la seguente:

- n. 1 misura al giorno fino al getto del rivestimento definitivo

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					PROGETTO ESECUTIVO
08 - GALLERIE Imbocco Nord - Relazione monitoraggio delle opere di imbocco	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GA0100002	REV. C	FOGLIO. 16 di 26

Ciascuna stazione di misura viene disposta presso l'ultima centina posizionata, a circa 1m dal fronte stesso. La lettura di riferimento ("0") andrà eseguita immediatamente e categoricamente prima del successivo sfondo parziale.

Il sistema di acquisizione dati è costituito da una stazione composta da teodolite e distanziometro elettronico che misurano le posizioni assolute della base di misura rispetto ad un sistema di riferimento tridimensionale costituito da caposaldi siti in galleria. La misura permette di risalire alle coordinate spaziali delle basi con tolleranza $\pm 2 \text{ mm} \pm 2 \text{ ppm}$.

Il sistema di elaborazione dati deve offrire i seguenti diagrammi e tabulati numerici in funzione del tempo:

- spostamenti trasversali;
- spostamenti verticali;
- spostamenti nel piano (deformata);
- velocità di convergenza (mm/giorno);
- fasi esecutive principali (progressive fronte, murette, arco rovescio e calotta).

I dati elaborati per ciascuna misura di ciascuna stazione vanno forniti entro la giornata in cui è stato eseguito il rilievo. È richiesta altresì una copia di tali dati anche su supporto digitale.

3.4.2 Misura dello stato tensionale con barrette estensimetriche e celle di carico

Si prevede l'utilizzo di barrette estensimetriche a corda vibrante a saldare per la determinazione della deformazione nei priverestimenti. Si ingloba nel corpo strumentale un termistore per la misura della temperatura. Si prevede la presenza di un filo di acciaio tra due estremità sul supporto da monitorare del quale si misurano le deformazioni ottenute in seguito ad una eccitazione del cavo causata da un input elettrico. Si prevede l'utilizzo di celle di carico installate tra le piastre di giunzione delle centine al fine di misurare il grado di carico al quale è sottoposto il profilo metallico.

3.4.2.1. Installazione delle barrette estensimetriche a corda vibrante a saldare

Si prevede l'installazione di 5 coppie di barrette estensimetriche posizionate nel priverestimento.

Le caratteristiche tecniche sono le seguenti:

APPALTATORE: webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					PROGETTO ESECUTIVO
08 - GALLERIE Imbocco Nord - Relazione monitoraggio delle opere di imbocco	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GA0100002	REV. C	FOGLIO. 17 di 26



Fig. 2 - caratteristiche tecniche delle barrette estensimetriche per prerivestimento

L'estensimetro a corda vibrante è largamente utilizzato per la determinazione delle deformazioni delle centine, garantendo precisione e stabilità a lungo termine della misura. Il principio di funzionamento della corda vibrante è il seguente: un filo di acciaio tensionato tra due estremità fisse poste sul supporto da monitorare. Alla deformazione del supporto implica una modifica della tensione del filo di acciaio (da cui dipende la frequenza di vibrazione). Eccitando il filo con un input elettrico, emesso da una bobina installata al centro della barretta, è misurata la frequenza di vibrazione della corda e, di conseguenza, la sua tensione, ottenendo la misura di deformazione del supporto. Nella bobina dell'estensimetro è presente un termistore che permette la rilevazione della temperatura, al fine di correggere le misure in fase di interpretazione per tenere conto delle variazioni di temperatura delle centine. Mediante l'applicazione della legge di Hooke ($\sigma = \varepsilon \cdot E$) è possibile risalire allo stato tensionale agente al momento della lettura.

3.4.2.2. Installazione delle celle di carico

Saranno inoltre installate 2 celle di carico fra le piastre di giunzione delle centine ad altezza delle reni o al piede delle centine stesse.

Le caratteristiche tecniche risultano essere le seguenti:

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					PROGETTO ESECUTIVO
08 - GALLERIE Imbocco Nord - Relazione monitoraggio delle opere di imbocco	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GA0100002	REV. C	FOGLIO. 18 di 26



Fig. 3 – Caratteristiche tecniche delle celle di carico

La cella di carico tipo è costituita da un corpo in acciaio inossidabile sensibilizzato da una serie di griglie estensimetriche (strain-gauges) applicate alla superficie interna del corpo stesso e isolate. Una piastra di acciaio permette l'omogenea ripartizione del carico sull'intero corpo della cella.

La deformazione indotta dal carico alla cella viene rilevata dagli strain-gauges e trasformata in un segnale elettrico proporzionale al carico agente.

Le celle di carico vengono impiegate fra le piastre di giunzione della centina e sulle reni del piatto d'unione per valutare il carico che esse trasmettono al loro piede e quindi la pressione a cui esse sono sottoposte.

3.4.2.3. Rilevamenti e restituzione risultati

La frequenza delle letture per le misure in corso d'opera, dopo la lettura di "zero", sarà la seguente:

- n. 1 lettura al giorno fino al getto della calotta;

3.4.3 Barrette estensimetriche a corda vibrante entro il rivestimento definitivo

Si prevede l'utilizzo di estensimetri a corda vibrante per determinare le deformazioni del calcestruzzo. Queste barrette estensimetriche verranno posizionate all'estradosso e all'intradosso del rivestimento definitivo.

3.4.3.1. Installazione

Si prevede l'installazione di 6 coppie di barrette estensimetriche a corda vibrante annegate nel getto del rivestimento definitivo. Le caratteristiche tecniche indicate in figura seguente:

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Imbocco Nord - Relazione monitoraggio delle opere di imbocco	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GA0100002	REV. C	FOGLIO. 19 di 26



Fig. 4 – Caratteristiche tecniche delle barrette estensimetrici per rivestimento definitivo

L'estensimetro a corda vibrante è largamente utilizzato per la determinazione delle deformazioni del calcestruzzo, garantendo precisione e stabilità a lungo termine della misura. Il principio di funzionamento della corda vibrante è descritto al paragrafo precedente. Poiché grandi variazioni di temperatura sono frequenti durante la maturazione del calcestruzzo, è necessario misurare la temperatura insieme alle misure di deformazione. In questo modo è possibile in fase di interpretazione applicare una correzione termica e verificare la grandezza delle deformazioni causate dai delta di temperatura; nella bobina dell'estensimetro è presente quindi un termistore che permette la rilevazione della temperatura.

3.4.3.2. *Acquisizione e restituzione dei dati*

La frequenza delle letture per le misure in corso d'opera, dopo la lettura di "zero", sarà la seguente:

- n. 1 misure giornaliere fino al getto del concio adiacente, letture mensili fino a fine lavori;

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Imbocco Nord - Relazione monitoraggio delle opere di imbocco	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GA0100002	REV. C	FOGLIO. 20 di 26

4. VALORI DI SOGLIA

4.1 DEFINIZIONE DEI VALORI SOGLIA

Il controllo mediante monitoraggio si basa principalmente sulla definizione di soglie aventi lo scopo di segnalare l'instaurarsi di una situazione deformativa e/o tensionale particolare. Sulla base dei valori raggiunti dai parametri di controllo in funzione dei valori di soglia definiti, vengono attuate eventuali azioni e contromisure.

I valori fissati per tali soglie sono funzione dei risultati previsti dai calcoli di progetto, relativamente a spostamenti, deformazioni, tensioni. Questi limiti sono definiti come:

Soglia di attenzione: è definito come una quota parte delle risultanze delle sollecitazioni o delle deformazioni di progetto; il superamento di questo limite implica l'incremento della frequenza delle misure, allo scopo di stabilire e monitorare la velocità con la quale il fenomeno si evolve, in modo da valutare il potenziale instaurarsi di eventi e rapida evoluzione che potrebbero, in determinate circostanze, risultare incontrollabili.

Si ritiene necessario evidenziare che il superamento puntuale di un valore di attenzione di un parametro può essere da solo di poca importanza, perché dovuto per esempio a cause locali, e solo un attento esame di tutti i dati provenienti dall'intero "volume di controllo" e soprattutto l'evolversi nel tempo di tali valori, potrà dare un quadro coerente degli eventuali fenomeni in atto

Soglia di allarme: definita in funzione del livello deformativo e tensionale, più gravoso per una determinata situazione; il suo superamento implica il coinvolgimento della Direzione Lavori per la valutazione di opportune contromisure. Le contromisure da adottare in caso di superamento dei limiti di allarme hanno lo scopo di riportare la situazione reale entro i limiti previsti in progetto.

4.2 QUANTIFICAZIONE DEI VALORI DI SOGLIA

4.2.1 Monitoraggio di superficie

Le soglie di attenzione e di allarme sono definite in relazione alle previsioni progettuali per ciascuno dei parametri chiave di interesse.

Le tabelle seguenti riassumono per ciascuno strumento i valori di attenzione e di allarme per il monitoraggio di superficie.

STRUMENTO	PARAMETRO	VALORI DI SOGLIA		
		ATTESI	ATTENZIONE	ALLARME
Caposaldi livellazione	Spostamenti verticali	5mm	15 mm	30 mm
Inclinometri	Spostamenti orizzontali cumulati	5mm	15 mm	30 mm
Estensimetri	Spostamenti	5mm	15 mm	30 mm

Tab. 1 - Monitoraggio di superficie – Soglie di attenzione e di allarme

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Imbocco Nord - Relazione monitoraggio delle opere di imbocco	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GA0100002	REV. C	FOGLIO. 21 di 26

4.2.2 Monitoraggio pareti chiodate

La definizione delle soglie di attenzione e di allarme per le pareti chiodate potrà avvenire solo dopo avere raccolto un numero adeguato di dati nei primi 2-3 mesi di rilevamenti. A valle del periodo di osservazione, se necessario si provvederà anche ad un aggiornamento del piano di monitoraggio in termini di numero, tipo e disposizione delle strumentazioni in funzione delle reali condizioni riscontrate. In tale intervallo di tempo il sistema di monitoraggio indicherà una anomalia generica, quando la singola strumentazione registrerà degli spostamenti/deformazioni/stati tensionali che dovranno essere valutati caso per caso.

4.2.3 Monitoraggio opera di sostegno

Nel seguito si riportano i valori di deformazione da assumersi quale riferimento in fase di scavo della paratia di imbocco per i riferimenti topografici relativi alla trave di testata. Per i riferimenti relativi alle quote inferiori le soglie di attenzione e di allarme e il relativo gradiente di deformazione dovrà essere definito durante le lavorazioni, essendo la deformazione misurata necessariamente legata alla fase di installazione della mira stessa. Le soglie di attenzione e di allarme sono espresse con riferimento allo spostamento assoluto della paratia nel corso del singolo ribasso dello scavo e a scavo ultimato ed al gradiente con cui i fenomeni deformativi si manifestano.

STRUMENTO	SPOSTAMENTO ASSOLUTO		GRADIENTE	
	VALORI DI SOGLIA		VALORI DI SOGLIA	
	ATTENZIONE	ALLARME	ATTENZIONE	ALLARME
Durante le fasi di ribasso	30 mm	50 mm	20mm/g	30mm/g
A scavo ultimato	30 mm	50 mm	15mm/g	25mm/gg

Tab. 2 - Monitoraggio opera di sostegno: Soglie di attenzione e allarme

Spostamenti anomali del singolo riferimento topografico dovranno essere confermati attraverso una serie di letture ripetute in un arco temporale limitato. Inoltre, i valori di spostamento sopra indicati non saranno valutati con riferimento al singolo riferimento topografico, ma verranno comparati con il valore medio dello spostamento registrato dal gruppo di riferimenti topografici appartenenti al medesimo settore di paratia in esame. Il raggiungimento della soglia di attenzione comporterà il proseguimento delle lavorazioni secondo le indicazioni di progetto, associato all'intensificazione delle letture di monitoraggio dell'opera. L'eventuale raggiungimento della soglia di allarme comporterà la temporanea interruzione delle lavorazioni, per consentire l'interpretazione dei fenomeni deformativi in atto e la definizione delle necessarie misure correttive.

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Imbocco Nord - Relazione monitoraggio delle opere di imbocco	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GA0100002	REV. C	FOGLIO. 22 di 26

4.2.4 Monitoraggio in galleria

I dati ottenuti dal monitoraggio dello stato tenso-deformativo saranno confrontati con valori di soglie delle grandezze monitorate, così da evidenziare l'instaurarsi di situazioni deformative e/o tensionale non previste in progetto. Sulla base dei valori raggiunti dai parametri di controllo, in funzione dei valori di soglia definiti, saranno attuate eventuali azioni e contromisure. I valori fissati per tali soglie sono funzione dei risultati previsti dalle analisi condotte.

La tabella seguente definisce le soglie di attenzione e di allarme relative alla risposta deformativa allo scavo dell'ammasso e del priverivestimento. I valori attesi delle convergenze sono depurati della preconvergenza.

		Valore Atteso	Soglia Attenzione	Soglia Allarme
Formazione	Sez.Tipo	Conv. Diametrale (cm)	Conv. Diametrale (cm)	Conv. Diametrale (cm)
Granito	Concio - dx	<0.5	3.0	5.0
Granito	Concio - sx	<0.5	3.0	5.0

Tab. 3 – Soglie di attenzione e di allarme

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Imbocco Nord - Relazione monitoraggio delle opere di imbocco	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GA0100002	REV. C	FOGLIO. 23 di 26

5. GESTIONE DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO

5.1 ELABORAZIONE DATI

Tutte le grandezze monitorate saranno validate, elaborate e graficizzate per consentire il confronto con i livelli di soglia prefissati. I dati ottenuti dalle operazioni di monitoraggio saranno registrati e gestiti, per l'elaborazione, mediante un software adeguato.

Il software impiegato fornirà, in formato numerico e in forma di grafici cartesiani tutte le grandezze monitorate ed i parametri deformativi.

Inoltre, si darà evidenza per tutte le grandezze ed i parametri deformativi definiti, dell'eventuale superamento dei valori di soglia di attenzione ed allarme.

Tutti i grafici prodotti dovranno essere correlati alla sezione e/o al punto di monitoraggio relativo, alla posizione del fronte di scavo/rivestimento ed alla data del rilievo.

La strumentazione installata nelle sezioni topografiche sarà oggetto di rilievo per definirne la posizione plano-altimetrica iniziale (letture di zero). Le coordinate corrispondenti alla configurazione di installazione verranno registrate come coordinate di zero per i rilievi successivi.

Le grandezze individuate saranno misurate con un grado di precisione che dovrà essere funzione dei valori attesi.

5.2 PIATTAFORMA WEB – GIS PER VISUALIZZAZIONE E RACCOLTA DATI DI MONITORAGGIO

Stante la notevole quantità di dati che verranno raccolti, la gestione di tutte le misure provenienti dal sistema di monitoraggio avverrà su una piattaforma WEB-GIS realizzando un portale di progetto sul quale saranno visualizzate, su apposita planimetria:

- monitoraggio geotecnico e strutturale;
- monitoraggio dei cedimenti e degli spostamenti indotti;
- documenti annessi ai lavori;
- immagini e fotografie ed altro;
- posizione dei fronti di scavo e dei rivestimenti provvisori e definitivi;

In questo modo sarà possibile implementare una piattaforma di gestione comune per il controllo dell'avanzamento dei lavori e di gestione di tutti i dati di monitoraggio.

Sulle planimetrie riportate in rete saranno rappresentati tutti gli strumenti e punti di misura nella posizione in cui questi saranno effettivamente installati. Ad ogni strumento dovranno essere associati i valori delle coordinate x,y e z di installazione.

5.3 GESTIONE DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO

La gestione del sistema di monitoraggio sarà eseguita in modo tempestivo ed efficace attraverso un controllo continuo dei dati e degli strumenti.

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Imbocco Nord - Relazione monitoraggio delle opere di imbocco	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GA0100002	REV. C	FOGLIO. 24 di 26

A tal fine è prevista un'unità operativa di campo costituita da:

- topografi e relativi aiutanti che eseguiranno le misurazioni dei cedimenti in superficie e sulle opere di sostegno;
- dai tecnici che effettueranno tutte le misurazioni in manuale di tutte le strumentazioni di monitoraggio installate (inclinometri, estensimetri, celle di carico);
- dai tecnici analisti che procederanno alla verifica e validazione dei dati di monitoraggio e che provvederanno all'elaborazione sottoforma di grafici di tutti i dati rilevati in automatico e all'inserimento dei dati sulla piattaforma web-gis.

5.4 UNITÀ OPERATIVA

Come già detto l'unità operativa sinteticamente avrà il compito di:

- eseguire i rilievi e le misure in campo;
- effettuare l'elaborazione e restituzione dei dati;
- convalidare le misure e i dati acquisiti da punto di vista strumentale;
- trasmettere i dati alla Direzione Lavori e a utenti remoti tramite piattaforma web-gis;
- segnalare il superamento dei valori di soglia fissati occuparsi della manutenzione ordinaria e straordinaria degli strumenti di monitoraggio.

L'elaborazione dei dati e delle misure raccolti consisterà nella generazione di rapporti in formato numerico e grafico in grado di consentire una immediata interpretazione ingegneristica dei dati. I rapporti ed i grafici dovranno essere impostati e definiti secondo le indicazioni di seguito riportate.

Come detto tutti i dati di monitoraggio forniti saranno convalidati dal punto di vista strumentale dai tecnici analisti.

L'unità operativa fornirà inoltre informazioni, grafici o tabelle a differenti livelli di dettaglio inerenti il sistema di monitoraggio a utenti remoti, indicati da Italferr, secondo modalità operative che verranno definite e concordate con la DL.

5.5 MODALITÀ DI ACQUISIZIONE ELABORAZIONE E TRASMISSIONE DEI DATI

Tutte le misure, sia automatiche che manuali, saranno registrate in formato excel e rese disponibili in rete (piattaforma Web-Gis). Tutte le misure raccolte verranno elaborate sotto forma di grafici e rese disponibili giornalmente in rete.

Nel caso di superamento dei valori di soglia, le misure raccolte ed elaborate sottoforma di grafici e di dati in formato excel, saranno riportate in rete anche più volte al giorno e comunque secondo le indicazioni fornite dalla DL.

Gli strumenti ed i punti di misura (per i quali saranno rappresentati i grafici ed i dati di monitoraggio rilevati), saranno associati alla posizione dello strumento o punto di misura che dovrà essere rappresentato su planimetrie riportate in rete (piattaforma web-gis). L'Appaltatore dovrà fornire su queste planimetrie

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Imbocco Nord - Relazione monitoraggio delle opere di imbocco	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GA0100002	REV. C	FOGLIO. 25 di 26

aggiornate, le posizioni e la denominazione dei punti di misura effettivamente installati. Queste planimetrie periodicamente aggiornate in rete (piattaforma web gis) dovranno riportare la posizione del fronte di scavo in continuo.

5.6 MONITORAGGIO TOPOGRAFICO DI SUPERFICIE

Come detto tutte le misurazioni delle sezioni topografiche di superficie, saranno verificate, validate e successivamente elaborate fornendo:

- per tutti i punti della sezione topografica in superficie, l'andamento dei cedimenti in funzione del tempo;
- per tutti i punti della sezione topografica l'andamento dei cedimenti in funzione della distanza dal fronte di scavo;
- i bacini di subsidenza misurati sia in funzione del tempo che in funzione della distanza dal fronte di scavo. Ad ogni lettura topografica sarà associata la progressiva del fronte di avanzamento (e quindi la distanza tra il fronte di avanzamento e la sezione di monitoraggio in esame) la data e l'ora di esecuzione della misurazione. Nello stesso grafico saranno rappresentati i cedimenti trasversali misurati per più letture;
- il valore del volume perso misurato per ogni grafico del bacino di subsidenza trasversale. Lo stesso si valuterà come area compresa tra la configurazione indeformata e la configurazione deformata del p.c. (spezzata misurata) rapportato in percentuale all'area di scavo della galleria.
- Per tutti i caposaldi sarà, inoltre, redatta una tabella che riporta il valore del cedimento in funzione della data e della posizione del fronte di scavo annotando le operazioni eseguite tra una misurazione e la successiva.

Tutti i grafici ed i relativi dati saranno resi disponibili in rete giornalmente, ed anche più volte al giorno nel caso di superamento dei valori di soglia.

5.7 MONITORAGGIO GEOTECNICO

Le risultanze delle misurazioni degli inclinometri e degli estensimetri saranno verificate, validate e successivamente elaborate fornendo grafici leggibili ed immediatamente interpretabili su supporto informatico.

I dati degli estensimetri dati vengono graficati nel diagramma "cedimenti verticali - profondità" che permette di valutare l'andamento delle deformazioni dell'ammasso lungo la verticale dello strumento.

I dati degli inclinometri dati vengono graficati nel diagramma "spostamenti orizzontali - profondità" che permette di valutare l'andamento delle deformazioni dell'ammasso lungo la verticale dello strumento.

La frequenza di invio dei dati e dei grafici alla piattaforma web- gis, sarà quotidiana. Anche in questo caso la cadenza giornaliera potrà essere variata al superamento delle soglie fissate o comunque secondo le richieste della DL.