

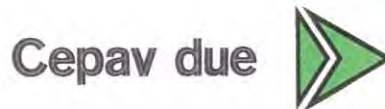
COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



**INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N. 443/01**

**LINEA A.V. /A.C. TORINO – VENEZIA      Tratta MILANO – VERONA**  
**Lotto funzionale Brescia-Verona**

**PROGETTO ESECUTIVO**

**GALLERIA NATURALE LONATO IMBOCCO LATO VERONA (GI05)**

**PK 120+772.00**

**Relazione monitoraggio opere all'aperto**

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE LAVORI
Consorzio <b>Cepav due</b> Consorzio Cepav due Il Direttore del Consorzio (Ing. T. Taranta) Data: <u>06 OTT 2018</u>	Valido per costruzione Data: _____

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TPODOC	OPERA/DISCIPLINA	PROGR	REV
I N O R	1 1	E	E 2	R O	G I 0 5 0 0	0 0 3	A

PROGETTAZIONE						IL PROGETTISTA	
Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Data	
A	Emissione	<i>Lucia</i>	22/09/18	<i>Merlino</i>	22/09/18	22/09/18	
B							
C							



CIG. 751447334A

File: INOR11EE2ROGIO500003A.doc

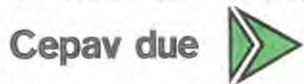


Progetto cofinanziato dalla Unione Europea

Stampato dal Service di plottaggio ITALFERR S.p.A. ALBA s.r.l.

CUP: F81H91000000008

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA

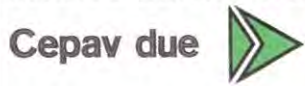


Doc. N.

Progetto  
INORLotto  
11Codifica Documento  
E E2 RO GI 050 0 003Rev.  
AFoglio  
2 di 24**INDICE**

1	INTRODUZIONE .....	4
1.1	OGGETTO E SCOPO .....	4
1.2	BREVE DESCRIZIONE DEL PROGETTO.....	4
2	ELABORATI DI RIFERIMENTO.....	5
3	NORMATIVE E SPECIFICHE DI RIFERIMENTO.....	7
3.1	NORMATIVE .....	7
3.2	SPECIFICHE TECNICHE DI RIFERIMENTO.....	7
4	GENERALITA' SUL SISTEMA DI MONITORAGGIO .....	8
5	DESCRIZIONE DELL'OPERA.....	10
6	MONITORAGGIO DELLE PARATIE .....	11
6.1	MISURE TOPOGRAFICHE .....	11
6.1.1	<i>Rapporto d'inflessione (<math>\Delta/L</math>) e distorsione angolare <math>\beta</math> tra due pilastri .....</i>	<i>12</i>
6.1.2	<i>Rilievo cedimenti S - procedura .....</i>	<i>13</i>
6.1.3	<i>Definizione della deformata dell'edificio e calcolo dei valori d'inflessione <math>\Delta</math>.....</i>	<i>13</i>
6.1.4	<i>Calcolo dei valori di rapporto di inflessione <math>\Delta/L</math>.....</i>	<i>14</i>
6.1.5	<i>Calcolo della distorsione angolare <math>\beta</math>.....</i>	<i>15</i>
6.2	CELLE DI CARICO TIRANTI.....	15
6.3	MISURE PIEZOMETRICHE .....	16
6.4	FREQUENZA DELLE MISURE.....	16
7	CARATTERISTICHE STRUMENTAZIONE.....	17
7.1	MIRE OTTICHE.....	17
7.2	CAPOSALDI TOPOGRAFICI .....	17
7.3	CELLE DI CARICO TOROIDALI .....	18
7.4	PIEZOMETRO A TUBO APERTO .....	18
8	VALORI DI ATTENZIONE E DI ALLARME DERIVANTI DALLE ANALISI NUMERICHE.....	20
9	SUPERAMENTO DEI VALORI DI SOGLIA .....	21
10.	RACCOLTA, TRASMISSIONE, ELABORAZIONE DEI DATI E GESTIONE DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO	21

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto  
INOR

Lotto  
11

Codifica Documento  
E E2 RO GI 050 0 003

Rev.  
A

Foglio  
3 di 24

10.1	ELABORAZIONE DEI DATI .....	21
10.2	GESTIONE DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO .....	22
10.2.1	Unità operativa.....	22
10.2.2	Unità di supporto tecnico alla Direzione Lavori.....	22
11	CONCLUSIONI .....	24



## 1 INTRODUZIONE

### 1.1 Oggetto e scopo

Nella presente relazione si descrive la strumentazione di monitoraggio che si rende necessaria per la realizzazione dell'imbocco lato Verona della galleria naturale Lonato per quanto riguarda il controllo del corretto funzionamento delle opere di contenimento delle terre previste nel progetto della linea A.V. – A.C. Torino – Venezia lungo la tratta Milano – Verona.

### 1.2 Breve descrizione del progetto

Nell'ambito del tracciato della linea ferroviaria Alta Velocità/ Alta Capacità Milano-Verona, la galleria Lonato, comprende la galleria naturale a doppia canna più lunga della tratta, con una lunghezza complessiva di circa 4.8 km. L'opera complessiva, compresa tra le progressive 114+535 e 122+250 riferite all'asse del binario pari, è suddivisa principalmente in sette parti d'opera distinte (WBS):

- TRINCEA DI APPROCCIO LONATO OVEST (TR04), corrispondente a una trincea di muri ad U, della lunghezza di 30 m, di approccio alla galleria artificiale ovest;
- IMBOCCO LONATO OVEST (GI03), corrispondente ad una paratia di pali tirantata e un consolidamento a tergo delle paratie di uscita della fresa;
- GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06), corrispondente ad una galleria artificiale di lunghezza complessiva pari a 1425 m, con un primo tratto monocanna, a doppio binario, con sezione scatolare, ed un secondo tratto a canne separate con sezione scatolare;
- GALLERIA NATURALE LONATO (GN02), corrispondente ad una galleria naturale a doppia canna a singolo binario, scavata in meccanizzato con lunghezze di 4782 m e 4748 m, tra le progressive 115+990 e 120+772;
- IMBOCCO LONATO EST (GI05), corrispondente ad una paratia di pali tirantata, un consolidamento a tergo delle paratie di uscita della fresa e delle opere di scavo del versante a tergo della paratia;
- GALLERIA ARTIFICIALE LONATO EST (GA07), corrispondente ad una galleria artificiale di lunghezza complessiva pari a 1356 m, con un primo tratto monocanna, a doppio binario, con sezione scatolare, ed un secondo tratto a canne separate con sezione scatolare;
- TRINCEA DI APPROCCIO LONATO EST (TR05), corrispondente a una trincea di muri ad U e una trincea a cielo aperto, della lunghezza di 121 m, di approccio alla galleria artificiale est;

Per quanto concerne l'opera principale costituita dalla galleria naturale, il cui scavo è previsto con l'impiego di una TBM del tipo EPB.

La Galleria Lonato è ubicata poco a sud dell'omonimo abitato di Lonato in adiacenza ad una zona industriale; il tracciato ferroviario interferisce dopo circa 350 m dal primo inizio (nel verso delle progressive crescenti) con l'Autostrada A4 Milano – Venezia, al di sotto della quale dovranno passare le due canne della galleria Lonato con una copertura, rispetto all'autostrada, di circa 10 m.

Il rivestimento della galleria sarà realizzato in conci prefabbricati, che fungono anche da rivestimento definitivo, posti in opera dalla macchina immediatamente dopo ogni fase di avanzamento, ad una ridotta distanza dal fronte.

## 2 ELABORATI DI RIFERIMENTO

Nel seguito si riporta l'elenco elaborati della del progetto esecutivo della WBS GI05.

GI05 - GALLERIA NATURALE LONATO IMBOCCO LATO VERONA PK 120+772.00											
CODICE										DESCRIZIONE	
INOR	11	E	E2	R	O	GI	05	0	0	001	GALLERIA NATURALE LONATO IMBOCCO LATO VERONA (GI05) - PK 120+772.00 - Relazione di confronto PD/PE
INOR	11	E	E2	R	O	GI	05	0	0	002	GALLERIA NATURALE LONATO IMBOCCO LATO VERONA (GI05) - PK 120+772.00 - Relazione generale
INOR	11	E	E2	C	L	GI	05	0	0	001	GALLERIA NATURALE LONATO IMBOCCO LATO VERONA (GI05) - PK 120+772.00 - Relazione di calcolo opere provvisionali
INOR	11	E	E2	C	L	GI	05	0	0	002	GALLERIA NATURALE LONATO IMBOCCO LATO VERONA (GI05) - PK 120+772.00 - Relazione di calcolo opere provvisionali - allegati numerici
INOR	11	E	E2	R	O	GI	05	0	0	003	GALLERIA NATURALE LONATO IMBOCCO LATO VERONA (GI05) - PK 120+772.00 - Relazione monitoraggio opere all'aperto
INOR	11	E	E2	P	9	GI	05	0	0	001	GALLERIA NATURALE LONATO IMBOCCO LATO VERONA (GI05) - PK 120+772.00 - Scavi - Interventi di consolidamento della zona d'imbocco
INOR	11	E	E2	P	9	GI	05	0	0	002	GALLERIA NATURALE LONATO IMBOCCO LATO VERONA (GI05) - PK 120+772.00 - Scavi - Planimetria
INOR	11	E	E2	F	9	GI	05	0	0	001	GALLERIA NATURALE LONATO IMBOCCO LATO VERONA (GI05) - PK 120+772.00 - Scavi - Profili longitudinali
INOR	11	E	E2	W	9	GI	05	0	0	001	GALLERIA NATURALE LONATO IMBOCCO LATO VERONA (GI05) - PK 120+772.00 - Scavi - Sezioni trasversali
INOR	11	E	E2	B	Z	GI	05	0	0	003	GALLERIA NATURALE LONATO IMBOCCO LATO VERONA (GI05) - PK 120+772.00 - Scavi - Planimetria, sezioni, armatura pista di cantiere
INOR	11	E	E2	P	9	GI	05	0	0	003	GALLERIA NATURALE LONATO IMBOCCO LATO VERONA (GI05) - PK 120+772.00 - Sviluppata paratia di imbocco tratte A, B, C
INOR	11	E	E2	P	9	GI	05	0	0	004	GALLERIA NATURALE LONATO IMBOCCO LATO VERONA (GI05) - PK 120+772.00 - Sviluppata paratia di imbocco tratte M, L, I1
INOR	11	E	E2	B	Z	GI	05	0	0	001	GALLERIA NATURALE LONATO IMBOCCO LATO VERONA (GI05) - PK 120+772.00 - Particolari costruttivi paratie
INOR	11	E	E2	B	Z	GI	05	0	0	004	GALLERIA NATURALE LONATO IMBOCCO LATO VERONA (GI05) - PK 120+772.00 - Armatura pali paratie (Tav. 1/2)
INOR	11	E	E2	B	Z	GI	05	0	0	005	GALLERIA NATURALE LONATO IMBOCCO LATO VERONA (GI05) - PK 120+772.00 - Armatura pali paratie (Tav. 2/2)
INOR	11	E	E2	P	Z	GI	05	0	0	001	GALLERIA NATURALE LONATO IMBOCCO LATO VERONA (GI05) - PK 120+772.00 - Planimetria e sezioni monitoraggio paratie e scavi
INOR	11	E	E2	P	9	GI	05	0	0	005	GALLERIA NATURALE LONATO IMBOCCO LATO VERONA (GI05) - PK 120+772.00 - Sistemazione Definitiva - Planimetria
INOR	11	E	E2	F	9	GI	05	0	0	002	GALLERIA NATURALE LONATO IMBOCCO LATO VERONA (GI05) - PK 120+772.00 - Sistemazione Definitiva - Profili longitudinali
INOR	11	E	E2	W	9	GI	05	0	0	002	GALLERIA NATURALE LONATO IMBOCCO LATO VERONA (GI05) - PK 120+772.00 - Sistemazione Definitiva - Sezioni trasversali
INOR	11	E	E2	4	T	GI	05	0	0	001	GALLERIA NATURALE LONATO IMBOCCO LATO VERONA (GI05) - PK 120+772.00 - Tabella materiali
INOR	11	E	E2	B	Z	GI	05	0	0	002	GALLERIA NATURALE LONATO IMBOCCO LATO VERONA (GI05) - PK 120+772.00 - Scavi - Protezione sbancamenti - Sezioni e particolari
INOR	11	E	E2	B	B	GI	05	0	0	001	GALLERIA NATURALE LONATO IMBOCCO LATO VERONA (GI05) - PK 120+772.00 - Dima di imbocco e solettone di spinta - Carpenteria 1/2
INOR	11	E	E2	B	B	GI	05	0	0	002	GALLERIA NATURALE LONATO IMBOCCO LATO VERONA (GI05) - PK 120+772.00 - Dima di imbocco e solettone di spinta - Carpenteria 2/2
INOR	11	E	E2	B	Z	GI	05	0	0	006	GALLERIA NATURALE LONATO IMBOCCO LATO VERONA (GI05) - PK 120+772.00 - Dima di imbocco e solettone di spinta - Armatura 1/3
INOR	11	E	E2	B	Z	GI	05	0	0	007	GALLERIA NATURALE LONATO IMBOCCO LATO VERONA (GI05) - PK 120+772.00 - Dima di imbocco e solettone di spinta - Armatura 2/3
INOR	11	E	E2	B	Z	GI	05	0	0	009	GALLERIA NATURALE LONATO IMBOCCO LATO VERONA (GI05) - PK 120+772.00 -



### 3 NORMATIVE E SPECIFICHE DI RIFERIMENTO

#### 3.1 Normative

Il quadro normativo alla base della presente revisione progettuale viene nel seguito riportato:

- **D. M. Infrastrutture 14 gennaio 2008 (NTC 2008)** "Nuove Norme tecniche per le costruzioni"
- **CIRCOLARE 2 febbraio 2009, n. 617** "Istruzione per l'applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008"
- **Legge 05.11.1971 n. 1086** "Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica"
- **UNI EN 1992-1-1 novembre 2005 (EC2)** "Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 1: Regole generali e regole per edifici"
- **UNI EN 1998-5 gennaio 2005 (EC8)** "Progettazione delle strutture per la resistenza sismica– Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici"
- **Regolamento U.E. nr. 1299/2014 della commissione del 18 novembre 2014** relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema «infrastruttura» del sistema ferroviario dell'Unione europea. Pubblicato su Gazzetta Ufficiale anno 156° n°10 del 5 febbraio 2015.
- **Regolamento U.E. nr. 1303/2014 della commissione del 18 novembre 2014** relativo alla specifica tecnica di interoperabilità concernente la «sicurezza nelle gallerie ferroviarie» del sistema ferroviario dell'Unione europea (*norma STI*)
- **AICAP-AGI (2012). Ancoraggi nei terreni e nelle rocce.** Raccomandazioni

#### 3.2 Specifiche Tecniche di Riferimento

La presente revisione progettuale, fa riferimento al nuovo Manuale di Progettazione RFI.

- Manuale di Progettazione delle Opere Civili. Parte II – Sezione 4 – Gallerie (RFI DTC SI GA MA IFS 001 A). Emissione 30/12/2016;
- Manuale di Progettazione delle Opere Civili. Parte II – Sezione 3 – Corpo Stradale (RFI DTC SI CS MA IFS 001 A). Emissione 30/12/2016;
- Manuale di Progettazione delle Opere Civili. Parte II – Sezione 6 – Sagome e Profilo minimo degli ostacoli (RFI DTC SI CS MA IFS 003 A). Emissione 30/12/2016;
- Manuale di Progettazione delle Opere Civili. Parte II – Sezione 2 – Ponti e strutture (RFI DTC SI PS MA IFS 001 A). Emissione 30/12/2016;
- Specifica funzionale per il sistema di protezione e controllo accessi delle Gallerie Ferroviarie (RFI DPO PA LG A). Emissione 5/5/2008

#### 4 GENERALITA' SUL SISTEMA DI MONITORAGGIO

Nel presente documento si espongono i criteri progettuali per l'allestimento e la messa in esercizio del sistema di monitoraggio strutturale dell'imbocco della galleria naturale Lonato (GI05), per i tratti che vanno dall'imbocco fino alla pk 121+812 BP e 6+671 BD. Le opere provvisorie oltre queste progressive sono parte della WBS GA07.

I terreni di fondazione sono caratterizzati da buone caratteristiche meccaniche, e le principali problematiche sono connesse con la realizzazione delle paratie in corrispondenza dell'Azienda Serraglio.

Le paratie dall'imbocco si estendono dal km 120+772 BP al km 120+980 BP, hanno un'altezza massima di 31 m (compresa la trave di testa). I pali risultano trivellati con diametro  $D=1200$  mm e interasse  $i = 1.4$  m. Sono presenti uno, due o tre ordini di tiranti in funzione dell'altezza di scavo. E' presente un ordine di tiranti a 3, 4 o 5 trefoli, posti ad interasse di 1.4/2.8 m.

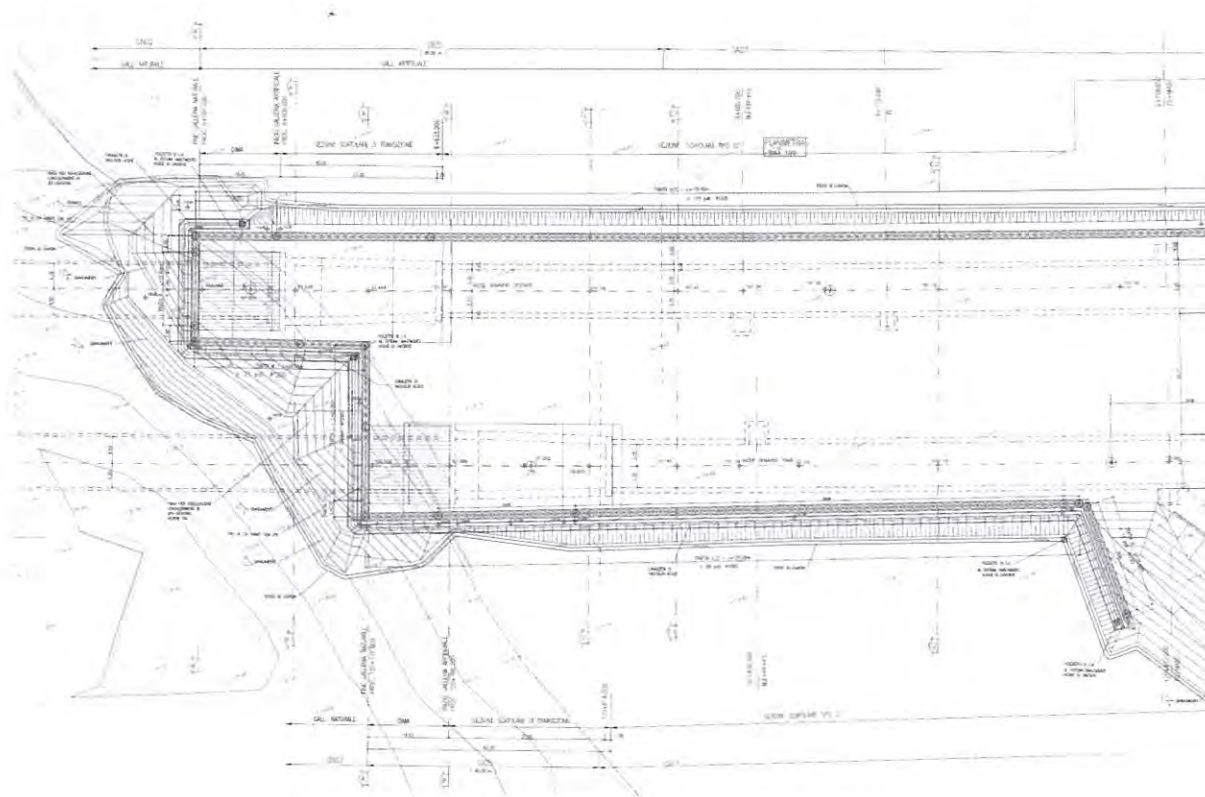


Figura 4.1 – Planimetria delle paratie di imbocco

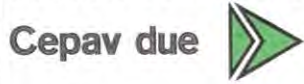
I principali obiettivi progettuali sono quelli di consentire l'esecuzione degli scavi in assoluta sicurezza con minimizzazione delle perturbazioni nell'intorno; ovvero di non arrecare alcun danneggiamento agli edifici ed infrastrutture poste nell'intorno dell'opera.

Il progetto delle strutture di sostegno è quindi mirato a ridurre le deformazioni orizzontali e quindi quelle verticali indotte, a valori del tutto trascurabili, compatibili con la tolleranza delle strutture e delle infrastrutture circostanti.

A tal fine è previsto un apposito sistema di monitoraggio finalizzato alla verifica sperimentale, in corso d'opera, delle ipotesi progettuali.



GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto  
INOR

Lotto  
11

Codifica Documento  
E E2 RO GI 050 0 003

Rev.  
A

Foglio  
9 di 24

Nella presente Relazione Tecnica viene descritto il sistema di monitoraggio delle strutture di perimetrazione e delle zone retrostanti, individuandone le caratteristiche e la cadenza delle misure contestualmente alle fasi esecutive.

## 5 DESCRIZIONE DELL'OPERA

Per la realizzazione delle opere all'imbocco della galleria naturale Lonato si rende necessaria la realizzazione di una struttura di sostegno provvisoria, con funzione di contenimento scavi in fase di realizzazione delle opere.

Le paratie previste saranno realizzate con pali trivellati di diametro  $D = 1200$  mm, interasse longitudinale  $i = 1.4$  m, solidarizzati in testa mediante una trave di collegamento in c.a.  $1.40$  m x  $1.0$  m (base x altezza). La posizione della falda durante le fasi di scavo è stata valutata di poco al di sotto del piano di scavo di valle, sulla base delle informazioni disponibili e pertanto è stata supposta a quota fondo scavo a favore di sicurezza.

Le tipologie di sezioni previste, riportate in figura successive, sono:

- paratia ancorata con tre file di tiranti attivi, pali  $L_{max} = 30$  m ed altezze massime di scavo pari a  $22$  m
- paratia ancorata con due file di tiranti attivi, pali  $L_{max} = 27$  m ed altezze massime di scavo pari a  $20$  m
- paratia ancorata con una fila di tiranti attivi, pali  $L_{max} = 19$  m ed altezze massime di scavo pari a  $13$  m

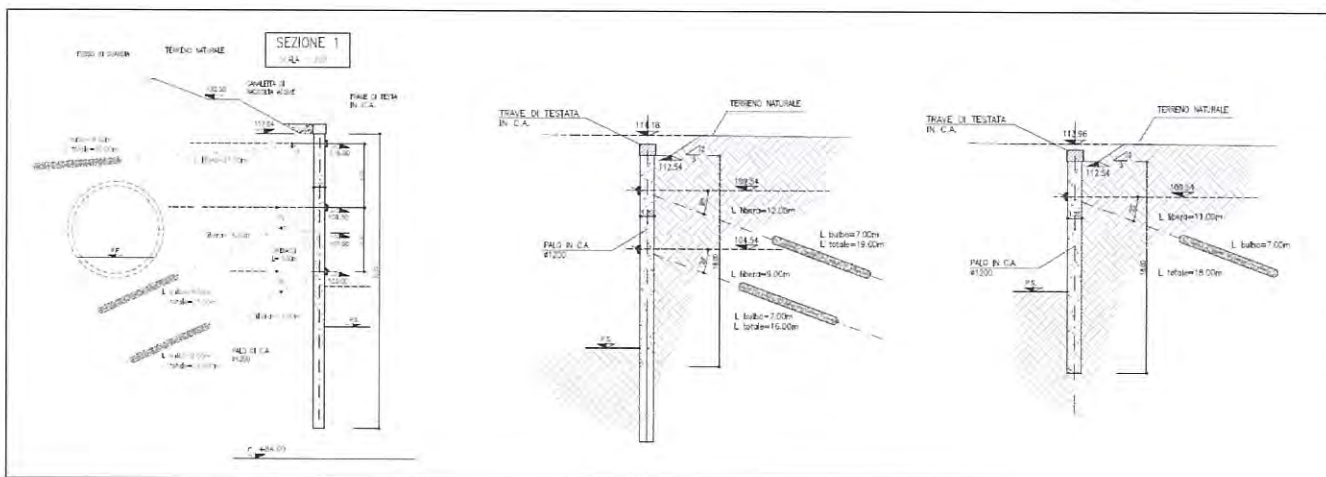


Figura 1: Sezione tipo con 2 ordini di tiranti (a sinistra) e con 1 ordine di tiranti (a destra)

## 6 MONITORAGGIO DELLE PARATIE

Il monitoraggio delle paratie (pali affiancati  $D=1200$  mm,  $i=1.4$  m) avviene mediante misurazione degli spostamenti esterni e profondi nel terreno, misure della falda e del tiro nei tiranti.

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

Il sistema di monitoraggio previsto 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.

Complessivamente si prevede l'allestimento della seguente strumentazione.

- Paratie di imbocco:
  - o mire topografiche sul cordolo delle paratie 1 ogni 20 m;
  - o mire topografiche sulle travi di ripartizione dei tiranti 1 ogni 80 m;
  - o celle di carico sui tiranti in corrispondenza delle zone di imbocco;
  - o capisaldi topografici su terreno sul ciglio della scarpata di imbocco.
  - o Piezometri nei fori di sondaggio disponibili nell'area.

### 6.1 Misure topografiche

Gli spostamenti vengono rilevati mediante battute ottiche su apposite mire topografiche installate sulla trave di coronamento e sulla trave di ripartizione.

Le mire ottiche sul cordolo si posizionano ad interasse longitudinale di 20 m e 80 m sulla trave di ripartizione.

Le mire devono garantire la stabilità geometrica per un periodo dell'ordine di 2 anni. Le battute topografiche dovranno essere fatte con la precisione del decimo di millimetro.

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. La misura al livello dei tiranti si effettua immediatamente dopo l'installazione degli stessi. 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	frequenza lettura *
mire ottiche paratie	• 1 lettura / 2 settimane durante l'esecuzione della paratia;
capisaldi topografici per livellazione edificio	• 1 lettura/giorno negli scavi;
mire ottiche per controllo topografico edificio	• 1 lettura/settimana fino a ritombamento.
* in presenza di misurazioni anomale, le frequenze andranno opportunamente incrementate	

**Tabella 6.1 – frequenze misure topografiche paratie**



### 6.1.1 Rapporto d'inflessione ( $\Delta/L$ ) e distorsione angolare $\beta$ tra due pilastri

Il rapporto d'inflessione  $\Delta/L$  è la massima distanza misurata tra la configurazione rigida dell'edificio e la sua deformata, diviso per la lunghezza dell'edificio, o della porzione di edificio, interessata dai cedimenti.

La distorsione  $\beta$  è il 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.

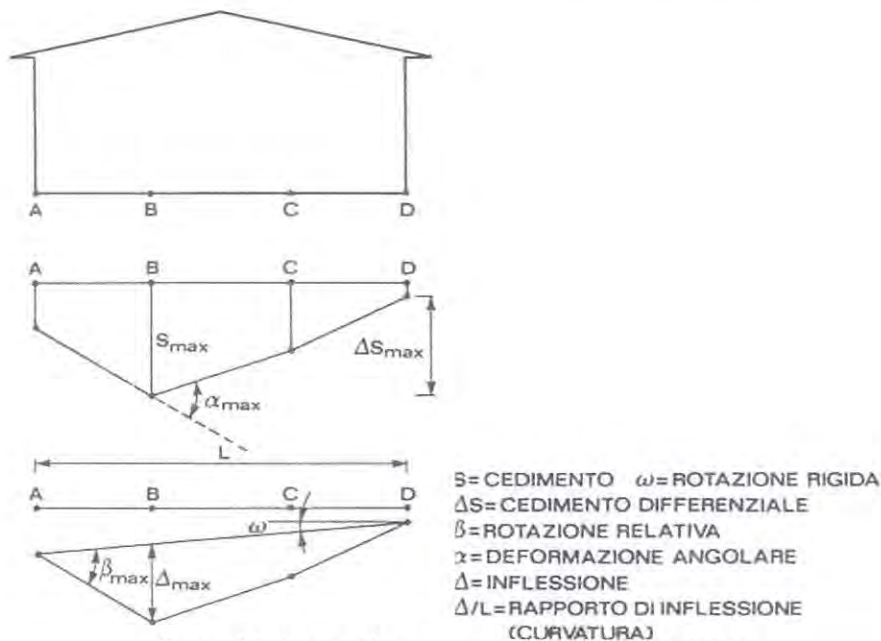


Figura 6.1: Piano di rappresentazione cedimenti del p.c.

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 gli abbassamenti del terreno indotti dagli scavi possono 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.

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

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

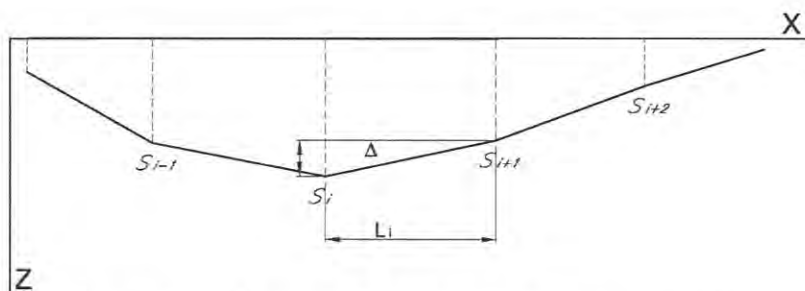


Figura 6.2: Schema per il calcolo della distorsione angolare

La procedura di calcolo dei valori di rapporto d'inflessione e distorsione angolare è la seguente:

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

### 6.1.2 Rilievo cedimenti $S$ - procedura

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

### 6.1.3 Definizione della deformata dell'edificio e calcolo dei valori d'inflessione $\Delta$

- Rappresentazione su un piano cartesiano dei punti corrispondenti a i 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).

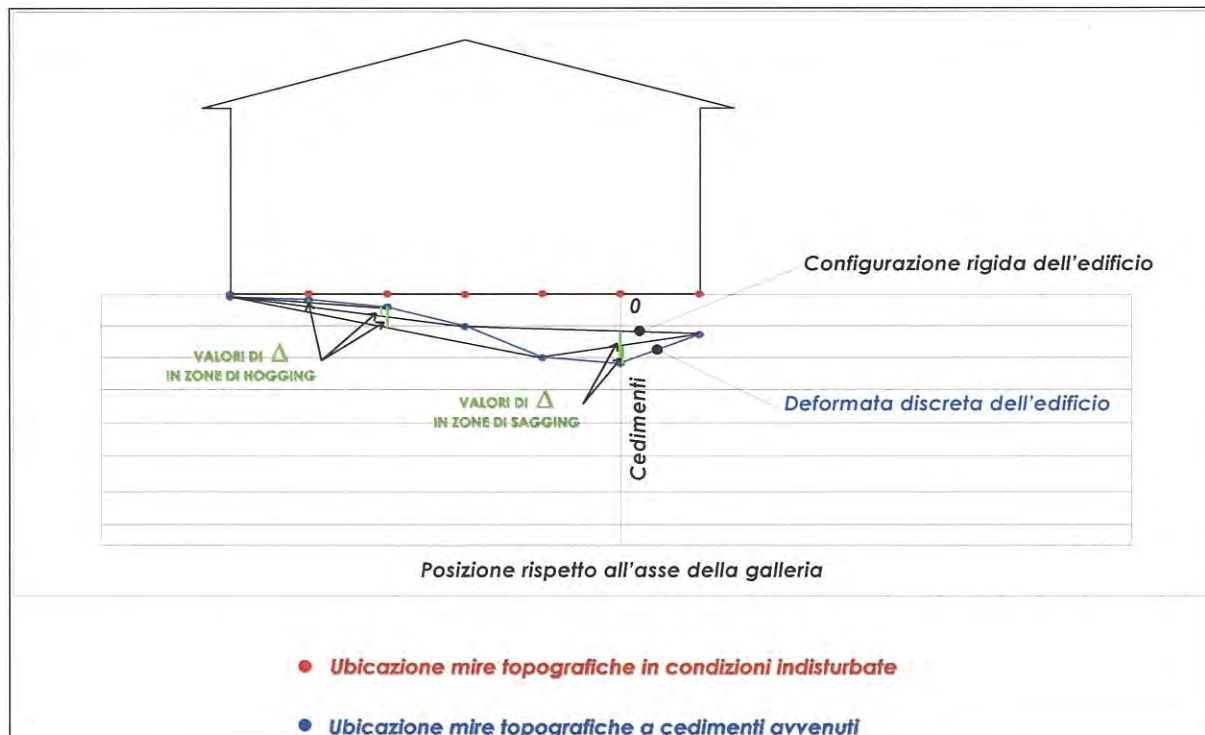


Figura 6.3: Piano di rappresentazione cedimenti dell'edificio

#### 6.1.4 Calcolo dei valori di rapporto di inflessione $\Delta/L$

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:

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

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

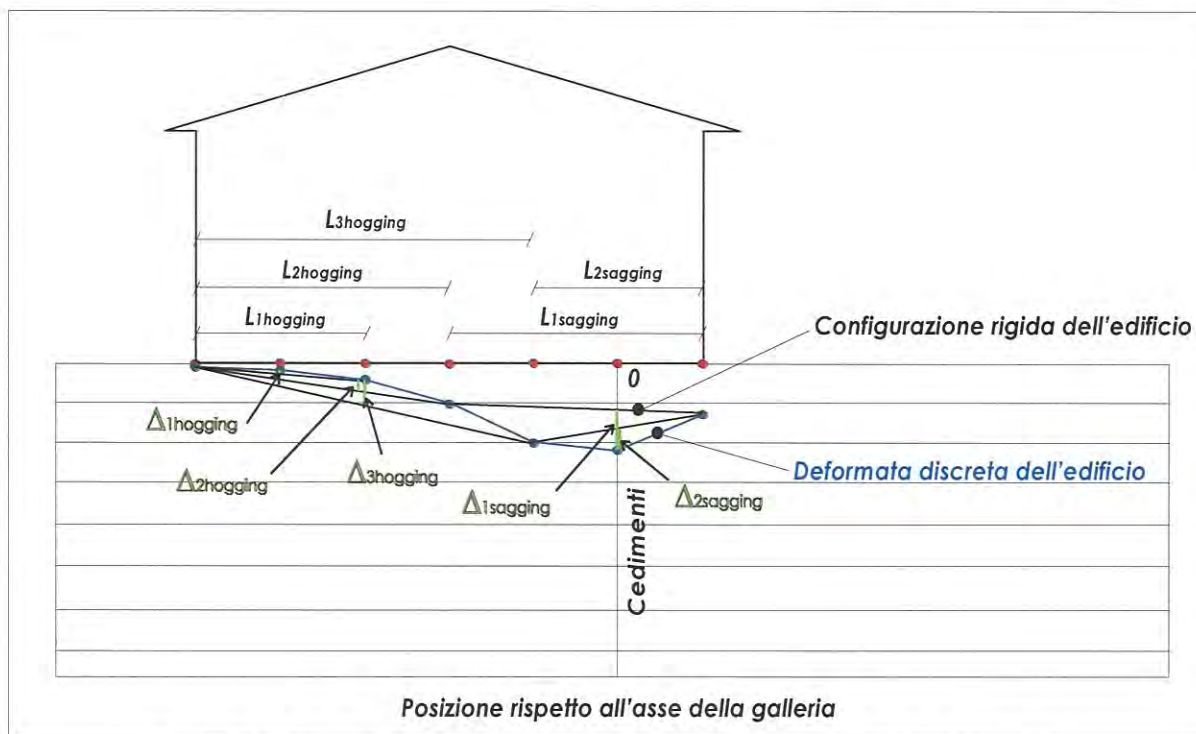


Figura 6.4: Valori di inflessione D e della corrispondente porzione di edificio L

### 6.1.5 Calcolo della 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, come precedentemente esposto:

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

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:

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

## 6.2 Celle di carico tiranti

Si posizionano celle di carico, poste sui tiranti, per misurare nel tempo il tiro effettivo a cui sono soggetti i tiranti, posizionati con l'interdistanza precedentemente definita.

Le testate dove si prevederanno tali celle di misura dovranno essere accuratamente protette e sigillate per evitare il degrado dovuto agli agenti atmosferici.

strumento	frequenza lettura *
celle di carico paratie imbocchi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 lettura/giorno negli scavi per il primo mese;</li> <li>• 2-3 letture/settimana negli scavi per i successivi 2-3 mesi;</li> <li>• 1 lettura/settimana fino a fine lavori.</li> </ul>
* in presenza di misurazioni anomale, le frequenze andranno opportunamente incrementate	

**Tabella 6.2 –frequenze misure celle di carico tiranti**

### 6.3 Misure piezometriche

Al fine di monitorare l'evoluzione delle condizioni idrauliche al contorno si prevede la misurazione delle quote di falda nei piezometri a tubo aperto, ubicati nei sondaggi in prossimità delle paratie.

Dove gli scavi andranno ad intercettare la superficie piezometrica dovranno essere eseguite misure della portata di emungimento a fondo scavo; contestualmente dovranno essere effettuati controlli del livello piezometrico all'esterno dello scavo.

strumento	frequenza lettura *
piezometri	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 lettura / 2 settimane durante l'esecuzione della paratia;</li> <li>• 1 lettura/settimana negli scavi;</li> <li>• 1 lettura/mese fino a ritombamento.</li> </ul>
* in presenza di misurazioni anomale, le frequenze andranno opportunamente incrementate	

**Tabella 6.3 –frequenze misure piezometriche paratie**

### 6.4 Frequenza delle misure

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

Le letture degli strumenti topografici risultano giornaliere durante gli scavi e settimanali successivamente, fino a ritombamento. Per gli strumenti in foro si prevedono letture settimanali durante gli scavi e mensili con gli scavi aperti e fino a ritombamento. Le frequenze andranno opportunamente incrementate in presenza di misurazioni anomale.

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.



## 7 CARATTERISTICHE STRUMENTAZIONE

### 7.1 Mire ottiche

Le mire ottiche per il monitoraggio dovranno essere dei target riflettenti con croce di mira delle dimensioni minime di 50x50 mm. I target potranno essere montati su un supporto plastico ancorato alla struttura mediante un tassello o barra metallica filettata inghisata, oppure potranno essere di tipo adesivo ed applicati direttamente sulla struttura da monitorare.

Le misure dovranno essere eseguite con stazioni totali automatiche con precisione delle letture angolari a norma ISO 17123-3 di 1.5 cc e precisione di misura delle distanze a norma ISO 17123-4 di 1 mm + 1 ppm, e provviste di regolare certificato di calibrazione.



Figura 7.1 – Esempio di target topografico riflettente su supporto in plastica.

Le mire ottiche dovranno essere installate prima dell'esecuzione dei relativi scavi da monitorare e dovrà essere eseguita una lettura di zero subito dopo l'installazione. Sui fabbricati da monitorare l'installazione delle mire dovrà essere effettuata prima dell'inizio dei lavori e in concomitanza con l'esecuzione dello stato di consistenza del fabbricato stesso, mentre sulle opere di contenimento le mire dovranno essere installate una volta ultimata la parte di struttura sulla quale devono essere posizionate, prima dell'ulteriore approfondimento degli scavi. Le misure effettuate dovranno partire dai punti fissi della rete topografica utilizzata per il tracciamento delle opere da realizzare, e la posizione misurata dovrà essere nel medesimo sistema di riferimento.

### 7.2 Caposaldi topografici

I caposaldi topografici per il monitoraggio dovranno essere costituiti da una vite in acciaio inox, con testa sferica del diametro di 10 mm e della lunghezza di 400 mm, o prolungata tramite una barra metallica filettata, inserita all'interno di un foro del diametro di 100 mm e profondità di 400 mm riempito con boiaccia cementizia. Sulla testa della vite dovrà essere presente un'apposita scalfittura per le operazioni di misurazione. In Figura 7.2 è riportato uno schema dei caposaldi topografici.

Le misure dovranno essere eseguite con strumentazione avente le caratteristiche del punto precedente ed utilizzando una palina topografica dotata di miniprisma, o posizionando dei cavalletti topografici sui punti di lettura.

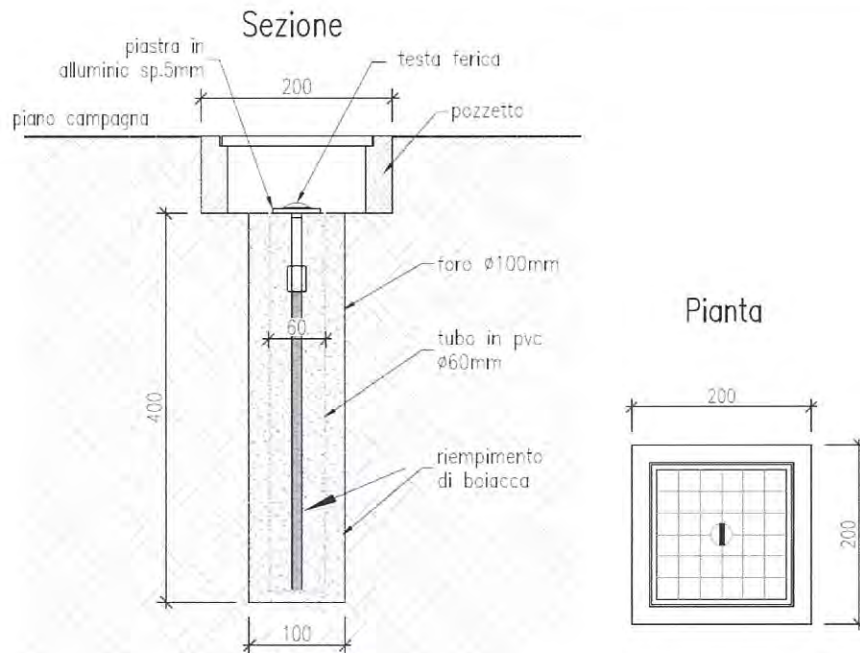


Figura 7.2 – Caposaldi topografici per il monitoraggio.

I caposaldi topografici e la relativa lettura di zero dovranno essere realizzati prima dell'inizio degli scavi da monitorare. La lettura di zero dovrà essere effettuata trascorse almeno 24 ore dalla realizzazione del caposaldo, in modo da escludere eventuali assestamenti. Le misure effettuate dovranno partire dai punti fissi della rete topografica utilizzata per il tracciamento delle opere da realizzare, e la posizione misurata dovrà essere nel medesimo sistema di riferimento.

### 7.3 Celle di carico toroidali

Le celle di carico per il monitoraggio della forza nei tiranti dovranno essere posizionate in testa ai tiranti, tra una piastra di appoggio e la piastra di distribuzione del carico del tirante. Le celle dovranno essere elettriche con trasduttore di tipo resistivo, dovranno avere un fondo scala di 2500 kN e una sensibilità di almeno 0.06 % del fondo scala. Le celle di carico dovranno essere leggibili manualmente con apposita strumentazione di lettura. La lettura di zero dovrà essere eseguita successivamente all'installazione del tirante, prima dell'esecuzione di ulteriori lavorazioni.

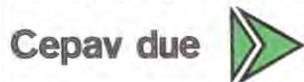
### 7.4 Piezometro a tubo aperto

Il piezometro a tubo aperto sarà posizionato appena a tergo delle paratie per il controllo del livello della falda e sarà costituito da:

- una cella filtrante (o tubi fessurati ricoperti di tessuto non tessuto);
- tubi lunghi 3m;
- manicotti;
- chiusino di protezione.

Il foro di sondaggio viene riempito attorno al tubo con sabbia e/o ghiaietto in modo da permettere l'ingresso dell'acqua nel tubo attraverso il filtro.

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto  
INOR

Lotto  
11

Codifica Documento  
E E2 RO GI 050 0 003

Rev.  
A

Foglio  
19 di 24

L'installazione è prevista in un foro di perforazione realizzato mediante sondaggio a carotaggio continuo o a distruzione. Si consiglia sempre la stabilizzazione delle pareti con una tubazione di rivestimento provvisoria, di diametro interno non inferiore a 85mm, mentre è da evitare l'utilizzo di fanghi. Per la stabilizzazione del fondo foro, in assenza di falde artesiane, si dovrà mantenere il livello dell'acqua dentro la perforazione un poco al di sopra del livello piezometrico nel terreno.

L'installazione dei piezometri e la relativa lettura di zero devono essere effettuati prima dell'inizio dei lavori di scavo da monitorare. La lettura di zero dovrà essere effettuata trascorse almeno 24 ore dalla completa realizzazione del piezometro, in modo da escludere eventuali assestamenti.

## 8 VALORI DI ATTENZIONE E DI ALLARME DERIVANTI DALLE ANALISI NUMERICHE

Si riportano di seguito i valori di attenzione e di allarme sulla base delle analisi numeriche svolte nella relazione di calcolo delle paratie della GI05.

Per le opere provvisorie che non interessano gli edifici dell'Azienda Serraglio, sulla base delle risultanze delle analisi numeriche si stabiliscono le seguenti soglie per le diverse strumentazioni adottate.

- Mire ottiche

Spostamento [cm]		
Valore atteso	Soglia attenzione	Soglia di allarme
< 2,6	2,6	3,1

Tabella 8.1 – Valori di soglia di spostamento

- Celle di carico sui tiranti

	Ordine	Tiro [kN]	
		Soglia attenzione	Soglia di allarme
Tratta A-L1	I	400,3	520,4
Tratta B	I	557,0	730,3
	II	558,1	730,5
Tratta C	I	481,2	629,2
Tratta I1	I	692,8	900,7
	II	699,8	909,7
Tratta I2	I	489,5	639,5
Tratta L2	I	552,0	717,7
Tratta M2	I	652,9	848,7
	II	612,0	795,6
	III	670,8	872,1
Tratta M1	I	531,0	690,3
	II	522,8	679,7

Tabella 8.2 - Valori di soglia nei tiranti

- Piezometri

Quota falda [m.s.l.m]		
Valore atteso	Soglia attenzione	Soglia di allarme
< quota fondo scavo	Falda a quota fondo scavo	Falda a +1m da quota fondo scavo

**Tabella 8.3 - Valori di soglia nei piezometri**

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.

## 9 SUPERAMENTO DEI VALORI DI SOGLIA

In caso di superamento delle soglie di attenzione da parte di uno o più strumenti di monitoraggio, la frequenza delle letture andrà incrementata per poter rilevarne l'evoluzione nel tempo e confermare il dato misurato. Potrà inoltre venire installata della strumentazione aggiuntiva per una miglior definizione del fenomeno.

In caso l'evoluzione dei valori misurati tenda ai valori definiti dalle soglie di allarme, le operazioni di scavo dovranno essere interrotte e si dovrà continuare il monitoraggio finché non verranno definiti gli interventi aggiuntivi da eseguire.

Qualora vengano invece raggiunti i valori di soglia di allarme da parte di uno o più strumenti di monitoraggio, le misure dovranno essere ripetute e bisognerà confermarne l'attendibilità. In seguito alla conferma dei valori misurati gli scavi dovranno essere immediatamente interrotti e si dovrà procedere al ritombamento degli stessi ed alla successiva progettazione di un intervento integrativo per il ripristino degli standard di sicurezza.

## 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:

- 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;

Pertanto i dati ottenuti dalle operazioni di monitoraggio devono essere registrati sia su supporto magnetico (in formato leggibile, es.: \*.dat) sia cartaceo e gestiti, per una corretta elaborazione, mediante un software adeguato.

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,
- rapporto di inflessione
- 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.

## 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 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 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. I dati forniti dovranno essere convalidati dal punto di vista strumentale da parte dell'unità operativa.

La struttura fornirà inoltre informazioni, grafici o tabelle a differenti livelli di dettaglio inerenti il sistema di monitoraggio a utenti remoti, secondo modalità operative che verranno definite e concordate con i progettisti dell'opera.

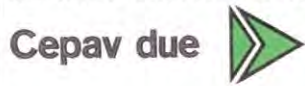
### 10.2.2 Unità di supporto tecnico alla Direzione Lavori

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;

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto  
INOR

Lotto  
11

Codifica Documento  
E E2 RO GI 050 0 003

Rev.  
A

Foglio  
23 di 24

- verifica metodologia di scavo;
- verifica ipotesi progettuali.
- Le analisi dei data 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 CONCLUSIONI

Il sistema di monitoraggio da prevedere per la realizzazione della galleria artificiale Lonato Est è strutturato per controllare il comportamento delle paratia negli scavi di sbancamento e per la misura degli spostamenti sugli edifici adiacenti.

Il piano delle misure è costituito da:

- Misure di deformazione orizzontale dei pali alla quota del tirante con mire ottiche;
- Misure di deformazione dei pali alla quota di sommità con mire ottiche sul cordolo;
- Misure della falda con piezometri a tubo aperto nei fori di sondaggio in prossimità dell'imbocco;
- Controllo del tiro nei tiranti sulle paratie di imbocco con celle di carico;
- Misura degli spostamenti sugli edifici interferenti con capisaldi topografici da livellazione al piano campagna e mire ottiche al primo piano;

Il monitoraggio si compone della strumentazione a presidio degli scavi per la realizzazione delle opere all'aperto. Il monitoraggio si attua in corso d'opera, in concomitanza con gli scavi e fino a ritombamento. I valori attesi di spostamento derivano dai calcoli di dimensionamento, mentre le azioni correttive consistono nella definizione di più accelerate frequenze di lettura, variazioni nella sequenza di scavo, nell'incremento dei consolidamenti e dei supporti sulle paratie, nell'abbassamento dei livelli di falda.