

**S.S. 45bis - Gardesana Occidentale**

Opere di costruzione della galleria in variante tra il km 86+567 e il km 88+800 finalizzata a sottendere le attuali gallerie ogivali a sezione ristretta

**PROGETTO DEFINITIVO**

COD. MI92

**PROGETTAZIONE: ANAS - DIREZIONE PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE LAVORI**

PROGETTISTA:

*Dott. Ing. Antonio Scalamandrè  
Ordine Ing. di Frosinone n. 1063*

IL GEOLOGO

*Dott. Geol. Serena Majetta  
Ordine Geol. di Roma n. 928*

IL RESPONSABILE DEL S.I.A.

*Dott. Ing. Laura Troiani  
Ordine Ing. di Roma n. 31890*

COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

*Geom. Fabio Quondam*

VISSO IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

*Dott. Ing. Giancarlo Luongo*

PROTOCOLLO

DATA

**STUDI E INDAGINI**

**Elaborati Monitoraggio geotecnico/geomorfologico**

Relazione del Piano di Monitoraggio Geotecnico

| CODICE PROGETTO  |             | NOME FILE       |          | REVISIONE  | SCALA     |
|--|-------------|-----------------|----------|------------|-----------|
| PROGETTO                      LIV. PROG.<br><b>DPMI0092</b> <b>D</b> <b>18</b> |             | T00GE00MOGRE01A |          | <b>A</b>   | varie     |
| CODICE ELAB. <b>T00GE00MOGRE01</b>   |             |                 |          |            |           |
| D  |             |                 |          |            |           |
| C  |             |                 |          |            |           |
| B  |             |                 |          |            |           |
| A  | EMISSIONE   |                 | Gen 2020 |            |           |
| REV.   | DESCRIZIONE | DATA            | REDATTO  | VERIFICATO | APPROVATO |

INDICE

|  |    |
|--|----|
| 1. PREMESSA.....   | 3  |
| 2. RIFERIMENTI NORMATIVI E BIBLIOGRAFICI .....   | 4  |
| 2.1 NORMATIVA E RACCOMANDAZIONI TECNICHE .....   | 4  |
| 2.2 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI E PROGETTUALI .....  | 4  |
| 3. DESCRIZIONE DEL PROGETTO .....  | 5  |
| 4. CENNI GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA .....  | 6  |
| 5. ASPETTI DEL MONITORAGGIO GEOTECNICO .....   | 8  |
| 6. CRITERI DI PROGETTO DEL MONITORAGGIO .....  | 10 |
| 6.1 OBIETTIVI DEL MONITORAGGIO .....   | 10 |
| 6.2 PROGETTO GENERALE DI MONITORAGGIO .....  | 12 |
| 6.3 SEZIONI DI MISURA E UBICAZIONE DELLA STRUMENTAZIONE .....  | 13 |
| 6.4 PIATTAFORMA GESTIONI DATI .....  | 14 |
| 6.4.1 Ufficio Centrale di Elaborazione, gestione e controllo delle attività di monitoraggio<br>e dei Dati (C.E.D.) ..... | 16 |
| 6.4.2 Interfaccia utente e visualizzazione dei dati.....   | 18 |
| 6.4.3 Configurazione del software .....  | 19 |
| 7. FREQUENZE DI LETTURE .....  | 20 |
| 7.1 MONITORAGGIO DA PIANO CAMPAGNA PARETI DI VERSANTI O AREE IN FRANA .....  | 20 |
| 7.2 MONITORAGGIO DA PIANO CAMPAGNA PARATIA .....   | 20 |
| 7.3 MONITORAGGIO DA PIANO CAMPAGNA AREE FABBRICATI .....   | 21 |
| 7.4 MONITORAGGIO DA PIANO CAMPAGNA GALLERIE .....  | 21 |
| 7.5 MONITORAGGIO NELLE GALLERIE (SCAVO IN TRADIZIONALE E/O TBM).....   | 21 |
| 8. MONITORAGGIO INTERNO O IN GALLERIA.....   | 25 |
| 8.1 DEFORMAZIONI E CARICHI .....   | 25 |
| 8.2 RILIEVO STRUTTURALE DEL FRONTE DI SCAVO .....  | 26 |
| 8.2.1 Rilievi di dettaglio.....  | 26 |
| 8.2.2 Rilievo speditivo .....  | 27 |
| 9. MONITORAGGIO IMBOCCHI E PARATIE .....   | 28 |

|   |    |
|---|----|
| 10. MONITORAGGIO INTERNO GALLERIE ESISTENTI (D'ACLI, EUTEMIA E DEI CICLOPI) | 29 |
| 11. CONCLUSIONI .....   | 31 |

## 1. PREMESSA

La presente relazione geotecnica generale si inserisce nell'ambito del Progetto Definitivo della Variante alla S.S.45 bis "Gardesana occidentale" tra il km 86+567 ed il km 88+800 nei comuni di Gargnano e Tignale in provincia di Brescia.

Il progetto prevede lo scavo di una galleria naturale che ospiterà la carreggiata in direzione Nord-Sud della futura S.S.45 bis. La sede attuale della viabilità sarà impiegata esclusivamente come carreggiata in direzione Sud-Nord. In corrispondenza dell'imbocco Sud della galleria è prevista la realizzazione di un tombino in c.a. In corrispondenza dell'imbocco Nord sarà realizzata una rotatoria dove convergeranno entrambe le corsie dell'attuale Strada Provinciale per Tignale, la futura carreggiata Sud-Nord in sede all'attuale S.S.45 bis e la nuova carreggiata Nord-Sud. Nella fattispecie il documento riporta le scelte del monitoraggio geotecnico-geomorfologico di questa fase di progettazione, scelte che riflettono, con i dovuti approfondimenti e integrazioni, le nuove linee guida dell'Ente in merito al controllo da eseguirsi sulle infrastrutture, sia da parte dell'Impresa esecutrice dei lavori e sia direttamente dalla Direzione Lavori.

Il monitoraggio geotecnico-geomorfologico, è stato suddiviso in due UNITA':

- La prima, a totale carico dell'Impresa, prevede il classico controllo in galleria e all'esterno (convergenze, deformazioni, ecc.). Tutto così come riportato negli elaborati progettuali;
- La seconda a carico della Direzione Lavori, che eseguirà una serie di controlli atti a verificare la risposta dei terreni e delle infrastrutture (strade, fabbricati, ecc.) alle sollecitazioni indotte dalla realizzazione dell'Opera.

## 2. RIFERIMENTI NORMATIVI E BIBLIOGRAFICI

### 2.1 NORMATIVA E RACCOMANDAZIONI TECNICHE

[1] D.M. del 17.01.2018 Aggiornamento delle *Norme Tecniche per le costruzioni*

### 2.2 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI E PROGETTUALI

[2] AGI – Associazione Geotecnica Italiana (1997) *"Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche"*.

[3] AGI – Associazione Geotecnica Italiana (1994) *"Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio"*.

[4] Linee Guida in materia di Monitoraggio Geotecnico, Anas 19/12/2017

[5] Verifica del profilo di scavo e dello spessore dei rivestimenti delle gallerie naturali in fase esecutiva, Anas 30/07/2018 Prot. CDG-0409076-I.

### 3. DESCRIZIONE DEL PROGETTO

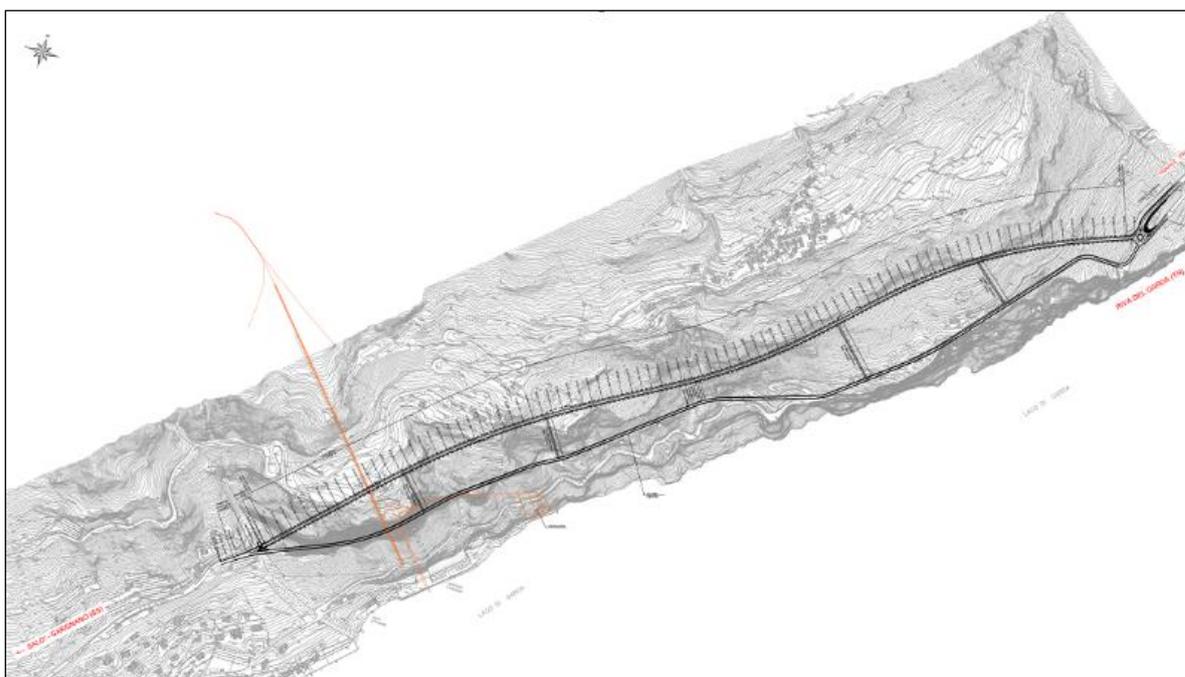
L'intervento in oggetto riguarda il progetto di costruzione della variante in galleria dal km 86+567 al km 88+800 della S.S. 45bis "Gardesana occidentale" che costituisce un'importante direttrice di collegamento Nord - Sud tra la Regione Veneto ed il Trentino Alto Adige lungo il Lago di Garda.

Configurandosi come una strada di collegamento primaria, vista la presenza di impianti turistici, la S.S. 45bis, oltre ad essere interessata dal normale traffico, è caratterizzata da un importante volume di traffico di tipo commerciale, con un'elevata presenza di veicoli pesanti.

Tale variante sottende e funge da by-pass delle attuali tre gallerie esistenti di forma ogivale, presenti lungo il tratto: la galleria "D'Acli" (di lunghezza pari a circa 930 metri), la galleria "Eutemia" (di lunghezza pari a 60 metri) e la galleria "Dei Ciclopi" (di lunghezza pari a 655 metri). Tali gallerie si sviluppano superficialmente lungo la parete rocciosa a breve distanza dal margine del costone roccioso, con coltri di copertura che variano dai 20 ai 100 m.

In relazione ai volumi e alle tipologie di traffico che transitano, le caratteristiche attuali del tracciato e della sede stradale, in particolare la galleria che collega i centri urbani di San Giacomo e Muslone, appare sottodimensionata per garantire il transito dei mezzi in condizioni di sicurezza.

A causa di quanto sopra esposto si è reso necessario progettare una nuova galleria parallela a quelle attuali che permetta di alleggerire il tratto dal traffico pesante e di inserirsi nel territorio nel rispetto dei vari vincoli presenti.



#### 4. CENNI GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

Il settore oggetto di studio ricade lungo la costa occidentale del lago di Garda. Il comune di riferimento è quello di Gargnano, situato in Provincia di Brescia.

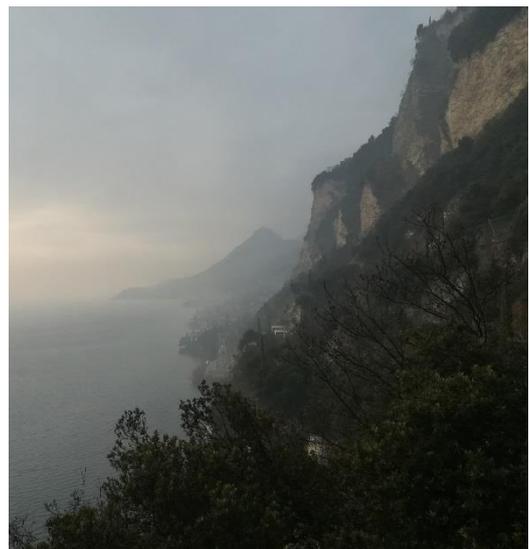
Morfologicamente, il tracciato si sviluppa in territorio montano, con un paesaggio molto eterogeneo che passa da particolarmente aspro in corrispondenza dei rilievi dolomitico-carbonatici, a forme più smussate e arrotondate in corrispondenza delle litologie marnose più erodibili. L'area si presenta come un versante roccioso con pareti per lo più ad elevata pendenza, interrotte da cenge e creste secondarie. Le altezze dei fronti rocciosi sono molto eterogenee a seconda del settore di fronte considerato.



Sono comunque possibili prolungate cadute libere di eventuali massi che si distacchino dalle pareti con impatti primari che si consumano o sulle cenge intermedie o nel sottostante pendio al piede delle pareti. Dal piede della falesia si diparte un versante mediamente acclive, con valori intorno ai 35°-45°, degradante verso sud est, coperto da una fitta vegetazione e caratterizzato, sotto il profilo litologico, da falde di detrito che ammantano la pendice sovrastando il locale substrato roccioso. La cresta si sviluppa in maniera irregolare con numerosi sottobacini e/o impluvi, spesso separati da dorsali disposte longitudinalmente al pendio, che per un

certo tratto quasi convogliano e concentrano le potenziali traiettorie dei massi in zone ben determinate. A quote topograficamente inferiori (200 - 250m) fino a giungere a lago, la pendice assume una conformazione più regolare ed uniforme, in seno alla quale il modellamento antropico si identifica in una successione di terrazzamenti che spezzano la locale acclività (15° - 20°). In questo contesto la definizione delle potenziali traiettorie dei blocchi che potenzialmente possono scendere dal pendio appare meno evidente e direttamente influenzata dal microrilievo.

Le pareti rocciose così conformate, incombenti direttamente o indirettamente sul territorio, con al piede un versante regolare tale da sfavorire il rapido arresto dei blocchi rocciosi che lo percorrono, rappresentano un importante elemento di criticità nei confronti del rischio da caduta massi per l'intera

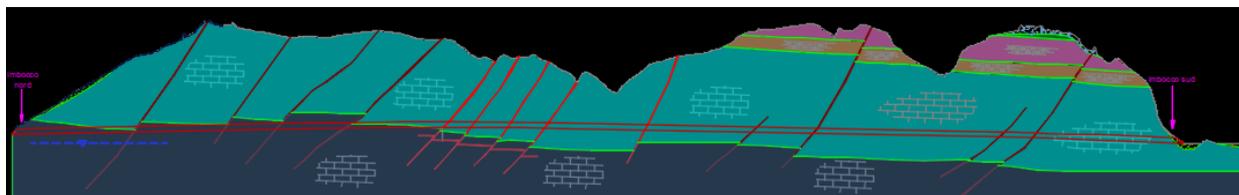


porzione di territorio a nord di Gargnano e in località San Giacomo.

La successione stratigrafica pre-quadernaria affiorante nell'area di stretto interesse progettuale comprende le litologie marine e terrigene ascrivibili ad un intervallo temporale compreso nel Mesozoico - Cenozoico (Eocene). I rapporti geometrici tra le diverse formazioni sono spesso di difficile interpretazione perché nascoste dalle estese coltri dei depositi di copertura. Di seguito vengono descritte le due principali formazioni che saranno oggetto di scavo durante la realizzazione della nuova galleria:

| Nome Formazione               | Descrizione unità   |
|-------------------------------|---|
| <u>Medolo</u>                 | Calcari per lo più marnosi, di colore chiaro o scuro, ad evidente stratificazione, con letti e noduli di selce e con intercalazioni di più o meno abbondanti di marne fino ad argilliti grigio-verdastre. |
| <u>Formazione di Concesio</u> | Calcari, anche marnosi, e talora più o meno detritici, da grigiastri a nocciola, frequentemente selciosi, a stratificazione evidente, con intercalazioni di marne grigio-verdastre talora abbondanti.     |

In particolare, il seguente schematico profilo riporta la galleria ed i terreni interessati dallo scavo: calcari delle formazioni Medolo (in blu scuro) e Concesio (in celeste).



## 5. ASPETTI DEL MONITORAGGIO GEOTECNICO

Il monitoraggio geotecnico-geomorfologico, come detto in premessa, è stato suddiviso in due UNITÀ:

- La prima, a totale carico dell'Impresa, prevede il classico controllo in galleria e all'esterno (convergenze, deformazioni, ecc.), così come riportato negli elaborati progettuali;
- La seconda a carico della Direzione Lavori, che eseguirà una serie di controlli atti a verificare la risposta dei terreni e delle infrastrutture (strade, fabbricati, ecc.) alle sollecitazioni indotte dalla realizzazione dell'Opera.

In sintesi, il progetto di Monitoraggio è composto da due progetti di Monitoraggio: il primo a totale carico dell'Impresa, il secondo a totale carico della DL.

Di seguito si riporta un esempio della suddivisione dei compiti:

| MONITORAGGIO   | IMPRESA       |        |  | DIREZIONE LAVORI |   |  |
|--|---------------|--------|--|------------------|---|--|
|  | Installazione | Misura | Elaborazione, Restituzione e Commento del dato | Installazione    | Misura  | Elaborazione, Restituzione e Commento del dato |
| Galleria, Cunicoli, Imbocchi   | X             | X      | X  |                  | A campione o a numero predeterminato          | X  |
| Ponti, viadotti  | X             | X      | X  |                  | A campione o a numero predeterminato          | X  |
| Paratie, Rilevati, Opere Minori, ecc.  | X             | X      | X  |                  | A campione o a numero predeterminato          | X  |
| Strutture esterne interferenti con il Progetto: strade, ferrovie, fabbricati                     | X             | X      | X  | X                | A campione o a numero predeterminato          | X  |
| Corpi di frana   | X             | X      | X  | X                | X   | X  |
| Laser scanner in galleria per la verifica della sagoma di scavo e rispetto dello spessore del RD |               |        |  | X                | A numero predeterminato o prima di ogni getto | X  |
| Georadar, dopo il getto del RD per la verifica dello spessore di calotta                         |               |        |  | X                | A ml predeterminati                           | X  |
| Impegno Personale  | X             | X      | X  | X                | X   | X  |
| Impegno Progettista per valutazioni varie  |               |        | X  |                  |   | X  |

Considerando l'intervento in oggetto che consiste nella realizzazione di una nuova galleria (circa 1800m) e di cinque by-pass (quattro pedonali ed uno carrabile) di collegamento con le tre gallerie esistenti (D'Acli, Eutemia e Dei Ciclopi), il Piano di Monitoraggio, pertanto, è stato finalizzato al controllo della nuova Opera e, per le aree d'interferenza, al controllo delle gallerie esistenti e alle aree di versanti (imbocchi, zone intermedie tra le gallerie esistenti) che potrebbero essere interessate da caduta di blocchi di materiale (massi).

Nel seguito verranno quindi illustrati i criteri generali adottati per la progettazione di tale sistema, la relativa strumentazione e le procedure previste per assicurare il corretto svolgimento delle operazioni di monitoraggio per la verifica ed il controllo del territorio a contorno dell'Opera.

Negli elaborati grafici sono riportati indicativamente: l'ubicazione planimetrica e le caratteristiche geometriche della strumentazione prevista. Tali indicazioni andranno verificate ed adattate alle situazioni effettivamente riscontrate sul posto (accessibilità dell'area, ecc.).

Le caratteristiche tecnologiche della strumentazione e le modalità di installazione indicate nei successivi capitoli, possono essere migliorate in funzione di quanto disponibile commercialmente e di eventuali accorgimenti operativi.

In tutti i casi, le variazioni dovranno comunque garantire la funzionalità e l'efficacia di quanto installato e la significatività delle misure acquisite, nei riguardi dei criteri e delle necessità progettuali.

In particolare per la strumentazione per il controllo delle Opere esistenti vengono fornite indicazioni generali, valide per tutti le tipologie. Tale strumentazione potrà essere integrata opportunamente sulla base della documentazione relativa alla singola struttura e dei primi risultati ottenuti dal monitoraggio, modulando i controlli alle reali necessità riscontrate in sito.

## 6. CRITERI DI PROGETTO DEL MONITORAGGIO

Il sistema di monitoraggio è stato pensato in modo da poter fornire gli elementi necessari ad una corretta valutazione della situazione in corso d'opera. Ciò al fine di poter intervenire con eventuali azioni correttive da adottare qualora ci si discosti dalle previsioni progettuali, in termini di effetti sulle interferenze con le preesistenze (movimenti franosi, infrastrutture, fabbricati, ecc.) e del comportamento delle nuove strutture in corso di realizzazione.

A titolo non esaustivo, tali azioni correttive potranno consistere:

- Integrazioni del monitoraggio previsto (come quantità e tipologia della strumentazione e come frequenza di lettura della stessa);
- Integrazioni degli interventi di consolidamento e/o contenimento;
- Variazioni delle modalità di risposta alle ipotesi di progetto.

L'insieme dei dati raccolti relativi agli effetti indotti nel volume di terreno interessato e sui vari manufatti ubicati in prossimità dell'area, potrà essere confrontata con quanto previsto in progetto, al fine di verificare la validità delle ipotesi assunte e dei modelli utilizzati.

### 6.1 OBIETTIVI DEL MONITORAGGIO

Il piano di monitoraggio è messo a punto con l'obiettivo di garantire condizioni di sicurezza sia durante la realizzazione dell'Opera e sia durante l'esercizio. Il progetto di Monitoraggio prevede:

1. Controllo diretto delle strutture in corso di realizzazione (gallerie, ponti, opere minori, ecc.) **eseguito direttamente dall'IMPRESA**;
2. Controllo dei versanti, delle infrastrutture esistenti (Fabbricati, Galleria asse di monte, ecc.), interferenti con l'opera in corso di realizzazione; verifica della sagoma di scavo, degli spessori del rivestimento definitivo, controlli e misure sugli strumenti a carico dell'Impresa, **eseguito dalla D.L.**

Le diverse problematiche individuate durante le fasi progettuali sono oggetto di specifici elaborati al fine di permettere la verifica, durante la realizzazione dell'Opera, ed eventualmente intervenire con delle azioni correttive. A questo scopo, il sistema permette di:

- ✓ Controllare il comportamento delle preesistenze coinvolte.

Misurazioni dirette, ottenute con strumentazione differente:

- Livellazione topografica operata direttamente sulle strutture e nel terreno (ad es. staffe, capisaldi, mire ottiche) avente il fine di determinare i cedimenti/distorsione e quindi le deformazioni indotte sull'Opera sottoposta a controllo;
- Misura degli spostamenti e verifiche con laser scanner. Confronto dei dati nel tempo, direttamente correlabili con la tipologia di movimento ed eventuale influenza sulle strutture. Valutazione dei movimenti e della tipologia;
- Misure dirette delle inclinazioni delle strutture;

- Misure dirette del quadro fessurativo delle strutture;
- Misure dirette sul rivestimento definitivo delle gallerie già realizzate (asse di monte);
- Misure dirette nel terreno (inclinometri, piezometri, ecc.).

✓ Determinare il comportamento deformativo dei versanti in prossimità delle nuove e vecchie Opere.

In alcuni punti del tracciato, individuati dallo studio geologico-geomorfologico a corredo del Progetto, vengono posti in opera strumenti atti a determinare spostamenti orizzontali e verticali in superficie:

- interferometria satellitare;
- Interferometria terrestre;
- Rilievi topografici.

In tal modo è possibile ricostruire complessivamente lo stato deformativo dei versanti in tutta la zona d'interesse. Tale aspetto del monitoraggio riveste particolare importanza in prossimità delle Opere (vecchie e nuove) in condizioni geomorfologiche considerate critiche.

✓ Determinare lo stato deformativo del terreno lungo una verticale.

I movimenti superficiali verranno confrontati, nel corso dei lavori, con i dati provenienti dalle misure inclinometriche per valutare i movimenti in profondità e le possibili influenze sulle Opere (es.: lungo l'asse della galleria con sezioni dedicate costituite da capisaldi, tubi inclinometrici e piezometri); lungo la linea di massima pendenza dei versanti per il controllo delle aree instabili, individuate dallo studio geologico-geomorfologico, prevedendo, in alcuni casi, l'installazione di catene inclinometriche, dotate di un numero variabile di sensori inclinometrici, con acquisizione e trasmissione in automatico dei dati.

Al fine di valutare e contrastare l'insorgere di problematiche che potrebbero diventare dannose alla realizzazione e alla vita stessa delle Opere.

✓ Determinare lo stato del regime idraulico.

Verranno effettuate misure piezometriche eseguite al fine di valutare eventuali variazioni del regime delle pressioni interstiziali in funzione dei regimi idraulici e della risposta dell'ammasso alle Opere di drenaggio. Confronto e correlazioni con i dati provenienti dalle previste stazioni pluviometriche dedicate. Completando quindi il quadro delle conoscenze e dei controlli.

✓ Determinare il comportamento delle nuove Opere

Installazione di strumenti nei rivestimenti provvisori e definitivi delle Opere (galleria, viadotto, paratie, ecc.), quali ad esempio capisaldi, mire ottiche, inclinometri, barrette estensimetriche, celle di carico, celle piezometriche, ecc.

Verifiche della D.L. della sagoma di scavo e dello spessore del rivestimento definitivo, tramite laser scanner e georadar.

## 6.2 PROGETTO GENERALE DI MONITORAGGIO

Il monitoraggio permette il controllo dell'area durante la costruzione dell'Opera e, se necessario anche dopo, per quelle aree o strutture i cui risultati delle misure lasciano ancora dei dubbi sulla completa stabilizzazione.

Per le aree considerate critiche (tracciato interferente con corpi di frana, ecc.) è previsto un programma di controllo automatizzato. Lo scopo di quest'ultimo è quello di evidenziare in continuo:

- ✓ Movimenti orizzontali del terreno in profondità con l'identificazione di potenziali piani di scivolamenti;
- ✓ Movimenti del terreno o fenomeni di subsidenza, cedimenti;
- ✓ Livello di falda, pressioni interstiziali nei terreni e variazioni nel tempo.

Si prevede l'utilizzo di un sito web a cui è collegata una piattaforma informatica (a carico dell'affidatario del contratto di monitoraggio per la D.L.) in cui sono caricati tutti i dati provenienti dalle registrazioni strumentali di tutti i dati di monitoraggio (DL e Impresa). Alla piattaforma arrivano anche i dati acquisiti tramite sistemi automatici. Al sito saranno abilitati diversi utenti (Impresa, Progettista delle opere, D.L., Committente, ecc.), mediante una chiave di accesso dedicata. Inoltre, nessun dato sensibile è fornito all'esterno o al pubblico, restando la gestione del monitoraggio ad esclusivo utilizzo dei vari utenti che partecipano alla realizzazione dell'Opera.

L'impresa, come l'affidatario del monitoraggio geotecnico-geomorfologico, impiegherà personale esperto in questo campo. L'impresa e l'affidatario del contratto di monitoraggio dovranno nominare i responsabili esperti nel campo, scelti tra le figure professionali delle singole Società. I responsabili, ognuno per la propria competenza, dovranno gestire il Centro di Elaborazione Dati e parteciperanno alle riunioni tra Impresa, Progettista, D.L.

Nel sito web, è possibile visualizzare le letture dell'intera rete strumentale ed è consentita la gestione degli eventuali allarmi determinata dai sensori i cui valori risultassero anomali rispetto ai limiti di soglia impostati. Il sistema, in caso di superamento delle soglie, è concepito per inviare in tempo reale SMS, e-mail o altro in modo da attivare direttamente la procedura per l'unità di crisi (Responsabile scientifico, Impresa, Progettista delle opere, DL).

Nello specifico, all'interno dei vari elaborati di progetto sono definiti i vari sistemi di controllo distinti per tipo di opera, struttura e problematiche geomorfologiche.

### Caratteristiche generali

Il Monitoraggio è stato suddiviso in esterno ed interno all'Opera in corso di realizzazione. Nello specifico comprende il controllo delle:

- Strutture: paratie, edifici, rivestimento provvisorio e definitivo, assi viari, fabbricati, ecc.;
- Terreno: piano campagna, corpi di frana, lungo le scarpate in profondità e dei fronti di scavo.

In generale, si prevede l'installazione dei seguenti strumenti:

- Inclinatori tradizionali;
- Accelerometri;
- Celle di carico toroidali per tiranti;
- Barrette estensimetriche;
- Celle di carico al piede centina;
- Martinetti piatti;
- Mire ottiche e target adesivo;
- Laser scanner;
- Georadar.

Per le aree soggette alle installazioni di reti a parete e sistemi paramassi è previsto l'utilizzo di:

- Stazione Meteo;
- Laser scanner;
- Celle di carico;
- Accelerometri.

Gli strumenti di monitoraggio verranno installati:

- All'esterno, almeno tre mesi prima dell'inizio dei lavori, in modo da poter acquisire un numero di dati significativi ai fini della valutazione della situazione "ante-opera";
- All'interno delle parti componenti l'Opera (paratia, rivestimento provvisorio, rivestimento definitivo, ecc.), durante le fasi realizzative.

L'ubicazione della strumentazione riportata negli elaborati grafici, andrà comunque verificata in corso d'opera, ed eventualmente adattata, in funzione dei riscontri ottenuti.

Tale affinamento in corso d'opera dovrà essere disposto in accordo tra la Direzione Lavori ed il Progettista.

### 6.3 SEZIONI DI MISURA E UBICAZIONE DELLA STRUMENTAZIONE

Il piano di monitoraggio prevede l'installazione di strumenti topografici e geotecnici da posizionare, sia nel terreno e sia nelle opere, nelle posizioni ritenute più significative.

Considerando il contesto, il monitoraggio è stato suddiviso in:

1. Controllo delle aree di versante interferenti con la nuova infrastruttura;
2. Controllo per tipo di Opera (paratie, gallerie, fondazioni, fabbricati, ecc.).

#### 6.4 PIATTAFORMA GESTIONI DATI

La necessità di un sistema di monitoraggio in grado di tenere sotto controllo gli effetti dell'avanzamento dei lavori in un intorno significativo dell'opera, comporta la realizzazione di un sistema complesso, proporzionale alla complessità dell'opera da realizzare e si traduce in grandi moli di dati da archiviare, valutare ed interpretare.

In quest'ottica, un valido supporto alle decisioni è rappresentato dai Sistemi Informativi, ovvero sistemi in grado di gestire ed elaborare grandi quantità di dati e da essi produrre informazione, che possa essere utilizzata a scopo di pianificazione. Nello specifico, risultano particolarmente indicati i Sistemi Informativi Geografici (abbreviati in GIS), che sono speciali sistemi informativi adatti alla manipolazione e visualizzazione di dati spazialmente distribuiti, riferiti ad elementi (territoriali), attività, eventi o valori. L'insieme di questi dati viene tradizionalmente riferito alla superficie terrestre e quindi ad uno spazio bidimensionale caratterizzato da una coppia di coordinate. Nel caso del monitoraggio di un'opera come quella in oggetto, che si effettua sia in sotterraneo che in superficie, esso avviene in quattro dimensioni, poiché, oltre alle tre dello spazio cartesiano, risulta necessario considerare anche la dimensione tempo.

Il Sistema Informativo Geografico per il Monitoraggio ha lo scopo di archiviare, rendere consultabili ed elaborabili i dati derivanti dal monitoraggio durante le diverse fasi realizzative dell'Opera, confrontarli fra di loro e con tutti gli altri dati derivanti da ulteriori indagini, dati relativi al territorio e alle opere dell'uomo che in un intorno significativo dall'opera in oggetto possono essere da quest'ultima influenzati, fornendo così un supporto alle decisioni in tempo reale.

Un sistema informativo, per definizione, deve fornire le informazioni richieste in maniera rapida e diffusa e deve allo stesso tempo salvaguardare l'integrità dei dati in esso contenuti.

Nel caso in esame, il sistema informativo di supporto al monitoraggio di opere di ingegneria civile proposto sarà consultabile:

- Al momento desiderato e con la frequenza desiderata,
- Da tipologie di utenti diversi con modalità diverse;
- Da luoghi diversi.

Inoltre, data la differenziazione notevole di utenti che possono accedere al sistema, l'interfaccia GIS-Utente sarà realizzata affinché possa essere il più possibile amichevole.

La piattaforma per la gestione dei dati di monitoraggio prevista è del tipo web-based o equivalente. Sviluppata con tecnologia tipo PHP o equivalente, dovrà prevedere un sistema di archiviazione dati su database SQL o equivalente, garantendo la totale sicurezza dei dati.

La piattaforma web di gestione dovrà avere le seguenti funzionalità:



Consentire l'accesso alle informazioni solamente agli utenti autorizzati



Archiviare e visualizzare tutti i documenti



Archiviare e visualizzare le tavole di progetto



Visualizzare gli elaborati relativi al monitoraggio



Raggruppare gli elaborati secondo una struttura logica



Consentire il download degli elaborati



Visualizzare le informazioni all'interno di una planimetria (GIS)

Il sistema di gestione dati garantisce la riservatezza delle informazioni attraverso un accesso protetto da password fornito esclusivamente agli utenti autorizzati. Consente, inoltre, la corretta archiviazione di tutti i documenti, dalle tavole di progetto alle relazioni tecniche con possibilità di visualizzazione online.

Infine, si potrà avere la possibilità d'interagire con la planimetria dell'area, visualizzando i diversi "layers" (isolinee e stradale), la planimetria dell'intervento e la posizione degli strumenti di monitoraggio.

Il sistema sarà messo a disposizione dall'Affidatario del monitoraggio (D.L.). L'impresa avrà l'onere di caricare i dati secondo le funzioni richieste, di nominare, a suo carico, un suo responsabile addetto alla verifica e validazione dei dati di monitoraggio e di provvedere attivamente, con il suo personale, a tutto il funzionamento del sistema (riunioni, rifacimenti di modelli, grafici, ecc.).

A titolo di esempio, si riportano alcune delle funzioni a cui l'Impresa è obbligata a partecipare, per le attività di monitoraggio di sua competenza:

- Nell'ufficio di cantiere/locale: scarico automatico dei dati acquisiti in automatico mediante trasmissione con GSM o dispositivo analogo e caricamento o scarico manuale da centralina/pc computer portatile dei dati acquisiti/trasferiti manualmente. Trasferimento e caricamento manuale dei dati tramite opportuni file Excel/.csv direttamente nel database o tramite maschere di inserimento. Creazione di archivio locale dei dati grezzi di cantiere (backup locale), in modo da avere sempre disponibili i dati sperimentali di cantiere.
- Trasferimento da ufficio di cantiere/locale a ufficio remoto di gestione Web via rete dei dati grezzi e loro caricamento sul Database Web.
- Interrogazione da ufficio di cantiere/locale (PCSR) del Web per validazione dei dati prima della pubblicazione definitiva sul Web. La validazione dei dati, intesa come

valutazione critica dell'accettabilità del dato grezzo, e le motivazioni relative saranno comunque disponibili agli utenti autorizzati per la verifica del processo;

- Da ufficio remoto: pubblicazione dei dati su Web resi disponibili ai vari utenti con diversi livelli di abilitazione;
- Da ufficio di cantiere/locale: verifica degli eventuali superamenti delle soglie preimpostate, comunicate dai "Responsabili". Tali soglie, definite come "di attenzione" e "di allarme" porteranno all'attivazione di contromisure. Nel caso di superamento della soglia di attenzione potranno essere aumentati il numero degli strumenti o la frequenza delle misure allo scopo di meglio individuare e definire la problematica in atto e valutare le possibili ricadute sull'avanzamento dei lavori. Nel caso di superamento della soglia di allarme, dovranno intervenire il Progettista e la Direzione Lavori per l'individuazione delle opportune contromisure;
- Varie ed eventuali.

#### 6.4.1 Ufficio Centrale di Elaborazione, gestione e controllo delle attività di monitoraggio e dei Dati (C.E.D.)

L'Impresa, insieme al DL, dovrà definire il "flusso" delle informazioni e le "Procedure generali."

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, Responsabili - 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.
- Il fenomeno evidenziato evolve ulteriormente senza però raggiungere i valori 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 e i dati sono prossimi alla soglia di "allarme": oltre alla pubblicazione tramite GIS dell'allarme ai soggetti definiti in precedenza nello schema di

flusso (DL, Impresa, progettista, ecc.), si provvederà ad attivare la procedura di allarme e alla convocazione "dell'unità di crisi" composta da (Appaltatore - Direzione di progetto, eventualmente i progettisti, Direzione di cantiere, responsabili ufficio del monitoraggio e D.L. - ufficio tecnico).

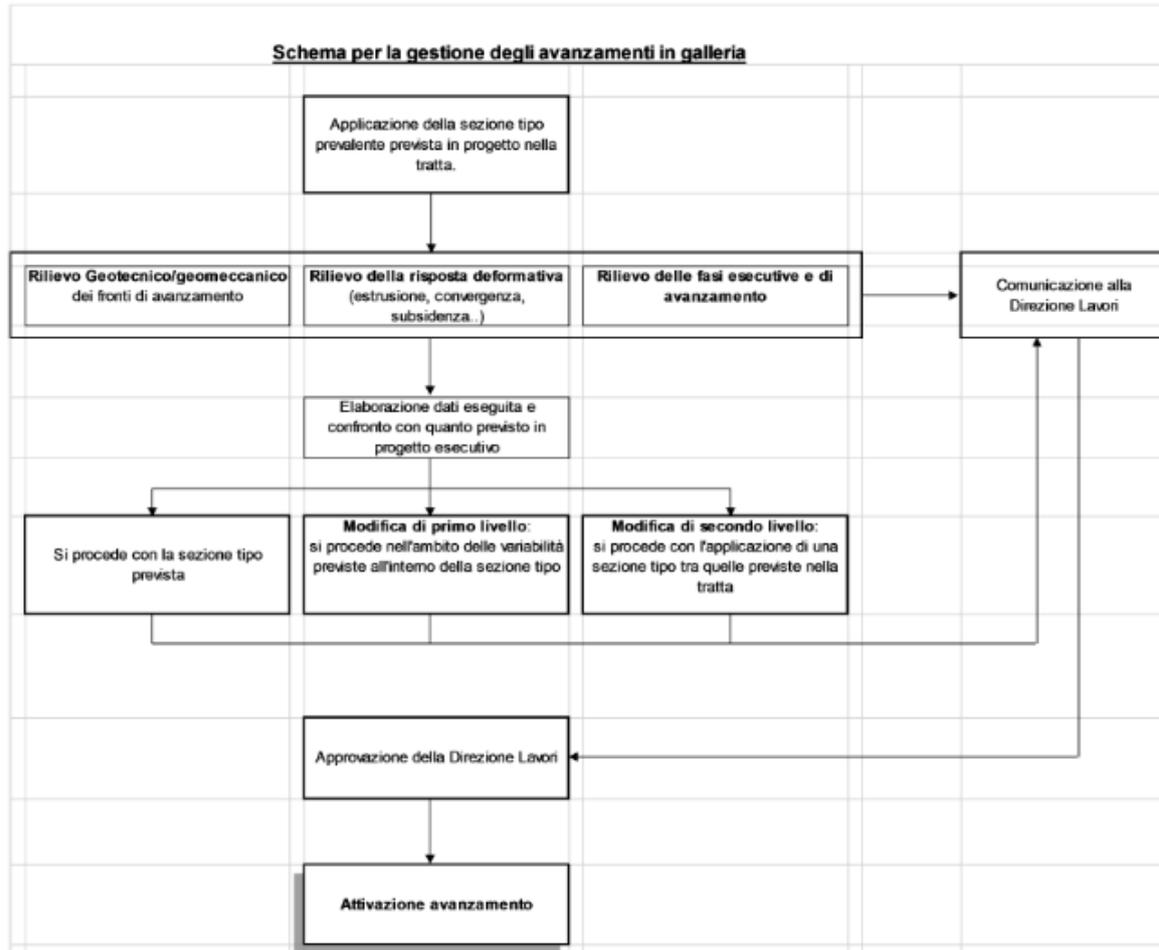
Tale procedura sarà attivata direttamente dal direttore dell'Ufficio di gestione del monitoraggio, sentite la Direzione dei Lavori, la Direzione di Progetto o la Direzione di Cantiere.

L'ufficio di gestione del Monitoraggio sarà unico per tutto il lavoro e sarà così strutturato:

- Un responsabile scientifico (Ingegnere o geologo, esperto in questo settore e che abbia conoscenza scientifica nella stabilità dei versanti, messo a disposizione dall'affidatario del monitoraggio);
- Un responsabile dell'ufficio Monitoraggio, uno per ogni Unità di monitoraggio (ingegnere o geologo, dell'Impresa e dell'affidatario del monitoraggio);
- Un tecnico esperto per il sistema GIS (programmazione, caricamento dati e report)
- Un tecnico esperto di strumentazione geotecnica e topografica (ingegnere o geologo, Impresa e DL);
- Un tecnico esperto di strumentazione interferometrica (ingegnere o geologo, D.L.)
- Personale addetto alle misure sul campo, tre (3) per ogni Unità di monitoraggio (topografi, ingegneri o geologi, Impresa e D.L.).

L'ufficio di gestione del monitoraggio dipenderà direttamente dalla D.L. e dal Direttore di Cantiere (Impresa).

Esempio di schema di flusso delle informazioni per la gestione degli avanzamenti in galleria



Schema da "Linee Guida in materia di Monitoraggio Geotecnico, Anas 19/12/2017"

#### 6.4.2 Interfaccia utente e visualizzazione dei dati

Un'apposita interfaccia consentirà di realizzare i grafici e/o le tabelle del periodo desiderato (dalla data x alla data y) o degli ultimi nn ore/giorni/mesi e consentirà di impostare manualmente e/o automaticamente la scala delle ascisse.

Sarà possibile realizzare report personalizzati consultabili a schermo o stampabili in PDF, eventualmente sarà anche possibile mandare automaticamente via mail questi report agli indirizzi desiderati.

I dati potranno essere esportati in formato ASCII/.csv per l'importazione ed elaborazione ulteriore con Excel.

L'individuazione della strumentazione potrà essere effettuata tramite mappa georeferenziata (GIS). Gli hot-spot consentiranno di visualizzare grafici, schede tecniche (monografie, certificati, ecc.) e fotografie relative agli strumenti.

#### 6.4.3 Configurazione del software

Saranno possibili diversi livelli di accesso al Database:

- **AMMINISTRATORE:** per l'amministrazione degli utenti e le impostazioni generali del progetto;
- **POWER USER:** per la validazione dei dati e loro pubblicazione sul Web
- **EDITOR:** per l'inserimento, lettura e cancellazione dei dati, nonché impostazioni generali del progetto;
- **USER:** per l'inserimento e lettura dei dati;
- **READER:** per la lettura dei dati.

Tali livelli andranno definiti in funzione delle varie competenze, con possibilità di accesso diversificate per i singoli attori coinvolti nelle attività del monitoraggio (Impresa, Direttore di Cantiere, Responsabili dei monitoraggi, Progettisti, Direzione Lavori, ecc.).

## 7. FREQUENZE DI LETTURE

Il programma di acquisizione dati del monitoraggio in corso d'opera è riportato indicativamente nelle tabelle. Le frequenze, dovranno essere adeguate alle risultanze in corso d'opera ed alle tempistiche di esecuzione, inoltre le frequenze sono valutate considerando una realizzazione delle opere senza interruzioni dei lavori. Una volta raggiunta la stabilizzazione delle misure, le eventuali ulteriori letture di controllo proseguiranno con frequenze da definire in corso d'opera ed ognuno per le proprie competenze, secondo la suddivisione delle due UNITÀ: strumenti a carico dell'Impresa e strumenti a carico della D.L.

Pertanto, in funzione dei risultati e dell'andamento, le frequenze esposte potranno essere ridefinite in accordo con il Progettista e la D.L.

### 7.1 MONITORAGGIO DA PIANO CAMPAGNA PARETI DI VERSANTI O AREE IN FRANA

*Programma delle misure per il monitoraggio.*

(Tutti gli strumenti dovranno essere installati e letti almeno TRE MESI prima dell'inizio lavori di scavo)

| STRUMENTI   | ANTE OPERA<br>(3 mesi)                                  | CORSO D'OPERA<br>(x mesi)   | POST OPERA<br>(12 mesi)  |
|---|---|---|--|
|   | Letture   | Letture   | Letture  |
| St. Meteo   | Sempre attiva in automatico                             | Sempre attiva in automatico   | Sempre attiva in automatico  |
| Celle di carico sui tiranti o chiodi reti paramassi | 2 volte al mese 100m prima di arrivare all'interferenza | 1 volta dopo ogni volata in galleria, nel tratto di 100m d'interferenza | 1 volta a settimana per 100m dopo il tratto d'interferenza – Ogni 4 mesi successivamente |
| Accelerometro                                       | 2 volte al mese 100m prima di arrivare all'interferenza | 1 volta dopo ogni volata in galleria, nel tratto di 100m d'interferenza | 1 volta a settimana per 100m dopo il tratto d'interferenza – Ogni 4 mesi successivamente |
| Laser Scanner                                       | 2 volte al mese 100m prima di arrivare all'interferenza | 1 volta dopo ogni volata in galleria, nel tratto di 100m d'interferenza | 1 volta a settimana per 100m dopo il tratto d'interferenza – Ogni 4 mesi successivamente |
| Estensimetri a filo                                 | 2 volte al mese 100m prima di arrivare all'interferenza | 1 volta dopo ogni volata in galleria, nel tratto di 100m d'interferenza | 1 volta a settimana per 100m dopo il tratto d'interferenza – Ogni 4 mesi successivamente |

### 7.2 MONITORAGGIO DA PIANO CAMPAGNA PARATIA

*Programma delle misure per il monitoraggio.*

RELAZIONE MONITORAGGIO GEOTECNICO

(Tutti gli strumenti dovranno essere installati e letti almeno **DUE MESI** prima dell'inizio lavori di scavo)

| STRUMENTI       | ANTE OPERA<br>(2 mesi) | CORSO D'OPERA<br>(x mesi) | POST OPERA<br>(12 mesi o a R.D.)       |
|-----------------|------------------------|---------------------------|--|
|                 | Lecture                | Lecture                   | Lecture                                |
| Inclinometri    | 1 volta ogni 15gg      | Dopo ogni ribasso         | 1 volta al mese sino a stabilizzazione |
| Mire Ottiche    | 1 volta ogni 15gg      | Dopo ogni ribasso         | 1 volta al mese sino a stabilizzazione |
| Celle di Carico | 1 volta ogni 15gg      | Dopo ogni ribasso         | 1 volta al mese sino a stabilizzazione |

### 7.3 MONITORAGGIO DA PIANO CAMPAGNA AREE FABBRICATI

*Programma delle misure per il monitoraggio.*

Per quanto concerne i fabbricati, considerata la notevole copertura ed il tipo terreno interessato dallo scavo (roccia calcarea), al fine di verificare eventuali vibrazioni indotte dallo scavo con esplosivo si prevede, in sede preventiva, l'installazione di n. 3 accelerometri. Gli stessi potranno essere spostati, in funzione dell'avanzamento dello scavo, a ridosso dei fabbricati più prossimi al fronte di avanzamento.

(Tutti gli strumenti dovranno essere installati almeno **TRE MESI** prima dell'inizio lavori di scavo)

| STRUMENTI        | ANTE OPERA<br>da $-2,0z_0$ a $z_0$ | CORSO D'OPERA<br>$z_0$ | POST OPERA<br>Sino a $2,0z_0$ |
|------------------|------------------------------------|------------------------|-------------------------------|
|                  | Lecture                            | Lecture                | Lecture                       |
| Capisaldi / Mire | Eventuali                          | Eventuali              | Eventuali                     |
| Accelerometro    | Attivazione 1 mese                 | Attivato in continuo   | Attivazione 1 mese            |

**N.B.:** Attivazione delle lecture in funzione della posizione della sezione di monitoraggio dal fronte di scavo (con  $z_0$  pari alla profondità dell'asse della galleria misurata dal p.c.).

Le lecture Post Opera ( $\geq +3,0z_0$ ) devono essere effettuate sino a completo esaurimento degli eventuali movimenti.

### 7.4 MONITORAGGIO DA PIANO CAMPAGNA GALLERIE

Non è stato previsto un monitoraggio da piano campagna considerando la notevole copertura e in funzione del tipo di terreno (roccia calcarea).

### 7.5 MONITORAGGIO NELLE GALLERIE (SCAVO IN TRADIZIONALE E/O TBM)

*Programma delle misure per il monitoraggio*

(Tutti gli strumenti dovranno essere installati durante i lavori di scavo alla progressiva prevista)

| STRUMENTI                     | CORSO D'OPERA<br>Da 0 a +2 $\Phi$         | CORSO D'OPERA<br>Da +2 $\Phi$ a + 4 $\Phi$ | POST OPERA<br>> 4 $\Phi$ |
|-------------------------------|---|--|--------------------------|
|                               | Lecture                                   | Lecture                                    | Lecture                  |
| Capisaldi / Mire R.P.*        | Ogni giorno                               | 2 volte a settimana                        | 1 volta al mese          |
| Celle di Carico R.P.*         | Ogni giorno                               | 1 volta a settimana                        | 1 volta al mese          |
| Barrette Estensimetrica R.P.* | Ogni giorno                               | 1 volta a settimana                        | 1 volta al mese          |
| Barrette Estensimetrica R.D.* | Ogni giorno                               | 1 volta a settimana                        | 1 volta al mese          |
| Laser scanner                 | Prima dell'autorizzazione al getto        |  |                          |
| Georadar                      | Di verifica dopo ogni 4 getti - circa 50m |  |                          |

\*R.P.: Rivestimento Prowvisorio; R.D.: Rivestimento Definitivo.  $\Phi$ : diametro galleria

Le lecture Post Opera (> 4  $\Phi$ ) devono essere effettuate sino a completo esaurimento degli eventuali movimenti.

Sono a totale carico dell'affidatario del monitoraggio per conto della D.L. le misure tramite laser scanner, da effettuare prima dell'autorizzazione al getto del rivestimento definitivo da parte della D.L. stessa. Successivamente, sempre a carico dell'affidatario del monitoraggio per conto della D.L., si eseguiranno le misure di controllo del getto del rivestimento definitivo tramite georadar (ogni 4-5 campi di getto del rivestimento) al fine di verificare il corretto riempimento tra il profilo di scavo ed il getto.

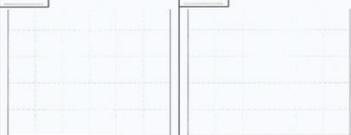
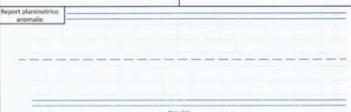
In particolare, per il laser scanner, durante le operazioni di scavo in avanzamento delle gallerie, prima della posa dei teli di impermeabilizzazione e del getto dei rivestimenti in cls, al fine di poter accertare il rispetto degli spessori del rivestimento in cls previsti in progetto, dovranno essere adottate le procedure di seguito descritte:

- Rilievo laser scanner 3D dei campi in avanzamento per i quali è previsto il getto del rivestimento, da effettuare a partire dall'ultimo campo di rivestimento già realizzato, fino al fronte di scavo.
- Elaborazione, unione e georeferenziazione delle nuvole di punti.
- Rappresentazione sul piano della porzione di tunnel rilevato, con indicazione delle progressive di progetto sull'asse X.
- Rappresentazione del raffronto tra la sezione trasversale di progetto (rivestimento in cls) e del profilo di scavo realizzato alla data del rilievo e individuazione diretta delle zone di sovrascavo e sottoscavo, tramite una mappa a variazione cromatica.
- Report delle sezioni, con indicazione dei valori di raffronto tra progetto e profilo di scavo.



RELAZIONE MONITORAGGIO GEOTECNICO

|   |   |
|---|---|
|  Cantiere: _____   |   |
| Galleria: _____<br>Impresa: _____<br>Direzione Lavori: _____  | Tipo Sez. Galleria: _____ Spessore Coberta: _____<br>Progr. Inizio: _____ Progr. Fine: _____<br>Numero Condi: _____ |
| M.B. - Il Numero dei Punti di Controllo verrà deciso dagli uffici di Direzione Lavori in funzione delle condizioni operative durante l'arricchimento degli scavi. |   |
| Prog. Sezione "862 A"<br>  | Prog. Sezione "862 B"<br>          |
| Prog. Sezione "862 C"<br>  | Prog. Sezione "862 D"<br>          |
| Report planimetria anomalia<br>  |   |

|  |   |
|--|---|
|  Cantiere: _____                |   |
| Galleria: _____<br>Impresa: _____<br>Direzione Lavori: _____   | Tipo Sez. Galleria: _____ Spessore Coberta: _____<br>Progr. Inizio: _____ Progr. Fine: _____<br>Numero Condi: _____ |
| Prog. Sezione: _____<br>        |   |
| Prog. Sezione: _____<br>        |   |
| Report planimetria anomalia<br> |   |

|   |   |
|---|---|
|  Cantiere: _____ |   |
| Galleria: _____<br>Impresa: _____<br>Direzione Lavori: _____  | Tipo Sez. Galleria: _____ Spessore Coberta: _____<br>Progr. Inizio: _____ Progr. Fine: _____<br>Numero Condi: _____ |
| Report:<br>      |   |
| Note:<br>        |   |
| Direzione Lavori: _____   | Per l'Impresa: _____  |

(a)

## 8. MONITORAGGIO INTERNO O IN GALLERIA

In conformità a quanto previsto dalla normativa vigente, il monitoraggio geotecnico degli scavi costituisce parte integrante del progetto geotecnico e strutturale delle opere.

In particolare, gli elementi che saranno oggetto di specifico monitoraggio saranno i seguenti:

- deformazioni/spostamenti del contorno dello scavo e del nucleo-fronte;
- carichi effettivi sul sostegno di prima e seconda fase.

### 8.1 DEFORMAZIONI E CARICHI

Il monitoraggio delle deformazioni sarà effettuato mediante l'installazione delle seguenti tipologie di strumentazione:

- **Sezioni di monitoraggio "Tipo MA"**, caratterizzata dall'installazione di sole mire ottiche;
- **Sezioni di monitoraggio "Tipo MB"**, caratterizzata dall'installazione di mire ottiche, celle di carico alla base delle centine, barrette estensimetriche nel sostegno di prima fase e/o eventuale estensimetro incrementale (vedi profilo geomeccanico);
- **Sezioni di monitoraggio "Tipo MC"**, caratterizzata dall'installazione di barrette estensimetriche nel Rivestimento definitivo.

Nella tabella seguente si riportano le quantità previste:

| Sezioni di Monitoraggio    | MA   | MB                      | MC                      |
|----------------------------|--|-------------------------|-------------------------|
| Numero di sezioni previste | 60   | 6                       | 6                       |
|                            | Ogni campo di scavo nei primi 100m dagli imbocchi          | 4 in galleria           | 4 in galleria           |
|                            | Nei tratti restanti ogni 45m – circa ogni 5 campi di scavo | 2 nel by-pass carrabile | 2 nel by-pass carrabile |

Per l'individuazione dell'ubicazione e della quantità di strumentazione fa fede quanto riportato e computato nei relativi elaborati grafici, a cui si rimanda.

Nel caso di anomalie nell'andamento delle deformazioni le frequenze d'installazione potranno essere intensificate, ricorrendo nel contempo all'esecuzione di interventi integrativi.

## 8.2 RILIEVO STRUTTURALE DEL FRONTE DI SCAVO

I rilievi permetteranno di acquisire gli elementi relativi alle caratteristiche geostrutturali e geomeccaniche dell'ammasso roccioso, inteso come complesso costituito dalla matrice rocciosa e dai piani di discontinuità, principalmente per usi classificativi mediante indice RMR e GSI. In base ai risultati dei rilievi del fronte di scavo verrà confermata oppure ridefinita la sezione tipo da applicare nel corso dell'avanzamento.

Si distinguono due tipi di rilievo geostrutturale:

- rilievo di dettaglio da eseguire in corrispondenza delle sezioni definite dal presente piano di monitoraggio o in presenza di variazioni litologiche e/o strutturali di particolare rilevanza;
- rilievo speditivo da eseguire per ciascun campo di avanzamento in cui sono necessari interventi di preconsolidamento - presostegno dell'ammasso al fronte o pulizia dello stesso.

Dovranno essere redatte schede di rilievo. Questa attività ed i rilievi geostrutturali stessi dovranno essere materialmente eseguiti da uno o più geologi o ingegneri geotecnici dotati di specifico addestramento ed esperienza.

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

- bussola geologica per misura dell'orientazione di piani nello spazio;
- nastri misuratori e bindelle metriche;
- martello di Schmidt (sclerometro);
- profilatore di rugosità a pettine (pettine di Barton);
- disco (diametro 30 cm) per il posizionamento della bussola;
- apparecchio Point Load Test.

### 8.2.1 Rilievi di dettaglio

Le modalità esecutive saranno conformi alle prescrizioni "Suggested Methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses- international Society for Rock Mechanics" alle quali si rimanda direttamente per quanto non espressamente precisato nel seguito.

Il rilievo si eseguirà materializzando sul fronte da rilevare una linea, della maggior lunghezza possibile, effettuando le misure in corrispondenza dei punti di intersezione dei piani con la traccia dello stendimento, annotandone la progressiva dall'origine dello stendimento, ma considerando anche tutti gli elementi non direttamente intersecanti la linea ma vicini ed idealmente prolungabili fino all'intersezione. Si dovranno eseguire stendimenti di misura fra loro

tendenzialmente ortogonali, in modo da descrivere compiutamente l'ammasso in senso realisticamente tridimensionale.

Per ciascuna stazione di misura, il numero di stendimenti da eseguire sarà quello necessario per la perfetta caratterizzazione dell'ammasso; la quantità degli stendimenti programmati sarà comunicata alla Direzione Lavori.

Il fronte rilevato dovrà essere accuratamente descritto, con il corredo di fotografie (dove saranno visibili tracce degli stendimenti) e schizzi, precisando dettagliate informazioni sulla litologia, sulle facies, sugli elementi strutturali visibili alla scala dell'affioramento, sulla presenza di acqua e su quanti altri elementi possano concorrere alla compressione delle caratteristiche geologiche e geomeccaniche d'insieme dell'ammasso roccioso entro il quale sono state realizzate le misure. Il rilievo lungo ciascuna linea deve definire quanto segue:

- CARATTERISTICHE LITOLOGICHE - Genesi del litotipo, litologia e caratteristiche petrografiche macroscopiche, grado e tipo di cementazione o compattezza, grado di alterazione, colore, assetto generale dell'ammasso come individuabile a scala del fronte.

- CARATTERISTICHE GEOSTRUTTURALI - Inclinazione dei piani di discontinuità sull'orizzontale, immersione o azimuth della linea di massima pendenza giacente sul piano di discontinuità.

- CARATTERISTICHE GEOMECCANICHE - Classificazione dei diversi tipi di piani di discontinuità, suddividendoli in piani di strato, di scistosità, di faglia, di frattura. Si definiranno inoltre le caratteristiche dei piani precisando frequenza, spaziatura, lunghezza, persistenza percentuale rispetto all'affioramento, apertura, continuità di apertura in percentuale rispetto alla lunghezza, tipo di terminazione, distanza della terminazione della traccia, scabrezza (Joint Roughness Coefficient JRC), ondulazione, resistenza della parete del giunto (Joint Compressive Wall Strength JCS), tipo, granulometria, origine, grado di saturazione e di consistenza del materiale di riempimento, che può anche essere campionato per prove di laboratorio. La scabrezza (JRC) sarà valutata numericamente con pettine di Barton. La resistenza della parete del giunto (JCS) sarà stimata con Schmidt Hammer e Point Load Strength tester.

- OSSERVAZIONI - Ritenzione idrica e venute d'acqua valutate sugli ultimi 8-10m di scavo, distacchi gravitativi (ubicazione e geometria dei volumi), interventi di consolidamento e contenimento presenti.

### 8.2.2 Rilievo speditivo

Le modalità esecutive saranno come precedentemente descritto per i rilievi di dettaglio con l'eccezione che l'assetto generale, le spaziatura delle discontinuità, i parametri JRC e JCS potranno essere valutati qualitativamente.

## 9. MONITORAGGIO IMBOCCHI E PARATIE

È previsto un sistema di monitoraggio delle paratie che consenta di verificare le previsioni progettuali e che permetta di evidenziare eventuali comportamenti anomali in fase di scavo.

Il monitoraggio delle paratie avverrà in maniera estesa attraverso il controllo degli spostamenti orizzontali del cordolo di coronamento in c.a., ed in maniera puntuale attraverso la posa in opera di sezioni di monitoraggio strumentate, con celle di carico e mire ottiche in corrispondenza dei tiranti, che consentiranno di realizzare un confronto tra le previsioni di progetto ed il reale comportamento delle opere in fase di scavo.

Il monitoraggio previsto per l'opera in oggetto dovrà essere costituito dalla seguente strumentazione di controllo:

- mire ottiche solidali con la paratia per il controllo delle deformazioni;
- celle toroidali solidali con i tiranti per il controllo dello stato tensionale dei tiranti;
- inclinometri e piezometri, eventuali, a tergo delle paratie.

Il piano di monitoraggio previsto per la lettura delle mire ottiche e dei tubi inclinometrici può essere sintetizzato come segue:

- lettura di zero effettuata al momento dell'installazione (dopo il tempo minimo necessario per il fissaggio dei target e la cementazione dell'Inclinometro);
- n.1 lettura al termine di ogni fase di scavo;
- frequenza di lettura settimanale durante le fasi di scavo e comunque fino a stabilizzazione dei fenomeni deformativi;
- frequenza di lettura quindicinale/mensile in fase di fermo o al raggiungimento del fondo dello scavo in caso di stabilizzazione dei fenomeni deformativi.

Il piano di monitoraggio previsto per la lettura delle celle di carico toroidali sui tiranti può essere sintetizzato come segue:

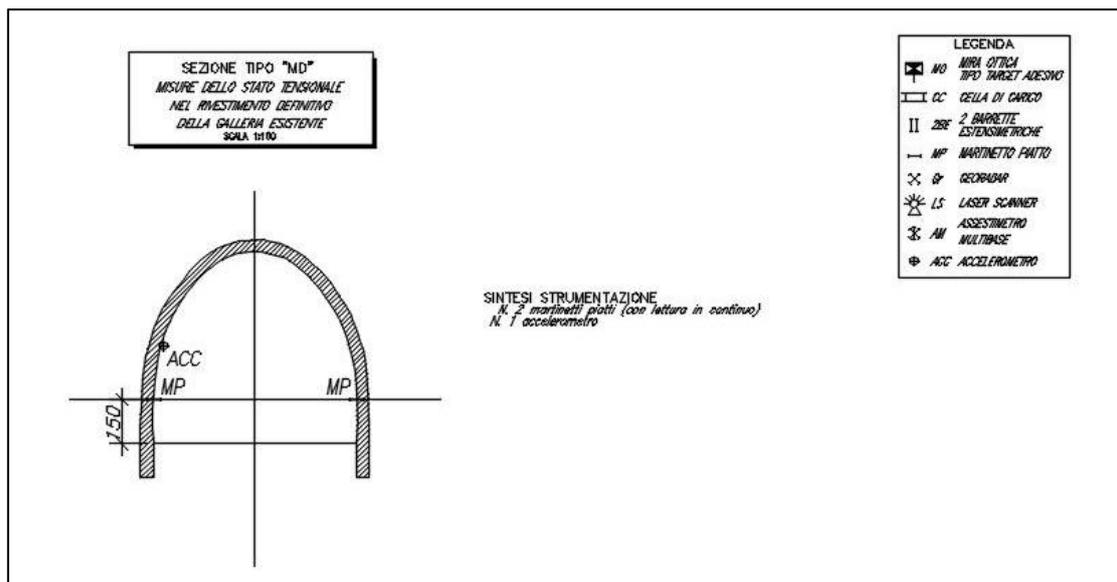
- taratura e verifica dello strumento durante la fase di installazione con le letture effettuate per ogni incremento di carico previsto (l'installazione della cella potrà inoltre fornire indicazioni sul corretto valore di pre-tiro da utilizzarsi nella fase di messa in opera);
- lettura di zero effettuata subito dopo l'esecuzione del pre-tiro del tirante;
- frequenza di lettura settimanale eseguita durante le fasi di scavo e comunque fino a stabilizzazione dei fenomeni deformativi;
- frequenza di lettura quindicinale/mensile in fase di fermo o al raggiungimento del fondo dello scavo in caso di stabilizzazione dei fenomeni deformativi.

La frequenza delle letture in corso d'opera definite in precedenza potranno subire variazioni in qualsiasi momento a seguito di eventuali anomalie o incrementi del comportamento deformativo delle opere o del raggiungimento dei limiti di attenzione.

Si rimanda agli specifici elaborati grafici per i dettagli costruttivi e di posizionamento.

## 10. MONITORAGGIO INTERNO GALLERIE ESISTENTI (D'ACLI, EUTEMIA E DEI CICLOPI)

Al fine di tenere sotto controllo lo stato del rivestimento definitivo delle gallerie esistenti, si prevede l'installazione di martinetti piatti e accelerometri, a cura dell'affidatario del monitoraggio per conto della D.L., secondo lo schema della **sezione tipo "MD"**, riportata nelle tavole:



Gli strumenti permettono di determinare lo stato di sollecitazione e di tenere sotto controllo eventuali variazioni indotte dallo scavo delle gallerie dell'asse di valle. Il martinetto piatto permette di valutare lo stato tensionale tramite lettura della pressione necessaria a ripristinare la convergenza dei lembi di un taglio piano praticato perpendicolarmente alla superficie di prova, secondo la Normativa di riferimento: ASTM D4729-87, ISRM *Suggested methods of rock stress determination*.

Si prevede la seguente frequenza di misura, in funzione della progressiva di scavo in corrispondenza della interferenza con la sezione di controllo nelle gallerie esistenti:

| STRUMENTI         | ANTE OPERA<br>(3 mesi)                                  | CORSO D'OPERA<br>(x mesi)   | POST OPERA<br>(12 mesi)  |
|-------------------|---|---|--|
|                   | Lecture   | Lecture   | Lecture  |
| Martinetti piatti | 2 volte al mese 100m prima di arrivare all'interferenza | 1 volta dopo ogni volata in galleria, nel tratto di 100m d'interferenza | 1 volta a settimana per 100m dopo il tratto d'interferenza - Ogni 4 mesi successivamente |
| Accelerometro     | 2 volte al mese 100m prima di arrivare all'interferenza | 1 volta dopo ogni volata in galleria, nel tratto di 100m d'interferenza | 1 volta a settimana per 100m dopo il tratto d'interferenza - Ogni 4 mesi successivamente |

Le letture Post Opera, devono essere effettuate sino a completo esaurimento degli eventuali movimenti. Naturalmente, se dalle letture non si registrano variazioni, il ciclo di letture successive può essere variato sentito il parere della D.L.

## 11. CONCLUSIONI

Nella presente relazione è stato esposto il programma di monitoraggio inerente al Progetto Definitivo della Variante alla S.S.45 bis "Gardesana occidentale" tra il km 86+567 ed il km 88+800 nei comuni di Gargnano e Tignale in provincia di Brescia

Il monitoraggio geotecnico-geomorfologico, è stato suddiviso in due UNITA':

- La prima, a totale carico dell'Impresa, prevede il classico controllo in galleria e all'esterno (convergenze, deformazioni, ecc.), così come riportato negli elaborati progettuali;
- La seconda, a carico della Direzione Lavori, che tramite i servizi prestati dall'affidatario del monitoraggio geotecnico, eseguirà una serie di controlli atti a verificare la risposta dei terreni e delle infrastrutture (strade, fabbricati, ecc.) alle sollecitazioni indotte dalla realizzazione dell'Opera.

Tale programma prevede la posa in opera e la lettura programmata delle strumentazioni di monitoraggio. Nei paragrafi precedenti sono state indicate le caratteristiche e le modalità esecutive del programma di monitoraggio predisposto.

Le indicazioni fornite nella presente relazione sono scaturite da considerazioni di tipo teorico e tecnico. In corso d'opera andranno quindi verificate e meglio adattate alla situazione reale valutando la possibilità di incrementare o ridurre le strumentazioni e la frequenza delle letture, in funzione del reale comportamento registrato e della risposta deformativa degli ammassi alla realizzazione dell'Opera.

Valgono i seguenti principi generali, a cui sia l'affidatario del monitoraggio per conto della D.L. e sia l'Impresa sono obbligati a rispondere:

- In caso di danneggiamento e/o rottura della strumentazione installata, si dovrà procedere all'immediato ripristino della stessa e dovrà essere effettuata una nuova "lettura di zero";
- Sarà onere di chi ha causato il danneggiamento la completa riattivazione dello strumento. Ciò vale per ogni tipo di strumentazione installata in qualsiasi opera.