

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE :



## U.O. GALLERIE

### PROGETTO DEFINITIVO

### RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

### RELAZIONE TECNICA DI MONITORAGGIO

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

I V 0 I 0 0 D 0 7 R H G N 0 0 0 0 0 0 2 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	F. Bergamo 	Genn. 2022	H. Mohamed Dahir 	Gen. 2022	G. Fadda 	Gen. 2022	A. Sciotti Gennaio 

File:IV0I00D07RHGN0000002A.doc

n. Elab.:

## INDICE

1	PREMESSA .....	5
2	SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO .....	5
3	CRITERI BASE DI MONITORAGGIO ESTERNO .....	6
3.1	SCOPI DEL MONITORAGGIO .....	6
3.2	GRANDEZZE MISURATE.....	7
3.3	PARAMETRI MONITORATI .....	7
4	SEZIONI MONITORATE .....	8
4.1	SEZIONI TIPO.....	9
4.1.1	<i>Sezioni tipo “A”</i> .....	9
4.1.2	<i>Sezioni tipo “B”</i> .....	10
5	EDIFICI MONITORATI.....	11
5.1	EDIFICI DI TIPO “A” .....	11
5.2	EDIFICI DI TIPO “B” .....	14
5.3	EDIFICI DI TIPO “C” .....	15
6	MODALITÀ DI ELABORAZIONE DEI DATI.....	16
6.1	VOLUME PERSO NELLE SEZIONI MONITORATE.....	16
6.1.1	<i>Rilievo dei cedimenti</i> .....	16
6.1.2	<i>Definizione della curva dei cedimenti</i> .....	17
6.1.3	<i>Definizione dell’area dei cedimenti</i> .....	18
6.1.4	<i>Calcolo del valore di volume perso</i> .....	19
6.2	VOLUME PERSO LUNGO IL TRACCIATO.....	20
6.2.1	<i>Rilievo dei cedimenti in asse galleria</i> .....	20
6.2.2	<i>Calcolo del valore del coefficiente di proporzionalità (costante di Peck)</i> .....	21
6.2.3	<i>Calcolo del volume perso corrispondente alla progressiva del punto in asse considerato</i> .....	21

6.2.4	Aggiornamento del valore del parametro di proporzionalità (o costante di Peck).....	22
6.3	RAPPORTO D INFLESSIONE .....	22
6.3.1	Rilievo dei cedimenti $S$ .....	23
6.3.2	Definizione della deformata dell'edificio e calcolo dei valori di inflessione $\Delta$ .....	24
6.3.3	Calcolo dei valori di rapporto di inflessione.....	24
6.4	VALORI DI RIFERIMENTO DEI PARAMETRI MONITORATI .....	25
6.5	SPOSTAMENTI ORIZZONTALI.....	27
7	CRITERI BASE DI MONITORAGGIO INTERNO .....	30
7.1	SCOPI DEL MONITORAGGIO .....	31
7.2	GRANDEZZE MISURATE.....	31
8	SEZIONI MONITORATE – MONITORAGGIO INTERNO.....	33
8.1	SEZIONI TIPO SCAVO TRADIZIONALE.....	33
8.1.1	Sezioni tipo “A” .....	33
8.1.2	Sezioni tipo “B” .....	34
8.1.3	Sezioni tipo “C” .....	35
8.2	SEZIONI TIPO SCAVO MECCANIZZATO .....	36
8.2.1	Sezioni tipo .....	36
9	ZONE SENSIBILI.....	38
9.1	GALLERA CAPRAZOPPA – IMBOCCO LATO GENOVA .....	38
9.2	GALLERA CROCE – IMBOCCO LATO GENOVA .....	38
9.3	IMBOCCHI.....	39
10	RACCOLTA, TRASMISSIONE, ELABORAZIONE DEI DATI E GESTIONE DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO	40
10.1	ELABORAZIONE DEI DATI.....	40
10.2	GESTIONE DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO.....	41
10.2.1	Unità operativa.....	41

10.2.2	Unità di supporto tecnico alla Direzione Lavori.....	41
11	PIANO DELLE MISURE .....	42
11.1	MONITORAGGIO ESTERNO .....	42
11.2	MONITORAGGIO INTERNO.....	43
12	ELABORATI GRAFICI.....	45
13	ALLEGATI .....	47
13.1	ELENCO SEZIONI DI MONITORAGGIO SUPERFICIALE .....	47
13.2	ELENCO SEZIONI DI MONITORAGGIO INTERNO .....	51
13.2.1	Gallerie in scavo meccanizzato:.....	51
13.2.2	Gallerie in scavo tradizionale:.....	51



RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
**PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA**

RELAZIONE TECNICA DI MONITORAGGIO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 RH	GN 00 00 002	A	5 di 51

## 1 PREMESSA

La presente relazione è parte integrante del progetto definitivo delle opere in sotterraneo per il raddoppio della linea Genova - Ventimiglia nella tratta Finale Ligure – Andora.

## 2 SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO

Nella presente relazione si illustrano i criteri seguiti per la progettazione del sistema di monitoraggio esterno ed interno, per la scelta delle misure da eseguire e, dei parametri da monitorare, nonché degli strumenti impiegati e il piano di monitoraggio da utilizzare e relative modalità di elaborazione e restituzione dei dati raccolti.

Il monitoraggio esterno avrà la funzione di registrare gli eventuali effetti indotti dallo scavo e dalle attività di consolidamento in superficie, sui manufatti e nel terreno di contorno.

Il monitoraggio interno (installato all'interno della galleria) avrà la funzione di registrare l'evoluzione dei fenomeni deformativi e tensionali del cavo cui è potenzialmente sottoposto lo scavo delle gallerie.

### 3 CRITERI BASE DI MONITORAGGIO ESTERNO

Il sistema di monitoraggio è stato impostato in modo da fornire un quadro completo e dettagliato degli effetti indotti dallo scavo nelle differenti fasi con il progredire dell'avanzamento. Tale sistema dovrà garantire la misura dei parametri significativi utili a verificare la sicurezza degli scavi e delle opere in superficie e a permettere di intervenire rapidamente mediante azioni correttive da attuare nel caso in cui si verificano situazioni impreviste e potenzialmente pericolose. Al fine di soddisfare queste esigenze si è optato per il rilievo delle grandezze che garantiscano semplicità e praticità di monitoraggio e parallelamente completezza e precisione di informazione.

Il rilievo così eseguito permetterà in ogni momento di intervenire sui parametri di scavo modificandoli eventualmente.

Il numero e la posizione delle sezioni di monitoraggio sono state scelte in funzione delle principali interferenze, della possibilità di installazione degli strumenti di misura, della collocazione planimetrica delle opere in sotterraneo al di sotto delle aree urbane attraversate.

#### 3.1 Scopi del monitoraggio

Il progetto di monitoraggio ha i seguenti scopi principali:

- controllo delle deformazioni indotte sugli edifici e sulle 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 dovrà 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 tenuti sotto controllo attraverso le strumentazioni di monitoraggio previste in progetto.

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

Il sistema di monitoraggio dovrà permettere il rilievo degli spostamenti indotti dalle operazioni di scavo nella condizione “green field” (piano campagna libero). I valori delle grandezze misurate permetteranno sia la verifica delle assunzioni progettuali, che la taratura dei parametri di scavo della macchina.

Le subsidenze e gli spostamenti orizzontali saranno monitorati attraverso una serie di:

- sezioni strumentate poste in zone prive di manufatti,
- sezioni strumentate poste in prossimità dei manufatti,
- punti di rilievo topografico collocati sul p.c. in asse con le gallerie.

### 3.2 Grandezze misurate

Il piano di monitoraggio è stato progettato in modo tale da poter acquisire, con frequenza elevata, tutti i parametri necessari al controllo e alla verifica dei fenomeni indotti dalle operazioni di scavo sia in superficie che nel sottosuolo. Si prevede la misura delle seguenti grandezze:

#### rilievi in superficie

1. cedimenti e spostamenti orizzontali indotti sui manufatti interferiti,
2. monitoraggio delle fessure già esistenti sugli edifici,
3. cedimenti e spostamenti orizzontali del piano campagna interessato dal bacino di subsidenza indotto,
4. spostamenti indotti sui binari delle opere preesistenti (linee ferroviarie, strade, autostrade, ecc..)

#### rilievi in sottoterraneo (nell'intorno della galleria)

- cedimenti di punti posti all'interno dei terreni sopra la calotta,
- spostamenti orizzontali lungo le verticali poste in prossimità della galleria,
- pressioni neutre nell'intorno dello scavo (in presenza di falda).

### 3.3 Parametri monitorati

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

- il volume perso,
- il rapporto di inflessione.

#### 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.

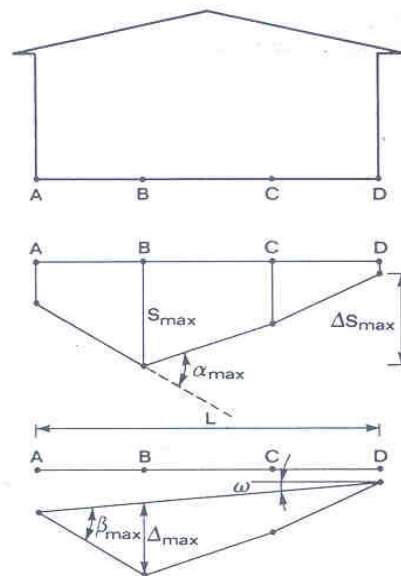
#### Rapporto di inflessione ( $\Delta/L$ )

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 1).

In fase di progetto i cedimenti e gli spostamenti orizzontali indotti dallo scavo nel terreno e sui manufatti e i loro effetti sono stati descritti e riportati all'interno della relazione sulla valutazione delle subsidenze e verifica degli effetti indotti sulle interferenze in superficie:

Le ipotesi assunte, nella suddetta relazione, 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.



S = CEDIMENTO     $\omega$  = ROTAZIONE RIGIDA  
 $\Delta S$  = CEDIMENTO DIFFERENZIALE  
 $\beta$  = ROTAZIONE RELATIVA  
 $\alpha$  = DEFORMAZIONE ANGOLARE  
 $\Delta$  = INFLESSIONE  
 $\Delta/L$  = RAPPORTO DI INFLESSIONE  
 (CURVATURA) -----

**Figura 1: Rapporto di inflessione**

#### 4 SEZIONI MONITORATE

Le sezioni strumentate sono ubicate lungo tutto il tracciato. La distanza fra le differenti sezioni è variabile e funzione dei seguenti fattori:

- coperture,



- sensibilità della zona ai cedimenti ed alle deformazioni indotte sui fabbricati,
- possibilità di collocazione della sezione,
- fattibilità del rilievo.

Sono state individuate due tipologie di sezioni di monitoraggio di seguito descritte.

#### 4.1 Sezioni tipo

Le sezioni tipo sono state definite e strumentate nell’ottica di fornire uno strumento di monitoraggio semplice e facilmente adattabile alle differenti situazioni incontrate. Tali sezioni si suddividono sostanzialmente in due gruppi:

- Sezioni di monitoraggio tipo “A” – composta da capisaldi per il monitoraggio superficiale ed il controllo del volume perso;
- Sezioni di monitoraggio tipo “B” – composta da capisaldi per il monitoraggio superficiale ed il controllo del volume perso, inclinometri, estensimetri multibase per il controllo dei fenomeni deformativi utili come strumento di taratura per le fasi di scavo. In presenza di falda tale sezione è corredata di piezometro ;

le caratteristiche di massima delle due sezioni sono riportate nei seguenti capitoli mentre un elenco completo di tutte le sezioni è riportato nel capitolo 13.1.

##### 4.1.1 Sezioni tipo “A”

Le sezioni tipo A sono predisposte sostanzialmente per il monitoraggio dei cedimenti superficiali e del volume perso. Tali sezioni sono strumentate con chiodi topografici posti sul piano campagna. Il passo tra i chiodi topografici è sostanzialmente funzione del numero di canne e dell’andamento previsto per la curva dei cedimenti. Le sezioni di tipo “A” sono state suddivise a loro volta in tre sottotipi in funzione della copertura (si vedano le Tabella 1 e Tabella 2).

**Tabella 1 : Elenco delle sezioni tipo “A” per gallerie monocanna.**

TIPO	Copertura	Numero di mire
“A1”	≤ 15 m	9
“A2”	> 15 m	5
	≤ 30 m	
“A3”	> 30 m	1
	≤ 40 m	

**Tabella 2: Elenco delle sezioni tipo “A” per gallerie bicanna.**

TIPO	Copertura	Numero di mire
“A1”	≤ 15 m	15
“A2”	> 15 m ≤ 30 m	9
“A3”	> 30 m ≤ 40 m	2

Le sezioni di tipo “A3” sono costituite da singoli punti di rilievo posti in asse galleria. Per tutto lo sviluppo del tracciato in galleria naturale verranno posizionati a terra, in asse con le canne, chiodi topografici. La suddetta strumentazione permetterà di ottenere le seguenti informazioni:

- valore della distanza, in avanzamento, alla quale si inizia a rilevare l’influenza delle operazioni di scavo,
- valori di cedimento massimo a p.c. indotto dallo scavo della galleria, infatti il valore di cedimento massimo dovrebbe corrispondere al punto collocato in asse con la galleria.

Il chiodo topografico non sarà installato qualora la posizione planimetrica di questo ricadrà nel perimetro di un edificio, in zone non accessibili o all’interno delle quali non sia possibile effettuare le misurazioni.

#### **4.1.2 Sezioni tipo “B”**

Le sezioni tipo “B” sono strumentate sostanzialmente per il rilievo in superficie e in sotterraneo delle grandezze elencate al capitolo 3.2. Gli strumenti di dotazione sono:

- estensimetri multibase,
- inclinometri,

alla suddetta strumentazione si accompagna una serie di chiodi topografici posti sul p.c. la cui disposizione riprende quella già definita per le sezioni tipo “A” (si veda il capitolo 13.1). Le sezioni così definite sono poste in prossimità di edifici interferenti e che sono stati individuati come particolarmente sensibili alle operazioni di scavo. Inoltre saranno poste in opera in prossimità di edifici di importanza storica. Tali sezioni permettono di avere un quadro completo dei fenomeni indotti dalle operazioni di scavo sul terreno e quindi forniscono anche uno strumento di taratura per le fasi operative di avanzamento.

Anche le sezioni tipo “B” sono state suddivise in sottotipi in funzione della copertura e quindi del numero di chiodi topografici posti in superficie. Per tali sezioni è previsto il controllo mediante piezometro se si è in presenza di falda. La suddivisione ripercorre quella già proposta per le sezioni tipo “A”.

Per i tratti dove è presente una sola canna saranno installati 2 inclinometri a lato della galleria ed un assestmetro in calotta. Per i tratti dove sono presenti due canne saranno installati 3 inclinometri (uno tra le due gallerie e 2 ai lati delle stesse) e 2 assestimetri in corrispondenza delle calotte delle 2 gallerie.

La distribuzione delle basi estensimetriche, la lunghezza dei fori di installazione e di rilievo inclinometrico, la posizione delle celle piezometriche sono indicate nelle sezioni tipologiche di monitoraggio e nelle planimetrie e nei profili di monitoraggio. Per il dettaglio si rimanda alla Tabella 12 del presente documento.

## 5 EDIFICI MONITORATI

L'impatto maggiore dovuto alle operazioni di scavo si potrà registrare su quegli edifici che saranno interessati dalle subsidenze indotte. Tali edifici saranno 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, contenute nella relazione sulla valutazione delle subsidenze e verifica degli effetti indotti sulle interferenze in superficie.

Tali analisi hanno permesso di stimare, per ogni fabbricato, le deformazioni indotte e quindi di definire quali tra gli edifici interferiti risultano essere più "sensibili" agli effetti dello scavo.

Sulla base di tale analisi è stato possibile suddividere i fabbricati analizzati in 3 tipologie:

- Fabbricati tipo "A": tali fabbricati sono ricadenti all'interno del bacino di subsidenza, ma presentano a seguito delle analisi condotte una categoria di danno  $< 2$  per  $V_p = 1\%$ . Tali edifici saranno dotati di almeno 3 mire ottiche per ogni parete perimetrale libera.
- Fabbricati tipo "B": tali fabbricati sono ricadenti all'interno del bacino di subsidenza e presentano a seguito delle analisi condotte una categoria di danno  $> 2$  per  $V_p = 1\%$ . Tali edifici saranno dotati di un numero di mire funzione della lunghezza e della tipologia stessa del fabbricato, secondo quanto dettagliato.
- Fabbricati tipo "C": tali fabbricati sono quelli per cui, a seguito delle analisi condotte, per posizione rispetto al tracciato delle gallerie o per condizioni intrinseche del fabbricato stesso, è stato previsto un intervento di mitigazione preventiva. Per tali fabbricati, oltre a quanto previsto per i fabbricati di tipo "B", il monitoraggio deve essere integrato con un sistema di acquisizione in continuo secondo quanto dettagliato nei prossimi paragrafi.

L'installazione delle mire ottiche e il rilievo degli spostamenti dovranno essere effettuati lungo muri perimetrali accessibili:

Dovrà, inoltre, essere prevista l'integrazione del monitoraggio mediante fessurimetri nel caso in cui vengano riscontrate (durante testimoniali di stato) fessure preesistenti.

### 5.1 Edifici di tipo "A"

Tali edifici saranno monitorati attraverso i seguenti strumenti:

- mire ottiche disposte sulle pareti perimetrali degli edifici,
- capisaldi per fessurimetri manuali,

### Mire ottiche

- Sono posizionate lungo i muri perimetrali degli edifici e dovranno permettere il rilievo degli spostamenti spaziali da utilizzare per il calcolo del rapporto di inflessione. Il loro numero dovrà comunque rispettare le seguenti condizioni di base:
- 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,
- nel caso di edifici in muratura si dovrà installare una mira ogni 3 m di muratura,
- in presenza di edifici in adiacenza, in prossimità della zona di contatto si dovrà porre in opera una mira su ciascun edificio,
- in ogni caso il numero minimo di mire installate dovrà essere sempre  $\geq 3$ , in modo da poter valutare il valore di rapporto di inflessione corrispondente.

### Capisaldi per fessurimetri manuali

Saranno posizionati a cavallo delle preesistenti fessure degli edifici. Queste permettono, tramite la lettura manuale, il rilievo degli spostamenti relativi tra i lembi della fessura, il loro numero verrà definito in corso d'opera.

In Tabella 3 è riportato l'elenco di edifici di tipo "A" da monitorare.

**Tabella 3 : Elenco degli edifici di tipo "A".**

GALLERIA	EDIFICIO
Castellari	18
Castellari	27
Castellari	49
Castellari	71
Castellari	72
Castellari	73
Castellari	74
Castellari	75
Castellari	76
Castellari	79
Castellari	80

Castellari	81
Castellari	83
Castellari	84
Castellari	C21
Castellari	C22
Castellari	C24
Pineland	96
Pineland	97
Alassio	121
Alassio	129
Alassio	130
Alassio	131
Alassio	137
Alassio	139
Alassio	140
Alassio	143
Alassio	146
Alassio	160
Alassio	165
Alassio	173

## 5.2 Edifici di tipo “B”

Tali edifici sono monitorati attraverso i seguenti strumenti:

- mire ottiche disposte sulle pareti perimetrali degli edifici,
- capisaldi per fessurimetri manuali,
- clinometri da parete

### Mire ottiche

Saranno posizionate lungo i muri perimetrali degli edifici e dovranno permettere il rilievo degli spostamenti spaziali necessari per il calcolo del rapporto di inflessione. Il loro numero dovrà essere funzione dei seguenti fattori:

- lunghezza 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 (analogamente a quanto previsto per i fabbricati tipo “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,
- nel caso di edifici in muratura si dovrà installare una mira ogni 3 m di muratura,
- in presenza di edifici in adiacenza, in prossimità della zona di contatto si dovrà porre in opera una mira su ciascun edificio,
- in ogni caso il numero minimo di mire installate dovrà essere sempre  $\geq 3$ , in modo da poter valutare il valore di rapporto di inflessione corrispondente.

### Capisaldi per fessurimetri manuali

Saranno posizionati a cavallo delle preesistenti fessure degli edifici. Questi permettono, tramite la lettura manuale, il rilievo degli spostamenti relativi tra i lembi della fessura, il loro numero verrà definito in corso d’opera.

### Clinometri da parete

Saranno posizionati sui fabbricati al fine di monitorare eventuali spostamenti orizzontali attraverso la misurazione dell’angolo di inclinazione rispetto all’asse verticale lungo 2 piani ortogonali.

In Tabella 4 è riportato l’elenco di edifici di tipo “B” da monitorare.

**Tabella 4: Elenco degli edifici di tipo “B”.**

GALLERIA	EDIFICIO
Croce	105

Alassio	117
Alassio	119
Alassio	120
Alassio	123
Alassio	138

### 5.3 Edifici di tipo “C”

Ricadono in questa categoria gli edifici per i quali sono previste opere di presidio. Tali edifici saranno monitorati con la stessa tipologia strumentale dei fabbricati tipo “B” e con l’ausilio di un sistema di acquisizione in continuo dei dati (“tazze livellometriche”).

Tale sistema avrà la finalità di monitorare in continuo il fabbricato durante le fasi di realizzazione dell’opera di presidio e dovrà essere dimensionato in modo tale da garantire il controllo degli eventuali cedimenti e distorsioni indotte sui fabbricati dalle attività di consolidamento. In ogni caso il monitoraggio mediante tazze livellometriche dovrà essere dimensionato a partire da un minimo di copertura sulle due facciate adiacenti più vicine all’intervento sino ad una completa copertura del fabbricato, comprese gli elementi strutturali interni al perimetro dell’edificio.

Il sistema di acquisizione dei dati dovrà essere mantenuto attivo per tutta la durata dell’esecuzione dell’opera di presidio sino ad almeno 60 giorni dopo la realizzazione della/e galleria/e ed in ogni caso fino a completa stabilizzazione del fenomeno deformativo.

In Tabella 5 è riportato l’elenco di edifici di tipo “C” da monitorare.

**Tabella 5 : Elenco degli edifici di tipo “C”.**

GALLERIA	EDIFICIO
Castellari	47
Castellari	77
Alassio	163
Alassio	171

## 6 MODALITÀ DI ELABORAZIONE DEI 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 e del rapporto di inflessione.

Nel capitolo 6.5 si definisce la modalità di elaborazione degli spostamenti orizzontali per la stima delle deformazioni orizzontali di trazione indotte sugli edifici

### 6.1 Volume perso nelle sezioni monitorate

Il volume perso si calcola partendo dai valori di cedimento misurati attraverso le mire ottiche posizionate sul p.c. in corrispondenza delle sezioni di monitoraggio.

La procedura di calcolo è la seguente:

1. rilievo cedimenti per ogni chiodo topografico,
2. definizione curva dei cedimenti,
3. calcolo dell'area, A, compresa tra i due profili,
4. calcolo del valore di volume perso.

#### 6.1.1 Rilievo dei cedimenti

- 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, si veda la Figura 2:



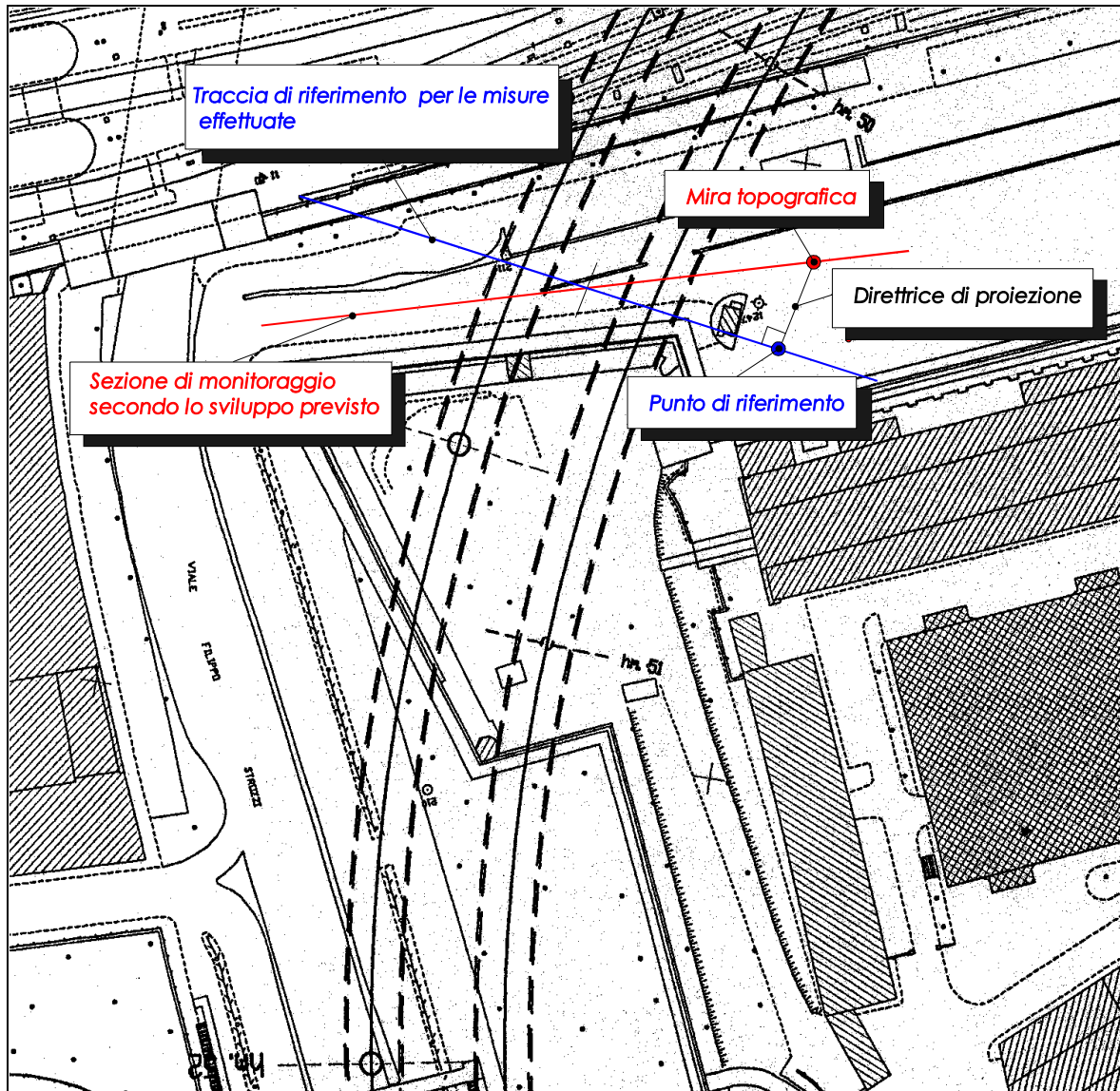


Figura 2 :Traccia e punti di riferimento delle letture

### 6.1.2 Definizione della curva dei cedimenti

- Rappresentazione su un piano cartesiano dei punti di riferimento corrispondenti ai chiodi topografici, collocandoli secondo la loro posizione planimetrica (rispetto all'asse della galleria B.P),
- rappresentazione dei corrispettivi cedimenti, si veda la Figura 3:

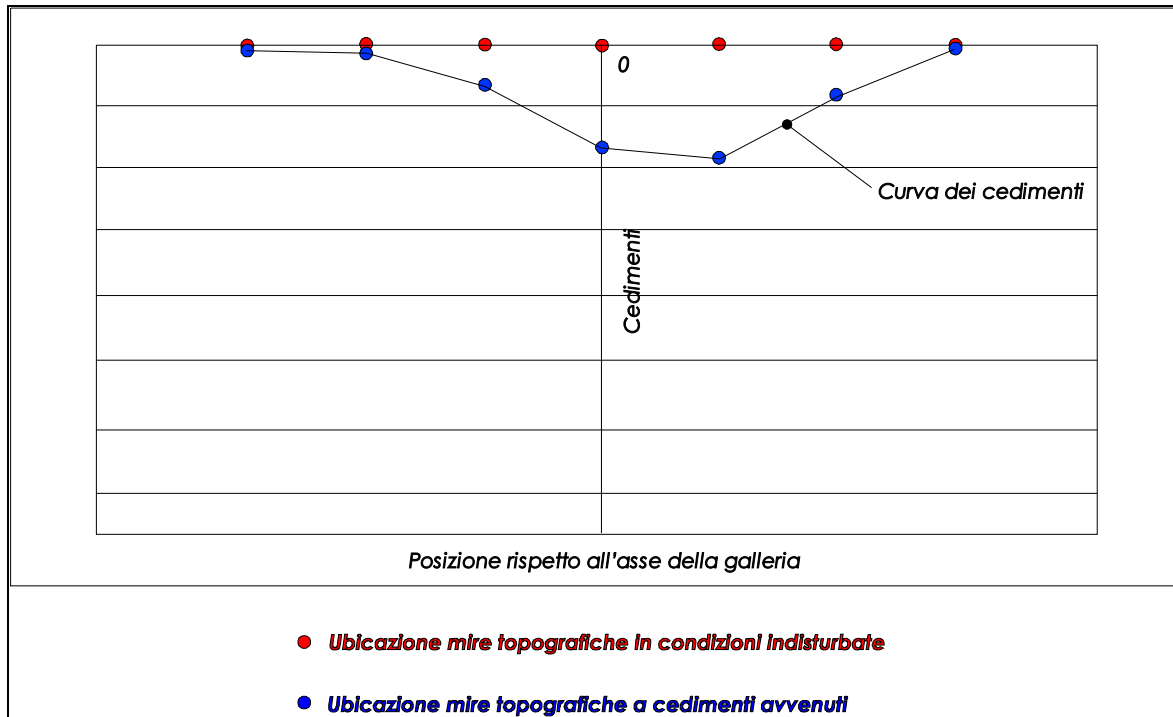


Figura 3: Piano di rappresentazione cedimenti del p.c.

### 6.1.3 Definizione dell'area dei cedimenti

- Il calcolo dell'area avviene facendo riferimento al profilo discreto dei cedimenti e alla condizione iniziale di zero, si veda la Figura 4:

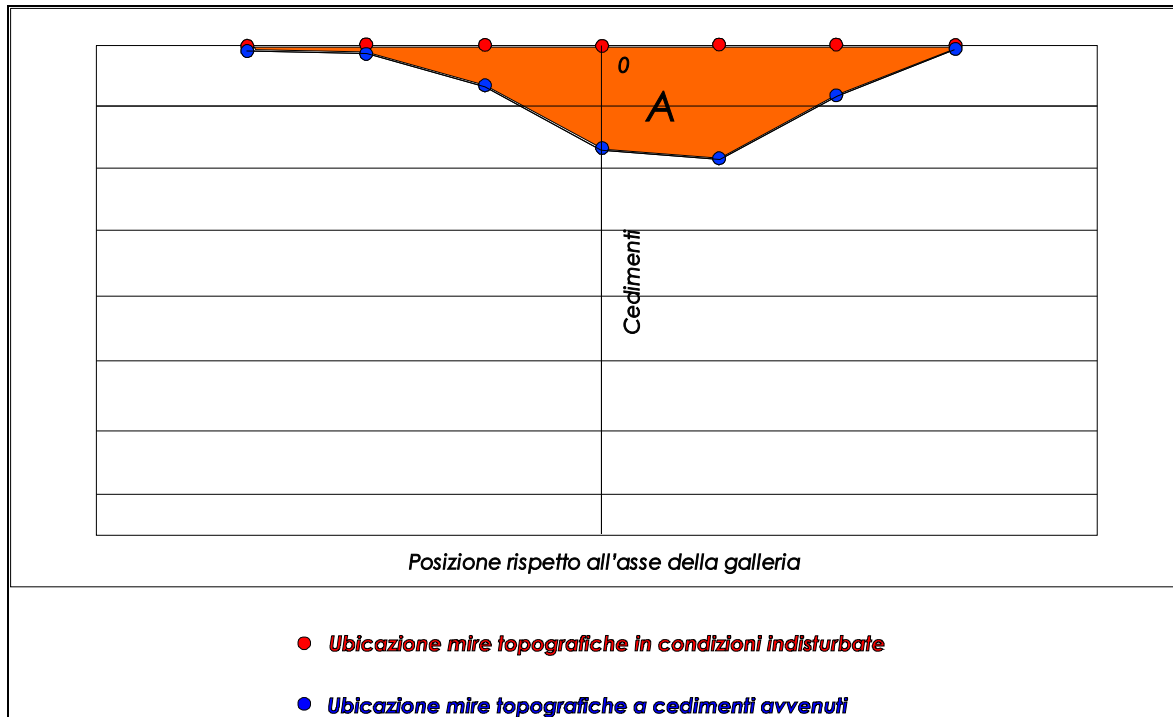


Figura 4 : Area compresa tra i due profili

#### 6.1.4 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:

$V_p$  = volume perso,

$A_I$  = area compresa tra la configurazione indisturbata del p.c. e la curva dei cedimenti indotta dallo scavo della prima canna,

$R_{Galleria}$  = raggio nominale di scavo della galleria.

Nel caso di scavo delle due gallerie (ossia nel momento in cui si devono monitorare gli effetti dovuti allo scavo della seconda galleria seguita allo scavo della prima) il volume perso si calcola secondo la seguente equazione:

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

dove:

$V_p$  = volume perso,

$A_{II}$  = area compresa tra la configurazione del p.c. risultata dopo lo scavo della prima galleria e la curva dei cedimenti indotta dallo scavo della seconda galleria (definita in presenza delle due gallerie),

$R_{Galleria}$  = raggio nominale di scavo della seconda galleria (nello specifico le dimensioni in sezione delle due gallerie sono identiche).

## 6.2 Volume perso lungo il tracciato

Essendo il numero delle sezioni di monitoraggio necessariamente limitato, il volume perso si stima anche attraverso la sua correlazione con il valore del cedimento massimo misurato in asse galleria; il procedimento è il seguente:

- rilievo dei valori di cedimento lungo i punti posti in asse galleria,
- calcolo del valore del coefficiente di proporzionalità fra il  $V_p$  e il valore del cedimento massimo corrispondenti alla sezione di monitoraggio precedente,
- calcolo del volume perso corrispondente alla progressiva del punto di rilievo,
- aggiornamento del valore del parametro di proporzionalità.

### 6.2.1 Rilievo dei cedimenti in asse galleria

- Rilievo del cedimento corrispondente al punto in asse in oggetto.

### 6.2.2 *Calcolo del valore del coefficiente di proporzionalità (costante di Peck)*

La procedura per il calcolo del parametro di proporzionalità da impiegare nella stima del  $V_p$  per la progressiva del punto in asse considerato è la seguente:

- calcolo del valore di volume perso della sezione di monitoraggio che precede il punto in asse considerato;
- calcolo del corrispondente valore del parametro di proporzionalità secondo la seguente equazione:

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

dove:

$k$  è il coefficiente di proporzionalità (costante di Peck) 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, al passaggio della seconda canna il valore “zero” di riferimento del cedimento massimo coincide con la posizione del punto in oggetto dopo il passaggio della prima canna e non in condizioni indisturbate;

$z$  è la distanza 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  $z$  dalla sezione di riferimento in oggetto.

### 6.2.3 *Calcolo del volume perso corrispondente alla progressiva del punto in asse considerato*

Il valore di  $V_p$ , corrispondente alla progressiva del punto in asse per il quale viene rilevato il cedimento, si ricava nel seguente modo:

- creazione di abachi (si veda la Figura 5) che presentano l’andamento del  $V_p$  in funzione del valore di cedimento  $S_{\max}$  per differenti valori di  $k$  e differenti valori di  $z$ . L’equazione che lega i suddetti parametri è la seguente:

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

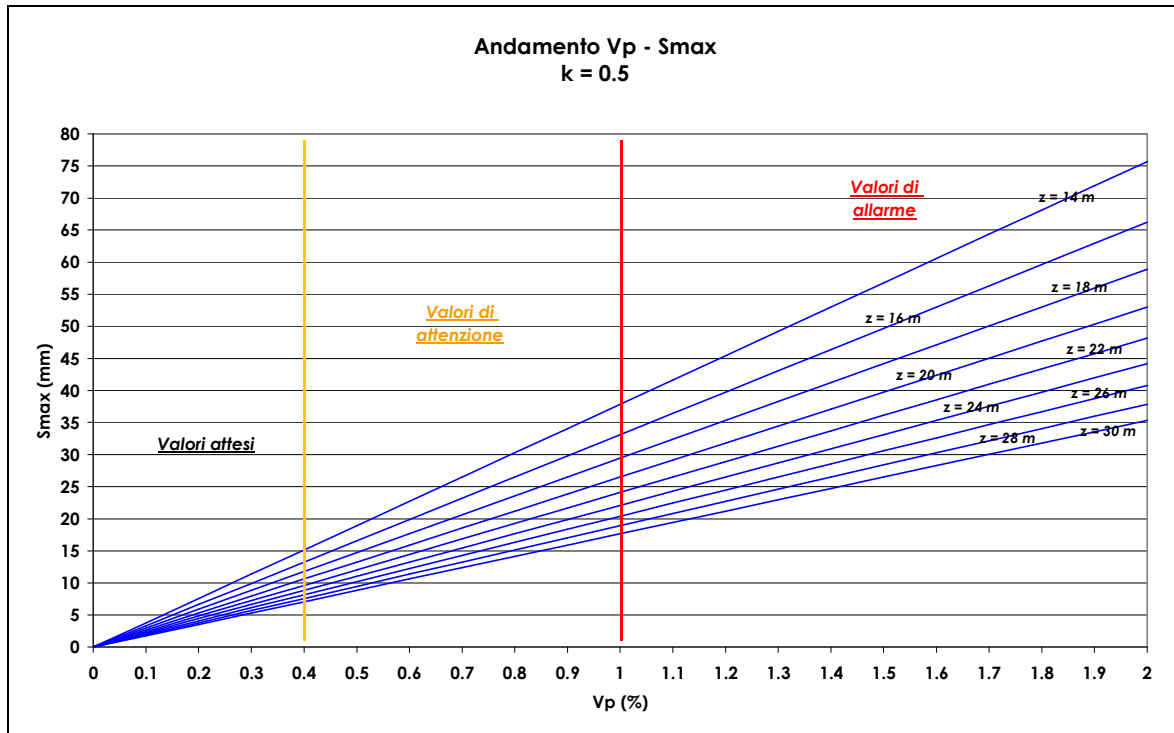


Figura 5: Abaco  $V_p$ -  $S_{max}$  per  $k = 0.5$

- 1) calcolo del corrispondente valore di  $V_p$  entrando nei suddetti abachi con il valore di  $S$  rilevato nel punto in asse galleria (teoricamente dovrebbe coincidere con  $S_{max}$ ), il valore corrente di  $z$  (valore corrispondente alla progressiva del punto in asse considerato) e considerando un valore di  $k$  pari a quello determinato per la sezione di monitoraggio precedente.

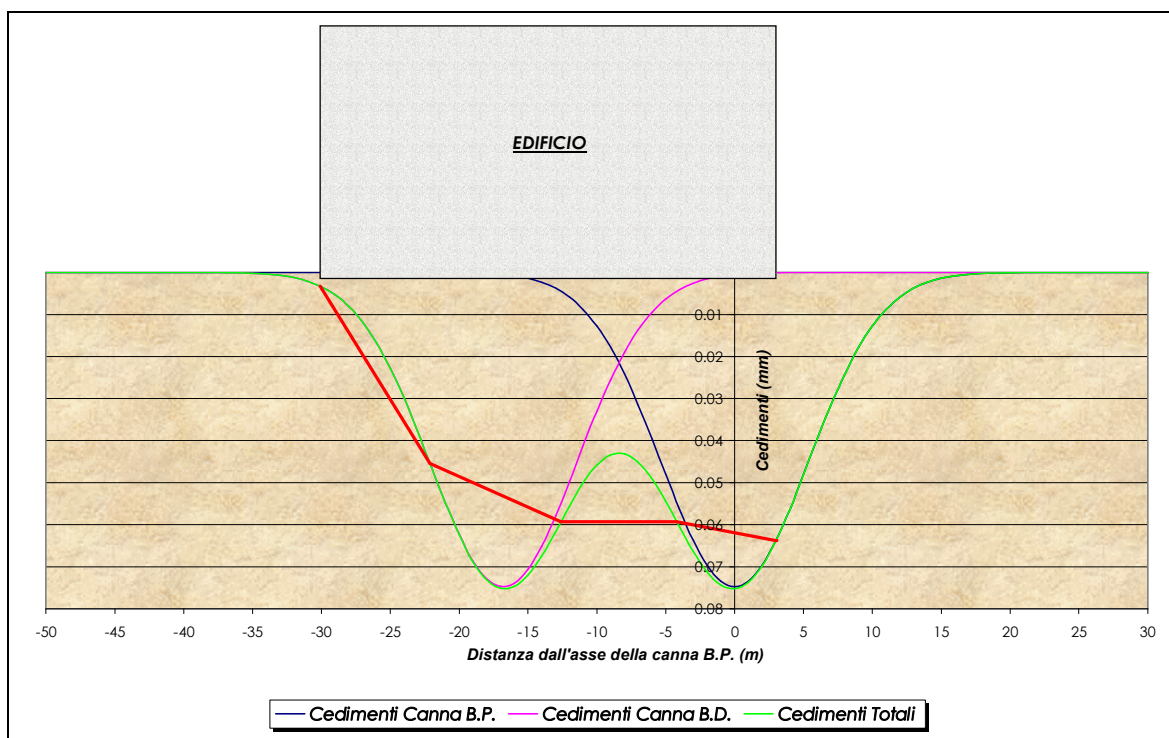
#### 6.2.4 Aggiornamento del valore del parametro di proporzionalità (o costante di Peck)

Il valore del parametro di proporzionalità  $k$  (o costante di Peck) deve essere aggiornato ogni volta che si incontra una sezione monitorata lungo il tracciato, infatti ad una data sezione di monitoraggio fa riferimento il gruppo di punti che sono compresi tra la sua progressiva e la progressiva della sezione successiva. Inoltre fra tali punti di rilievo dei cedimenti in asse un certo numero fa riferimento al valore di  $k$  non della sezione corrente ma di quella immediatamente precedente in quanto, per il periodo di tempo che trascorre tra il passaggio della sezione e la stabilizzazione dei cedimenti (corrispondente alla condizione per la quale il fronte si posiziona a circa 2.5 volte  $z$  dalla progressiva della sezione corrente) e la rispettiva elaborazione, si ha una condizione intermedia non rappresentativa. Il valore di  $V_p$  di questi primi punti verrà successivamente aggiornato in base al valore di  $k$  calcolato per la corrente sezione di riferimento.

### 6.3 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 6 si individuano 5 zone, 2 di sagging e 3 di hogging, di cui solo 4 interessano l’edificio, 2 di sagging e 2 di hogging, ne deriva la necessità di calcolare almeno 4 differenti valori di rapporto di inflessione.



**Figura 6: 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.

### 6.3.1 Rilievo dei cedimenti

- Rilievo dei cedimenti di tutti i punti di rilievo topografico collocati sui muri perimetrali dell’edificio monitorati;

### 6.3.2 Definizione della deformata dell'edificio e calcolo dei valori di inflessione $\Delta$

- Rappresentazione su un piano cartesiano dei punti corrispondenti a i punti di rilievo topografico, collocandoli secondo la loro posizione planimetrica (rispetto all'asse della galleria B.P),
- 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, si veda la Figura 7,

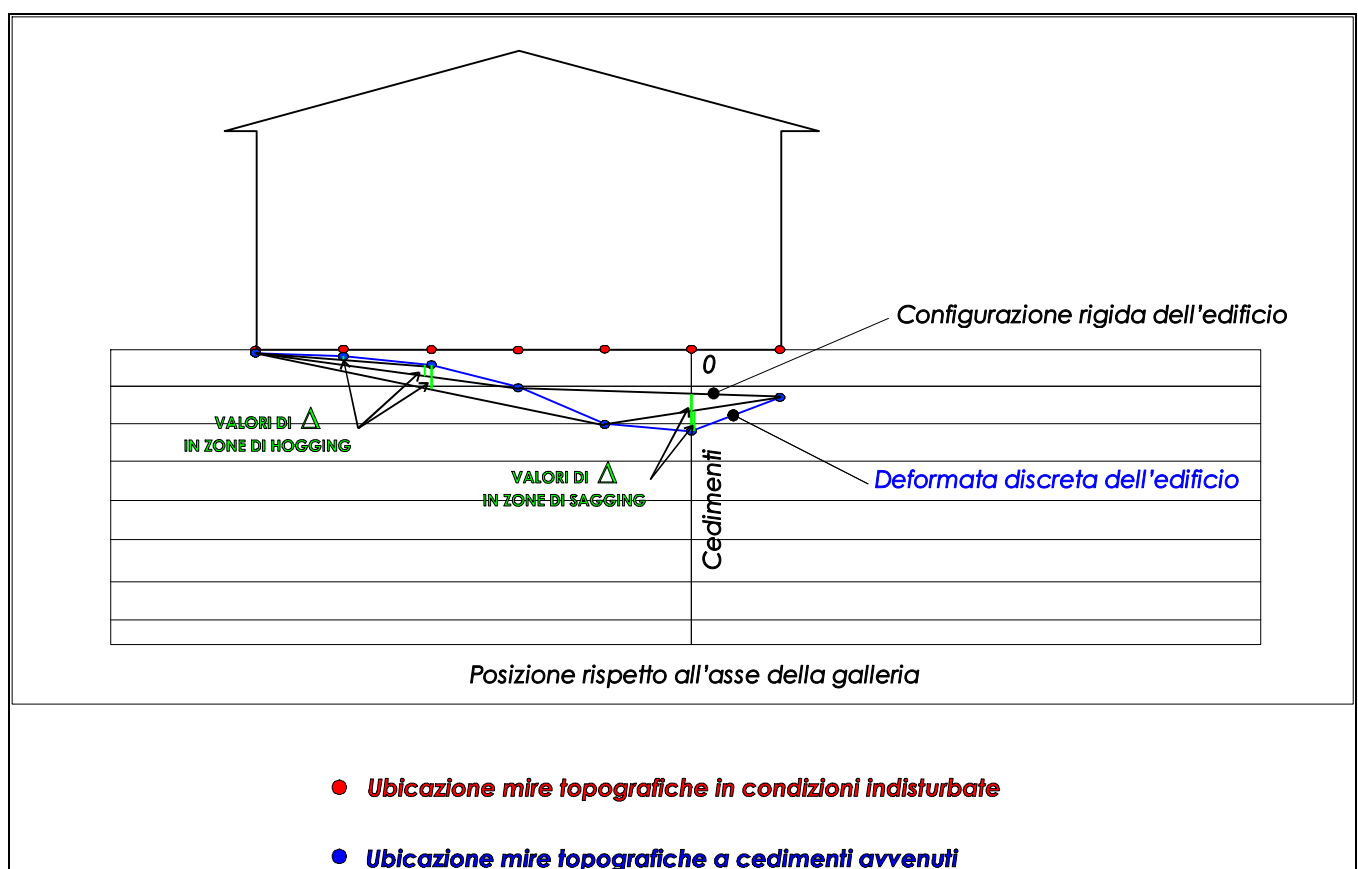


Figura 7: Piano di rappresentazione cedimenti dell'edificio

### 6.3.3 Calcolo dei valori di rapporto di 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 8), si vedano le seguenti equazioni:

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



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

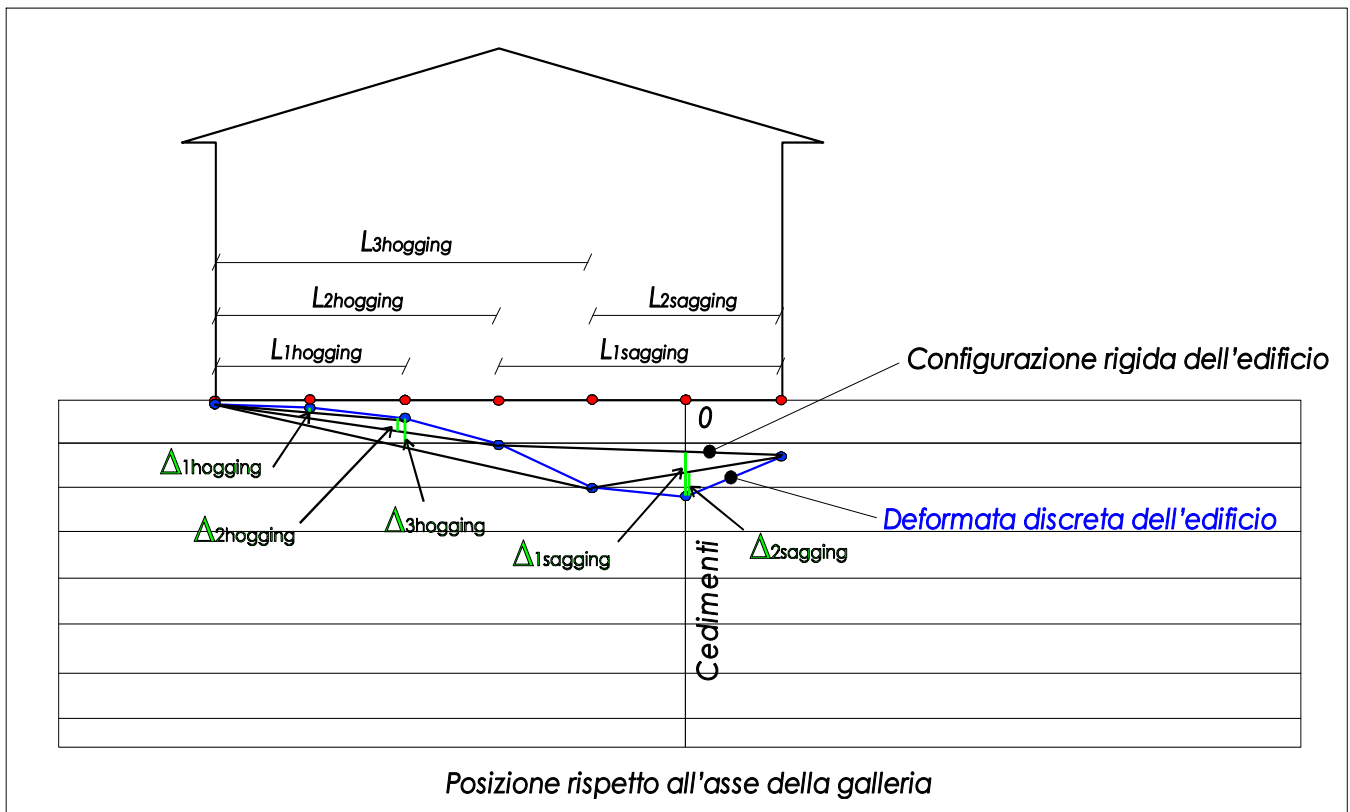


Figura 8: Valori di inflessione  $\Delta$  e della corrispondente porzione di edificio L

#### 6.4 Valori di riferimento dei parametri monitorati

Al fine di effettuare il controllo delle operazioni di scavo e degli effetti indotti sui fabbricati interferiti sono stati definiti valori di riferimento dei parametri monitorati di volume perso e del rapporto di inflessione. Tali valori determinano il passaggio da una condizione attesa ad una condizione di attenzione e da questa ad una condizione di allarme. I suddetti valori sono riportati nella Tabella 6.

**Tabella 6 : Valori attesi, di attenzione e di allarme, dei parametri monitorati**

PARAMETRO DI RIFERIMENTO	DEFINIZIONE VALORE	VALORE	AZIONI
<i>V<sub>p</sub></i>  <u><i>Volume perso (%)</i></u>	valore atteso	$\leq 0.4 \%$	Le operazioni di scavo procedono normalmente e la frequenza di rilievo dei parametri monitorati non viene variata.
	valori di attenzione	$> 0.4 \%$	L'appaltatore deve riferire alla committente quali misure intraprende per arrestare l'evoluzione dei cedimenti e rientrare al di sotto della soglia di attenzione. La frequenza di rilievo delle grandezze monitorate deve essere aumentata.  Del superamento delle soglie e delle azioni intraprese deve essere informata la DL.
	valori di allarme	$\geq 1.0 \%$	L'appaltatore deve <b>immediatamente</b> informare la DL non appena il parametro ha superato la soglia di allarme e riferire ad Italferr quali misure intende attuare per arrestare l'evoluzione dei cedimenti e rientrare al di sotto della soglia di attenzione. La frequenza di rilievo sarà ulteriormente aumentata.

PARAMETRO DI RIFERIMENTO	DEFINIZIONE VALORE	VALORE	AZIONI
<u>Rapporto di</u> <u>inflessione (-)</u>  <i><math>\Delta L</math></i>	valore atteso	$\leq \pm 1/2000$	Le operazioni di scavo procedono normalmente e la frequenza di rilievo dei parametri monitorati non viene variata.
	valori di attenzione	$> \pm 1/2000$	L'appaltatore deve riferire ad Italferr quali misure intraprende per arrestare l'evoluzione delle deformazioni e rientrare al di sotto della soglia di attenzione. La frequenza di rilievo del parametro deve essere aumentata.  Del superamento delle soglie e delle azioni intraprese deve essere informata la DL.
	valori di allarme	$\geq \pm 1/1000$	L'appaltatore deve <b>immediatamente</b> informare la DL non appena il parametro ha superato la soglia di allarme e riferire ad Italferr quali misure intende attuare per arrestare l'evoluzione delle deformazioni e rientrare al di sotto della soglia di attenzione. La frequenza di rilievo sarà ulteriormente aumentata.

La verifica di uno dei due parametri non esclude quella dell'altro. Entrambi 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 6.

## 6.5 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 essere un utile ed aggiuntivo indicatore dello stato di quegli edifici che si trovano in condizioni particolarmente critiche indotte dai 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:

- $s_{y\_1}$  = spostamento del primo estremo della facciata dell'edificio,
- $s_{y\_2}$  = 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 di inflessione 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 seguirsi, già illustrata nella relazione sulla valutazione delle subsidenze e verifica degli effetti indotti sulle interferenze in superficie, 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" (si veda il capitolo 6.3.3),

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),



RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE TECNICA DI MONITORAGGIO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 RH	GN 00 00 002	A	29 di 51

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 Boscardine e Cording (1989).

## 7 CRITERI BASE DI MONITORAGGIO INTERNO

Il sistema di monitoraggio interno è stato studiato in modo da fornire un quadro completo e dettagliato degli effetti indotti dallo scavo nelle sue differenti fasi con il progredire del suo avanzamento sulla galleria stessa. Tale sistema deve garantire la misura dei parametri significativi utili a verificare la sicurezza degli scavi e dell'opera sotterranea e a permettere di intervenire rapidamente mediante le azioni correttive da attuare nel caso in cui si verificano situazioni impreviste e potenzialmente pericolose. Al fine di soddisfare tutte queste esigenze 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 rilievo così eseguito permette in ogni momento di intervenire sui parametri e le modalità di scavo modificandoli in base alle necessità.

Il programma di monitoraggio deve prevedere (nel caso di scavo in tradizionale):

- il rilievo analitico e speditivo del fronte di scavo;
- in ammassi rocciosi l'esecuzione di rilievi geologico-strutturali con determinazione dell'indice di qualità RMR, secondo la frequenza specificata in Tabella 7 per le diverse sezioni di applicazione, e comunque ad ogni cambio litologico. Le principali caratteristiche litologiche e strutturali dell'ammasso in scavo devono essere confrontate con quelle previste in progetto per la sezione tipo adottata;
- il controllo della convergenza del cavo mediante installazione di stazioni di convergenza con 5 mire. Il numero delle sezioni di misura è specificato in Tabella 7 per le diverse sezioni tipo. Le sezioni devono essere ubicate in prossimità del fronte scavo, la lettura di zero deve essere eseguita prima della ripresa dell'avanzamento per lo scavo del campo successivo, e le letture successive dovranno essere eseguite con frequenza almeno giornaliera fino alla completa stabilizzazione delle misure.
- il monitoraggio dello sforzo assiale nelle centine del rivestimento di prima fase mediante celle di carico, come definito negli elaborati di progetto pertinenti;
- il monitoraggio delle deformazioni del rivestimento definitivo mediante barrette estensimetriche, come definito negli elaborati di progetto pertinenti;
- nel caso di scavo in zone di faglia o in ammassi rocciosi interessati dal fenomeno del carsismo l'esecuzione di perforazioni in avanzamento.

Il sistema di monitoraggio dovrà essere predisposto in modo tale da garantire l'esame tempestivo e continuativo dei dati rilevati e la trasmissione sistematica dei dati e delle elaborazioni, avendo precedentemente definito ed assegnato le responsabilità per la lettura, l'elaborazione e l'interpretazione dei dati di monitoraggio, nonché per la loro distribuzione.

Le grandezze individuate come rappresentative dovranno essere rilevate e controllate con un sistema di misura che abbia un grado di precisione compatibile con i valori attesi per le grandezze sopra dette.

Gli strumenti di misura utilizzati dovranno permettere di garantire la precisione e l'affidabilità delle letture in modo da non essere influenzati in modo significativo da cambiamenti di temperatura, umidità, corrente elettrica e vibrazioni indotte.

## 7.1 Scopi del monitoraggio

Il progetto di monitoraggio ha i seguenti scopi principali:

- controllo delle deformazioni (convergenze del cavo e al fronte per scavo tradizionale),
- controllo delle tensioni indotte (rivestimenti di prima fase e definitivi),
- eventuale taratura della sezione tipo applicata,

### Controllo delle deformazioni (convergenze del cavo e al fronte per scavo tradizionale)

Nell'ambito delle gallerie scavate con metodo tradizionale il sistema di monitoraggio deve fornire tutte le informazioni necessarie affinché si possano verificare le previsioni progettuali di convergenza e deformazione indotte sul cavo e sul fronte di scavo. In ambito di scavo meccanizzato tale controllo viene sostituito dal controllo dei parametri macchina. Le deformazioni al contorno del cavo ed al fronte della galleria sono monitorate attraverso una serie di:

- stazioni di convergenza a 5 punti ,
- estrusometri al fronte.

### Controllo delle tensioni indotte (rivestimenti di prima fase e definitivi)

Il sistema di monitoraggio deve permettere il rilievo delle tensioni indotte nei rivestimenti. Nell'ambito dello scavo tradizionale verranno monitorati i rivestimenti di prima fase ed i rivestimenti definitivi; nell'ambito di scavi meccanizzati saranno previste sezioni monitorate del rivestimento definitivo (conci prefabbricati). I valori delle grandezze misurate permettono sia la verifica delle assunzioni progettuali, sia la taratura delle sezioni di scavo o dei parametri di scavo della macchina.

Le tensioni nei rivestimenti sono monitorate attraverso una serie di:

- barrette estensimetriche solidali con le centine previste nei rivestimenti di prima fase (per scavo tradizionale),
- celle di pressione installate a piede centina nei rivestimenti di prima fase (per scavo tradizionale),
- barrette estensimetriche nel rivestimento definitivo (per scavo tradizionale e scavo meccanizzato)..

## 7.2 Grandezze misurate

Il piano di monitoraggio è stato progettato in modo tale da poter acquisire, con frequenza elevata, tutti i parametri necessari al controllo e alla verifica dei fenomeni indotti sulle gallerie dalle operazioni di scavo.

Le grandezze misurate permettono il calcolo di alcuni parametri che sono rappresentativi dell'andamento delle operazioni di scavo e dei relativi effetti sui rivestimenti definitivi . Questi parametri sono rispettivamente:



RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
**PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA**

RELAZIONE TECNICA DI MONITORAGGIO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 RH	GN 00 00 002	A	32 di 51

- convergenze del cavo e del fronte.
- sollecitazioni indotte nei rivestimenti.

Da tali grandezze misurate è possibile ottenere indicazioni sull'adeguatezza delle sezioni tipo applicate e degli interventi di consolidamento previsti nonché verificare le sollecitazioni agenti nei rivestimenti.



## 8 SEZIONI MONITORATE – MONITORAGGIO INTERNO

Le sezioni strumentate sono ubicate lungo tutto il tracciato. La distanza fra le differenti sezioni è variabile e funzione dei seguenti fattori:

- coperture,
- caratteristiche geotecniche attraversate,
- tipologia di sezione applicata

Per semplicità le sezioni di monitoraggio sono state scelte di tre sole tipologie, per lo scavo tradizionale, ed una tipologia per lo scavo meccanizzato brevemente descritte nel seguente capitolo.

### 8.1 Sezioni tipo scavo tradizionale

Le sezioni tipo sono state scelte e strumentate sempre nell’ottica di fornire uno strumento di monitoraggio semplice e facilmente adattabile alle differenti situazioni incontrate. Tali sezioni si suddividono sostanzialmente in tre gruppi:

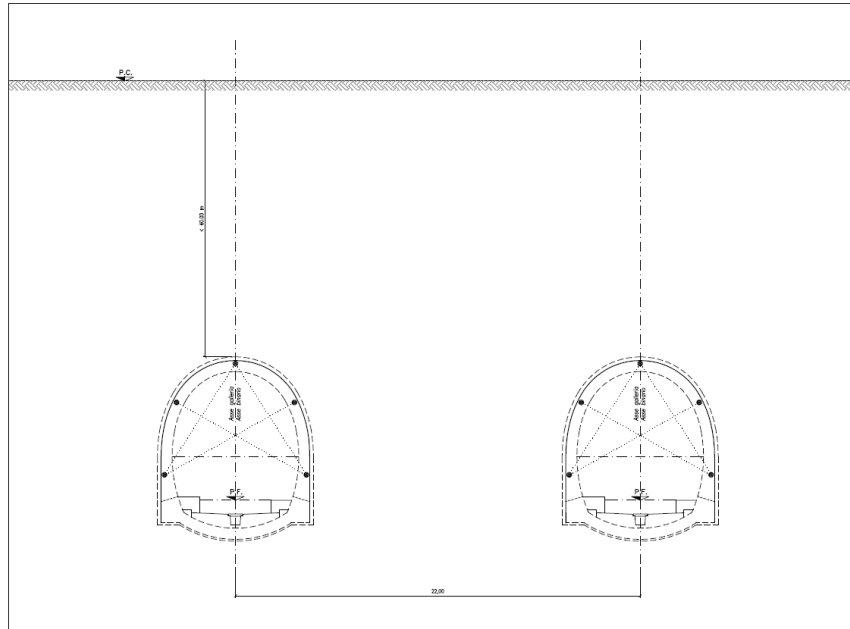
- Sezioni di monitoraggio tipo “A” – composta principalmente da stazioni di misura della convergenza del cavo, attraverso 6 mire ottiche;
- Sezioni di monitoraggio tipo “B” – composta principalmente da stazioni di misura della convergenza del cavo, attraverso 6 mire ottiche ed integrata con il controllo delle tensioni sui rivestimenti di prima fase (mediante 5 coppie di barrette estensimetriche sulle centine e 2 celle di pressione a piede centina) e sui rivestimenti definitivi (mediante 6 coppie di barrette estensimetriche);
- Sezioni di monitoraggio tipo “C” – composta dalla strumentazione prevista per le sezioni di tipo “B” ed integrata con estrusimetro al fronte;

le caratteristiche di massima delle tre sezioni sono riportate nei seguenti capitoli mentre un elenco completo di tutte le sezioni è riportato nel capitolo 13.2.

#### 8.1.1 Sezioni tipo “A”

La sezione strumentata di tipo “A” prevede una frequenza di installazione pari a 1 sezione ogni 20 m.

Segue schema tipo della sezione strumentata

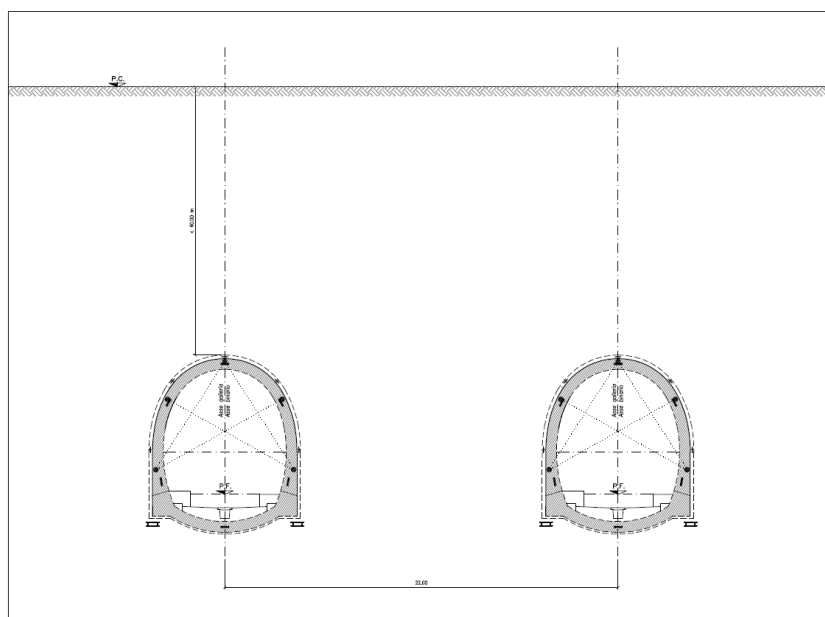


**Figura 9 – Sezione tipo “A”**

### 8.1.2 Sezioni tipo “B”

La sezione strumentata di tipo “B” prevede un campo di applicazione analogo a quello previsto per le gallerie sezioni tipo B; verrà applicata una sezione per campo di avanzamento della galleria.

Segue schema tipo della sezione strumentata

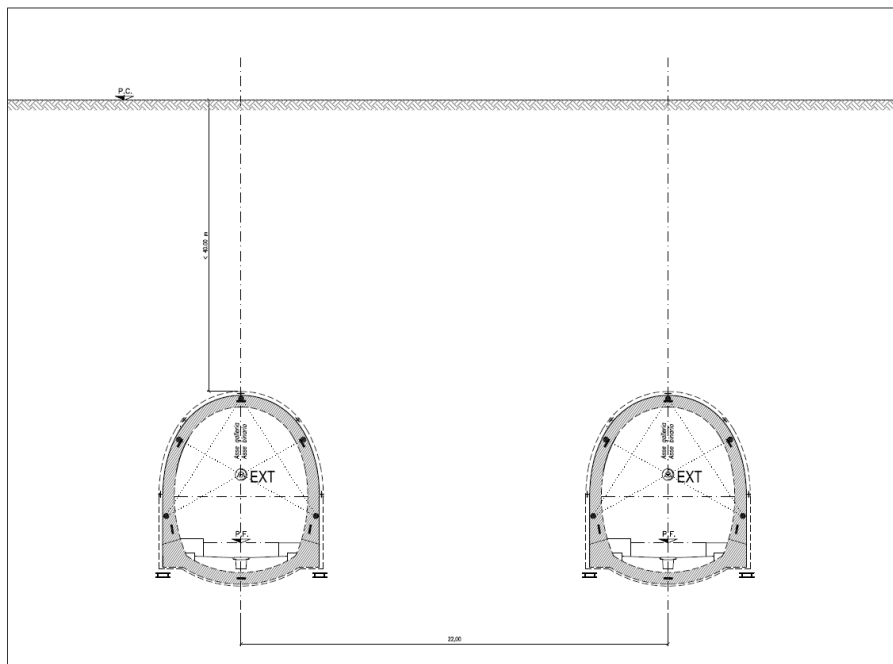


**Figura 10 – Sezione tipo “B”**

### 8.1.3 Sezioni tipo “C”

La sezione strumentata di tipo “C” prevede un campo di applicazione analogo a quello previsto per le gallerie sezioni tipo C; verrà applicata una sezione per campo di avanzamento della galleria.

Segue schema tipo della sezione strumentata



**Figura 11 – Sezione tipo “C”**

In sintesi, si presenta quanto segue in Tabella 7:

**Tabella 7: Frequenze di installazione e lettura per sezioni tipo**

Sezione tipo	Misure di convergenza		Rilievi del fronte	Estrusometro
	Frequenza sezioni	Frequenza misure	Frequenza (*)	
A	1 ogni 20m	1 ogni 2 giorni	1 ogni 20m	-
B	1 ogni campo	1 al giorno	1 ogni campo	-
C	1 ogni campo	1 al giorno	1 ogni campo	L=35m ogni 2 campi e 3 letture per ogni campo
(*) sempre al cambio di litologia				

## 8.2 Sezioni tipo scavo meccanizzato

Il monitoraggio interno per sezioni di galleria in scavo meccanizzato è costituito essenzialmente da 6 coppie di barrette estensimetriche solidali con l'armatura dei conci ed installate in fase di pre-fabbricazione degli stessi. Ciascuna coppia di barrette è installata, in modo tale da monitorare gli effetti tensionali indotti sull'armatura di intradosso e di estradosso.

Le caratteristiche di massima e la frequenza di installazione delle sezioni di monitoraggio interno per scavo meccanizzato sono funzione delle coperture attraversate ed in generale seguiranno quanto definito nel seguente paragrafo.

Un elenco completo di tutte le sezioni è riportato nel capitolo 13.2.

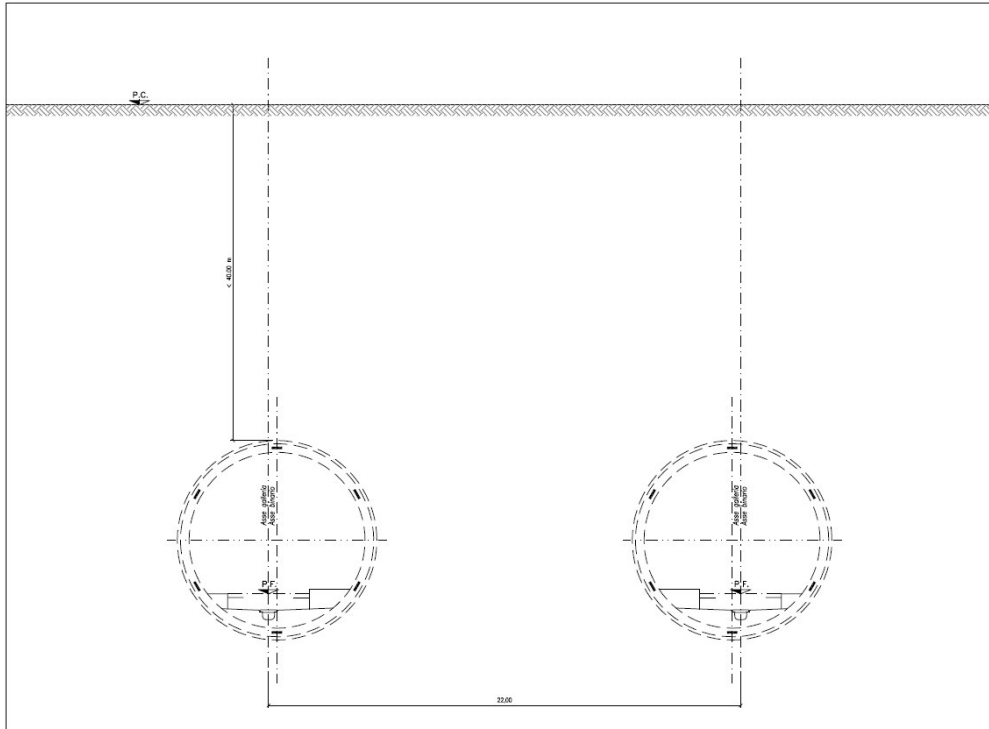
### 8.2.1 Sezioni tipo

Il campo di applicazione previsto per la sezione di monitoraggio interno per scavo meccanizzato prevede una frequenza definita dalla tabella seguente (Tabella 8):

**Tabella 8: Elenco delle sezioni tipo per gallerie meccanizzate.**

Copertura	Numero di sezioni
≤ 15 m	1 ogni 10 m
> 15 m ≤ 30 m	1 ogni 20 m
> 30 m ≤ 40 m	1 ogni 40 m
> 40 m	1 ogni 200 m

Segue schema tipo della sezione strumentata



**Figura 12 – Sezione tipo per gallerie meccanizzate**

## 9 ZONE SENSIBILI

Dopo aver definito la tipologia ed il piano di monitoraggio superficiale ed esterno in condizioni standard, si individuano, nei seguenti paragrafi, le situazioni che risultano più sensibili e per questo necessitano un monitoraggio supplementare.

### 9.1 Galleria Caprazoppa – imbocco lato Genova

La galleria Caprazoppa nella zona di imbocco lato Genova converge nei pressi della galleria ferroviaria esistente; nelle varie fasi realizzative è previsto dapprima il completamento della realizzazione della galleria binario dispari, la successiva deviazione del traffico ferroviario nella galleria dispari, chiusura della fornice esistente con calcestruzzo magro per i primi 150 m a partire dall'imbocco (lato Genova), realizzazione della galleria pari ed infine attivazione del traffico ferroviario.

Nell'analisi delle fasi realizzative risulta necessario garantire particolare attenzione alla fase di realizzazione degli ultimi 150 m della galleria dispari, mentre nella galleria esistente il traffico ferroviario resta attivo.

Per garantire un ottimale controllo, il sistema è stato implementato nei seguenti punti:

- infittimento delle sezioni di monitoraggio superficiale: sono previste 7 sezioni di monitoraggio superficiale nei primi 90 m di sviluppo galleria a partire dall'imbocco lato Genova;
- maggior numero di strumentazione profonda installata: le sezioni dalla n. 3 alla n. 7 sono sezioni di monitoraggio di tipo B1 (anziché A1) per un incremento complessivo di 15 inclinometri e 10 assestimetri multibase;
- maggior frequenza nella lettura degli strumenti: durante la fase di realizzazione degli ultimi 150 m della galleria dispari, mentre nella galleria esistente il traffico ferroviario resta attivo, la frequenza di lettura degli strumenti è definita in 3 letture al giorno, fino allo stabilizzarsi dei fenomeni osservati
- eventuale videocontrollo della galleria esistente durante la realizzazione della galleria pari e l'esercizio del traffico ferroviario.

### 9.2 Galleria Croce – imbocco lato Genova

Un'altra zona sensibile risulta essere quella dell'imbocca lato Genova della galleria Croce; in tale zona la galleria sotto attraversa l'autostrada A10 Genova – Savona – Ventimiglia alla progressiva 77+737,83 .

Analizzando le fasi di realizzazione previste risulta importante monitorare in prima istanza l'opera provvisoria (paratia berlinese tirantata) prevista per la realizzazione dell'imbocco ed in secondo luogo il corpo del tracciato autostradale.

Nell'analisi delle fasi realizzative risulta necessario garantire particolare attenzione alla fase di realizzazione della berlinese.

Per garantire un ottimale controllo, il sistema è stato implementato nei seguenti punti:



RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
**PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA**

RELAZIONE TECNICA DI MONITORAGGIO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 RH	GN 00 00 002	A	39 di 51

- Monitoraggio della trave di testata mediante mire ottiche
- Monitoraggio della paratia berlinese mediante ulteriori 2 livelli di mire ottiche, installate alle quote intermedie di sbancamento;
- Monitoraggio del carico dei tiranti mediante l'installazione di n. 7 celle di carico toroidali (si veda elaborato di dettaglio)
- monitoraggio superficiale con 2 sezioni di tipo B1 installate a monte e a valle dell'autostrada per un totale di 30 capisaldi superficiali 6 inclinometri e 4 assestimetri;

### 9.3 Imbocchi

Nelle zone di imbocco, laddove durante le fasi realizzative sarà ritenuto più opportuno, andrà previsto il monitoraggio delle opere mediante installazione di mire ottiche: andrà un livello di mire per ciascuna fase di ribasso prevista.

La frequenza di lettura degli strumenti è definita in 1 lettura al giorno, fino allo stabilizzarsi dei fenomeni osservati.

## 10 RACCOLTA, TRASMISSIONE, ELABORAZIONE DEI DATI E GESTIONE DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO

### 10.1 Elaborazione dei dati

Le grandezze monitorate in seguito ad una opportuna elaborazione consentono le seguenti operazioni:

- eventuale adeguamento dei parametri di scavo della macchina (per scavo meccanizzato) o adeguamento della metodologia di scavo (per scavo tradizionale),
- calcolo dei valori di volume perso,
- calcolo dei rapporti di inflessione indotti sugli edifici ricadenti del bacino di subsidenza,
- attivazione delle fasi di attenzione e/o di allarme nel caso in cui i valori di volume perso e/o di rapporto di inflessione superino i rispettivi valori di soglia,
- verificare le ipotesi di calcolo assunte per il calcolo degli effetti indotti dallo scavo in termini di cedimenti, spostamenti, distorsioni indotte sugli edifici, variazioni del livello di falda, tensioni sui rivestimenti di prima fase e definitivi;
- verificare il rispetto dei termini contrattuali.

Il software impiegato dovrà fornire, previa elaborazione dati, in formato numerico e in forma di grafici cartesiani le seguenti grandezze:

- spostamenti verticali lungo le sezioni monitorate – grafico in Figura 3 (si veda il capitolo 6.1.2),
- volume perso – grafico in Figura 4 (si veda il capitolo 6.1.4),
- valore di k calcolato secondo la procedura descritta nel capitolo 6.2.2 e corrispondente grafico riportato in Figura 5
- spostamenti verticali lungo l’asse delle gallerie (si veda il capitolo 6.2),
- valori di volume perso correlati con i rispettivi valori di spostamento verticale in asse galleria,
- rapporto di inflessione – Figura 7 e Figura 8 (si veda il capitolo 6.3),
- spostamenti orizzontali, deformazioni per trazione e categorie di danno ottenute tramite “back analysis”,
- convergenze del cavo della galleria e al fronte (per scavo tradizionale);
- tensioni sui rivestimenti di prima fase e definitivi;

ed inoltre dovrà evidenziare il superamento (per i valori di volume perso e di rapporto di inflessione) dei valori di soglia corrispondenti alle condizioni di attenzione e/o allarme.



Tutti i grafici prodotti dovranno essere correlati alla sezione e/o al punto in asse rilevato, alla posizione dei fronti ed alla data del rilievo.

## 10.2 Gestione del sistema di monitoraggio

Per ottenere una corretta gestione del sistema di monitoraggio si prevede una struttura organizzativa delle attività costituita dalle seguenti unità:

- unità operativa,
- unità di supporto tecnico alla Direzione Lavori.

### 10.2.1 Unità operativa

L'unità operativa avrà il compito di:

- eseguire i rilievi e le misure in campo;
- effettuare l'elaborazione e restituzione dei dati;
- convalidare le misure e i dati acquisiti da punto di vista strumentale;
- trasmettere i dati alla Direzione Lavori e a utenti remoti;
- occuparsi della manutenzione ordinaria e straordinaria.

L'elaborazione (si veda il capitolo 6) dei dati e delle misure raccolti dovrà consistere nella generazione di rapporti in formato numerico e grafico in grado di consentire una immediata interpretazione ingegneristica dei dati.

### 10.2.2 Unità di supporto tecnico alla Direzione Lavori

L'unità di supporto tecnico avrà il compito di fornire l'interpretazione ingegneristica dei dati forniti dall'unità operativa.

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

- interpretazione geotecnica;
- analisi effetti su edifici;
- verifica metodologia di scavo;
- verifica ipotesi progettuali.

Le analisi dei dati sarà propedeutica per la valutazione e adozione delle azioni necessarie, a supporto della Direzione Lavori, al fine di garantire la corretta gestione e realizzazione dell'opera.

## 11 PIANO DELLE MISURE

### 11.1 Monitoraggio esterno

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.

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

Le grandezze rilevate nella serie che presenta una distanza del fronte rispetto alla 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 successive sessioni di rilievo è riportata nella Tabella 9.

**Tabella 9– Elenco delle serie di rilievi e letture**

Distanza del fronte dalla sezione di monitoraggio e/o dalla facciata dell'edificio	Frequenza dei rilievi	Tipologia di rilievo
$\geq -1.5 z$ e $\leq -0.5 z$	2 volte al giorno	Rilievo della posizione <i>altimetrica</i> dei punti di misura disposti lungo le sezioni di monitoraggio topografiche e totali.
$> -0.5 z$ e $\leq +z$	4 volte al giorno	
$> +z$ e $\leq +2.5z$	2 volte al giorno	Rilievo della posizione <i>altimetrica</i> dei punti di misura posti in corrispondenza dell'asse della galleria e a ridosso della sezione di monitoraggio in oggetto.  Rilievo della posizione <i>altimetrica</i> dei punti di misura posti lungo il tracciato in corrispondenza degli assi delle gallerie naturali.

Distanza del fronte dalla sezione di monitoraggio e/o dalla facciata dell'edificio	Frequenza dei rilievi	Tipologia di rilievo
$\geq -1.5 z$ e $\leq 2.5 z$	1 volta al giorno	<p>Sessione di raccolta dati attraverso la strumentazione installata in foro (estensimetri 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>
$\geq -1.5 z$ e $\leq 2.5 z$	2 volte al giorno	Rilievo della posizione <i>plano-altimetrica</i> dei punti di misura disposti sugli edifici da monitorare.
$> 2.5 z$	<p>1 volta alla settimana per il primo mese,</p> <p>1 volta al mese per i successivi tre mesi,</p> <p>1 volta ogni tre mesi fino a fine lavori.</p>	Tutte
Nel caso di superamento della soglia di attenzione	Secondo le indicazioni da parte della D.L.	Tutte

## 11.2 Monitoraggio interno

Nello scavo tradizionale i fenomeni deformativi e quelli tensionali andranno monitorati con frequenza che è funzione delle tipologie di sezioni tipo applicate e dei campi d'avanzamento previsti per le stesse.

Gli strumenti dovranno esser installati al raggiungimento di un nuovo campo di avanzamento.

Le frequenze di lettura sono definite nella seguente Tabella 10

**Tabella 10 – Frequenze di letture monitoraggio interno – scavo tradizionale**

Sezione tipo	Misure di convergenza		Estrusometro
	Frequenza sezioni	Frequenza misure	
A	1 ogni 20m	1 ogni 2 giorni	-
B	1 ogni campo	1 al giorno	-
C	1 ogni campo	1 al giorno	L=35m ogni 2 campi e 3 letture per ogni campo

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

Gli strumenti installati andranno in ogni caso monitorati fino alla stabilizzazione dei fenomeni osservati.

Nello scavo meccanizzato i fenomeni tensionali andranno monitorati a partire dal momento di pre-fabbricazione dei conci considerando quindi le operazioni di trasporto e di stoccaggio degli stessi. Con la messa in opera dei conci verrà eseguita una lettura rappresentativa delle tensioni accumulate dai conci nelle successive fasi.

La frequenza di lettura delle barrette è definita in funzione della distanza del fronte di scavo dalla sezione strumentata e definita nella seguente Tabella 11 (con  $z$  = distanza tra l'asse della galleria dal p.c.)

**Tabella 11 – Frequenze di letture monitoraggio interno – scavo meccanizzato**

Distanza del fronte dalla sezione di monitoraggio e/o dalla facciata dell'edificio	Frequenza dei rilievi
$\leq +z$	1 volte al giorno
$\leq +2z$	3 volte a settimana
$\leq +3z$	1 volta a settimana

Gli strumenti installati andranno in ogni caso monitorati fino alla stabilizzazione dei fenomeni osservati

## 12 ELABORATI GRAFICI

L'ubicazione della strumentazione è illustrata in dettaglio nelle tavole elencate in Tabella 12.

Le tavole riportano:

- gli schemi delle sezioni tipo di monitoraggio;
- la planimetria con l'ubicazione delle sezioni di monitoraggio lungo il tracciato e con indicazione degli edifici sottoposti a monitoraggio;
- il profilo con l'ubicazione delle sezioni di monitoraggio.

**Tabella 12: Elenco elaborati grafici.**

ELABORATO	Elaborato n.
IV0I00D07P6GN0000001A	Planimetria con sezioni di monitoraggio - Gallerie di linea 1/4
IV0I00D07P6GN0000002A	Planimetria con sezioni di monitoraggio - Gallerie di linea 2/4
IV0I00D07P6GN0000003A	Planimetria con sezioni di monitoraggio - Gallerie di linea 3/4
IV0I00D07P6GN0000004A	Planimetria con sezioni di monitoraggio - Gallerie di linea 4/4
IV0I00D07F7GN0000001A	Profilo con sezioni di monitoraggio - Gallerie di linea 1/4
IV0I00D07F7GN0000002A	Profilo con sezioni di monitoraggio - Gallerie di linea 2/4
IV0I00D07F7GN0000003A	Profilo con sezioni di monitoraggio - Gallerie di linea 3/4
IV0I00D07F7GN0000004A	Profilo con sezioni di monitoraggio - Gallerie di linea 4/4
IV0I00D07W9GN0000001A	Sezioni tipo di monitoraggio - Gallerie di linea 1/3
IV0I00D07W9GN0000002A	Sezioni tipo di monitoraggio - Gallerie di linea 2/3



RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
**PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA**

RELAZIONE TECNICA DI MONITORAGGIO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV0I	00	D 07 RH	GN 00 00 002	A	46 di 51

IV0I00D07W9GN0000003A

Sezioni tipo di monitoraggio - Gallerie  
di linea 3/3

## 13 ALLEGATI

### 13.1 Elenco sezioni di monitoraggio superficiale

GALLERIA	SEZIONE	TIPOLOGIA	COPERTURA
CAPRAZOPPA	1, 2	B2	Da 15 m a 30 m
CAPRAZOPPA	Dalla 3 e 7	B1	< 15m
CAPRAZOPPA	8	B2	Da 15 m a 30 m
CAPRAZOPPA	9	B1	< 15m
CAPRAZOPPA	10	A1	< 15m
CASTELLARI	1	A1	< 15m
CASTELLARI	2	B2	Da 15 m a 30 m
CASTELLARI	3, 4	A3	Da 30 m a 40 m
CASTELLARI	Dalla 5 e 8	A2	Da 15 m a 30 m
CASTELLARI	Dalla 9 e 15	A3	Da 30 m a 40 m
CASTELLARI	Dalla 16 e 19	A2	Da 15 m a 30 m
CASTELLARI	Dalla 20 e 26	A3	Da 30 m a 40 m
CASTELLARI	Dalla 27 e 32	A2	Da 15 m a 30 m
CASTELLARI	Dalla 33 e 36	A3	Da 30 m a 40 m
CASTELLARI	Dalla 37 e 39	A2	Da 15 m a 30 m
CASTELLARI	40	B2	Da 15 m a 30 m
CASTELLARI	Dalla 41 e 43	A2	Da 15 m a 30 m
CASTELLARI	44	B1	< 15m
CASTELLARI	Dalla 45 e 47	A1	< 15m
CASTELLARI	48	B1	< 15m

CASTELLARI	Dalla 49 e 51	A1	< 15m
CASTELLARI	52	B1	< 15m
CASTELLARI	Dalla 53 e 55	A1	< 15m
CASTELLARI	Dalla 56 e 64	A2	Da 15 m a 30 m
CASTELLARI	Dalla 65 e 73	A3	Da 30 m a 40 m
CASTELLARI	Dalla 74 alla 90	A2	Da 15 m a 30 m
CASTELLARI	Dalla 91 alla 118	(B1, 3 x A1) x 7	< 15m
CASTELLARI	119	B1	< 15m
CASTELLARI	120	A1	< 15m
CASTELLARI	121	A2	Da 15 m a 30 m
CASTELLARI	122	A1	< 15m
CASTELLARI	123	B1	< 15m
CASTELLARI	Dalla 124 alla 126	A1	< 15m
CASTELLARI	127	B1	< 15m
PINELAND	Dalla 1 alla 28	(3 x A1, B1) x 7	< 15m
PINELAND	Dalla 29 alla 31	A1	< 15m
CROCE	1, 2	B1	< 15m
CROCE	3	A2	Da 15 m a 30 m
CROCE	4	B2	Da 15 m a 30 m
CROCE	Dalla 5 alla 9	A3	Da 30 m a 40 m
CROCE	Dalla 10 alla 28	A2	Da 15 m a 30 m
CROCE	Dalla 10 alla 68	(B1, 3 x A1) x 10	< 15m
ALASSIO	1	A1	< 15m



ALASSIO	2	B1	< 15m
ALASSIO	3	A1	< 15m
ALASSIO	4	B1	< 15m
ALASSIO	5	A2	Da 15 m a 30 m
ALASSIO	6	A3	Da 30 m a 40 m
ALASSIO	7, 8	A2	Da 15 m a 30 m
ALASSIO	9	B2	Da 15 m a 30 m
ALASSIO	10, 11	A2	Da 15 m a 30 m
ALASSIO	12, 31	(3 x A1, B1) x 5	< 15m
ALASSIO	32	A1	< 15m
ALASSIO	33	A2	Da 15 m a 30 m
ALASSIO	Dalla 35 alla 36	A3	Da 30 m a 40 m
ALASSIO	Dalla 37 alla 39	A2	Da 15 m a 30 m
ALASSIO	Dalla 40 alla 59	(3 x A1, B1) x 5	< 15m
ALASSIO	60	A1	< 15m
ALASSIO	61	A2	Da 15 m a 30 m
ALASSIO	62	A3	Da 30 m a 40 m
ALASSIO	Dalla 63 alla 67	A2	Da 15 m a 30 m
ALASSIO	68	A3	Da 30 m a 40 m
ALASSIO	69	A3	Da 30 m a 40 m
ALASSIO	70, 71	A2	Da 15 m a 30 m
ALASSIO	72	A3	Da 30 m a 40 m
ALASSIO	Dalla 73 alla 80	A3	Da 30 m a 40 m

RELAZIONE TECNICA DI MONITORAGGIO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 RH	GN 00 00 002	A	50 di 51

ALASSIO	81	B2	Da 15 m a 30 m
ALASSIO	82	A2	Da 15 m a 30 m
ALASSIO	83	B1	< 15m
ALASSIO	Dalla 84 alla 86	A1	< 15m

In sintesi per ciascuna tipologia di sezione

GALLERIA	A1	A2	A3	B1	B2	B3
Caprazoppa	1	0	0	6	3	0
Castellari	36	47	29	13	2	0
Pineland	24	0	0	7	0	0
Croce	30	21	5	12	0	0
Alassio	37	18	16	12	3	0

### 13.2 Elenco sezioni di monitoraggio interno

Sulla base di quanto descritto nel capitolo 8, sono state applicate le sezioni interne del monitoraggio differenziandone la frequenza per gallerie in scavo meccanizzato e per gallerie in scavo tradizionale.

#### 13.2.1 Gallerie in scavo meccanizzato:

Applicando quanto descritto nel capitolo 8 segue una distribuzione delle sezioni per le varie gallerie come da tabella seguente:

monitoraggio interno - meccanizzato	
Galleria	n°sez
Caprazoppa	0
Montegrosso	0
Castellari	106
Pineland	0
Croce	80
Alassio	117

#### 13.2.2 Gallerie in scavo tradizionale:

Applicando quanto descritto nel capitolo 8 segue una distribuzione analoga a quella prevista per le sezioni tipo applicate, riassunta nella tabella seguente:

Monitoraggio interno - tradizionale			
Galleria	A	B	C
Caprazoppa	66	9	0
Montegrosso	22	7	2
Castellari	0	0	0
Pineland	0	0	6
Croce	0	0	0
Alassio	0	0	8