



FERROVIE EMILIA ROMAGNA

Linea SFM2 Bologna-Portomaggiore: adeguamento della progettazione definitiva e coordinamento per sicurezza in fase di progettazione per la realizzazione del completamento dell'interramento della tratta urbana di Bologna della Linea SFM2 Bologna-Portomaggiore e Redazione del Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica relativo al raddoppio del binario tra la fermata di Bologna-Via Larga e la stazione di Budrio (CIG 754332765C).

PROGETTO DEFINITIVO



OPERE DI PRESIDIO E MONITORAGGIO

SISTEMA DI MONITORAGGIO

RELAZIONE TECNICA

CARTELLA N° 6.1

FER_BP_D_T0 MOP_GEN_R_002_0

DATA	CODICE RELAZIONE		REV.
31/10/2019	FER BP D T0	MOP GEN R002	0

AGGIORNAMENTI						
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO	VISTO
0	Emissione finale	31/10/2019	M. Tondi	D. Fratti	A. Frascari	V. Floria

<u>Responsabile del progetto e dell'integrazione fra le prestazioni specialistiche:</u> <p align="center">Ing. Vincenza Floria Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino, n. 8042 (Firmato digitalmente)</p>	<u>Il Progettista:</u> <p align="center">Ing. Alessandro Frascari Ordine degli Ingegneri della Provincia di Bologna, n. 7115A (Firmato digitalmente)</p>	<u>Il Responsabile Unico del Procedimento:</u> <p align="center">Ing. Fabrizio Maccari (Firmato digitalmente)</p>
---	--	---

INDICE

1	INTRODUZIONE	3
2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	4
2.1	Documenti del progetto di riferimento	4
2.2	Elaborati grafici associati alla presente relazione tecnica.....	4
3	DEFINIZIONE DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO.....	5
3.1	Requisiti del sistema di monitoraggio	5
3.2	Definizione dei parametri di controllo	6
3.3	Sistemi di monitoraggio per gli edifici	6
3.4	Definizione valori di soglia	8
4	MONITORAGGIO EDIFICI E MANUFATTI	10
4.1	Monitoraggio edifici tipo 1	10
4.2	Monitoraggio edifici tipo 2.....	12
5	MONITORAGGIO DELLE OPERE DI SCAVO.....	13
5.1	Monitoraggio galleria	13
5.2	Monitoraggio degli scavi con diaframmi \ micropali \ pali	15
5.2.1	Definizione dei livelli di soglia	15
5.3	Monitoraggio cavalcavia A14	25
6	STRUMENTAZIONE	27
6.1	Generalità	27
6.2	Strumentazione e sensori.....	27
6.2.1	Tubo inclinometrico (IN) ed inclino-estensimetrico (EIN)	28
6.2.2	Riscontri topografici plano-altimetrici e di convergenza (CTC)	28
6.2.3	Riscontri di Livellazione (CPL, L).....	28
6.2.4	Basi per deformometro elettrico o meccanico uniaassiale mobili sugli edifici (FSW)	28
6.2.5	Barrette estensimetriche (BE, BL, BEA).....	29
6.2.6	Celle pressiometriche (CPT, CPR).....	29
6.2.7	Vibrometri triassiali (VB3)	30
6.2.8	Celle di pressione in foro (CP):.....	30
6.2.9	Stazione topografica totale robotizzata	31
6.2.10	Cablaggi e centralizzazioni	32
6.3	Modalità di posa strumenti	32

6.3.1	Tubo inclinometrico (IN) ed inclino-estensimetrico (EN)	32
6.3.2	Riscontri topografici plano-altimetrici e di convergenza (CTC)	33
6.3.3	Riscontri di Livellazione (CPL, L).....	33
6.3.4	Basi per deformometro elettrico o meccanico uniassiale sugli edifici (FS)	33
6.3.5	Barrette estensimetriche (BE, BL, BEA).....	33
6.3.6	Celle pressiometriche (CPT, CPR).....	34
6.3.7	Vibrometri triassiali (VB3)	34
6.3.8	Celle di pressione in foro (CP).....	35
6.3.9	Tazze livellometriche idrauliche (TL) e di riferimento (TLR).....	35
6.3.10	Stazione topografica totale robotizzata	35
6.4	 Modalità di esecuzione delle misure e prima elaborazione dati.....	37
6.4.1	Prescrizioni per le misure	37
6.4.2	Riscontri topografici plano-altimetrici e di convergenza (CTC)	38
6.4.3	Rilievi topografici di precisione con stazione totale robotizzata	38
6.4.4	Riscontri di Livellazione (CPL).....	39
6.4.5	Basi per deformometro elettrico uniassiale sugli edifici (FSW)	39
6.4.6	Barrette estensimetriche (BE, BL, BEA).....	39
6.4.7	Celle pressiometriche (CPT, CPR).....	40
6.4.8	Celle di pressione in foro (CP).....	40
6.4.9	Tazze livellometriche idrauliche (TL) e di riferimento (TLR).....	40
6.4.10	Vibrometri triassiali (VB3)	40
6.5	 Modalità di elaborazione, gestione e restituzione delle misure	41
6.5.1	Creazione dei DATI (PT1)	41
6.5.2	Trasferimento dei dati (PT2).....	41
6.5.3	Trattamento dati (PT3)	43
6.5.4	Interpretazione dati (PT4).....	43

1 INTRODUZIONE

La presente relazione è inquadrata nell'ambito dell'incarico di adeguamento della progettazione definitiva del completamento dell'interramento della Linea ferroviaria Bologna-Portomaggiore, volto all'eliminazione dei passaggi a livello nelle tratte urbane di Bologna tra Zanolini-Rimesse (Tratta 1) e Via Larga (Tratta 2).

La Tratta 1 (Zanolini-Rimesse) è compresa tra le progressive km 2+029,65 e km 3+354,59 della linea, e prevede la realizzazione del completamento della galleria di Zanolini, già realizzata, la predisposizione per la nuova fermata Libia e l'adeguamento dell'esistente Fermata Rimesse.

La Tratta 2 (Via Larga) è compresa tra le progressive km 4+000,00 e km 5+100,00 in corrispondenza dei passaggi a livello di via Cellini e via Larga e consiste nell'abbassamento del binario esistente in corrispondenza della nuova fermata di via Larga e nel rimodellamento di via Scandellara, funzionale alla realizzazione di un parcheggio e di una nuova pista ciclo-pedonale.



Figura 1: Ubicazione del sito in progetto su immagine satellitare GoogleEarth®



Figura 2: Corografia dell'intervento con la localizzazione delle due tratte funzionali T1 e T2

La presente relazione illustra le soluzioni tecniche per il monitoraggio da eseguirsi in parallelo alle lavorazioni che si verranno ad instaurare durante la realizzazione delle opere in Linea e delle Stazioni.

Il monitoraggio sugli Edifici è da prevedere in corrispondenza di tutte le Opere Civili potenzialmente interessate dal bacino di subsidenza delle opere in costruzione.

Nel seguito vengono sviluppati i seguenti punti:

- criteri che hanno portato alla definizione del sistema di monitoraggio;
- strumentazione da utilizzarsi;
- descrizione dell'architettura del sistema di monitoraggio;
- indicazioni sulla frequenza delle misurazioni.

2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 DOCUMENTI DEL PROGETTO DI RIFERIMENTO

-

2.2 ELABORATI GRAFICI ASSOCIATI ALLA PRESENTE RELAZIONE TECNICA

CARTELLA 6.1 – OPERE DI PRESIDIO E MONITORAGGI - INTERVENTI DI MONITORAGGIO OPERE CIVILI - GALLERIA NATURALE		
FER_BP_D	T0_MOP_GEN_S_001	TIPOLOGIE DI MONITORAGGIO DEGLI EDIFICI
FER_BP_D	T1_MOP_GEN_S_001	INTERVENTI DI MONITORAGGIO OPERE DI SOSTEGNO - PLANIMETRIA CON INDICAZIONE SEZIONI DI MONITARAGGIO GALLERIA ARTIFICIALE (Tavola 1 di 2)
FER_BP_D	T1_MOP_GEN_S_002	INTERVENTI DI MONITORAGGIO OPERE DI SOSTEGNO - PLANIMETRIA CON INDICAZIONE SEZIONI DI MONITARAGGIO GALLERIA ARTIFICIALE (Tavola 2 di 2)
FER_BP_D	T2_MOP_GEN_S_001	INTERVENTI DI MONITORAGGIO OPERE DI SOSTEGNO - PLANIMETRIA CON INDICAZIONE SEZIONI DI MONITARAGGIO GALLERIA ARTIFICIALE
FER_BP_D	T1_MOP_FLI_S_001	INTERVENTI DI MONITORAGGIO OPERE DI SOSTEGNO - FERMATA VIA LIBIA
FER_BP_D	T1_MOP_FRI_S_001	INTERVENTI DI MONITORAGGIO OPERE DI SOSTEGNO - FERMATA VIA RIMESSE
FER_BP_D	T2_MOP_FL_A_S_001	INTERVENTI DI MONITORAGGIO OPERE CIVILI - FERMATA VIA LARGA
FER_BP_D	T0_MOP_GEN_S_002	INTERVENTI DI MONITORAGGIO OPERE CIVILI - VIADOTTO AUTOSTRADALE

3 DEFINIZIONE DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO

Il sistema di monitoraggio dovrà essere progettato in modo da poter fornire, nella maniera più completa e rapida possibile, tutti i parametri necessari ad effettuare una tempestiva analisi della situazione in corso d'opera e della sua possibile evoluzione, nonché eventuali azioni correttive da adottare in caso di superamento dei limiti progettuali prefissati.

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

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

L'analisi viene estesa ad una "zona di controllo" significativa, sia in termini di quantità di dati a disposizione che di estensione fisica dell'area indagata, al fine di verificare correttamente il peso di ciascun valore registrato.

Al tal fine si è optato per il rilievo di un numero limitato di grandezze che garantiscano semplicità e praticità di monitoraggio e parallelamente completezza e precisione di informazione.

Il numero e la posizione dei siti di monitoraggio sono stati scelti in funzione delle principali interferenze con le operazioni di cantiere, della possibilità di installazione degli strumenti di misura, della collocazione planimetrica degli scavi nel contesto urbano che li circonda.

I dati ottenuti dalle sezioni strumentate dovranno opportunamente essere analizzati in funzione di soglie di attenzione e allarme prefissate, nonché di un comportamento globale delle strutture, per accertare gli effettivi fenomeni indotti dalle fasi di avanzamento degli scavi.

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

3.1 REQUISITI DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO

Il progetto specifico di un sistema di monitoraggio comprende i seguenti elementi:

- definizione dei parametri chiave di controllo;
- definizione delle sezioni tipo di monitoraggio e della tipologia di strumentazione da mettere in opera, sia per le strutture che per i manufatti preesistenti;
- definizione della frequenza delle letture;
- definizione dei livelli di controllo (soglie di attenzione e allarme) per le grandezze monitorate;
- definizione delle contromisure da attuare in caso di superamento dei valori di allarme definiti.

I requisiti che il piano di monitoraggio deve soddisfare per garantire il raggiungimento degli obiettivi sopra delineati sono:

- una elevata risoluzione areale (distribuzione spaziale) e temporale (frequenza di lettura);
- la precisione delle misure e l'affidabilità degli strumenti;
- la ridondanza delle misure;

- la possibilità di ridurre i tempi e i vincoli di installazione e le tempistiche nell'esecuzione delle misure;
- la facilità di manutenzione;
- la possibilità di ottenere in tempi rapidi una preelaborazione dei dati per eseguire un immediato confronto con le soglie di attenzione e allarme e il modello di comportamento.

A questo scopo è previsto il controllo di diverse famiglie di parametri, in particolare le deformazioni della superficie topografica, le deformazioni del terreno, le variazioni tensio-deformative delle strutture e la variazione dei livelli idrici e della permeabilità del terreno.

3.2 DEFINIZIONE DEI PARAMETRI DI CONTROLLO

In funzione delle informazioni derivanti dalle fasi progettuali, saranno attivati i sistemi atti a monitorare i seguenti parametri:

- tensioni, deformazioni e spostamenti nelle strutture sotterranee in costruzione;
- deformazioni sulla superficie del suolo ed in profondità;
- spostamenti e degli edifici e dei manufatti esistenti.

I parametri di controllo possono essere suddivisi in funzione della tipologia di opera da monitorare:

- a. strutture sotterranee in costruzione:
 - deformazioni e convergenze della galleria Bentivogli;
 - deformazioni e spostamenti dei diaframmi delle Fermate
 - sollecitazioni nei diaframmi;
- b. strutture esistenti:
 - cedimenti del terreno nelle vicinanze della struttura;
 - cedimenti e rotazioni della struttura;
 - vibrazioni delle strutture

Le grandezze sopra esposte sono fra di loro interdipendenti, per cui la variazione anomala di un parametro potrebbe essere addebitata ad una causa che provoca anche la modifica delle altre grandezze.

3.3 SISTEMI DI MONITORAGGIO PER GLI EDIFICI

Il complesso delle analisi eseguite hanno consentito, oltre alla definizione delle zone che necessitano di consolidamento, anche le modalità di Monitoraggio e Controllo (M&C), in particolare:

- Definizione delle tipologie di monitoraggio (Tipo 1-2)
- Definizione delle frequenze di lettura
- Definizione dei limiti di controllo (attenzione e allarme)

La Definizione dei Piani di Emergenza da attivare nel caso di superamento dei limiti di controllo è rimandata alla fase esecutiva

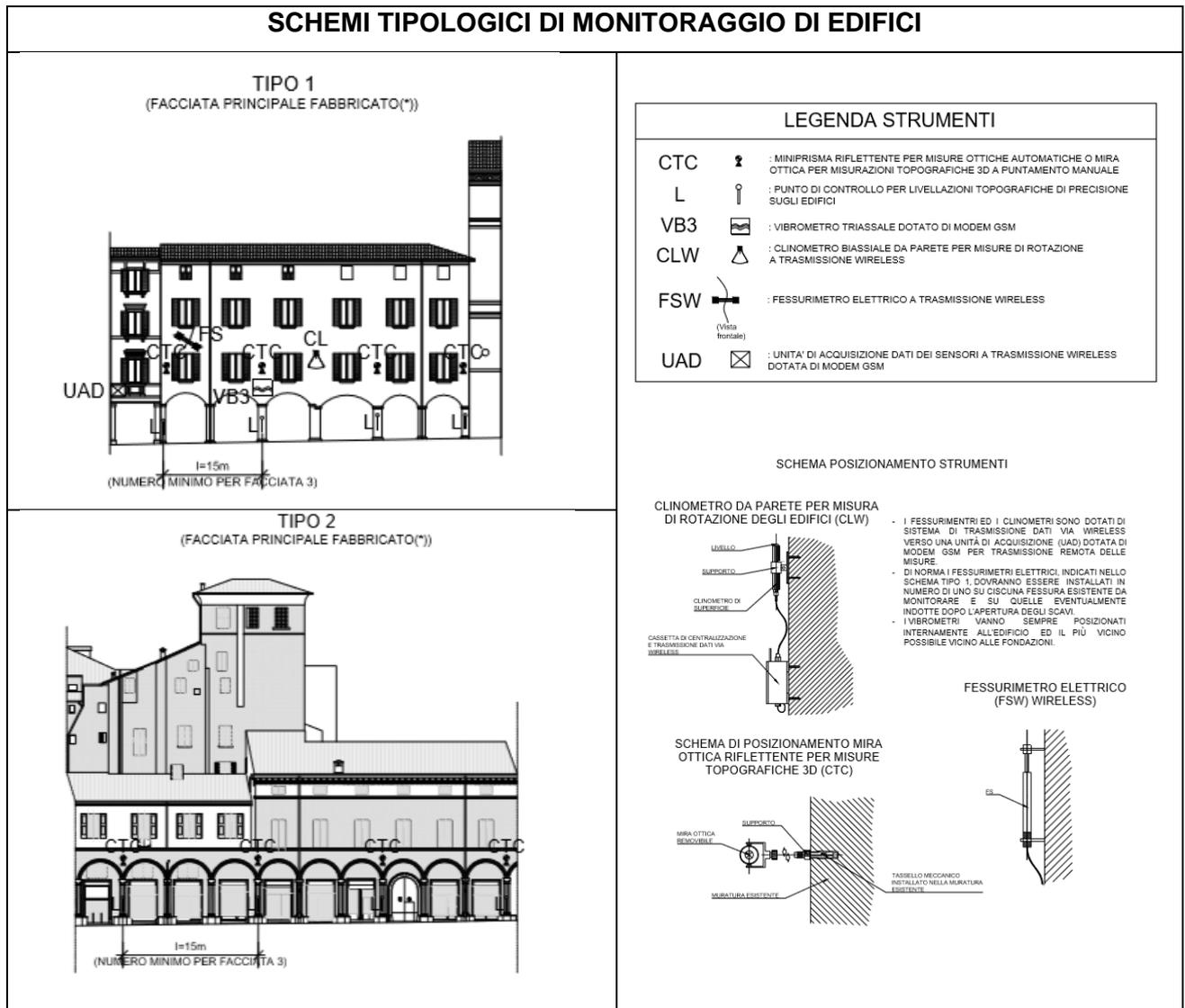


Figura 3: Schemi Tipologici di Monitoraggio di Edifici

Gli strumenti indicati negli schemi di Tipo 1 e Tipo 2 sono applicati sulla facciata del fabbricato prospiciente la via attraversata dall'infrastruttura (si veda la tabella riepilogativa seguente):

Tabella 1 Tabella Riepilogativa Strumenti di Monitoraggio

TABELLA RIEPILOGATIVA STRUMENTI						
POSIZIONE		CTC	L	CLW	FSW	VB3
TIPO 1	FACCIATA PRINCIPALE	3	3	1	2	1
	FACCIATA LATERALE	-	3	1	1	-
TIPO 2	FACCIATA PRINCIPALE	3	3	-	-	-
	FACCIATA LATERALE	-	3	-	-	-

Al fine di monitorare il comportamento deformativo del fabbricato in direzione perpendicolare all'asse del tracciato vengono previsti strumenti da posizionare, in una facciata laterale se accessibile. In particolare, nei fabbricati ove è previsto un monitoraggio Tipo 1 vanno installati punti di livellazione topografica (L), inclinometri (CLW) e fessurimetri (FSW); ove è previsto un monitoraggio di Tipo 2 solo punti di livellazione topografica (L).

I punti di livellazione topografica vanno installati in numero pari a 3. Una volta raggiunta la stabilizzazione delle misure gli strumenti FSW, CLW e VB3 possono essere rimossi per essere installati su altri fabbricati, in relazione all'avanzamento dello scavo della galleria.

3.4 DEFINIZIONE VALORI DI SOGLIA

Il quadro sintetico per il raggiungimento dei valori di soglia per la Galleria è il seguente:

- **spostamento di riferimento**: cedimenti in superficie ed alla base delle fondazioni e nell'intorno della galleria;
- **livello di attenzione**: valore del cedimento pari a 4mm;
- **livello di allarme**: valore del cedimento pari a 12mm.

Il quadro sintetico per il raggiungimento dei valori di soglia per le Paratie è il seguente:

- **spostamento di riferimento**: valore dello spostamento orizzontale pari al 120% dello spostamento teorico previsto in sede di Progetto;
- **livello di attenzione**: valore dello spostamento pari al 80% dello spostamento di riferimento per la fase i-esima in esame;
- **livello di allarme**: valore dello spostamento pari al 120% dello spostamento di riferimento massimo.

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

- **Valori attesi**:
Le operazioni di scavo procedono normalmente e la frequenza dei rilievi non viene variata.
- **Valori di attenzione**:
Dovranno essere intrapresi provvedimenti atti ad arrestare l'evoluzione delle deformazioni qualora sia evidente un incremento sistematico delle stesse al procedere dello scavo. Dovranno essere valutati od indicati eventuali accorgimenti tecnici per arrestare tale tendenza.
- **Valori di allarme**:
La direzione lavori dovrà essere informata del superamento della soglia di allarme. Le operazioni di cantiere potranno essere interrotte in funzione delle indicazioni dei rilievi strumentali effettuati e del comportamento strutturale dei fabbricati. La frequenza delle misure dovrà essere aumentata e saranno definiti e studiati appositi interventi per arrestare l'evoluzione dei cedimenti ed impedire l'insorgere di problematiche strutturali sui fabbricati esistenti se risulta evidente un loro effettivo interessamento strutturale.

Una soglia di "attenzione" rappresenta un valore, sufficientemente prudente, di un parametro di misura che, pur non rappresentando un pericolo immediato per le strutture, obbliga ad attivare

una serie di procedure (di controllo ed eventuali azioni progettuali) volte a produrre un rientro nella norma o, quanto meno, a scongiurare la tendenza dei valori di misura verso la soglia di allarme.

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

Al raggiungimento della soglia di “allarme” l’arresto delle lavorazioni sarà predisposto nel caso in cui si presenti un quadro fessurativo negli edifici la cui evoluzione mostri una progressione sistematica non compatibile con la loro funzionalità estetica e statica.

In tal caso si attiveranno procedure di accertamento analoghe a quelle indicate per le soglie di attenzione, ma con maggiore approfondimento. Si attiverà lo studio delle possibili contromisure e la progettazione degli interventi per la messa in sicurezza delle strutture.

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

4 MONITORAGGIO EDIFICI E MANUFATTI

Obiettivo del monitoraggio sugli edifici e manufatti esistenti è il controllo e la salvaguardia degli stessi sia durante l'esecuzione dei lavori che nel medio-lungo termine.

Il piano di monitoraggio prevede il controllo del comportamento deformativo nell'intorno degli scavi, ed in particolare nella zona di influenza degli scavi e la tipologia del profilo di subsidenza indotto.

Sono state previste due tipologie di monitoraggio degli edifici, TIPO 1 e TIPO 2, attribuite ai vari fabbricati in funzione della loro criticità in relazione alla vicinanza con gli scavi; più in dettaglio:

- la sezione Tipo 1 è applicata alla Classe di Danno 2
- la sezione Tipo 2 è applicata alla Classe di Danno 1

Agli edifici adiacenti all'infrastruttura in oggetto che non ricadono in uno dei casi sopra elencati viene applicato il monitoraggio di TIPO 2 (più leggero).

4.1 MONITORAGGIO EDIFICI TIPO 1

Il monitoraggio degli edifici comprende la seguente strumentazione:

- Riscontri topografici (CTC) materializzati sugli edifici lungo tutto il perimetro accessibile con interasse dei vertici indicativamente compreso fra 5 e 10 m. Le misurazioni dei CTC saranno eseguite tramite stazione totale automatizzata robotizzata (ove possibile avere una linea visiva libera) e/o con campagne periodiche di rilievo, mediante livello digitale e stadia con codice a barre.
- Punti di controllo (L) per livellazioni topografiche di precisione.
- Clinometri elettrici biassiali wireless (CLW) ad acquisizione automatica per il rilievo continuo delle rotazioni rigide degli edifici su due assi ortogonali. La soluzione wireless, con alimentazione a batteria di lunga durata, consente di eliminare completamente i cablaggi fra le unità di acquisizione ed i sensori, con evidente semplificazione delle operazioni di installazione/disinstallazione e minimo impatto sugli edifici oggetto di controllo. Si prevede mediamente un CLW ad ogni fabbricato tenuto conto del fatto che tali strumenti potranno essere spostati durante l'avanzamento dello scavo quando le letture si saranno stabilizzate.
- Fessurimetri elettrici monoassiali wireless (FSW) ad acquisizione automatica per rilievo continuo dello stato fessurativo delle strutture. Anche in questo caso la soluzione wireless riduce drasticamente i cavi di collegamento con evidenti vantaggi logistici e di impatto visivo. I sensori wireless (CLW e FSW) saranno acquisiti da una serie di unità radio (WDG - Wireless Datalogger Gateway) dislocate lungo il tracciato integrate dai necessari ripetitori. Si prevede mediamente un fessurimetro ad ogni fabbricato tenuto conto del fatto che tali strumenti potranno essere spostati durante l'avanzamento dello scavo quando le letture si saranno stabilizzate.
- Stazioni Totali Robotizzate (STR) per il rilievo automatico continuo delle variazioni plano-altimetriche di punti critici materializzati sugli edifici, costituiti da prismi ottici topografici



Figura 1 Esempio di FSW

(PR) o riscontri tipografici (CPL). Le STR saranno in totale 5 allestite in postazioni fisse in grado di trarre i prismi di controllo e si appoggeranno a una serie di ulteriori prismi di riferimento esterni all'area di influenza degli scavi.

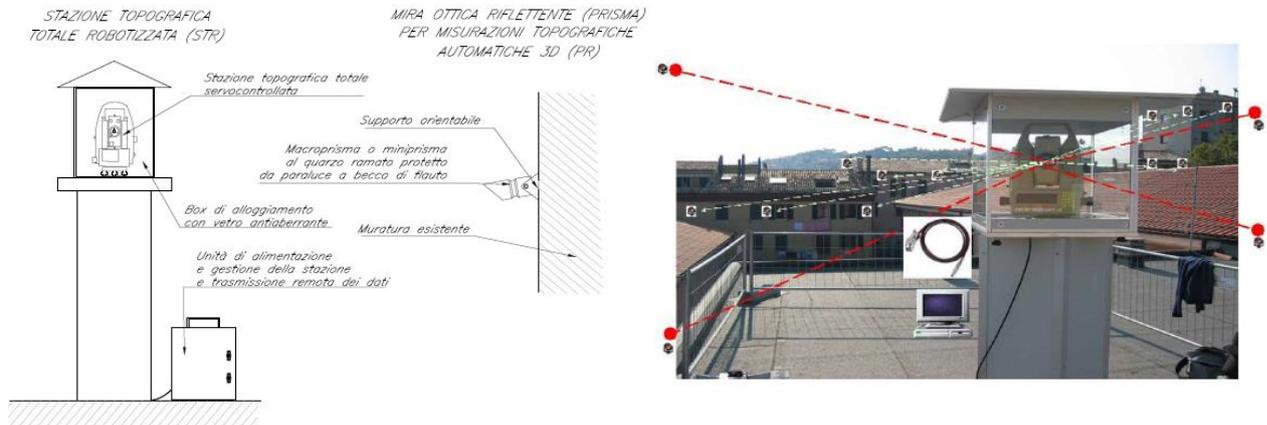


Figura 4: Stazione totale robotizzata – postazione fissa su edifici



Figura 5: Stazione totale robotizzata – postazione fissa su supporto predisposto

- **Stazioni vibrometriche triassiali (VB3)** automatiche finalizzate al controllo continuo dei valori di velocità particellare massima di vibrazione delle strutture e/e del terreno nelle 3 componenti spaziali (PPV – Peak Particle Velocity). Se ne prevedono in totale 5, anch'esse da spostarsi all'avanzare dal fronte una volta stabilizzate le letture.

La tabella seguente riepiloga gli strumenti descritti.

Tabella 2 Strumentazione per il monitoraggio degli edifici di tipo 1

Monitoraggio	Strumento	Sigla	Applicazione	Misurazione	Num.
Tipo 1	Punti di livellazione topografica	L	Piano campagna (facciata principale)	Misurazione delle deformazioni	3
			Piano campagna (facciata laterale)		3
	Mire ottiche	CTC	Facciata principale	Misurazione delle deformazioni	3
	Fessurimetri elettrici	FSW	Facciata principale	Misurazione della variazione di apertura delle fessure esistenti durante lo scavo e la costruzione delle opere in progetto	2
			Facciata laterale		1
	Clinometro biassiale	CLW	Facciata principale	Misurazione delle rotazioni della facciata nel proprio piano e nel piano ad essa perpendicolare durante lo scavo e la costruzione delle opere in progetto	1
			Facciata laterale		1
	Vibrometro triassiale	VB3	Fondazioni	Misurazione delle vibrazioni	1

4.2 MONITORAGGIO EDIFICI TIPO 2

Agli edifici adiacenti all'infrastruttura in oggetto che non ricadono in uno dei casi sopra elencati viene applicato il monitoraggio di TIPO 2 (più leggero). Gli strumenti da installare sono: i punti di livellazione topografica (L) e le mire ottiche (CTC) installate sulla facciata principale.

Nella tabella sottostante sono indicati gli strumenti adottati.

Tabella 3 Strumentazione per il monitoraggio degli edifici di tipo 2

Monitoraggio	Strumento	Sigla	Applicazione	Misurazione	Num.
Tipo 2	Punti di livellazione topografica	L	Piano campagna (facciata principale)	Misurazione delle deformazioni (distanza massima 15m)	3
			Piano campagna (facciata laterale)		3
	Mire ottiche	CTC	Facciata principale	Misurazione delle deformazioni (distanza massima 15m)	3

5 MONITORAGGIO DELLE OPERE DI SCAVO

5.1 MONITORAGGIO GALLERIA

Il sistema di monitoraggio definito per lo scavo della galleria in condizioni di sicurezza è stato dettagliato nell'elaborato grafico FER_BP_D_T1_MOP_GN1_S_001 del quale si riportano degli stralci di seguito.

Il sistema consta essenzialmente di strumentazioni atte a monitorare i seguenti parametri:

- tensioni, deformazioni e spostamenti nella galleria (nei sostegni di prima fase e definitivi);
- spostamenti sulla superficie del suolo, in corrispondenza delle fondazioni del ponte e della condotta fognaria in interferenza
- stato fessurativo del ponte
- deformazioni e stato tensionale delle travi rovesce di collegamento tra le strutture in c.a. che realizzano la cerchiatura delle fondazioni.



Figura 6: Prime indicazioni del sistema di monitoraggio e controllo durante gli scavi

Relativamente ai limiti di controllo dei cedimenti verticali, sulla base delle analisi numeriche (di interazione terreno-struttura e strutturali) eseguite si definiscono i seguenti valori:

- Limite di attenzione: circa 6mm, corrispondente al valore del cedimento differenziale per il quale in almeno una sezione dell'arco l'eccentricità raggiunge il valore di $H/6$ ($e > h/6$ centro di pressione al limite del nocciolo centrale di inerzia);
- Limite di allarme: circa 15mm, corrispondente al valore per il quale almeno una sezione dell'arco si parzializza e il valore di tensione massima raggiunge il limite ammissibile $\sigma_{max} = f_{ck}$

In fase esecutiva andranno affinate le definizioni dei limiti di controllo eseguite in questa sede unitamente alla:

- definizione delle strumentazioni e delle tipologie di monitoraggio (manuale, automatico);
- definizione delle frequenze di lettura;
- definizione dei Piani di Emergenza con le procedure operative da attivare nel caso di superamento dei limiti di controllo.

5.2 MONITORAGGIO DEGLI SCAVI CON DIAFRAMMI \ MICROPALI \ PALI

Il sistema di monitoraggio definito per lo scavo con diaframmi\micropali consta essenzialmente di strumentazioni atte a monitorare i seguenti parametri:

- deformazioni e spostamenti della parete dei diaframmi;
- spostamenti sulla superficie del suolo, in adiacenza alle zone di scavo e in presenza di singolarità rilevanti;
- deformazioni e spostamenti degli elementi di contrasto quali puntoni e solette di copertura;
- stato tensionale delle testate dei tiranti.

Per la disposizione e la quantità degli strumenti impiegati per completare il sistema di monitoraggio si rimanda alle tavole grafiche di riferimento.

In fase esecutiva andranno affinate le definizioni dei limiti di controllo eseguite in questa sede unitamente alla:

- definizione delle strumentazioni e delle tipologie di monitoraggio (manuale, automatico);
- definizione delle frequenze di lettura;
- definizione dei Piani di Emergenza con le procedure operative da attivare nel caso di superamento dei limiti di controllo.

5.2.1 Definizione dei livelli di soglia

Le sezioni ritenute significative, ai fini della definizione del sistema di monitoraggio, come riportato negli elaborati grafici di riferimento, sono le seguenti:

- Sezione pannello TIPO 1
- Sezione pannello TIPO 3
- Sezione pannello TIPO 4
- Sezione pannello TIPO 5
- Sezione pannello TIPO 6

- Sezione pannello TIPO 7
- Sezione pannello TIPO Lb1
- Sezione pannello TIPO Ri1
- Sezione pannello TIPO Ri3
- Sezione pannello TIPO La1
- Sezione pannello TIPO A14

Si evidenzia che le sezioni analizzate nella presente relazione, in quanto ritenute più significative, sono quelle poste sul fronte ove sono presenti i fabbricati.

Nella tabella seguente si descrivono schematicamente le sezioni analizzate in termini di altezza, ampiezza dello scavo, spessore diaframma, lunghezza diaframma.

Tipo sezione	H _{scavo} [m]	B [m]	Spessore diaframma D [m]	Lunghezza diaframma [m]
1	8.5	5.70	0.60	12.00
3	11.2	5.70	0.80	15.00
4	12.9	11.4	0.80	18.50
5	12.2	6.50	0.80	15.50
6	9.0	6.50	1.00	14.50
7	7.5	5.70	0.80	12.50
Lb1	13.4	9.20	0.80	18.00
Ri1	5.5	-	f300 (micropalo)	9.00
Ri3	4.0	6.50	0.60	8.00/9.00
La1	9.0	9.00\12.00	1.00	14.50
A14	8.0	5.20	f800 (pali)	12.00

Dove:

H_{scavo}: profondità dello scavo in corrispondenza della sezione analizzata;

B: ampiezza dello scavo in corrispondenza della sezione analizzata;

D: spessore diaframma.

Dalle analisi di dimensionamento e verifica condotte nelle relazioni:

- FER_BP_D_T1_STR_GEN_R_001
- FER_BP_D_T1_STR_FLI_R_001
- FER_BP_D_T1_STR_FRI_R_001
- FER_BP_D_T1_STR_FL_A_R_001

si sono ottenuti i valori tensio\deformativi dei diversi elementi utilizzati durante le fasi di scavo della linea.

Di seguito si riportano i grafici di deformazione delle paratie ottenute dalla analisi, per maggiori dettagli si rimanda alle relazioni di calcolo.

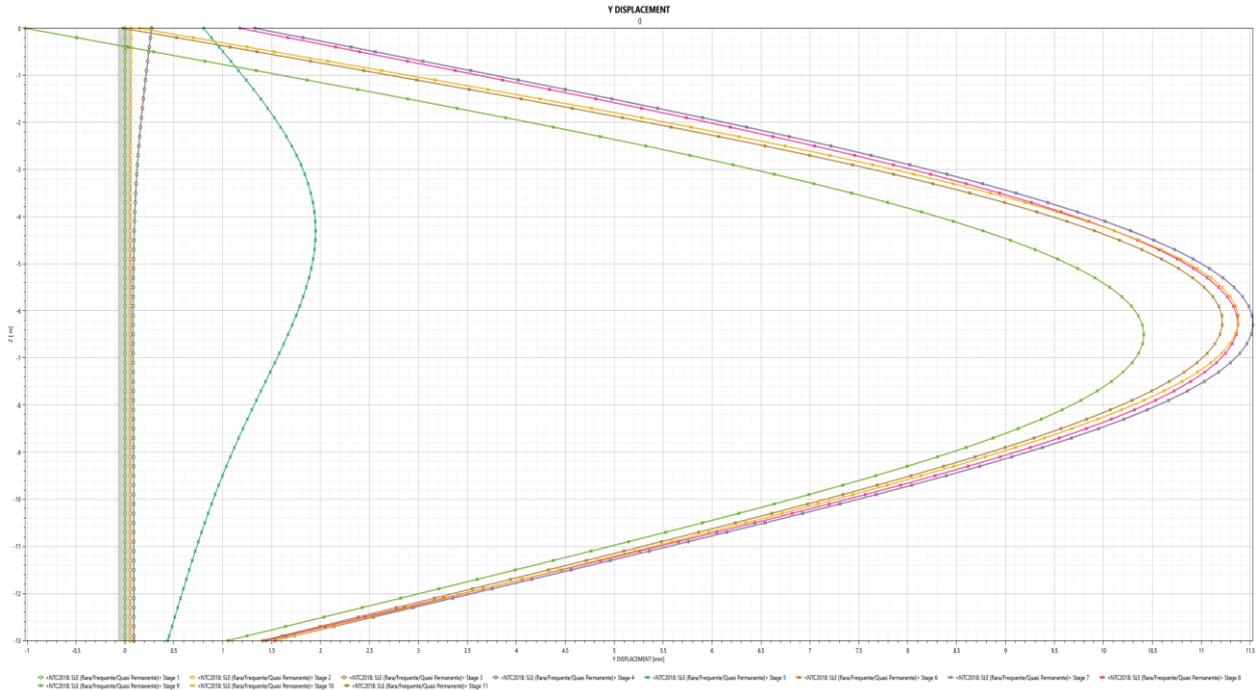


Figura 8: Sezione tipo 1 - andamento spostamenti orizzontali della paratia

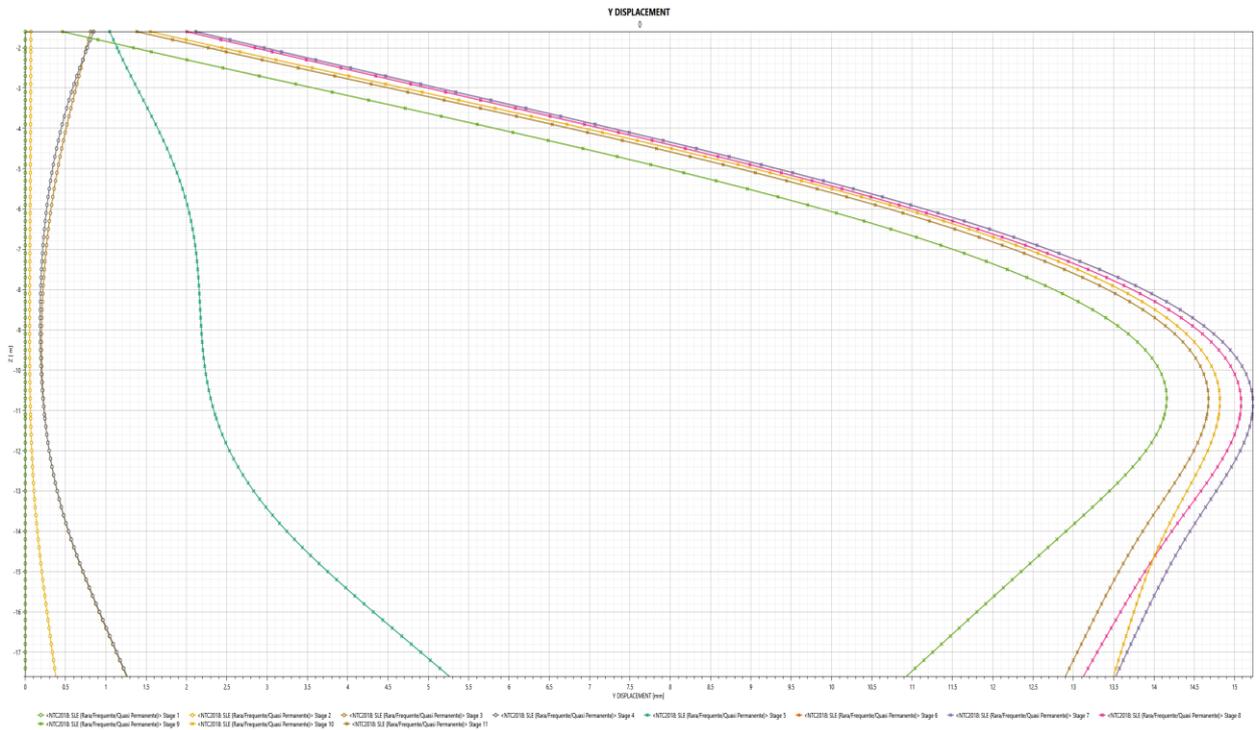


Figura 9: Sezione tipo 3 - andamento spostamenti orizzontali della paratia

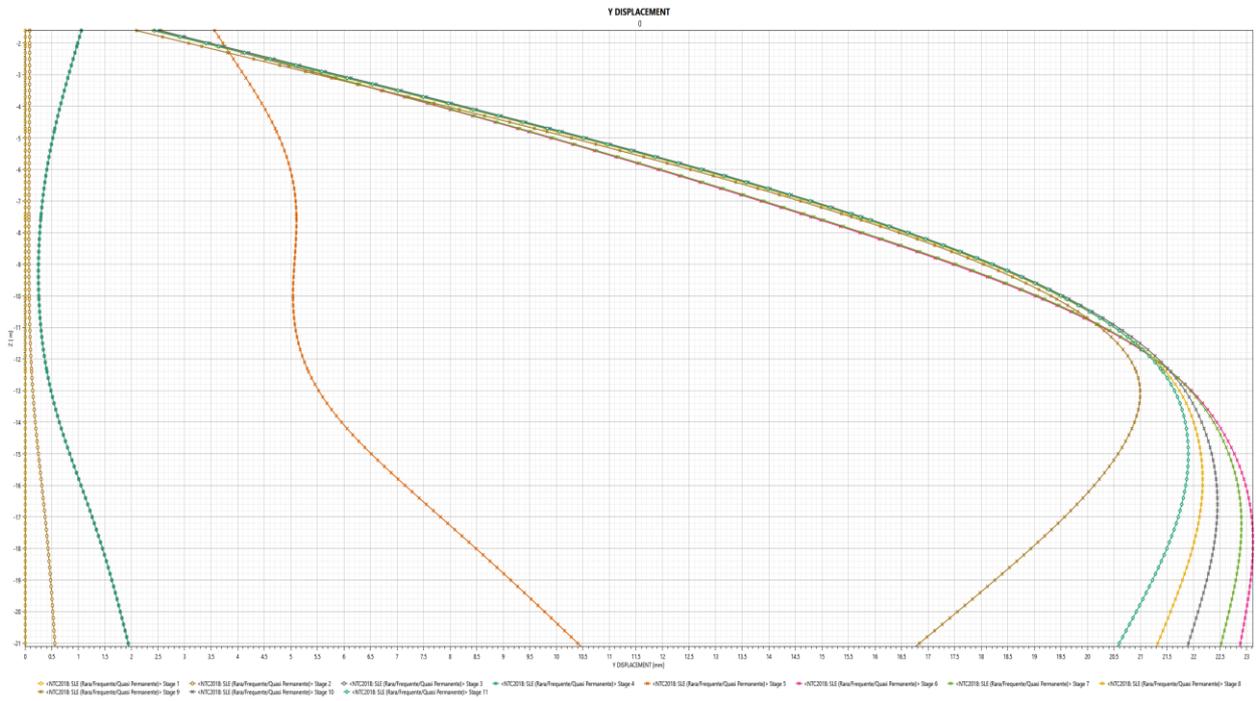


Figura 10: Sezione tipo 4 - andamento spostamenti orizzontali della paratia

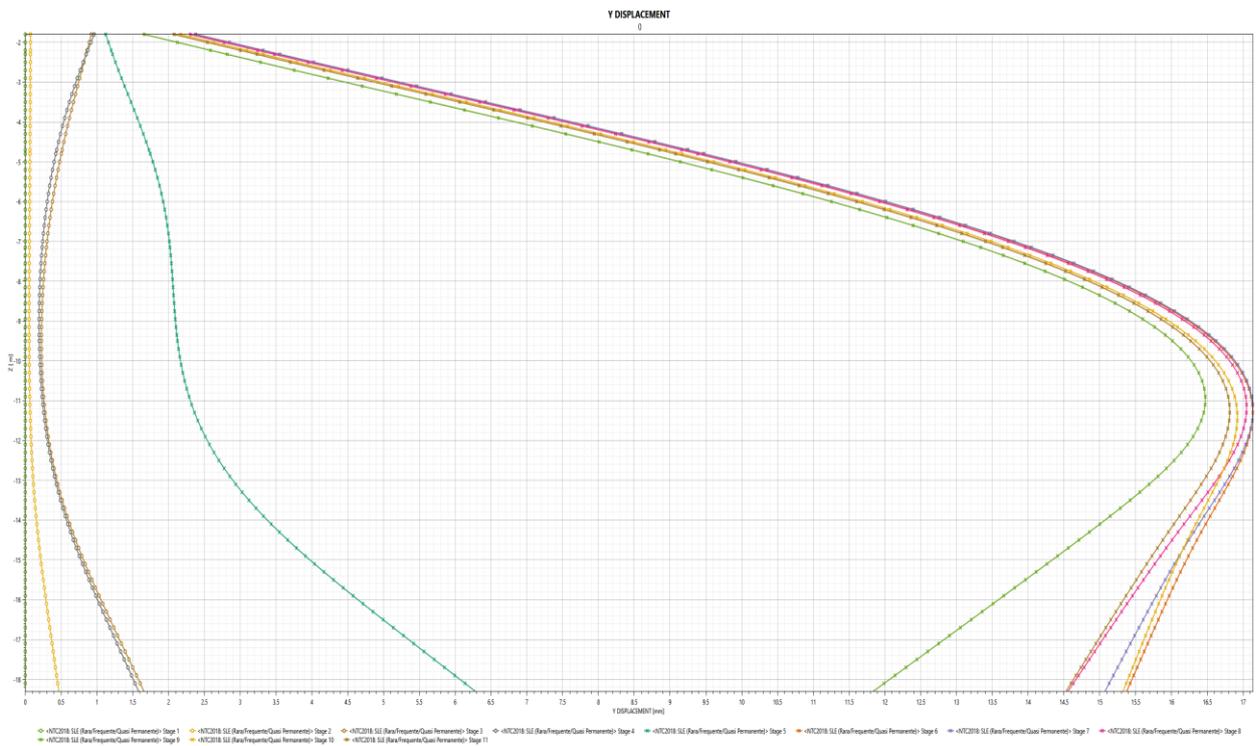


Figura 11: Sezione tipo 5 - andamento spostamenti orizzontali della paratia

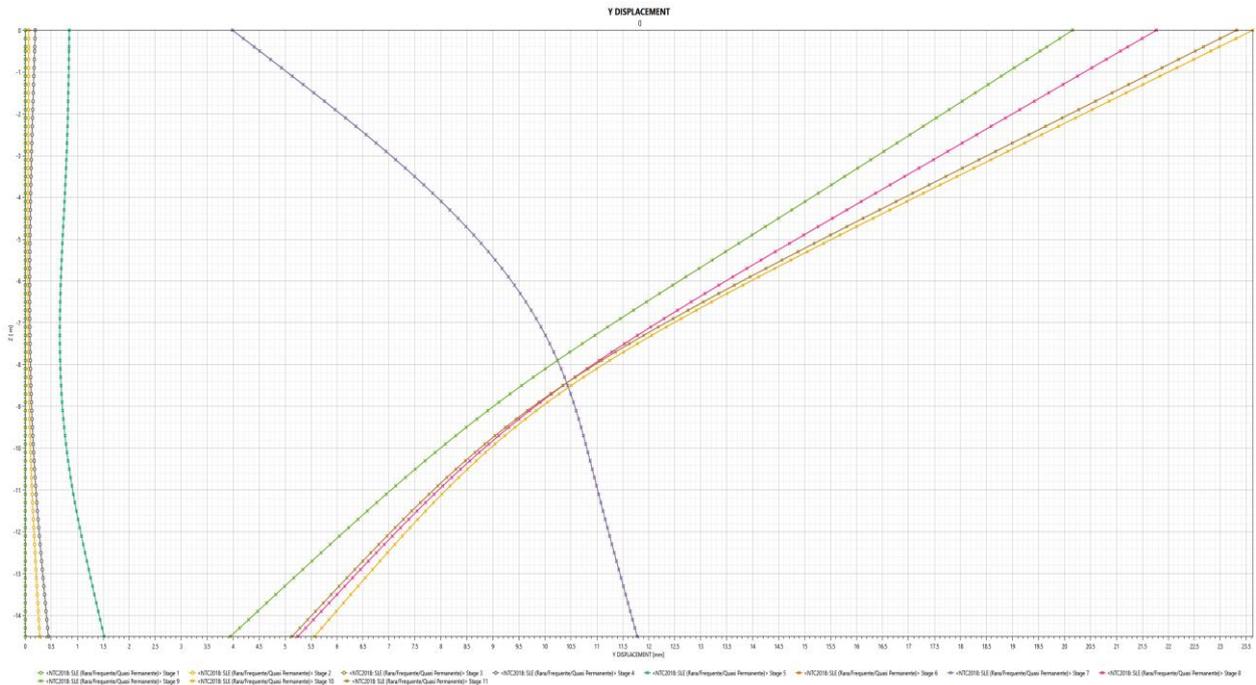


Figura 12: Sezione tipo 6 - andamento spostamenti orizzontali della paratia

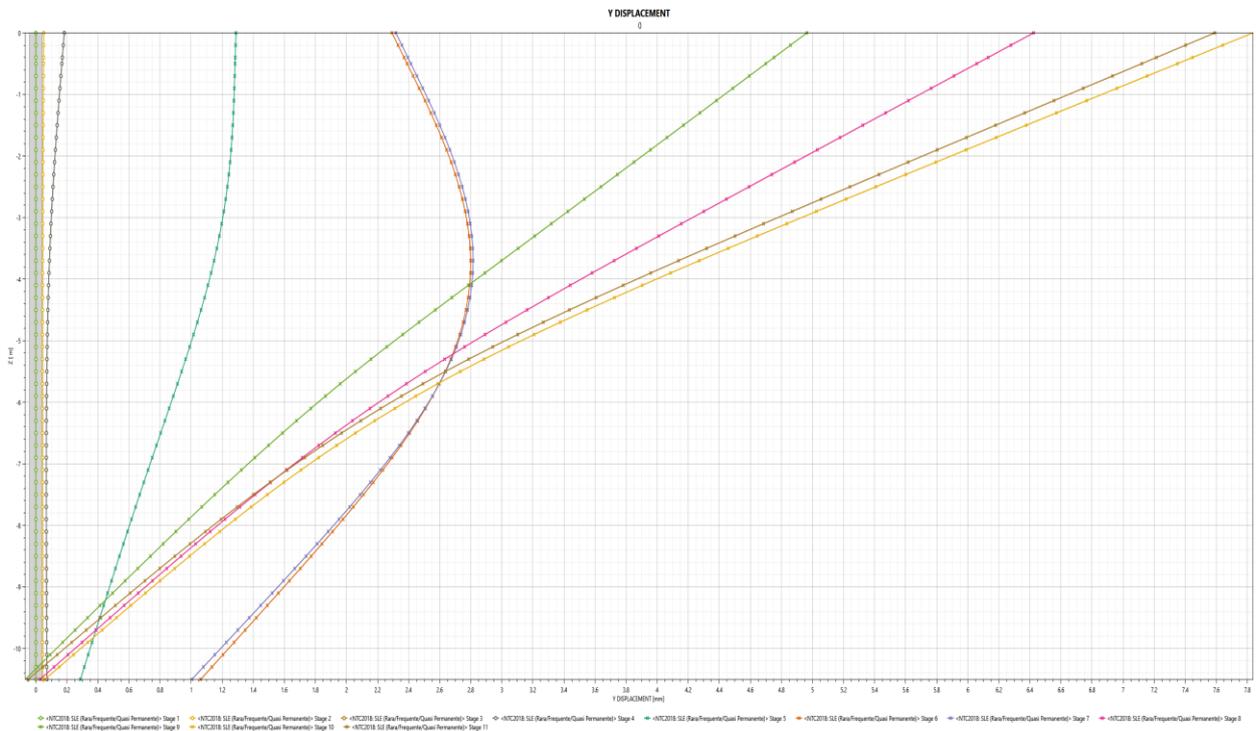


Figura 13: Sezione tipo 7 - andamento spostamenti orizzontali della paratia

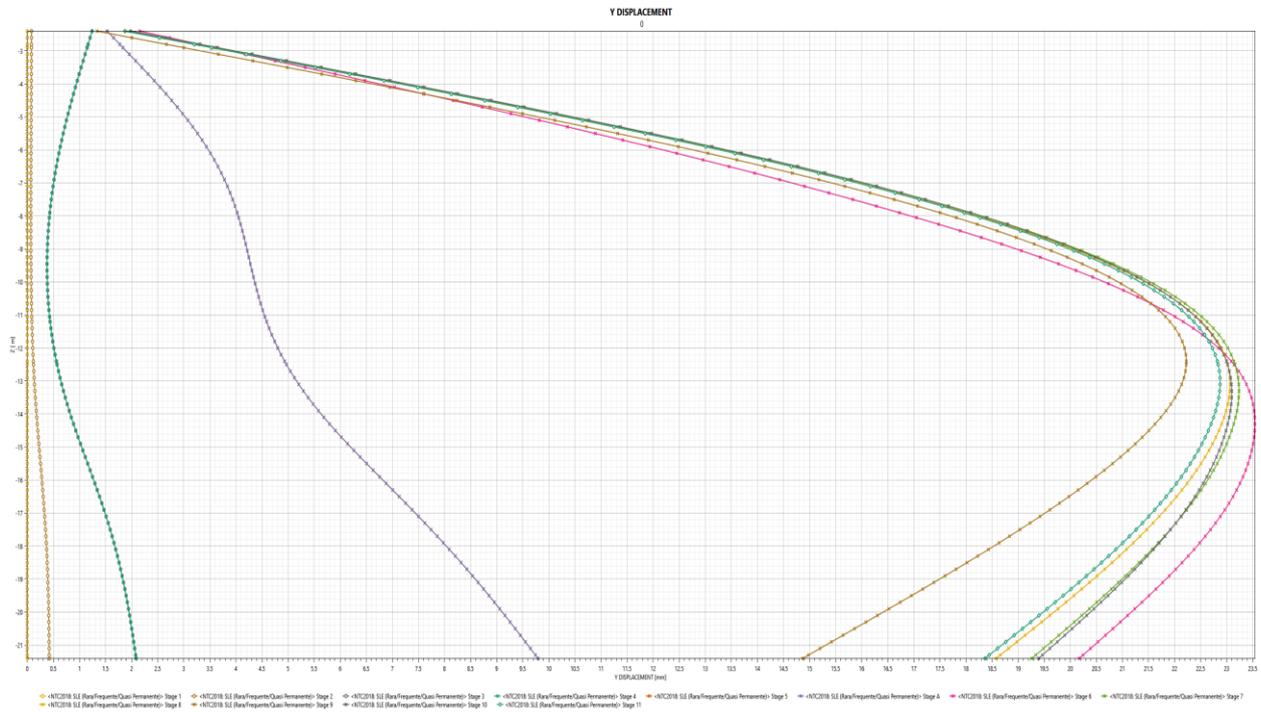


Figura 14: Sezione tipo Lb1 - andamento spostamenti orizzontali della paratia

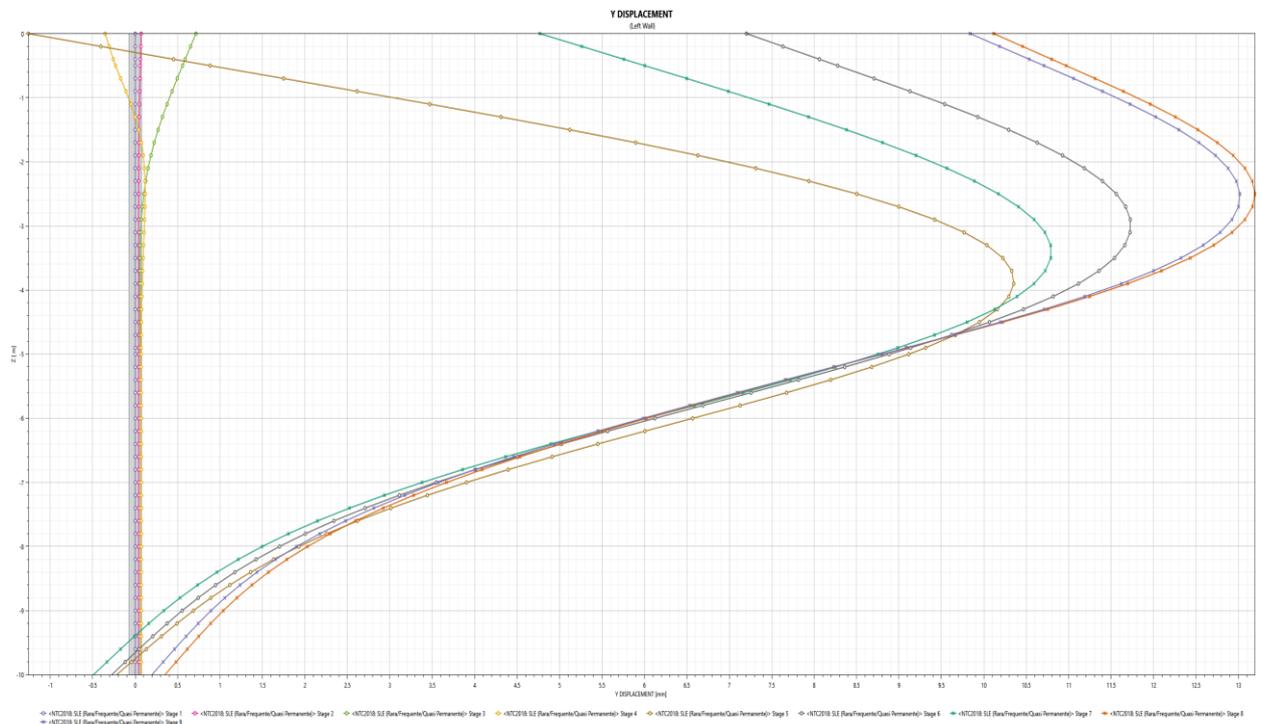


Figura 15: Sezione tipo R11 - andamento spostamenti orizzontali della paratia

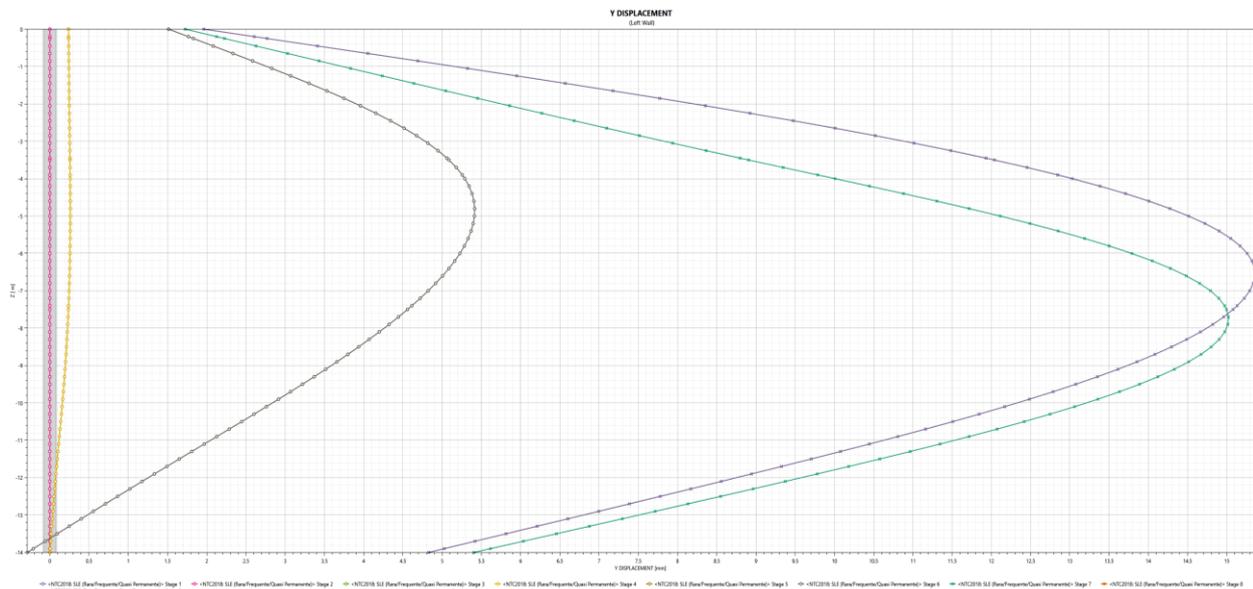


Figura 18: Sezione tipo A14 - andamento spostamenti orizzontali della paratia

Nella definizione del sistema di monitoraggio sono state definite delle sezioni tipologiche assegnate ai vari tratti della linea in relazione alle sezioni tipologiche di calcolo:

Sezione tipo di calcolo	Sezione tipo di monitoraggio
1	M1
3	M2
4	M3
5	M4
6	M5
7	M6
Lb1	ML1
Ri1	MR1
Ri3	MR2
La1	MA1
A14	MP1

Nella tabella seguente sono riportati i valori soglia di attenzione e allarme, per ciascuna mira ottica prevista sui diaframmi, per ciascuna sezione tipo di monitoraggio.

Tabella 4 Definizione delle soglie per la sezione tipo M1

NUMERAZIONE MIRA OTTICA	SPOSTAMENTO DI RIFERIMENTO [mm]	LIVELLO DI ATTENZIONE [mm]	LIVELLO DI ALLARME [mm]	COLLOCAZIONE
MI 1_1	1.45	1.4	1.7	-0.25 m da t.p.
MI 1_2	3.0	2.9	3.6	-3.75 m da t.p.

Tabella 5 Definizione delle soglie per la sezione tipo M2

NUMERAZIONE MIRA OTTICA	SPOSTAMENTO DI RIFERIMENTO [mm]	LIVELLO DI ATTENZIONE [mm]	LIVELLO DI ALLARME [mm]	COLLOCAZIONE
MI 2_1	1.45	2.1	2.7	-0.75 m da t.p.
MI 2_2	11.35	10.9	13.6	-4.25 m da t.p.
MI 2_3	15.2	14.6	18.3	-7.75 m da t.p.

Tabella 6 Definizione delle soglie per la sezione tipo M3

NUMERAZIONE MIRA OTTICA	SPOSTAMENTO DI RIFERIMENTO [mm]	LIVELLO DI ATTENZIONE [mm]	LIVELLO DI ALLARME [mm]	COLLOCAZIONE
MI 3_1	3.65	3.5	4.3	-0.75 m da t.p.
MI 3_2	13.75	13.2	16.5	-5.25 m da t.p.
MI 3_3	19.6	18.8	23.5	-8.75 m da t.p.

Tabella 7 Definizione delle soglie per la sezione tipo M4

NUMERAZIONE MIRA OTTICA	SPOSTAMENTO DI RIFERIMENTO [mm]	LIVELLO DI ATTENZIONE [mm]	LIVELLO DI ALLARME [mm]	COLLOCAZIONE
MI 4_1	3.65	3.5	4.3	-0.75 m da t.p.
MI 4_2	11.98	11.5	14.4	-4.25 m da t.p.
MI 4_3	16.7	16.0	20.0	-7.75 m da t.p.

Tabella 8 Definizione delle soglie per la sezione tipo M5

NUMERAZIONE MIRA OTTICA	SPOSTAMENTO DI RIFERIMENTO [mm]	LIVELLO DI ATTENZIONE [mm]	LIVELLO DI ALLARME [mm]	COLLOCAZIONE
MI 5_1	4.5	4.3	5.4	-0.00 m da t.p.
MI 5_2	7.8	7.5	9.4	-3.50 m da t.p.

Tabella 9 Definizione delle soglie per la sezione tipo M6

NUMERAZIONE MIRA OTTICA	SPOSTAMENTO DI RIFERIMENTO [mm]	LIVELLO DI ATTENZIONE [mm]	LIVELLO DI ALLARME [mm]	COLLOCAZIONE
MI 6_1	2.3	2.2	2.7	-0.00 m da t.p.
MI 6_2	2.8	2.6	3.3	-4.00 m da t.p.

Tabella 10 Definizione delle soglie per la sezione tipo ML1

NUMERAZIONE MIRA OTTICA	SPOSTAMENTO DI RIFERIMENTO [mm]	LIVELLO DI ATTENZIONE [mm]	LIVELLO DI ALLARME [mm]	COLLOCAZIONE
MI L1_1	3.8	3.6	4.5	-0.75 m da t.p.
MI L1_2	13.5	13.0	16.2	-4.25 m da t.p.
MI L1_3	20.8	19.9	24.9	-7.75 m da t.p.

Tabella 11 Definizione delle soglie per la sezione tipo MR1

NUMERAZIONE MIRA OTTICA	SPOSTAMENTO DI RIFERIMENTO [mm]	LIVELLO DI ATTENZIONE [mm]	LIVELLO DI ALLARME [mm]	COLLOCAZIONE
MI R1_1	1.0	0.9	1.2	-0.5 m da t.p.
MI R1_2	10.22	9.8	12.3	-3.5 m da t.p.

Tabella 12 Definizione delle soglie per la sezione tipo MR2

NUMERAZIONE MIRA OTTICA	SPOSTAMENTO DI RIFERIMENTO [mm]	LIVELLO DI ATTENZIONE [mm]	LIVELLO DI ALLARME [mm]	COLLOCAZIONE
MI R2_1	14.4	13.8	17.3	-0.75 m da t.p.
MI R2_2	9.0	8.6	10.8	-3.00 m da t.p.

Tabella 13 Definizione delle soglie per la sezione tipo MA1

NUMERAZIONE MIRA OTTICA	SPOSTAMENTO DI RIFERIMENTO [mm]	LIVELLO DI ATTENZIONE [mm]	LIVELLO DI ALLARME [mm]	COLLOCAZIONE
MI A1_1	3.0	2.9	3.6	-0.00 m da t.p.
MI A1_2	5.0	4.8	5.9	-3.50 m da t.p.

Tabella 14 Definizione delle soglie per la sezione tipo MP1

NUMERAZIONE MIRA OTTICA	SPOSTAMENTO DI RIFERIMENTO [mm]	LIVELLO DI ATTENZIONE [mm]	LIVELLO DI ALLARME [mm]	COLLOCAZIONE
MI P1_1	5.0	4.7	5.9	-1.00 m da t.p.
MI P1_2	16.0	15.2	19.0	-4.00 m da t.p.

5.3 MONITORAGGIO CAVALCAVIA A14

Gli effetti degli scavi indotti sul Cavalcavia esistente facente parte del tratto di autostrada A14, è stato analizzato nella relazione FER_BP_D_T1_STR_GEN_R_001 e dettagliato nell'elaborato grafico FER_BP_D_T0_MOP_GEN_S_002 del quale si riportano degli stralci di seguito.

Il sistema consta essenzialmente di strumentazioni atte a monitorare i seguenti parametri:

- deformazioni e spostamenti delle opere di sostegno del terreno (vedi § 5.2);
- deformazione dei sostegni provvisori e definitivi;
- spostamenti/rotazioni dei plinti di pile e spalle.

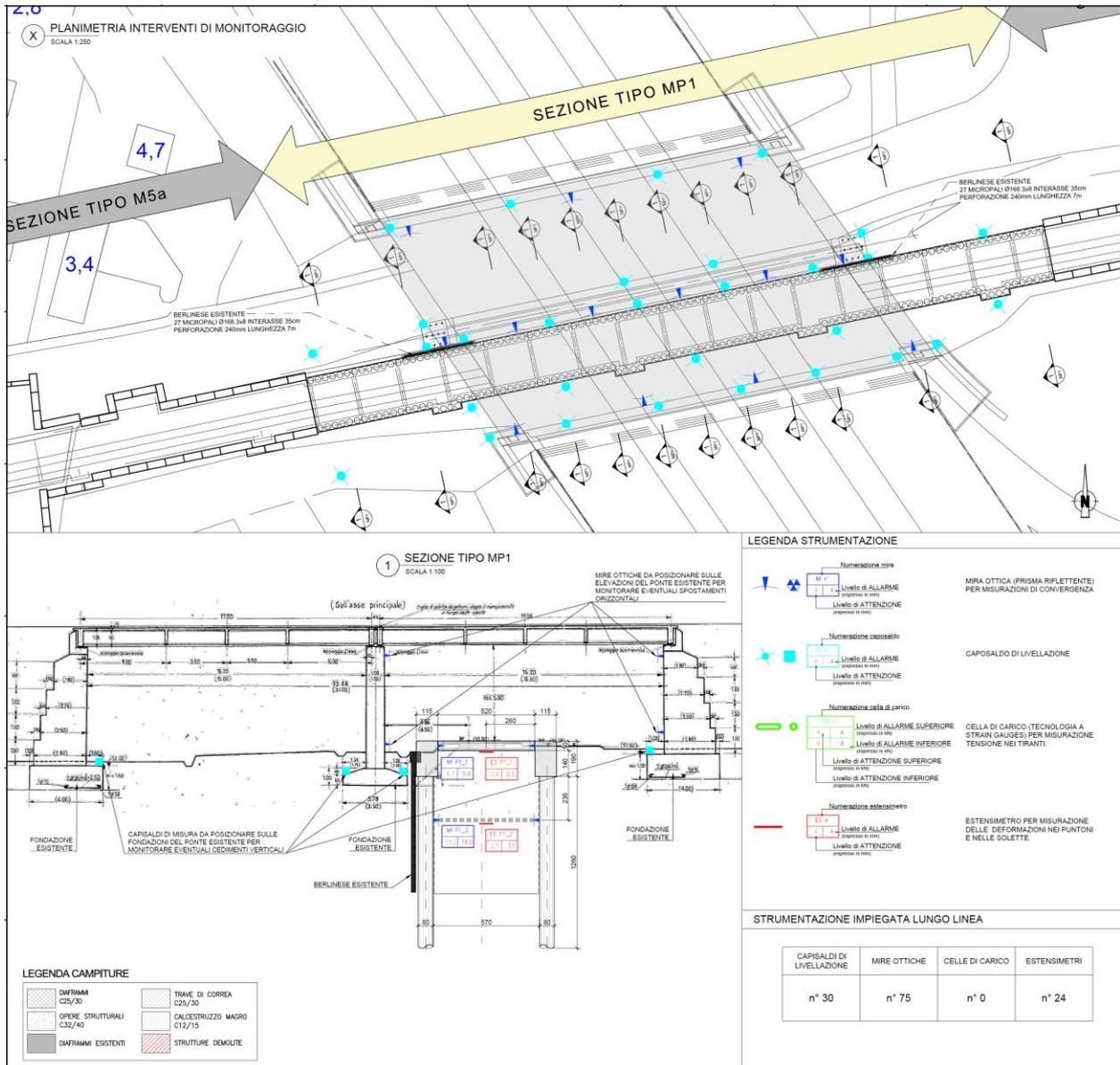


Figura 19: Prime indicazioni del sistema di monitoraggio e controllo durante gli scavi

Relativamente ai limiti di controllo dei cedimenti verticali, sulla base delle analisi numeriche (di interazione terreno-struttura e strutturali) eseguite si definiscono i seguenti valori:

FONDAZIONE PILA

- Limite di attenzione: circa -7mm, corrispondente all'80% del valore di massimo spostamento registrato nella modellazione;
- Limite di allarme: circa -9mm, corrispondente al valore di massimo spostamento registrato nella modellazione.

FONDAZIONE SPALLA

- Limite di attenzione: circa +7mm, corrispondente all'80% del valore di massimo spostamento registrato nella modellazione;
- Limite di allarme: circa +9mm, corrispondente al valore di massimo spostamento registrato nella modellazione.

Si sottolinea che non sono necessarie misure e controlli sullo stato tensionale/fessurativo del ponte in quanto, essendo presente un sistema di vincolamento in semplice appoggio (vedi Figura 20), eventuali cedimenti delle sottostrutture nei limiti sopra indicati non inducono sollecitazioni nelle strutture esistenti.

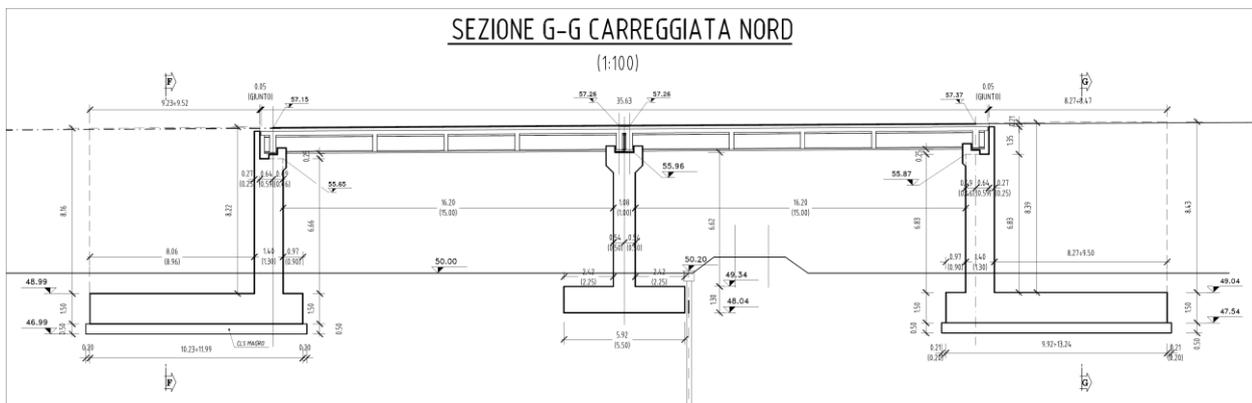


Figura 20: Profilo del Ponte esistente su A14 desunto dalla documentazione storica disponibile

In fase esecutiva andranno affinate le definizioni dei limiti di controllo eseguite in questa sede unitamente alla:

- definizione delle strumentazioni e delle tipologie di monitoraggio (manuale, automatico);
- definizione delle frequenze di lettura;
- definizione dei Piani di Emergenza con le procedure operative da attivare nel caso di superamento dei limiti di controllo.

6 STRUMENTAZIONE

6.1 GENERALITÀ

Il sistema di monitoraggio sarà composto da strumenti e apparecchiature di ultima generazione, che abbiano raggiunto un elevato grado di affidabilità e che sia stato possibile sperimentare per lungo tempo di funzionamento. Il livello di affidabilità sarà documentato e dimostrato da parte del fornitore mediante la presentazione di test di durata e di affidabilità eseguiti in laboratori ufficialmente riconosciuti e che siano quindi in grado di fornire certezze sul loro funzionamento a lungo termine.

Sarà garantita l'uniformità e l'interfacciabilità per tutti dei componenti del sistema. Nella scelta del tipo tecnica di misura, e quindi del tipo di sensore, si adotteranno criteri di massima uniformità e di massimo livello di interfacciamento possibili per i singoli elementi tra di loro, ovunque essi siano posizionati. In tal modo sarà possibile garantire una facile utilizzazione, manutenzione e gestione di tutto il sistema.

La determinazione del singolo fenomeno fisico dovrà avvenire, per quanto possibile, per mezzo di tecniche di misura e di sensori che seguano gli standard industriali più correnti. In tal modo tutti i sensori potranno essere alimentati e misurati con apparecchiature facilmente reperibili sul mercato industriale.

L'affidabilità sopra richiesta sarà raggiunta con materiali che garantiscano la massima durata nel tempo e la cui installazione consenta comunque di eseguire controlli incrociati utilizzando diverse tipologie di sensori che misurino in modo diretto od indiretto, lo stesso fenomeno fisico. Lo scopo di quanto sopra è quello di mantenere in efficienza un numero di sensori ampiamente sufficiente a costituire un sistema di monitoraggio affidabile.

6.2 STRUMENTAZIONE E SENSORI

La scelta degli strumenti da impiegare è stata orientata in base a criteri che siano in grado di garantire l'ottenimento delle misure programmate nelle condizioni previste.

Tali criteri sono:

- Caratteristiche tecniche adeguate allo scopo finale, dettagliate e controllabili a livello di tutta la componentistica.
- Il più elevato possibile livello di affidabilità e durata anch'esso documentabile e verificabile.
- Interfacciabilità dei sensori utilizzando il più possibile gli standard di mercato.

Ciascun sensore dovrà essere corredato di opportuna scheda che ne contenga le principali caratteristiche (marca, tipo, caratteristiche meccaniche ed elettriche) e dovrà essere evidenziata anche una sigla coerente con gli elaborati grafici di progetto che individui, senza possibilità di errore e di incertezza, il singolo strumento. Tale sigla dovrà essere indicata con chiarezza ed in modo indelebile anche sul corpo dello strumento stesso (o con apposita targhetta), in modo tale che sia visibile facilmente in caso di controlli ed in occasione di manutenzioni.

Nel seguito sono riportate le caratteristiche minime delle forniture, che l'Appaltatore dovrà verificare all'atto della consegna in cantiere di ogni fornitura.

6.2.1 Tubo inclinometrico (IN) ed inclino-estensimetrico (EIN)

Il tubo fornito sarà in materiale plastico (ABS) e dotato di guide di riferimento e scorrimento per sonda inclinometrica, disposte su due diametri tra loro ortogonali (spiralatura $<0.3^\circ/m$). Il diametro interno della tubazione dovrà essere non inferiore a 60mm.

Nel caso di inclino-estensimetri il tubo dovrà essere attrezzato ogni metro con basi di misura metalliche per estensimetro incrementale tipo "INCREX" o con basi magnetiche per strumenti tipo "T-REX".

6.2.2 Riscontri topografici plano-altimetrici e di convergenza (CTC)

Per i controlli plano-altimetrici è prevista la messa in opera di riscontri costituiti da tasselli metallici o barre ad aderenza migliorata con teste filettate (filettatura e sezione ridotte e liscia di battuta del tipo utilizzato per chiodi di convergenza).

Per le sezioni di convergenza dovranno essere inoltre previsti riscontri di tipo ambivalente per misure ottiche o con distometro a nastro, costituiti da barre in acciaio ad aderenza migliorata di lunghezza pari a 15cm muniti di piastrina quadrata in anticorodal recante un doppio target riflettente di dimensione minima 40x40mm dotato di reticolo di collimazione.

Per la realizzazione dei capisaldi di riferimento per misure plano-altimetriche dovranno essere previsti un adeguato numero di riscontri posizionati all'esterno dell'area influenzata dagli scavi, su manufatti lontani da possibili cause di deformazioni e/o vibrazioni. In ogni caso un certo numero di capisaldi dovrà essere posizionato in pozzetti con chiusino nei quali verranno messe in opera con adeguata cementazione barre del tipo descritto per i riscontri per misure plano-altimetriche ma di lunghezza minima 0.5m. Ogni estremità filettata dovrà essere munita di tappo di protezione.

Per le misure ottiche si dovrà avvitare ai riscontri precedentemente descritti una mira quadrata in materiale anticorrosivo con doppia fascia riflettente (optical targets), di dimensioni minime 40x40mm, dotata di reticolo di collimazione.

6.2.3 Riscontri di Livellazione (CPL, L)

Il sistema di monitoraggio prevede la fornitura di due tipologie di riscontri per misure di livellazione.

I punti di livellazione superficiale (CPL) impiegati per il monitoraggio delle deformazioni superficiali e come capisaldi di livellazione è previsto l'uso di barre in acciaio (lunghezza=0.5m) cementate nel terreno, protette da pozzetto carrabile e adeguatamente attrezzate con una testa emisferica in materiale metallico inossidabile.

Per i punti di livellazione sugli edifici (L) è prevista la messa in opera di riscontri metallici a testa sferica inossidabile (resinati o solidarizzati con tasselli metallici) fissati su manufatti (muri, ecc.) ad un'altezza di circa 0.5÷1 m dal piano campagna.

6.2.4 Basi per deformometro elettrico o meccanico uniassiale mobili sugli edifici (FSW)

Per il monitoraggio di eventuali fessure sui manufatti, saranno installati dei fessurimetri elettrici monoassiali wireless (FSW) ad acquisizione automatica per rilievo continuo dello stato

fessurativo delle strutture. La soluzione wireless riduce drasticamente i cavi di collegamento con evidenti vantaggi logistici e di impatto visivo. I sensori wireless (FSW) saranno acquisiti da una serie di unità radio (WDG - Wireless Datalogger Gateway) dislocate lungo il tracciato integrate dai necessari ripetitori. In alternativa, potranno essere fornite basi di misura metalliche per lettura con deformometro millesimale removibile, costituiti da dischi metallici di acciaio inox con negativo conico tarato per l'inserimento nella punta di un comparatore elettrico mobile.

I dischi saranno installati sulla parete fessurata in direzione opposta allo sviluppo delle fessure con l'aiuto di una guida (fornita insieme al comparatore).

I fessurimetri sono costituiti da un contenitore stagno cilindrico contenente un trasduttore elettrico di spostamento da fissare mediante supporto a tassello da un lato della fessura, da un cavo elettrico in kevlar con prolunghe e snodi, atto a realizzare il collegamento dello strumento all'unità di lettura e da un riscontro metallico di congiunzione del trasduttore con un secondo ancoraggio a tassello, da installare sull'altro lato della frattura.

Le caratteristiche tecniche dovranno essere:

- fondo scala: 20÷30 cm;
- risoluzione: 0.1 mm;
- segnale elettrico: 4-20 MA.

All'estremità dell'astina devono essere presenti due snodi multidirezionali che consentano la compensazione di eventuali movimenti fuori asse.

6.2.5 Barrette estensimetriche (BE, BL, BEA)

Gli estensimetri di tipo a corda vibrante dovranno essere adatti all'installazione su ferri di armatura o inglobati nei getti di cls (campo di misura +/- 1500µε, accuratezza +/- 1µε). I trasduttori di deformazione dovranno essere sempre abbinati ad un sensore di temperatura incluso nel trasduttore stesso.

6.2.6 Celle pressiometriche (CPT, CPR)

Le celle pressiometriche dovranno essere di tipo idraulico con trasduttore di pressione elettrico a corda vibrante, dotate di sistema di ripressurizzazione. Sono previste due tipologie in base all'installazione: radiali (CPR) o tangenziali (CPT).

Le dimensioni ed il campo di misura delle celle pressiometriche dovrà essere concordato preventivamente con la Direzione Lavori; in linea di massima le caratteristiche dovranno essere:

- celle radiali (CPR) : dimensione 150*150mm, campo di misura è variabile fra 0-2MPa;
- celle tangenziali (CPT) dimensioni 200*200mm, il campo di misura 0-20MPa.

Il sensore di misura dovrà consentire una accuratezza di misura migliore del 0.025% del fondo scala, i campi di misura dei due sensori sono congruenti al tipo di cella prevista.

Il corpo della cella dovrà essere in acciaio inox o adeguatamente protetta contro fenomeni di ossidazione e corrosivi.

6.2.7 Vibrometri triassiali (VB3)

L'attrezzatura per la misura delle vibrazioni è costituita da strumenti genericamente detti "Sismometri" o "Vibrometri" di tipo triassiale.

I vibrometri triassiali impiegati dovranno essere costituiti da una unità di amplificazione per frequenze almeno da 1 a 315 Hz da un registratore di tipo digitale dotato di attivazione automatica e di convertitore analogico digitale a 10 bit, capacità di memoria in modalità discreta o continua.

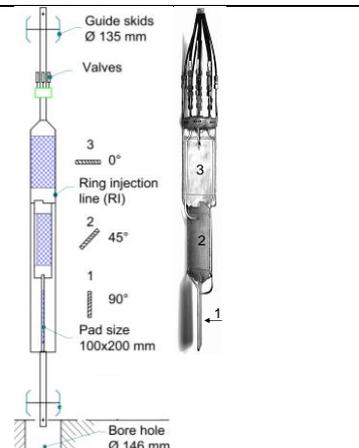
In particolare, sono richieste le seguenti caratteristiche:

- Geofono triassiale conforme alle Norme DIN 45699-1
- Capacità di registrazione di eventi vibratori con velocità particolari di picco da 0,13 mm/s a 254 mm/s, auto ranging con sampling rate selezionabile da 1024, 2048, 4096 campioni/secondo
- Risoluzione minima di 1/10 della minima velocità particellare registrabile (0,016 mm/s)
- Capacità registrazione in modalità manuale, discreta (singolo evento) o continua e automatica con livelli di trigger da 0.13 a 254 mm/s in step di 0,1 mm/s e capacità di registrazione fino a 1000 eventi da 1s con start/stop programmabili giornalmente e per singoli intervalli;
- Geofono triassiale con sensibilità di almeno 10 mV/mm.s-1 su ogni componente con accuratezza di 1% (rispetto alla calibrazione con accelerometro di riferimento @ 15Hz)
- Capacità di analisi in frequenza con determinazione delle frequenze di picco di ciascun evento e analisi e visualizzazione delle velocità particellari in funzione delle frequenze almeno secondo gli standards UNI9916, DIN4150 e USBM/OSMRE. Capacità di fornire il vettore somma velocità di vibrazione sincrona massima.
- Ciascun vibrometro dovrà essere collegato ad un router in grado di gestire in remoto il settaggio dei dati e lo scaricamento automatico delle misure.

6.2.8 Celle di pressione in foro (CP):

L'attrezzatura per misurare la variazione di pressione indotta dalle eventuali iniezioni di compensazione è costituita dalle celle di pressione in foro realizzati nel terreno al di sotto della piastra di fondazione del piano interrato. Le celle misurano la pressione lungo tre direzioni ortogonali (una verticale e due orizzontali). Le caratteristiche sono riassunte nella tabella seguente.

Tabella 15 Caratteristiche tecniche delle celle di pressione in foro

Modalità installazione	Cementazione in foro	
Diametro perforazione	140-150mm	
Nx(dimensioni) celle verticali	3 x (100x200mm)	
Nx(dimensioni) celle orizzontali	1 x (Ø100mm)	
Fondo scala	2.0 MPa	
Sensibilità	0.01 MPa	

6.2.9 Stazione topografica totale robotizzata

La stazione topografica totale robotizzata per la misura automatica degli spostamenti di strutture sensibili (es. edifici, manufatti) dovrà essere dotata delle seguenti caratteristiche minime:

- Operatività
 - H 24/365 gg
 - Scansioni temporali prefissate
 - Dispositivo di puntamento automatico di altissima precisione in grado di fornire letture angolari e distante, compatibilmente con gli scostamenti dimensionati che andranno monitorati.
- Specifiche ambientali:
 - Range Temperature di lavoro: da -20°C a $+50^{\circ}\text{C}$
 - Polvere/Acqua (IEC 60529): IP54
 - Umidità: 95% senza condensazione.
- Misure Angolari
 - Precisione: 0.5" (0.15 mgon), 1" (0.3 mgon)
 - Metodo Assoluto, continuo, quadruplo
- Misure di Distanza (Prisma)
 - Portata Prisma circolare (GPR1) 3500 m
 - Precisione/Tempo di misura su prisma; 1 mm + 1 ppm / tip. 2.4 s
 - Metodo Analizzatore di sistema con misura dello sfasamento (coassiale, laser rosso visibile)
- Misure di Distanza (No-Prisma)
 - Portata :1000 m
 - Precisione 2,6) / Tempo di misura 2 mm + 2 ppm / tip. 3 s
 - Metodo Analizzatore di sistema con misura dello sfasamento (coassiale, laser rosso visibile)
- Motorizzazione
 - Massima accelerazione 400 gon (360°)/ s²
 - Velocità di rotazione 200 gon (180°)/ s
 - Tempo per cambio faccia 2.9 s
 - Tempo di posizionamento per 200 gon (180°) 2.3 s
 - Metodo Guida diretta basata su tecnologia Piezo
- Riconoscimento Automatico del Prisma (ATR)
 - Portata Prisma circolare (GPR1) 3000 m
- Tempo di misura
 - Precisione/ Tempo di misura (GPR1) Precisione dell'angolo ATR Hz, V 1"/ 3 – 4 s
 - Precisione posizionamento ± 1 mm
 - Precisione posizionamento a 3000 m ± 7 mm
 - Minimo distanza tra prismi a 200 m 0.3 m

➤ Metodo Elaborazione digitale dell'immagine

Le stazioni dovranno essere robotizzate, alimentate direttamente alla rete elettrica e dotate di batteria tampone con sistema automatico di ricarica e con dispositivo di riarmo automatico. Dovranno essere opportunamente protette dalle intemperie e dai vandalismi.

6.2.10 Cablaggi e centralizzazioni

Per tutta la strumentazione elettrica appartenente ad una singola sezione strumentata è prevista la centralizzazione dei cavi di misura in scatole di centralizzazione (sotterraneo ed esterno). Tali scatole dovranno garantire un grado di protezione (IP65) ed essere attrezzate con connettori idonei al collegamento con le centraline di misura.

I cavi, tra sensore e scatola di centralizzazione, dovranno essere (quando possibile) raccolti in fasci ed in ogni caso adeguatamente protetti e fissati.

Dovranno essere prese le idonee precauzioni per la salvaguardia dei cavi di misura e delle scatole di centralizzazione da danni provocati da cause ambientali od accidentali.

6.3 MODALITÀ DI POSA STRUMENTI

La fase di installazione ha in questi tipi di lavori un'importanza vitale sul buon esito del funzionamento a lungo termine degli strumenti.

La collocazione geografica degli strumenti rispetto al tracciato di scavo ed alle singole opere d'arte, nonché la loro collocazione all'interno delle "sezioni tipo" è indicata negli elaborati di progetto relativi. La reale posizione degli strumenti di monitoraggio messi in opera dovrà essere descritta in opportuni disegni "As built".

6.3.1 Tubo inclinometrico (IN) ed inclino-estensimetrico (EN)

L'installazione dei tubi dovrà essere eseguita in verticale in terreno o all'interno di elementi strutturali.

Nel caso di installazione in terreni, la perforazione per la posa in opera dei tubi dovrà essere eseguita a distruzione e dovrà avere diametro minimo 127mm (max 140mm).

La lunghezza di perforazione dovrà essere maggiore di 0.5m rispetto alla lunghezza di tubo prevista.

La cementazione dovrà essere eseguita mediante iniezione di biacca (miscela acqua, cemento, bentonite costituita rispettivamente da 100-30-6 parti in peso) attraverso almeno due tubi di iniezione disposti uno a fondo foro ed uno a metà dello stesso. Nel caso le pareti non si autosostengano, il rivestimento dovrà essere estratto in fasi successive in concomitanza con la cementazione.

Durante la presa della boiaccia si dovrà provvedere ad eventuali rabbocchi da bocca foro. Successivamente verrà installato a testa tubo un pozzetto di protezione, con chiusino di tipo carrabile.

Al termine dell'installazione dovrà essere verificata la funzionalità della tubazione e si dovrà procedere al lavaggio del tubo con acqua pulita immessa in pressione dal fondo con apposita cannetta.

Lo scostamento della verticalità dell'asse di perforazione non dovrà mai superare i 5° e dovrà essere garantito il passaggio di una sonda di misura di lunghezza pari a 2.0m.

6.3.2 Ricontri topografici plano-altimetrici e di convergenza (CTC)

I ricontri topografici plano-altimetrici saranno messi in opera mediante l'installazione di tasselli o barre di riscontro, mediante perforazione, fissaggio e cementazione con resina (o malta antiritiro nei pozzetti).

I chiodi di convergenza dovranno essere messi in opera mediante perforazione e ancoraggio meccanico.

I capisaldi dovranno essere installati in zone ritenibili non soggetti a movimento o facilmente controllabili con l'ausilio di ulteriori capisaldi posti al di fuori dell'area di influenza dell'opera in costruzione.

6.3.3 Ricontri di Livellazione (CPL, L)

I ricontri per misure di livellazione, in base alla loro tipologia, dovranno essere installati in pozzetto (CPL) o sulle pareti esterne degli edifici (L).

Nel caso di monitoraggio delle vie di transito, per evitare danneggiamenti a seguito del transito veicolare, i punti di misura dovranno essere adeguatamente protetti con la messa in opera di pozzetti a raso del piano stradale.

Nel caso di monitoraggio di edifici, i ricontri dovranno essere posizionati in modo da essere protetti da eventuali urti accidentali e, soprattutto in modo da non costituire inciampo per il traffico pedonale.

I capisaldi dovranno essere installati in zone ritenibili non soggette a movimento o facilmente controllabili con l'ausilio di ulteriori capisaldi posti al di fuori dell'area di influenza dell'opera in costruzione.

6.3.4 Basi per deformometro elettrico o meccanico uniassiale sugli edifici (FS)

Si richiede l'installazione di 2 basi di misura per ogni punto di controllo disposte a cavallo della fessura ortogonalmente ad essa.

Le basi di misura dovranno essere messe in opera su supporti fissati sulla muratura mediante incollaggio con resina cianoacrilica, aiutandosi con una dima calibrata.

In caso di presenza di intonaci o irregolarità superficiali, si dovrà provvedere alla pulizia e regolarizzazione della zona di installazione.

6.3.5 Barrette estensimetriche (BE, BL, BEA)

Gli estensimetri dovranno essere messi in opera a coppie, conformemente agli schemi di progetto sulle centine o sui ferri di intradosso ed estradosso, previa accurata pulitura del punto di installazione od affogati nei getti di cls (in cantiere, al momento del getto in opera nel caso dei diaframmi in c.a. delle paratie ed in stabilimento durante prefabbricazione per i conci di rivestimento della galleria naturale) previo fissaggio sulle armature.

Si dovrà garantire che la posizione tra la distanza tra le basi di ancoraggio del sensore corrisponda alla posizione media del campo di misura strumentale.

Nel caso di installazione su centina o sui puntoni di contrasto provvisori, l'installazione sarà eseguita prima della posa del puntone mediante saldatura ad arco delle basette con apposita dima di riscontro e successivo fissaggio del sensore.

I sensori ed i cavi di misura dovranno essere adeguatamente protetti per evitare danneggiamenti accidentali durante la posa dell'armatura nello scavo e durante l'esecuzione del getto.

Per ogni tipo di installazione i cavi di misura dovranno essere adeguatamente protetti e fissati per evitare che eventuali sforzi di trazione sugli stessi siano trasmessi al sensore.

Nel caso di messa in opera su cls non armato l'installazione del sensore è prevista mediante fissaggio sul getto di una barra in acciaio strumentata.

6.3.6 Celle pressiometriche (CPT, CPR)

Le celle di pressione radiale (CPR) saranno installate annegandole nel getto del rivestimento, in posizione prossima all'estradosso dello stesso o al momento della prefabbricazione del concio di rivestimento della galleria, sempre annegandole nella posizione più prossimale all'estradosso.

Le celle di pressione tangenziali (CPT) saranno poste in opera al momento della prefabbricazione del concio, annegandole nella posizione più prossima al giunto concio-concetto.

6.3.7 Vibrometri triassiali (VB3)

Il rilievo di vibrazioni indotte da lavori di cantiere sia che interessano lavori di abbattimento con macchine a rotazione, sia nel caso di fenomeni impulsivi (ad esempio lavori di abbattimento con esplosivo), necessita di essere supportato da una serie di informazioni sulla tipologia delle strutture interessate dalle vibrazioni stesse. Nel caso di vibrazioni indotte su strutture abitative e industriali sarà necessario ubicare i trasduttori presso le fondamenta dell'edificio stesso, vicino agli elementi portanti, ai piani superiori ed eventualmente in prossimità di strutture portanti interessate da precedenti lesionamenti (travi, soffitti, ecc.).

Presso le fondamenta è preferibile ove possibile:

- sistemare i trasduttori sulle fondamenta esterne più vicine alla sorgente di vibrazioni;
- evitare posizioni incerte come gradini non saldi e solette sovrastanti vuoti;
- le misurazioni ai piani superiori devono tener conto, rispetto alla tipologia costruttiva dell'edificio, della parte di struttura maggiormente sollecitata, la quale va valutata di volta in volta. Di norma le misure vengono eseguite a centro soletta ma in casi estremi sono valutati posizionamenti anche in prossimità di travi portanti.

Solo nel caso di vibrometri collocati per indagini per analisi delle condizioni di disturbo alle persone, all'interno degli edifici, occorre prevedere l'ubicazione dei trasduttori sui pavimenti di diversi piani, destinati ad uso abitativo.

Nel caso di misurazioni in zone di terreno limitrofe all'area di generazione della sorgente vibrazionale è buona norma rendere solidale il trasduttore al terreno per mezzo di particolari dispositivi quali piastre, puntali da infiggere nel terreno ecc.

Le distanze fra trasduttori e sorgente delle vibrazioni sono in genere imposte dalla necessità di valutare il livello vibrometrico in punti prestabiliti (edifici abitativi, industriali, opere preesistenti, opere preesistenti soggette a vincoli architettonici, ecc.). Nel caso in cui non esistano particolari vincoli di posizione è opportuno ubicare i punti di misura e quindi le distanze dalle sorgenti di vibrazioni tenendo conto che l'ampiezza del fenomeno vibratorio si smorza per dissipazione dell'energia dell'onda elastica con legge proporzionale al quadrato della distanza tra la sorgente e il punto di misura. Inoltre, il fenomeno subisce una trasformazione del contenuto in frequenza dell'oscillazione.

In generale, attenuandosi le altre frequenze più rapidamente rispetto alle basse, per grandi distanze dalla sorgente, il fenomeno vibratorio tende ad essere esaltato nel campo delle basse frequenze (da pochi Hertz a qualche decina di Hertz).

6.3.8 Celle di pressione in foro (CP)

L'installazione delle celle di pressione totale dovrà essere eseguita in perforazioni verticali a distruzione di nucleo realizzate a partire dal piano di calpestio in calcestruzzo dell'edificio e spinte fino a circa 2.00 m al di sopra dell'area da consolidare con interventi preventivi di compensazione.

Il diametro di perforazione non dovrà essere inferiore a 140mm. L'installazione della cella nel foro dovrà essere effettuata mediante l'utilizzo di aste rigide allo scopo di conoscere la direzione geografica delle 3 celle idrauliche verticali. Una volta calata la cella nel foro, prima di procedere alla eventuale estrazione del rivestimento provvisorio, si dovrà verificare il regolare funzionamento dei 4 sensori. La cementazione sarà effettuata, preliminarmente, attraverso i condotti e gli ugelli di iniezione predisposti nel telaio dello strumento fino a garantire il completo riempimento del foro. Nel corso della cementazione si terrà sotto continuo controllo il valore della pressione letta alle celle. La miscela cementizia sarà composta da acqua-cemento e bentonite in quantità indicative di 100-30-10 parti in peso ma potrà essere ridefinita in corso d'opera in relazione alle caratteristiche di deformabilità del terreno a fondo foro. Le tubazioni idrauliche provenienti dalle celle saranno raccolte e canalizzate in appositi condotti coibentati verso l'unità di pressurizzazione e lettura automatica dei dati.

6.3.9 Tazze livellometriche idrauliche (TL) e di riferimento (TLR)

Gli assestimetri saranno installati nei punti definiti in progetto e confermati in sito e solidarizzati agli elementi strutturali dell'edificio da monitorare (i.e. pilastri, muri, setti in c.a., ecc...). Essi saranno collegati da tubazioni che costituiranno una "linea idraulica" e dovranno essere protette da una guaina coibentata all'interno della quale sarà steso un cavo elettrico termico in grado di mantenere la temperatura al di sopra del limite di congelamento del fluido. Quest'ultimo sarà composto da una miscela di liquido antigelo in grado di mantenere lo stato liquido fino a -10°C. La differenza di quota assoluta tra i livellometri lungo la linea e quello di riferimento non deve superare il valore del fondo scala diminuito di una quantità pari al cedimento massimo atteso più un franco di sicurezza.

6.3.10 Stazione topografica totale robotizzata

La stazione di rilevamento dovrà essere posizionata su un basamento opportunamente dimensionato e ben consolidato alla superficie d'appoggio per evitare il movimento della stazione stessa. L'ubicazione della stazione dovrà garantire anche la perfetta visibilità dei punti di controllo (punti fissi e di monitoraggio) e dovrà essere possibilmente ubicata all'esterno dell'area

interessata dai lavori. Poiché tale condizione, a causa del particolare contesto urbano in cui occorre operare, non risulta facilmente ottenibile, occorrerà predisporre una rete di stazioni appoggiate a punti fissi esterni e in collegamento ottico una con l'altra in modo tale da poter rilevare e compensare adeguatamente eventuali movimenti delle stazioni stesse.

I punti di controllo saranno costituiti da:

- una serie di punti fissi di riferimento (caposaldi) costituiti da almeno n.4 prismi ottici di diametro minimo di 65mm attrezzati con adeguata montatura e staffa orientabile per l'installazione su parete. Essi dovranno essere collocati in zone non soggette a possibili movimenti e la loro disposizione dovrà essere tale da garantire la più ampia variazione possibile sia in termini di angoli che di distanze. Tale accorgimento è necessario per poter garantire una correzione dei dati grezzi effettivamente rappresentativa delle condizioni atmosferiche locali.
- Una serie di punti di monitoraggio costituiti da prismi ottici diametro minimo 24mm disposti ad un'altezza minima di 5m dal piano terra (la quota definitiva sarà stabilita in funzione della posizione delle stazioni totali e della conseguente visibilità) con passo orizzontale di circa 5-6m. L'effettiva disposizione dipenderà dalle caratteristiche dell'edificio e dalla sua accessibilità e potrà prevedere l'installazione su un'unica verticale a quote differenti o su due verticali distinte.

Tutti i prismi dovranno essere dotati di montatura metallica e parasole e saranno installati mediante tasselli meccanici ad espansione.

L'alimentazione del sistema avverrà direttamente da linea elettrica con l'utilizzo di una batteria tampone da 12V/24Ah e di un regolatore di corrente.

Il sistema di monitoraggio dovrà essere gestito da un PC posizionato in cantiere o in un'opportuna sede facilmente accessibile e mediante software sviluppato in ambiente Windows o altro in grado di:

- gestire la stazione di rilevamento con controllo automatico della collimazione;
- definire le modalità di ricerca dei punti;
- programmare ed eseguire in automatico i cicli di lettura;
- correggere le distanze misurate mediante calcolo della variazione dei dati sui punti di riferimento fissi e restituire il dato corretto in tempo reale;
- memorizzare i dati rilevati;
- comunicare via modem con stazioni remote con possibilità di reimpostare tutte le procedure di monitoraggio;
- gestire soglie di allarme;
- mostrare in tempo reale l'andamento degli spostamenti dei punti di controllo lungo le tre coordinate x, y e z.

La cadenza delle misure automatiche sarà oraria durante le fasi lavorative e di almeno 4 volte al giorno durante le fasi non lavorative. Nel caso di situazioni di criticità o eventuale altra necessità la frequenza di lettura potrà essere incrementata adeguatamente.

L'analisi dei dati dovrà prevedere l'eliminazione dei cicli non significativi a causa di errato calcolo del fattore di correzione dei dati grezzi e la segnalazione di eventuali fenomeni anomali che potrebbero non essere imputabili ad un effettivo movimento dell'edificio da tenere sotto controllo.

6.4 MODALITÀ DI ESECUZIONE DELLE MISURE E PRIMA ELABORAZIONE DATI

L'Appaltatore si dovrà avvalere di un'equipe tecnica che posseda una esperienza documentabile maturata in diversi anni di letture con strumentazione di monitoraggio similare nonché degli strumenti di lettura e del software specialistico per effettuare le misure e le elaborazioni. Tale equipe dovrà garantire la disponibilità di personale e di un numero di strumenti sovra-numerario rispetto alla frequenza di misura massima ipotizzabile dal programma lavori.

La taratura degli strumenti di lettura dovrà essere dichiarata ad inizio lavori, costantemente verificata e periodicamente aggiornata mediante la tenuta di apposito registro disponibile alla Direzione Lavori per ogni controllo.

La frequenza di lettura dovrà essere conforme a quanto definito negli elaborati di progetto ed in generale dovranno essere effettuate letture ogni volta che mutano le condizioni di lavoro dell'elemento interessato. Ad ogni lettura strumentale dovrà essere annotata la situazione lavori al momento dell'esecuzione della misura. Nel corso delle misure, sarà inoltre necessario che situazioni anomale siano immediatamente identificate, ri-verificate ed in caso di evidente anomalia, segnalate in tempo reale alla Direzione Lavori

Nel seguito sono illustrate le principali norme che l'Appaltatore dovrà seguire per l'esecuzione delle letture strumentali in relazione al monitoraggio previsto dal progetto in oggetto.

6.4.1 Prescrizioni per le misure

Tubo inclinometrico (IN) ed inclino-estensimetrico (EIN)

Ad ogni lettura si dovrà provvedere al rilievo della temperatura esterna e garantire adeguata stabilizzazione termica della strumentazione in foro.

La prima lettura di zero verrà eseguita ad avvenuta presa della boiaccia di cementazione (comunque non prima di 4 giorni dalla stessa).

Per misure inclinometriche la lettura di zero dovrà essere eseguita procedendo dal basso verso l'alto sulle 4 guide e con passo di misura pari a quella dei carrelli della sonda (passo della sonda di misura)

Le letture di esercizio potranno essere eseguite sulle due guide che hanno fornito minor medio valore di semi scarto fra letture opposte.

In caso di anomalie di misura o presenza di fenomeni deformativi significativi, potrà essere richiesta, sul singolo tubo, l'esecuzione di letture di esercizio su 4 guide.

Per le misure estensimetriche incrementali la lettura di zero verrà condotta ripetendo le misure almeno due volte (lungo due guide di misura tra loro ortogonali) da fondo tubo verso superficie; le letture successive saranno condotte eseguendo una misura singola.

In caso di anomalie di misura o presenza di fenomeni deformativi significativi potrà essere richiesta, sul singolo tubo, l'esecuzione di due rilievi su guide differenti (come per la lettura di zero).

I dati di misura dovranno essere restituiti sia sotto forma di letture strumentali che elaborati (in forma tabellare e di grafici profondità-spostamento incrementale ed assoluto).

6.4.2 Ricontri topografici plano-altimetrici e di convergenza (CTC)

La strumentazione utilizzata dovrà essere una stazione topografica totale coassiale, con le caratteristiche di precisione minime di 0.3mgon sugli angoli zenitali e azimutali e $2\text{mm}\pm 2\text{ppm}$ sulle distanze.

Per l'esecuzione delle misure con metodo ottico si utilizzerà per ogni tratta o zona di scavo un sistema riferimento locale con lettura su almeno 3 capisaldi di riferimento (punti fissi) per la determinazione della posizione della stazione di misura con il metodo della stazione libera.

I punti fissi dovranno essere collegati, per verifica e controllo, al sistema di riferimento topografico utilizzato per la costruzione dell'opera.

Dovrà essere garantita e prevista la possibilità di esecuzione di un controllo di stabilità dei punti fissi.

I dati di misura dovranno essere restituiti sia sotto forma di letture strumentali che elaborati (in forma tabellare come coordinate e spostamenti ed in forma grafica spostamento-tempo).

6.4.3 Rilievi topografici di precisione con stazione totale robotizzata

Affinché la rete di monitoraggio progettata svolga in quanto tale una funzione congrua alla gestione di eventuali soglie di allarme sui potenziali movimenti delle strutture sollecitate, è necessario cercare di eseguire le misurazioni secondo procedure e tempistiche compatibili con la situazione geotecnica e strutturale al contorno.

Dovranno essere eseguite le misure partendo da condizioni statiche (prima dell'inizio lavori); i risultati (valori di zero) verranno utilizzati per il confronto con le misurazioni successive, eseguite in parallelo con l'avanzamento dei lavori con la cadenza sopraindicata.

Ogni ciclo di rilievo sarà comprensivo di:

- rilievo delle mire ottiche posizionate sui paramenti laterali per ogni copia di sub-tratte, eseguito a mezzo stazione topografica con caratterizzazione delle coordinate x, y, z di ciascuna mira rispetto ad un'origine relativa.
- acquisizione dei dati di rilievo su schede PCMCIA tipo SRAM.
- collegamento giornaliero via modem GSM con la ns. sede e scarico dei dati misurati.
- calcolo e compensazione delle coordinate x, y, z, di tutti i punti di dettaglio rilevati;
- elaborazione per confronto dei valori acquisiti con quelli di riferimento.
- messa in rete c/o ns. sito Web della restituzione grafica attestante la posizione delle rispettive mire rispetto alla misura di zero.
- archiviazione giornaliera dei files di dati acquisiti e relative elaborazioni grafiche.
- A seguito delle misurazioni dovrà essere prevista la consegna alla D.L. della seguente documentazione:
 - Giornalmente: nel ns. Schede sulle misurazioni delle mire ottiche eseguite e relativi grafici degli scostamenti;
 - Settimanalmente: Report grafico andamento cantiere;
 - Al termine del periodo di monitoraggio: report riassuntivo con commento tecnico contenente i dati di rilievo elaborati.

La validazione giornaliera dei dati acquisiti attraverso le misure topografiche di precisione dovrà essere effettuata attraverso l'attento controllo degli stessi in relazione agli scostamenti registrati rispetto agli zeri sui rispettivi punti di misura.

Al fine di stabilire in modo adeguato i valori limite corrispondenti alle soglie di attenzione che si vogliono gestire, dovrà essere effettuata un'elaborazione statistica basata sull'analisi di una casistica in costante aggiornamento che preveda la gestione di un database di archiviazione all'interno del quale si potranno osservare gli indici di deformazione della struttura indagata ed il loro evolversi nel tempo e nello spazio.

Al fine di eseguire in modo preciso e speditivo l'operazione di validazione, dovrà essere adottato un sistema di gestione dei valori misurati attraverso tabelle predisposte, in grado di diagrammare in tempo reale tutti i valori rendendoli visivamente confrontabili.

I dati verranno trattati in files giornalieri. Ogni file conterrà il modulo di registrazione delle misure giornaliere con tutte le informazioni relative all'ubicazione univoca dei punti misurati, nonché le note di commento sulla tipologia dei lavori effettuati durante le misurazioni topografiche.

6.4.4 Riscontri di Livellazione (CPL)

La strumentazione utilizzata dovrà rispondere alle caratteristiche di precisione minima richiesta (0.1mm).

Nell'esecuzione delle misure con il metodo ottico si dovrà utilizzare per ciascun tratto o zona di scavo un sistema di riferimento locale con almeno 3 basi di riferimento (punti fissi) per la determinazione della posizione della stazione di misura con il metodo della "stazione libera".

I punti fissi dovranno essere sempre legati, per verifiche e controlli, al sistema di riferimento topografico utilizzato per la realizzazione dell'opera in progetto

Dovrà essere garantita e prevista la possibilità di eseguire un controllo della stabilità dei punti fissi.

I dati di lettura dovranno essere restituiti sia sotto forma di letture strumentali che in forma tabellare (con coordinate e spostamenti) ed in forma grafica (spostamenti-tempo).

6.4.5 Basi per deformometro elettrico uniassiale sugli edifici (FSW)

La strumentazione utilizzata dovrà garantire la risoluzione minima (± 0.01 mm).

Ad ogni lettura si dovrà provvedere al rilievo della temperatura esterna ed all'esecuzione di due misure (diretta e inversa) per ogni coppia di basi.

I dati di misura dovranno essere restituiti sia sotto forma di letture strumentali che elaborati (in forma tabellare e di grafico spostamento-tempo, temperatura-tempo).

6.4.6 Barrette estensimetriche (BE, BL, BEA)

Dovranno essere previste le seguenti letture di azzeramento:

- dopo l'installazione della strumentazione sugli elementi strutturali;
- dopo la posa dell'elemento strutturale medesimo in opera o il getto del diaframma o della soletta;

Ad ogni lettura si dovrà provvedere al rilievo della temperatura.

I dati di misura dovranno essere restituiti sia sotto forma di letture strumentali che elaborati (in forma tabellare e di grafico deformazione-tempo).

6.4.7 Celle pressiometriche (CPT, CPR)

I dati di misura dovranno essere restituiti sia sotto forma di letture strumentali che elaborati (in forma tabellare e di grafico forza-tempo).

6.4.8 Celle di pressione in foro (CP)

La misura delle 3 celle di pressione totale in foro sarà eseguita in modo automatico mediante un'apposita unità idraulica di pressurizzazione/acquisizione. L'unità di pressurizzazione/acquisizione sarà dotata di pompa idraulica, manometri di controllo e unità di acquisizione automatica dei dati e dovrà essere in grado di acquisire almeno 10 singole celle di pressione. in modo tale da garantire una temperatura di funzionamento sempre $\geq 5^{\circ}\text{C}$ e \leq almeno fino a 70°C e dovrà essere fornita di alimentatore a bassa tensione (12V), batteria tampone ad elevata capacità e modem router GPRS.

6.4.9 Tazze livellometriche idrauliche (TL) e di riferimento (TLR)

La misurazione dei livelli idraulici rilevati dai sensori sarà effettuata in modo automatico mediante un'unità di acquisizione automatica dei dati, protetta in apposito box coibentato.

6.4.10 Vibrometri triassiali (VB3)

La valutazione del tempo per cui deve essere proseguita la misura dipende principalmente dalle caratteristiche del fenomeno (impulsivo o continuo).

Nel caso di fenomeni impulsivi (ad esempio lavori di abbattimento con esplosivo, scavo con martello demolitore idraulico, ecc.) le registrazioni variano da 1s (secondi) a 15s, in funzione delle modalità di suddivisione delle cariche esplosive (tempi di ritardo).

Nelle innovazioni in continuo (vibrazioni prodotto da lavori di abbattimento con macchine a rotazione) occorre utilizzare la finestra temporale più ampia possibile.

In generale la corretta determinazione del periodo di osservazione è particolarmente delicata e può essere in parte risolta disponendo tempi di registrazione significativi fino a 60s con periodi di osservazione fino a 60 min. o per archi di tempi di qualche ora e la strumentazione ubicata in postazioni dove non possa essere oggetto di fenomeni di disturbo dovuti a persone o animali.

I dati di misura dovranno essere restituiti sia sotto forma di letture strumentali che elaborati (in forma tabellare e di grafico) per i seguenti parametri:

- Valori massimi di ampiezza (in genere velocità particellare) di ciascuna componente
- Valore massimo della risultante vettoriale delle tre componenti (nel caso di strumentazione triassiale)
- Frequenza principale di oscillazione del fenomeno

- Confronto di tali parametri con gli standard imposti dalle normative idonee (analisi di pericolosità del fenomeno), con preferenza alla norma UNI9916/DIN 4150, improntate ad una maggior prudenza, specie in presenza di edifici monumentali.

6.5 MODALITÀ DI ELABORAZIONE, GESTIONE E RESTITUZIONE DELLE MISURE

L'Appaltatore dovrà elaborare e restituire le misure alla Direzione Lavori nei formati tabellari e grafici previsti al precedente capitolo per la tipologia di misura interessata.

L' Appaltatore è inoltre tenuto ad una particolare gestione dei dati delle misure in un formato utilizzabile dal Sistema di Monitoraggio (SdM), basato su architetture di tipo Web (InterNet) ed attualmente in uso per la gestione e distribuzione a tutte le parti dell'informazione relativa.

I principali punti della gestione dei dati prevedono:

1. La produzione dell'informazione (PT1),
2. il trasferimento dell'informazione (PT2),
3. l'archiviazione delle informazioni e la loro distribuzione per la ricerca/consultazione (PT3),
4. l'interpretazione dei dati stessi (PT4).

Una descrizione di tali fasi è fornita nel seguito.

6.5.1 Creazione dei DATI (PT1)

L' Appaltatore è responsabile della produzione/creazione dei dati di monitoraggio secondo le specifiche ed il programma di lavoro approvato dalla Direzione Lavori.

L' Appaltatore è responsabile dell'effettuazione del primo controllo di integrità dei dati per assicurare che le misurazioni non siano errate e deve informare la Direzione Lavori in caso di errori, problemi o del superamento delle soglie prefissate.

6.5.2 Trasferimento dei dati (PT2)

Tutte le misurazioni devono pervenire alla Direzione Lavori e ad SdM in unità consistenti dal punto di vista ingegneristico. Tali dati devono essere sottoposti settimanalmente alla Direzione Lavori in formato cartaceo ed anticipati via e-mail in formato digitale entro 24 ore dalla misura, inviati in parallelo alla Direzione Lavori ed alla casella di posta dedicata.

L' Appaltatore è anche responsabile della trasmissione alla Direzione Lavori dei dati relativi al controllo qualità del monitoraggio, (secondo quanto definito nel P.D.Q.L. di monitoraggio da lui stesso redatto); i seguenti documenti devono quindi essere inoltrati alla Direzione Lavori:

- Disegni del costruito (as built)
- Rapporti di installazione di ogni singola apparecchiatura (schede di Qualità della Lavorazione)
- Certificati di calibrazione degli strumenti di misura e delle centraline di acquisizione

Formato dei Dati per SdM

Le seguenti condizioni devono essere rispettate:

- I dati delle misure devono essere forniti dall'Appaltatore in un formato tipo excel, secondo gli standard che saranno forniti dalla Direzione Lavori o compatibili con tale formato.
- I dati relativi alla posizione definitiva (as built) degli strumenti devono essere forniti in un formato Autocad, riferiti alle coordinate progetto e corredati di punti significativi di riferimento.
- Una volta che il formato dei dati per una tipologia strumentale è stato definito ed approvato dalla Direzione Lavori, esso non può essere cambiato e deve restare inalterato nella forma per tutta la durata dei lavori.
- I file di dati devono rispettare una convenzione relativa all'assegnazione del nome del file stesso che viene presentata di seguito:
aaaammgg_d_ii_l_c_n-n-..-n.xls
dove:
aaaa è l'anno (es: 2017)
mm è il mese (es: 02)
gg è il giorno (es: 24)
d è un numero che rappresenta l'indice di lettura/file in caso di letture/file multipli giornalieri (da 0 a 9 e 0 di default)
ll è il numero che rappresenta il Lotto (es: L1)
ii è il codice del tipo strumento secondo la lista di presentata nella sottostante tabella

Tabella 16 Sintesi della strumentazione e sigle

SIGLA	STRUMENTAZIONE
IN	Inclinometri
EIN	Inclino-estensimetri
BE, BEA, BL	Barrette estensimetriche
CTC	Punti di convergenza sulle strutture
CTC	Punti di controllo topografico 3D
CP	Celle di pressione tridimensionali in foro
L, CPL	Punti di controllo del cedimento
CPR	Celle di pressione radiali
CPT	Celle di pressione tangenziali
FSW	Deformometri elettrici fissi wireles
VB3	Vibrometri triassiali
TL, TLR	Tazze livellometriche e di riferimento

n-n' è un identificativo che indica il numero degli strumenti inclusi nel file inviato, secondo la numerazione di progetto (es: 10-30);

c è una lettera (assegnata dalla Direzione Lavori, a di default) che identifica il soggetto che ha prodotto le letture

Quando la Direzione Lavori riceve dati dall'Appaltatore una rapida revisione viene effettuata per controllarne l'integrità e che le letture non indichino un'ovvia tendenza avversa. In caso di letture errate o mancanti, la Direzione Lavori si metterà direttamente in contatto con l'Appaltatore per chiarimenti o ripetizioni di misure.

6.5.3 Trattamento dati (PT3)

I dati saranno automaticamente integrati da SdM in una banca dati. Essi saranno poi resi disponibili on-line per la Direzione Lavori, il progettista, l'Appaltatore e i servizi tecnici del cliente.

Un controllo delle misurazioni viene effettuato per assicurare che ogni valore sia compreso nei limiti e nelle soglie di allarme definite dal progettista. In caso di superamenti di soglie, la Direzione Lavori viene informata automaticamente insieme al progettista; la Direzione Lavori gestisce la situazione e implementa le contromisure, il progettista revisiona la situazione con i dati disponibili e consiglia la Direzione Lavori.

6.5.4 Interpretazione dati (PT4)

Entro la fine di ogni mese, a partire dalla data di installazione del primo strumento di monitoraggio, l'Appaltatore è tenuto a fornire alla Direzione Lavori un rapporto interpretativo dei dati di monitoraggio in cui siano sintetizzati, sia per le misure geotecniche che per quelle vibrometriche:

- lo stato delle installazioni strumentali (n° e tipo degli strumenti implementati nel mese),
- lo stato delle letture (frequenza e differenze rispetto al P.d.Q.L),
- i principali risultati (in termini di valori registrati in relazione alle soglie di attenzione e allarme predefinite da progetto)
- l'interpretazione del fenomeno (in termini di valori registrati o anomalie rispetto alla fase di avanzamento dei lavori e rispetto alla posizione geografici).