

**MINISTERO
DELLE INFRASTRUTTURE E DELLA MOBILITÀ SOSTENIBILI
STRUTTURA TECNICA DI MISSIONE**




COMUNE DI TORINO



**METROPOLITANA AUTOMATICA DI TORINO
LINEA 2 – TRATTA POLITECNICO – REBAUDENGO**

**PROGETTAZIONE DEFINITIVA
Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico**


PROGETTO DEFINITIVO														INFRATRASPORTI S.r.l.								
DIRETTORE PROGETTAZIONE Responsabile integrazione discipline specialistiche	IL PROGETTISTA																					
Ing. R. Crova Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino n. 6038S	Ing. F. Rizzo Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino n. 9337K	SUBSIDENZE, PRESIDIO E MONITORAGGI MONITORAGGIO RELAZIONE TECNICA																				
ELABORATO										REV.		SCALA	DATA									
										Int.	Est.											
BIM MANAGER Geom. L. D'Accardi										M	L2	T1	A2	D	PRC	G00	R	002	0	1	-	30/11/2022


AGGIORNAMENTI

Fg. 1 di 1

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO	VISTO
0	EMISSIONE	18/1/2022	TUN	PDM	F. Rizzo	R. Crova
1	Emissione finale a seguito di verifica preventiva	30/11/22	GQU	PDM	F. Rizzo	R. Crova
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-

<table border="1"> <tr> <td>LOTTO 2</td> <td>CARTELLA</td> <td>10</td> <td>2</td> <td>MTL2T1A2D</td> <td>PRCG00R002</td> </tr> </table>						LOTTO 2	CARTELLA	10	2	MTL2T1A2D	PRCG00R002	<p align="center">STAZIONE APPALTANTE</p> <p align="center">DIRETTORE DI DIVISIONE INFRASTRUTTURE E MOBILITÀ Ing. R. Bertasio</p> <p align="center">RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO Ing. A. Strozzi</p>			
LOTTO 2	CARTELLA	10	2	MTL2T1A2D	PRCG00R002										

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 2 Bologna-Politecnico
Monitoraggio – Relazione Tecnica	02_MTL2T1A2DPRCG00R002-0-1.DOCX

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 2 Bologna-Politecnico
Monitoraggio – Relazione Tecnica	02_MTL2T1A2DPRCG00R002-0-1.DOCX


1.	INQUADRAMENTO GENERALE	4
1.1	SCOPO E CAMPO DI APPLICAZIONE	4
2.	INTRODUZIONE	5
3.	DEFINIZIONE DEI PARAMETRI CHIAVE	7
4.	DESCRIZIONE DEL CONTESTO GEOLOGICO	8
4.1	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE	9
5.	MONITORAGGIO GALLERIA DI LINEA	10
5.1	PRINCIPI GENERALI	10
5.2	STRUMENTAZIONE GALLERIA SCAVATA CON TBM	10
6.	MONITORAGGIO DEI POZZI DI INTERTRATTA	12
7.	MONITORAGGIO DELLE STAZIONI	13
8.	MONITORAGGIO EDIFICI E MANUFATTI ESISTENTI	14
9.	CONCLUSIONI	15

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1.	Key-plan della linea 2 – Tratta funzionale 2, Bologna - Politecnico	5
Figura 2.	Diagramma di flusso relativo alla metodologia di progettazione flessibile	7

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 -	Frequenza letture di monitoraggio	12
-------------	-----------------------------------	----

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 2 Bologna-Politecnico
Monitoraggio – Relazione Tecnica	02_MTL2T1A2DPRCG00R002-0-1.DOCX

1. INQUADRAMENTO GENERALE

1.1 Scopo e campo di applicazione

La presente relazione tecnica si inserisce nell'ambito dell'affidamento dei servizi di ingegneria relativi alla Progettazione Definitiva della del Lotto Funzionale 2, tratta Bologna-Politecnico della Linea 2 della Metropolitana, disciplinato dal Contratto tra la Città di Torino e la società Infratrasporti.TO s.r.l., ed ha per oggetto l'analisi delle subsidenze indotte dalle opere di linea (gallerie scavate con TBM e gallerie artificiali, stazioni e pozzi) e l'impatto che queste possono avere sulle pre-esistenze.

Il lotto funzionale 2, della Linea 2 della Metropolitana di Torino, incluso tra il Pozzo Intertratta Novara e Politecnico, si colloca interamente nel territorio comunale di Torino, presenta una lunghezza di circa 5,7 km, e, procedendo da Nord verso Sud, si sviluppa lungo via Bologna, al fine di servire meglio gli insediamenti dell'area interessata, esistenti e futuri, con le fermate intermedie Bologna e Novara. Dopo la fermata Novara, il tracciato si allontana dall'asse di Via Bologna mediante una curva in direzione sud-est e si immette sotto l'asse di Corso Verona fino alla Stazione Verona ubicata in Largo Verona. Dopo la fermata Verona, sotto attraversato il fiume Dora e Corso Regina Margherita, la linea entra nel centro storico della città con le fermate Mole/Giardini Reali e Carlo Alberto, portandosi poi in corrispondenza di via Lagrange, sino ad arrivare alla stazione Porta Nuova, posta lungo via Nizza, che sarà di corrispondenza sia con la linea F.S. che con la Linea 1 della metropolitana di Torino.

Dalla fermata Porta Nuova il tracciato prosegue lungo l'allineamento di via Pastrengo, per poi portarsi su corso Duca degli Abruzzi fino alla fermata Politecnico.

Il 1° lotto funzionale è costituito dalle seguenti opere:

- 7 stazioni sotterranee
- 8 pozzi intertratta aventi funzione di ventilazione, uscita di emergenza ed accesso dei soccorsi
- La galleria di linea costituita da:
 - Un tratto in galleria naturale realizzato con scavo meccanizzato mediante una TBM (Tunnel Boring Machine) avente diametro di scavo di circa 10,00m, dal manufatto in retrostazione Bologna fino al tronchino in retrostazione Politecnico per una lunghezza complessiva di circa 5,6km;
 - Un pozzo terminale di fine tratta funzionale per l'estrazione della TBM, posto all'estremità del tronchino in retrostazione Politecnico.



Figura 1. Key-plan della linea 2 – Tratta funzionale 2, Bologna - Politecnico


2. INTRODUZIONE

L'entità reale dei fenomeni deformativi che si possono verificare durante la realizzazione di un'opera dipende in maniera considerevole dalle variabilità locali della situazione geologico/geotecnica e, soprattutto, dalle reali modalità esecutive adottate.

Per quanto sopra deve essere messo in opera un adeguato sistema di monitoraggio che possa permettere il confronto della situazione teorico/progettuale con le reali situazioni che possono instaurarsi sia durante la le operazioni di scavo che sul medio termine.

Il monitoraggio delle opere in progetto dovrà permettere:

- La verifica dell'efficacia delle soluzioni progettuali prescelte, in ragione della variabilità locale della geologia, attuando misure sullo stato deformativo e tensionale delle strutture.
- La misura della situazione deformativa del terreno determinata in corrispondenza dell'asse della galleria della metropolitana e nella zona circostante di influenza, nonché a tergo delle paratie di diaframmi e/o pali e/o micropali per le zone di influenza degli scavi delle stazioni e dei pozzi.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 2 Bologna-Politecnico
Monitoraggio – Relazione Tecnica	02_MTL2T1A2DPRCG00R002-0-1.DOCX

- La verifica della situazione deformativa sui fabbricati presenti nell'area di influenza degli scavi.


Le attività di monitoraggio dovranno poi permettere la validazione dei parametri utilizzati per la definizione dei metodi di stabilizzazione degli scavi al fine di avallare le scelte effettuate oppure effettuare le necessarie modifiche in corso d'opera. Questo metodo permette, quindi, di garantire la gestione degli imprevisti legati allo scavo. A tal fine è necessario predefinire dei valori di soglia (di attenzione e di allarme) dei parametri chiave, la cui comparazione con i risultati del monitoraggio dovrà permettere, se necessario, l'applicazione di opportune contromisure assicurando la sicurezza dello scavo, delle persone e delle strutture circostanti.

La metodologia adottata segue il principio di progettazione secondo la "*filosofia di progetto flessibile*" correntemente applicata nel campo dell'ingegneria geotecnica e per le opere in sotterraneo in particolare (**Figura 2**).

Tale filosofia prevede il controllo sistematico dei lavori attraverso un piano di monitoraggio dei parametri che influenzano il comportamento dell'opera e del terreno circostante, al fine di confrontare le ipotesi di progetto e, dove necessario, adattarlo alla situazione locale per garantire le condizioni di sicurezza previsti, il rispetto dei tempi di esecuzione e la gestione delle aleatorietà.

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

- Definizione dei parametri chiave del monitoraggio.
- Definizione delle sezioni tipo di monitoraggio e della tipologia di strumentazione da mettere in opera, sia per le strutture che per i manufatti preesistenze.
- Localizzazione delle sezioni tipo e dei manufatti cui applicare le strumentazioni.
- Definizione della frequenza delle letture.
- Definizione dei valori (limiti) di attenzione e allarme per le grandezze monitorate.
- Definizione delle contromisure da attuare in caso di superamento dei valori di allarme definiti.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 2 Bologna-Politecnico
Monitoraggio – Relazione Tecnica	02_MTL2T1A2DPRCG00R002-0-1.DOCX

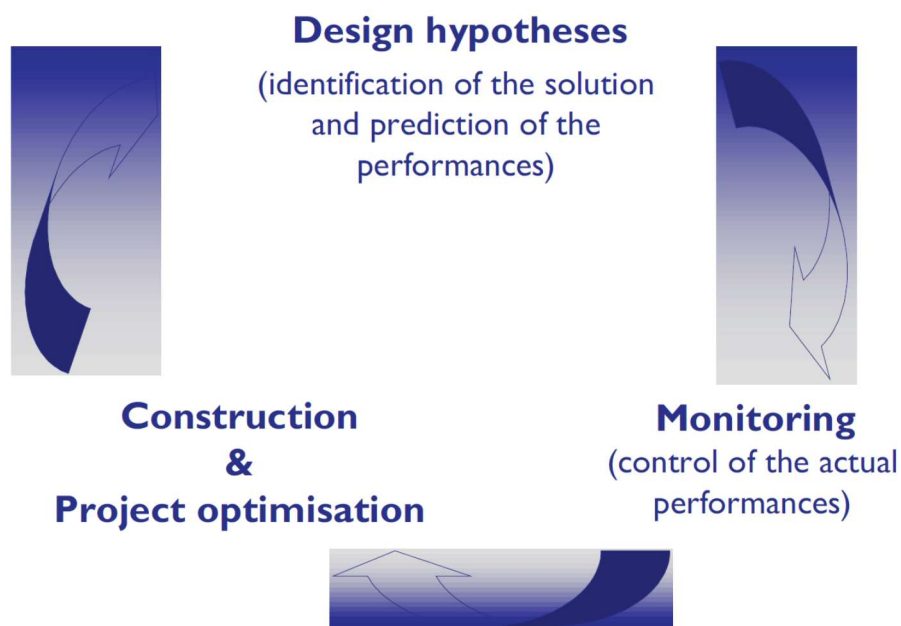


Figura 2. Diagramma di flusso relativo alla metodologia di progettazione flessibile

I primi due elementi sopra citati sono di seguito trattati. I dettagli di questi ed i rimanenti elementi dovranno essere trattate nelle successive fasi progettuali (Progetto Esecutivo).

Gli schemi tipologici del sistema di monitoraggio per i manufatti interessati dallo scavo e quelli in progetto sono riportati negli elaborati grafici inerenti il monitoraggio che fanno parte integrante del presente documento.

Nello specifico, l'esatta posizione delle sezioni di monitoraggio e degli strumenti descritti nel seguito del presente documento dovrà essere specificata nell'ambito delle successive fasi di progettazione.

3. DEFINIZIONE DEI PARAMETRI CHIAVE

In funzione delle informazioni derivanti dalle attività di progettazione/calcolo, devono essere previsti sistemi atti a monitorare i seguenti parametri:

- Tensioni, deformazioni e spostamenti nelle strutture sotterranee in costruzione.
- Deformazione sulla superficie del suolo e in profondità.
- Spostamenti sia degli edifici sia di altri manufatti esistenti.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 2 Bologna-Politecnico
Monitoraggio – Relazione Tecnica	02_MTL2T1A2DPRCG00R002-0-1.DOCX

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

- Strutture sotterranee in costruzione.

Deformazioni e convergenze della galleria.

Sollecitazioni nei conci di rivestimento della galleria.

Deformazioni e spostamenti delle paratie delle stazioni.

Sollecitazioni delle paratie delle stazioni.

Sollecitazioni negli elementi orizzontali (provvisori e/o permanenti) nelle stazioni e della galleria di linea.

- Strutture esistenti.

Cedimenti del terreno nelle vicinanze della struttura.

Cedimenti e rotazioni delle strutture poste nelle vicinanze dell'opera.

Vibrazioni delle strutture.

Monitoraggio di eventuali fessure esistenti nelle strutture.

Occorre ricordare come le grandezze sopra descritte siano fra di loro interdipendenti, motivo per il quale la variazione anomala di un parametro potrebbe essere addebitata ad una causa che provoca anche la modifica delle altre grandezze. I parametri ricavati devono, quindi, essere tra loro correlati al fine di permettere la rapida comprensione del fenomeno fisico e della risposta della struttura allo scavo in modo da verificare tempestivamente anche le eventuali situazioni di rischio per i manufatti esistenti e le relative contromisure da adottare.

4. DESCRIZIONE DEL CONTESTO GEOLOGICO

L'area lungo la quale si svilupperà il Progetto della Linea 2 si ubica nella cosiddetta "Pianura piemontese settentrionale" delimitata a Nord-Ovest dalle Alpi e verso Sud-Est dai rilievi collinari della Collina di Torino e del Monferrato. Tale struttura è caratterizzata da una potente serie di età pliocenica superiore – olocenica formata dagli apporti successivi di due ampi conoidi fluvio-glaciali appartenenti al fiume Dora Riparia e torrente Stura di Lanzo. I materiali di natura continentale sono sovrapposti ad una serie marina pliocenica composta da depositi sabbiosi, sabbioso-limosi fino a totalmente limosi. Ad ulteriore profondità si rinvenivano formazioni marine di età terziaria di natura prevalentemente marnosa ed arenaceo-conglomeratica costituenti la Collina di Torino.

Nello specifico possiamo affermare che l'assetto geologico generale della zona d'interesse è costituito per i primi 150m circa di profondità dal piano campagna in tre complessi litostratigrafici:

- depositi fluvioglaciali e fluviali: sabbie e ciottoli in matrice limosa;
- depositi lacustri e fluviolacustri: limi argillosi e livelli sabbioso ghiaiosi;
- depositi d'ambiente marino, limi argillosi, limi sabbiosi e sabbie grigio azzurre con fossili.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 2 Bologna-Politecnico
Monitoraggio – Relazione Tecnica	02_MTL2T1A2DPRCG00R002-0-1.DOCX

Nel complesso i terreni interessati dallo scavo delle gallerie sono costituiti prevalentemente da un deposito ghiaioso-sabbioso ben addensato, caratterizzato dalla presenza di livelli e/o lenti di materiale cementato. La cementazione si presenta perlopiù con disomogenea distribuzione verticale e scarsa continuità orizzontale, in accordo alla genesi stessa del deposito naturale.

Soltanto in alcuni specifici tratti dove il tracciato si approfondisce la galleria interseca i materiali sottostanti:

- intorno a Pk 7+220 la metà inferiore del fronte intercetta depositi limo-argilloso-sabbioso-ghiaioso (argille azzurre)
- intorno a Pk 8+600 il fronte è interamente nei depositi di argille limose molto compatte e localmente litificate (marne di Sant'Agata)

4.1 Caratteristiche geotecniche

In fase preliminare ed in base alle risultanze delle indagini svolte sin ora ed a quanto disponibile in letteratura e da lavori precedenti, la caratterizzazione geotecnica delle unità interessate dagli scavi si possono descrivere come segue.

Unità geotecnica 1: terreno superficiale

Rappresenta l'orizzonte superiore del profilo stratigrafico e si presenta con potenza variabile. Granulometricamente risulta composta da limi sabbioso-argillosi, limi, e limi argillosi, sabbie con ghiaie, inglobanti materiali derivanti da demolizioni quali frammenti di laterizi e calcestruzzo.

Unità geotecnica 2-3-4: depositi fluvioglaciali Rissiani (ghiaie con sabbie da sciolte a cementazione media-elevata)


Le unità 2-3-4 sono riconducibili ai depositi fluvioglaciali del Pleistocene, costituiti da ghiaie eterometriche da fini a grosse, con clasti poligenici (di dimensioni variabili da centimetrici a metrici) immersi in matrice sabbioso-limosa. Le unità 2-3-4 si differenziano unicamente per il grado di cementazione associato: l'unità 2 sono depositi caratterizzati da un livello di cementazione nullo-basso; l'unità 3 con grado di cementazione da basso a medio e l'unità 4 con grado di cementazione alto.

Unità geotecnica 5: Argille Azzurre

Questa unità è formata da limi argillosi e argille limose grigie e grigio-azzurre, molto compatte, plastiche, con livelli centimetrici sabbioso – limosi e ghiaioso – limosi con rari ciottoli.

Unità geotecnica 6: depositi Villafranchiani

I depositi del Villafranchiano intercettati dalle indagini eseguite per il progetto preliminare di L2 sono maggiormente costituiti da sabbie da fini a grosse e ghiaie fini e localmente sabbie limose. Si sottolinea inoltre la presenza all'interno di questa unità di limi argillosi piuttosto coesivi.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 2 Bologna-Politecnico
Monitoraggio – Relazione Tecnica	02_MTL2T1A2DPRCG00R002-0-1.DOCX

Unità geotecnica 7: marne di Sant'Agata

Questa unità, costituita da argille limose molto compatte, localmente litificate.

Ai fini del calcolo delle subsidenze, di fatto il tracciato si trova immerso in un materiale generalmente non coesivo a luoghi cementato con limitati passaggi in unità geotecniche maggiormente coesive.

5. MONITORAGGIO GALLERIA DI LINEA

5.1 Principi generali

Il sistema di monitoraggio della galleria di linea previsto per la tratta in esame è descritto di seguito:

○ Galleria di linea scavo con TBM

- Monitoraggio dello scavo meccanizzato realizzato direttamente dal sistema automatico di acquisizione dati dalla macchina.
- Monitoraggio del rivestimento definitivo della galleria.
- Monitoraggio del bacino di subsidenza in superficie dovuto alle operazioni di scavo.

A quanto sopra si aggiunge il monitoraggio degli edifici interessati dal bacino di subsidenza dello scavo della galleria che, per le loro caratteristiche strutturali, possono venire maggiormente influenzate in senso negativo dalle operazioni di scavo.

Per quanto concerne il monitoraggio dei parametri della macchina, si rimanda alle successive fasi progettuali dove dovrà essere prevista una descrizione delle grandezze da monitorare (pesi volumi estratti, pressioni al fronte, volume di malta delle iniezioni a tergo dei conci, coppie, avanzamenti, etc..) che saranno scelte anche in base a quanto previsto dal capitolato prestazionale in merito ai requisiti minimi da rispettare per la scelta della TBM.

5.2 Strumentazione galleria scavata con TBM

Nel tratto oggetto della presente relazione esistono numerose pre-esistenze che interferiscono con la nuova linea 2 perciò il monitoraggio sia della galleria sia degli edifici/ infrastrutture è di vitale importanza.

Si distinguono i monitoraggi relativi alla galleria e quelli relativi agli edifici e strutture in genere (vedi **Paragrafo 8**).

Per quanto attiene la galleria si individuano tre tipologie di sezioni:

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 2 Bologna-Politecnico
Monitoraggio – Relazione Tecnica	02_MTL2T1A2DPRCG00R002-0-1.DOCX

- Sezione Corrente (SC) che ha lo scopo di monitorare gli spostamenti dell’anello di rivestimento in conci; in superficie sono previsti n.5 punti di **livellazione superficiale (CPL)** per il controllo dei cedimenti del terreno.
- Sezione Principale Tipo A (SP_A) costituita dalla SC integrata con misure di deformazione nel terreno e misure del livello piezometrico,
- Sezione Principale Tipo B (SP_B) costituita dalla SP_A integrata con misure di carico e misure tensio-deformative sul rivestimento in conci prefabbricati.

In dettaglio la Sezione Principale (SP) è costituita da:

Tipo A: in superficie sono previsti 5 punti di livellazione superficiale (CPL) per il controllo dei cedimenti del terreno, 2 inclino-estensimetri verticali (EIN) disposti lateralmente alla galleria ed un inclino-estensimetro posizionato sull’asse della stessa.

Tipo B: alla strumentazione prevista nella tipo A si prevede l’aggiunta e la messa in opera di un anello di rivestimento realizzato mediante speciali conci pre-strumentati in stabilimento, tali da non turbare le normali operazioni di installazione dell’anello stesso. La strumentazione prevista nella sezione principale tipo B comprende:

- Celle di pressione totali di tipo idraulico disposte radialmente (CPR) dietro i conci, disposti a croce in 4 punti.
- 1 cella di pressione totale di tipo idraulico ripressurizzabile (CTP) disposta longitudinalmente all’interno del concio, annegata nel calcestruzzo e posizionata in modo tale da rilevare la pressione radiale circonferenziale agente all’interno del concio.
- Barrette estensimetriche a corda vibrante dotate di termistore (BE), disposte circonferenzialmente a coppie su apposite gabbie di armatura per tutti i conci costituenti l’anello. In aggiunta sono previste 1 barretta di riferimento “no stress strain gauge” (BEA) disposta radialmente e barrette estensimetriche (BL).

Le sezioni SC hanno una cadenza regolare di circa 25m, mentre le sezioni SP sono localizzate laddove ritenuto più utile al controllo delle interferenze indotte, specie a ridosso delle strutture presenti in zona e in prossimità delle stazioni.

La frequenza delle letture dovrà avere almeno la cadenza indicata nella tabella che segue.


 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 2 Bologna-Politecnico
Monitoraggio – Relazione Tecnica	02_MTL2T1A2DPRCG00R002-0-1.DOCX

Tabella 1 - Frequenza letture di monitoraggio


Stato della costruzione		Frequenza
Durante la realizzazione dei consolidamenti		1 lettura/giorno
Dopo il termine dei consolidamenti e prima dell'avvio degli scavi		1 lettura/settimana
Durante lo scavo della galleria in funzione della posizione del fronte di avanzamento		
Anti il fronte (m)	Dietro il fronte (m)	
d>50	-	2 letture iniziali
10<d<50	-	1 lettura/giorno
d<10	-	2 letture/giorno
-	d<10	2 letture/giorno
-	10<d<50	1 lettura/2 giorni
-	d>50	1 lettura/settimana fino a stabilizzazione

6. MONITORAGGIO DEI POZZI DI INTERTRATTA

Il monitoraggio dei pozzi in costruzione è finalizzato al controllo delle condizioni di stabilità ed alla corrispondenza dei risultati attesi in termini di tensioni e deformazioni in sede di progetto.

Le strumentazioni di monitoraggio previste nei pozzi sono riportate nel relativo elaborato grafico ed in particolare sono costituite da:

- Inclinatori verticali (IN) disposti all'interno delle paratie della sala tecnica e 2 nelle strutture di contenimento del pozzo circolare.
- Barrette estensimetriche longitudinali del tipo a corda vibrante in corrispondenza delle opere di contenimento lungo le pareti di scavo della cabina tecnica.
- Ricontri per misure di convergenza (CTC) da posizionarsi in corrispondenza della testa degli inclinometri.
- Barrette estensimetriche (BE) del tipo a corda vibrante dotate di termistore, in corrispondenza dei puntoni provvisori di contrasto.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 2 Bologna-Politecnico
Monitoraggio – Relazione Tecnica	02_MTL2T1A2DPRCG00R002-0-1.DOCX


- Punti di livellazione superficiale (CPL) a tergo delle paratie per il controllo dei cedimenti del terreno.
- Mire per la misura di convergenza ottica (CTC) sul rivestimento definitivo della cabina tecnica (per la sola fase di costruzione dell'opera).
- Mire per la misura di convergenza ottica (CTC) sulle pareti del pozzo circolare (per la sola fase di costruzione dell'opera).
- Barrette estensimetriche (BE) del tipo a corda disposte a coppie sulle armature della struttura della cabina tecnica e del pozzo verticale (per la sola fase di costruzione dell'opera).
- Barrette longitudinali di riferimento (BEA) no stress guage da disporsi all'interno del rivestimento definitivo della cabina e del pozzo circolare (per la sola fase di costruzione dell'opera).

7. MONITORAGGIO DELLE STAZIONI

Il monitoraggio delle stazioni in costruzione è finalizzato al controllo delle condizioni di stabilità ed alla corrispondenza dei risultati attesi in termini di tensioni e deformazioni in sede di progetto.

Le strumentazioni di monitoraggio previste nelle stazioni, e in generali nei manufatti cut and cover ad esse assimilabili, sono riportate nel relativo elaborato grafico ed in particolare sono costituite da:

- Tubi inclinometrici (IN) su pannelli di diaframmi o all'interno dell'elemento tubolare di armatura dei micropali, di lunghezza pari alla profondità dell'elemento; ciò al fine di controllare con precisione l'evoluzione della deformata e confrontarla con i risultati delle analisi progettuali nelle varie fasi di scavo.
- Punti di controllo topografico (CTC) di precisione posizionati in prossimità della testa del tubo inclinometrico.
- Riscontri in acciaio predisposti per l'attacco di mire per letture di convergenza (CTC), ancorati sul pannello e disposti sui pannelli a diverse altezze dello scavo.
- Coppie di barrette estensimetriche BE (lato intradosso e lato estradosso) fissate sulle gabbie d'armatura del diaframma, sugli elementi orizzontali e sui puntoni metallici provvisori per il controllo dello stato di sollecitazione dell'elemento strutturale ed il controllo delle tensioni dell'acciaio e del calcestruzzo, poste in posizioni rappresentative.
- Estensimetri elettrici BEA dotati di sistema di controllo delle temperature fissate sulle gabbie d'armatura del diaframma, sugli elementi orizzontali, al fine di controllare lo stato tensionale e deformativo degli elementi.
- Estensimetri elettrici longitudinali BL fissate sulle gabbie d'armatura del diaframma al fine di controllare lo stato tensionale e deformativo degli elementi.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 2 Bologna-Politecnico
Monitoraggio – Relazione Tecnica	02_MTL2T1A2DPRCG00R002-0-1.DOCX

- Punti di livellazione superficiale per il controllo dei cedimenti del terreno a tergo delle paratie CPL allo scopo di definire il quadro deformativo generale a tergo della paratia, ed in particolare la tipologia del profilo di subsidenza indotto dagli scavi.

8. MONITORAGGIO EDIFICI E MANUFATTI ESISTENTI

Obiettivo del monitoraggio degli edifici e dei manufatti esistenti o delle opere infrastrutturali, come i binari della stazione Porta Nuova e la galleria della Linea 1, è, in via primaria, la salvaguardia degli stessi durante l'esecuzione dei lavori e il controllo degli spostamenti e delle vibrazioni, così come di eventuali fessure.

In generale, gli edifici interessati dai lavori di costruzione della Metropolitana possono essere suddivisi in:


- Edifici sottoattraversati dalla linea e quelli considerati di primario interesse.
- Edifici prospicienti i cantieri delle stazioni e dei pozzi, e gli edifici che, per ragioni di carattere strutturale, storico o di destinazione d'uso, costituiscono motivo di significativo interesse.
- Edifici che lungo la linea, pur non presentandosi critici come ubicazione rispetto al tracciato della metropolitana, possono essere di potenziale interesse per ragioni di carattere strutturale, storico o di destinazione d'uso;
- Edifici con ubicazione non critica rispetto al tracciato della metropolitana e non di particolare interesse (strutturale, storico, ecc.).

Sono stati anche presi in esame, come citato in precedenza, i binari della stazione Porta Nuova e la galleria della Linea 1.

Sulla base di questa suddivisione è necessario effettuare valutazioni relative al possibile rischio di danneggiamento dei fabbricati e della necessità di eseguire interventi di presidio.

Gli schemi di monitoraggio proposti in questa fase di progetto preliminare prevedono:

- La predisposizione di controlli della situazione deformativa sui manufatti esistenti e sulla superficie del terreno attraverso:
 - punti di livellazione superficiale (CPL) opportunamente disposti per ogni fabbricato lungo il tracciato;
 - punti di controllo topografico (CTC e L) sulle pareti dei fabbricati presenti lungo il tracciato (gli strumenti L vanno posizionati sulle pareti del fabbricato a circa 1m di altezza da piano campagna, mentre gli strumenti CTC in corrispondenza delle pareti dei piani superiori).
 - La posa in opera di basi F_s per deformometro elettrico, al fine di valutare l'eventuale influenza dello scavo sulle fessure eventualmente presenti negli edifici.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 2 Bologna-Politecnico
Monitoraggio – Relazione Tecnica	02_MTL2T1A2DPRCG00R002-0-1.DOCX

- La posa in opera di fessurimetri fissi F_{SE} , al fine di valutare l'eventuale influenza dello scavo su quelle eventuali fessure poste in punti dell'edificio difficilmente accessibili, voglia per quota o per altra ragione;
- La posa in opera di clinometri CL al fine di valutare gli effetti degli interventi di consolidamento sugli edifici e gli effetti deformativi per edifici di interesse storico e/o artistico, per edifici con stato di consistenza cattivo o lesionati, posti a distanza ravvicinata alle zone di scavo.
- posa in opera di vibrometro trassiale T in corrispondenza degli edifici, al fine di misurare l'entità eventuale delle vibrazioni cui possono essere sottoposti durante le fasi di scavo.

In merito ai fessurimetri, essi saranno individuati in numero e posizione appena prima dell'avvio della costruzione a seguito di sopralluoghi mirati.

Gli schemi proposti e la localizzazione degli strumenti sono indicati negli elaborati grafici MTL2T1A2DPRCG00T003, MTL2T1A2DPRCG00T004 e MTL2T1A2DPRCG00T005 a cui si rimanda.

Come buona prassi il monitoraggio dovrà essere gestito in un'ottica di analisi e gestione del rischio e pertanto in sede di Progettazione Esecutiva dovranno essere definite le soglie di attenzione ed allarme in base ai risultati dei calcoli sviluppati nell'ultima fase di Progetto. Indicativamente si ritiene opportuno utilizzare percentuali del 70% e 100% dei valori nominali di calcolo rispettivamente per la soglia di attenzione ed allarme.


Nel caso in cui venga raggiunta la prima soglia le letture di monitoraggio verranno intensificate mentre, al raggiungimento della seconda, verranno attivate le contromisure che il Progetto Esecutivo dovrà definire.

In accoppiamento con le sezioni di livellazione superficiale previste per lo scavo della galleria, dei pozzi e delle stazioni, la strumentazione in opera dovrà permettere la definizione del quadro deformativo generale nell'intorno degli scavi e, in particolare, la zona di influenza degli scavi e la tipologia del profilo di subsidenza indotto.

9. CONCLUSIONI

Uno scavo sotterraneo, di qualsiasi natura, può generare movimenti e/o modificazioni nello stato tensionale del terreno circostante e i suoi effetti sulla superficie e sugli edifici circostanti possono essere molteplici.

Per tale ragione è stato previsto, in forma di schemi tipologici in questa fase di progettazione preliminare, un sistema di monitoraggio che permette il confronto della situazione teorico / progettuale con le reali situazioni che possono instaurarsi sia durante le operazioni di scavo che sul medio termine.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 2 Bologna-Politecnico
Monitoraggio – Relazione Tecnica	02_MTL2T1A2DPRCG00R002-0-1.DOCX

Il piano di monitoraggio prevede inoltre, attraverso schemi tipologici in questa fase di progettazione preliminare, un monitoraggio dei fabbricati vicini agli scavi o comunque interessati dall'esecuzione delle opere.

Nelle successive fasi di progettazione dovranno essere approfonditi e adeguatamente affrontati i seguenti temi:

- Redazione di schemi di monitoraggio specifici per ciascun manufatto in progetto, con una planimetria indicante la posizione delle sezioni di monitoraggio e il numero e il tipo di strumenti da installare su ciascun edificio.
- Definizione delle frequenze di lettura di ciascun strumento.
- Definizione delle soglie di attenzione e di allarme per ciascun strumento previsto e ciascuna grandezza investigata.

Nella fase di costruzione l'Appaltatore e/o la Direzione dei Lavori dovranno predisporre una piattaforma GIS che consenta:

- Una migliore accessibilità delle misure, garantendo il controllo a tutti gli attori coinvolti.
- A rendere più agevole il lavoro di editing e divulgazione dei documenti.
- La realizzazione di una banca dati delle misure, organizzata nel tempo e nello spazio e che sia di semplice consultazione.