

COMMITTENTE:



RETE FERROVIARIA ITALIANA S.p.A.  
DIREZIONE OPERATIVA INFRASTRUTTURA TERRITORIALE (DOIT)

PROGETTAZIONE:

PROGETTISTA

**ETS S.r.l.**

Via Benedetto Croce, 68  
00142 Roma  
email: info@etsingegneria.it

SOGGETTO TECNICO:

RFI - DIREZIONE OPERATIVA INFRASTRUTTURA TERRITORIALE DI GENOVA  
S.O. INGEGNERIA

### PROGETTO ESECUTIVO

Aggiornamento della Progettazione Esecutiva della galleria artificiale di Mele  
(compreso il relativo tracciato ferroviario, dal PL fino all'imbocco della galleria del Turchino),  
comprensiva degli interventi propedeutici alla realizzazione della galleria artificiale - Linea Genova – Ovada – Acqui Terme

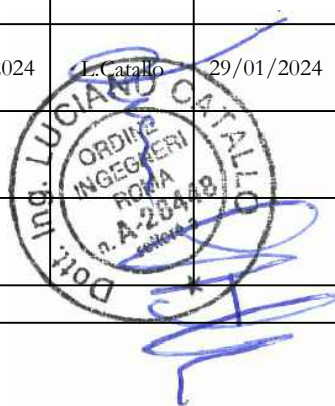
### PIANO DI MONITORAGGIO IN CORSO D'OPERA/POST OPERAM

SCALA : --

FOGLIO 1 di 12

PROGETTO/ANNO	SOTTOPR.	LIVELLO	NOME DOC.	PROGR.OP.	FASE FUNZ.	NUMERAZ.
3 5 3 7 2 3	0 0 0	P E	T S P N	0 1	0 0	0 6 0 7

Rev.	Descrizione	Progettista	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
0	EMISSIONE	E.Paltrinieri	13/10/2023	R.Giordano	13/10/2023	L.Catalo	13/10/2023		
1	EMISSIONE	R.Giordano	29/01/2024	R.Giordano	29/01/2024	L.Catalo	29/01/2024		
		<i>Riccardo Giordano</i>				<i>L. Catalo</i>			



LINEA

L	4	4	1

SEDE TECNICA

L	O	0	2	8	2



## INDICE

1	Premessa .....	1
2	Sistema di monitoraggio geotecnico pregressi .....	3
3	Nuova strumentazione di monitoraggio di progetto .....	5
3.1	Frequenza delle letture.....	6
3.1.1	Strumentazione topografica .....	6
3.1.2	Inclinometri e piezometri .....	6
3.1.3	Celle di carico dei tiranti.....	7
3.2	Valori di soglia e gestione dei dati .....	7
3.2.1	Interpretazione dei valori di soglia .....	9
3.2.2	Gestione dei dati .....	9

## 1 Premessa

La seguente relazione rientra nell'ambito della Progettazione Esecutiva con oggetto "Aggiornamento della Progettazione esecutiva della galleria artificiale di Mele (compreso il relativo tracciato ferroviario, dal PL fino all'imbocco della galleria del Turchino), comprensiva degli interventi propedeutici alla realizzazione della galleria artificiale - Linea Genova – Ovada – Acqui Terme".

Nello specifico tale relazione è inerente al progetto di realizzazione della Galleria artificiale, delle relative opere strutturali ed idrauliche, delle opere di consolidamento delle opere di contenimento preesistenti e delle opere inerenti alla sistemazione definitiva del versante, in località Mele (Genova).

L'area di intervento è ubicata nel Comune di Mele, provincia della città metropolitana di Genova in Liguria. Nel punto mediano del sito, le coordinate geografiche (sistema di riferimento WGS 84) sono le seguenti: *Latitudine* 44°28'25.00"N e 8°43'59.93"E. Di seguito uno stralcio della cartografia Google Earth con indicata la zona oggetto di studio.



Figura 1 – Ubicazione del sito di intervento.

A seguito delle manifestazioni eclatanti del dissesto, osservate nel Dicembre 2000, fu condotta da RFI una prima campagna geognostica, articolata su due fasi consecutive, nell'ambito della quale fu tra l'altro implementato un articolato sistema per il monitoraggio geotecnico del fenomeno franoso.

In particolare, fu implementato un sistema di monitoraggio superficiale e di profondità per valutare l'evoluzione dei processi deformativi a carico del versante a monte del tracciato ferroviario, durante le fasi eclatanti del dissesto.

Il sistema fu concepito con duplice finalità:

- Controllo del processo evolutivo del versante e delle condizioni di pericolo indotte al sottostante tracciato ferroviario;
- Definizione della geometria e dei caratteri del dissesto in atto.

L'installazione del sistema avvenne per fasi successive, in ragione delle difficoltà logistiche connesse al reperimento della strumentazione in condizioni di urgenza, consentendo di mantenere il massimo grado di controllo possibile a carico del versante. Vista l'entità e la velocità del fenomeno durante le fasi evolutive eclatanti, il sistema di monitoraggio venne considerato come primo significativo "*intervento di sistemazione*", la cui utilità fu confermata dalla capacità di prevedere con sufficiente grado di sicurezza il collasso del versante, consentendo l'interruzione della circolazione ferroviaria.

Successivamente al collasso del versante il sistema di monitoraggio fu integrato allo scopo di indagare il settore a monte del dissesto, ed alcune porzioni del corpo di frana prima non accessibili.

Le risultanze del monitoraggio, sinteticamente descritte nel seguito unitamente ad una breve descrizione del sistema all'epoca implementato, consentirono la definizione delle caratteristiche del dissesto con individuazione della superficie di scorrimento lungo la quale questo si sviluppò, indispensabili per la definizione dei primi interventi di stabilizzazione.

Per la porzione basale questi consistettero nella realizzazione di una complessa opera di contenimento costituita da pali trivellati in c.a. ( $\varnothing$  1200), per taluni settori micropali, colonne di terreno consolidato mediante jet grouting e tiranti di ancoraggio del tipo attivo a trefoli in acciaio armonico.

In tale occasione, allo scopo di indagare da una parte il comportamento delle strutture di contenimento e dall'altro l'effetto stabilizzante delle medesime nei confronti del fenomeno, fu implementato un sistema di monitoraggio delle strutture attraverso installazione di colonne inclinometriche inglobate all'interno dei pali e celle di carico in corrispondenza degli elementi di testata dei tiranti.

Nel presente elaborato è dunque contenuta la descrizione della proposta di piano di monitoraggio in corso d'opera/post operam di progetto.

## 2 Sistema di monitoraggio geotecnico progressi

Nella prima fase della campagna di indagini, tra il Novembre 2000 ed il Gennaio 2001, è stata prevista l'installazione della seguente strumentazione:

- n° 7 fessurimetri a lettura manuale sulla vecchia struttura di contenimento di sottoscarpa ANAS. La struttura risultava collocata nella parte mediana del corpo di frana ed interagente con lo stesso; il controllo delle principali ed evidenti fratture del manufatto ha consentito una prima valutazione diretta del grado di attività del dissesto.
- n° 17 caposaldi topografici, sul muro ANAS, lungo il pendio e sul muro RFI, da leggersi da una base di lettura fissa posizionata sul versante opposto. Il sistema topografico è risultato il più affidabile e rapido per misurare gli spostamenti superficiali assoluti del versante, e, dopo un periodo di definizione dell'errore insito nel sistema, ha consentito di valutare il diverso grado di deformazione dei diversi settori di pendio.
- n° 4 fessurimetri elettrici sulla struttura di contenimento di sottoscarpa ANAS, con acquisizione automatica dei dati mediante centralina collegata "on line" alla sede RFI di Genova. Il sistema ha consentito di sostituire le letture manuali sulle basi di misura; l'analisi dei dati osservati e le correlazioni con le misure sul versante hanno permesso di individuare valori soglia adottati per la rapida valutazione della possibilità di circolazione del traffico ferroviario. Ai fessurimetri si è accompagnata l'installazione di un termometro per la stima degli errori indotti sulle letture dalle escursioni termiche.
- n° 3 inclinometri lungo la sezione più gravosa individuata lungo il versante, per la valutazione delle deformazioni profonde e l'individuazione della superficie di scorrimento del dissesto.
- n° 4 piezometri a tubo aperto, prevalentemente in affiancamento agli inclinometri, per la valutazione delle escursioni della falda in funzione delle precipitazioni e la correlazione con le possibili deformazioni del versante.

Le letture sistematiche sulla strumentazione installata hanno consentito di prevedere con sufficiente grado di sicurezza il collasso del versante, permettendo la chiusura preventiva della percorrenza ferroviaria.

Successivamente al crollo della struttura è stata prevista da una seconda fase della campagna di indagini geognostiche, con installazione di strumentazione di monitoraggio, integrata tra ANAS ed RFI, con lo scopo di indagare il settore a monte del dissesto (ANAS), alcune porzioni del corpo di frana non accessibili in precedenza ed il settore lungo l'asse ed a valle della struttura di sostegno crollata (RFI); tale campagna è stata completata alla fine del Luglio 2001. La campagna a carico di RFI è consistita nell'installazione di:

- n° 4 inclinometri in corrispondenza della porzione medio basale del settore di versante in esame, per la valutazione delle deformazioni profonde e l'individuazione della superficie di scorrimento del dissesto.

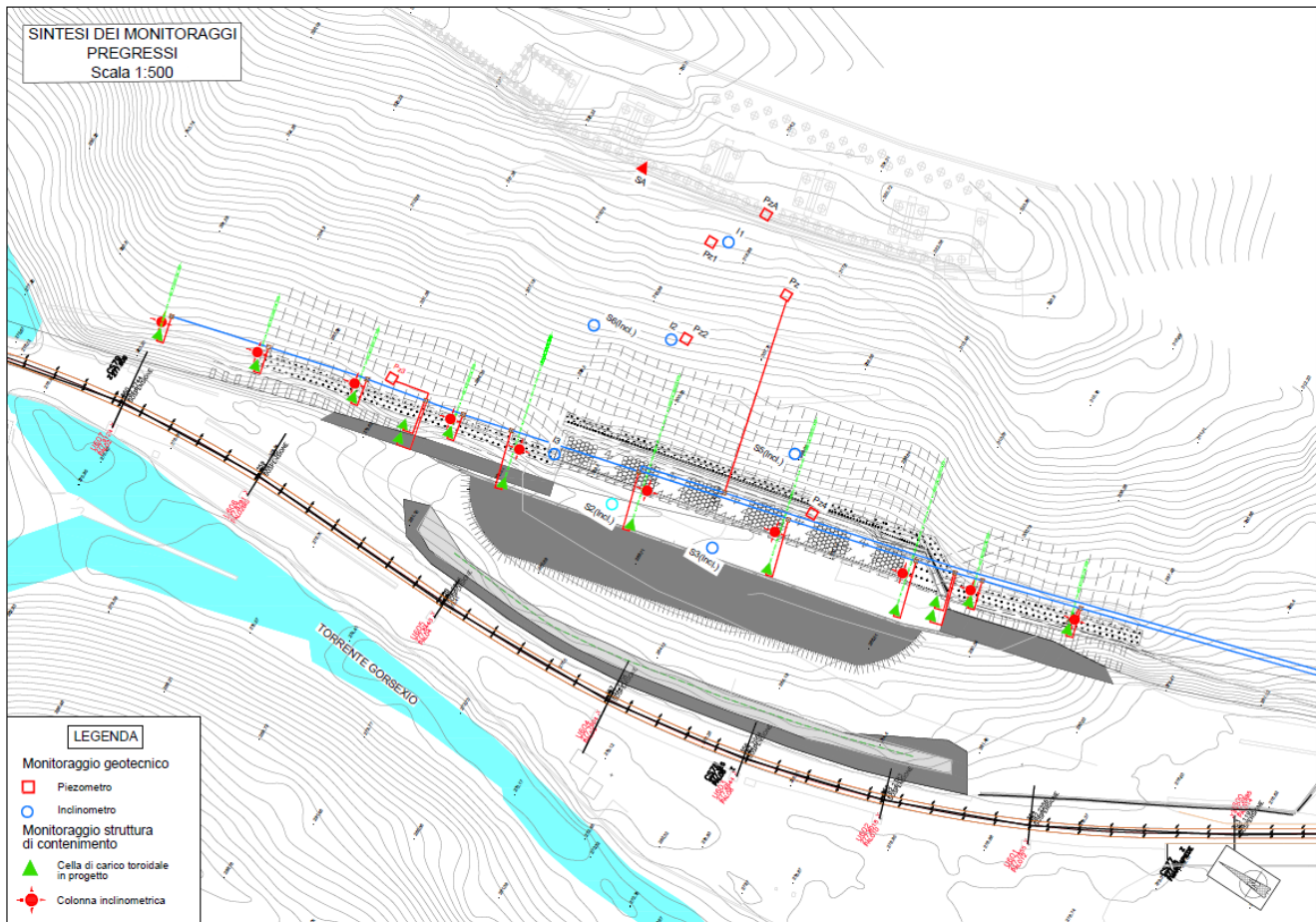


Figura 2 – Planimetria dei monitoraggi pregressi.

Va inoltre segnalata la presenza di un pluviometro dell'Ufficio Idrografico e Mareografico di Genova, collocato in corrispondenza della Stazione Ferroviaria di Mele, le cui letture sono state utilizzate per correlare le deformazione del versante all'entità delle precipitazioni manifestate.

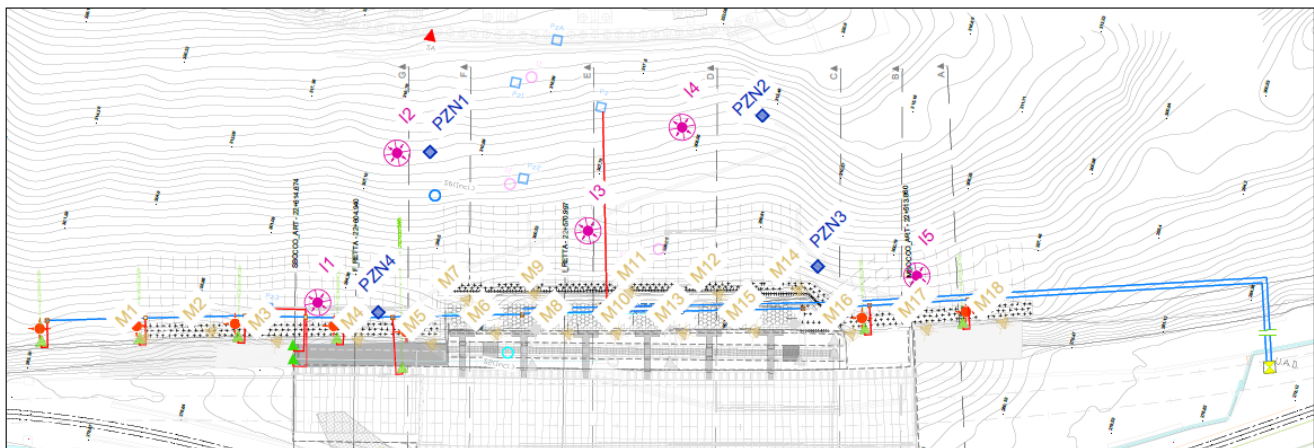
A tali strumentazioni si aggiunge un sistema di monitoraggio geotecnico della falda e delle deformazioni profonde, relativo alla porzione superiore del versante, compresa tra la "Strada del Turchino" e l'Autostrada, messo in opera dalla all'ora "Comunità Montana Argentea", del quale non sono state rese note le caratteristiche di dettaglio.

### 3 Nuova strumentazione di monitoraggio di progetto

Si riporta di seguito la descrizione della strumentazione di nuova installazione prevista in progetto:

- n° **18 mire ottiche** sulla testa delle opere di contenimento a passo 10 m per il monitoraggio delle fasi di scavo tramite stazione totale;
- n° **5 inclinometri** di profondità 30 m lungo il versante, per la valutazione delle deformazioni profonde e l'individuazione della superficie di scorrimento del dissesto in condizioni definitive. Gli inclinometri, secondo la logistica disponibile, dovranno essere monitorati topograficamente al fine di poter verificare eventuali meccanismi cinematici globali non riscontrati dagli inclinometri;
- n° **4 piezometri a tubo aperto di profondità 30 m**, prevalentemente in affiancamento agli inclinometri, per la valutazione delle escursioni della falda in funzione delle precipitazioni e la correlazione con le possibili deformazioni del versante.

Si riporta di seguito uno stralcio planimetrico dell'ubicazione della strumentazione. Per un maggiore livello di dettaglio si prega di far riferimento all'allegato specifico.




LEGENDA STRUMENTAZIONE DI MONITORAGGIO	
STRUMENTAZIONE PREGRESSA	NUOVA STRUMENTAZIONE
 <b>Inclinometro pregresso da mantenere in monitoraggio</b> previa controllo da stato di consistenza	 <b>Piezometro a tubo aperto da 30 m</b>
 <b>Colonna inclinometrica pregressa da mantenere in</b> monitoraggio previa controllo da stato di consistenza	 <b>Nuovo inclinometro di progetto da 30 m</b>
 <b>Inclinometro presente da smettere</b>	 <b>Mira ottica per monitoraggio delle opere di</b> contenimento durante le fasi di scavo
 <b>Inclinometro presente da smettere</b>	 <b>Nuova cella di carico toroidale</b>
 <b>Cella di carico pregressa da mantenere in</b> monitoraggio previa controllo da stato di consistenza	
 <b>Cella di carico pregressa da smettere</b>	
 <b>Piezometro pregresso da mantenere in monitoraggio</b> previa controllo da stato di consistenza	
 <b>Piezometro pregresso da smettere</b>	

Figura 3 – Stralcio planimetrico della nuova strumentazione di monitoraggio di progetto.



### 3.1 Frequenza delle letture

In linea di massima, in assenza di superamenti delle soglie di attenzione, il numero di letture della strumentazione sarà cadenzato come segue:

#### 3.1.1 Strumentazione topografica

- Installazione: almeno 1 settimana prima dell'inizio delle lavorazioni
- Lettura di 0: immediata;
- Frequenza di lettura:
  - Durante le fasi di scavo:
    - 1 lettura quotidiana.
  - Al termine degli scavi fino alla realizzazione strutture in elevazione:
    - 1 lettura quotidiane.
  - Fino alla sistemazione definitiva del versante a partire dalla realizzazione delle strutture in elevazione della galleria:
    - 3 letture settimanali.
  - In condizioni definitive di progetto:
    - 2 lettura mensile per i 12 mesi successivi lungo le mire ottiche ancora disponibili.

Si specifica che il programma sopra indicato potrà naturalmente essere intensificato in funzione delle letture effettivamente registrate in sito e della sequenza di fasi operative realizzata in cantiere, secondo il giudizio della direzione lavori, in accordo con il progettista delle opere strutturali.

In presenza di eventi meteorici particolarmente gravosi e secondo l'andamento del monitoraggio geotecnico si valuteranno integrazioni o riduzioni delle misure sopra riportate.

#### 3.1.2 Inclinometri e piezometri

- Installazione: almeno 1 settimana prima dell'inizio delle lavorazioni (da valutare secondo logistica di cantiere)
- Lettura di 0: immediata;
- Frequenza di lettura:
  - Durante le fasi di scavo:
    - 1 lettura quotidiana.
  - Al termine degli scavi fino alla realizzazione strutture in elevazione:
    - 3 letture settimanali.
  - Fino alla sistemazione definitiva del versante a partire dalla realizzazione delle strutture in elevazione della galleria:
    - 1 lettura settimanali.
  - In condizioni definitive di progetto:
    - 2 lettura mensile per i 12 mesi successivi.

Si specifica che il programma sopra indicato potrà naturalmente essere intensificato in funzione delle letture effettivamente registrate in sito e della sequenza di fasi operative realizzata in cantiere, secondo il giudizio della direzione lavori, in accordo con il progettista delle opere strutturali.

In presenza di eventi meteorici particolarmente gravosi e secondo l'andamento del monitoraggio si valuteranno integrazioni o riduzioni delle misure sopra riportate.

### 3.1.3 Celle di carico dei tiranti preesistenti

- Installazione già effettuata, previa verifica dello stato di consistenza iniziale
- Lettura di 0: immediata;
- Frequenza di lettura:

Fino alla sistemazione definitiva del versante a partire dalla realizzazione delle strutture in elevazione della galleria:

- 2 letture mensili.

In condizioni definitive di progetto:

- 1 lettura mensile per i 12 mesi successivi.

Si specifica che il programma sopra indicato potrà naturalmente essere intensificato in funzione delle letture effettivamente registrate in sito e della sequenza di fasi operative realizzata in cantiere, secondo il giudizio della direzione lavori, in accordo con il progettista delle opere strutturali.

In presenza di eventi meteorici particolarmente gravosi e secondo l'andamento del monitoraggio si valuteranno integrazioni o riduzioni delle misure sopra riportate.

## 3.2 Valori di soglia e gestione dei dati

Il raggiungimento di una soglia prevede l'avvio di procedure che prevedono approfondimenti di indagine ed accertamenti sui fenomeni in atto. Studi ed approfondimenti dei fenomeni sono comunque svolti con regolarità nelle principali fasi di sviluppo del cantiere.

Tali soglie sono definite in relazione alle previsioni progettuali per ciascuno dei parametri chiave di interesse..

Le soglie, di allerta, di attenzione e di allarme, sono determinate assumendo uno spostamento di riferimento ancorato alla previsione progettuale.

Lo spostamento di riferimento è assunto, cautelativamente, pari al valore dello spostamento teorico previsto in sede di progetto (e compatibile con la sicurezza dell'opera stessa o della preesistenza).

STRUMENTO	PARAMETRO	PRECISIONE	VALORI DI SOGLIA		
			ALLERTA	ATTENZIONE	ALLARME
Mire ottiche topografiche	Spostamento orizzontale in testa alle opere di contenimento ed inclinometri	1 mm	10	15	20 mm
Sonde inclinometriche	Velocità di spostamento	1 mm	Per i limiti legati alla velocità di spostamento per un versante monitorato tramite sonde inclinometriche, si ritiene che sia necessario analizzare i grafici degli spostamenti nel tempo specifici per il versante		
Piezometri	Livello delle falda	-	I valori di allerta, attenzione e allarme saranno da definire una volta determinate le condizioni di equilibrio della strumentazione		
Celle di carico tiranti preesistenti	Carico del tirante	-	Variazioni oltre il 5% del carico previsto in esercizio da precedente progettazione o da concordare con DL	Variazioni oltre il 15% del carico previsto in esercizio da precedente progettazione o da concordare con DL	Variazioni oltre il 20% del carico previsto in esercizio da precedente progettazione o da concordare con DL

Le procedure da adottare al raggiungimento dei valori di soglia sopra descritti sono individuate nel seguito.

#### **Valori attesi**

Le lavorazioni procedono normalmente e la frequenza dei rilievi non viene variata.

#### **Valori di allerta**

Le lavorazioni procedono normalmente ma si intensificano le letture.

#### **Valori di attenzione**

Dovranno essere intrapresi provvedimenti atti ad arrestare l'evoluzione delle deformazioni qualora sia evidente un incremento sistematico delle stesse al procedere dello scavo. Dovranno essere valutati od indicati eventuali accorgimenti tecnici per arrestare tale tendenza.

Si esegue un sopralluogo e si svolge eventualmente un adeguamento del modello di calcolo.

Si intensificano ulteriormente le letture a 1 ogni 2 giorni.

#### **Valori di allarme**

Si interrompono le lavorazioni ed il traffico ferroviario. Si esegue un sopralluogo e si adottano misure di mitigazione del fenomeno in atto. Si svolgono eventuali nuove indagini.

Si intensificano le letture.

### 3.2.1 Interpretazione dei valori di soglia

Una soglia di “allerta” rappresenta un valore prudente che intende attivare l’esclusiva intensificazione della frequenza delle letture della strumentazione.

Una soglia di “attenzione” rappresenta un valore, sufficientemente prudente, di un parametro di misura che, pur non rappresentando un pericolo immediato per le persone e le strutture, obbliga ad attivare una serie di procedure (di controllo ed eventuali azioni progettuali) volte a produrre un rientro nella norma o, quanto meno, a scongiurare la tendenza dei valori di misura verso la soglia di allarme.

Una soglia di “allarme” è un valore di un parametro di misura che rappresenta un potenziale pericolo per le persone e le strutture, obbliga ad attivare una serie di procedure (di controllo ed azioni progettuali) volte a produrre un rientro nella norma o, quanto meno, a scongiurare la tendenza dei valori di misura ad ulteriore significativa crescita.

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

Inoltre dovranno essere presi in considerazione anche i cedimenti differenziali tra allineamenti successivi.

### 3.2.2 Gestione dei dati

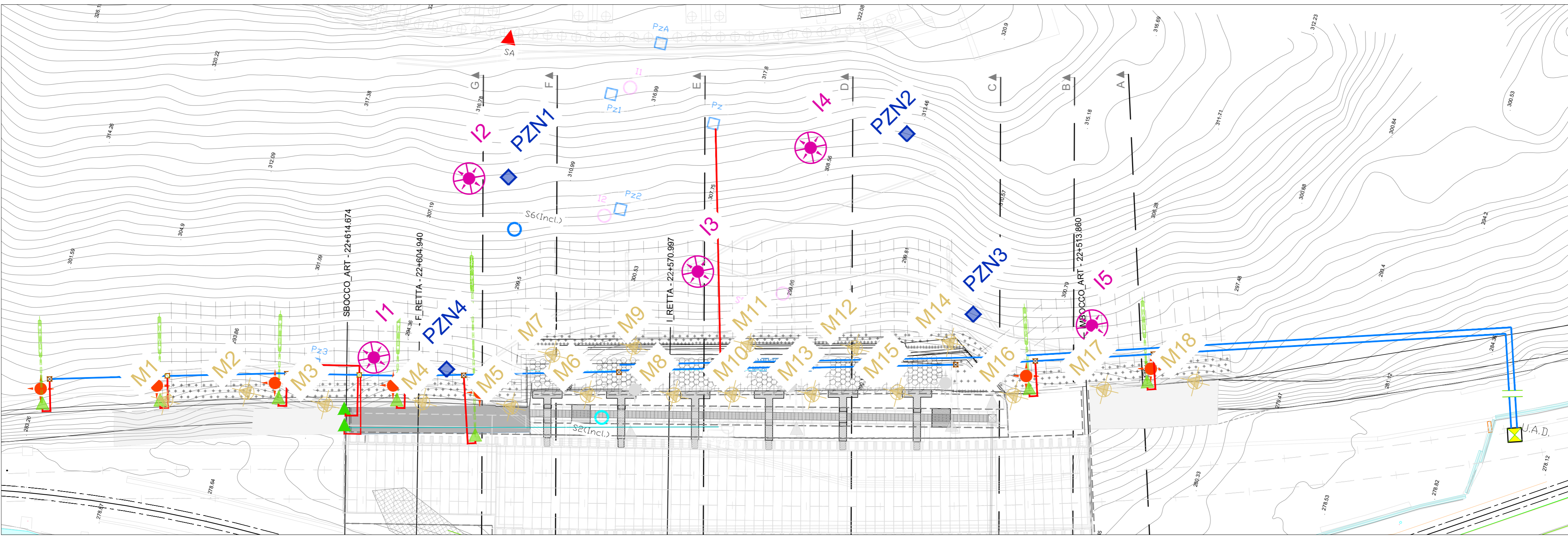
Una volta acquisita ciascuna misura strumentale, questa sarà archiviata in un apposito database di monitoraggio in formato digitale, insieme a tutti i dati necessari per l'interpretazione del dato (sigla e posizione dello strumento, sezione di appartenenza, data ed esecutore della misura).

Si provvederà quindi a valutare l'evoluzione del parametro misurato effettuando un calcolo del gradiente della serie di dati su base periodica (giornaliera /settimanale).

Nel caso il dato acquisito superi i valori di soglia, si procederà rapidamente ad una lettura di conferma del dato stesso.

I dati contenuti nel database saranno organizzati in report periodici e trasmessi alla Direzione Lavori ed al Progettista secondo le frequenze da concordare.

Qualora un dato confermato o il gradiente di evoluzione del parametro indichino un superamento delle soglie si provvederà all'attivazione di opportune contromisure, da valutarsi con il Progettista e con la Direzione Lavori.







## LEGENDA STRUMENTAZIONE DI MONITORAGGIO

### STRUMENTAZIONE PREGRESSA

-  Inclinometro pregresso da mantenere in monitoraggio previa controllo da stato di consistenza
-  Colonna inclinometra pregresso da mantenere in monitoraggio previa controllo da stato di consistenza
-  Inclinometro presente da dismettere
-  Inclinometro presente da dismettere
-  Cella di carico pregressa da mantenere in monitoraggio previo controllo da stato di consistenza
-  Cella di carico pregressa da dismettere
-  Piezometro pregresso da mantenere in monitoraggio previo controllo da stato di consistenza
-  Piezometro pregresso da dismettere

### NUOVA STRUMENTAZIONE

-  Piezometro a tubo aperto da 30 m
-  Nuovo inclinometro di progetto da 30 m
-  Mira ottica per monitoraggio delle opere di contenimento durante le fasi di scavo
-  Nuova cella di carico toroidale