

**S.S.51 "ALEMAGNA"**  
**VARIANTE DI LONGARONE**

**PROGETTO FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA**

COD. VE407

**PROGETTAZIONE: ATI VIA - SERING - VDP - BRENG**

**RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE e PRGETTISTA:**

*Dott. Ing. Massim Capasso (Ord. Ing. Prov. Roma A26031)*

**GRUPPO DI PROGETTAZIONE**

**MANDATARIA:**

**MANDANTI:**

**PROGETTISTA:**

Responsabile Tracciato stradale: *Dott. Ing. Massimo Capasso (Ord. Ing. Prov. Roma 26031)*  
 Responsabile Strutture: *Dott. Ing. Giovanni Piazza (Ord. Ing. Prov. Roma 27296)*  
 Responsabile Idraulica, Geotecnica e Impianti: *Dott. Ing. Sergio Di Maio (Ord. Ing. Prov. Palermo 2872)*  
 Responsabile Ambiente: *Dott. Ing. Francesco Ventura (Ord. Ing. Prov. Roma 14660)*



**GEOLOGO:**

*Dott. Geol. Enrico Curcuruto (Ord. Geo. Regione Sicilia 966)*

**COORDINATORE SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:**

*Dott. Ing. Matteo Di Girolamo (Ord. Ing. Prov. Roma A15138)*

**COORDINATORE ATTIVITA' DI PROGETTAZIONE:**

*Dott. Ing. Maria Antonietta Merendino (Ord. Ing. Prov. Roma A28481)*



**VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:**

*Dott. Ing. Ettore De La Grennelais De Cesbron*

**MONITORAGGIO GEOTECNICO – STRUTTURALE**  
**GALLERIA CASTELLAVAZZO**

**Piano di monitoraggio – Piano di monitoraggio – Relazione**

CODICE PROGETTO		NOME FILE		REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG. ANNO	VE407_P00GNO1MOGRE01_A			
DPVE0407	D 21	CODICE ELAB.	P00GNO1MOGRE01	A	—
D		-	-	-	-
C		-	-	-	-
B		-	-	-	-
A	EMISSIONE	SETT. 2021	F.SALUTE	G.PIAZZA	M.CAPASSO
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

SS 51 "Alemagna" Variante di Longarone		 <b>Sanas</b> <small>GRUPPO FS ITALIANE</small>
VE407	<i>Relazione monitoraggio</i>	

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>PIANO DI MONITORAGGIO TRATTO IN NATURALE .....</b>	<b>4</b>
	3.1 Premessa .....	4
	3.2 Sistema di controllo e monitoraggio .....	5
	3.3 Rilievi geomeccanici del fronte di scavo .....	6
	3.3.1 Rilievi di dettaglio.....	7
	3.3.2 Rilievi di tipo speditivo.....	7
	3.4 Misure di convergenza con sistema ottico .....	7
	3.4.1 Modalità di esecuzione.....	7
	3.4.2 Frequenze delle letture.....	9
	3.5 Strumentazione di controllo del fronte mediante misure di estrusione con sistema ottico	10
	3.5.1 Modalità di esecuzione.....	10
	3.6 Strumentazione di controllo delle deformazioni dell'ammasso con estensimetri multibase	10
	3.6.1 Modalità di esecuzione.....	10
	3.6.2 Frequenza delle misure .....	11
	3.7 Strumentazione di controllo del comportamento tensionale e deformativo delle strutture di rivestimento di prima fase in corso d'opera.....	11
	3.7.1 Modalità di esecuzione.....	11
	3.7.2 Frequenza delle misure .....	12
	3.8 Strumentazione di controllo del comportamento tensionale e deformativo delle strutture di rivestimento definitivo in esercizio.....	12
	3.8.1 Modalità di esecuzione.....	12
	3.8.2 Frequenza delle misure .....	13
	3.9 Strumentazione di controllo delle pressioni idrostatiche al contorno del cavo (eventuali)	13
	3.9.1 Modalità di esecuzione.....	13
	3.9.2 Frequenza delle misure .....	14
	3.10 Indagini geognostiche in avanzamento (eventuali) .....	14
	3.10.1 Modalità di esecuzione.....	14
	3.11 Strumentazione dall'esterno sulle Stazioni di imbocco .....	15

SS 51 "Alemagna" Variante di Longarone		
VE407	<i>Relazione monitoraggio</i>	

3.11.1	<i> Tubo inclinometro .....</i>	15
3.11.2	<i> Piezometri .....</i>	15
3.12	Applicazione del monitoraggio alle sezioni tipo.....	16
3.12.1	<i> Misure delle soglie di attenzione di allarme sul rivestimento di prima fase .....</i>	18
3.12.2	<i> Valori di estrusione attesa sul fronte .....</i>	18
3.12.3	<i> Misure delle soglie di attenzione di allarme sul rivestimento definitivo .....</i>	19
3.13	Stazioni di monitoraggio strumentate .....	20
<b>4</b>	<b> MONITORAGGIO IN CORRISPONDENZA DEGLI EDIFICI E DELLE INFRASTRUTTURE .....</b>	<b>23</b>
4.1	Controlli topografici .....	23
4.1.1	<i> Frequenze delle letture.....</i>	25
4.1.2	<i> Misure delle soglie di attenzione di allarme sugli edifici - cedimenti.....</i>	26
4.2	Misure di controllo vibrometrico del piano campagna e degli edifici.....	26
4.2.1	<i> Monitoraggio delle vibrazioni con geofoni triassiali .....</i>	27
4.2.2	<i> Frequenze delle letture.....</i>	28
4.2.3	<i> Misure delle soglie di attenzione di allarme sugli edifici - vibrazioni .....</i>	29
<b>5</b>	<b> PIANO DI MONITORAGGIO TRATTO IN ARTIFICIALE.....</b>	<b>29</b>
5.1.1	<i> Controlli topografici e mire ottiche .....</i>	30
5.1.2	<i> Celle di carico toroidali per tiranti.....</i>	30

SS 51 "Alemagna" Variante di Longarone		
VE407	<i>Relazione monitoraggio</i>	

## 1 PREMESSA

Nella seguente relazione si descrive il monitoraggio in corso d'opera ed in fase di esercizio della galleria naturale "Castellavazzo" inserita nelle opere dell'intervento **VE407 S.S. 51 "Alemagna" – Variante di longarone**. L'intervento prevede l'adeguamento della **S.S.51 a Tipo C1**.

La galleria è composta da **una fornice con traffico bidirezionale**, in dx in direzione **Cortina** e in sx direzione **Venezia** e presenta coperture massime, riferite in chiave di calotta, pari a circa **100 m**.

Come da Decreto Ministeriale 5-11-2001 "Norme funzionali e geometriche per la costruzione di strade", la larghezza della piattaforma pavimentata della galleria è pari a **10.50 m** e non sono previsti allargamenti per la visibilità.

La galleria si sviluppa tra le progressive **9+315.00** e **10+860.00** e per una lunghezza complessiva di **1545 m**. La galleria risulta composta da un tratto in naturale, da un tratto in artificiale all'imbocco sud di **50 m** e da un becco di flauto di **5 m** all'imbocco nord. La lunghezza complessiva del tratto in naturale risulta essere pari a **1490 m**.

GALLERIA CASTELLAVAZZO			
	Progressiva sud	Progressiva nord	Lunghezza totale
GALLERIA PRINCIPALE	9.315,00	10.860,00	<b>1.545,00</b>
GALLERIA ARTIFICIALE IMBOCCO SUD	9.315,00	9.365,00	<b>50,00</b>
GALLERIA TRATTO IN NATURALE	9.365,00	10.855,00	<b>1.490,00</b>
GALLERIA ARTIFICIALE IMBOCCO NORD	10.855,00	10.860,00	<b>5,00</b>

Si prevede la realizzazione di una galleria di emergenza di **1392 m**. La galleria risulta composta da un tratto in naturale di **1332 m** e da due tratti in artificiale all'imbocco sud di **50 m** e di **10 m** all'imbocco nord, collegata alla galleria principale con 4 bypass.

La sezione dei bypass e della galleria di emergenza sono quelle previste dalle linee guida della Sicurezza delle Gallerie di Anas, **2.30 m** (altezza) x **2.40 m** (larghezza) liberi interni.

GALLERIA D'EMERGENZA			
	Progressiva sud	Progressiva nord	Lunghezza totale
GALLERIA EMERGENZA	0,00	1.392,00	<b>1.392,00</b>
GALLERIA ARTIFICIALE IMBOCCO SUD	0,00	50,00	<b>50,00</b>
GALLERIA TRATTO IN NATURALE	50,00	1.382,00	<b>1.332,00</b>
GALLERIA ARTIFICIALE IMBOCCO NORD	1.382,00	1.392,00	<b>10,00</b>

Per la caratterizzazione geomeccanica si rimanda alla *Relazione geotecnica*.

Per i risultati delle analisi deformative si rimanda alla *Relazione di calcolo*.

SS 51 "Alemagna" Variante di Longarone		
VE407	<i>Relazione monitoraggio</i>	

Per la descrizione dei parametri significativi per l'individuazione e la gestione delle soglie si rimanda alle *Linee guida per l'applicazione delle sezioni tipo*.

## 2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

---

- ✓ *IT.PRL.05.10 – Rev. 2.0 Rilievi, Indagini e Monitoraggio, Anas;*
- ✓ *IT.PRL.05.18 - Rev. 1 Opere d'arte maggiori – Gallerie, Anas;*
- ✓ *Linee Guida Monitoraggio Geotecnico, Anas.*

## 3 PIANO DI MONITORAGGIO TRATTO IN NATURALE

---

### 3.1 Premessa

La pianificazione di un programma di monitoraggio in sede di Progetto Definitivo risponde alla specifica richiesta della progettazione di opere geotecniche secondo i criteri del Metodo Osservazionale, dove devono essere sviluppati i seguenti aspetti:

- ✓ Scelta delle grandezze rappresentative del complesso manufatto-terreno e definizione dei limiti di accettabilità di tali grandezze:
- ✓ Verifica della soluzione progettuale prescelta in rapporto ai limiti prefissati:
- ✓ Definizione di soluzioni alternative in relazione alle diverse condizioni attese:
- ✓ Predisposizione di un sistema di monitoraggio che consenta di adottare tempestivamente una delle soluzioni alternative proposte nel caso in cui i limiti prima definiti siano raggiunti.

Quindi non si può prescindere dal predisporre un sistema di misure e controlli in corso d'opera mediante idonea strumentazione di tipo geotecnico il cui scopo è quello di verificare che il comportamento allo scavo sia quello previsto dalle analisi progettuali.

Per raggiungere tali obiettivi il piano di monitoraggio prevede le seguenti attività:

- ✓ rilievi geomeccanici sistematici dei fronti di scavo;
- ✓ misure di convergenza con sistema ottico (convergenze);
- ✓ strumentazione di controllo delle deformazioni dell'ammasso al contorno (estensimetri multibase);
- ✓ strumentazione di controllo delle deformazioni dell'ammasso al fronte (misure di estrusione con sistema ottico);

SS 51 "Alemagna" Variante di Longarone		
VE407	<i>Relazione monitoraggio</i>	

- ✓ strumentazione di controllo del comportamento tensionale e deformativo delle strutture (distinguendo il monitoraggio dei rivestimenti di prima fase dal monitoraggio dei rivestimenti definitivi);
- ✓ controlli topografici di mire ottiche installate sulle pareti degli imbocchi;
- ✓ inclinometri sui pendii interessati dagli imbocchi;
- ✓ misura delle pressioni e delle portate delle acque.

Le modalità e la frequenza delle stazioni strumentate variano lungo lo sviluppo della galleria in base al previsto comportamento dell'ammasso circostante e sono dettagliate nei relativi elaborati grafici di progetto. Ogni stazione di monitoraggio che includa strumenti di tipo elettronico ad acquisizione automatica delle letture dovrà essere corredata di datalogger con numero di canali opportuno a cui dovranno essere cablati gli strumenti elettronici della sezione strumentata.

Nei paragrafi che seguono vengono indicate le caratteristiche e le modalità esecutive del programma di monitoraggio predisposto.

### 3.2 Sistema di controllo e monitoraggio

La realizzazione di un'opera in sotterraneo è sempre accompagnata da incertezze legate alle solo parzialmente note condizioni geologiche e geotecniche che si incontrano durante lo scavo.

Il monitoraggio geotecnico in corso d'opera consente la verifica delle ipotesi progettuali di base e il controllo continuo dell'evoluzione temporale delle condizioni dell'ammasso e dell'interazione di questo con la struttura di sostegno.

Nonostante sia oggi possibile raggiungere una buona previsione del comportamento fisico-meccanico dell'ammasso, l'interpretazione dei fenomeni tensio-deformativi per le gallerie raggiunge un livello ottimale soltanto durante lo scavo, e tramite l'applicazione alle opere in sotterraneo del ben noto "Metodo Osservazionale" di Terzaghi le misurazioni "in corso d'opera" e "in fase di esercizio dell'opera" assumono un ruolo fondamentale del percorso progettuale.

Il monitoraggio **in corso d'opera** è finalizzato a valutare l'andamento dei parametri significativi, in relazione alle fasi costruttive, ai materiali scelti e alle geometrie in gioco, con particolare riguardo alla stabilità dello scavo.

Il monitoraggio **in fase di esercizio** ha invece come obiettivo principale quello di registrare le eventuali variazioni a lungo termine dei parametri chiave e quindi di permettere la valutazione delle cause che abbiano determinato tali variazioni.

La strumentazione posta in opera dovrà avere alcuni requisiti funzionali che andranno verificati, certificati e documentati anche quando l'evoluzione tecnologica metterà a disposizione materiali più sofisticati e dispositivi più perfezionati:

- ✓ Campo di misura o fondo scala ("range");
- ✓ Massimo campo di misura sopportato dallo strumento ("over range");

SS 51 "Alemagna" Variante di Longarone		
VE407	<i>Relazione monitoraggio</i>	

- ✓ Ripetitività delle misure;
- ✓ Precisione;
- ✓ Sensibilità;
- ✓ Durabilità e/o affidabilità.

La strumentazione geotecnica prevista per il monitoraggio in corso d'opera è tale da consentire l'acquisizione dei parametri significativi sia per la verifica delle corrispondenze tra comportamento reale e comportamento ipotizzato, sia per l'eventuale attivazione di procedure di gestione del progetto (fasi esecutive, modalità di avanzamento) mirate ad evitare il manifestarsi di situazioni di pericolo.

Il monitoraggio in fase di esercizio si baserà su analoga strumentazione geotecnica ma necessariamente su sistemi centralizzati di acquisizione dati, posizioni remote, quadri sinottici riepilogativi dell'intero sistema e di sue parti, piuttosto che su sistemi di lettura o acquisizione manuale.

Nel monitoraggio in corso d'opera e in esercizio, la cadenza di esecuzione delle misure sarà differente, in generale più fitta in corrispondenza delle fasi costruttive e con obiettivi più a lungo termine per quanto riguarda il monitoraggio in fase di esercizio.

Le principali problematiche che si possono riscontrare durante lo scavo di una galleria riguardano:

- ✓ la verifica delle convergenze del cavo, principalmente sul priverimento in fase di scavo e successivamente sul rivestimento definitivo;
- ✓ la verifica dello stato tensio-deformativo della struttura e delle sue interazioni con l'ammasso roccioso circostante;
- ✓ il controllo del bacino di subsidenza che può essere indotto in superficie in concomitanza con le fasi di avanzamento dello scavo;
- ✓ la verifica e il controllo delle variazioni della superficie piezometrica e dei livelli idrici presenti nei terreni di scavo.

Segue descrizione dei monitoraggi previste per la galleria in esame.

### **3.3 Rilievi geomeccanici del fronte di scavo**

Permetteranno di acquisire dati relativi alle caratteristiche geomeccaniche e geotecniche in base ai quali verrà confermata oppure ridefinita la sezione tipo da applicare nel corso dell'avanzamento.

Si distinguono due tipi di rilievi geologici-geostrutturali:

- ✓ **rilievi di dettaglio da eseguire ad ogni variazione significativa della qualità dell'ammasso roccioso o della litologia e ad ogni campo di avanzamento (12-6m);**
- ✓ **rilievi di tipo speditivo da eseguire giornalmente e a ogni sfondo.**

SS 51 "Alemagna" Variante di Longarone		 <b>an</b> as <small>GRUPPO FS ITALIANE</small>
VE407	<i>Relazione monitoraggio</i>	

Dovranno essere redatte delle schede di rilievo giornaliero e dei rapporti di rilievo settimanali e/o mensili; questa attività ed i rilievi stessi dovranno essere materialmente eseguiti da uno o più geologi o ingegneri geomeccanici dotati di specifico addestramento ed esperienza.

Il rilievo del fronte di scavo permetterà di acquisire gli elementi relativi alle caratteristiche geostrutturali e geomeccaniche dell'ammasso roccioso, inteso come complesso costituito dalla matrice roccia e dai piani di discontinuità, principalmente per uso di classificazione dell'ammasso.

Per l'esecuzione dei rilievi sono richieste le seguenti attrezzature:

- ✓ bussola geologica per misure della orientazione di piani nello spazio;
- ✓ nastri misuratori e bandelle metrate;
- ✓ Schmidt Hammer (sclerometro);
- ✓ profilatore di rugosità a pettine (Pettine di Barton) ;
- ✓ disco (diametro 30 cm) per l'appoggio della bussola;
- ✓ point load strength tester.

### 3.3.1 Rilievi di dettaglio

Per le modalità esecutive e la documentazione da produrre si rimanda al documento *IT.PRL.05.10 – Rev. 2.0 Rilievi, Indagini e Monitoraggio, Anas par. 4.1.2 e 4.1.3.*

### 3.3.2 Rilievi di tipo speditivo

#### **Modalità esecutive**

Le modalità esecutive saranno simili a quelle da eseguire per i rilievi di dettaglio con l'eccezione che l'assetto generale, le spaziature delle discontinuità, i parametri JRC e JCS potranno essere valutati qualitativamente.

#### **Documentazione.**

Anche in questo caso la documentazione da presentare sarà simile a quella che occorre predisporre per i rilievi di dettaglio, ad esclusione dei dati quantitativi su assetto, spaziatura delle discontinuità e misure della valutazione dei parametri JRC e JCS.

## 3.4 Misure di convergenza con sistema ottico

### 3.4.1 Modalità di esecuzione

Sono previste stazioni di convergenza a 5 basi ottiche (una in calotta, due alle reni e due sui piedritti), vedi tavola VE407\_P01GN01MOGST01\_A

Le Stazioni saranno:

- ✓ n°1 stazione ogni campo stazione di imbocco / fondamentale;
- ✓ n°1 stazione ogni campo di avanzamento (12-6m).

SS 51 "Alemagna" Variante di Longarone		
VE407	<i>Relazione monitoraggio</i>	

Permetteranno una verifica delle ipotesi di progetto e della risposta dell'ammasso o del terreno allo scavo, consentendo una taratura ed una ottimizzazione degli interventi e delle modalità esecutive da applicare nell'ambito di ogni sezione tipo.

L'esecuzione e la restituzione delle misure di estrusione del fronte richiede l'impiego continuativo di un topografo esperto e di un collaboratore. I punti di misura sono costituiti da prismi ottici o da mire ottiche diottriche reticolate, traggurate mediante un teodolite o distanziometro o con un rilievo dei movimenti sempre di tipo topografico tridimensionale, realizzato grazie ad una stazione totale servoassistita con sistema di puntamento automatico.

La misura si effettua come una normale triangolazione di precisione. La precisione della misura è pari a 1mm. L'elaborazione dei dati consente di risalire alla deformata del profilo di scavo ed agli spostamenti del fronte, nonché di valutarne l'evoluzione nel tempo.

#### Installazione

La procedura da seguire è la seguente:

- ✓ l'operatore deve acquisire i dati x, y, z ed orientamento (azimut) della rete topografica di riferimento attraverso la consegna di capisaldi (almeno tre) di coordinate note da parte del topografo di cantiere;
- ✓ man mano che il fronte di scavo avanza, l'operatore deve riposizionare i capisaldi, costituiti da prismi riflettenti in maniera fissa (tramite cementazione con malte a presa rapida delle piastre di supporto dei prismi) o che garantiscano comunque la precisione ad ogni riposizionamento;
- ✓ il fissaggio dei capisaldi può avvenire prima o dopo la posa in opera del rivestimento di betoncino spruzzato, secondo le esigenze di cantiere e la necessità di sperimentare l'influenza della procedura di installazione sulle misure stesse.

Qualora il fissaggio avvenga prima della posa in opera del betoncino, il caposaldo deve avere comunque lunghezza sufficiente per essere utilizzato anche dopo la posa in opera di questo: in tale circostanza si deve proteggere la testa del caposaldo durante la posa in opera del betoncino tramite opportune cuffie di plastica.

I capisaldi fissati alla centina devono essere saldati con cordone di saldatura completo con lato uguale a non meno di metà del diametro. Come per i capisaldi fissati in roccia, quelli fissati alla centina devono avere lunghezza sufficiente e devono essere protetti adeguatamente per poter essere utilizzati anche dopo l'installazione dello *spritz-beton*. In ogni caso i capisaldi devono essere installati in modo tale da non intralciare il movimento delle macchine, da subire il minor numero possibile di interferenze e da permettere la prosecuzione del rilievo con schema reticolare.

Le coordinate dei capisaldi così installati devono essere controllate periodicamente (ogni tre settimane) onde valutarne la stabilità.

I punti di misura sono i "targets tape" (costituiti da superficie riflettente su supporto adesivo, dimensioni cm 3 x 3, 4 x 4, 5 x 5) che devono essere posizionati su opportune piastre di supporto o murate nella struttura con malte cementizie a presa rapida o saldate sui chiodi da centina: l'installazione dei "targets" deve avvenire in modo da ottenere la migliore collimazione possibile rispetto alla stazione di misura.

#### **Misure**

SS 51 "Alemagna" Variante di Longarone		 <b>Sanas</b> <small>GRUPPO FS ITALIANE</small>
VE407	<i>Relazione monitoraggio</i>	

Le operazioni che si devono osservare per il rilevamento delle coordinate dei punti di misura sono le seguenti:

- ✓ predisporre la stazione di misura, fissando il treppiede al terreno ed eseguire la "messa in bolla" del tacheometro;
- ✓ collimare i tre capisaldi di coordinate note in modo da conoscere, attraverso il programma dedicato presente all'interno dello strumento, la posizione della stazione di misura nel sistema di riferimento;
- ✓ procedere quindi al rilevamento di ogni "target" della sezione di misura;
- ✓ registrare e memorizzare i dati sulla memoria dello strumento.

I dati ricavati dalle misure vengono scaricati, in modo diretto, attraverso la memoria dello strumento al PC. Le informazioni ottenute dalle misure vengono in questo modo acquisite su PC ed elaborate con software opportuni.

Si ottengono così le coordinate di ogni "target" nel sistema di riferimento utilizzato ed è possibile verificare l'entità e la direzione degli spostamenti di ogni punto di misura.

I dati saranno poi presentati sia come tabulati sia come grafici e verranno utilizzati per eseguire le necessarie correlazioni alle misure ottenute dall'altra strumentazione in opera sulla sezione di monitoraggio.

### 3.4.2 Frequenze delle letture

In funzione della distanza dal fronte di scavo del sistema di lettura, si prevede:

STRUMENTI	Distanza dal fronte	Distanza dal fronte	Distanza dal fronte
	Da 0 a 2 Diametri	Da 2 a 4 Diametri	Oltre 4 Diametri
Mire ottiche	Ogni giorno	2 volte a settimana	1 volta al mese

Le misure verranno protratte sino alla stabilità della variazione delle letture con il seguente criterio:

- ✓ giornalmente per le sezioni ove si verificano spostamenti delle mire  $u > 1\text{ mm/g}$ . La prima lettura («zero») viene effettuata subito dopo l'installazione delle mire in corrispondenza del fronte di scavo;
- ✓ settimanalmente per le sezioni ove si verificano spostamenti delle mire  $0.5\text{ mm/g} < u < 1\text{ mm/g}$ ;
- ✓ mensilmente per le sezioni ove si verificano spostamenti  $u < 0.5\text{ mm/g}$ .

Le misure verranno protratte fino alla completa stabilizzazione ( $u < 0.1\text{ mm/g}$ ) e comunque verrà eseguita una lettura prima della posa in opera dell'impermeabilizzazione.

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

- ✓ Convergenze, spostamenti orizzontali, spostamenti verticali, spostamenti longitudinali rispetto all'asse della galleria;
- ✓ Velocità di convergenza (mm/giorno);

SS 51 "Alemagna" Variante di Longarone		
VE407	<i>Relazione monitoraggio</i>	

- ✓ Ad ogni grafico di spostamento dovrà essere associato un grafico che riporti la successione delle diverse fasi di esecuzione e lo stato di avanzamento (avanzamento dello scavo, scavo e getto dell'arco rovescio, getto delle murette, getto della calotta).

### **3.5 Strumentazione di controllo del fronte mediante misure di estrusione con sistema ottico**

#### **3.5.1 Modalità di esecuzione**

**Sono previste stazioni di misura dell'estrusione del fronte sulla canna dx di nuova costruzione con sistema di 7 basi ottiche, vedi tavola VE407\_P01GN01MOGST01\_A.**

**Le Stazioni saranno:**

- ✓ **n°1 stazione ogni campo di avanzamento (12-6m).**

La strumentazione consente di stimare le deformazioni del fronte di scavo in galleria attraverso il sistematico rilievo ad alta precisione delle coordinate di 7 punti di misura disposti sul fronte di scavo secondo una maglia 3.0x3.0 m.

L'esecuzione e la restituzione delle misure di estrusione del fronte richiede l'impiego continuativo di un topografo esperto e di un collaboratore.

Le modalità esecutive sono le stesse descritte per le misure di convergenza del cavo.

Tale sistema di controllo dovrà essere eseguito anche prima di eventuali soste del cantiere per fine settimana o in caso di soste più prolungate.

### **3.6 Strumentazione di controllo delle deformazioni dell'ammasso con estensimetri multibase**

#### **3.6.1 Modalità di esecuzione**

**Tutte le sezioni fondamentali, indicate a continuazione sono strumentate con sistema di 3 estensimetri multibase posizionati come da tavola VE407\_P01GN01MOGST02\_A**

Questa tipologia strumentale consente di registrare in corso d'opera lo stato deformativo del terreno circostante la galleria in modo tale da valutare l'alterazione e l'evoluzione del raggio plastico al suo contorno con maggior accento alle zone critiche.

Si prevede la messa in opera di n.3 estensimetri multipunto a 5 basi di misura per il controllo delle deformazioni dell'ammasso.

La lunghezza totale sarà di 15 m e le basi saranno cementate a 1.5 m, 3.5 m, 7.5 m, 10.5 m, 15 m dalla parete della galleria.

SS 51 "Alemagna" Variante di Longarone		
VE407	<i>Relazione monitoraggio</i>	

Per le caratteristiche tecniche, modalità esecutive e la documentazione da produrre si rimanda al documento *IT.PRL.05.10 – Rev. 2.0 Rilievi, Indagini e Monitoraggio, Anas par. 12.1.1, 12.1.2 e 12.1.3.*

Si prevede una metodologia di misura manuale e metodo di emissione dati con piattaforma web di distribuzione dati (SDD).

### 3.6.2 Frequenza delle misure

In funzione della distanza dal fronte di scavo del sistema di lettura, si prevede:

STRUMENTI	Distanza dal fronte Da 0 a 2 Diametri	Distanza dal fronte Da 2 a 4 Diametri	Distanza dal fronte Oltre 4 Diametri
Estensimetri multibase	Ogni giorno	1 volta a settimana	1 volta al mese

## 3.7 Strumentazione di controllo del comportamento tensionale e deformativo delle strutture di rivestimento di prima fase in corso d'opera

### 3.7.1 Modalità di esecuzione

**Tutte le sezioni di imbocco e fondamentali, indicate a continuazione, sono strumentate con celle di carico, di pressione e strain gauges come da tavola VE407\_P01GN01MOGST03\_A.**

Tali misure consistono nel rilevamento e nella restituzione grafica e numerica dello stato tensionale entro i rivestimenti di prima fase e verranno misurate con:

- ✓ celle di carico sotto i piedi delle centine;
- ✓ celle di pressione saldate sulle piastre di giunzione delle centine;
- ✓ barrette estensimetriche a corda vibrante posizionate sulle ali delle centine.

Il sistema di rilevamento dei dati avviene mediante celle di carico, di pressione e barrette estensimetriche in funzione dello stato tensionale che si vuole rilevare, con gli accorgimenti necessari per una perfetta installazione e funzionamento. Nello specifico:

1. **Celle di carico:** le celle di carico sono previste sotto i piedi delle centine. La deformazione, indotta dal carico alla cella, viene trasformata in un segnale elettrico proporzionale al carico agente e trasferita alla centralina di lettura.

Per le caratteristiche tecniche, modalità esecutive e la documentazione da produrre si rimanda al documento *IT.PRL.05.10 – Rev. 2.0 Rilievi, Indagini e Monitoraggio, Anas par. 14.1.1, 14.1.2 e 14.1.3.*

SS 51 "Alemagna" Variante di Longarone		
VE407	<i>Relazione monitoraggio</i>	

Si prevede una metodologia di misura manuale (centralina portatile) e metodo di emissione dati con piattaforma web di distribuzione dati (SDD).

2. **Celle di pressione:** sono posizionate tra le piattabande delle centine. Si tratta di piatti d'acciaio saldati tra di loro all'interno del quale un fluido permette di verificare la pressione di trasferimento derivante dal carico indotto.

Per le caratteristiche tecniche, modalità esecutive e la documentazione da produrre si rimanda al documento *IT.PRL.05.10 – Rev. 2.0 Rilievi, Indagini e Monitoraggio, Anas par. 14.5.1, 14.5.2 e 14.5.3.*

Si prevede una metodologia di misura manuale (centralina portatile) e metodo di emissione dati con piattaforma web di distribuzione dati (SDD).

3. **Barrette estensimetriche a corda vibrante (strain gauges):** le barrette estensimetriche a corda vibrante sono costituite da un cavo in acciaio armonico teso tra due blocchi, fissati a loro volta alle ali delle centine, mediante bullonatura o resinatura. La frequenza di vibrazione del cavo in acciaio è funzione della deformazione della centina nella sezione considerata.

Per le caratteristiche tecniche, modalità esecutive e la documentazione da produrre si rimanda al documento *IT.PRL.05.10 – Rev. 2.0 Rilievi, Indagini e Monitoraggio, Anas par. 13. 1, 13.1.1, 13.1.2 e 13.1.3.*

Si prevede una metodologia di misura manuale (centralina portatile) e metodo di emissione dati con piattaforma web di distribuzione dati (SDD).

### 3.7.2 Frequenza delle misure

In funzione della distanza dal fronte di scavo del sistema di lettura, si prevede:

STRUMENTI	Distanza dal fronte Da 0 a 2 Diametri	Distanza dal fronte Da 2 a 4 Diametri	Distanza dal fronte Oltre 4 Diametri
Celle di carico, celle di pressione e barrette estensimetriche	Ogni giorno	1 volta a settimana	1 volta al mese

## 3.8 Strumentazione di controllo del comportamento tensionale e deformativo delle strutture di rivestimento definitivo in esercizio

### 3.8.1 Modalità di esecuzione

**Tutte le sezioni di imbocco e fondamentali, indicate a continuazione, sono strumentate con strain gauges come da tavola VE407\_P01GN01MOGST03\_A.**

SS 51 "Alemagna" Variante di Longarone		
VE407	<i>Relazione monitoraggio</i>	

Tali misure consistono nel rilevamento e nella restituzione grafica e numerica dello stato tensionale entro i rivestimenti definitivi.

Le tensioni nel rivestimento definitivo verranno misurate con 8 coppie di barrette estensimetriche a corda vibrante (di cui 3 coppie di strumenti in arco rovescio e 5 coppie di strumenti nel rivestimento definitivo), saldate all'armatura di estradosso ed intradosso della sezione da monitorare.

Il sistema di rilevamento dei dati avviene mediante barrette estensimetriche, in funzione dello stato tensionale che si vuole rilevare, con gli accorgimenti necessari per una perfetta installazione e funzionamento.

Per le caratteristiche tecniche, modalità esecutive e la documentazione da produrre si rimanda al documento *IT.PRL.05.10 – Rev. 2.0 Rilievi, Indagini e Monitoraggio, Anas par. 13. 1, 13.1.1, 13.1.2 e 13.1.3.*

Si prevede una metodologia di misura manuale (centralina portatile) e metodo di emissione dati con piattaforma web di distribuzione dati (SDD).

### 3.8.2 Frequenza delle misure

Il numero minimo di rilevamenti da eseguire dopo la misura iniziale di riferimento per ogni barretta estensimetrica è il seguente:

- ✓ n.1 misura al giorno, per i primi 7 giorni dal getto;
- ✓ n.1 misura ogni 3 giorni fino al raggiungimento del 30° giorno dall'installazione.

In funzione della distanza dal fronte di scavo del sistema di lettura, si prevede:

## 3.9 Strumentazione di controllo delle pressioni idrostatiche al contorno del cavo (eventuali)

### 3.9.1 Modalità di esecuzione

**La necessità dell'esecuzione della misurazione sarà valutata in corso d'opera, sono quindi da considerarsi come eventuali.**

Tali misure consistono nel rilevamento e nella restituzione grafica e numerica delle pressioni idrostatiche a tergo del rivestimento definitivo e nell'ammasso lontano dal cavo mediante un'apparecchiatura (piezometro) posta all'interno di un foro di sondaggio eseguito dall'interno della galleria.

La messa in opera dei piezometri richiede l'esecuzione di un foro di sondaggio, all'interno del quale vengono posizionati i piezometri nel numero e alle quote previste in progetto. È richiesta l'installazione di uno dei seguenti tipi di piezometri:

a) piezometro tipo Casagrande

SS 51 "Alemagna" Variante di Longarone		
VE407	<i>Relazione monitoraggio</i>	

Il piezometro di Casagrande è adatto a terreni con permeabilità media o medio bassa ( $k > 10^{-9}$  m/sec). Il tempo di risposta delle variazioni piezometriche rilevabili con celle tipo Casagrande, in questi tipi di terreni, è relativamente breve.

Per le caratteristiche tecniche, modalità esecutive e la documentazione da produrre si rimanda al documento *IT.PRL.05.10 – Rev. 2.0 Rilievi, Indagini e Monitoraggio, Anas par. 10. 2, 10.2.1, 10.2.2 e 10.2.3.*

b) piezometro elettrico

L'impiego dei piezometri elettrici è adatto a terreni con permeabilità bassa ( $k < 10^{-8}$  m/sec). Il tempo di risposta delle variazioni piezometriche rilevabili con piezometri elettrici, in questi tipi di terreni, è relativamente breve.

Per le caratteristiche tecniche, modalità esecutive e la documentazione da produrre si rimanda al documento *IT.PRL.05.10 – Rev. 2.0 Rilievi, Indagini e Monitoraggio, Anas par. 10. 2, 10.2.1, 10.2.2 e 10.2.3.*

Il sistema di acquisizione dati in entrambi i casi si compone di un manometro e di un'unità di lettura elettronica dedicata in grado di alimentare i trasduttori e di visualizzare su display alfanumerico il segnale di ritorno.

Il sistema di elaborazione dati avviene su software apposito e si richiedono i diagrammi ed i tabulati relativi alle variazioni della pressione neutra in funzione del tempo.

### 3.9.2 Frequenza delle misure

A seguito dell'installazione e delle successive manovre di spurgo si procede alla lettura di riferimento. Le successive letture sono così cadenzate:

- ✓ 1 lettura la settimana fino ad 1 mese dal getto del rivestimento definitivo;
- ✓ 1 lettura ogni 15 giorni per i seguenti 5 mesi;
- ✓ 1 lettura al mese fino al termine dei lavori.

## 3.10 Indagini geognostiche in avanzamento (eventuali)

### 3.10.1 Modalità di esecuzione

**La necessità dell'esecuzione della misurazione sarà valutata in corso d'opera, sono quindi da considerarsi come eventuali.**

Per valutare l'effettiva presenza e posizione di possibili zone tettonizzate si prevede l'esecuzione di una serie di sondaggi in avanzamento (di lunghezza adeguata) rispetto al fronte di scavo. Potranno essere eseguiti sondaggi in avanzamento in prossimità dei passaggi tra differenti formazioni. Tali sondaggi potranno permettere la valutazione delle caratteristiche geomeccaniche dei materiali e la presenza di eventuali

SS 51 "Alemagna" Variante di Longarone		
VE407	<i>Relazione monitoraggio</i>	

battenti idraulici. Le osservazioni ed i rilevamenti del fronte di scavo potranno indicare l'effettiva progressiva da cui lanciare tali prospezioni geologiche.

### 3.11 Strumentazione dall'esterno sulle Stazioni di imbocco

#### 3.11.1 Tubo inclinometro

L'installazione di un tubo inclinometrico consente attraverso misure ripetute nel tempo il rilievo dello spostamento orizzontale del terreno durante tutte le fasi di lavorazione.

Tali misure vengono effettuate introducendo nel tubo una opportuna **sonda inclinometrica** che, dotata di sensori servoacceleratori di elevata precisione, consente di misurare l'inclinazione del tubo in corrispondenza di una determinata sezione.

Per le caratteristiche tecniche, modalità esecutive e la documentazione da produrre si rimanda al documento *IT.PRL.05.10 – Rev. 2.0 Rilievi, Indagini e Monitoraggio, Anas par. 11. 1, 11.1.1, 11.1.2 e 11.1.3.*

Si prevede l'installazione di inclinometri in corrispondenza dei due imbocchi della galleria naturale atti a misurare movimenti profondi in seguito alle operazioni propedeutiche agli scavi di sbancamento della berlinese.

Si prevede una metodologia di misura manuale e metodo di emissione dati con piattaforma web di distribuzione dati (SDD).

#### Frequenza delle misure

Si prevede una frequenza di misura settimanale nel corso di esecuzione degli sbancamenti e dello scavo dei primi 100 m in sotterraneo della galleria, eventualmente da intensificare qualora i risultati ne indicassero la necessità, fino alla completa stabilizzazione.

La frequenza delle letture sarà così prevista:

STRUMENTI	Ante operam (2 mesi)	Corso d'opera (x mesi)	Post opera (12 mesi)
Tubi inclinometrici	1 volta ogni 15 gg	1 volta a settimana	1 volta ogni 2 mesi

#### 3.11.2 Piezometri

Il piezometro di Casagrande è adatto a terreni con permeabilità media o medio bassa ( $k > 10^{-9}$  m/sec). Il tempo di risposta delle variazioni piezometriche rilevabili con celle tipo Casagrande, in questi tipi di terreni, è relativamente breve.

SS 51 "Alemagna" Variante di Longarone		
VE407	<b>Relazione monitoraggio</b>	

Per le caratteristiche tecniche, modalità esecutive e la documentazione da produrre si rimanda al documento *IT.PRL.05.10 – Rev. 2.0 Rilievi, Indagini e Monitoraggio, Anas par. 10. 2, 10.2.1, 10.2.2 e 10.2.3.*

Si prevede una metodologia di misura manuale e metodo di emissione dati con piattaforma web di distribuzione dati (SDD).

### **Frequenza delle misure**

La frequenza delle letture sarà così prevista:

STRUMENTI	Ante operam (2 mesi)	Corso d'opera (x mesi)	Post opera (12 mesi)
Piezometri	1 volta ogni 15 gg	1 volte a settimana	1 volta al mese

### **3.12 Applicazione del monitoraggio alle sezioni tipo**

Il monitoraggio in corso d'opera presenta un mezzo forte di controllo della coerenza progettuale e dell'applicabilità delle condizioni al contorno ipotizzate in fase di progettazione.

Esso permette di verificare le seguenti condizioni:

- ✓ verificare la rispondenza di quanto misurato in situ rispetto alle ipotesi di progetto;
- ✓ verificare e ottimizzare l'intensità degli interventi previsti (numero di consolidamenti al fronte, lunghezze delle sovrapposizioni, passo delle centine, ecc.) in relazione alla risposta deformativa del fronte e dello stato tensionale nei rivestimenti;
- ✓ verificare la corretta applicazione delle sezioni tipologiche previste in progetto;
- ✓ segnalare la necessità o possibilità di applicazioni di sezioni tipo differenti da quelle previste in progetto.

L'interpretazione dei dati di monitoraggio si basa principalmente sulla "corretta interpretazione" del comportamento tenso-deformativo al fronte e al contorno del cavo con una analisi completa di tutti i dati provenienti dal monitoraggio.

In altri termini valutando contemporaneamente il rilievo geologico, le misure di estrusione, di convergenza e di subsidenza si può valutare e ipotizzare il meccanismo di collasso dal cavo e i margini rispetto a tale situazione per poter eventualmente intervenire in una nuova taratura del progetto realizzato in opera.

Per meglio interpretare i dati di monitoraggio si è soliti stabilire dei "**valori di soglia**" che risultano essere dei valori di riferimento limite rispetto alle ipotesi progettuali.

Sono quindi introdotti i seguenti valori di soglia:

SS 51 "Alemagna" Variante di Longarone		
VE407	<i>Relazione monitoraggio</i>	

- ✓ **Soglia di attenzione.** Al superamento di tale soglia si eseguirà un'accurata verifica dell'esecuzione delle fasi costruttive previste e si valuterà tempestivamente se apportare leggere modifiche a tali lavorazioni, orientati dalla presenza o meno di eventuali segni premonitori di instabilità dell'evoluzione temporale delle misure, valutando la successiva stabilizzazione della risposta;
- ✓ **Soglia di allarme.** Al superamento di tale soglia si aumenterà opportunamente la prevista frequenza delle misure per verificare l'eventuale progressiva stabilizzazione della risposta.

Per l'esecuzione dei lavori in sicurezza assume particolare importanza nell'ambito del monitoraggio in corso d'opera l'esecuzione di controlli al fine di verificare tempestivamente la sicurezza sia dell'opera e del personale addetto alla sua realizzazione, sia dei fabbricati prossimi alle aree interessate dagli scavi.

Il sistema di monitoraggio dovrà essere progettato in modo da fornire all'Ufficio Centrale di Gestione Dati, nel modo più completo e rapido, tutti gli elementi atti e necessari ad una corretta valutazione della effettiva situazione in corso d'opera e della sua possibile evoluzione.

L'Ufficio di gestione del monitoraggio avrà i seguenti compiti:

- ✓ raccolta di tutti i dati utili esistenti (bibliografia, progetto...);
- ✓ raccolta dei dati provenienti dalle indagini e dai rilevamenti puntuali;
- ✓ coordinamento dell'attività di raccolta dei dati del monitoraggio;
- ✓ verifica e controllo in tempo reale dei dati rilevati prima dell'inserimento nel database, valutazione e validazione dei dati;
- ✓ - elaborazione dei dati e successiva restituzione in forma grafica e numerica;
- ✓ - organizzazione del database da inserire nel GIS di riferimento.

L'Ufficio di gestione del monitoraggio, inseriti i dati, eseguirà le seguenti operazioni:

- ✓ • verranno vagliati e filtrati (Ufficio di monitoraggio, Direzione di progetto) i dati ricevuti in maniera che tutte le variazioni misurate siano riconducibili univocamente a reali comportamenti del terreno e delle strutture, quindi, qualora non vengano raggiunti valori di soglia, si attiverà la procedura di modulistica standard. I dati relativi saranno consultabili tramite GIS dagli attori dell'ufficio di gestione del monitoraggio (Appaltatore - Direzione di progetto, Direzione di cantiere, Ufficio del monitoraggio, Responsabile Scientifico – ufficio tecnico, progettisti, Direzione Lavori);
- ✓ • una volta evidenziato il superamento della soglia di "attenzione", oltre alla pubblicazione automatica tramite GIS agli stessi soggetti del punto precedente, si provvederà ad un incremento della frequenza delle misure e ad un approfondimento dei dati da parte della Direzione di Progetto e della D.L..
- ✓ • A questo punto, la procedura da seguire dipende da quanto registrato:
  - ✓ il fenomeno evidenziato risulta puntuale o abituale (valori già sperimentati in corso di costruzione dell'opera senza problemi di rilievo): Si predispongono eventuali controlli e quindi si prosegue con l'attivazione della procedura di reportistica standard.

SS 51 "Alemagna" Variante di Longarone		
VE407	<i>Relazione monitoraggio</i>	

- ✓ il fenomeno evidenziato evolve ulteriormente senza però raggiungere i valori di relativi alla soglia d'allarme: la soglia di "attenzione", quindi, resta fino al raggiungimento dei valori asintotici e si mantengono in atto le procedure di allerta precedentemente descritte;
- ✓ il fenomeno evidenziato può aggravarsi, i dati sono prossimi alla soglia di "allarme": Oltre alla pubblicazione tramite GIS dell'allarme ai soggetti indicati, si provvederà ad attivare la procedura di allarme e alla convocazione "dell'unità di crisi" composta da D.L. - Appaltatore - Direzione di progetto (eventualmente i progettisti, Direzione di cantiere, ufficio del monitoraggio – ufficio tecnico ). Tale struttura sarà attivata direttamente dal direttore dell'Ufficio di gestione del monitoraggio, sentite la Direzione di Progetto o la Direzione di Cantiere e/o la Direzione dei Lavori.

### 3.12.1 Misure delle soglie di attenzione di allarme sul rivestimento di prima fase

I valori di soglia di attenzione e di allarme risultano così definiti per una deformata  $C_{ATTESA}$  ottenuta con calcoli svolti in condizioni drenate:

- soglia di attenzione: **1.2  $C_{ATTESA}$**
- soglia di allarme: **1.3  $S_{ATTENZIONE}$**

I valori della deformata sono stati considerati per la fase di calcolo al getto dell'arco rovescio e risultano:

Sezione Tipo	H	Range teorico	Soglia di attenzione	Soglia di allarme
(m)	Copertura	Conv. (mm)	Conv. (mm)	Conv. (mm)
B0	100,0	10,0	12,0	15,6
C1-C2	30,0	40,0	48,0	62,4
B0_PS	100,0	20,0	24,0	31,2
B0_BP	90,0	5,0	6,0	7,8
C1_BP	30,0	20,0	24,0	31,2

### 3.12.2 Valori di estrusione attesa sul fronte

Il criterio di definizione dei valori di soglia delle estrusioni non può essere basato direttamente sui risultati delle analisi numeriche alle differenze finite perché queste ultime sono sviluppate nel piano della sezione trasversale della galleria.

Si fa quindi riferimento a dei risultati di analisi numeriche tridimensionali svolte in casi confrontabili con quelli in esame, da cui si evince che il valore di estrusione del fronte è prossima al 60% della massima convergenza diametrale verticale del contorno, in presenza di prerivestimento e in assenza di consolidamento del fronte.

SS 51 "Alemagna" Variante di Longarone		 <b>Sanas</b> <small>GRUPPO FS ITALIANE</small>
VE407	<i>Relazione monitoraggio</i>	

L'esperienza ricavata da misure di estrusione al variare della lunghezza dei tubi in VTR (Lunardi, 2000) indica che in presenza di efficaci consolidamenti, l'estrusione è circa il 25% di quella del fronte non sostenuto  $u_f$ .

Quindi otteniamo:

$$C_{ESTRUSIONE\ ATTESA} = 0,60 \times 0,25 \times u_f = 0,15 u_f$$

I valori di soglia di attenzione e di allarme per le misure di estrusione dei fronti risultano quindi così definiti:

- soglia di attenzione =  $1.2 C_{ESTRUSIONE\ ATTESA}$
- soglia di allarme =  $1.3 S_{ATTENZIONE}$

Sezione Tipo	H	Range teorico	Soglia di attenzione	Soglia di allarme
(m)	Copertura	Estrusione. (mm)	Estrusione. (mm)	Estrusione. (mm)
B0	100,0	1,5	1,8	2,3
C1-C2	30,0	6,0	7,2	9,4
B0_PS	100,0	3,0	3,6	4,7
B0_BP	90,0	0,8	0,9	1,2
C1_BP	90,0	3,0	3,6	4,7

### 3.12.3 Misure delle soglie di attenzione di allarme sul rivestimento definitivo

I valori di soglia di attenzione e di allarme sul rivestimento definitivo a lungo termine risultano così definiti per uno stato tensionale  $\sigma_{C\ ATTESA}$  ottenuta con calcoli eseguiti:

- soglia di attenzione:  $1.2 C_{ATTESA}$
- soglia di allarme:  $1.3 S_{ATTENZIONE}$

Pertanto, si avrà:

SS 51 "Alemagna" Variante di Longarone		 <b>Anas</b> <small>GRUPPO FS ITALIANE</small>
VE407	<b>Relazione monitoraggio</b>	

Sezione tipo	Sezione di verifica		Spessori minimi	Stato tensionale	soglia di	soglia di
				$\sigma_{cmax}$	attenzione	allarme
				(MPa)	(MPa)	(MPa)
B0	Chiave calotta	NON ARMATO	0,60	4,74E+00	5,69E+00	7,39E+00
	45 deg	NON ARMATO	0,60	5,68E+00	6,82E+00	8,87E+00
	Piano dei centri	NON ARMATO	0,80	4,57E+00	5,48E+00	7,13E+00
	Piedritto - muretta	ARMATO	2,00	3,49E+00	4,19E+00	5,44E+00
	Muretta - arco rovescio	ARMATO	0,70	6,76E+00	8,11E+00	1,05E+01
	Chiave arco rovescio	NON ARMATO	0,70	5,31E+00	6,37E+00	8,28E+00
C1-C2	Chiave calotta	ARMATO	1,40	1,75E+00	2,10E+00	2,73E+00
	45 deg	ARMATO	1,40	1,41E+00	1,69E+00	2,20E+00
	Piano dei centri	ARMATO	1,60	2,08E+00	2,50E+00	3,24E+00
	Piedritto - muretta	ARMATO	1,76	1,89E+00	2,27E+00	2,95E+00
	Muretta - arco rovescio	ARMATO	0,90	6,94E+00	8,33E+00	1,08E+01
	Chiave arco rovescio	ARMATO	0,90	6,64E+00	7,97E+00	1,04E+01
B0_PS	Chiave calotta	NON ARMATO	0,70	5,37E+00	6,45E+00	8,38E+00
	45 deg	NON ARMATO	0,70	5,37E+00	6,45E+00	8,38E+00
	Piano dei centri	NON ARMATO	0,90	4,02E+00	4,82E+00	6,27E+00
	Piedritto - muretta	ARMATO	2,20	1,31E+00	1,57E+00	2,04E+00
	Muretta - arco rovescio	ARMATO	0,70	1,05E+01	1,25E+01	1,63E+01
	Chiave arco rovescio	NON ARMATO	0,70	1,02E+01	1,22E+01	1,58E+01
B0_BP	Chiave calotta	NON ARMATO	0,70	2,46E+00	2,95E+00	3,83E+00
	45 deg	NON ARMATO	0,70	2,41E+00	2,89E+00	3,75E+00
	Piano dei centri	NON ARMATO	0,70	2,84E+00	3,41E+00	4,43E+00
	Piedritto - muretta	ARMATO	0,90	6,23E+00	7,48E+00	9,72E+00
	Muretta - arco rovescio	ARMATO	0,70	2,05E+00	2,46E+00	3,20E+00
	Chiave arco rovescio	NON ARMATO	0,70	2,34E+00	2,81E+00	3,65E+00
C1_BP	Chiave calotta	ARMATO	0,90	1,26E+00	1,51E+00	1,97E+00
	45 deg	ARMATO	0,90	1,26E+00	1,51E+00	1,97E+00
	Piano dei centri	ARMATO	0,90	1,76E+00	2,11E+00	2,75E+00
	Piedritto - muretta	ARMATO	1,00	3,19E+00	3,83E+00	4,98E+00
	Muretta - arco rovescio	ARMATO	0,70	5,29E+00	6,35E+00	8,25E+00
	Chiave arco rovescio	ARMATO	0,70	1,50E+00	1,80E+00	2,34E+00

### 3.13 Stazioni di monitoraggio strumentate

Il Capitolato Anas prevede:

SS 51 "Alemagna" Variante di Longarone		
VE407	<b>Relazione monitoraggio</b>	

Tabella 10-1: Caratteristiche delle Stazioni

stazione	Posizione	Letture	Durata
Imbocchi	Per ogni imbocco	Giornaliera	Per tutta la durata del cantiere
Gallerie superficiali urbane	Ogni 100 m o meno	Giornaliera o inferiore	Per tutta la durata del cantiere
Gallerie superficiali extraurbane	Ogni 250 m o meno	Giornaliera o inferiore	Per tutta la durata del cantiere
Fondamentali	Ogni 1000 m o meno	Giornaliera (se significativa) o superiore	Fino al collaudo (Strumentazione esterna)
Principali	500 m o meno	Giornaliera o inferiore	Oltre il passaggio del fronte (≥ 5 diametri) o fino al getto del rivestimento definitivo
Secondarie	Ogni 50 m o meno	Ogni fase lavorativa o inferiore	Oltre il passaggio del fronte (3 diametri) o fino al getto del rivestimento definitivo
Monitoraggio al fronte	Ogni campo di lavoro	Ogni 10 m	Fino al getto del rivestimento definitivo
Rilievo del fronte di scavo (in terreni sciolti e lapidei)	Ogni 10 m	Ogni 10 m	-----

Caratteristiche Stazioni di monitoraggio in corso d'opera, Capitolato Speciale di Appalto, Anas

Tabella 10-2: Caratteristiche delle Stazioni

Stazione	Posizione	Letture (*)	Durata (*)
Imbocchi	Per ogni imbocco	Giornaliera	Per tutta la durata del cantiere
Gallerie superficiali urbane	100 m o meno	Giornaliera o inferiore	Fino al collaudo
Gallerie superficiali extraurbane	250 m o meno	Giornaliera o inferiore	Fino al collaudo
Fondamentali	1000 m o meno	Giornaliera (se significativa)	Fino al collaudo
Principali	500 m o meno	Giornaliera	Fino al collaudo
Monitoraggio conci prefabbricati	100 m o meno	Giornaliera o inferiore	

(\*) Letture da effettuare, dopo il collaudo, con frequenza semestrale o inferiore, per la vita dell'opera

Caratteristiche Stazioni di monitoraggio in esercizio, Capitolato Speciale di Appalto, Anas

Nel caso in esame la galleria naturale ha lunghezza pari a **1490m**, pertanto, le stazioni di misura saranno articolate come segue:

- ✓ (2) Stazioni per gli imbocchi;
- ✓ (4) Stazioni fondamentali – coincidenti con le sezioni di calcolo.

Le progressive delle stazioni di monitoraggio per la galleria principale sono le seguenti:

- ✓ Stazione 1 di imbocco [progr.9+380.00](#)
- ✓ Stazione 2 fondamentale (calcolo) [progr.9+480.00](#)
- ✓ Stazione 3 fondamentale (calcolo) [progr.10+560.00](#)
- ✓ Stazione 4 fondamentale (calcolo) [progr.10+660.00](#)
- ✓ Stazione 5 fondamentale (calcolo) [progr.10+820.00](#)
- ✓ Stazione 6 di imbocco [progr.10+840.00](#)

Nel caso in esame la galleria d'emergenza ha lunghezza pari a **1332m**, pertanto, le stazioni di misura saranno articolate come segue:

SS 51 "Alemagna" Variante di Longarone		
VE407	<i>Relazione monitoraggio</i>	

- ✓ (2) Stazioni per gli imbocchi;
- ✓ (2) Stazioni fondamentali – coincidenti con le sezioni di calcolo.

Le progressive delle stazioni di monitoraggio per la galleria principale sono le seguenti:

- ✓ Stazione 7 di imbocco progr.0+050.00
- ✓ Stazione 8 fondamentale (calcolo) progr.0+165.00 (progr.9+480.00 dell'AP)
- ✓ Stazione 9 fondamentale (calcolo) progr.1+225.00 (progr.10+640.00 dell'AP)
- ✓ Stazione 10 di imbocco progr.1+370.00

Le misure effettuate si divideranno in:

- ✓ misure all'interno del cavo;
- ✓ misure all'esterno del cavo (per le stazioni di imbocco, strumenti piezometri ed inclinometri).

Nella tabella seguente si riportano le strumentazioni installate nelle varie stazioni di monitoraggio:

QUANTITA' STRUMENTAZIONI GALLERIA PRINCIPALE							
STRUMENTO	QUANTITA' SU STAZIONI N.						TOTALE
	1	2	3	4	5	6	
CC	2	2	2	2	2	2	12
CP	5	5	5	5	5	5	30
SG	6	6	6	6	6	6	36
SGC	16	16	16	16	16	16	96
Estensimetro multibase		3	3	3	3		12
Inclinometro esterno	1					1	2
Piezometro esterno	1					1	2

QUANTITA' STRUMENTAZIONI GALLERIE DI EMERGENZA					
STRUMENTO	QUANTITA' SU STAZIONI N.				TOTALE
	7	8	9	10	
CC	2	2	2	2	8
CP	5	5	5	5	20
SG	6	6	6	6	24
SGC	16	16	16	16	64
Estensimetro multibase		3	3		6
Inclinometro esterno	1			1	2
Piezometro esterno	1			1	2

Con:

- CC Celle di carico al piede della centina rivestimento prima fase;
- CP sono le Celle di pressione radiale su rivestimento prima fase;
- SG Strain Gauges su rivestimento prima fase;
- SGC Strain Gauges su rivestimento definitivo.

SS 51 "Alemagna" Variante di Longarone		
VE407	<i>Relazione monitoraggio</i>	

## 4 MONITORAGGIO IN CORRISPONDENZA DEGLI EDIFICI E DELLE INFRASTRUTTURE

Il tracciato della galleria naturale Castellavazzo e della galleria d'emergenza si sviluppano in prossimità di diversi fabbricati e della linea ferroviaria Ponte nelle Alpi – Calalzo.

Come noto, i fenomeni di subsidenza e le vibrazioni che si sviluppano durante la costruzione possono causare danni ai manufatti situati nella zona di influenza dello scavo.

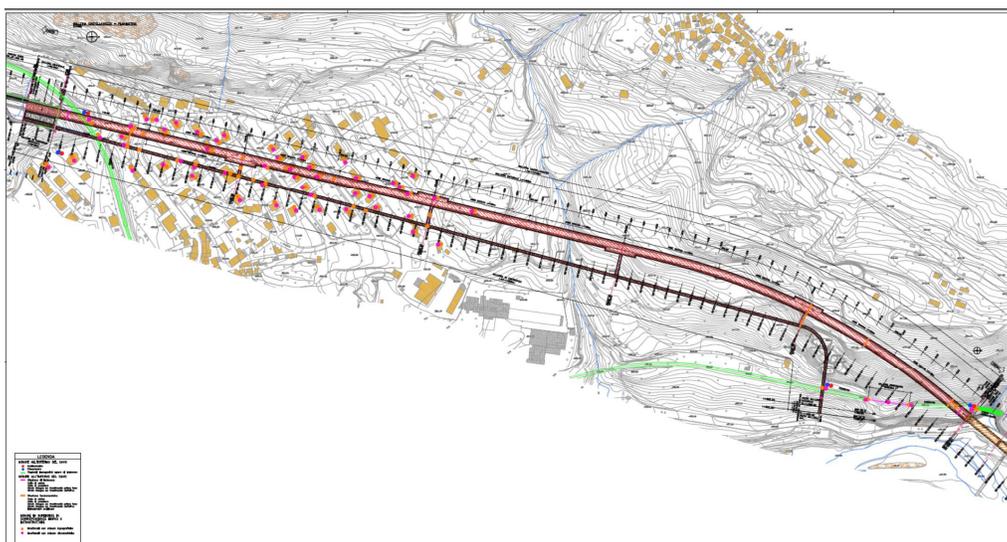


Figura: Interferenze Galleria Castellavazzo e galleria d'emergenza con edifici ed infrastrutture

Le interferenze sono molte ed è stata prevista una ampia campagna di monitoraggio topografico e vibrometrico.

I fabbricati sono tutti caratterizzati dalle medesime caratteristiche costruttive, si tratta di edifici adibiti a civile abitazione a massimo quattro piani fuori terra, con struttura in cemento armato.

### 4.1 Controlli topografici

Il piano di monitoraggio prevede la predisposizione di controlli della situazione deformativa sui manufatti esistenti con punti di livellazione opportunamente disposti per i diversi edifici ed infrastrutture individuate nella tavola VE407\_P00GN01MOGPP01\_A di cui si riporta uno stralcio.

I punti "critici" sono localizzati nella prima parte del tracciato, dove il materiale di scavo è composto da terreni sciolti e le coperture sono basse.



Figura: Immagine edifici interferenti (stralcio tratta iniziale).

In superficie si prevede la posa in opera di "capisaldi" per livellazioni topografiche e al di sopra della galleria per "vertici" per misure topografiche (mire ottiche).

L'installazione dovrà avvenire prima dell'inizio dei lavori nell'area o dell'avvicinarsi del fronte di scavo a distanze significative, al fine di acquisire un numero di dati rilevante per la corretta definizione della situazione "ante-operam".

Le misure di cedimento al piano campagna (livellazioni superficiali) consistono nel rilievo della quota di picchetti posizionati su allineamenti ubicati perpendicolarmente e longitudinalmente all'asse della galleria.

Si prevede uno stendimento a più capisaldi che dovranno presentare, ben visibile sulla parte superiore, una borchia metallica con l'indicazione del numero del caposaldo e una testa semisferica per la battuta topografica.

La borchia dovrà essere collegata tramite bullonatura o elettro-saldatura ad una barra di ferro ( $\Phi$  26) ad aderenza migliorata di idonea lunghezza ( $L \geq 100$  cm).

Si dovrà eseguire un foro nel terreno di pari lunghezza avendo cura di cementare con malta il caposaldo in modo da renderlo solidale al terreno.

Per l'installazione dei chiodi di misura topografica dovrà essere realizzata seguendo le seguenti procedure:

- 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 della operazione di posa potrà essere realizzata la prima livellazione topografica di riferimento per i successivi rilievi (lettura di zero).

SS 51 "Alemagna" Variante di Longarone		
VE407	<i>Relazione monitoraggio</i>	

I riferimenti così installati dovranno fornire gli spostamenti assoluti dell'opera nelle tre componenti quali abbassamenti, spostamenti radiali e tangenziali o in alternativa abbassamenti, spostamenti N e spostamenti E.

Il sistema di lettura è quindi costituito da una stazione composta da un teodolite accoppiato a un distanziometro elettronico di precisione e in special modo il teodolite deve essere dotato di una lettura angolare non superiore a 2 secondi centesimali e il distanziometro elettronico con tolleranza 3 mm + 2 ppm. Gli strumenti inseriti nel sistema di monitoraggio saranno oggetto di manutenzione dal momento della posa in opera. La manutenzione ordinaria degli strumenti sarà organizzata secondo particolari criteri così riassunti:

- predisposizione del programma di manutenzione in accordo al programma di installazione della strumentazione;
- identificazione delle tipologie strumentali e delle relative possibilità di interventi di verifica e manutenzione;
- predisposizione degli strumenti necessari alle attività di verifica e delle procedure per la loro qualifica e certificazione;
- istruzione del personale addetto alla manutenzione;
- predisposizione alla procedura di manutenzione.

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

- spostamenti verticali;
- spostamenti del piano orizzontale;
- graficizzazione dei cedimenti su curve trasversali all'asse galleria e su curve longitudinali parallele all'asse galleria.

I dati elaborati per ciascuna misura di ciascuna stazione andranno rapidamente resi disponibili al fine di permettere una tempestiva interpretazione.

#### 4.1.1 Frequenze delle letture

Le misure andranno eseguite con cadenza giornaliera in corrispondenza del passaggio del fronte al di sotto della progressiva di ubicazione della stazione di livellazione (30 m prima e 30 m dopo) e dovranno continuare con cadenza bisettimanale fino al getto del rivestimento definitivo in calotta.

Il programma delle letture può essere così sintetizzato:

SS 51 "Alemagna" Variante di Longarone		
VE407	<i>Relazione monitoraggio</i>	

STRUMENTI	ANTE OPERAM (da -100 m a -40m)	CORSO D'OPERA (da -40 m a 60m)	POST OPERAM (da 60 m a 100m)
CAPISALDI/MIRE	1 volta a settimana	1 volta ogni fase di scavo	1 volta ogni 15 gg

#### 4.1.2 Misure delle soglie di attenzione di allarme sugli edifici - cedimenti

I valori di soglia di attenzione e di allarme per gli spostamenti indotti dagli scavi della galleria risultano così definiti per un cedimento atteso  $C_{\text{Atteso}}$  ottenuta dai calcoli eseguiti:

- soglia di attenzione: **1.2  $C_{\text{ATTESO}}$**
- soglia di allarme: **1.3  $S_{\text{ATTENZIONE}}$**

Cedimento massimo atteso $C_{\text{Atteso}}$ (mm)	Soglia di attenzione (mm)	Soglia di allarme (mm)
14.0	16.8	21.8

#### 4.2 Misure di controllo vibrometrico del piano campagna e degli edifici

In fase di avviamento dei lavori, vista la presenza di edifici che sovrastano la galleria naturale, sarà effettuata una campagna di monitoraggio atta al Controllo delle Vibrazioni indotte mediante l'utilizzo di **Geofoni Triassiali**.

La definizione dei parametri di trasmissione delle vibrazioni permetterà il successivo dimensionamento di eventuali ulteriori sottofasi di scavo della galleria naturale in caso di superamento dei valori limite prefissati, al fine di mantenere le vibrazioni indotte entro i limiti di ammissibilità riferiti alla Normativa DIN 4150.

Una metodologia di studio del problema è quella di identificare gli edifici e le infrastrutture secondo tre diversi possibili Fasce di Rischio definite in funzione della distanza dall'asse del tracciato. In particolare:

- **Fascia 01 (Rischio Elevato)** – 100m a cavallo dell'asse stradale (50m per parte);
- **Fascia 02 (Rischio Medio)** – 200m a cavallo dell'asse stradale (100m per parte);
- **Fascia 03 (Rischio Basso)** – 300m a cavallo dell'asse stradale (150m per parte).

Per gli edifici rientranti in **Fascia n.01** sarà predisposto un protocollo attraverso un'apposita Scheda o Testimoniale di stato in cui saranno presenti:

- la valutazione dello stato attuale dell'edificio prima dell'inizio dei lavori a seguito di sopralluogo;
- il censimento di eventuali danni e dello stato fessurativo già esistente;
- la ricostruzione dello schema statico dell'edificio;

- le misurazioni delle vibrazioni di fondo in essere prima dell'inizio dei lavori.

Durante tutta l'esecuzione dei lavori saranno posizionati dei geofoni triassiali. Gli apparecchi sono collegati ad un modem GSM che permette ai centri di calcolo e controllo di scaricare tutte le rilevazioni sperimentali e modificare eventualmente le configurazioni di acquisizione. Tutti gli apparecchi sono alimentati da batterie ricaricabili con alimentazione 12V e sono protette da apposito guscio trasparente. I geofoni saranno fissati rigidamente alla pavimentazione esterna o interna al fabbricato nei punti di misura prescelti.

Fissato un livello di soglia di sismicità ammissibile, qualora si verificasse un dato anomalo in corrispondenza degli edifici interessati con superamento del valore limite sarà immediatamente bloccata qualsiasi operazione di cantiere ed aperta una procedura di "ritaratura" degli avanzamenti.

Per gli edifici censiti in **Fascia n.02** invece la procedura sarà analoga a quella degli edifici in fascia 01 per tutta la parte di ispezione/analisi con redazione del Testimoniale di Stato, mentre i monitoraggi vibrometrici saranno effettuati solo laddove lo si riterrà necessario in base alle condizioni dell'edificio da monitorare.

Per gli edifici censiti in **Fascia n.03** sarà esclusivamente avviata una campagna di ispezione visiva con rilievo di eventuali danni già presenti sui fabbricati.

Le normative vigenti in materia che saranno utilizzate come riferimento sono attualmente le seguenti:

- Vibrazioni – Edifici – Danno UNI 9916:2004 (Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici);
- Vibrazioni – Edifici – Disturbo UNI 9614:1990 (Misura delle vibrazioni negli edifici al fine della valutazione del disturbo);
- Vibrazioni – Edifici – Disturbo UNI 11048:2003 (Metodo di misura delle vibrazioni negli edifici al fine della valutazione del disturbo).

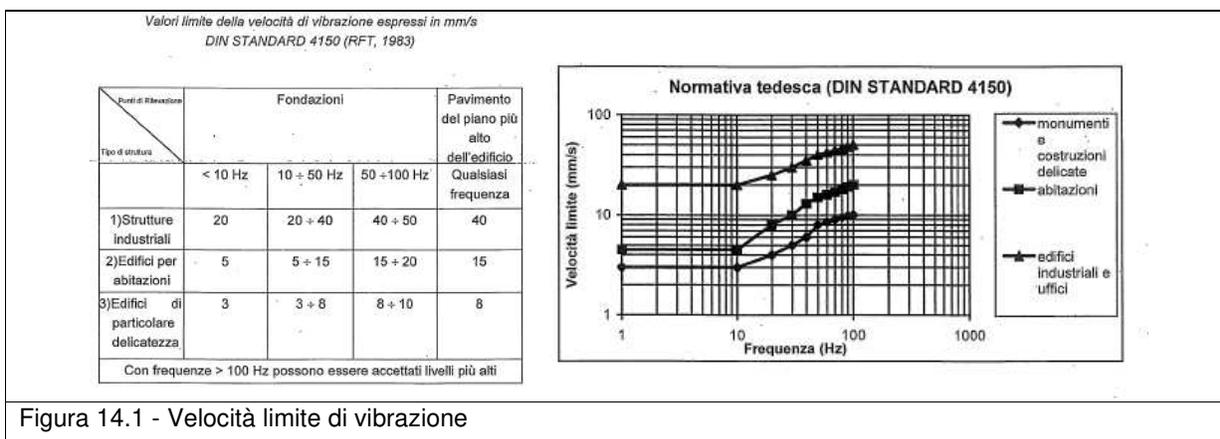


Figura 14.1 - Velocità limite di vibrazione

#### 4.2.1 Monitoraggio delle vibrazioni con geofoni triassiali

Durante tutte le operazioni di scavo e abbattimento in galleria si prevede, dove necessario, un monitoraggio dinamico della superficie topografica basato sull'utilizzo di **Velocimetri Geofonici Triassiali**.

La predisposizione per l'installazione del monitoraggio dinamico sarà la seguente:

SS 51 "Alemagna" Variante di Longarone		
VE407	<i>Relazione monitoraggio</i>	

- 1- saranno installati Velocimetri Geofonici Triassiali in appositi pozzetti resi solidali con il terreno, di cui almeno uno sulla verticale dell'asse di scavo della galleria, uno nella zona della struttura sensibile lato scavo e uno nella zona della struttura sensibile sul lato opposto allo scavo;
- 2- sarà installata l'Unità di Acquisizione Dati Dinamici, dotata di modulo GSM/GPRS per la trasmissione dei dati a distanza, e saranno stesi i cavi strumentali che collegano i sensori all'unità di acquisizione;
- 3- i sensori di vibrazione che saranno impiegati dovranno essere di classe I e conformi alle normative di riferimento internazionali DIN4150-3, DIN45669-1, UNI9916 e UNI9614 con una risposta in frequenza lineare da 1 a 315 Hz;
- 4- l'apparecchiatura di acquisizione digitale è modulare a multipli di 6 canali e viene assemblata in armadio a muro IP67; all'interno sono incluse le protezioni elettriche per le sovratensioni, il sistema di alimentazione con batteria in tampone per garantire il funzionamento per almeno 5 giorni anche nel caso di assenza dell'alimentazione, il sistema di trasmissione dati GSM/GPRS;
- 5- per ciascun canale è possibile selezionare due valori di soglia oltre il quale la centralina invia in tempo reale le segnalazioni di allarme tramite messaggio SMS fino a 10 numeri cellulari e messaggio via internet al software del centro remoto di controllo per lo scarico e l'analisi dei dati; le soglie saranno impostate dopo avere monitorato la galleria per un periodo significativo di alcuni giorni per verificare quale sia il "rumore di fondo" indotto dal transito dei normali mezzi sulle strade adiacenti;
- 6- quando si verifica una vibrazione di valore superiore alle soglie impostate per ogni singolo canale, la centralina attiva la registrazione dei segnali per un periodo pre e post evento selezionabile; un messaggio al computer del centro remoto di controllo avvisa dell'avvenuto superamento di soglia e si attiva automaticamente o manualmente lo scarico e l'analisi dei dati; allo stesso modo la centralina può attivare un contatto elettrico per l'attivazione in loco di allarmi, semafori, segnalazioni luminose, ecc.;
- 7- nel caso di normale funzionamento senza superamenti di soglia, il sistema calcola e memorizza "**in continuo**" i valori minimi e massimi calcolati su un periodo di tempo impostabile (di default pari a 10 secondi); questo tipo di dato è particolarmente utile in quanto consente di conoscere quali sono stati i valori massimi di sollecitazione dinamica della struttura, anche quando l'intensità degli stessi è risultata inferiore al valore di soglia di allarme;
- 8- la distanza dei sensori dalla centralina può essere anche di alcune centinaia di metri; pertanto, alla centralina possono essere collegati anche altri sensori, ad esempio accelerometri miniaturizzati per il monitoraggio di impianti esistenti (per esempio: infrastrutture, cabine elettriche, ecc.).

#### 4.2.2 Frequenze delle letture

Sarà installata l'Unità di Acquisizione Dati Dinamici, dotata di modulo GSM/GPRS per la trasmissione dei dati a distanza, e saranno stesi i cavi strumentali che collegano i sensori all'unità di acquisizione; nel caso di normale funzionamento senza superamenti di soglia, il sistema calcola e memorizza "**in continuo**" i valori minimi e massimi calcolati su un periodo di tempo impostabile.

SS 51 "Alemagna" Variante di Longarone		
VE407	<i>Relazione monitoraggio</i>	

STRUMENTI	ANTE OPERAM (da -100 m a -40m)	CORSO D'OPERA (da -40 m a 60m)	POST OPERAM (da 60 m a 100m)
GEOFONI	attivazione 1 mese	attivato in continuo	attivato in continuo

#### 4.2.3 Misure delle soglie di attenzione di allarme sugli edifici - vibrazioni

I valori di soglia di attenzione e di allarme per le vibrazioni indotte dagli scavi della galleria risultano così definiti per una vibrazione con  $V_{\text{ammisibile}}$  ottenuta dai calcoli eseguiti:

- soglia di attenzione: **1.2  $V_{\text{Min,amm}}$**
- soglia di allarme: **1.3  $S_{\text{ATTENZIONE}}$**

Modalità di scavo	Velocità ammissibile atteso $V_{\text{min,amm}}$	Soglia di attenzione (mm/s)	Soglia di allarme (mm/s)
Abbattimento con esplosivi	5	6	8
Abbattimento con martellone	3	3	4

## 5 PIANO DI MONITORAGGIO TRATTO IN ARTIFICIALE

Il monitoraggio delle **opere provvisionali** di imbocco è finalizzato principalmente a conseguire i seguenti scopi:

- ✓ valutare durante le fasi esecutive lo stato tensio-deformativo dell'opera provvisoria, lo stato tensionale dei tiranti, l'ampiezza del cuneo di spinta mobilitato a tergo dell'opera provvisoria durante le fasi di scavo ed eventuali movimenti indotti in testa allo sbancamento a tergo dell'opera provvisoria;
- ✓ verificare la rispondenza delle grandezze definite e segnalare eventuali anomalie e situazioni di rischio potenziali.

A tali scopi **oltre all'installazione di inclinometri e piezometri sulle stazioni di imbocco** sopra definite è prevista l'installazione della seguente strumentazione sulle paratie provvisorie:

- ✓ **Target topografici:** sono previsti sul cordolo di sommità delle paratie, una ogni 5 m di sviluppo della paratia;
- ✓ **Celle di carico toroidali** sulle teste dei tiranti, una per ogni ordine di tiranti in corrispondenza delle sezioni di calcolo utilizzate (individuate su tavole opere provvisorie imbocchi);

SS 51 "Alemagna" Variante di Longarone		
VE407	<i>Relazione monitoraggio</i>	

- ✓ **Inclinometri:** sono previsti per ogni sezione di monitoraggio, inclinometri annegati nel getto dei pali della paratie.
- ✓ **Sistemi di acquisizione dati** e pannelli di centralizzazione a cui cablare tutti gli strumenti elettrici dell'opera al fine di facilitare la lettura.

I dettagli della strumentazione sono rappresentati nella tavola di riferimento.

### 5.1.1 Controlli topografici e mire ottiche

L'installazione di mire ottiche e miniprismi sulle opere di sostegno (cordolo di sommità) permette attraverso l'esecuzione di rilievi topografici di precisione, eseguiti periodicamente, sia di valutare le condizioni di versante prima della realizzazione dell'imbocco e dell'inizio degli scavi della galleria naturale e sia di effettuare il controllo degli spostamenti dell'opera e dei versanti durante le lavorazioni. L'acquisizione dei dati permetterà consentirà di intervenire preventivamente e valutare al meglio gli eventuali effetti indotti.

I riscontri topografici possono essere rilevati con sistema manuale tradizionale o con sistema automatico robotizzato e in generale l'utilizzo di miniprismi in luogo dei targets permette una maggiore precisione di letture.

Per le caratteristiche tecniche dei target (mire ottiche), modalità esecutive e la documentazione da produrre si rimanda al documento *IT.PRL.05.10 – Rev. 2.0 Rilievi, Indagini e Monitoraggio, Anas par. 21.2, 21.2.1, 21.2.2 e 21.2.3.*

Per le caratteristiche tecniche dei miniprismi, modalità esecutive e la documentazione da produrre si rimanda al documento *IT.PRL.05.10 – Rev. 2.0 Rilievi, Indagini e Monitoraggio, Anas par. 21.1, 21.1.1, 21.1.2 e 21.1.3.*

#### **Frequenza delle misure**

Si prevede una frequenza di misura settimanale nel corso di esecuzione dello sbancamento, eventualmente da intensificare qualora i risultati ne indicassero la necessità, fino alla completa stabilizzazione.

La frequenza delle letture sarà così prevista:

STRUMENTI	Ante operam (2 mesi)	Corso d'opera (x mesi)	Post opera (12 mesi)
Mire ottiche/miniprismi	1 volta ogni 15 gg	1 volte a settimana	1 volta al mese

### 5.1.2 Celle di carico toroidali per tiranti

Le celle di carico elettriche sono composte da un corpo in acciaio di forma toroidale sensibilizzato con strain-gauges di tipo resistivo e una piastra in acciaio che permette una più omogenea ripartizione del carico

SS 51 "Alemagna" Variante di Longarone		
VE407	<i>Relazione monitoraggio</i>	

Per le caratteristiche tecniche, modalità esecutive e la documentazione da produrre si rimanda al documento *IT.PRL.05.10 – Rev. 2.0 Rilievi, Indagini e Monitoraggio, Anas par. 14. 3, 14.3.1, 14.3.2 e 14.3.3.*

**Frequenza delle misure**

La frequenza delle letture sarà così prevista:

STRUMENTI	Ante operam (2 mesi)	Corso d'opera (x mesi)	Post esecuzione (12 mesi)
Celle di carico	-	3 volte a settimana	1 volta al mese