

# S.S. 51 "di Alemagna"

## Provincia di Belluno

### Piano straordinario per l'accessibilità a Cortina 2021

Attraversamento dell'abitato di Valle di Cadore

## PROGETTO ESECUTIVO

COD. VE 14

**RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:**

Dott. Ing. Paolo Cucino  
Ord. Ingg. Prov. di Trento n° 2216

**CAPOGRUPPO MANDATARIA:**

SWS Engineering Spa



**IL GEOLOGO:**

Dott. Geol. Andrea Oss  
Ord. Geologi Trentino / Alto Adige n° 300

**IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:**

Dott. Ing. Paolo Cucino  
Ord. Ingg. Prov. di Trento n° 2216

**MANDANTE:**

Coding Srl



**VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:**

Dott. Ing. Ettore De la Grennelais

## GALLERIA NATURALE

### Monitoraggio

#### Relazione monitoraggio

**CODICE PROGETTO**

PROGETTO      LIV. PROG. ANNO N. PROG.

MSVE14   E   2101

**NOME FILE**

T00\_GN02\_STR\_RE01\_A

**CODICE ELAB.**

T00GN03GETRE02

**REVISIONE**

A

**SCALA:**

-

A

Emissione definitiva

07.2021

A.OMIZZOLO

F.AGRESTI

P.CUCINO

REV.

DESCRIZIONE

DATA

REDATTO

VERIFICATO

APPROVATO

## INDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE</b>	<b>5</b>
1.1	GENERALITA'	5
1.2	OGGETTO SPECIFICO DEL DOCUMENTO	6
<b>2</b>	<b>CRITERI DI MONITORAGGIO E STRUMENTAZIONE ISTALLATA</b>	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>MONITORAGGIO ESTERNO GALLERIA</b>	<b>10</b>
3.1	<b>Criteri di progetto</b>	<b>10</b>
3.1.1	scopi del monitoraggio	10
3.1.2	frequenze di restituzione dati	15
3.2	<b>Sezioni strumentate</b>	<b>15</b>
3.3	<b>Monitoraggio edifici</b>	<b>15</b>
3.3.1	Soluzioni alternative di monitoraggio degli edifici	20
3.4	<b>Modalità di elaborazione dati</b>	<b>21</b>
3.4.1	Volume perso nelle sezioni monitorate	21
3.4.2	Rapporto di inflessione	24
3.4.3	Distorsione angolare $\beta$	26
3.5	<b>Piano delle misure</b>	<b>27</b>
3.5.1	Misure di zero	28
3.5.2	Misure "significative" – monitoraggio passaggio degli scavi	28
3.5.3	Organizzazione dei risultati	31

3.5.4	Segnalazione di allerta ed allarme	34
3.5.5	Rapporti periodici	35
<b>4</b>	<b>CONTROLLO VIBROMETRICO DELLE PREESISTENZE</b>	<b>36</b>
<b>5</b>	<b>MONITORAGGIO DELLA GALLERIA ESISTENTE</b>	<b>38</b>
<b>6</b>	<b>MONITORAGGIO DEI TRALICCI DI TELECOMUNICAZIONE ED ENERGIA</b>	<b>40</b>
<b>7</b>	<b>MONITORAGGIO DEGLI IMBOCCHI</b>	<b>41</b>
7.1	Misure topografiche sulle paratie	41
7.2	Misure topografiche sulla terra armata	42
7.3	Celle di carico tiranti	42
7.4	Misure inclinometriche	43
7.5	Frequenza delle misure	43
<b>8</b>	<b>CONDIZIONI DI ATTENZIONE E DI ALLARME</b>	<b>45</b>
<b>9</b>	<b>SPECIFICHE TECNICHE DELLA STRUMENTAZIONE</b>	<b>48</b>
9.1	Inclinometri	48
9.2	Estensimetri multibase	50
9.3	Piezometri	51
9.4	Installazione di strumentazione di misura in foro	52
9.5	Misuratore di giunti	53
9.6	fessurimetri meccanici	53
9.7	Unita' di acquisizione dati (U.A.D.)	54

<b>9.8</b>	<b>Monitoraggio topografico</b>	<b>55</b>
<b>9.9</b>	<b>Livellazione topografica</b>	<b>56</b>
<b>9.10</b>	<b>Mire ottiche</b>	<b>57</b>
<b>10</b>	<b>GESTIONE DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO</b>	<b>58</b>
<b>10.1</b>	<b>Procedure generali di gestione del monitoraggio</b>	<b>58</b>
10.1.1	Generalità	59
10.1.2	Ambito di applicazione	59
10.1.3	Struttura organizzativa del sistema di monitoraggio	59
10.1.4	Definizione delle procedure e responsabilità	64
10.1.5	Esempio lista di invio messaggi di allerta/allarme	69



## 1 INTRODUZIONE

### 1.1 GENERALITA'

Il presente documento costituisce parte integrante del Progetto Esecutivo dell'infrastruttura "**S51 "di Alemagna" Attraversamento dell'abitato di Valle di Cadore"** con codice ANAS VE014, con riferimento alla fase di Progettazione Esecutiva.

L'infrastruttura in oggetto sarà costituita da un asse stradale tipo C2, in variante all'attuale SS 51 "di Alemagna" che consentirà di by-passare un tratto particolarmente critico dell'attraversamento dell'abitato di Valle di Cadore (BL), per una lunghezza complessiva di circa 800 m.

Il progetto di attraversamento dell'abitato di Valle di Cadore si inserisce nel contesto del Piano straordinario per l'accessibilità a Cortina 2021.

In particolare l'intervento si propone di realizzare una galleria e relativi raccordi di estremità per il superamento un nodo critico lungo l'attraversamento dell'abitato di Valle di Cadore, oggi di fatto regolato da senso unico alternato per effetto della sezione ristretta e della prossimità di fabbricati vincolati alla sede stradale.

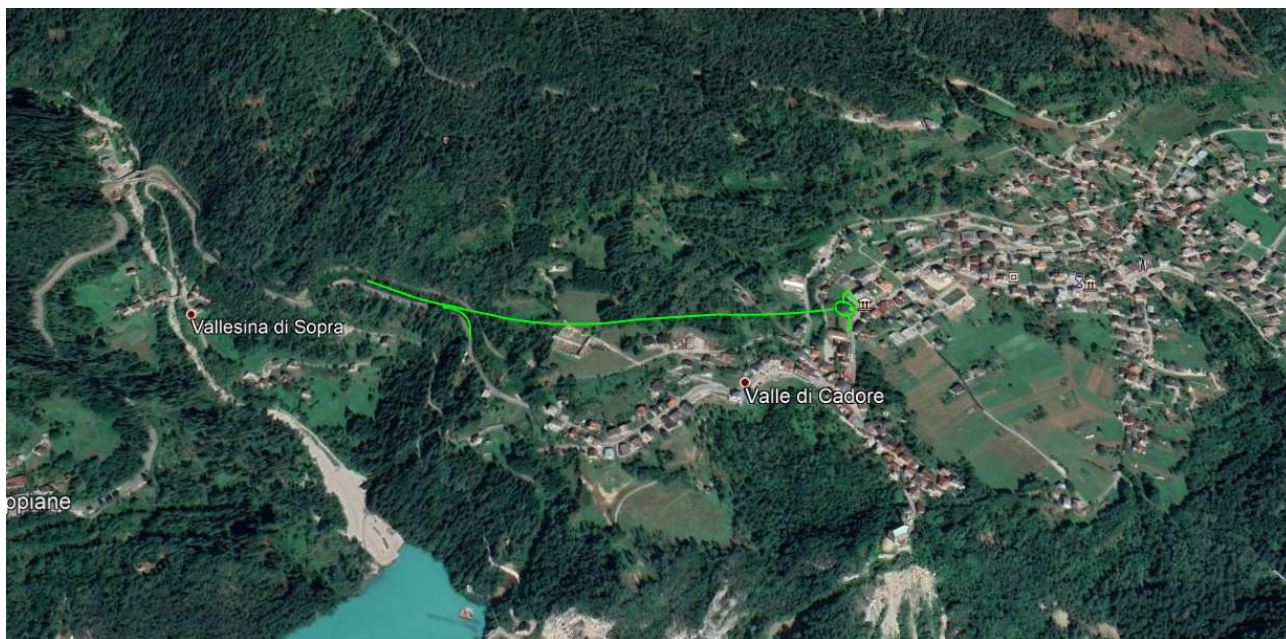


Figura 1 – Ubicazione del tracciato di progetto su vista Google Earth

Il progetto di variante all'abitato non interessa nodi rilevanti di viabilità extraurbana; il tratto sotteso interessa in sostanza alcune intersezioni a raso con viabilità comunale urbana che rimane utilmente collegata al tratto declassato che diventerà, ad opere ultimate, parte integrante della rete urbana comunale di Valle di Cadore.

L'itinerario in esame non è compreso nel sistema delle reti transeuropee dei trasporti (TEN).

Il nuovo tracciato stradale è caratterizzato per una parte considerevole da opere in sotterraneo, ed in particolare da una Galleria Naturale di lunghezza circa 620 m, comprendendo anche i tratti di imbocchi in artificiale.

In direzione Ovest, lato Cortina, la nuova infrastruttura sarà connessa all'attuale SS 51, con un'intersezione che consentirà l'uscita a raso dalla direttrice principale verso l'attuale tracciato della strada statale, prima dell'imbocco della galleria.

L'infrastruttura di progetto è completata da un innesto lato Belluno (direzione Est) costituito da una rotatoria di innesto sulla SS.51 di collegamento con l'attuale tratto della stessa SS 51 in direzione Cortina, e con una viabilità locale, situata appena in uscita al tratto in galleria naturale.

Oltre alla galleria naturale e relativi brevi tratti in artificiale, sono previste alcune opere in corrispondenza dei due svincoli / imbocchi:

- Paratia di sostegno definitiva lato monte e opera in terre rinforzate a valle, in corrispondenza dell'innesto lato Cortina;
- Paratia di sostegno definitiva lato monte e fabbricato tecnologico a servizio della galleria, in corrispondenza dell'innesto lato Belluno.

L'opera sarà completata dalle dotazioni impiantistiche ed idrauliche a supporto del tracciato stradale.

## **1.2 OGGETTO SPECIFICO DEL DOCUMENTO**

In particolare, il presente documento ha la finalità di illustrare il piano di monitoraggio geotecnico e strutturale relativo alla galleria naturale e alle opere presenti agli imbocchi. In particolare si monitorano gli effetti delle fasi di avanzamento sulle opere in costruite e sulle opere preesistenti. Ad eccezione della galleria naturale, che presenta una relazione di monitoraggio dedicata, si monitorano le seguenti opere da costruire:

- Paratie agli imbocchi Est e Ovest;
- Terra armata all'imbocco Ovest.

Le opere preesistenti sottoposte a monitoraggio sono le seguenti:

- Edificio Id014, posto a monte della paratia all'imbocco Est;
- Edificio Id006, posto in vicinanza all'imbocco, in direzione Est;

- Edifici Id004, Id005 e Id005bis, posti tra le pk. 670 e 710, sul lato di valle della galleria;
- Masi Id007 e Id007bis, posti tra le pk. 600 e 640, sul lato monte della galleria;
- Edifici Id01, Id01bis, Id002 e Id003, posti tra le pk. 440 e 500, sul lato di valle della galleria;
- Fabbricati del cimitero Id011, Id012 e Id013, posti tra le pk. 290 e 370, sul lato di valle della galleria;
- Galleria stradale esistente, tra le pk. 655 e 695, sul lato di valle della galleria;
- Tralicci delle telecomunicazioni e dell'energia Id010, Id011, Id012 e Id013, tra le pk. 520 e 680, sul lato monte della galleria



## 2 CRITERI DI MONITORAGGIO E STRUMENTAZIONE ISTALLATA

Il sistema di monitoraggio avrà lo scopo di monitorare la risposta tenso-deformativa dell'ammasso durante le operazioni di scavo, di analizzare il comportamento delle strutture in corso di realizzazione e di controllare gli eventuali effetti sulle strutture preesistenti.

L'insieme dei dati acquisiti permetterà di verificare che il comportamento tenso-deformativo del terreno e delle strutture sia in linea con le previsioni progettuali, e più in generale permetterà di verificare l'adeguatezza degli interventi previsti in relazione ai terreni incontrati.

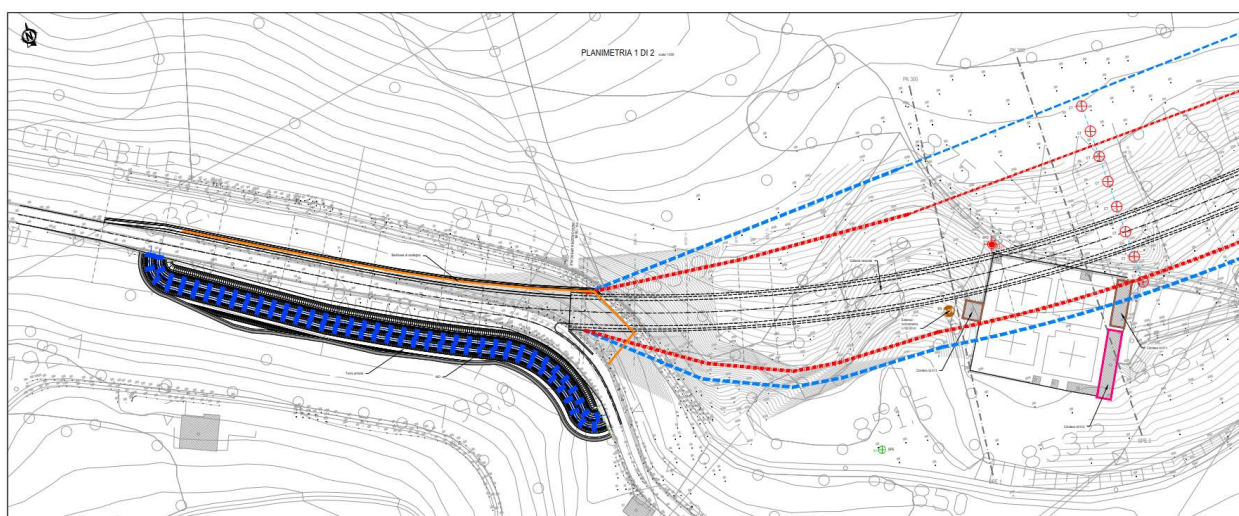
La strumentazione di monitoraggio è costituita da sensori dislocati, sul piano campagna, lungo l'asse della galleria principale e lungo sezioni perpendicolari all'asse, sulle facciate degli edifici e preesistenze interessate dagli effetti degli scavi, oltre che sulle pareti di scavo e sulle opere di nuova realizzazione.

I sensori sono rappresentati da punti di livellazione, capisaldi topografici e microprismi per il rilievo degli spostamenti a terra e sulle strutture, da strumentazione in foro per il controllo delle deformazioni delle masse di terreno interagenti con le opere e per il controllo delle oscillazioni della falda. E' prevista inoltre la strumentazione per il controllo del carico nei tiranti, dell'apertura delle fessure preesistenti sui fabbricati, dell'inclinazione delle strutture e delle vibrazioni.

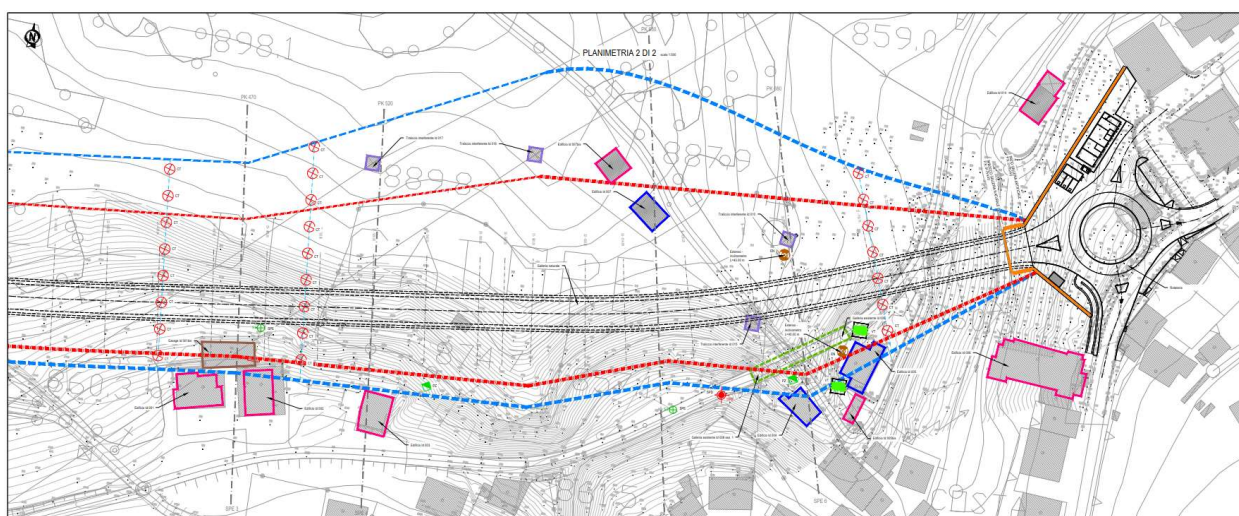
Il sistema di monitoraggio della linea si compone dei seguenti elementi:

- Microprismi di monitoraggio topografico per gli edifici interferenti e i tralicci interferenti;
- Microprismi di monitoraggio topografico per le paratie agli imbocchi e la terra armata;
- Microprismi di monitoraggio topografico nella galleria stradale esistente;
- Punti di livellazione per il monitoraggio topografico al suolo in superficie lungo sezioni trasversali rispetto alla galleria di linea;
- Capisaldi topografici fissati sulle pareti degli edifici;
- Strumenti in foro (piezometri inclinometri, estensimetri) ai lati della galleria lungo le sezioni trasversali di monitoraggio topografico;
- Fessurimetri sugli edifici per la misura dell'ampiezza delle fessure sulle strutture;
- Clinometri sugli edifici per la misura dell'inclinazione delle pareti sulle strutture;
- Vibrometri triassiali sugli edifici per la misura delle vibrazioni;
- Vibrometri monoassiali sugli edifici per la misura delle vibrazioni;
- Piezometri a tubo aperto per la misura delle oscillazioni della falda;
- Estenso-inclinometri per la misura delle deformazioni del terreno di fondazione degli edifici;
- Inclinometri a tergo delle paratie per la misura delle deformazioni delle paratie;
- Celle di carico sui tiranti delle paratie per la misura del tiro degli stessi.

Il sistema di monitoraggio è funzionante in seguito alla definizione delle procedure di lettura della strumentazione e del sistema di acquisizione, immagazzinamento e trasmissione dei dati. I riscontri micropismi sono a lettura automatica. I riscontri topografici al suolo e sugli edifici, gli inclinometri e i piezometri sono a lettura manuale. Gli strumenti elettrici possono essere a lettura automatica o manuale. Generalmente i dati vengono immagazzinati in unità di acquisizione localizzate in prossimità degli strumenti, ed il loro trasferimento all'unità centrale di raccolta dati può avvenire manualmente oppure tramite trasmissione elettronica.



**Figura 2 – Planimetria di monitoraggio 1 di 2**



**Figura 3 – Planimetria di monitoraggio 2 di 2**

## 3 MONITORAGGIO ESTERNO GALLERIA

### 3.1 CRITERI DI PROGETTO

Il sistema di monitoraggio è stato progettato in modo da poter fornire, nel modo più completo e rapido possibile, tutti i parametri necessari ad effettuare una tempestiva analisi della situazione in corso d'opera e della sua possibile evoluzione, nonché eventuali azioni correttive da adottare al superamento dei limiti progettuali prefissati.

Alla luce del contesto urbano interessato e della complessità legata alle caratteristiche delle opere da realizzare, ruolo fondamentale viene svolto dal sistema di monitoraggio nel consentire di affrontare in maniera rapida e tempestiva eventuali situazioni impreviste, potenzialmente dannose.

L'insieme dei dati raccolti relativi ai parametri di scavo ed agli effetti indotti sia nel volume di terreno interessato che sui vari manufatti ubicati in prossimità del percorso della linea, potrà essere confrontata con quanto previsto in progetto, al fine di verificare la validità delle ipotesi assunte e dei modelli utilizzati.

L'analisi viene estesa ad un "volume di controllo" significativo, sia in termini di quantità di dati a disposizione che di estensione fisica dell'area indagata, al fine di verificare correttamente il peso di ciascun valore registrato. Al tal fine si è optato per il rilievo di un numero limitato di grandezze che garantiscano semplicità e praticità di monitoraggio e parallelamente completezza e precisione di informazione.

Il numero e la posizione dei siti di monitoraggio sono stati scelti in funzione delle principali interferenze, della possibilità di installazione degli strumenti di misura, della lunghezza del tracciato e della sua collocazione planimetrica al di sotto dell'area, caratterizzata da zone urbanizzate e zone naturali.

I dati ottenuti dalle sezioni strumentate verranno opportunamente analizzati in funzione di soglie di attenzione e allarme prefissate, nonché di un comportamento globale delle strutture e dell'ammasso circostante, per accertare gli effettivi fenomeni indotti dalle fasi di avanzamento.

Dall'esigenza di rapidità nell'elaborazione e gestione dei dati, deriva l'assoluta necessità di ricorrere ad un sistema di distribuzione dati in grado di permettere una lettura complessiva, immediata ed integrata di tutti i dati a disposizione, attraverso apposita piattaforma web.

#### 3.1.1 SCOPI DEL MONITORAGGIO

Il progetto di monitoraggio ha i seguenti scopi principali:

- controllo delle deformazioni degli edifici e delle infrastrutture di superficie;
- controllo dei cedimenti verticali e degli spostamenti orizzontali indotti nel terreno;

- taratura dei parametri di scavo.

### **Controllo delle deformazioni delle strutture e delle infrastrutture di superficie**

Il sistema di monitoraggio deve fornire tutte le informazioni necessarie affinché si possano verificare le previsioni progettuali dei cedimenti e delle deformazioni indotte sui manufatti. Le deformazioni indotte sui manufatti dalle operazioni di scavo sono direttamente correlabili ai cedimenti verticali e agli spostamenti orizzontali che sono monitorati attraverso una serie di:

- mire ottiche collocate nei punti maggiormente significativi dei manufatti;
- sezioni strumentate poste in prossimità dei manufatti in oggetto.

### **Controllo degli spostamenti indotti e taratura dei parametri di scavo**

Il sistema di monitoraggio deve permettere il rilievo degli spostamenti indotti dalle operazioni di scavo nella condizione "green field" (piano campagna libero). I valori delle grandezze misurate permettono la verifica delle assunzioni progettuali, che vengono fatte nell'ipotesi di condizioni "green field", in termini di coefficiente di flesso  $k$  e di volume perso  $V_p$ .

Le subsidenze e gli spostamenti orizzontali sono monitorati attraverso una serie di sezioni strumentate poste sul piano campagna generalmente in prossimità dei manufatti più sensibili:

---

#### **3.1.1.1 PARAMETRI MONITORATI E SOGLIE**

Le grandezze misurate in superficie permettono il calcolo di alcuni parametri che sono rappresentativi dell'andamento delle operazioni di scavo e dei relativi effetti sulle opere in superficie. Questi parametri sono rispettivamente:

- il volume perso ;
- il cedimento massimo ;
- il rapporto di inflessione ;
- distorsione angolare tra i pilastri attigui per edifici in c.a.

#### **Volume perso ( $V_p$ )**

Rappresenta l'area sottesa dalla curva dei cedimenti verticali sotto la linea della superficie indeformata per unità di lunghezza. Viene espresso come percentuale nominale del volume teorico di scavo.

### Rapporto di inflessione ( $\Delta/L$ )

Rapporto tra la massima distanza misurata tra la configurazione rigida dell'edificio e la sua deformata e la lunghezza dell'edificio, o della porzione di edificio, interessata dai cedimenti (si veda la figura seguente).

Le ipotesi assunte in fase di progetto per valutare le subsidenze e per definire gli effetti dello scavo sui manufatti tengono conto dei seguenti fattori:

- caratteristiche geotecniche dei terreni attraversati;
- tipo di manufatto;
- dimensioni del manufatto;
- posizione relativa rispetto all'asse della galleria;
- perdita di volume a causa delle operazioni di scavo e dei fenomeni di convergenza del cavo.

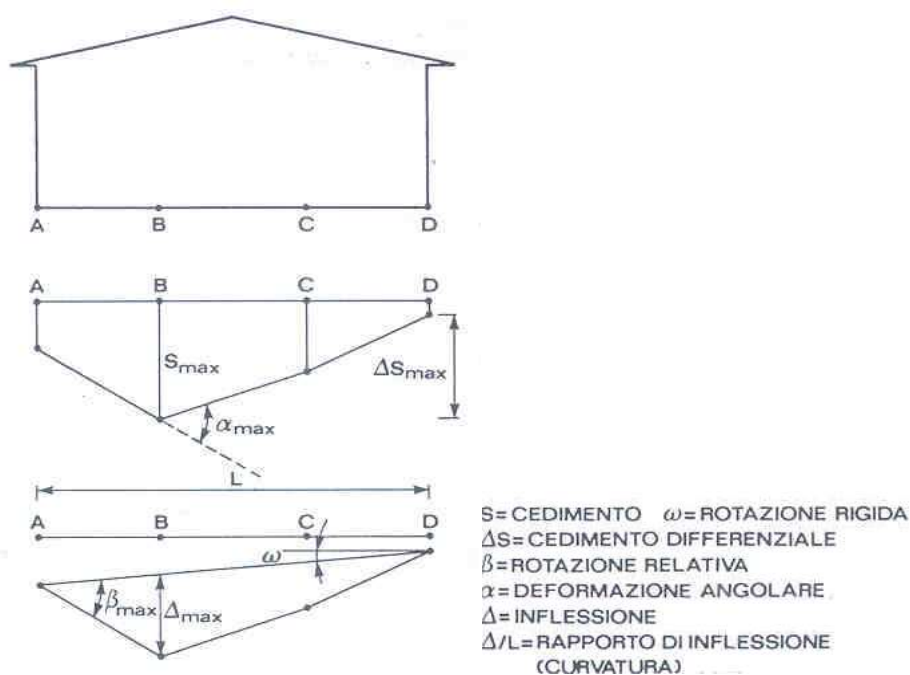


Figura 4 – Rapporto d'inflessione

### Distorsione angolare $\beta$ tra due pilastri

Rapporto tra la massima differenza di cedimento tra due pilastri attigui di un edificio in c.a. e la distanza tra i pilastri stessi della porzione di edificio in c.a. interessata dai cedimenti.

Le ipotesi assunte in fase di progetto per valutare le subsidenze e per definire gli effetti dello scavo sui manufatti tengono conto dei seguenti fattori:

- caratteristiche geotecniche dei terreni attraversati;

- tipo di manufatto;
- dimensioni del manufatto;
- posizione relativa rispetto all'asse della galleria;
- perdita di volume a causa delle operazioni di scavo e dei fenomeni di convergenza del cavo.

Al fine di effettuare il controllo delle operazioni di scavo sono stati definiti alcuni valori di riferimento dei parametri monitorati (volume perso, cedimento massimo, rapporto di inflessione e distorsione angolare). Tali valori determinano il passaggio da una condizione attesa ad una condizione di attenzione e da questa ad una condizione di preallarme ed allarme. Relativamente al volume perso, data la criticità del parametro per la minimizzazione del danno in superficie e considerato che la "perdita di volume" si sviluppa in parte nella fase di avvicinamento del fronte ed in parte dopo il passaggio dello stesso dalla sezione considerata, si è stabilita una soglia per il volume perso da rispettare nella fase di avvicinamento.

Per quanto riguarda lo scavo in tradizionale, preliminarmente si è stabilito di assumere le soglie del volume perso nel tratto di avvicinamento pari al 50 % delle corrispondenti soglie riferite al valore finale. Tale rapporto potrà in seguito essere rivisto in base alla esperienza concreta che risulterà dalle fasi di scavo.

I suddetti valori sono riportati nelle seguenti tabelle.

La superficie di scavo della galleria realizzare in tradizionale è pari a :  $S = 143,1$  mq, il diametro equivalente è pari a  $d = 13,5$  m. Questi valori sono stati calcolati considerando una media tra la sezione minima e quella massima di un campo di avanzamento troncoconico, che si sviluppa per una lunghezza di 7-9m.

Le procedure da seguire in caso di superamento delle soglie sono riportate nei paragrafi successivi e nelle relative procedure di dettaglio.

PARAMETRO DI RIFERIMENTO	DEFINIZIONE VALORE	VALORE IN AVVICINAMENTO	VALORE FINALE
Volume perso (%) $V_p$	valore atteso	$\leq 0.4 \%$	$\leq 0.8 \%$
	valori di attenzione	$> 0.4 \%$ e $\leq 0.6 \%$	$> 0.8 \%$ e $\leq 1.2 \%$
	valori di allarme	$> 0.6 \%$	$> 1.2 \%$

**Tabella 1: Valori attesi, di attenzione e di allarme, del Volume perso (valori finali) – Scavi in tradizionale.**

PARAMETRO DI RIFERIMENTO	DEFINIZIONE VALORE	VALORE
<i>Rapporto di inflessione (-)</i> $\Delta L$	valore atteso	$\leq \pm 1/2000$
	valori di attenzione	$> \pm 1/2000$ e $\leq \pm 1/1000$
	valori di allarme	$> \pm 1/1000$

**Tabella 2: Valori attesi, di attenzione e di allarme, del Rapporto d'inflessione.**

PARAMETRO DI RIFERIMENTO	DEFINIZIONE VALORE	VALORE
<i>Distorsione angolare (-)</i> $\beta$	valore atteso	$\leq \pm 1/800$
	valori di attenzione	$> \pm 1/800$ e $\leq \pm 1/500$
	valori di allarme	$> \pm 1/500$

**Tabella 3: Valori attesi, di attenzione e di allarme, della Distorsione angolare.**

Nel caso degli edifici del cimitero e dei parcheggi interrati, il range del campo di attenzione si modifica in considerazione della tipologia di queste strutture. Le strutture oggetto di questa variazione sono le Id 005bis, Id 001bis, Id 011, Id 012 e Id 013. Si considerano i seguenti valori di distorsione:

PARAMETRO DI RIFERIMENTO	DEFINIZIONE VALORE	VALORE
<i>Distorsione angolare (-)</i> $\beta$	valore atteso	$\leq \pm 1/400$
	valori di attenzione	$> \pm 1/400$ e $\leq \pm 1/250$
	valori di allarme	$> \pm 1/250$

**Tabella 4: Valori attesi, di attenzione e di allarme, della Distorsione angolare edifici Id 005bis, Id 001bis, Id 011, Id 012 e Id 013**

La verifica di uno dei due parametri non esclude quella degli altri. Tutti i parametri devono essere comunque controllati ed in caso di superamento del valore di attenzione o del valore di allarme di uno solo di essi si dovrà comunque procedere come definito in tabella ed aumentare la frequenza di rilievo delle grandezze che permettono il monitoraggio dei due parametri.

Si ritiene utile infine puntualizzare 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.

### **3.1.2 FREQUENZE DI RESTITUZIONE DATI**

Le grandezze misurate dovranno essere rese immediatamente disponibili al fine di rendere il controllo dei parametri per la verifica del corretto funzionamento delle procedure di scavo.

Nello specifico con frequenza almeno giornaliera saranno resi disponibili i dati di monitoraggio ed i grafici di elaborazione dati su sistema informatico di trasmissione.

Con frequenza settimanale e comunque non meno che ogni campo di avanzamento, saranno redatti dei report di avanzamento delle gallerie che riassumeranno tutti i parametri misurati ed indicando le eventuali azioni correttive.

## **3.2 SEZIONI STRUMENTATE**

Sono presenti delle sezioni di monitoraggio per la misura dei cedimenti e la stima del volume perso, costituite da capisaldi topografici fissati a terra, posti ad interasse di 10m. Le sezioni sono descritte nel seguito:

- Pk 712 – Sezione strumentata con 7 capisaldi topografici posizionati a terra;
- Pk 495 – Sezione strumentata con 9 capisaldi topografici posizionati a terra;
- Pk 440 – Sezione strumentata con 8 capisaldi topografici posizionati a terra;
- Pk 370 – Sezione strumentata con 8 capisaldi topografici posizionati a terra;

Le sezioni presentano un numero di capisaldi sufficiente a coprire l'intera estensione dell'ipotetico bacino di subsidenza che si potrebbe avere nel caso più sfavorevole, con  $k=0.50$ .

## **3.3 MONITORAGGIO EDIFICI**

L'impatto maggiore dovuto alle operazioni di scavo si può registrare sugli edifici interessati dal bacino di subsidenza. Tali edifici dovranno essere sottoposti a testimoniale di stato. In fase di progetto, sono state svolte una serie di analisi per la previsione delle deformazioni indotte sugli edifici interferiti che hanno permesso di stimare, per ogni fabbricato ed infrastruttura, le deformazioni indotte.

Tutti gli edifici ricadenti nel bacino di subsidenza saranno dotati di almeno 3 capisaldi topografici per le pareti perimetrali libere e sottoposti a monitoraggio.



L'installazione delle mire ottiche e il rilievo degli spostamenti sono effettuati lungo muri perimetrali che siano accessibili e comunque monitorabili.

Per una corretta esecuzione delle misure di monitoraggio topografico degli spostamenti plano-altimetrici, dovranno essere installati appositi prismi di riferimento esterni la cui ubicazione dovrà ricadere al di fuori delle aree soggette a deformazioni.

Gli edifici di interesse specifico sono monitorati attraverso i seguenti strumenti:

- capisaldi topografici per livellazioni manuali fissati all'edificio, alla quota del piano campagna, sulle pareti perimetrali degli edifici ;
- mire ottiche per misure manuali fissate all'edificio, alla quota di 3/4 m da terra, disposte sulle pareti perimetrali degli edifici ;
- fessurimetri manuali;
- clinometri per misurare l'inclinazione degli elementi portanti;
- vibrometri.

Le modalità di monitoraggio previste sono illustrate negli elaborati grafici specifici.

I fabbricati sottoposti a monitoraggio lungo il tracciato sono 14, dei quali 9 sono Edifici residenziali, 3 sono fabbricati facenti parte del Cimitero e 2 sono dei parcheggi privati per autoveicoli.

Sono state individuate tre tipologie di monitoraggio degli edifici che si differenziano in base alla tipologia di strumentazione prevista e alla frequenza di lettura degli strumenti.

- Edifici con Monitoraggio tipo 1: Fanno parte di questa tipologia di monitoraggio gli edifici per i quali le analisi degli effetti indotti forniscono cedimenti maggiori di 1cm nelle condizioni cautelative di  $V_p=1.2\%$ ;
- Edifici con Monitoraggio tipo 2: Fanno parte di questa tipologia di monitoraggio gli edifici per i quali le analisi degli effetti indotti forniscono cedimenti minori di 1cm nelle condizioni cautelative di  $V_p=1.2\%$ ;
- Edifici con Monitoraggio tipo 3: Fanno parte di questa tipologia di monitoraggio gli edifici per i quali le analisi degli effetti indotti forniscono categoria di danno uguale a 3 nelle condizioni estremamente cautelative di  $V_p=1.5\%$ ;

Gli edifici di tipo 1 e 3 si differenziano per le frequenze di lettura ma presentano la medesima strumentazione, costituita da :

- Capisaldi topografici alla base dell'edificio con interasse 5m ;
- Mire ottiche ad altezza di 3/4m ad interasse di 10/15m ;
- Fessurimetri sulle eventuali lesioni ;
- Clinometri sulle strutture portanti ;
- Vibrometri mono-triassiali per le misure delle vibrazioni ;

Gli edifici di tipo 2 hanno la seguente strumentazione :

- Capisaldi topografici alla base dell'edificio con interasse 5m ;
- Mire ottiche ad altezza di 3/4m ad interasse di 10/15m ;
- Fessurimetri sulle eventuali lesioni ;

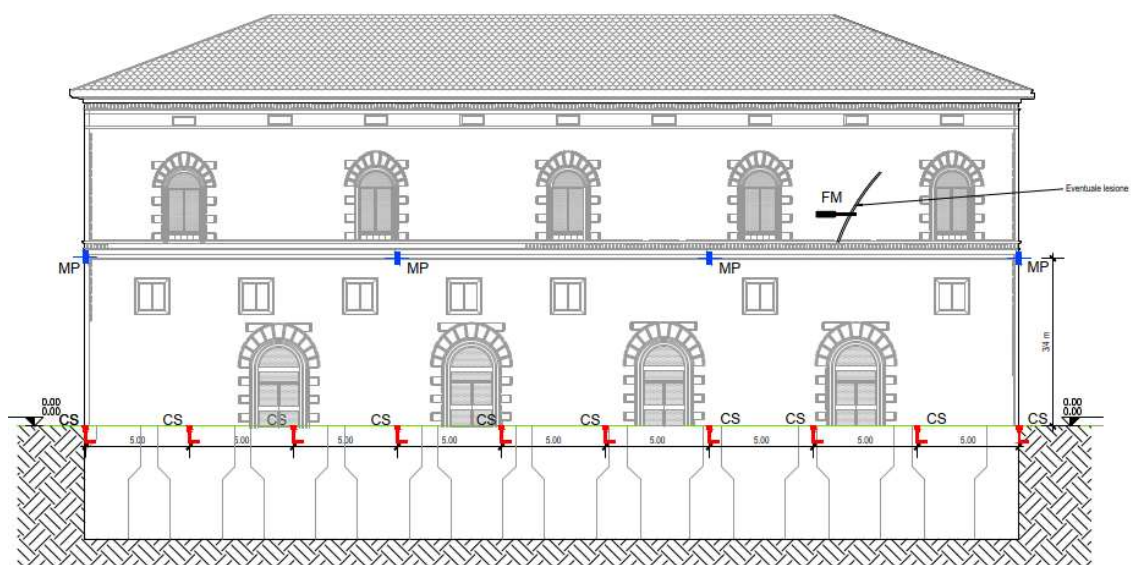


Figura 5 – Monitoraggio tipo 2

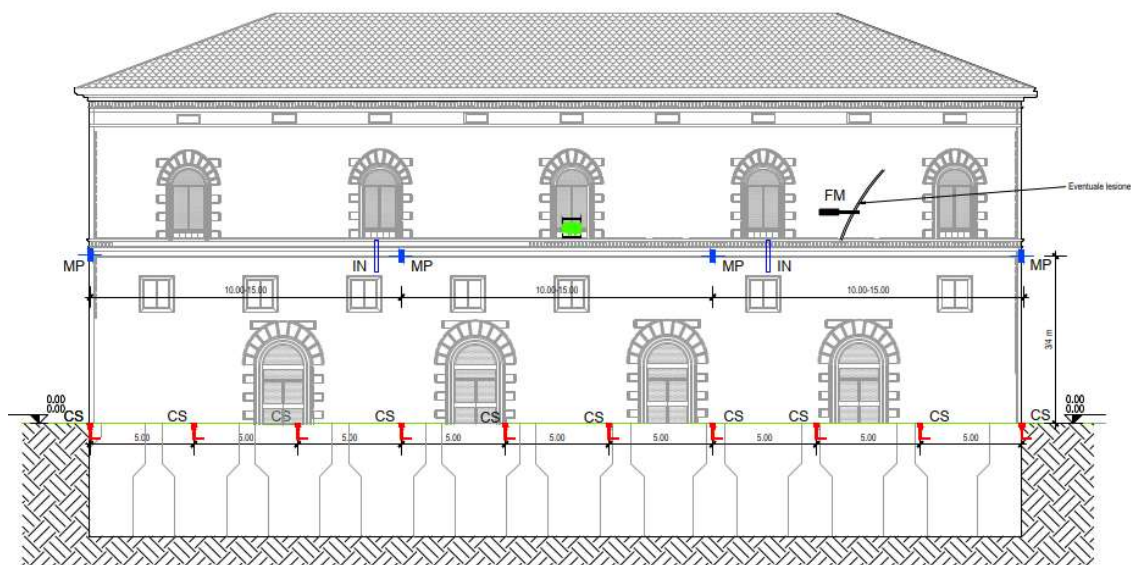


Figura 6 – Monitoraggio tipo 1 e 3

Nella seguente tabella è riportato l'elenco di edifici di cui è previsto il monitoraggio, con la profondità delle fondazioni ipotizzata rispetto all'asse della galleria.

n° edificio	Destinazione d'uso	pk	Tipo struttura	Lunghezza facciate monitorate (m)	Profondità asse galleria z <sub>0</sub> (m)	Tipologia monitoraggio
Id. 001	Residenziale	460.00	muratura	63,00	16,13	2
Id. 001bis	Parcheggio	470.00	c.a.	58,00	18,75	3
Id. 002	Residenziale	480.00	muratura	71,00	15,46	2
Id. 003	Residenziale	520.00	c.a.	52,00	15,48	2
Id. 004	Residenziale	670.00	muratura	45,00	21,00	1
Id. 005	Residenziale	700.00	muratura	53,00	20,06	1
Id. 005bis	Parcheggio	690.00	c.a.	29,00	20,54	2
Id. 006	Residenziale	750.00	c.a.	103,00	7,30	2
Id. 007	Residenziale	630.00	muratura	41,00	45,92	1
Id. 007bis	Residenziale	610.00	muratura	38,00	52,76	2
Id. 011	Cimitero	357.97	muratura	46,00	24,85	3
Id. 012	Cimitero	350.00	muratura	62,00	21,01	2
Id. 013	Cimitero	305.00	muratura	27,00	23,92	3
Id. 014	Residenziale	780.00	muratura	54,00	-	2

**Tabella 5: Edifici monitorati.**

In corrispondenza dell'edificio Id.13 è da prevedere un estensoinclinometro della lunghezza di 30m.

In corrispondenza dell'edificio Id.05 è da prevedere un estensoinclinometro della lunghezza di 40m.

Questi strumenti permetteranno di ricostruire l'andamento dei cedimenti in profondità nel terreno di fondazione, per valutare gli effetti dello scavo nell'intero volume significativo d'interesse dell'edificio.

Per la misura degli andamenti della falda si prevede di utilizzare i piezometri a tubo aperto presenti nei sondaggi realizzati in fase di PD e PE: Questi sono SV3(PD) in corrispondenza del cimitero, SV2(PD) all'imbocco Est della galleria esistente, S2(PE) alla pk 480, S3(PE) alla pk 630. A questi piezometri si aggiungono de nuovi piezometri di tipo elettrico da realizzarsi alla pk 540 ed alla pk 670.

Nel seguito si descrive la disposizione della strumentazione.

### **Capisaldi topografici**

Sono posizionati, fissati all'edificio, lungo i muri perimetrali degli edifici al livello del piano campagna e devono permettere il rilievo degli spostamenti verticali che devono essere utilizzati per il calcolo del rapporto di inflessione. Il loro numero deve essere funzione dei seguenti fattori:

- lunghezza facciate edificio da monitorare ;
- posizione edificio da monitorare (se in zona hogging o in zona sagging o in entrambe) ;
- possibilità pratica di rilievo.

Nel seguito si riportano condizioni di base che si devono rispettare:

- a. nel caso di strutture a telaio in c.a. dovrà essere installato almeno un caposaldo in corrispondenza di ciascun elemento verticale (pilastro) visibile o comunque rilevabile ;
- b. nel caso di edifici in muratura si deve installare un caposaldo ogni 5 m di muratura;
- c. in presenza di edifici in adiacenza, in prossimità della zona di contatto si deve porre in opera un caposaldo su ciascun edificio;
- d. in ogni caso il numero minimo di mire installate deve essere sempre  $\geq 3$ , in modo da poter valutare il valore di rapporto di inflessione corrispondente;
- e. nel caso di infrastrutture (sottopassi e ponti) andranno installati nel caso di strutture monolitiche almeno un caposaldo ogni 5.0 m. Nel caso di strutture a campate con elevazioni ed impalcato andranno posizionati almeno 2 capisaldi al piano campagna solidarizzati alla struttura su ciascuna elevazione/piedritto.

### **Mire ottiche**

Sono posizionate, fissate all'edificio lungo i muri perimetrali degli edifici e devono permettere il rilievo degli spostamenti spaziali che devono essere utilizzati per il calcolo del rapporto d'inflessione e degli spostamenti orizzontali. Le mire ottiche sono posizionate ad un'altezza di 3.0/4.0 m dal piano campagna, lungo una stessa verticale in cui è presente il caposaldo topografico di livellazione. Il loro numero deve essere funzione dei seguenti fattori:

- lunghezza facciate edificio da monitorare ;
- posizione edificio da monitorare (se in zona hogging o in zona sagging o in entrambe) ;
- possibilità pratica di rilievo,

e comunque si devono rispettare le seguenti condizioni di base:

- a. nel caso di strutture a telaio in c.a. dovrà essere installata almeno una mira in corrispondenza di ciascun elemento verticale visibile o comunque rilevabile,
- b. nel caso di edifici in muratura si deve installare una mira ogni 10÷15 m di muratura,
- c. in presenza di edifici in adiacenza in prossimità della zona di contatto si deve porre in opera una mira su ciascun edificio,
- d. in ogni caso il numero minimo di mire installate deve essere sempre  $\geq 3$ , in modo da poter valutare

il valore di rapporto di inflessione corrispondente;

- e. nel caso di infrastrutture (sottopassi e ponti) andranno installate nel caso di strutture monolitiche almeno una mira ogni 5.0 m. Nel caso di strutture a campate con elevazioni ed impalcato andranno posizionate almeno 2 mire alla quota del pulvino solidarizzate alla struttura su ciascuna elevazione/piedritto.

### **Fessurimetri manuali**

Sono posizionati a cavallo delle preesistenti fessure degli edifici e permettono, tramite la lettura manuale, il rilievo degli spostamenti relativi tra i lembi della fessura, il loro numero verrà definito in accordo con la direzione lavori.

### **Clinometri**

I clinometri biassiali per la misura delle deformazioni sono degli strumenti elettrici da fissare alla parete in corrispondenza degli elementi portanti. Si prevede un clinometro per ogni parete dell'edificio da monitorare.

### **Vibrometri**

Sono presenti i vibrometri monoassiali o triassiali. Si tratta di strumenti elettrici. Si prevede un vibrometro per ogni edificio da monitorare.

---

### **3.3.1 SOLUZIONI ALTERNATIVE DI MONITORAGGIO DEGLI EDIFICI**

Il monitoraggio degli edifici è subordinato alla autorizzazione da parte dei proprietari ad installare sulle facciate o all'interno degli edifici stessi la strumentazione prevista, generalmente mire ottiche o prismi.

Nella impossibilità di installare tale strumentazione per mancanza di autorizzazione si prevede di ricorrere a sistemi alternativi che consentono il controllo delle strutture.

Nel caso in cui gli edifici in questione sia a confine con la pubblica via, si potranno sostituire le misure di riscontri fissati all'edificio previsti in progetto con livellazioni di precisione di capisaldi posti sulla pubblica via immediatamente a ridosso degli edifici.

I capisaldi di livellazione saranno posizionati in adiacenza all'edificio, presumibilmente entro 0.20÷0.50 m dalla facciata interessata, mediamente con passo 5.0 m. Nel posizionare i capisaldi si privilegeranno le posizioni in corrispondenza delle parti piene della muratura evitando di posizionarli in corrispondenza dei varchi.

Le livellazioni di questi capisaldi seguiranno le medesime frequenze previste per le corrispondenti misure previste sui fabbricati.

### **3.4 MODALITÀ DI ELABORAZIONE DATI**

Come si è detto la misura delle grandezze monitorate permette la stima di alcuni parametri fondamentali per il controllo e la verifica degli effetti indotti dallo scavo. Fondamentali sono le modalità di elaborazione delle grandezze misurate; di seguito si riportano le procedure di calcolo del volume perso, del rapporto di inflessione e della distorsione.

Nei paragrafi successivi si definisce inoltre la modalità di elaborazione degli spostamenti orizzontali per la stima delle deformazioni orizzontali di trazione indotte sugli edifici.

#### **3.4.1 VOLUME PERSO NELLE SEZIONI MONITORATE**

Il volume perso si calcola partendo dai valori di cedimento misurati attraverso i punti di riscontro topografici posizionati sul p.c. in corrispondenza delle sezioni di monitoraggio.

La procedura di calcolo è la seguente:

- a. rilievo cedimenti, per ogni caposaldo topografico;
- b. definizione curva dei cedimenti;
- c. calcolo dell'area A (si vedano le figure seguenti), compresa tra il piano campagna originario e la sua configurazione deformata per effetto degli scavi;
- d. calcolo del valore di volume perso.

##### **3.4.1.1 RILIEVO CEDIMENTI - PROCEDURA**

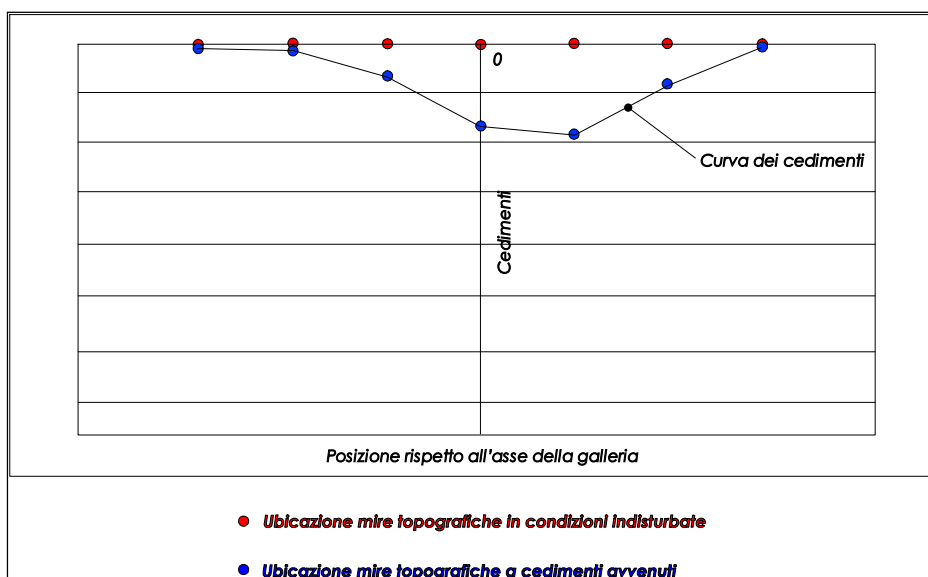
Il rilievo dei cedimenti seguirà la seguente procedura:

- Rilievo dei cedimenti di tutti i chiodi topografici posizionati nella sezione di monitoraggio considerata;
- Se la sezione di monitoraggio o una sua parte non è perpendicolare all'asse del tracciato le misure eseguite devono essere riferite a punti giacenti sulla traccia perpendicolare all'asse del tracciato e passante per il punto di intersezione tra la sezione di monitoraggio considerata e l'asse del tracciato, tali punti di riferimento si ottengono proiettando i punti corrispondenti ai chiodi topografici della sezione in oggetto sulla suddetta traccia di riferimento.

### 3.4.1.2 *DEFINIZIONE CURVA DEI CEDIMENTI - PROCEDURA*

La definizione della curva dei cedimenti seguirà la seguente procedura:

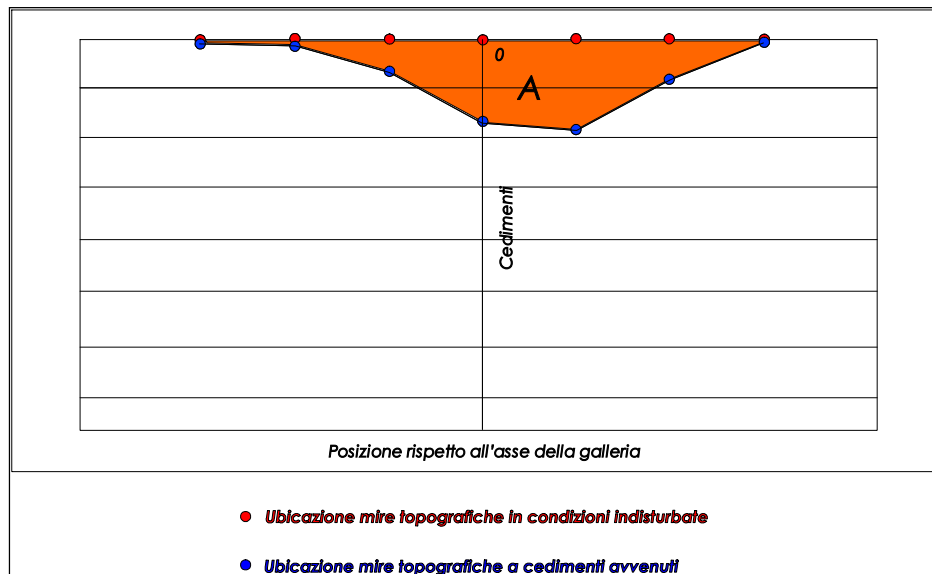
- Rappresentazione su un piano cartesiano dei punti di riferimento corrispondenti ai chiodi topografici, collocandoli secondo la loro posizione planimetrica sulla traccia di riferimento
- Rappresentazione dei corrispettivi cedimenti, si veda la figura seguente:



**Figura 7 – Piano di rappresentazione cedimenti del p.c.**

### 3.4.1.3 *DEFINIZIONE DELL'AREA A, COMPRESA TRA I DUE PROFILI - PROCEDURA*

Il calcolo dell'area avviene facendo riferimento al profilo discreto dei cedimenti e alla condizione iniziale di zero, si veda la figura seguente:



**Figura 8 – Area compresa tra i due profili**

#### 3.4.1.4 CALCOLO DEL VALORE DI VOLUME PERSO

Il valore di volume perso si ottiene dal rapporto tra il valore dell'area A e la sezione teorica di scavo, si veda la seguente equazione:

$$Vp(\%) = \frac{A_I}{\pi \cdot R_{Galleria}^2} \cdot 100$$

dove:

Vp = volume perso,

A<sub>I</sub> = area compresa tra la configurazione indisturbata del p.c. e la curva dei cedimenti indotta dallo scavo,

R<sub>galleria</sub> = raggio nominale di scavo della galleria.

#### 3.4.1.5 CALCOLO DEL VALORE DEL COEFFICIENTE DI PROPOZIONALITÀ

Il parametro di proporzionalità si calcola come segue:

$$k = \frac{0.313 \cdot Vp \cdot D^2}{S_{max} \cdot z}$$

dove:

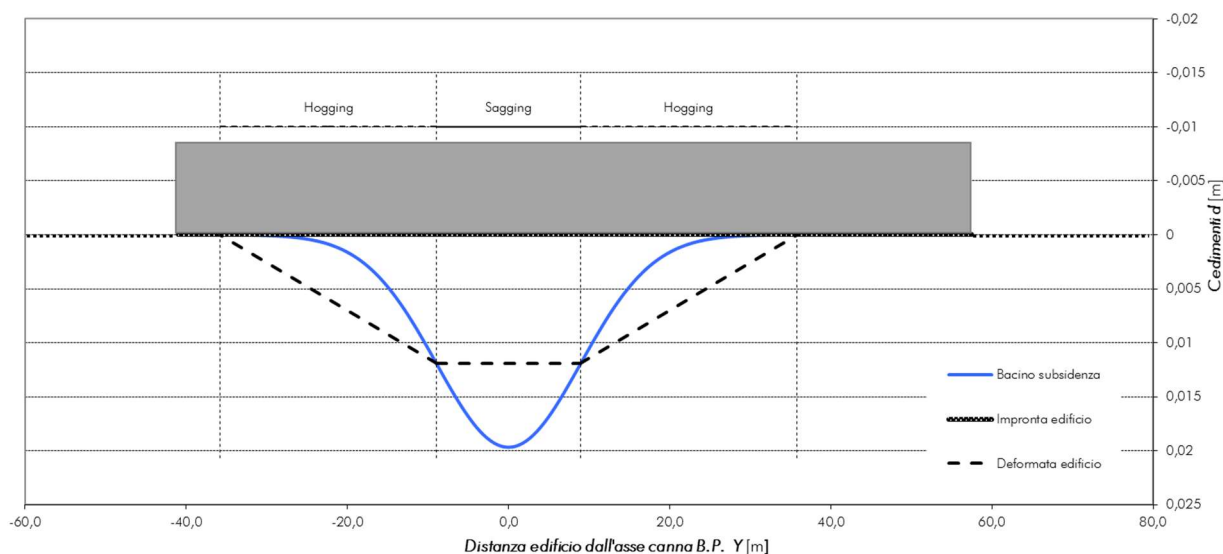


- $k$  è il coefficiente di proporzionalità tra il  $V_p$  e il cedimento massimo  $S_{max}$  ;
- $V_p$  è il valore di volume perso calcolato per quella sezione ;
- $D$  è il diametro teorico di scavo della galleria ;
- $S_{max}$  è il cedimento massimo rilevato nella sezione di monitoraggio ;
- $z$  è la distanza verticale tra l'asse della galleria e il p.c.

il valore del  $V_p$  e del cedimento massimo di riferimento per il calcolo di  $k$  devono corrispondere alla condizione in cui il fronte si trova a circa 2.5 volte  $z$  oltre la sezione di riferimento in oggetto che è la condizione che assicura il manifestarsi per intero i cedimenti dovuti al passaggio dello scavo.

### 3.4.2 RAPPORTO DI INFLESSIONE

Il rapporto di inflessione si calcola partendo dai valori di cedimento misurati attraverso le mire ottiche posizionate sui muri perimetrali dell'edificio monitorato. Si ricorda che il bacino di subsidenza indotto dallo scavo può presentare zone differenti a seconda della condizione di convessità, "zone di hogging", o di concavità, "zone di sagging", della curvatura; quindi i valori di rapporto di inflessione calcolati saranno più di uno a seconda del numero di zone di sagging e/o di hogging che interessano l'edificio analizzato: ad esempio nella figura seguente s'individuano 3 zone, 1 di sagging e 2 di hogging, tutte le zone individuate interessano l'edificio, che occupa l'intera impronta della curva di subsidenza, ne deriva la necessità di calcolare almeno 3 differenti valori di rapporto di inflessione.



**Figura 9 – Zone a differente curvatura**

La procedura di calcolo dei valori di rapporto di inflessione è la seguente:

- rilievo cedimenti S;
- definizione della deformata dell'edificio e calcolo dei valori di inflessione  $\Delta$ ;
- calcolo del (o dei) valori di rapporto di inflessione.

### 3.4.2.1 RILIEVO DEI CEDIMENTI S - PROCEDURA

Rilievo dei cedimenti di tutti i punti di rilievo topografico collocati sui muri perimetrali dell'edificio monitorati.

### 3.4.2.2 DEFINIZIONE DELLA DEFORMATA DELL'EDIFICIO E CALCOLO DEI VALORI D'INFLESSIONE $\Delta$

Si segue la seguente procedura.

- Rappresentazione su un piano cartesiano dei punti corrispondenti ai punti di rilievo topografico ;
- Rappresentazione dei corrispettivi cedimenti e calcolo dei valori di inflessione (per le zone di hogging e di sagging che interessano l'edificio) come distanza massima tra la deformata dell'edificio e la sua configurazione rigida, intesa come la corda che unisce la coppia di punti considerati (si veda la figura seguente).

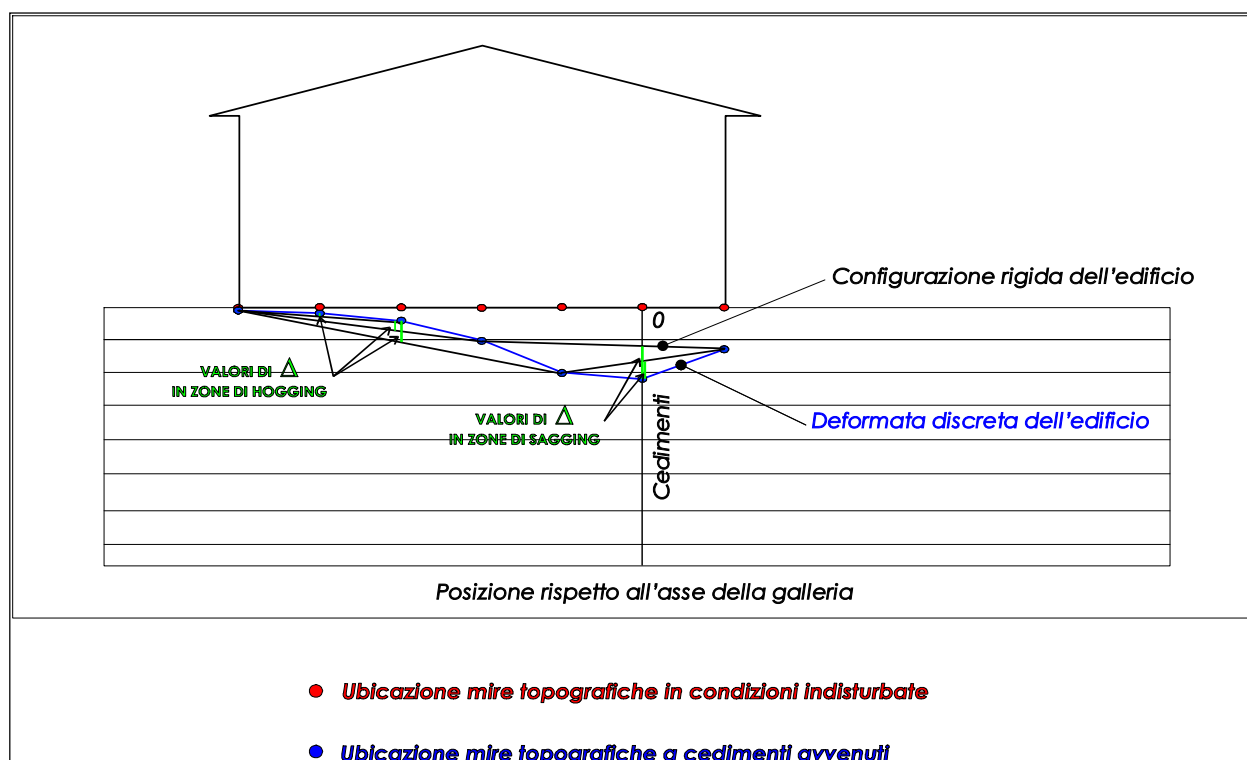


Figura 10 – Piano di rappresentazione cedimenti dell'edificio

### 3.4.2.3 CALCOLO DEI VALORI DI RAPPORTO D'INFLESSIONE

I valori di rapporto di inflessione si ottengono come rapporto tra il valore calcolato di  $\Delta$  e il rispettivo valore di L (si veda la figura seguente), si vedano le seguenti equazioni:.

$$\frac{\Delta_{i\_SAGGING}}{L_{i\_SAGGING}} \quad \text{per zone di sagging}$$

$$\frac{\Delta_{i\_HOGGING}}{L_{i\_HOGGING}} \quad \text{per zone di hogging}$$

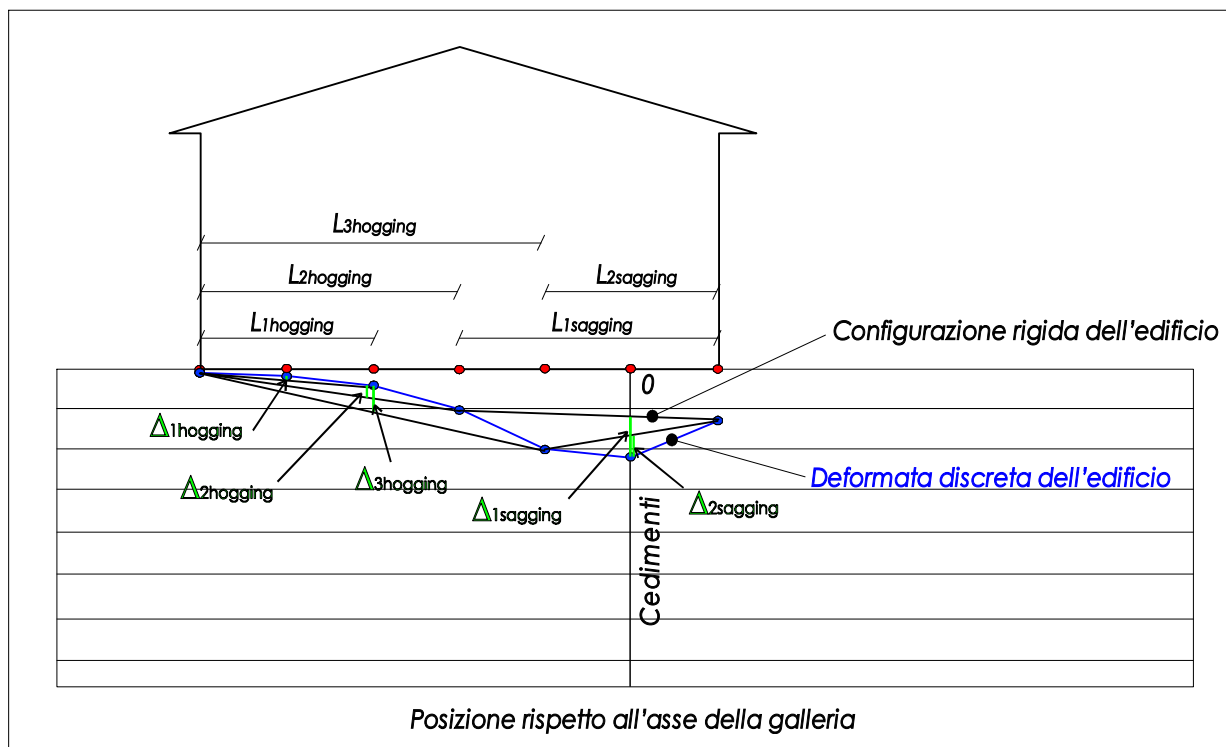
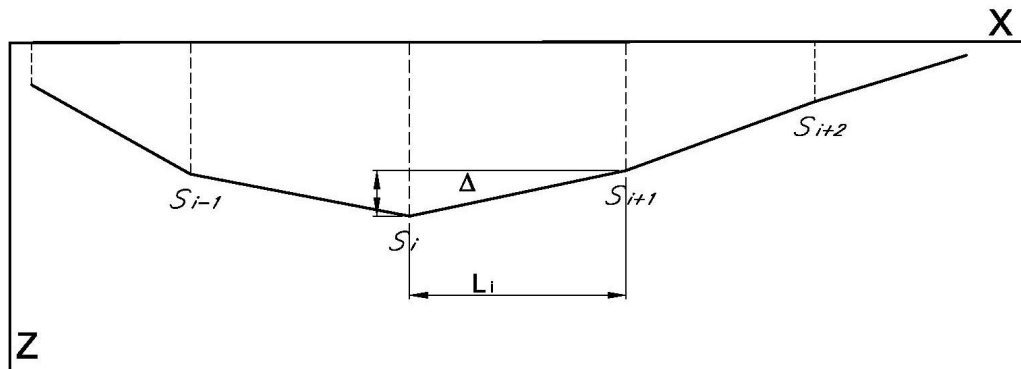


Figura 11 – Valori di inflessione  $\Delta$  e della corrispondente porzione di edificio L

### 3.4.3 DISTORSIONE ANGOLARE $\beta$

La distorsione angolare rappresenta il rapporto fra il cedimento di due pilastri contigui di una struttura intelaiata e la distanza fra i pilastri stessi:

$$\beta_{\max} = (S_i - S_{i-1}) / L_i$$



**Figura 12 – Schema per il calcolo della distorsione angolare**

Ove fosse di entità significativa la distorsione potrà essere depurata della rotazione rigida, definita come rapporto fra la differenza fra il cedimento del primo ed ultimo punto del profilo dell'edificio e la distanza orizzontale fra questi due punti:

$$\beta_{\text{rigida}} = (S_N - S_1) / L_{N,1}$$

In tal caso le soglie di attenzione/allarme saranno riferite alla distorsione depurata della aliquota attribuibile alla rotazione rigida:

$$\beta_{\max} = (S_i - S_{i-1}) / L_i - \beta_{\text{rigida}}$$

### 3.5 PIANO DELLE MISURE

Gli effetti dello scavo cominciano a rilevarsi, nella sezione di monitoraggio e/o sugli edifici, quando il fronte di scavo si trova a circa una volta la distanza z tra l'asse della galleria e il p.c. (misurata in corrispondenza della sezione o della facciata degli edifici).

Gli strumenti dovranno pertanto esser installati molto tempo prima che il fronte raggiunga tale distanza.

### 3.5.1 MISURE DI ZERO

La strumentazione andrà installata con congruo anticipo rispetto al momento per cui è previsto l'inizio delle misure "significative" ai fini del monitoraggio in modo da garantire un tempo sufficiente per le verifiche di funzionalità della strumentazione installata e per effettuare e ripetere le misure di zero.

L'inizio delle misure significative è posto quando il fronte si trova a una distanza pari a  $1.5z$  dalla sezione di monitoraggio. Ne discende che il momento per le misure di zero dovrà comunque essere posto quando il fronte si trova a una distanza maggiore o uguale a  $1.5z$  dalla sezione di monitoraggio.

Si prevede un anticipo della installazione di 30 giorni per la seguente strumentazione:

- strumentazione a lettura automatica in generale.

Si prevede un anticipo di 15 giorni per la seguente strumentazione:

- capisaldi per livellazione altimetrica ;
- mire ottica per rilievi piano altimetrici ;
- strumentazione geotecnica (piezometri, inclinometri ed estensimetri a barre);
- altri strumenti.

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

Per ogni tipo di strumentazione a lettura "manuale" verranno effettuate non meno di 2 misure di zero mentre per la strumentazione a misura automatica si effettueranno non meno di 2 misure/giorno dal momento della installazione fino all'inizio delle misure "significative".

### 3.5.2 MISURE "SIGNIFICATIVE" – MONITORAGGIO PASSAGGIO DEGLI SCAVI

Oltre alla lettura di zero, si effettueranno i rilievi e letture complete per tutti gli strumenti della sezione di monitoraggio in oggetto durante il passaggio degli scavi, tali letture si succedono secondo lo schema riportato nelle seguenti tabelle.

Le grandezze rilevate dalle misure degli strumenti che sono stati già interessati dal passaggio degli scavi, con il fronte che presenta una distanza dalla sezione di 2 volte la profondità  $z$  dell'asse della galleria rispetto al p.c., sono da considerarsi per il calcolo del valore definitivo di volume perso e di rapporto di inflessione a breve termine.

La frequenza delle sessioni di rilievo per il monitoraggio durante il passaggio degli scavi è riportata nelle seguenti tabelle Si evidenzia che le frequenze sono differenziate per gli edifici di tipo 1/2 e per quelli di tipo 3.

Distanza della facciata dell'edificio dal fronte di scavo	Frequenza dei rilievi	Tipologia di rilievo
$-0,5 z \geq D \geq -1,5 z$ fronte in avvicinamento	1 lettura al giorno	Rilievo della posizione plano-altimetrica dei punti di misura disposti sugli edifici da monitorare (edifici ed infrastrutture).
$z \geq D > -0,5 z$ fronte in attraversamento	1 lettura al giorno	
$2,5 z \geq D > z$ fronte in allontanamento	1 lettura al giorno	

**Tabella 6: Riscontri topografici sugli edifici di tipo 1 e 2 – Elenco delle serie di rilievi e letture durante il passaggio degli scavi**

Distanza della facciata dell'edificio dal fronte di scavo	Frequenza dei rilievi	Tipologia di rilievo
$-0,5 z \geq D \geq -1,5 z$ fronte in avvicinamento	1 lettura al giorno	Rilievo della posizione plano-altimetrica dei punti di misura disposti sugli edifici da monitorare (edifici ed infrastrutture).
$z \geq D > -0,5 z$ fronte in attraversamento	2 letture al giorno	
$2,5 z \geq D > z$ fronte in allontanamento	1 lettura al giorno	

**Tabella 7: Riscontri topografici sugli edifici di tipo 3 – Elenco delle serie di rilievi e letture durante il passaggio degli scavi**

Distanza della sezione di monitoraggio dal fronte di scavo	Frequenza dei rilievi	Tipologia di rilievo
$2,5 z \geq D \geq -1,5 z$	1 lettura al giorno	<p>Sessione di raccolta dati attraverso la strumentazione installata in foro (estenso-inclinometri e piezometri) in corrispondenza delle sezioni complete di monitoraggio.</p> <p>Sessione di rilievo con sonda inclinometrica lungo tubi inclinometrici installati in foro in corrispondenza delle sezioni complete di monitoraggio.</p>

**Tabella 8: Strumentazione geotecnica – Elenco delle serie di rilievi e letture durante il passaggio**

### degli scavi

Distanza della sezione di monitoraggio e/o del capisaldo topografico al p.c. dal fronte di scavo	Frequenza dei rilievi	Tipologia di rilievo
$2.5 z \geq D \geq -1,5 z$	2 letture al giorno	Rilievo della posizione <i>altimetrica</i> dei punti di misura disposti lungo le sezioni di monitoraggio topografiche.

**Tabella 9: Livellazioni di precisione – Elenco serie rilievi e letture capisaldi topografici al p.c. durante il passaggio degli scavi**

Tutta la strumentazione verrà controllata con la seguente frequenza a partire dal momento in cui il fronte di scavo della galleria supera di 2.5 z la progressiva della strumentazione stessa:

Distanza della sezione di monitoraggio e/o della facciata dell'edificio e/o del capisaldo topografico al p.c. dal fronte di scavo	Frequenza dei rilievi	Tipologia di rilievo
$D > 2.5 z$	1 lettura alla settimana per il primo mese; 1 lettura al mese per i successivi tre mesi; 1 lettura ogni tre mesi fino a fine lavori.	Tutte

**Tabella 10: Tutta la strumentazione – Elenco delle serie di rilievi successivamente al passaggio degli scavi**

Le tabelle riportano le frequenze di lettura da seguire nel caso in cui i valori di spostamento rimangono al di sotto delle soglie di attenzione e di allarme; nel caso in cui tali soglie vengano superate la frequenza di lettura andrà aumentata e concordata insieme alla direzione lavori.

Il valore della frequenza incrementata non è già specificato e si definirà sulla base delle effettive condizioni che si rileveranno sul campo durante la costruzione. In sede di progetto costruttivo si sceglieranno le opportune frequenze con i necessari dati di base a disposizione, da acquisirsi durante le attività di costruzione.

### 3.5.3 ORGANIZZAZIONE DEI RISULTATI

#### 3.5.3.1 MISURE DI LIVELLAZIONE SU SEZIONI

I risultati delle livellazioni possono essere diagrammati sia mostrando l'evoluzione del singolo punto di livellazione che di tutta la sezione; in quest'ultimo caso la rappresentazione riguarderà non l'intero complesso delle misure ma un certo numero, generalmente le ultime 5 per motivi di leggibilità dei grafici. E' possibile inoltre effettuare medie di dati su intervalli temporali opportunamente scelti e così facendo rappresentare l'andamento delle misure su un qualsiasi periodo di tempo.

Poiché nel sistema di monitoraggio confluiscono anche i dati di avanzamento degli scavi, i cedimenti possono essere diagrammati sia in funzione del tempo che in funzione dell'avanzamento della galleria rispetto alla progressiva considerata.

Gli stessi risultati possono essere rappresentati in forma areale mediante curve di livello del cedimento in funzione del tempo e/o dell'avanzamento del fronte.

Oltre alla rappresentazione del semplice risultato del monitoraggio questi verranno elaborati per restituire i parametri e le informazioni necessarie per la gestione del processo di scavo.

In particolare per ogni sezione topografica e completa verrà restituito il valore dell'area "A" sottesa dal diagramma del cedimento e la stima del volume perso "in progress", nel senso che il valore verrà aggiornato ad ogni nuova serie di misure fino alla determinazione del valore finale, quando l'avanzamento dello scavo avrà superato una distanza dalla sezione di almeno 2,5 volte la profondità della sezione stessa (in asse galleria). Dal volume perso in ciascuna sezione topografica potrà essere determinato il rapporto di proporzionalità fra volume perso e cedimento massimo in asse galleria

Verranno pertanto prodotti i seguenti grafici:

- a. diagramma cedimento-tempo e cedimento-avanzamento di ogni singolo punto di livellazione;
- b. diagramma cedimento-tempo e cedimento-avanzamento per sezioni;
- c. diagramma volume perso-avanzamento;
- d. diagramma volume perso in asse galleria in funzione della progressiva;
- e. planimetria con curve di livello di ugual cedimento per successivi step di avanzamento.

Tutti i grafici sopra descritti contengono l'individuazione dei limiti di soglia di allerta e di allarme.

#### 3.5.3.2 STRUMENTAZIONE GEOTECNICA

La strumentazione geotecnica presente è costituita da:



- inclinometri
- piezometri a tubo aperto
- estenso-inclinometri

Le misure saranno rappresentate come profilo di deformazione del terreno in funzione della profondità con modalità analoghe a quelle descritte per le sezioni topografiche. Si tratta infatti di una "sezione verticale" con caratteristiche simili a quelle di una sezione di superficie. Pertanto i singoli grafici potranno essere contrassegnati in funzione del tempo o in funzione dell'avanzamento relativo degli scavi.

I piezometri saranno rappresentati come diagrammi del livello piezometrico in funzione del tempo o dell'avanzamento dello scavo.

Le stesse misure potranno anche essere rappresentate nel contesto dei piezometri eventualmente presenti nella medesima area, nel qual caso sarà possibile produrre una rappresentazione areale a curve di livello della superficie piezometrica.

Le misure di spostamento verticale sugli estenso-inclinometri a barre saranno rappresentate mediante profili di cedimento, analoghi a quelli previsti per gli inclinometri fatto salvo che la grandezza rappresentata è costituita da spostamenti verticali e non orizzontali.

Verranno pertanto prodotti i seguenti grafici:

- a. profilo spostamenti orizzontali in funzione del tempo ed in funzione dell'avanzamento relativo;
- b. profilo spostamenti verticali in funzione del tempo ed in funzione dell'avanzamento relativo;
- c. livello piezometrico - tempo e livello piezometrico - avanzamento relativo;

### 3.5.3.3 *RISULTATI DEL MONITORAGGIO DEGLI EDIFICI ED INFRASTRUTTURE*

Il monitoraggio degli edifici e delle infrastrutture interferite dallo scavo è costituito da misure piano altimetriche di riscontri topografici disposte lungo il perimetro esterno. Tali riscontri sono rappresentati da capisaldi topografici al piano campagna e da mire ottiche alla quota di 3,0÷4,0 metri dal p.c.

La restituzione comprenderà sia diagrammi dei movimenti verticali e orizzontali dei singoli capisaldi, come sempre sia in funzione del tempo che dell'avanzamento relativo dello scavo, che i diagrammi per sezioni, cioè lungo ciascuna facciata dell'edificio o della struttura.

Sulla base di questi elementi verranno automaticamente aggiornati i parametri di distorsione angolare o rapporto di inflessione, rispettivamente per le strutture intelaiate ed in muratura, e sarà valutata la "distanza" del valore del parametro rispetto alle diverse soglie di allerta ed allarme programmate.

In caso di superamento della soglia di allerta e/o di allarme si valuterà, in funzione del sistema deformativo riscontrato ed in particolare in presenza di significative deformazioni orizzontali nel piano delle murature, l'opportunità di sviluppare ulteriori valutazioni circa lo stato tensionale nelle murature utilizzando i criteri esposti nel paragrafo successivo.

Il manifestarsi di eventuali spostamenti anomali può essere dovuto a comportamenti non rispondenti alle ipotesi progettuali dei terreni scavati e delle opere costruite. Tale eventualità porta generalmente a definire frequenze di lettura più accelerate sugli strumenti.

Ove risulta necessario, si applicano inoltre le azioni correttive per rientrare in condizioni di normalità, che consistono nel variare la sequenza di avanzamento nello scavo e i consolidamenti applicati in galleria. Per le paratie consistono nell'incrementare i supporti o gli interventi di drenaggio, o nel modificare la conformazione del terreno a valle per rientrare nelle condizioni di sicurezza.

#### 3.5.3.3.1 SPOSTAMENTI ORIZZONTALI

---

Gli spostamenti orizzontali non sono sempre di entità rilevabile e/o di direzione significativa (ossia generanti deformazioni per trazione sull'edificio) ma possono costituire un utile ed aggiuntivo indicatore dello stato di quegli edifici che si trovano in condizioni particolarmente critiche per effetto dei cedimenti verticali.

Il valore di deformazione orizzontale di trazione ( $\varepsilon_y$ ) si calcola nel seguente modo:

$$\varepsilon_y = \frac{|s_{Y\_1} - s_{Y\_2}|}{L}$$

dove:

$s_{H\_1}$  = spostamento del primo estremo della facciata dell'edificio,

- $s_{H\_2}$  = spostamento del secondo estremo della facciata dell'edificio,
- $L$  = lunghezza della facciata dell'edificio;

il valore di  $\varepsilon_y$  non rientra direttamente nel calcolo del volume perso e del rapporto d'inflexione ma può essere impiegato ad esempio per definire, attraverso un'operazione di "back analysis", le deformazioni indotte sull'edificio e la corrispondente categoria di danno in cui si colloca l'edificio.

La procedura da seguire è la seguente:

- calcolo del valore di  $\varepsilon_y$ ,
- calcolo del valore di  $\varepsilon_f$  (deformazione flessionale) e  $\varepsilon_t$  (deformazione di taglio) indotte dagli

spostamenti verticali:

$$\varepsilon_f = \frac{\Delta/L}{\left[ \frac{L}{12t} + \frac{3IE}{2tLHG} \right]}$$

$$\varepsilon_t = \frac{\Delta/L}{\left[ 1 + \frac{HL^2G}{18IE} \right]}$$

dove:

- $\Delta/L$  = massimo valore del rapporto di inflessione calcolato in condizioni deformative corrispondenti ad un condizione di "hogging"
- $I$  = modulo di inerzia (H3/12 in zona sagging ; H3/3 in zona hogging)
- $E/G$  = rapporto tra il modulo di elasticità longitudinale e tangenziale (12.5 per fabbricati in c.a. e 2.6 per fabbricati in muratura),
- $t$  = distanza dell'asse neutro dal bordo teso della trave (H/2 in zona sagging ; H in zona di hogging),
- $H$  = altezza della trave simulante l'edificio, ricavabile dalla scheda dell'edificio in oggetto.
- calcolo del valore di deformazione totale:

$$\varepsilon_{totale} = \varepsilon_y + \varepsilon_f \quad (\text{condizione di flessione})$$

$$\varepsilon_{totale} = 0.35 \cdot \varepsilon_y + \left[ (0.65 \cdot \varepsilon_y)^2 + \varepsilon_t^2 \right]^{0.5} \quad (\text{condizione di taglio, } \nu = 0.3)$$

- individuazione del massimo valore di deformazione totale e definizione della corrispondente categoria di danno secondo la scala proposta da Boscardin & Cording (1989).

#### 3.5.4 SEGNALAZIONE DI ALLERTA ED ALLARME

Una ulteriore funzionalità insita nel sistema di gestione dei risultati del monitoraggio consiste nella emissione in automatico, al superamento di qualsiasi soglia prefissata, di segnali di allerta e di allarme secondo il caso e secondo un protocollo prestabilito.

Queste segnalazioni giungono a valle della validazione dei dati, validazione insita nel sistema di acquisizione dei dati e che si sviluppa costantemente sia a livello di sistema locale che di sistema centrale. Le procedure di validazione sono diverse per ciascun tipo di dato e di strumento e sono finalizzate ad escludere solo le misure manifestamente errate, attribuibili a danneggiamento dello strumento o altri motivi del tutto accidentali.

Il sistema consente di inviare segnali di allerta/allarme via SMS, con chiamata su cellulare o telefono fisso, fax, email, ecc.; ogni segnale di allerta/allarme può essere inviato a più destinatari, a ciascuno eventualmente con un mezzo di trasmissione diverso, e comprende il codice identificativo dello strumento che ha dato luogo al superamento della soglia. Inserendo tale identificativo nella piattaforma web viene immediatamente visualizzato in planimetria lo strumento interessato e possono essere visualizzati i grafici relativi al superamento della soglia.

L'invio del segnale di allerta/allarme deve necessariamente essere seguito da una contro segnalazione di ricevimento del segnale da parte del destinatario individuato dalla procedura come riferimento. In caso di assenza del segnale di ricezione la procedura generalmente prevede l'invio di un ulteriore allarme ed eventualmente l'allargamento della rosa di destinatari fino a che non giunga al sistema il segnale di ricezione del messaggio.

La procedura di gestione degli allerta/allarmi prevede generalmente una procedura concordata di chiusura dell'allarme.

---

### 3.5.5 *RAPPORTI PERIODICI*

Il sistema di gestione ed archiviazione dei risultati fornisce periodicamente rapporti di sintesi sulla strumentazione installata ed attiva comprendente informazioni sul funzionamento della strumentazione, su eventuali errori rilevati, superamento di soglie, ....

In aggiunta a tali rapporti di tipo "statistico" verranno elaborati, mediamente ogni 50 m di avanzamento dello scavo, dei rapporti di commento ai risultati conseguiti. Questi comprenderanno il confronto fra valori misurati e valori attesi sia in relazione alle ipotesi progettuali che ai parametri di scavo ed ai risultati del monitoraggio interno.

In tale ambito verranno discussi gli eventi di superamento delle soglie individuandone, ove possibile, le cause e le modalità di prevenzione di eventi analoghi nel prosieguo.

Ove necessario in relazione ai livelli di danno raggiunti si effettueranno analisi di approfondimento del grado di pericolosità e delle eventuali conseguenze.

## 4 CONTROLLO VIBROMETRICO DELLE PREESISTENZE

In fase di avviamento dei lavori, vista la presenza di edifici che sovrastano la galleria naturale e di infrastrutture interferenti in punti particolarmente sensibili, sarà effettuata una campagna di monitoraggio atta al Controllo delle Vibrazioni indotte mediante l'utilizzo di Vibrometri Triassiali e/o monoassiali.

La definizione dei parametri di trasmissione delle vibrazioni permetterà la successiva modulazione di eventuali ulteriori sotto-fasi 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).

In particolare in merito al controllo delle vibrazioni si specifica quanto segue:

- Il parametro di riferimento è rappresentato dalla velocità di picco delle vibrazioni indotte in funzione della frequenza di vibrazione, i cui limiti di riferimento sono ripresi dalla norma UNI 9916 "Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici" e dalla normativa tedesca DIN 4150, parte 3 (1983) - tali limiti sono riportati nella seguente tabella con riferimento, in via conservativa a frequenze inferiori a 10Hz.

Riga	Tipo di edificio	Velocità massima delle particelle [mm/s]
		Frequenza dell'onda <10Hz
1	Industriale/non residenziale	20
2	Residenziale	5
3	Delicato	3

**Tabella 11: valori limite di vibrazione (UNI 9916 e DIN 4150)**

Il monitoraggio delle vibrazioni verrà realizzato tramite vibrometri monoassiali e triassiali.

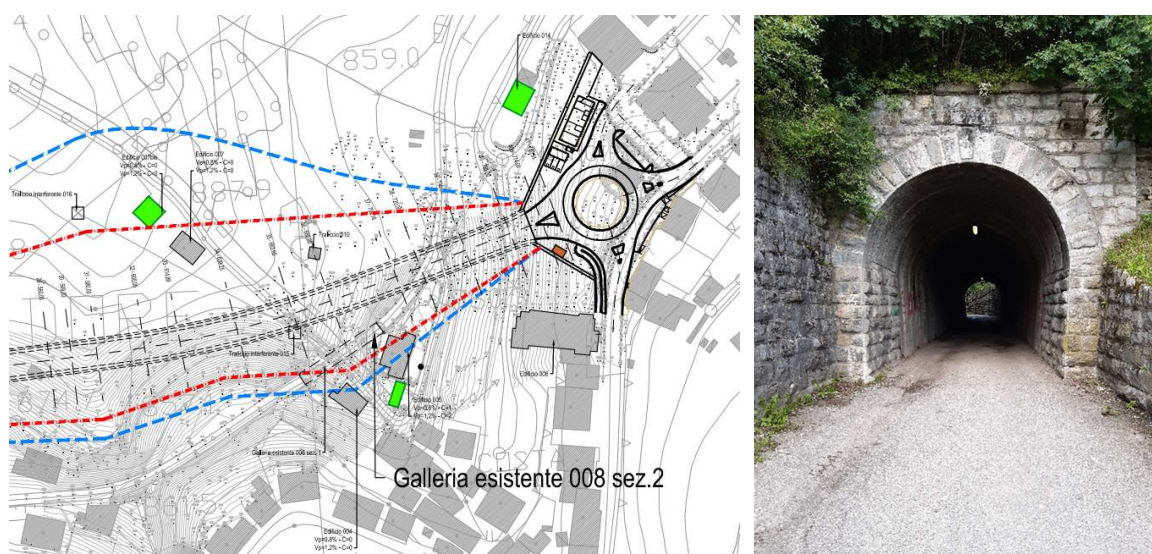
Per quanto riguarda la frequenza di letture delle vibrazioni indotte sarà installata l'Unità di Acquisizione Dati Dinamici, dotata di modulo GSM/GPRS per la trasmissione dei dati a distanza, e saranno stesi i cavi strumentali che collegano i sensori all'unità di acquisizione; nel caso di normale funzionamento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

Strumento	Scansione temporale in riferimento al progetto		
	ANTE OPERAM Da -100m a -40m	CORSO D'OPERA Da -40m a 60m	POST OPERAM Da -40m a 60m
VIBROMETRI	mese precedente	attivato in continuo	attivato in continuo

**Tabella 12: edifici/manufatti esistenti: frequenza di lettura controllo vibrometrico edifici**

## 5 MONITORAGGIO DELLA GALLERIA ESISTENTE

Di seguito si mostra la planimetria del tracciato e la posizione della galleria in muratura interessata dal monitoraggio.



**Figura 13 – Planimetria tracciato con galleria esistente in muratura**

La galleria è oggetto di un blindaggio preventivo per limitare gli effetti dello scavo.

Sono previste 4 sezioni di monitoraggio ad interasse 10m e l'installazione di un vibrometro triassiale all'imbocco Est della galleria, che è maggiormente interessato dagli effetti degli scavi. Le sezioni di monitoraggio sono 4 e sono costituite da tre micropismi, due dei quali installati sui piedritti ed un in chiave. Questi riscontri topografici verranno letti con teodolite, con cadenza giornaliera negli scavi.

strumento	quantità e zona d'installazione	frequenza lettura *
mire ottiche sezioni galleria esistente	3 mire per ognuna delle 4 sezioni poste ad interasse 10m, mire poste sui piedritti ed in chiave alla sezione di galleria	1 lettura/giorno negli scavi
* in presenza di misurazioni anomale, le frequenze andranno opportunamente incrementate		

**Tabella 13: quantità e frequenze misure topografiche traicci**

I cedimenti stimati sono i seguenti:

- sul piede sinistro di 3,4 cm

- sul piede destro di 3,9 cm
- in chiave 3,5 cm

La distorsione angolare si attesta su valori di  $\beta < 1/500$ .

Al superamento di cedimenti dei piedritti dell'ordine di 3cm si intensificherà la frequenza delle letture.

Al raggiungimento della soglia di distorsione  $\beta = 1/800$  si prenderanno le relative contromisure per limitare gli effetti sull'opera, modificando la sequenza di avanzamento nello scavo o incrementando i consolidamenti.



## 6 MONITORAGGIO DEI TRALICCI DI TELECOMUNICAZIONE ED ENERGIA

Sul versante a Nord del tracciato sono presenti tre tralicci di distribuzione della tensione elettrica ed un delle comunicazioni. I tralicci sono in acciaio e le fondazioni sono costituite da elementi in c.a. di notevole spessore. Si prevede il monitoraggio topografico con mire ottiche sui quattro elementi principali d'angolo, poste ad altezza di 3.0m dal suolo. Questi punti verranno rilevati con un teodolite, a cadenza giornaliera negli scavi.

strumento	quantità e zona d'installazione	frequenza lettura *
mire ottiche piloni alta tensione	4 mire, poste alla base del pilone per ognuno dei quattro tralicci monitorati	1 lettura/giorno negli scavi
* in presenza di misurazioni anomale, le frequenze andranno opportunamente incrementate		

**Tabella 14: quantità e frequenze misure topografiche tralicci**

Nel seguito si riportano i valori massimi attesi di spostamento, calcolati nelle ipotesi di  $V_p=0.8\%$ .

Traliccio	strumento	cedimento verticale $D_y$ [mm], rivolto verso il basso	Rotazione $\beta$ [-]
Id 010	mire ottiche traliccio	-15 mm	1 / 850
Id 015	mire ottiche traliccio	-31 mm	1 / 700
Id 016	mire ottiche traliccio	-2 mm	-
Id 017	mire ottiche traliccio	-2 mm	-

**Tabella 15: valori attesi misure topografiche tralicci**

In corrispondenza del traliccio delle telecomunicazioni è da prevedere un estenso inclinometro della lunghezza di 40m, facente parte della strumentazione in foro.

Al raggiungimento dei valori di deformazione stimati si prenderanno le relative contromisure per limitare gli effetti sull'opera, valutando l'opportunità di modificare la sequenza di avanzamento nello scavo o di incrementare i consolidamenti.

## 7 MONITORAGGIO DEGLI IMBOCCHI

Le opere d'imbocco sono costituite da paratie di pali tirantate.

E' presente anche una terra armata all'imbocco Ovest, per il sostegno della nuova sede stradale nel tratto all'aperto.

Per la descrizione dettagliata delle opere si fa riferimento alla relativa relazione tecnica. Si prevede di eseguire misure topografiche, misure del carico dei tiranti e misure inclinometriche.

Il sistema di monitoraggio previsto sarà realizzato su entrambi gli imbocchi, lato Est ed Ovest, e consentirà di determinare, durante la fase di costruzione, eventuali spostamenti atipici delle stesse e/o perdite di carico dei tiranti e di apportare gli eventuali interventi correttivi in funzione dell'entità delle anomalie riscontrate.

Ove risulta necessario, al raggiungimento dei valori stimati delle deformazioni e per limitarne l'evolversi si applicano le azioni correttive per rientrare in condizioni di normalità, che consistono nell'incrementare i consolidamenti, i supporti sulle paratie o gli interventi di drenaggio.

### 7.1 MISURE TOPOGRAFICHE SULLE PARATIE

Si posizionano mire ottiche a passo 5.0m, sulla trave di testa. Si posizionano mire ottiche sulle travi di ripartizione dei tiranti, a passo 5.0m. Le travi strumentate con mire saranno alternate con quelle non strumentate. La posizione dei riscontri topografici dovrà essere misurata prima dell'inizio degli scavi ("lettura di zero"), in modo tale da non essere influenzata dalle operazioni di scavo. Lo strumento di misura sarà costituito da una stazione dotata di teodolite e di un distanziometro elettronico che misureranno le posizioni delle mire ottiche rispetto ad un sistema fisso di coordinate. La precisione richiesta per la strumentazione è di 1 mm.

strumento	quantità e zona d'installazione	frequenza lettura *
mire ottiche paratie	48 mire ottiche all'imbocco Est e 103 su quello Ovest, poste a passo 5.0m sulla trave di testa e a passo 5.0m sulle travi di ripartizione	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 lettura/giorno negli scavi fino a raggiungimento fondo scavo;</li> <li>• 2-3 letture/settimana negli scavi una volta raggiunto il fondo scavo;</li> <li>• 1 lettura/settimana fino a fine lavori.</li> </ul>
* in presenza di misurazioni anomale, le frequenze andranno opportunamente incrementate		

**Tabella 16: quantità e frequenze misure topografiche paratie**

I valori di soglia degli spostamenti si determinano sulla base dei risultati numerici del calcolo delle paratie.

## 7.2 MISURE TOPOGRAFICHE SULLA TERRA ARMATA

Si posizionano mire ottiche a passo 5.0m, sulle due banche intermedie della terra armata. La lettura di questi riscontri topografici sarà estesa per due anni dal completamento delle opere. La posizione dei riscontri topografici sarà misurata ad avvenuto completamento della terra armata. Lo strumento di misura sarà costituito da una stazione totale che misurerà la posizione delle mire ottiche rispetto ad un sistema fisso di coordinate. La precisione richiesta per la strumentazione è di 1 mm.

strumento	quantità e zona d'installazione	frequenza lettura *
mire ottiche terra armata	77 mire ottiche complessivamente, poste a passo 5m, sulle due banche intermedie della terra armata	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 lettura/giorno negli scavi fino a raggiungimento fondo scavo;</li> <li>• 2-3 letture/settimana negli scavi una volta raggiunto il fondo scavo;</li> <li>• 1 lettura/settimana fino a fine lavori.</li> </ul>
* in presenza di misurazioni anomale, le frequenze andranno opportunamente incrementate		

**Tabella 17: quantità e frequenze misure topografiche terra armata**

I valori di soglia degli spostamenti si determinano sulla base dei risultati numerici del calcolo delle paratie.

## 7.3 CELLE DI CARICO TIRANTI

Si posizionano celle di carico a passo variabile, in corrispondenza delle sezioni di calcolo delle paratie poste sui tiranti di tutti gli ordini, per misurare nel tempo il tiro effettivo a cui sono soggetti i tiranti. Le testate dove si prevederanno tali celle di misura dovranno essere accuratamente protette e sigillate per evitare il degrado dovuto agli agenti atmosferici.

strumento	quantità e zona d'installazione	frequenza lettura *
celle di carico paratie	6 celle di carico all'imbocco Est e 9 all'imbocco Ovest, poste ad interasse variabile, su allineamenti verticali di tiranti	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 lettura/giorno negli scavi fino a raggiungimento fondo scavo;</li> <li>• 2-3 letture/settimana negli scavi una volta raggiunto il fondo scavo;</li> <li>• 1 lettura/settimana fino a fine lavori.</li> </ul>
* in presenza di misurazioni anomale, le frequenze andranno opportunamente incrementate		

**Tabella 18: quantità e frequenze misure celle di carico tiranti**

I valori di soglia delle pressioni si determinano sulla base dei risultati numerici del calcolo delle paratie.

## 7.4 MISURE INCLINOMETRICHE

Il monitoraggio delle paratie di imbocco verrà integrato con l'installazione di 3 tubazioni inclinometriche, una per ogni imbocco, di lunghezza pari a 30 m. Le verticali inclinometriche dovranno essere ubicate a tergo delle paratie di imbocco per consentire il controllo di eventuali movimenti di versante a seguito dell'esecuzione degli scavi.

La precisione delle misure con sonda inclinometriche non dovrà essere inferiore a 0.05 mm/m (1/20.000 sen  $\alpha$ ). In prossimità della testa del tubo inclinometrico sarà ubicato un punto di controllo topografico di precisione

strumento	quantità e zona d'installazione	frequenza lettura *
inclinometri paratie	3 strumenti per ogni paratia, a servizio delle paratie ai due imbocchi, installati a distanza minima di 1.0m dalla paratia	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 lettura/giorno negli scavi fino a raggiungimento fondo scavo;</li> <li>• 2-3 letture/settimana negli scavi una volta raggiunto il fondo scavo;</li> <li>• 1 lettura/settimana fino a fine lavori.</li> </ul>
* in presenza di misurazioni anomale, le frequenze andranno opportunamente incrementate		

**Tabella 19: quantità e frequenze misure inclinometriche paratie**

I valori di soglia degli spostamenti si determinano sulla base dei risultati numerici del calcolo delle paratie.

## 7.5 FREQUENZA DELLE MISURE

In fase di lettura si dovrà verificare l'assenza di spostamenti significativi dei punti di misura topografici e degli inclinometri messi in opera e, contemporaneamente, la tenuta dei tiro dei tiranti monitorati attraverso le celle di carico.

All'imbocco Est gli spostamenti massimi calcolati in fase progettuale sono generalmente dell'ordine di 1.0 cm, ad eccezione della paratia Sud e del portale d'imbocco, dove si stimano rispettivamente spostamenti di 2,5cm (sezione di calcolo 2) e 2,0cm (sezione di calcolo 6) .

All'imbocco Ovest gli spostamenti massimi calcolati in fase progettuale sono generalmente dell'ordine di 1.0 cm.

Per altro, considerando gli errori strumentali e non escludendo locali assestamenti del terreno in fase di cantiere, nelle letture ottiche i capisaldi non dovranno presentare uno spostamento medio lungo il fronte di scavo maggiore di 1.5-2.5 cm.

Inizialmente e per un periodo non minore di un mese, si prevede una lettura giornaliera degli spostamenti e degli strumenti di misura suddetti, mentre successivamente, in assenza di spostamenti anomali, si predispone una cadenza delle letture di 2-3 volte a settimana per poter monitorare il comportamento della paratia.

Se non ci saranno risultati anomali sia del monitoraggio topografico dei punti e sia delle letture degli inclinometri e delle celle di carico, dopo un periodo di 2-3 mesi si potrà passare ad una lettura settimanale fino alla fine dei lavori.

Nelle misurazioni, per altro, possono destare preoccupazione valori anomali degli spostamenti differenziali tra una lettura e la successiva oltre al valore assoluto degli stessi: in altre parole se sussiste un incremento non giustificato da operazioni di scavo o altre situazioni gravose è opportuno analizzare approfonditamente le ragioni di tale comportamento e, laddove necessario, apportare possibili accorgimenti od integrazioni al Progetto.

## 8 CONDIZIONI DI ATTENZIONE E DI ALLARME

In conseguenza al fatto che il monitoraggio principalmente ha lo scopo di valutare la rispondenza dei valori di riferimento misurati in corso d'opera (spostamenti, sforzi negli elementi di contrasto, livelli di falda) con le ipotesi adottate nel calcolo vengono definiti nel seguito i seguenti valori di riferimento:

- limite di attenzione: è definito come una quota parte delle risultanze dei calcoli in progetto. Il superamento di questo limite implica l'incremento della frequenza delle misure, allo scopo di stabilire e monitorare la velocità con la quale il fenomeno si evolve;
- limite di allarme: è definito in funzione del livello deformativo, tensionale, ecc. più gravoso per una determinata situazione di scavo. Il suo superamento implica il coinvolgimento della D.L. per la valutazione dell'opportunità di attuare adeguate contromisure.

Nell'ambito delle opere in sotterraneo, le letture di convergenza rappresentano comunemente il parametro più significativo per la valutazione della stabilità dello scavo, mentre la restante strumentazione installata è uno strumento addizionale di cui Progettista e Direzione Lavori dispongono per una migliore interpretazione della complessa interazione struttura-terreno.

Per la valutazione dei suddetti limiti di riferimento, relativamente a ciascuna sezione tipo, si fa riferimento ai calcoli di dimensionamento effettuati.

Le tabelle seguenti forniscono un piano di azione indicativo delle contromisure, rispettivamente per galleria, imbocchi, edifici esistenti e falda per i due diversi livelli di guardia sopra definiti, redatto sulla base della risposta fornita dalla totalità della strumentazione installata.

Limite raggiunto	Azioni da intraprendere
Attenzione	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumentare la frequenza di lettura della strumentazione installata</li> <li>- Verificare la necessità di installare strumenti di misura integrativi</li> <li>- Verificare sequenza esecutiva</li> </ul>
Allarme	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ritaratura, nell'ambito degli intervalli individuati in sede di progetto, del prinvestimento (cls proiettato, passo centine) e dei consolidamenti</li> <li>- accorciamento della distanza tra fronte di scavo e getto del rivestimento definitivo (arco rovescio, murette e calotta)</li> <li>- utilizzo di una diversa sezione tipo nell'ambito di quelle previste in progetto</li> </ul>

**Tabella 20: Piano di azione – galleria naturale**

Limite raggiunto	Azioni da intraprendere
Attenzione	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumentare la frequenza di lettura della strumentazione installata</li> <li>- Verificare la necessità di installare strumenti di misura integrativi</li> <li>- Verificare sequenza esecutiva</li> </ul>
Allarme	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ritaratura, nell'ambito degli intervalli individuati in sede di progetto, parati e tiranti di ancoraggio</li> <li>- messa in opera di ordini aggiuntivi di dreni</li> <li>- messa in opera di tiranti attivi aggiuntivi</li> <li>- Stabilizzazione del piede delle scarpate tramite rinterro a valle</li> </ul>

**Tabella 21: Piano di azione – imbocchi**

Limite raggiunto	Azioni da intraprendere
Attenzione	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumentare la frequenza di lettura della strumentazione installata</li> <li>- Verificare la necessità di installare strumenti di misura integrativi</li> <li>- Verifica/modifica della sequenza di scavo della galleria</li> </ul>
Allarme	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verifica della compatibilità del nuovo equilibrio tensionale indotte sugli edifici con i limiti prescritti dalla normativa</li> <li>- Eventuale sospensione degli scavi.</li> <li>- Eventuali opere di presidio a protezione degli edifici</li> <li>- Intelaiatura interna e/o esterna dei fabbricati con elementi in legno e/o acciaio</li> <li>- modifica delle tecnologie di scavo e consolidamento della galleria.</li> </ul>

**Tabella 22: Piano di azione – edifici/manufatti esistenti**

Limite raggiunto	Azioni da intraprendere
Attenzione	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Intensificazione della frequenza delle misure nelle sezioni di controllo</li> <li>- Intensificare interventi di drenaggio/impermeabilizzazione</li> </ul>
Allarme	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verifica della compatibilità di eventuali sovraccarichi idraulici aggiuntivi con i sostegni della galleria (calotta ed arco rovescio) con i limiti prescritti dalla normativa</li> </ul>

**Tabella 23: Piano di azione – falda**



## 9 SPECIFICHE TECNICHE DELLA STRUMENTAZIONE

Il presente paragrafo illustra le specifiche della strumentazione geotecnica per il sistema di monitoraggio.

La tipologia di strumentazione geotecnica individuata è conforme alle specifiche tecniche di Capitolato.

Per ogni dispositivo di monitoraggio geotecnico si riporta la descrizione di:

- modalità di installazione ed esecuzione misure ;
- caratteristiche tecniche dello strumento.

### 9.1 INCLINOMETRI

Si riporta la descrizione dell'inclinometro semplice. In alternativa verrà installato un estenso-inclinometro, strumento che assolve anche la funzione dell'estensimetro.

#### **Modalità di installazione ed esecuzione misure:**

Gli inclinometri consentono di determinare le variazioni di inclinazione lungo il tubo di misura, e quindi gli spostamenti nel piano orizzontale a varie profondità. Il tubo di misura è costituito da elementi di 3 metri assemblati a boccaforo e giuntati tra loro da manicotti rivettati e sigillati con silicone o pasta adesiva. Completata l'installazione, si procede dal basso verso l'alto alla relativa cementazione del tubo di misura in foro, utilizzando idonea miscela cementizia costituita da acqua, cemento e bentonite in proporzione variabile, funzione delle caratteristiche di deformabilità dei terreni attraversati dalla perforazione. A seguito della cementazione sarà eseguito un accurato lavaggio all'interno del tubo di misura, che non dovrà presentare ostruzioni.

Una volta completata la presa della miscela di cementazione, mediante la sonda inclinometrica viene eseguita la prima lettura (lettura di zero), che oltre ad essere di riferimento per le misure successive, consente di determinare in modo assoluto l'inclinazione della tubazione inclinometrica nello spazio 3D.

La sonda inclinometrica è costituita da un corpo metallico cilindrico provvisto di due sistemi di scorrimento (rotelle) che consentono di mantenere stabile e costante l'orientamento azimutale della sonda e dei sensori in essa contenuti. I sensori sono di tipo servoaccelerometrico biassiale e misurano l'inclinazione in due piani perpendicolari tra loro, uno dei quali è coincidente con il piano individuato dalle scanalature del tubo per lo scorrimento della sonda. La sonda inclinometrica è di tipo servoaccelerometrico biassiale range +/- 30°. Le misure si eseguono in modo puntuale e a varie profondità nel tubo inclinometrico. Il passo delle letture sarà pari a 0,5 m e le misure si eseguiranno su 2 guide.

La sonda genera un segnale elettrico proporzionale all'inclinazione registrata e tale segnale viene rilevato via cavo da una centralina di acquisizione posta in superficie. Il cavo di misura, oltre a trasferire il segnale

elettrico, consente di spostare la sonda lungo il tubo secondo gli intervalli di lettura prefissati. Tale cavo ha un'anima in acciaio ed è indeformabile, inoltre è provvisto di tacche di riferimento applicate in rilievo e con passo pari a 0,5 m. Gli angoli di inclinazione dalla verticale rilevati per ogni misura vengono trasformati in spostamenti orizzontali (deviazioni incrementali), mentre la sommatoria con la profondità delle deviazioni incrementali è definita come deviazione cumulativa.

Per ogni lettura, lo spostamento laterale viene calcolato come differenza tra la deviazione iniziale (lettura di zero o di riferimento) e la deviazione registrata nella lettura corrente. Gli spostamenti registrati vanno sempre riferiti ad un punto del tubo inclinometrico che si presume non subisca spostamenti, e a seconda delle applicazioni può coincidere con il fondo o con la testa del tubo. Il sistema inclinometrico di misura presenta un'accuratezza totale di +/- 4mm/30m.

#### **Caratteristiche tecniche:**

##### **TUBI**

Materiale	ABS
Diametro esterno	71mm
Diametro interno	60mm
Lunghezza tubi	3m
Spessore	3.5mm
Max torsione ammissibile	<0.6°/3m
Peso	0.7kg/m
Manicotto di giunzione	fissaggio con rivetti, nastro e silicone
Lunghezza manicotto	200mm

##### **SONDA INCLINOMETRICA DI MISURA**

Tipo di sensore servoaccelerometrico biassiale

Campo di misura	±30°
Precisione sensore	0,02% f.s.
campo di temperatura	-20°/+70°
carrello porta sensore	in acciaio inox con rotelle diam. 32mm
interasse rotelle	500mm
sensibilità	±0.05mm/500mm
ripetibilità	0.01% f.s.
accuratezza totale	±4mm/30m

##### **CAVO DI MISURA**

Lunghezza	60m
Marcature	ogni 500mm
Cavo	diam. 12mm con anima in acciaio, resistenza a trazione di 500kg

#### CENTRALINA DI MISURA

Errore massimo	0.01% f.s.
Campo di temperatura	-20°/+60°
display	LCD retro illuminato 240x128 pixel
classe di isolamento	IP67

## 9.2 ESTENSIMETRI MULTIBASE

Si riporta la descrizione dell'estensimetro semplice. In alternativa verrà installato un estenso-inclinometro, strumento che assolve anche la funzione dell'inclinometro.

#### Modalità di installazione ed esecuzione misure:

Gli estensimetri multibase sono costituiti da basi di misura ancorate al terreno mediante cementazione e poste a distanze variabili dalla boccaforo. Le basi sono costituite da un ancoraggio di fondo a cui è resa solidale un'asta in fibreglass. L'asta è libera di scorrere all'interno di una guaina antiatrito in PVC. Lo spostamento delle basi di controllo saranno misurate dalla testa dello strumento mediante lettura manuale (calibro digitale) oppure da trasduttori di spostamento a corda vibrante con segnale in uscita in Hz (opzionali). Con la posa in opera di estensimetri multibase sarà possibile controllare l'entità nonché la distribuzione del detensionamento nei terreni in funzione degli scavi in sottterraneo o da superficie e permetterà di definire la porzione di ammasso interessato da eventuali fenomeni deformativi.

L'installazione prevede la cementazione dello strumento all'interno di una perforazione attraverso cannule di iniezione rese solidali allo strumento di misura. Gli eventuali trasduttori di spostamento saranno installati successivamente alla presa della miscela cementizia, momento in cui verrà anche eseguita la lettura di zero. Si consiglia un'attesa di almeno una settimana e comunque in funzione del tipo di boiaccia utilizzata.

Il trasduttore di spostamento consente la centralizzazione delle misure mediante Unità di Acquisizione Dati (UAD). I trasduttori di spostamento potranno essere allestiti nelle stazioni di monitoraggio ed utilizzati durante le attività di particolare criticità (acquisizione dati in real time con UAD secondo cadenze predefinite), per essere successivamente spostati in altri siti di indagine.

#### Caratteristiche tecniche:

##### COMPONENTI MECCANICHE

Testa di misura      Acciaio e ABS, per 2/3 basi di misura in fibra di vetro

Basi di misura	fibra di vetro con guaina in PVC
Ancoraggio	barra in acciaio ad aderenza migliorata L=400mm e diam. 16mm

#### CALIBRO DIGITALE per misure manuali

Campo di misura	0-200mm
Risoluzione	0.01mm
display	LCD

#### TRASDUTTORE DI SPOSTAMENTO

Tipo di sensore	Potenzimetrico
Range	0-100mm
Tipo di segnale	4-20 mA
Risoluzione	0,01mm
Precisione totale	< 0,2% del fondoscala
Sensibilità termica	-20 / +80 °C

#### CENTRALINA DI MISURA UNIVERSALE

Tipo di misure	mA, mV, V, mV/V, °C, Hz, µsec, digit, µε
Range di misura	4-20 mA, -50°C +150°C for PT100 and thermistor, ±5 V, ±400 mV, 10 mV, 2 V, 2 mV, ±200 mV, ±1 V, 2 mV/V, from 400 to 6000 Hz
Risoluzione	100 µV at FS of 15 V, 10 µV at FS of 2.5 V, 2 µV at FS of 500 mV, 0.1 µV at FS 20 mV, 0.1 Hz, 0.1 µsec, 0.1 µε, 1 digit
Accuratezza	0.01% f.s.
Campo di temperatura	-20°/+60°
display	LCD retro illuminato 240x128 pixel
Memoria interna	2Mb
classe di isolamento	box ABS IP67

### 9.3 PIEZOMETRI

Si riporta la descrizione del piezometro di tipo elettrico. Nei sondaggi esistenti sono installati piezometri di tipo diverso, piezometri a tubo aperto a lettura manuale.

#### Modalità di installazione ed esecuzione misure:

Le celle piezometriche consentono di misurare l'entità delle pressioni idrostatiche di un fluido in un terreno ad una profondità nota, al fine di valutare l'efficacia del drenaggio effettuato in avanzamento durante lo

scavo, i tempi di ripristino della pressione idraulica preesistente e l'entità delle pressioni neutre agenti sia in fase di scavo che a lungo termine.

Il tipo di piezometro varia in funzione della permeabilità dei terreni e dalla stratigrafia del sito e della rapidità di risposta della cella.

Le celle piezometriche sono costituite da una cella porosa permeabile, collegata alla superficie mediante tubo in pvc cieco, generalmente di diametro pari a ½ ". Le celle sono dotate di un trasduttore di pressione a corda vibrante interrogabile mediante un'apposita centralina di lettura. La pressione dell'acqua causa una deflessione del diaframma della cella con conseguente variazione della tensione di un filo di acciaio teso tra la membrana ed il corpo dello strumento. La frequenza di oscillazione del filo risulta proporzionale alla pressione dell'acqua.

#### **Caratteristiche tecniche:**

Tipo di sensore	Trasduttore a corda vibrante
Range	350, 700 kPa, 1.7, 3.5 MPa
Risoluzione	0,025% del fondo scala.
Precisione totale	< 0,5% del fondoscala
Campo di temperatura	-20 / +100°C
Materiale	acciaio inox
FILTRO	
diametro	18mm
diametro dei pori	40/50 micron

## **9.4 INSTALLAZIONE DI STRUMENTAZIONE DI MISURA IN FORO**

### **Modalità di perforazione, condizionamento foro ed installazione strumentazione:**

Diverse tipologie di strumentazione di monitoraggio dovranno essere installati in idonei fori di perforazione:

- Estensimetri multibase
- Inclinometri ed estensoinclinometri
- Piezometri

Queste tipologie di strumenti prevedono l'installazione in perforazioni verticali di diametro > 100mm, da eseguirsi sistematicamente con rivestimento. Tali strumenti inoltre richiedono la cementazione in foro con idonea miscela cementizia (acqua, cemento e bentonite in proporzioni variabili in funzione dei terreni attraversati: es 100:50:5). I piezometri prevedono l'esecuzione di un manto filtrante in corrispondenza sonda piezometrica ed il relativo tappo isolante (bentonitico o cementizio), con intasamento e/o

cementazione della restante porzione di foro sino a piano campagna. Per ogni strumento è previsto un pozzetto di protezione carrabile, che oltre alla testa strumentale alloggerà anche un caposaldo di misura topografico.

## **9.5 MISURATORE DI GIUNTI**

### **Modalità di installazione ed esecuzione misure:**

Eventuali fenomeni lesionativi preesistenti sugli edifici e su altre opere saranno monitorati con misuratore di giunti disposto a cavallo delle fessure preesistenti. Ogni misuratore di giunti è costituito da un corpo cilindrico solidale ad un lato della fessura e costituito da un trasduttore di spostamento a corda vibrante, e da una asta scorrevole collegata al trasduttore e fissata al lembo opposto della fessura monitorata. Il sensore elettrico presenta range 0-50mm ed uscita in Hz, e precisione < dello 0,5% del fondoscala.

### **Caratteristiche tecniche:**

Sensore	trasduttore di spostamento a corda vibrante dotato di termistore
Range di misura:	50mm
Precisione	< 0,5% del fondoscala
Risoluzione	0,01mm
Segnale di uscita:	Hz
Temperatura di esercizio:	-20° a +80° C
Diametro esterno:	16 mm
Distanza ancoraggi:	300 mm ±50 mm
Materiale:	acciaio inox

## **9.6 FESSURUMETRI MECCANICI**

### **Modalità di installazione ed esecuzione misure:**

Il fessurimetro consente di valutare gli spostamenti relativi dei lembi di una fessura e pertanto permette di misurare l'apertura della fessura stessa. Per tale scopo esistono vari modelli di fessurimetri meccanici, la discriminazione di un modello rispetto ad un altro può essere influenzata da cause ambientali al momento non valutabili. Vengono suggeriti di seguito due modelli ad esempio.

Il sistema è costituito da due elementi indipendenti e sovrapposti costruiti in materiale plastico e dotati di appositi fori per il fissaggio a cavallo della fessura da monitorare. Gli elementi plastici sono dotati di

reticolato centrale millimetrato con indicatore di riscontro, per la misura diretta degli spostamenti nel piano X-Y, con range di misura pari a +/- 25mm.

L'esecuzione delle misure si effettuerà leggendo sul reticolato centrale millimetrato lo spostamento registrato dagli elementi di riscontro, con una risoluzione pari ad 1 mm. Particolari punti di riscontro solidali al fessurimetro consentono misure con calibro di precisione e risoluzione pari a 0,1mm. Lo strumento va fissato a parete, a cavallo della fessura da monitorare, mediante tasselli e viti (o speciali collanti) attraverso le asole presenti ai bordi del fessurimetro.

Durante l'installazione una serie di fermi in plastica mantengono in posizione di zero i due elementi dello strumento. Solo dopo aver fissato solidalmente lo strumento a cavallo della frattura sarà possibile togliere i fermi ed eseguire la lettura di zero corredata da documentazione fotografica del riscontro millimetrato. Eventuali movimenti relativi tra i lembi della fessura saranno evidenziati dallo spostamento del cursore rispetto al riferimento grafico millimetrato.

**Caratteristiche tecniche:**

modello:	fessurimetro meccanico mod.TT-1 PLUS 2D (biassiale)
Range di misura:	+/- 25mm su due direzioni ortogonali (assi X-Y)
Risoluzione	0,1mm (con calibro) - 1mm (osservazione grafica)
Graduazione	millimetrato

Il sistema è composto da dischi di acciaio inox, bulloni ovvero capisaldi speciali, che recano in testa sedi coniche calibrate nelle quali si inseriscono le punte di un comparatore amovibile. Il comparatore è dotato di due teste coniche montate alle estremità di una barra di invar e può essere dotato di display analogico o digitale.

**Caratteristiche tecniche:**

modello:	crepometro centesimale
Range di misura:	5 cm
Risoluzione	0,01mm (con calibro)
Graduazione	millimetrato

## **9.7 UNITA' DI ACQUISIZIONE DATI (U.A.D.)**

**Descrizione del sistema:**

Le Unità di Acquisizione Dati (UAD) sono dei sistemi hardware/software in grado di acquisire, convertire, memorizzare ed eventualmente comunicare le misure eseguite in automatico su gruppi di sensori elettrici di natura diversa, distribuiti nell'area oggetto di lavoro.

L'Unità di acquisizione dati scelta deve presentare un'ampia gamma di flessibilità in modo da adattarsi a tutti i contesti analizzati della rete di monitoraggio dell'opera.

Di seguito si riporta la descrizione di unità di acquisizione dati standard ad esempio.

Modulo base è costituito da 6 canali analogici differenziali implementabili, ad ognuno dei quali è possibile collegare schede multiplexer (MUX) da 16/32 canali che consentono di aumentare il numero totale di ingressi sino a 192 canali (192 sensori semplici di diversa natura su 6 MUX). Ogni multiplexer quindi sarà in grado di gestire un gruppo di sensori e sarà dotato in ingresso di idonea protezione dalle sovratensioni poiché si opera in ambienti esposti ad influssi elettromagnetici ed elettrostatici (correnti vaganti, fulmini ecc).

L'intero sistema di acquisizione deve essere dotato contenitore stagno da esterni (IP65) che garantisce la completa protezione da polveri ed umidità e potrà essere alimentato direttamente da 220V (consigliata) o da batterie dedicate.

Il sistema può comunicare con una Unità Centrale e quindi inviare i dati memorizzati ad una Unità Centrale (CED) mediante idonea interfaccia di comunicazione (modem GSM).

Datalogger tipo mod. AD-K10

Tipo:	Campbell CR-10
Numero ingressi:	6 differenziali (unità periferiche)
Comunicazione schede relays:	digitale
Processore:	Hitachi 6303
Memorie:	32 K ROM, 64K RAM
Schede a relays (multiplexer).	
Numero di canali:	32 s.e.(current loop),16 diff.
Tipo multiplexer:	a relays
Comunicazione logger:	digitale

## **9.8 MONITORAGGIO TOPOGRAFICO**

Il piano di monitoraggio prevede una serie di periodici controlli topografici per il controllo delle strutture direttamente interferenti con le opere e per la verifica dei cedimenti verticali indotti in superficie dallo scavo in sotterraneo.



I punti di controllo necessari a tali controlli saranno ubicati su:

- sulle teste ovvero sui pozzetti di protezione di estensimetri, inclinometri e piezometri ;
- sul piano campagna ;
- sulle pareti dei manufatti che ricadono nel bacino di subsidenza degli scavi.

## **9.9 LIVELLAZIONE TOPOGRAFICA**

Il piano di monitoraggio prevede una serie di periodici controlli topografici per la verifica dei cedimenti verticali indotti in superficie dallo scavo in sotterraneo.

Le misure sono finalizzate unicamente alla determinazione della componente verticale di movimento (cedimenti) e saranno eseguite con stadia e livello di precisione che garantisce una risoluzione della misura pari a 0,1 mm.

Modalità di installazione ed esecuzione misure.

Dove il controllo topografico mediante livellazione interessa punti di riferimento ubicati a piano campagna, si prevede l'installazione di capisaldi costituiti da un chiodo con borchia sferica in acciaio inox reso solidale al terreno mediante foro di lunghezza idonea e cementazione con malta. In base alle caratteristiche del tracciato si individuano due tipi di caposaldo:

- caposaldo installato in aree verdi;
- caposaldo installato su superfici asfaltate.

Dove si prevede il controllo diretto delle strutture interferenti con le opere, nei punti di misura saranno installate come capisaldi su strutture staffe di livellazione metalliche a sezione quadra con riscontro emisferico in acciaio inox. La posizione della staffa sarà ubicata a 50 cm da p.c.. Sulla semisfera di misura si potrà alloggiare la stadia invar per la lettura. La medesima asta sarà utilizzata anche per le misure di precisione nei pozzetti a terra. La stadia di misura associata ad un livello di precisione consente di determinare gli spostamenti verticali (cedimenti) e la loro evoluzione nel tempo con una risoluzione pari a 0,1 mm.

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.

## **9.10 MIRE OTTICHE**

### **Modalità di installazione ed esecuzione misure:**

Il riscontro topografico di misura da utilizzare per il controllo tridimensionale degli spostamenti può essere materializzato sia da mira ottica Micro Prisma MP, costituito da un prisma riflettente in quarzo con montatura speciale per la protezione dagli agenti atmosferici e dai raggi del sole, per letture di alta precisione che consente una remotizzazione del sistema di monitoraggio, sia da riscontri fissi tipo Target Tape costituiti da una base di riscontro metallica e da una mira ottica adesiva (target tape 40x40mm) ad alta rifrangenza. Nel secondo caso non sarà possibile leggere con la precisione prevista gli spostamenti del punto con sistemi di puntamento automatici ma esclusivamente con letture manuali.

In entrambi i casi viene eseguita una perforazione per alloggiare la base del riscontro e renderla solidale alla struttura tramite resine ad alta resistenza.

## 10 GESTIONE DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO

Nell'ambito delle attività di monitoraggio rientrano l'organizzazione dell'unità operativa che gestisce la strumentazione e le misure, e l'organizzazione dell'unità di supporto tecnico che fornisce l'interpretazione ingegneristica dei dati raccolti.

Le misure di monitoraggio vengono raccolte in un'unità centrale. Successivamente i parametri d'interesse devono essere rappresentati in forma idonea per consentirne l'interpretazione ingegneristica.

Si ha una rappresentazione e pubblicazione cartacea in report settimanali o mensili di cui è prevista la consegna verso la committenza e la direzione lavori.

Si ha inoltre una pubblicazione a video tramite piattaforma web dei risultati del monitoraggio, con possibilità di decidere in tempo reale i periodi di riferimento dei diagrammi, le unità di misura dei dati e le tipologie di operazione di media sugli stessi.

I risultati del monitoraggio devono essere disponibili in tempi ristretti ad un ampio numero di persone, per consentire il realizzarsi dei processi decisionali per le eventuali azioni correttive e la taratura dei parametri di scavo.

Si rende pertanto necessario un adeguato strumento informatico, rappresentato dalla piattaforma informatica di monitoraggio. Nell'ambito informatico si ha il calcolo e la pubblicazione dei risultati e la gestione del flusso di dati verso i soggetti preposti alla lettura ed interpretazione dei dati stessi, al fine della definizione delle eventuali azioni correttive e la taratura dei parametri di scavo.

### **10.1 PROCEDURE GENERALI DI GESTIONE DEL MONITORAGGIO**

Nomenclatura

RM: Responsabile Monitoraggio

UO: Unità Operativa

RUO: Responsabile UO

US: Unità di Supporto tecnico

RUS: Responsabile US

DT: Direttore Tecnico APP

DTC: Direttore Tecnico di Cantiere APP

ADTC: Assistente al DTC (responsabile lavorazione)

CdM: Coordinatore di Monitoraggio APP (responsabile interfaccia con DL/AS)

CdP: Coordinatore di Progetto

APP: Appaltatore

PR: Progettista

DL: Direzione Lavori

AS: Alta Sorveglianza

SL: Supervisione Lavori

AFF: Affidatario

SUB: Subappaltatore

---

### 10.1.1 GENERALITÀ

Il presente documento illustra:

- l'organizzazione delle risorse impiegate per l'attività di monitoraggio e di interpretazione dati;
- il flusso dei dati;
- le procedure per l'attuazione dei provvedimenti al superamento delle soglie.

Le soglie sono definite negli elaborati di progetto e nella generalità dei casi corrispondono a:

- valore atteso
- valore di attenzione
- valore di allarme

---

### 10.1.2 AMBITO DI APPLICAZIONE

La presente procedura tratta gli aspetti generali della gestione dati del monitoraggio, a partire dalle misure di superficie, geotecniche e strutturali.

---

### 10.1.3 STRUTTURA ORGANIZZATIVA DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO

La struttura organizzativa delle attività di monitoraggio è costituita dalle seguenti unità:

- Unità Operativa che risponde al RUO;
- Unità di Supporto Tecnico che risponde al RUS;

Entrambe le unità sono coordinate e dirette dal Responsabile del Monitoraggio (RM) che risponde dell'operato del team all'Appaltatore nelle figure del DT e del DTC.

Nelle seguenti figure è illustrato lo schema logico a blocchi generale del sistema di monitoraggio.

#### 10.1.3.1 *UNITÀ OPERATIVA*

L'Unità Operativa ha il compito di:

- eseguire i rilievi e le misure in campo;
- effettuare la restituzione dei dati;
- convalidare le misure e i dati acquisiti da un punto di vista strumentale;
- trasmettere i dati alla Piattaforma;
- occuparsi della manutenzione ordinaria e straordinaria;
- segnalare immediatamente al RM ed al RUS l'eventuale superamento delle soglie;

Le grandezze misurate saranno rese immediatamente disponibili al fine di rendere il controllo dei parametri per la verifica del corretto funzionamento delle procedure di scavo.

Nello specifico si intende che con frequenza almeno giornaliera e comunque entro il ciclo successivo di letture, saranno resi disponibili i dati di monitoraggio ed i grafici di elaborazione dati su sistema informatico di trasmissione.

Nelle procedure operative viene definito per ciascun tipo di misura (di superficie, geotecnica, strutturale) un tempo massimo di trasmissione dalla UO alla US ed agli altri soggetti coinvolti nel processo di monitoraggio, tenendo conto, oltre che del tempo di misura ed elaborazione, anche della lavorazione in atto e della velocità di avanzamento della stessa, nonché dell'interferenza oggetto della misura. L'RM terrà traccia della definizione di tali tempi in apposito documento, annotando eventuali opportune variazioni. Il trasferimento dei dati sulla piattaforma sarà assicurato nell'ambito di tempi stabiliti dalla procedura operativa.

L'elaborazione dei dati e delle misure raccolti consiste nella generazione di rapporti in formato numerico e grafico in grado di consentire una immediata interpretazione ingegneristica dei dati.

La struttura fornirà inoltre informazioni quali dati, parametri derivati, grafici o tabelle a differenti livelli di dettaglio inerenti il sistema di monitoraggio a utenti remoti, definiti dal Contraente Generale di concerto con il Committente e l'ente preposto alla sorveglianza, secondo modalità operative che verranno concordate.

Dall'esigenza di rapidità nell'elaborazione e gestione dei dati, deriva l'assoluta necessità di ricorrere ad un sistema di distribuzione dati in grado di permettere una lettura complessiva, immediata ed integrata di tutti i dati a disposizione.

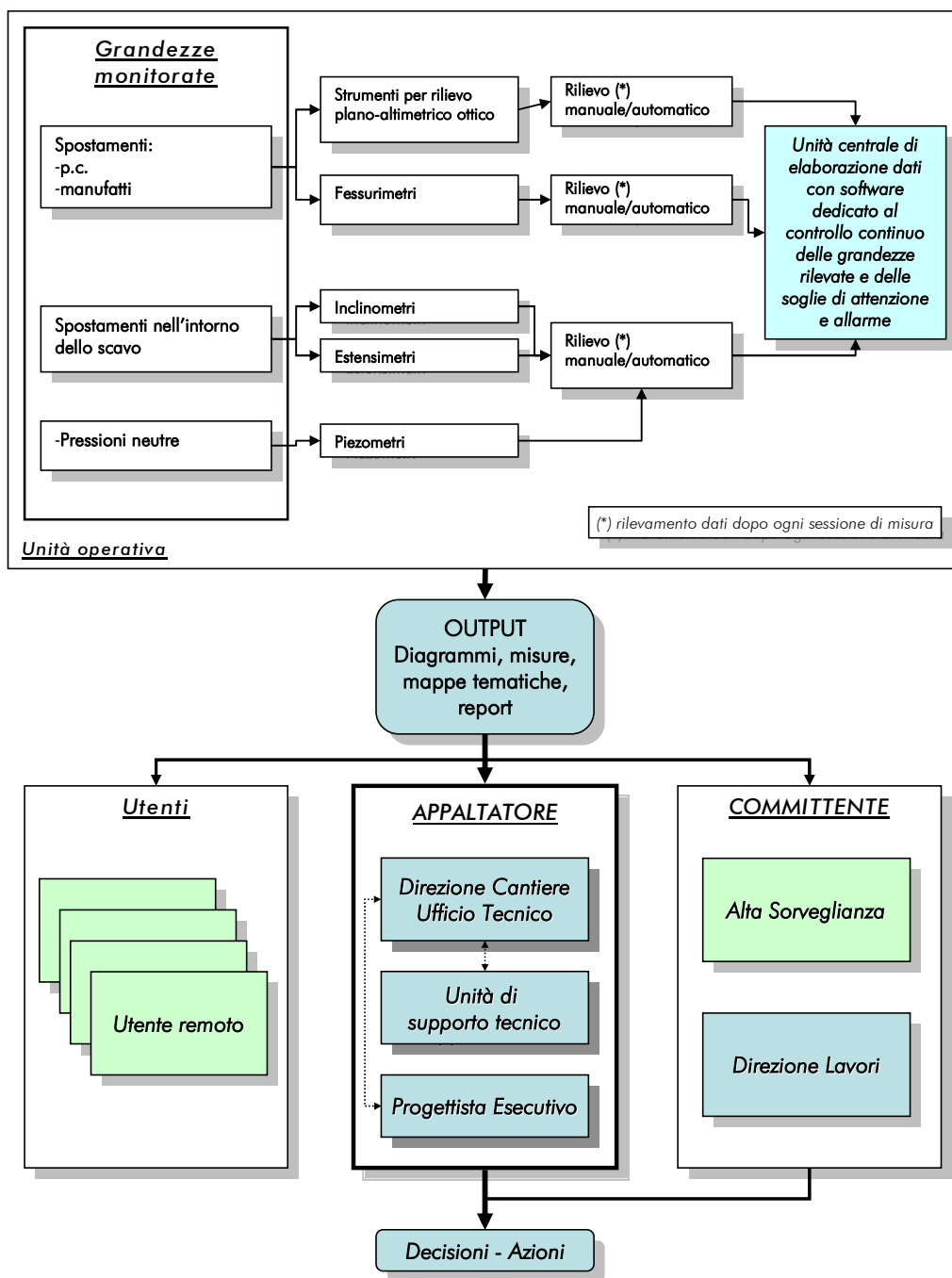


Figura 14 – Schema a blocchi del sistema di monitoraggio e controllo con individuazione dei soggetti coinvolti.

### 10.1.3.2 UNITÀ DI SUPPORTO TECNICO

L'unità di supporto tecnico ha il compito di fornire l'interpretazione ingegneristica dei dati di monitoraggio forniti dalla UO, unitamente all'analisi dei dati della lavorazione forniti dall'Appaltatore.

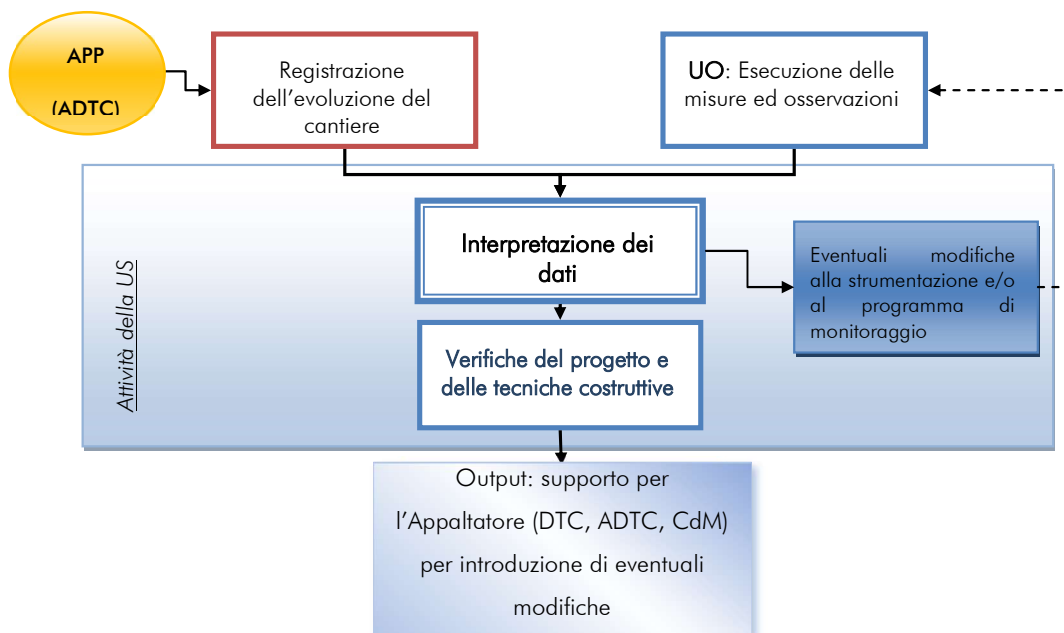
Gli ambiti di intervento possono essere riassunti con le attività seguenti:

- analisi dei dati correlandoli con le lavorazioni in corso;
- interpretazione geotecnica e strutturale;
- analisi effetti su edifici;
- verifica metodologia di scavo/verifica esecuzione lavorazione;
- verifica ipotesi progettuali;
- redazione di rapporti periodici (es. protocolli di avanzamento delle gallerie);
- redazione di eventuali elaborati di approfondimento per specifiche attività e/o interferenze;
- raccogliere quotidianamente le informazioni riguardo alle lavorazioni fornite da APP/AFF/SUB

Non appena avuti a disposizione i dati di monitoraggio validati, la US procederà volta per volta al controllo dell'evoluzione dei dati verificando la metodologia di scavo/l'esecuzione della lavorazione e procedendo, quindi, tempestivamente alla proposta di eventuali azioni correttive

L'analisi e l'elaborazione dei data sarà propedeutica per la valutazione e adozione delle azioni necessarie, a supporto del Contraente Generale, al fine di garantire la corretta gestione e realizzazione dell'opera, nell'ambito delle casistiche individuate dal progetto di monitoraggio.

Nella Figura seguente è rappresentato lo schema funzionale delle attività svolte dalla US.



**Figura 15 – Diagramma operativo dell'attività svolta dalla US**

### 10.1.3.3 INTERFACCIA DI MONITORAGGIO

Nell'ambito delle attività di monitoraggio la struttura dell'Appaltatore svolge le seguenti funzioni:

- Trasferire alla US i dati relativi alla lavorazione, nella figura del ADTC;
- Interfacciarsi con DL/AS, nella figura del CdM;
- Attivare il progettista di riferimento nei casi previsti dalle procedure di cui al cap. 5, nella figura del CdP;
- Prendere provvedimenti in conseguenza agli esiti del monitoraggio, nella figura del DTC.

Quanto sopra, unitamente al flusso di informazioni, è descritto nell'organigramma funzionale della seguente Figura.

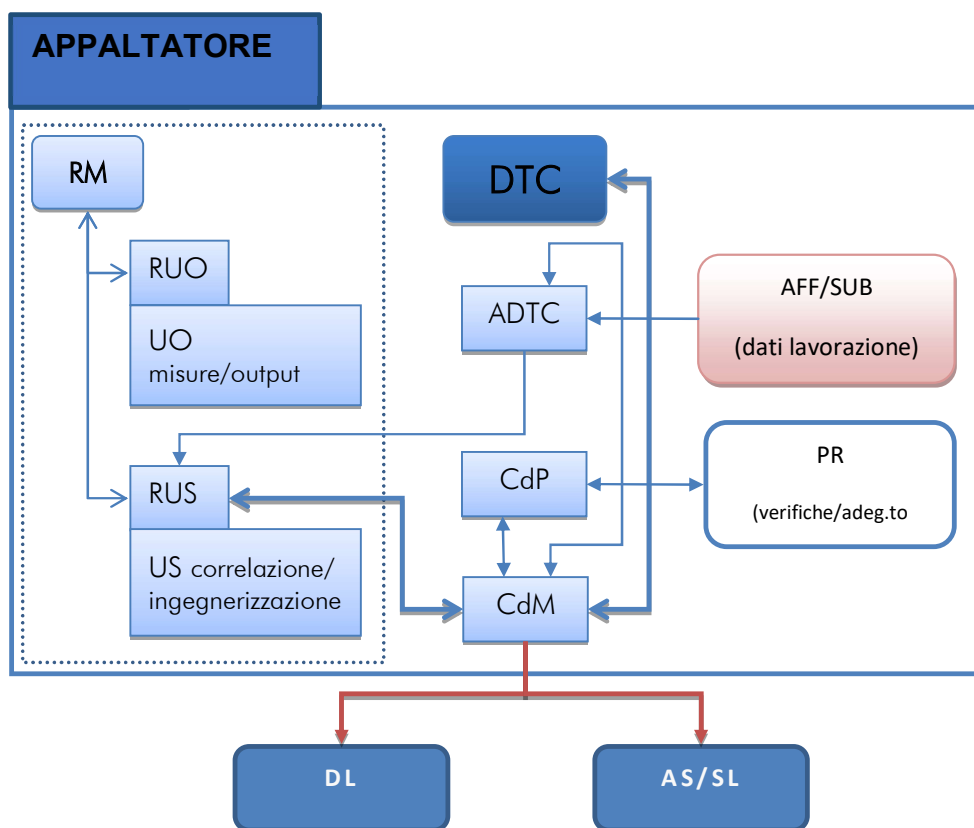


Figura 16 – Organigramma funzionale sistema di monitoraggio



## 10.1.4 DEFINIZIONE DELLE PROCEDURE E RESPONSABILITÀ

### 10.1.4.1 NOTE GENERALI

Durante la fase di monitoraggio i dati saranno inviati alla piattaforma web, con le modalità su esposte. Nel caso di anomalie od eventi singolari potrà essere accelerata la velocità di restituzione dei dati.

La Unità di Supporto tecnico per il monitoraggio (US) è impegnata a seguire le evoluzioni dei processi in atto, in modo da anticipare il raggiungimento delle soglie di attenzione/allarme. Ciò richiede un particolare impegno dove il monitoraggio sia collegato ad attività che, o per la tipologia di lavorazione o per il ritmo con cui procede l'attività, risulti fortemente impattante nei confronti del contesto.

Al raggiungimento delle soglie, contestualmente alla pubblicazione sulla piattaforma web, la US invia sms/email/fax alle figure precedentemente individuate nominalmente (APP, DTC, ADTC, AFF, SUB, DL, AS/SL) e secondo la procedura delineata nei paragrafi successivi.

### 10.1.4.2 REGIME ORDINARIO

Il regime ordinario corrisponde al range di normale operatività del cantiere, in cui le letture di monitoraggio non evidenziano il superamento della soglia di attenzione. In questa fase la US svolge la normale attività di interpretazione del dato secondo lo schema illustrato precedentemente, segnalando gli eventuali parametri in tendenza per procedere ad eventuale ritaratura.

Si rimanda alle procedure operative di dettaglio per la definizione del valore di riferimento per il trend di un dato parametro legato all'attività in fase di esecuzione, il cui superamento presuppone un approfondimento e la verifica e taratura del sistema di monitoraggio e/o delle lavorazioni. Tale valore di riferimento potrà essere modificato in corso d'opera a valle dell'analisi dell'evoluzione delle deformazioni in atto.

### 10.1.4.3 SUPERAMENTO SOGLIA DI ATTENZIONE

Al superamento della soglia di attenzione la US:

- A. verifica se il superamento/raggiungimento della soglia derivi da un picco isolato oppure sia il risultato di un incremento graduale e coerente;
  - A.1 il superamento/raggiungimento della soglia deriva da un picco isolato:  
si attendono nuove letture per la verifica del dato; in caso di misure manuali a bassa frequenza chiede la ripetizione della misura.
  - A.2 il raggiungimento della soglia deriva da un incremento graduale e coerente:  
la US effettua un'analisi incrociata dei dati per individuare le cause di detto superamento; il RM/RUS riferisce all'Appaltatore (DTC, CdM, ADTC), i risultati dell'analisi e comunica a DL ed SL l'accaduto; l'Appaltatore (DTC), di concerto con AFF/SUB, modifica di conseguenza le

modalità operative delle lavorazioni al fine di rientrare sotto soglia o comunque non aumentare lo squilibrio verificatosi. Il GC comunica a DL e SL le modifiche che intende adottare; il RM verifica nelle fasi successive gli effetti delle variazioni operative e riferisce all'Appaltatore al riguardo non appena siano disponibili dati sufficienti;

A.2.1 I risultati successivi di monitoraggio confermano la validità ed efficacia delle procedure implementate:

Si procede con le lavorazioni secondo le nuove procedure

A.2.2 I risultati del monitoraggio permangono negativi:

si effettua un'ulteriore analisi sulla base dei dati di monitoraggio; a valle di tale analisi il RM/RUS fornisce all'Appaltatore (DTC, ADTC, CdM) gli elementi per poter operare una scelta e aggiorna DL e SL; l'Appaltatore (DTC), di concerto con AFF/SUB, modifica di conseguenza le modalità operative delle lavorazioni e aggiorna DL e SL;

A.2.2.1 i risultati successivi confermano la validità delle scelte operate:

si procede secondo le nuove modalità operative;

A.2.2.2 i risultati permangono non soddisfacenti:

si intera quanto indicato al punto A.2.2. fino al conseguimento degli obiettivi prefissati.

#### 10.1.4.4 SUPERAMENTO SOGLIA DI ALLARME

Al superamento della soglia di allarme la US:

B. nella improbabile ipotesi che il superamento della soglia di allarme sia contestuale al superamento della soglia di attenzione verifica se detto superamento non derivi da un picco isolato;

B.1 qualora si tratti di un picco isolato si attendono nuove letture per la verifica del dato; in caso di misure manuali chiede la immediata ripetizione della misura;

B.2 qualora il dato venga confermato dalle misure successive isolato e/o il superamento della soglia di allarme segua, a distanza di tempo, il superamento della soglia di attenzione:

- viene allertata la DL ed AS/SL;
  - la DTC decide i provvedimenti immediati;
  - viene convocato un tavolo tecnico fra Appaltatore (DTC, ADT, CdM), PR, AFF/SUB, RM/RUS, DL ed AS/SL; sulla base dei dati registrati e delle analisi svolte vengono stabilite nuove procedure di lavoro;
- se del caso vengono richieste nuove analisi sulla base dei risultati di monitoraggio, a valle delle quali potrà essere definita una nuova modalità operativa ed essere fissate nuove soglie congruenti con le nuove procedure di lavoro.

B.2.1 I risultati successivi di monitoraggio confermano la validità ed efficacia delle procedure implementate:

- Si procede con le lavorazioni secondo le nuove procedure
- B.2.2 i risultati successivi permangono non soddisfacenti:  
si intera quanto indicato al punto B.2 fino al conseguimento degli obiettivi prefissati.

---

#### 10.1.4.5 *DIAGRAMMI DI FLUSSO*

Nelle figure seguenti sono rappresentati schematicamente i processi operativi sopra descritti.

Procedura in caso di superamento soglia di allerta

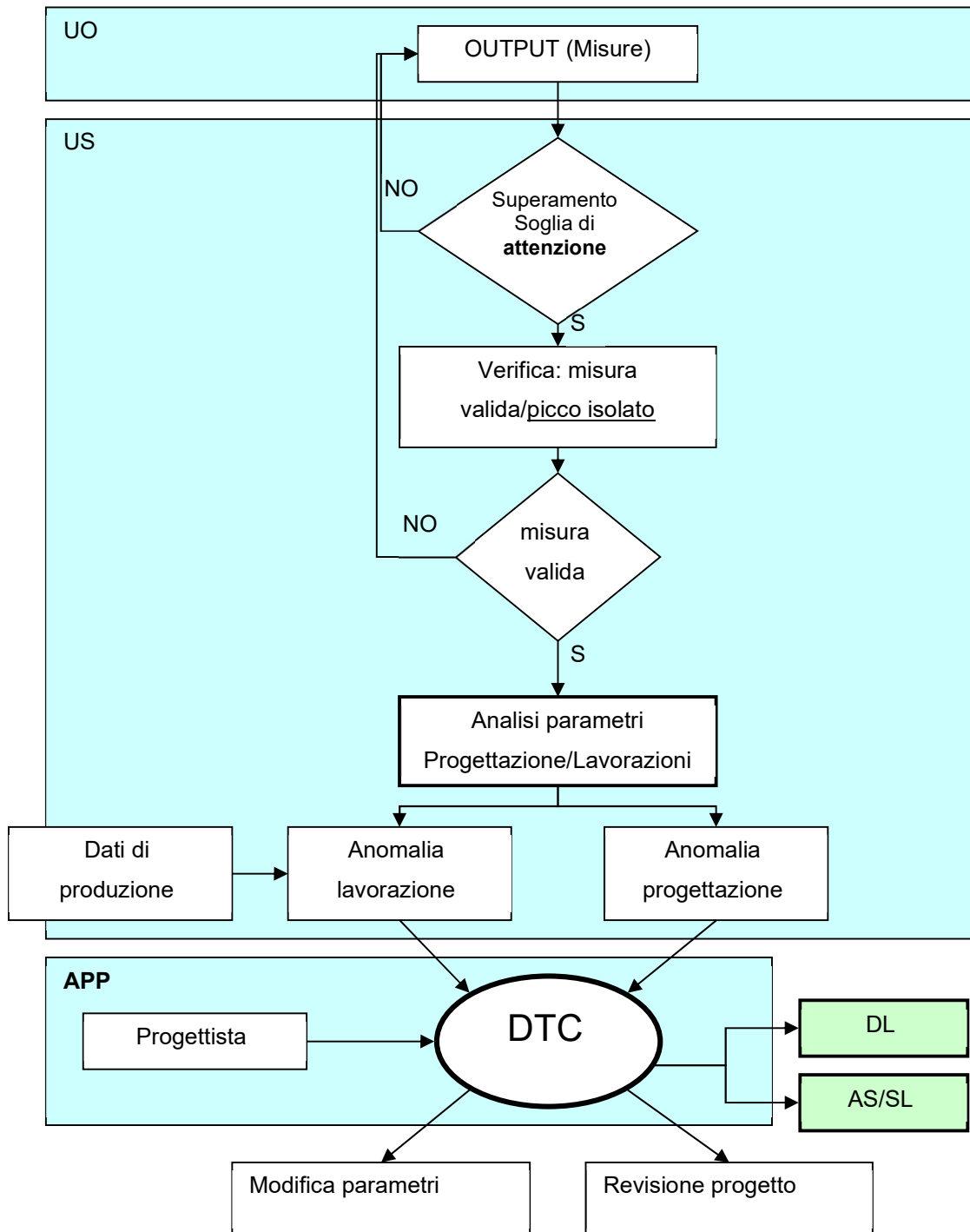


Figura 17 – Diagramma di flusso superamento soglia di attenzione

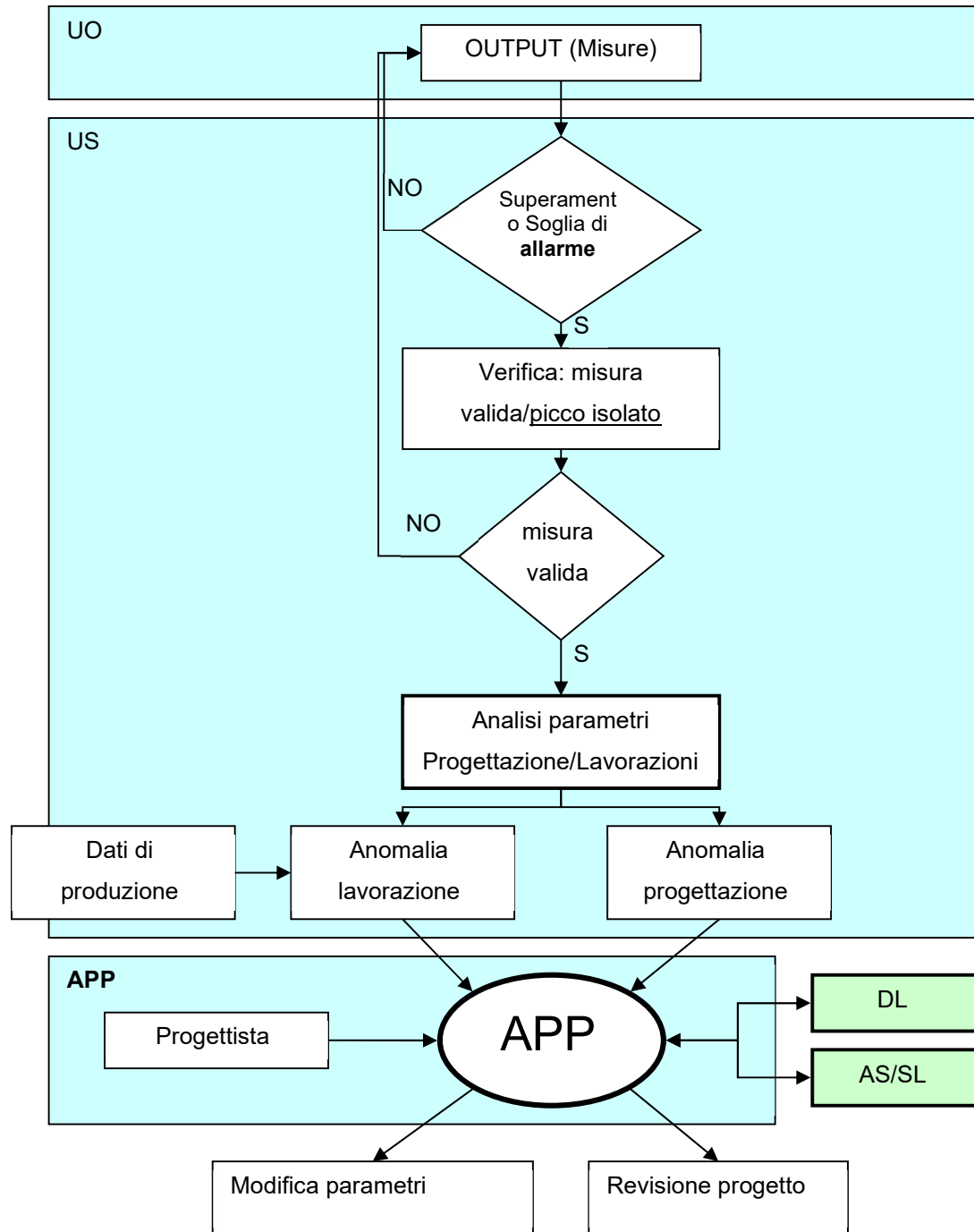








Figura 18 – Diagramma di flusso superamento soglia di allarme

10.1.5 ESEMPIO LISTA DI INVIO MESSAGGI DI ALLERTA/ALLARME

Area di lavoro:	TRONCHINO COSTRUTTIVO	
	Struttura interessata: galleria meccanizzata, pk. 1+100,00	
Superamento soglia di preattenzione	Superamento soglia di attenzione	Superamento soglia di allarme
		
invio sms ed email a:	invio sms ed email a:	invio sms ed email a:
ATI monitoraggio	ATI, APP, DL	ATI, APP, DL, COMMITTENTE
		
Ulteriori azioni decise da:	Ulteriori azioni decise da:	Ulteriori azioni decise da:
GRUPPO	Persona	
ATI	1. Mario rossi, e-mail, tel.cell. 2... 3... 4...	
CG	1... 2... 3... 4...	
DL	1... 2... 3... 4...	
COMMITTENTE	1... 2... 3... 4...	

**Tabella 24: Esempio lista di invio messaggi di allerta/allarme**