



PRESIDENZA DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI

MESSA IN SICUREZZA DEL SISTEMA ACQUEDOTTISTICO DEL PESCHIERA PER L'APPROVVIGIONAMENTO IDRICO DI ROMA CAPITALE E DELL'AREA METROPOLITANA

IL COMMISSARIO STRAORDINARIO ING. PhD MASSIMO SESSA

SUB COMMISSARIO ING.

aceq
acqua
ACEA ATO 2 SPA



aceq
Ingegneria
e servizi



IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Ing. PhD Alessia Delle Site

SUPPORTO AL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Dott. Avv. Vittorio Gennari

Sig.ra Claudia Iacobelli

Ing. Barnaba Paglia

CONSULENTE

Ing. Biagio Eramo

ELABORATO

A254PDS R017 1

COD. ATO2 ROM11105

DATA MARZO 2022

SCALA ----

Progetto di sicurezza e ammodernamento
dell'approvvigionamento della città
metropolitana di Roma

"Messa in sicurezza e ammodernamento del sistema
idrico del Peschiera",

L.n.108/2021, ex DL n.77/2021 art. 44 Allegato IV

Sottoprogetto
ADDUTTRICE OTTAVIA – TRIONFALE
(con il finanziamento dell'Unione
europea – Next Generation EU)

**PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA
ED ECONOMICA**

TEAM DI PROGETTAZIONE

RESPONSABILE PROGETTAZIONE

Ing. Angelo Marchetti

CAPO PROGETTO

Ing. Viviana Angeloro

GEOLOGIA E IDROGEOLOGIA

Geol. Stefano Tosti

GEOTECNICA E STRUTTURE

Ing. Angelo Marchetti

Hanno collaborato:

Ing. Geol. Eliseo Paolini

Geol. PhD Paolo Caporossi

Ing. Roberto Biagi

Ing. Claudio Lorusso

**PIANO PRELIMINARE DI MONITORAGGIO
GEOTECNICO E STRUTTURALE**

ACEA ATO2 S.P.A.

ACEA ELABORI S.P.A.

ADDUTTRICE OTTAVIA - TRIONFALE

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA

PIANO PRELIMINARE DI MONTORAGGIO

GEOTECNICO E STRUTTURALE

Indice

1.	Premessa.....	4
1.1	Descrizione della soluzione progettuale prescelta.....	5
2.	2. Considerazioni generali sulla progettazione.....	9
2.1	Aspetti prestazionali di base del sistema	9
3.	Il monitoraggio strutturale.....	11
3.1	Definizione delle soglie di attenzione e di allarme	13
4.	Strumentazione per il monitoraggio.....	15
4.1	Accelerometri	17
4.1.1	Caratteristiche tecniche.....	18
4.1.2	Installazione	18
4.1.3	Misure	18
4.2	Clinometri triassiali.....	19
4.2.1	Caratteristiche tecniche.....	20
4.2.2	Installazione.....	20
4.2.3	Misure	20
4.3	Inclinometri.....	21
4.3.1	Specifiche tecniche	22
4.3.2	Installazione	24
4.3.3	Misure	26
4.4	Celle di carico	27
4.4.1	Specifiche tecniche	28
4.4.2	Installazione.....	29
4.4.3	Acquisizione, elaborazione dati e taratura dello strumento	30
4.5	Estensimetro multibase	31
4.5.1	Specifiche tecniche	32
4.5.2	Installazione	32
4.5.3	Caratteristiche tecniche trasduttori.....	32
4.5.4	Misure	32
4.6	Barrette estensimetriche	33
4.6.1	Specifiche tecniche	33
4.6.2	Installazione.....	34

4.6.3	Misure	35
4.7	Piezometri tipo Casagrande.....	36
4.7.1	Specifiche tecniche	36
4.7.2	Installazione	38
4.7.3	Misure	39
4.8	Piezometri a tubo aperto	41
4.8.1	Specifiche tecniche	42
4.8.2	Installazione	43
4.8.3	Misure	44
4.9	Piezometro tipo elettrico	46
4.9.1	Specifiche tecniche	46
4.9.2	Misure	46
4.10	Strumentazione monitoraggio topografico	47
4.10.1	Caratteristiche minime delle stazioni totali da adottare.....	49
4.10.2	Installazione	50
4.10.3	Specifiche tecniche delle strumentazioni da adottare.....	51
4.10.4	Caratteristiche delle stadiè	51
4.11	Mire ottiche e Mini-prismi	52
4.11.1	Specifiche tecniche.....	52
4.11.2	Installazione	53
4.11.3	Misure.....	53
4.12	Caposaldi topografici.....	54
4.12.1	Misure di convergenza (con mire ottiche).....	54
4.12.2	Specifiche tecniche.....	54
4.12.3	Installazione	55
4.12.4	Misure.....	56
4.13	Stazione pluviometrica	57
4.13.1	Specifiche tecniche.....	57
4.13.2	Installazione	59
4.13.3	Misure.....	59
4.14	Interferometria SAR satellitare	60
4.14.1	Descrizione	60
4.14.2	Modalità esecutive	60

4.15	Fibre ottiche	62
4.15.1	Specifiche tecniche.....	63
4.15.2	Installazione	63
4.16	Sistemi di acquisizione dati	64
4.16.1	Misure.....	64
4.17	Sistema distribuzione dati (SDD)	64
4.17.1	Ufficio Centrale di Elaborazione, gestione e controllo delle attività di monitoraggio e dei Dati (C.E.D.)	67
5.	Attività correlate al monitoraggio.....	69
5.1	Sondaggio geognostico a carotaggio continuo	69
5.1.1	Descrizione	69
5.2	Sondaggio geognostico a distruzione di nucleo	70
5.2.1	Descrizione	70
5.2.2	Modalità esecutive.....	70
6.	Descrizione delle opere da monitorare.....	72
8.	Monitoraggio in corso d'opera.....	75
8.1	Manufatti	75
8.1.1	Sezione tipo Manufatti.....	77
8.2	Pozzi MT	80
8.2.1	Sezione tipo Pozzi MT.....	82
8.3	Microtunnelling	84
8.3.1	Sezione tipo Microtunnelling.....	84
8.4	Edifici e interferenze	86
9.	Monitoraggio in fase di esercizio.....	88
9.1	Monitoraggio con Interferometria SAR satellitare	88
9.2	Monitoraggio sismico	89
9.3	Monitoraggio pluviometrico	90
9.4	Monitoraggio condotte non ispezionabili con fibra ottica	90

1. Premessa

Il presente Piano Preliminare di Monitoraggio Geotecnico e Strutturale, facente parte del Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica (PFTE) relativo all'Adduttrice Ottavia - Trionfale, è redatta in conformità a quanto stabilito dal D.Lgs. n.50 del 18 aprile 2016 e regolamenti attuativi collegati e nel rispetto delle Linee Guida per la redazione del PFTE approvate dal C.S.LL.PP. in data 29/07/2021 (par. 3.2 – punto 2) e di quanto già in precedenza indicato all'interno del Quadro Esigenziale (QE) e del successivo Documento di Indirizzo alla Progettazione (DIP), relativo al PFTE, atti di programmazione redatti e ratificati da Acea ATO2 per l'elaborazione del Progetto medesimo.

1.1 Descrizione della soluzione progettuale prescelta

A valle del precedente livello di progettazione (DOCFAP) e a seguito dell'individuazione dell'alternativa progettuale da sviluppare nei successivi livelli di progettazione, il progetto prevede una nuova linea di collegamento dal C.I. di Ottavia fino ad un nuovo centro idrico denominato Pineta Sacchetti creando un by-pass del centro idrico Trionfale esistente.

L'intervento di progetto prevede la realizzazione di una prima condotta adduttrice DN2500 mm in acciaio dal C.I. Ottavia fino ad un manufatto denominato Casale del Marmo; la partenza da Ottavia è prevista direttamente dall'opera di presa in modo da essere funzionale allo schema futuro che assumerà il centro idrico a seguito della sua ristrutturazione.

Dal Manufatto Casale del Marmo in cui è prevista una predisposizione per l'allaccio di altre future condotte verrà posata una condotta in acciaio DN2500 mm fino al parcheggio della stazione ferroviaria Monte Mario, in tale punto è previsto un partitore denominato Monte Mario da cui usciranno due condotte; una con DN2000 che proseguirà verso il nuovo centro idrico e l'altra condotta con DN800 che verrà posata lungo via Cesare Castiglioni per collegarsi alla condotta DN700 esistente che va verso Ponte Galeria. La lunghezza complessiva degli interventi è circa 5200 metri.

Si descrive di seguito il tracciato di progetto costituito principalmente da due tratte:

- C.I. OTTAVIA – MANUFATTO CASALE DEL MARMO: tratto di lunghezza pari a circa 1200 m che dall'opera di presa del C.I. Ottavia all'interno del confine di proprietà del centro idrico arriva al manufatto che verrà realizzato in prossimità del Casale del Marmo, in cui è prevista la posa in opera di una condotta DN2500 mm in acciaio, posata a cielo aperto.

La tubazione attraverserà la recinzione del centro idrico e Via Isidoro Carlini per proseguire con un tratto in campagna parallelo al fosso di Marmo Nuovo.

- MANUFATTO CASALE DEL MARMO – C.I. PINETA SACCHETTI: tratto di lunghezza pari a circa 4000 m che dal manufatto Casale Del Marmo di progetto arriva al nuovo centro idrico Pineta Sacchetti, in tale tratto è prevista la posa in opera di una condotta DN2500 mm, una condotta DN2000 mm ed una condotta DN800 mm tutte in acciaio.

Lo scavo e la posa di tali condotte sono previsti a cielo aperto ed attraverso la tecnologia di scavo in microtunnelling.

La tubazione partirà dal manufatto Casale del Marmo in area di campagna, per proseguire verso Via Giuseppe Barellai ed attraversando la valle Fontana sempre con scavo a cielo aperto; dopodiché si raggiungerà via Sebastiano Vinci dove, in prossimità della stazione Monte Mario, si prevede la realizzazione di un partitore denominato Monte Mario da cui uscirà una tubazione DN800 mm che verrà posata con scavo a cielo aperto lungo via Cesare Castiglioni per collegarsi alla condotta DN700 esistente, l'altra tubazione che uscirà dal partitore di progetto Monte Mario sarà una condotta DN2000 mm posata per un tratto in microtunnelling per una lunghezza pari a circa 180 m per l'attraversamento della linea ferroviaria Roma-Viterbo, con sbocco in una area libera confinata tra Via Trionfale e la ferrovia medesima; successivamente, si proseguirà sempre con tecnologia in microtunnelling lungo la corsia destra di Via Trionfale e poco prima di arrivare al nodo Trionfale esistente si attraverserà la via Trionfale prevedendo un pozzo di uscita intermedio per poi continuare fino all'incrocio con viale dei Monfortani dove è previsto il pozzo di uscita, da questo punto fino al nuovo centro idrico si prevede la posa con scavo a cielo aperto. Si prevede un tubo fodera DN2500 per tutto il tratto con posa in MT.

Dal nuovo centro idrico Pineta Sacchetti sono previste due condotte in uscita; una con DN 1400 mm che si collegherà alle condotte esistenti DN1000 mm e DN1400 mm su via Enrico Pestalozzi, l'altra condotta con DN1600 sarà posata parallelamente alla galleria stradale Giovanni XXIII prevedendo la posa con scavo a cielo aperto fino a collegarsi alla condotta esistente DN2020 che va verso il C.I. Monte Mario.

Le opere di nuova realizzazione previste nel presente intervento sono riassunte di seguito.

Nome	Descrizione
OTT	Opere per il collegamento al C.I. di Ottavia
MCM	Manufatto Casal del Marmo
PMM	Partitore Monte Mario
PZT1 – PZ3	Pozzi Trionfale: manufatti di arrivo/partenza MT
CIPS	Centro Idrico Pineta Sacchetti
PPS	Pozzo Pineta Sacchetti: manufatto di spinta MT
PZP	Pozzo Pestalozzi: manufatto di arrivo MT
MP	Manufatto Pestalozzi: manufatto di connessione condotte DN1000/DN1400
CMM	Manufatto di connessione alla condotta verso Monte Mario

Tabella 10.1: Nomenclatura dei manufatti di nuova realizzazione

Nome	Descrizione
T1	Tratta dal C.I. Ottavia al Manufatto Casal del Marmo – scavo a cielo aperto DN2500 in acciaio
T2	Tratta dal Manufatto Casal del Marmo al il Partitore Monte Mario – scavo a cielo aperto DN2500 in acciaio
T3	Tratta dal Partitore Monte Mario al PZ3 – Microtunnelling DN2000 in acciaio con tubo fodera DN2500 in cls
T4	Tratta dal PZ3 al Centro Idrico Pineta Sacchetti – scavo a cielo aperto DN2000 in acciaio
T5	Tratta di collegamento alle condotte DN1000/ DN1400 su via Pestalozzi - prima parte in MT DN1400 in acciaio con tubo fodera DN1800 in cls, seconda parte scavo a cielo aperto DN1400 in acciaio
T6	Tratta di collegamento al DN2020 verso Monte Mario – scavo a cielo aperto DN1600 in acciaio
T7	Tratta di collegamento con la condotta DN700 verso Torrevicchia – Ponte Galeria – scavo a cielo aperto DN800 in acciaio
T8	Tratta per la rialimentazione della rete di Trionfale – DN300 in acciaio – percorso coincidente con la tratta T4.

Tabella 10.2: Nomenclatura dei macrotratti.

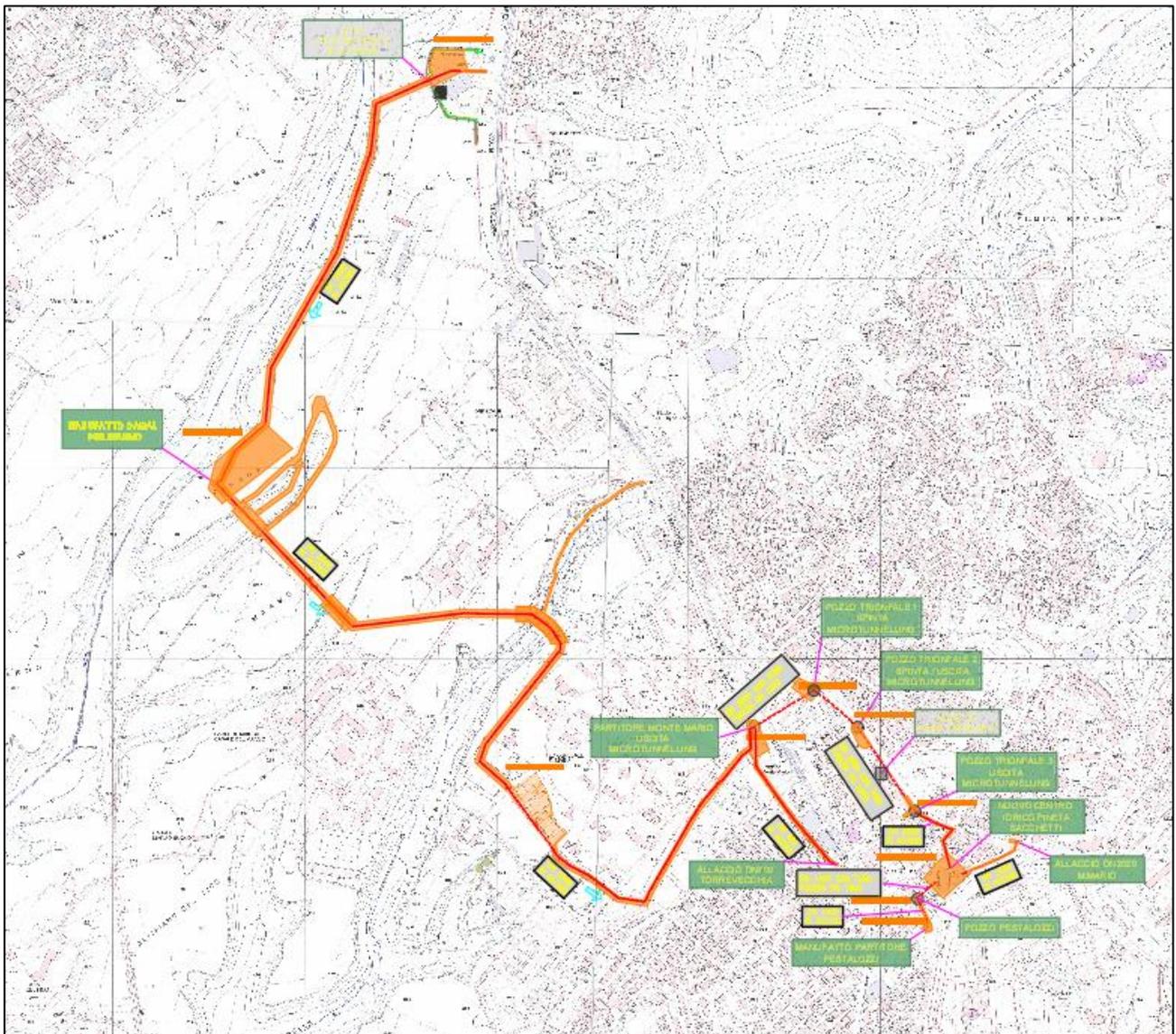


Fig. 1.1.1: Planimetria degli interventi di progetto con indicate le aree di cantiere e i principali manufatti e pozzi.

2. 2. Considerazioni generali sulla progettazione

2.1 Aspetti prestazionali di base del sistema

Per le grandi infrastrutture complesse risulta particolarmente idoneo avvalersi di un approccio alla progettazione di carattere prestazionale (*performance-based design*), che fonda le basi sull'esplicitazione a monte della fase di progetto delle prestazioni e dei requisiti richiesti dal sistema durante tutta la vita nominale, definita convenzionalmente come il numero di anni nel corso dei quali è previsto che l'opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali.

Tra i requisiti da considerare per una corretta progettazione risultano centrali quelli di affidabilità, durabilità e robustezza.

In particolare, per *affidabilità* si intende la capacità di una struttura o di un elemento strutturale di soddisfare i requisiti specificati, compresa la vita nominale di progetto, per cui è stato realizzato. In senso stretto, essa esprime la probabilità che una struttura non superi specificati stati limite (stati limite ultimi e stati limite di servizio) durante un prefissato periodo di riferimento. Di conseguenza, più piccola è tale probabilità, maggiore è la sua affidabilità.

La *durabilità* rappresenta la capacità che un sistema ha di mantenere invariato, con il trascorrere del tempo, il margine di sicurezza nei confronti degli stati limite verificati in fase di progetto. Negli anni è stato dimostrato, in modo inequivocabile, come il degrado possa determinare la prematura messa fuori servizio delle strutture.

Infine, per *robustezza* si intende la capacità di un sistema di non essere danneggiato da eventi eccezionali in maniera sproporzionata rispetto alla causa di origine. Particolare rilevanza nelle infrastrutture complesse è da porre anche al possibile collasso progressivo delle opere, ossia un meccanismo che scaturisce da una rottura in maniera localizzata di un elemento del sistema e si estende progressivamente, rendendo non più funzionale l'opera.

Per quanto riguarda l'Adduttrice Ottavia - Trionfale, in ragione della natura dell'opera (infrastruttura prevalentemente a carattere lineare), gli obiettivi di robustezza e affidabilità indicati possono raggiungersi sfruttando fondamentalmente il concetto di ridondanza strutturale; l'affidabilità dell'adduttrice infatti, cresce al crescere del numero

di elementi posti in parallelo, cioè capaci di svolgere la stessa funzione. Inoltre, è opportuno segnalare come l'assunto di opera strategica, e quindi l'assegnazione di una classe d'uso pari a IV, conferisce all'infrastruttura acquedottista una classe di affidabilità elevata.

Sulla base della definizione della *durabilità* intesa come la capacità dell'opera di resistere ai fenomeni aggressivi ambientali durante la sua vita nominale, mantenendo inalterate le funzionalità per la quale è stata progettata, è necessario prevedere nel progetto non solo i fenomeni meccanici legati ai materiali, ma anche i fenomeni di degrado ambientale.

Pertanto, particolare attenzione è stata posta, oltre alla progettazione dei materiali costituenti le diverse parti dell'opera, anche ai dettagli costruttivi e realizzativi, che preservino la costruzione, dall'azione degli agenti atmosferici, dalle infiltrazioni d'acqua, dall'esposizione a sostanze aggressive, etc.

La progettazione che contempla la prestazione di maggiore durabilità delle opere prevede l'elaborazione di un piano di manutenzione ordinaria che mette in relazione le parti d'opera da mantenere con i rischi a cui la struttura va incontro, le diverse tipologie di interventi da attuare, i tempi in cui agire.

In maniera parallela, deve essere previsto e messo in opera un sistema di monitoraggio e controllo delle componenti strutturali e funzionali dell'opera, che ne preservi gli specifici livelli prestazionali per cui sono stati progettati per tutta la vita nominale dell'intera infrastruttura.

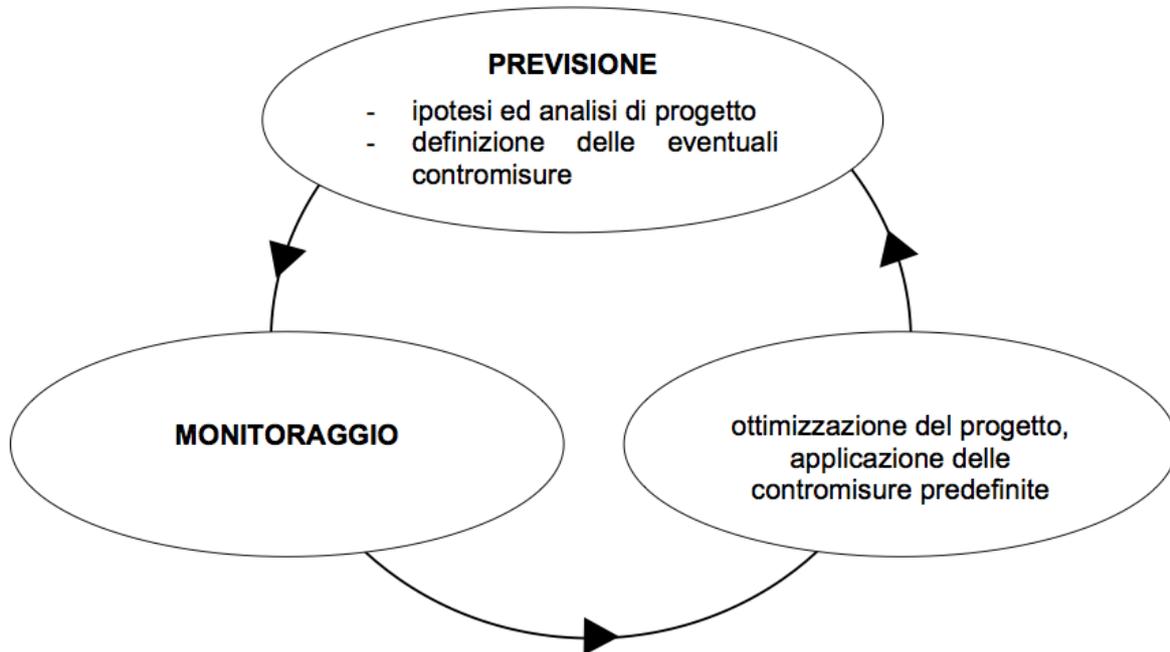
3. Il monitoraggio strutturale

Col passare del tempo le costruzioni sono sempre soggette al decadimento strutturale. Difetti o incrinature che rappresentano inizialmente un problema minore possono evolvere in un calo della funzionalità dell'opera, in cedimenti e nella necessità di intervenire per contenere il danno o ricostruire. Questa situazione è particolarmente evidente nell'ultimo periodo, quando le costruzioni del boom economico sono arrivate alla fine del proprio ciclo di vita utile.

Un piano di monitoraggio per una struttura permette di allungare il ciclo vitale della costruzione oltre che prevenire malfunzionamenti e necessità di interventi. Si tratta quindi di un investimento sul futuro secondo il principio per cui prevenire è meglio che curare.

Il piano di monitoraggio è sviluppato al fine di acquisire tutti gli elementi necessari all'interpretazione del comportamento del terreno, delle strutture in progetto, dei manufatti esistenti, in funzione di varie e complesse necessità. Finalità del monitoraggio è quindi la verifica delle corrispondenze tra il comportamento reale dei terreni e delle strutture in realizzazione nonché la loro interazione ed il comportamento ipotizzato e calcolato nelle diverse fasi progettuali, con particolare riguardo alle aree superficiali circostanti ed alle preesistenze.

La verifica delle previsioni progettuali avviene in corso d'opera ed è quindi mirata ad analizzare gli andamenti dei vari parametri misurati in relazione alle fasi costruttive, ai materiali utilizzati ed alle geometrie in gioco. In quest'ottica il monitoraggio rappresenta un fondamentale strumento di controllo per la "sicurezza", sia dell'opera in corso di realizzazione e del personale addetto alla sua costruzione, sia in relazione alla staticità dei fabbricati interferenti con l'opera da realizzare.



Per la verifica della situazione progettuale adottata, l'architettura del monitoraggio recepisce i fondamenti del "Metodo Osservazionale", che permette di risolvere le incertezze della fase progettuale in fase costruttiva, ponendo dei limiti di accettabilità che devono essere costantemente controllati, rispondendo in modo attivo ad ogni particolare contesto di applicazione in modo da esprimere la migliore configurazione di controllo funzione delle esigenze di sito e delle specifiche problematiche riscontrate.

L'architettura proposta, basata su una elevata automatizzazione dei sistemi di controllo, prevede che una delle principali funzioni sia quella di evidenziare "in tempo reale" i trend deformativi in atto o le repentine variazioni dei parametri monitorati in relazione ai superamenti dei valori di soglia predefiniti, in modo da poter attuare tutte le operazioni preventive e correttive per la risoluzione delle criticità.

Mentre in fase di costruzione l'obiettivo è quindi di verifica dei parametri di progetto, a opera ultimata e durante la fase di esercizio la finalità diventa il controllo delle variazioni a lungo termine e quindi la valutazione delle cause, strutturali interne o esterne di qualsiasi natura, che incidono sulla struttura.

3.1 Definizione delle soglie di attenzione e di allarme

Il controllo mediante monitoraggio si basa principalmente sulla definizione di soglie aventi lo scopo di segnalare l'instaurarsi di una situazione deformativa e/o tensionale particolare. Sulla base dei valori raggiunti dai parametri di controllo in funzione dei valori di soglia definiti, vengono attuate eventuali azioni e contromisure.

I valori delle soglie dovranno essere fissati per le diverse tipologie di strumentazione in funzione del loro livello di controllo.

Il personale tecnico esperto eseguirà, per tutta la durata dei lavori, misure in manuale e/o automatico, acquisizioni, restituzioni dati e manutenzione di tutto il sistema di monitoraggio geotecnico costituito da: inclinometri, piezometri, staffe livellometriche, accelerometri, capisaldi, mire ottiche.

Tutto per rendere ogni servizio e strumento efficiente in relazione alle attività lavorative e alle risposte dell'ammasso alle varie fasi di scavo, consolidamento, realizzazione di opere varie.

Il Centro Elaborazione e Gestione Dati (C.E.D) formato da vari Responsabili, ognuno per la propria competenza, dovrà collaborare per rendere le informazioni fruibili ai vari soggetti che partecipano alla realizzazione dell'Opera (Direzione Lavori, Impresa, Progettista, ecc..).

I vari responsabili, dopo un primo periodo di osservazione dei risultati del monitoraggio, insieme all'Ufficio Tecnico dell'Impresa, dovranno evidenziare eventuali criticità e definire la "gerarchia degli strumenti ed i possibili valori di soglia di attenzione e di allarme"

Questi limiti sono definiti come:

- **Soglie di attenzione:** è definito come una quota parte delle risultanze delle sollecitazioni (o delle deformazioni) di progetto; il superamento di questo limite implica l'incremento della frequenza delle misure, allo scopo di stabilire e monitorare la velocità con la quale il fenomeno si evolve, in modo da valutare il potenziale instaurarsi di eventi e rapida evoluzione che potrebbero, in determinate circostanze, risultare incontrollabili.

- **Soglia di allarme:** definita in funzione del livello deformativo, tensionale, più gravoso per una determinata situazione; il suo superamento implica il coinvolgimento della Direzione Lavori per la valutazione di opportune contromisure.

Le contromisure da adottare in caso di superamento dei limiti di allarme hanno lo scopo di riportare la situazione reale entro i limiti previsti in progetto.

4. Strumentazione per il monitoraggio

Nell'ambito dei lavori di realizzazione dell'Adduttrice Ottavia - Trionfale si prevede il monitoraggio in corso d'opera e di esercizio. In corso d'opera il monitoraggio riveste un ruolo importante per il controllo del complesso opera terreno, attraverso l'installazione di un'appropriata strumentazione e la valutazione di grandezze fisiche significative, quali spostamenti, tensioni, forze e pressioni interstiziali prima durante e dopo la costruzione del manufatto, è possibile infatti verificare la corrispondenza delle ipotesi progettuali, confermando la validità della soluzione progettuale adottata o, in caso contrario, individuare la più idonea tra le soluzioni previste in progetto. Questa analisi si rivela particolarmente utile per opere di notevole estensione per le quali le indagini preliminari alla progettazione non possono che essere parziali.

In fase di esercizio il monitoraggio permette di valutare eventuali variazioni nelle condizioni della struttura, onde prevedere perdite di funzionalità o calo di prestazioni, al fine di garantire la massima funzionalità dell'opera nel tempo e permettendo interventi di manutenzione mirati.

Il piano dei controlli è sviluppato al fine di acquisire tutti gli elementi necessari all'interpretazione del comportamento del terreno, delle strutture in progetto, dei manufatti esistenti nei confronti delle operazioni di scavo, in funzione di varie e complesse necessità, tra cui:

- Validazione ed eventuale adeguamento delle fasi esecutive;
- Verifica delle ipotesi di calcolo;
- Verifica dell'entità dei cedimenti (assoluti e differenziali) negli edifici che ricadono nella zona di influenza dello scavo;
- Definizione e verifica del raggiungimento delle soglie in corrispondenza delle quali prevedere l'attivazione di contromisure adeguate.

In funzione di queste necessità, verranno monitorati i seguenti parametri:

- Tensioni, deformazioni e spostamenti nelle strutture in costruzione;
- Deformazioni del terreno, sulla superficie del suolo ed in profondità;
- Spostamenti degli edifici e dei manufatti esistenti
- Vibrazioni indotte nelle strutture esistenti durante la realizzazione delle opere di progetto;
- Quota della falda.

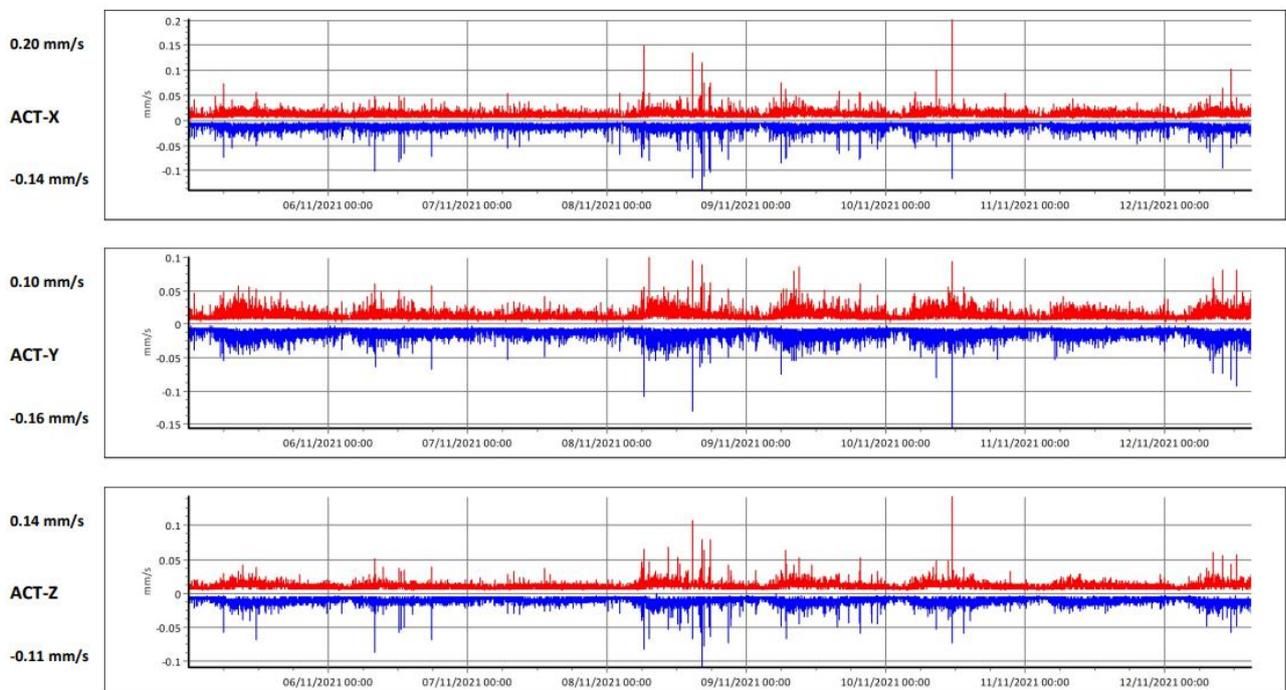
Per l'ottenimento di questi parametri è necessario l'utilizzo di diverse tipologie di strumentazione, quali:

- Accelerometri
- Clinometri triassiali
- Inclinatori
- Celle di carico
- Estensimetri multibase
- Barrette estensimetriche
- Conci strumentati
- Piezometri
- Mire ottiche / mini-prismi
- Capialdi topografici
- Stazione pluviometrica
- Radar satellitare
- Fibre ottiche

Di seguito la descrizione delle tipologie strumentali ed il loro utilizzo.

4.1 Accelerometri

Lo strumento viene utilizzato per registrare le eventuali vibrazioni indotte, sulle strutture esistenti, dalle lavorazioni previste. Il sensore è costituito da una terna di accelerometri disposti nei tre piani ortogonali e permette di verificare che i limiti vibrazionali indotti, quelli prescritti dalla normativa o quelli proposti dal progettista, siano rispettati. Essendo gli strumenti completamente automatizzati la risposta dello strumento è continua, per cui un eventuale superamento del valore di soglia verrebbe comunicato immediatamente, generando un allarme.



4.1.1 Caratteristiche tecniche

• Tecnologia	MEMS – Triassiale
• Grandezze acquisite	Accelerazione e temperatura
• Risoluzione	14bit
• Accuratezza	± 250 µg
• Range	± 32mg; ± 64mg; ± 128mg
• Cross axis sensitività	1%
• Densità di Rumore	25 µg/√Hz
• Protocollo di comunicazione	LoraWan
• Frequenza	ISM 868 MHz
• Copertura radio	1km
• Grado di impermeabilità	IP67
• Dimensini	75 x 80 x 57 mm
• Peso	1.1 Kg

4.1.2 Installazione

L'installazione consiste nella semplice installazione a parete del dispositivo. Essendo completamente wireless non richiede infatti cablaggio.

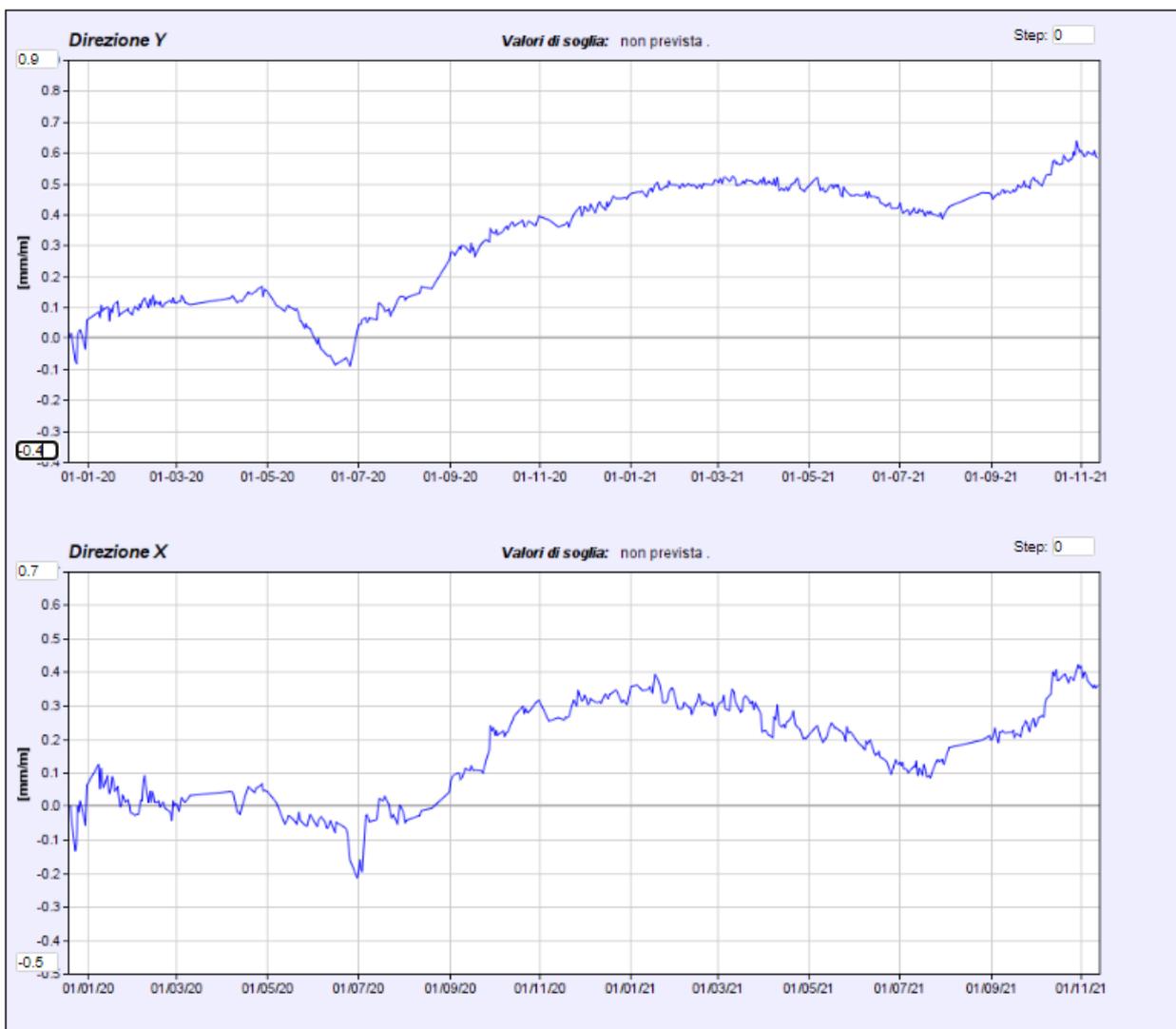
Un dispositivo Gateway in posizione centrale, valido anche per i clinometri triassiali, sarà posizionato in prossimità di una presa elettrica. Questo dispositivo riceve le informazioni trasmesse dai molteplici sensori installati, grazie al protocollo di comunicazione LoRaWAN, poi, utilizzando la connettività cellulare, invia questi al server online

4.1.3 Misure

Le misure sono completamente automatiche. Gli acquisitori inviano i dati alla centralina che li rende disponibili in cloud.

4.2 Clinometri triassiali

Un clinometro misura l'angolo di inclinazione del punto in cui è installato con una altissima precisione e risoluzione, trasmettendo l'angolo misurato a intervalli regolari. Elaborando i dati raccolti è possibile calcolare la deflessione della struttura rispetto ad una linea di base. Il dispositivo wireless consente una facile installazione e non necessita di cablaggio. Una batteria che può durare fino a otto anni lo rende autonomo ed efficiente. L'algoritmo di correzione lo rende estremamente indipendente da errori di montaggio.



4.2.1 Caratteristiche tecniche

• Tecnologia	MEMS – Triassiale
• Grandezze acquisite	Angolo d'inclinazione, Temperatura
• Risoluzione	0.000015°
• Ripetibilità	± 0.0005°
• Range	± 90° (su entrambi gli angoli)
• Cross Axis Sensitivity	1%
• Risoluzione temperatura	0.125°C
• Protocollo di comunicazione	LoRaWAN
• Frequenza	ISM 868 MHz
• Copertura radio	1km
• Grado di impermeabilità	IP67
• Dimensioni	75 x 80 x 57 mm
• Peso	1.1 Kg

4.2.2 Installazione

Allo stesso modo degli accelerometri, la natura wireless del sensore permette un'installazione semplice con ancoraggio a parete. Un dispositivo Gateway in posizione centrale, valido anche per gli accelerometri, sarà posizionato in prossimità di una presa elettrica. Questo dispositivo riceve le informazioni trasmesse dai molteplici sensori installati, grazie al protocollo di comunicazione LoRaWAN, poi, utilizzando la connettività cellulare, invia questi al server online.

4.2.3 Misure

Le misure sono completamente automatiche. Gli acquisitori inviano i dati alla centralina che li rende disponibili in cloud.

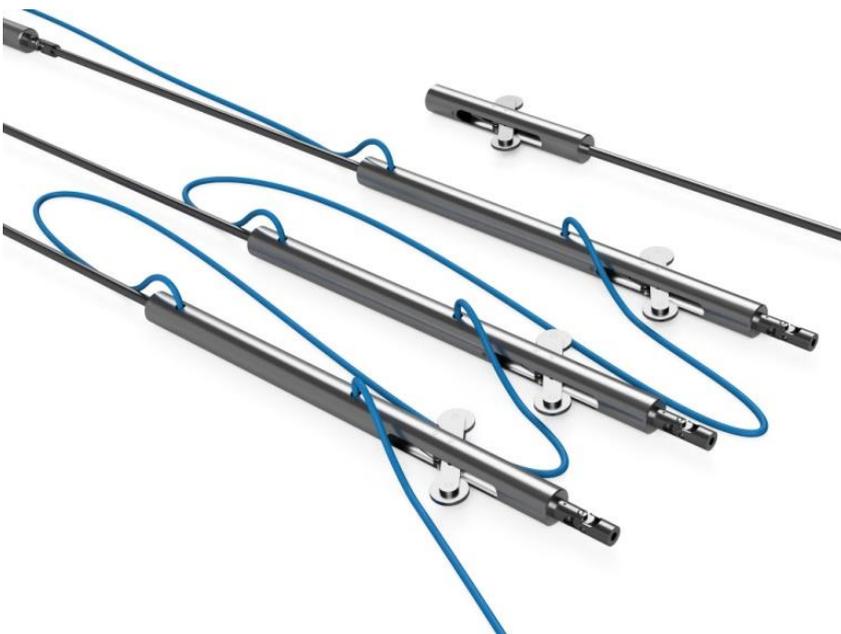
4.3 Inclinatori

L'installazione di un tubo inclinometrico permette di rilevare spostamenti orizzontali nel terreno (corpo in frana, rilevato area interessate da scavi) o di strutture (pali o paratie), cioè aree soggette prevalentemente a carichi orizzontali. Permette la verifica dello stato deformativo degli strati di terreno adiacente ad uno scavo ed è quindi impiegato per l'analisi e la risoluzione di molte problematiche di carattere geotecnico.

Lo stato deformativo del tubo è rilevato mediante misure condotte con sonde fisse che verranno posizionate nel tubo di misura alle quote ritenute critiche. Le postazioni fisse potranno essere così acquisite in maniera automatica in modo da sorvegliare costantemente il possibile movimento in atto.

Le principali applicazioni degli inclinometri sono essenzialmente:

- Monitoraggio delle deformazioni degli strati di terreno sovrastanti e adiacenti le gallerie durante le fasi di scavo
- Monitoraggio delle deformazioni degli strati di terreno interessati dalla realizzazione di opere civili durante le fasi di scavo
- Controllo della stabilità delle opere di contenimento, con applicazioni analoghe al punto precedente;
- Controllo dei movimenti del terreno in generale



Nell'esecuzione degli scavi per installare gli strumenti si deve tenere sempre presente che si opera in ambiti difficili, aree in frana, in vicinanza degli edifici ed in prossimità delle loro fondazioni. Si deve altresì tenere presente che si opera in presenza di condotti di fognatura e di altri sottoservizi.

L'installazione degli strumenti dovrà essere realizzata nella posizione di progetto, con eventuali variazioni, riscontrabili in situ, dovute alla singolarità di alcuni casi.

4.3.1 Specifiche tecniche

Tubi

I tubi utilizzati possiedono, al loro interno, 4 scanalature di guida entro cui scorre sia la sonda rimovibile, sia le sonde fisse. Le 4 scanalature sono tra loro ortogonali ed hanno la funzione di guidare ed orientare le sonde durante le letture.

I tubi, in ABS o PVC, hanno in genere lunghezza di 3m, spessore circa 3mm e diametri nominali 60mm, giuntati mediante manicotti.

Ai fini della precisione delle misure è importante che le scanalature dei tubi presentino una spirallatura inferiore a 0.5° per metro.

- | | |
|--|--|
| • materiale | ABS o PVC |
| • diametro esterno | min. 60mm |
| • lunghezza spezzoni | 3 metri |
| • spessore | min. 2.5mm |
| • max torsione ammissibile | >1°/1m |
| • max compressione lungo l'asse del tubo | 1% della lunghezza spezzone |
| • manicotto di giunzione | auto-allineante sui due spezzoni di tubo |
| • lunghezza manicotto | 200mm |

Sonda fissa da foro (acquisizione automatica dati)

Si tratta di un inclinometro composto da una serie di sonde biassiali potenziometriche o simili, removibili predisposte per essere posizionate all'interno di una tubazione inclinometrica e atte a rilevare le deformazioni del terreno con acquisizione dati anche da remoto.

L'installazione è del tutto simile a quella degli inclinometri (i tubi inclinometrici usati sono infatti gli stessi), le sonde possono essere asportate ed installate in qualsiasi altro tubo inclinometrico.

Il posizionamento delle sonde all'interno del tubo avviene sospendendo ciascuna sonda ad un cavo in acciaio o ad aste in VTR, il tutto collegato ad una testa di sospensione montata all'estremità superiore della colonna.

L'acquisizione e l'elaborazione dei dati sono esattamente uguali alle altre sonde removibili.

• tipo di misura	inclinometrica in tubo a quote fisse su 2 assi
• tipo di sensore	biassiale potenziometrico a pendolo o di uguale precisione
• campo di misura	$\pm 10^\circ$
• sensibilità	0.05% del f.s.
• precisione	<0.5% del f.s.
• campo di temperatura	-20 + 70°C
• carrello porta sensore	sonda a rotelle basculanti in acciaio inox
• interasse rotelle	1000 mm
• attacco sonde	testa di sospensione con cavo di acciaio o aste in VTR

Centralina di misura

È uno strumento di misura di precisione, contenuto in un involucro realizzato in robusto materiale con adeguato grado di protezione, con il quale si

- alimentano i sensori della sonda;
- amplificano i segnali rilevati
- registrano o visualizzano i valori di lettura.

A seconda delle modalità di acquisizione dei valori di lettura, abbiamo due tipi di centraline: manuale ed automatico.

• errore massimo	±0.6 mm / 50 m
• range di calibrazione	0-30 mm
• Display	4.5 digit LCD
• classe d'isolamento	IP65

Cavo di connessione

Il cavo sostiene la sonda nel tubo durante le varie posizioni di misura, fornisce l'alimentazione ai sensori e trasmette i segnali rilevati alla centralina di misura. Un idoneo cavo deve assicurare un carico a rottura di almeno 200 – 250 kgf ed allungamento del 5% con un carico di 20 kg, mentre i connettori devono essere a tenuta stagna almeno fino a 10 bar.

4.3.2 Installazione

Per l'installazione della strumentazione si seguono le seguenti modalità:

a) Perforazione

La colonna inclinometrica deve essere installata in un foro di perforazione costituito da un sondaggio a distruzione di nucleo, con diametro minimo 140 mm. La perforazione in cui sarà installato il tubo inclinometrico dovrà avere le seguenti caratteristiche:

- diametro sufficiente all'inserimento del tubo inclinometrico; vi deve essere spazio sufficiente anche per l'inserimento del tubetto di iniezione;
- deviazione globale dalla verticale $\leq 1,5\%$.

I rivestimenti di perforazione, se presenti, dovranno essere estratti solo a

trazione e non a rotazione per non indurre effetti di torsione sul tubo inclinometrico.

b) Operazioni preliminari

Prima dell'installazione, dovrà essere controllato quanto segue:

- i tubi e i manicotti non devono avere lesioni o schiacciamenti dovuti al trasporto;
- le estremità dei tubi e dei manicotti non dovranno avere sbavature che possano compromettere il buon accoppiamento dei tubi e lo scorrimento delle sonde di misura;
- l'efficienza del tubo per l'iniezione della miscela di cementazione da applicare all'esterno della colonna inclinometrica;
- la composizione della miscela di cementazione che sarà costituita da acqua, cemento e bentonite (rapporto 100-30-5 parti in peso);
- Il tipo e la scadenza del collante da utilizzare, l'efficienza della morsa di sostegno.

c) Posa in opera

Precedentemente o contemporaneamente all'esecuzione del sondaggio i vari segmenti di tubo devono essere assemblati secondo la seguente procedura:

- collegare due tubi inclinometrici tramite l'apposito manicotto. Il collegamento viene eseguito grazie alle 4 guide di tubo e manicotto, che devono coincidere. Sulla testa del tubo che viene infilato nel manicotto deve essere spalmato uno strato di colla o silicone. Fissare i manicotti con quattro rivetti siliconati, ponendo attenzione affinché le due facce dei due spezzoni di tubi siano perfettamente combacianti;
- sigillare con nastro adesivo la giunzione dei due tubi così uniti al fine d'impedire l'entrata di boiaccia all'interno della colonna inclinometrica;
- collegare la canna d'iniezione (costituita per esempio da materiale in PEAD PN6 - 4DN - 10DN 16-20) al tubo di fondo foro (chiuso con l'apposito tappo) tramite robusti legacci realizzati con nastro adesivo o fascette tenditrici. Lo sfiato della cannetta dovrà essere posizionato ad almeno 50 cm di distanza dal tappo del tubo inclinometrico e la canna stessa dovrà essere incisa nel suo primo tratto tramite taglierino in due - tre punti equidistati tra loro circa 20 cm;
- infilare le prime due tubazioni all'interno del foro e mantenerle sospese a boccaforo tramite l'apposita forchetta; prendere un terzo tubo e collegarlo agli

altri due seguendo le indicazioni appena menzionate e proseguire in questa maniera con gli altri segmenti fino a fondo foro;

- se la lunghezza della colonna inclinometrica supera i 30 m, si provvederà ad accoppiare due tubi d'iniezione, uno partente dal foro ed uno circa da metà lunghezza. Se nel foro c'è presenza d'acqua, anche i tubi verranno riempiti d'acqua pulita, in modo da non forzare durante la discesa della colonna, evitando l'effetto galleggiamento della colonna di tubi. Per favorire il centraggio della colonna nel foro si potranno utilizzare distanziatori in gomma o materiale molto simile;
- al termine del posizionamento si procede alla cementazione a bassa pressione (2 – 3 atm) tramite la cannetta d'iniezione, con miscela cementizia leggermente espansiva (acqua, cemento e bentonite). L'iniezione viene eseguita attraverso la cannetta più profonda sino a circa metà altezza, quindi, per colonne inclinometriche maggiori di 30m, attraverso la cannetta di metà lunghezza, sino all'avvenuto spurgo a boccaforo. Alla fine della cementazione, il tubo, sarà protetto con adeguato pozzetto (cls, hpvc o ghisa) e chiuso con coperchio carrabile in ghisa;
- dopo la presa del cemento utilizzato per il riempimento, verranno inserite o la sonda rimovibile o ove richiesto le sonde inclinometriche fisse. In particolare, le sonde fisse saranno mantenute sospese nel tubo mediante appositi cavi in acciaio o aste in VTR di lunghezza predeterminata; i cavi elettrici verranno fascettati o ai cavi in acciaio o alle aste in modo da garantire una sufficiente sospensione. Particolare attenzione dovrà essere riservata all'orientamento delle sonde nel tubo: queste dovranno avere tutte la stessa orientazione; a tal fine si dovrà indicare, sulla testa del tubo, in modo inequivocabile e permanente, la guida scelta come guida 1, la quale corrisponderà all'asse X di ogni singolo sensore. Le successive 3 guide saranno indicate partendo dalla prima in senso orario. Il cavo o l'asta di sostegno saranno fissati alla testa del tubo mediante l'apposito incavo ricavato sul tappo di chiusura del tubo. I cavi elettrici di connessione verranno cablati verso il sistema di acquisizione tramite dei cavidotti interrati.

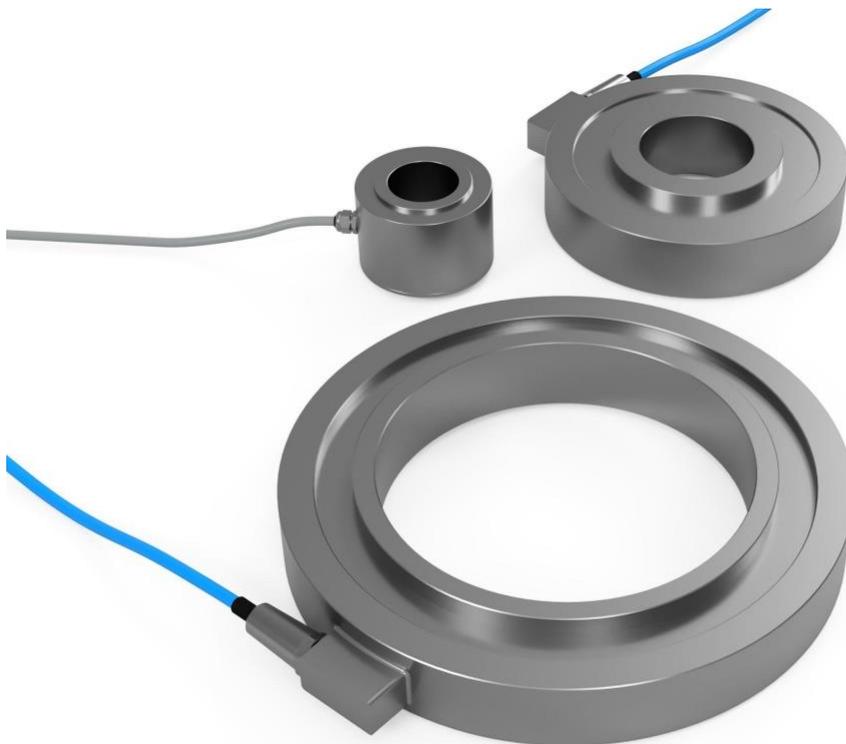
4.3.3 Misure

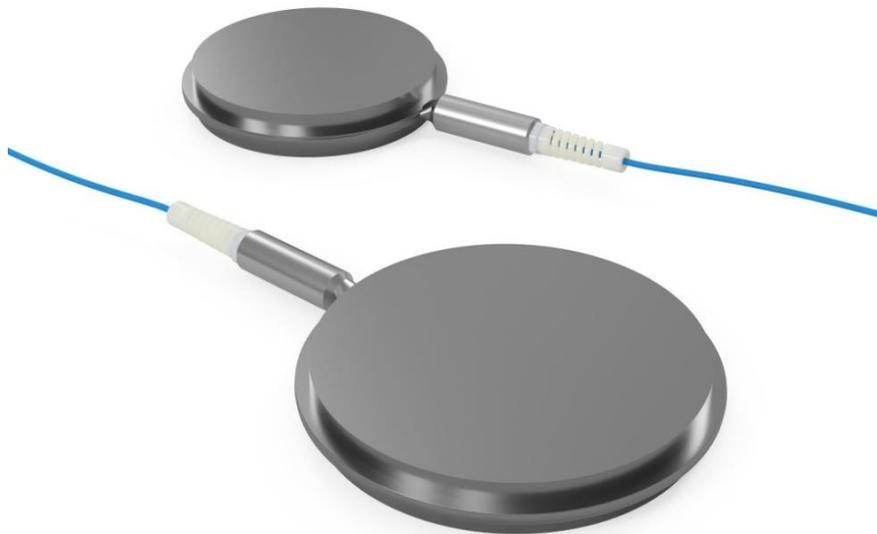
Le misure sono completamente automatiche. Gli acquisitori inviano i dati alla centralina che li rende disponibile in cloud.

4.4 Celle di carico

Le celle di carico si compongono di un corpo cilindrico in acciaio e di una piastra in acciaio che permette una più omogenea ripartizione del carico. Vengono utilizzate per garantire la sicurezza di opere di sostegno sia provvisorie che permanenti. Si suddividono in:

- Celle di carico per centine, composta da due piastre di dimensione analoghe al piede delle centine: si collega a quest'ultima e misura la variazione di carico che la struttura supporta
- Cella di carico per tiranti, costituita da un corpo di forma toroidale che consente il controllo della fase di tesatura di tiranti e del loro rilascio tensionale in fase di esercizio.





4.4.1 Specifiche tecniche

Celle di carico toroidali

In generale lo strumento è costituito da sensori tipo "strain gauges" alloggiati sulla superficie della cella in una particolare configurazione (griglia estensimetrica) da consentire la misura delle deformazioni della cella sottoposta al carico di lavoro. La griglia è configurata in modo da poter conservare la piena funzionalità dello strumento in caso di urti o d'immersione.

Sotto carico la cella subisce una deformazione che viene rilevata dagli estensimetri i quali variando il loro valore di resistenza, generano in uscita un segnale elettrico proporzionale al carico applicato.

Caratteristiche tecniche cella di carico per tirante TOROIDALE

- | | |
|---------------------------|-----------------|
| • portata | da 300 a 2500KN |
| • diametro interno minimo | 40 mm |
| • sensibilità | 0.1% f.s.. |
| • precisione | ± 1% f.s. |
| • campo di temperatura | -20 +70 °C |

- carico di rottura 150 % f.s
- materiale acciaio inox

Celle di carico per centina

È composta da un corpo cilindrico in acciaio inox cavo al suo interno e da un trasduttore di pressione elettrico montato direttamente sulla cella.

La camera di pressione viene saturata sottovuoto con olio disareato per ottenere la minima compressibilità dello strumento.

Vengono fornite con piastre di distribuzione semi-sferiche per applicazione fra due superfici non perfettamente parallele

Caratteristiche tecniche celle di carico per centine

- portata da 500 a 3000 KN
- dimensioni adattabili al piede della centina
- sensibilità 0.01% f.s..
- precisione $\pm 1\%$ f.s.
- campo di temperatura -20 +70 °C
- carico di rottura 150 % f.s
- materiale acciaio

4.4.2 Installazione

Le modalità di installazione si differenziano a seconda se la cella viene posizionata sulla testa di un bullone di ancoraggio o ai piedi di una centina.

Nel primo caso si deve osservare la seguente procedura:

- spianare e lisciare la superficie di contatto nell'intorno del foro predisposto per il tirante da strumentare, scalpellando le asperità maggiori;
- stendere un leggero strato di calcestruzzo onde garantire la planarità della superficie;

- appoggiare la cella di carico alla superficie predisposta e installare la piastra di distribuzione;
- iniziare le operazioni di messa in tiro del bullone, valutando subito l'opportunità di regolarne la posizione onde garantirne la perfetta planarità e conseguentemente la perfetta distribuzione del carico; tale operazione sarà eseguita controllando i valori elettrici della cella;
- procedere con la messa in carico fino al valore di progetto.

Nel caso venga posizionata ai piedi di una centina la messa in opera dovrà essere preceduta dalla realizzazione di un apposito piano di base in sabbia su cui appoggiare la piastra di ripartizione. Si deve porre massima attenzione nella collocazione della base della centina o di una trave ad essa saldata che dovrà quindi essere appoggiata sulla piastra di ripartizione superiore.

La cella di carico per centina può essere posizionata anche nella zona di collegamento tra i due spezzoni della centina (zona "reni").

4.4.3 Acquisizione, elaborazione dati e taratura dello strumento

Lungo una stessa sezione tutti i cavi delle celle vengono fatti convergere in un unico punto, in un'apposita nicchia o scatola.

Il dato da misurare è il carico a cui è sottoposto lo strumento e quindi la struttura (tirante o centina) a cui esso è collegato e le sue variazioni nel tempo.

La misura si effettua o con una centralina portatile o con il sistema di acquisizione automatico, sia provvisorio che definitivo, alimentando e rilevandone il segnale in uscita.

Dal valore in uscita dello strumento si risale alla pressione in quel punto "materiale-struttura" entro il quale lo strumento è stato applicato.

Il valore letto viene trasformato in unità ingegneristiche moltiplicandolo per una costante ricavabile direttamente dalla scheda tecnica di ogni singolo strumento.

L'apparecchiatura di misura viene sottoposta a taratura con scadenza annuale o presso il Fornitore o presso un laboratorio autorizzato.

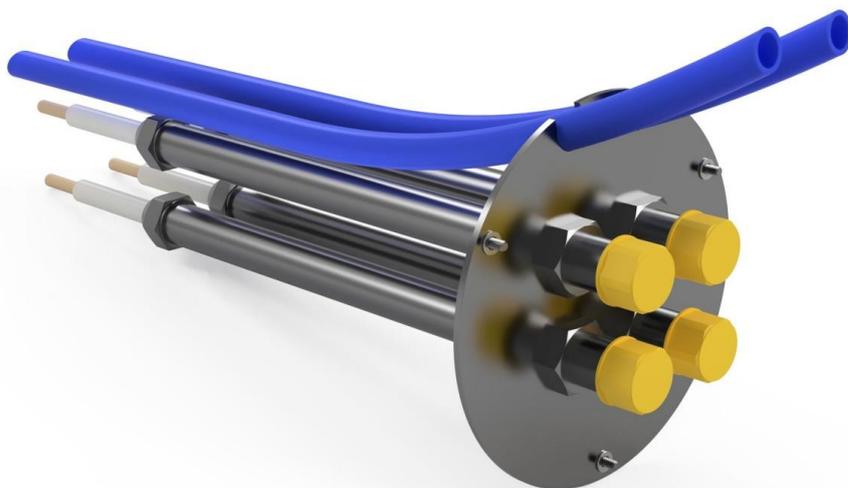
I dati acquisiti vengono diagrammati nel grafico "variazione carico - tempo" dove è possibile verificare nel tempo l'andamento delle eventuali variazioni di carico che subisce la struttura.

4.5 Estensimetro multibase

Gli estensimetri multibase vengono utilizzati in terreni e rocce per controllare i movimenti in profondità di una serie di punti di misura che vengono cementati a quote fisse entro una perforazione. Si può determinare il profilo deformativo in profondità lungo l'asse del foro, rilevando la loro posizione rispetto ad un riferimento di superficie. I punti di misura ancorati nella perforazione sono collegati alla superficie con aste di acciaio, invar o fibra di vetro protette da una guaina in nylon per minimizzare gli effetti dell'attrito laterale. La cementazione dei punti di misura e delle guaine nel foro avviene mediante iniezioni attraverso un apposito tubo. I movimenti relativi tra il punto di ancoraggio e la testa dell'asta di misura vengono misurati attraverso un calibro digitale o dei trasduttori di spostamento elettrici.

L'estensimetro multibase è generalmente composto da:

- una testa di misura a cui sono fissate le basi di misura;
- una o più basi di misura disponibili in vari materiali (fibra di vetro, acciaio, ecc.).
Le basi sono protette dal contatto con la cementazione da una guaina in materiale plastico;
- ancoraggi di fondo, uno per ogni base di misura, da cementarsi al terreno;
- tubi di iniezione;
- cavi di collegamento ad una centralina di misura.



4.5.1 Specifiche tecniche

L'installazione degli strumenti dovrà essere realizzata nella posizione di progetto, con eventuali variazioni, riscontrabili in situ, dovute alla singolarità di alcuni casi.

4.5.2 Installazione

Gli estensimetri multibase vanno inseriti in fori di perforazione con pareti stabilizzate dal diametro minimo di 101mm. Nei primi 50cm circa il foro deve essere allargato fino a 140-160mm circa in modo da inserire la testa dello strumento. Prima di iniziare l'installazione dei trasduttori elettrici si raccomanda di eseguire una lettura di controllo con una centralina di misura.

4.5.3 Caratteristiche tecniche trasduttori

- | | |
|-------------------|----------------------|
| • range di misura | 0-25, 50, 100, 150mm |
| • accuratezza | 0.2% F.S. |

Si procederà all'installazione seguendo le seguenti fasi esecutive:

- preparare lo strumento in prossimità del sito di installazione; montare eventuali centratori;
- inserire lo strumento in foro;
- sostenere la testa all'altezza desiderata e cementare le basi usando il primo tubo di iniezione. Un secondo tubo deve essere impiegato per lo sfiato ed eventuale rabbocco;
- una volta che il cemento ha fatto presa sbloccare le aste di misura che devono essere libere di scorrere all'interno della guaina;
- montare i trasduttori (se prevista la lettura mediante tali strumenti);
- montare eventuali coperchi di protezione della testa.

4.5.4 Misure

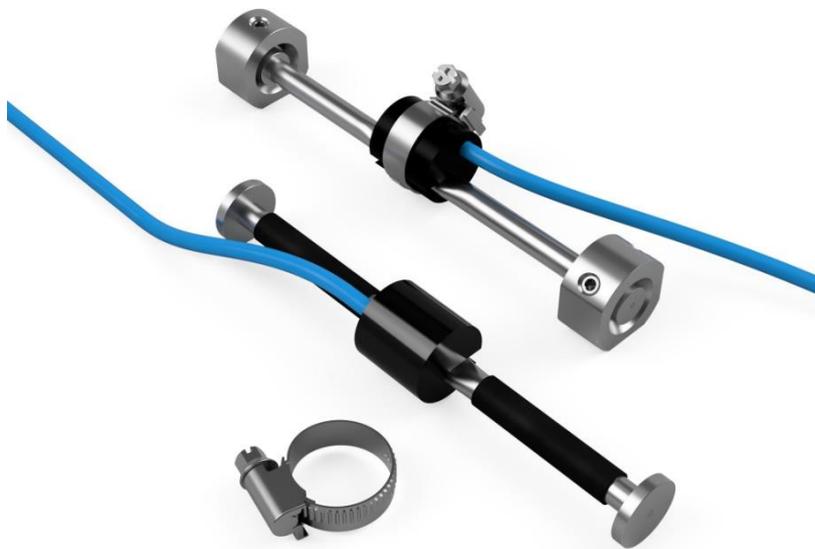
Le misure sono completamente automatiche. Gli acquisitori inviano i dati alla centralina che li rende disponibili in cloud.

4.6 Barrette estensimetriche

Le barrette estensimetriche sono utilizzate per misurare le deformazioni e quindi definire gli stati tensionali, all'interno di strutture definitive e provvisorie.

La barretta estensimetrica è adoperata generalmente per:

- Monitoraggio degli stati tensionali delle centine;
- Controllo delle tensioni nei pali e nei diaframmi;
- Controllo di strutture c.a.



4.6.1 Specifiche tecniche

Lo strumento è costituito da sensori estensimetrici installati al centro della barretta secondo una particolare disposizione che consente la compensazione del segnale elettrico degli effetti termici e di flessione.

La barretta estensimetrica può lavorare indifferentemente sia a trazione che a compressione, inoltre la parte sensibilizzata è resinata al fine di preservare la funzionalità dello strumento nel caso di urti o immersione.

- | | |
|-------------------|---------------------------------------|
| • tipo di misura | deformazione: trazione o compressione |
| • tipo di sensore | corda vibrante |
| • campo di misura | $\pm 1500 \mu\epsilon$ |

- | | |
|------------------------|------------|
| • sensibilità | 1% f.s. |
| • precisione | 2% f.s.. |
| • sovraccarico ammesso | 150 % f.s |
| • campo di temperatura | -20 +70 °C |

4.6.2 Installazione

La procedura da osservare per le barrette da installare su centina è la seguente:

- la posizione e l'orientazione delle barrette deve essere marcata sulla centina dove saranno saldati i supporti delle barrette, mediante apposita dima;
- le barrette devono essere estratte dall'imballo e misurate con la centralina portatile; il segnale deve risultare stabile;
- le estremità delle barrette devono essere avvitate ai suddetti supporti mediante i dadi ed i controdati in dotazione; prima di serrare la barretta ai suoi blocchetti saldati alla centina, accertarsi che la saldatura sia a tenuta e la temperatura dei supporti sia tale da non determinare variazioni dopo il fissaggio della barretta;
- si esegue la taratura della barretta serrando dadi e controdati, annotandosi quindi la lettura;
- il cavo elettrico, dotato di una protezione con guaina metallica anti-urto ed anti-schiacciamento e ricoperta in PVC, deve essere fissato sull'anima o sulla parete interna dell'ala della centina in modo da essere completamente protetto; il percorso del cavo non deve mai essere diagonale rispetto alla centina ma deve seguirne il suo sviluppo;
- una serie di letture deve essere eseguita immediatamente dopo l'avvenuta installazione, per verificarne il collegamento ed il corretto funzionamento.

Le barrette estensimetriche per cls vengono installate tramite delle fascette, metalliche o in plastica, su delle strutture di supporto, al fine di mantenere in posizione lo strumento durante le fasi di getto del calcestruzzo. Le strutture di supporto possono essere sia le armature del c.a. sia appositi tondini (diam. 8 mm) opportunamente predisposti. Per tarare le successive letture in funzione della temperatura e dell'effetto del ritiro del cls in fase di presa, è buona norma provvedere, con opportuna periodicità, alla posa in opera di termometri e/o barrette di controllo aggiuntive.

4.6.3 Misure

Lungo una stessa sezione tutti i cavi delle barrette vengono fatti convergere in un unico punto, in un'apposita nicchia o scatola.

La misura si effettua o con una centralina portatile o con il sistema di acquisizione automatico, sia provvisorio che definitivo, alimentando in tensione il ponte estensimetrico e rilevandone il segnale in uscita.

Dal valore in uscita dello strumento si risale alla deformazione assiale della zona centrale sensibilizzata e quindi alla deformazione in quel punto nel materiale entro il quale la barretta è stata installata o su di cui lo strumento è stato applicato.

Il valore letto viene trasformato in unità ingegneristiche moltiplicandolo per una costante ricavabile direttamente dalla scheda tecnica di ogni singolo strumento.

I dati vengono diagrammati nel grafico "deformazioni - tempo" che permette di valutare nel tempo l'andamento delle deformazioni della struttura sotto osservazione.

4.7 Piezometri tipo Casagrande

I piezometri consentono l'individuazione e la definizione degli acquiferi presenti nei terreni attraversati, la misurazione dei livelli di falda e delle loro variazioni, quindi l'entità e la distribuzione della pressione dell'acqua contenuta nei vuoti (pori o fessure) del terreno.

Durante l'esecuzione delle perforazioni a distruzione di nucleo, a cui farà seguito l'installazione dei piezometri, si possono ottenere informazioni preliminari sui valori della pressione neutra attraverso il controllo del livello del fluido (solo acqua) di perforazione e delle sue eventuali variazioni. Le osservazioni devono essere effettuate ad ogni interruzione di esecuzione della perforazione di durata superiore ad alcune ore e devono essere menzionate nei rapportini di perforazione unitamente ad indicazioni sulla situazione meteorologica.

Il tempo di risposta del piezometro, cioè l'intervallo di tempo che intercorre fra l'istante in cui avviene una variazione della pressione neutra e l'istante in cui il piezometro la segnala, è funzione delle caratteristiche della apparecchiatura utilizzata e della permeabilità del terreno in cui il sensore viene inserito. L'impiego del piezometro tipo cella di Casagrande è adatto a terreni con permeabilità media ($k > 10^{-8}$ m/sec).

4.7.1 Specifiche tecniche

I piezometri di tipo Casagrande sono costituiti da un filtro cilindrico di materiale poroso (ceramica, plastica porosa) avente una cavità interna, collegata con una doppia tubazione piezometrica. L'elemento filtrante (cella) ha lunghezza di circa 20cm e diametro esterno compreso tra 5 e 6.5 cm.

Il diametro della cella dipende dal tipo d'impiego: solo per letture manuali ($\varnothing 5-5.5$ cm) o per letture manuali e automatiche ($\varnothing 6-6.5$ cm). Infatti, le caratteristiche tecniche di una cella di Casagrande idonea anche all'esecuzione di letture con piezometri elettrici ($\varnothing 2.8$ cm) deve avere un diametro sufficiente all'innesto di un tubo di circa 4 cm.

L'impiego del piezometro tipo Casagrande è limitato a terreni con permeabilità media ($k > 10^{-8}$ m/sec).

Lo strumento viene calato in fori trivellati a distruzione di nucleo. I fori possono essere o già eseguiti per l'installazione dei piezometri a tubo aperto o di nuova esecuzione. La posizione del piezometro dipenderà dalla profondità alla quale si vuole eseguire la misura.

La misura del livello dell'acqua nel tubo viene eseguita attraverso freatimetri (sensore elettrico con fettuccia centimetrata) oppure con trasduttori di livello. Il tempo di risposta delle variazioni piezometriche rilevabili con celle tipo Casagrande, in questi tipi di terreni, è relativamente breve.

Piezometro di Casagrande

- lunghezza tubi 3-6 m o rotolo
- diametro interno per letture manuali 16mm
- diametro interno per letture automatiche 40mm
- materiale pvc rigido
- cella ceramica porosa o plastica porosa
- lunghezza \cong 200mm
- porosità 20 micron
- diametro esterno 50 - 65mm
- sonda a sez. circolare 8mm

Segnalatore acustico e visivo del raggiungimento del livello

- cavo a sez. circolare 5mm, centimetrato
- campi di misura Da 10 a 500m

Sensore di livello

- diaframma ceramico
- filtro acciaio o pvc rigido, porosità 40 micron
- campi di misura 2-5 bar
- sensibilità 0.02% f.s.
- precisione \pm 0.05% f.s.
- diametro esterno \cong 30 mm
- lunghezza 190 mm
- campi di temperatura -20 +50°C

4.7.2 Installazione

L'installazione degli strumenti dovrà essere realizzata nella posizione di progetto, con eventuali variazioni, riscontrabili in situ, dovute alla singolarità di alcuni casi.

Prima della posa in opera è necessario eseguire alcune operazioni preliminari come di seguito descritto:

- il foro, dove deve essere installata la cella piezometrica, deve essere perforato ad acqua; il foro, in materiali sciolti, deve essere sostenuto da un rivestimento provvisorio;
- il diametro del foro deve essere idoneo a garantire una perfetta installazione del tipo e delle quantità di piezometri previsti (es.: tubo aperto e cella di Casagrande $\varphi \geq 141$; solo cella di Casagrande $\varphi \geq 110$);
- in caso d'installazione di due piezometri nello stesso foro, si dovrà procedere prima dell'installazione del secondo piezometro, al riempimento, a meno di 1,5m, del tratto di foro compreso tra i due piezometri (ritirando, quando presenti, man mano i rivestimenti provvisori).
- Le proporzioni della miscela cemento-bentonite-acqua, da utilizzare per il riempimento, dovranno essere tali affinché si ottenga una consistenza della miscela, a presa avvenuta, simile a quella del terreno nella zona del piezometro. Indicativamente una miscela costituita da 30 parti di peso cemento, 6 di bentonite e 100 di acqua, può essere considerata adeguata nei terreni medi (altre raccomandazioni indicano rapporti 50-10-100 o 50-5-100). Ad avvenuto inizio della presa, si poserà un tappo impermeabile costituito da palline preconfezionate di bentonite (\emptyset tra 1 e 2 cm) in strati di 20cm alternate a strati di ghiaietto di 2-3cm, per uno spessore complessivo di 1 m e conseguente ulteriore ritiro del rivestimento. Al termine della suddetta operazione si opererà un abbondante lavaggio del foro con acqua pulita.

L'installazione vera e propria seguirà le seguenti fasi:

- posa di uno strato di sabbia per uno spessore di 0,5 metri;
- discesa a quota del piezometro (mantenuto fino a quel momento in acqua pulita), assicurandosi che i giunti di collegamento dei relativi tubi garantiscano una

- perfetta tenuta idraulica; • posa di sabbia pulita attorno e sopra (0,5 m) il piezometro, ritirando man mano la colonna di rivestimento, senza l'ausilio della rotazione, con l'avvertenza di controllare che il piezometro non risalga assieme ai rivestimenti e che in colonna ci sia sempre un po' di sabbia;
- posa del tappo impermeabile superiore costituito da palline preconfezionate di bentonite (1-2 cm) in strati di 20 cm alternate a straterelli di ghiaietto di 2-3 cm, per lo spessore complessivo di 1 m, ritirando man mano i rivestimenti (senza ruotare) e costipando sui livelli di ghiaietto. Il rivestimento viene man mano ritirato con la solita avvertenza. (Nel caso di vicinanza alla quota di posa del secondo piezometro - ove prescritto - il tappo impermeabile può essere prolungato fino a 0,5 m al di sotto di tale quota; la posa del secondo piezometro avverrà ripetendo le operazioni precedentemente descritte);
 - Riempimento del foro al di sopra del tappo impermeabile superiore fino alla sommità, mediante malta costituita da cemento-bentonite-acqua con le proporzioni sopra menzionate, colata attraverso aste discese al fondo del foro. Va tenuto presente che in presenza di 2 piezometri, può risultare difficoltoso (e pericoloso per i tubetti di collegamento) l'inserimento di questa batteria di astine, per la presenza di numerosi tubi nel foro. Si deve pertanto provvedere all'installazione delle astine di immissione della miscela fino dalla fase di messa in opera del secondo piezometro;
 - Sistemazione e protezione dell'estremità del piezometro con la creazione di pozzetto di cls, ben cementato nel terreno, munito di coperchio carrabile in ghisa;
 - Spurgo e collaudo del piezometro con la determinazione della prima lettura significativa a seguito dell'esecuzione di una serie di almeno tre letture, la prima delle quali deve avvenire a non meno di 2 ore dalla realizzazione del piezometro e le successive a distanza di 24 ore l'una dall'altra.

4.7.3 Misure

La misura da effettuare consiste nell'individuazione del livello della falda acquifera nel terreno tramite apposita sonda (freatimetro centimetrato) o trasduttori di livello. Utilizzando il freatimetro, le operazioni da effettuare sono le seguenti:

- accendere il freatometro e verificarne il corretto funzionamento immergendo il puntale in un qualsiasi recipiente pieno d'acqua; introdurlo quindi all'interno del tubo piezometrico;
- lasciare scivolare in profondità per gravità il freatometro all'interno del foro fino ad udire il segnale acustico indicante il raggiungimento da parte della sonda della superficie piezometrica della falda da misurare.
- constatare che il suono sia continuo, escludendo così la possibilità che si tratti di una falsa misura;
- sollevare la sonda fino a far cessare il cicalino e muovere lentamente su e giù il cavo per tratti millimetrici fino ad intercettare con precisione il punto di innesco del cicalino;
- appoggiare e fermare il cavo al bordo superiore del tubo piezometrico in misura eleggere la quota rilevata direttamente sul cavo collegato alla sonda, trascrivendo tale valore sull'apposito modulo.

Utilizzando i trasduttori di livello (costituiti da un corpo in acciaio inossidabile a tenuta stagna contenente il trasduttore di pressione montato su supporto ceramico "filtro"), si deve seguire la seguente procedura:

- al posto di uno dei due tubi da 3/4", bisogna collegare, immediatamente al di sopra della cella porosa, un tubo da 1.75", in modo che lo stesso possa essere utilizzato per calare al fondo il sensore piezometrico;
- stendere il cavo collegato al trasduttore e misurare l'esatta distanza pari alla profondità di posa rispetto al p.c.; marcare con nastro il punto sul cavo;
- calare il trasduttore entro il tubo in PVC da 1.75", alla profondità prestabilita, reggendolo per il cavo; raggiunta la quota, sospendere lo strumento per mezzo di un idoneo sistema di fissaggio da applicare in superficie all'estremità del tubo medesimo;
- leggere sul display della centralina il valore di misura e riportare tale valore sugli appositi moduli. I dati ricavati dalle misure vengono diagrammati nel grafico "quota dal p.c.- tempo" nel quale si visualizzano nel tempo le variazioni di profondità subite dalla superficie piezometrica.

4.8 Piezometri a tubo aperto

I piezometri consentono l'individuazione e la definizione degli acquiferi presenti nei terreni attraversati, la misurazione dei livelli di falda e delle loro variazioni, quindi l'entità e la distribuzione della pressione dell'acqua contenuta nei vuoti (pori o fessure) del terreno.

Durante l'esecuzione delle perforazioni a distruzione di nucleo, a cui farà seguito l'installazione dei piezometri, si possono ottenere informazioni preliminari sui valori della pressione neutra attraverso il controllo del livello del fluido (solo acqua) di perforazione e delle sue eventuali variazioni.

Le osservazioni devono essere effettuate ad ogni interruzione di esecuzione della perforazione di durata superiore ad alcune ore e devono essere menzionate nei rapportini di perforazione unitamente ad indicazioni sulla situazione meteorologica. Il tempo di risposta del piezometro, cioè l'intervallo di tempo che intercorre fra l'istante in cui avviene una variazione della pressione neutra e l'istante in cui il piezometro la segnala, è funzione delle caratteristiche della apparecchiatura utilizzata e della permeabilità del terreno in cui il sensore viene inserito. L'uso dei piezometri a tubo aperto è limitato al campo dei terreni uniformi permeabili o molto permeabili ($k > 10^{-5}$ m/sec).



4.8.1 Specifiche tecniche

I piezometri a tubo aperto sono costituiti da tubi di materiale plastico (generalmente PVC rigido) posti in fori trivellati nel terreno, giuntati in forma solidale fino all'ottenimento della lunghezza richiesta; i tubi sono fessurati ed eventualmente rivestiti di tessuto non tessuto per la parte in falda e ciechi nel rimanente tratto.

Il diametro interno dei tubi varia tra i 40 e 100 mm, deve essere tale da consentire il passaggio dello strumento per la misurazione del livello dell'acqua (freatimetro o piezometro elettrico).

Il piezometro con diametro maggiore di 100 mm viene usato prettamente per il prelievo di campioni di fluido per le analisi chimico - fisiche.

Nella zona di misura, la parete del tubo deve essere microfessurata (i tagli avranno aperture da 0,4 a 1,0 mm ca.) ed eventualmente protetta con TNT, circondata da materiale filtrante e, superiormente, isolata da un tampone impermeabile di altezza sufficiente ad evitare l'infiltrazione di acque superficiali.

La misura del livello dell'acqua nel tubo viene eseguita attraverso freatimetri (sensore elettrico con fettuccia centimetrata) oppure con piezometri elettrici inseriti in maniera fissa all'interno della tubazione.

Il tempo di risposta, dato il tipo di strumento e terreno, è relativamente breve.

Piezometro a tubo aperto

- lunghezza tubi 3-6 m
- apertura fessure da 0.25 a 2 mm
- passo fessure da 4 a 11 mm
- diametro efficace dei pori del geotessile da 0.07 a 0.12 mm
- diametro interno 40-100 mm
- materiale pvc rigido

4.8.2 Installazione

Prima della posa in opera è necessario eseguire alcune operazioni preliminari come di seguito descritto:

- il foro o il tratto di foro, dove deve essere installato il tubo piezometrico, deve essere perforato ad acqua;
- il foro, in materiali sciolti, deve essere sostenuto da un rivestimento provvisorio;
- il diametro del foro ($\varphi \geq 141$) deve essere idoneo a garantire una perfetta installazione del tipo e delle quantità di piezometri previsti (al tubo aperto è sempre associato, nello stesso foro, un piezometro tipo cella di Casagrande);
- per l'installazione di due piezometri nello stesso foro, si dovrà procedere prima dell'installazione del secondo piezometro (cc), al riempimento, a meno di 1,5m, del tratto di foro compreso tra i due piezometri (ritirando, quando presenti, man mano i rivestimenti provvisori). Le proporzioni della miscela cemento-bentonite-acqua, da utilizzare per il riempimento, dovranno essere tali affinché si ottenga una consistenza della miscela, a presa avvenuta, simile a quella del terreno nella zona del piezometro. Indicativamente una miscela costituita da 30 parti di peso cemento, 6 di bentonite e 100 di acqua, può essere considerata adeguata nei terreni medi (altre raccomandazioni indicano rapporti 50-10-100 o 50-5-100). Ad avvenuto inizio della presa, si poserà un tappo impermeabile costituito da palline di bentonite (\varnothing tra 1 e 2 cm) precedentemente confezionate, costipate con pestello, per lo spessore di 1 m, con ulteriore ritiro del rivestimento. Al termine della suddetta operazione si opererà un abbondante lavaggio del foro con acqua pulita. Sarà quindi posato uno strato di materiale granulare pulito (\varnothing da 1 a 4 mm) per uno spessore di 0,5 metri.

Le modalità d'installazione saranno le seguenti:

- si introduce il tubo piezometrico sino al terreno di base. Una volta posizionato il piezometro si procede all'immissione, nell'intercapedine tubo fessurato - rivestimento, di materiale granulare pulito (filtro con \varnothing 2 - 4 mm) fino a 1 m dall'estremità superiore del tratto fessurato, estraendo progressivamente il rivestimento senza rotazione;

- si procede, dopo aver effettuato il filtro, all'esecuzione di un tappo impermeabile di spessore pari a circa 1000mm, formato da palline di bentonite o argilla opportunamente pestellata, onde isolare la zona filtrante dal resto del foro;
- si colmerà il restante tratto superiore dell'intercapedine con materiale argilloso-limoso, sino alla quota prevista per il secondo piezometro (cc), con l'esecuzione delle conseguenti fasi di installazione e di riempimento del foro sino in superficie;
- l'estremità del/i tubo/i sarà protetta con apposito tappo;
- in ultimo, si pone in opera un pozzetto in cls, pvc o ghisa con copertura carrabile in ghisa.

4.8.3 Misure

La misura da effettuare consiste nell'individuazione del livello della falda acquifera nel terreno tramite apposita sonda (freatimetro) o piezometri elettrici fissi. Utilizzando il freatimetro, le operazioni da effettuare sono le seguenti:

- accendere il freatimetro e verificarne il corretto funzionamento immergendo il puntale in un qualsiasi recipiente pieno d'acqua pulita;
- introdurre il freatimetro all'interno del tubo piezometrico;
- lasciare scivolare in profondità per gravità il freatimetro all'interno del foro fino ad udire il segnale acustico che indica il raggiungimento, da parte della sonda, della superficie piezometrica;
- constatare che il suono sia continuo, escludendo così la possibilità che si tratti di una falsa misura, quindi sollevare la sonda fino a far cessare il cicalino;
- muovere lentamente su e giù il cavo per tratti millimetrici fino ad intercettare con precisione il punto di innesco del cicalino;
- appoggiare e fermare il cavo al bordo superiore del tubo piezometrico in misura;
- leggere la distanza dal bocca -tubo rilevata direttamente sul cavo centimetrato collegato alla sonda, quindi trascrivere tale valore sull'apposito modulo.

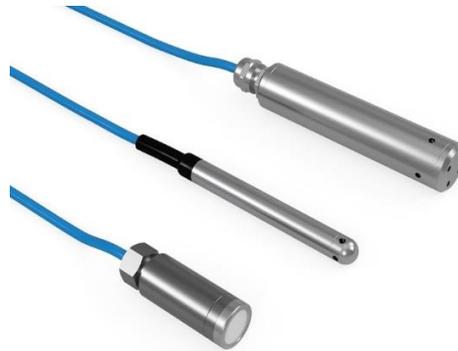
Utilizzando i trasduttori di livello (costituiti da un corpo in acciaio inossidabile a tenuta stagna contenente il trasduttore di pressione montato su supporto ceramico), si seguirà la seguente procedura:

- stendere il cavo collegato al trasduttore e misurarne l'esatta distanza, pari alla profondità di posa rispetto al p.c.;
- marcare con nastro il punto sul cavo;
- calare il trasduttore entro il tubo in PVC alla profondità prestabilita, reggendolo per il cavo;
- raggiunta la quota, sospendere lo strumento per mezzo di un idoneo sistema di fissaggio da applicare in superficie all'estremità del tubo medesimo;
- leggere sul display della centralina il valore di misura che indicherà il battente idraulico al di sopra della quota di posa del sensore; riportare tale valore sugli appositi moduli.

I dati ricavati dalle misure vengono diagrammati nel grafico "quota dal p.c.- tempo" nel quale si visualizzano nel tempo le variazioni di profondità subite dalla superficie piezometrica.

4.9 Piezometro tipo elettrico

I piezometri sono impiegati per misurare il livello di falda e la pressione interstiziale.



4.9.1 Specifiche tecniche

Le caratteristiche tecniche di riferimento delle celle piezometriche da impiegarsi sono le seguenti:

- campo di misura 0 ÷ 10 bar
- risoluzione 0.1% fondo scala
- precisione 0.3% fondo scala
- pressione massima ammissibile 20 bar

4.9.2 Misure

Nella sua versione con datalogger integrato, una scheda di acquisizione dati provvede alla automatizzazione e memorizzazione delle misure. Il sensore si compone di due parti collegate fra loro da un cavo di lunghezza variabile in funzione della profondità di installazione.

4.10 Strumentazione monitoraggio topografico

Le misure topografiche, finalizzate al monitoraggio di precisione, da effettuare per mezzo di triangolazioni, tri-laterazioni e poligonali devono essere eseguite tramite stazioni totali di alta precisione e, in relazione alla tipologia di monitoraggio da effettuare, possono essere adottate le seguenti modalità:

- Misure topografiche in modalità periodica, con cadenza da stabilire;
- Misure topografiche in modalità automatica a controllo remoto.

La scelta della modalità di misura dovrà essere effettuata in relazione alle precisioni ed alle frequenze di dati ritenute necessarie per il caso specifico di intervento.

Le triangolazioni, tri-laterazioni e poligonali potranno essere adottate per le seguenti attività di monitoraggio e controllo:

- Monitoraggio di versanti
- Monitoraggio di strutture (ponti, viadotti, paratie)
- Misure di convergenza in galleria
- Monitoraggio delle deformazioni in galleria
- Monitoraggio delle subsidenze durante l'esecuzione dei lavori

Schemi geometrici da adottare

In considerazione delle molteplici fattispecie riscontrabili nei siti di monitoraggio, si prescrive che per l'utilizzo della tecnica topografica di triangolazione, trilaterazione e poligonazione, si dovrà sempre prevedere l'orientamento del sistema di misura su un numero minimo di 4 vertici stabili esterni all'area da controllare, tramite i quali dovrà essere determinabile lo sqm delle misure di raffronto tra i valori delle coordinate di "zero" ed i valori determinati in occasione di ogni singola campagna di misure.

Nel caso di esecuzione di misure topografiche in "postazione fissa" o "periodica" con stazionamenti su pilastri o punti stabili, ogni stazione di misura dovrà essere collegata, tramite misure angolari e di distanze, ad almeno 4 vertici fissi esterni, direttamente collimabili dalla stessa.

Nel caso di esecuzione di poligonali di precisione, per la determinazione delle coordinate di una serie di punti intermedi (stazioni di passaggio), la poligonale dovrà essere vincolata agli estremi o, in alternativa, dovranno essere eseguite le misure in andata e ritorno, con vincolo sul vertice di partenza.

Precisioni e tolleranze delle misure

Le tolleranze e le precisioni delle misure devono essere determinate a priori, durante la fase di progettazione del sistema di monitoraggio. I valori di cui sopra, dovranno essere determinati tramite un calcolo di simulazione, il quale tenga conto di tutti i parametri ambientali relativi al sito (distanze, quote, posizioni delle stazioni ...), dei parametri geometrici della rete (ampiezze degli angoli, lunghezze dei lati, numero dei vertici.....), nonché delle caratteristiche tecniche delle strumentazioni (precisioni angolari, precisioni sulle distanze, tipologia di riflettori, modalità di stazionamento, precisione del sistema di puntamento automatico verso i riflettori ...). Tutti i parametri di cui sopra e le determinazioni derivate dal calcolo di simulazione, dovranno essere riportati in una apposita relazione esplicativa da consegnare preventivamente alla realizzazione del sistema di monitoraggio.

Il calcolo di simulazione assume una peculiare importanza, in quanto è posto alla base di tutte le successive scelte, quindi, la valutazione in merito alla adottabilità del sistema di monitoraggio, dovrà essere sempre effettuata a valle della esatta determinazione delle precisioni ottenibili dallo stesso, in relazione alle considerazioni del progettista.

Procedure e tecniche generali di misura

Tutte le misure di monitoraggio, sia in postazione fissa che periodica, dovranno essere eseguite utilizzando la tecnica delle osservazioni per strati angolari, effettuando per ogni collimazione almeno quattro strati di misure, le quali dovranno essere mediate ed eventualmente ripetute se i valori angolari o sulle distanze dovessero superare i limiti imposti a seguito del calcolo di simulazione di cui al paragrafo precedente.

Per le misure di monitoraggio, sia in modalità automatica in postazione fissa che in modalità periodica, non è mai prevista l'acquisizione dell'altezza strumentale o la misura dell'altezza del riflettore, in quanto tali misure dovranno essere sempre fisse ed invariabili.

Nel caso di esecuzione di poligonalari, le quote dei punti di stazione dovranno essere determinate esclusivamente tramite livellazioni geometriche di alta precisione.

Le poligonalari dovranno sempre avere lati con lunghezza non superiore a 150 m ed i vertici dovranno essere materializzati su strutture stabili, per quanto possibile ubicati al di fuori delle aree soggette alle lavorazioni di cantiere. In ogni caso, è previsto che i

vertici intermedi che subiranno danneggiamenti causati dalle attività di cantiere vengano tempestivamente sostituiti e rimisurati.

4.10.1 Caratteristiche minime delle stazioni totali da adottare

Sia per le misure automatiche in postazione fissa che per le misure periodiche, dovranno essere utilizzate stazioni totali con le seguenti caratteristiche tecniche minime e dotate degli accessori di seguito indicati:

- Precisione distanze 0.6 mm \pm 1 ppm
- Precisione angolare 0.5" (0.15 mgon)
- Dimensione spot laser a 50 m max 8 mm * 20 mm
- Precisione collimazione automatica su prisma 0.5" (0.15 mgon)

Per l'esecuzione delle poligonali, dovranno essere utilizzati pilastrini fissi o in alternativa almeno tre treppiedi in legno, dotati di appositi Kit di poligonazione (basette, porta prisma e prismi di precisione).

Misure altimetriche di alta precisione – Livellazioni geometriche dal mezzo

La determinazione delle quote dei vertici di rete, dei punti di poligonale e dei capisaldi in genere, deve sempre essere effettuata tramite l'esecuzione di livellazioni geometriche di alta precisione.

Le livellazioni geometriche, per le determinazioni delle quote dei vertici di rete e di stazione, per l'esecuzione delle successive misure topografiche o per la determinazione diretta delle quote dei punti di controllo, dovranno essere eseguite secondo le seguenti indicazioni:

- Le misure di livellazione geometrica dovranno essere effettuate secondo le specifiche dettate dall'Istituto Geografico Militare Italiano per l'esecuzione delle livellazioni di alta precisione.
- Le misure avranno inizio e fine sui capisaldi esterni e saranno effettuate con la modalità della livellazione composta dal mezzo.
- Prima della campagna di misure di collaudo la squadra topografica incaricata effettuerà un test della strumentazione elettronica in dotazione al fine di

correggere l'eventuale angolo di deviazione della linea orizzontale, adottando la formula di KukkaMaKi.

La tolleranza delle misure da effettuare sarà fissata in +/-2 mm per 1 Km di livellazione in A/R.

- Le operazioni di misura dovranno essere eseguite sempre con lettura automatica sulla scala codificata della stadia Invar; le sue condizioni di illuminazione dovranno sempre essere ottimali e pertanto i percorsi dovranno essere programmati anche in funzione di questa necessità.
- La lunghezza delle battute dovrà sempre essere inferiore a 30 metri; lo strumento, inoltre, trattandosi di livellazione geometrica dal mezzo, deve trovarsi ad uguale distanza dalle due stadiie.
- La differenza di lunghezza fra battuta avanti ed indietro non dovrà superare 1 metro.
- La differenza delle somme delle semi-distanze accumulate lungo la linea di livellazione non deve superare i 5 metri.
- La linea di mira deve essere sopra 100 centimetri dal suolo e, nel caso di stadiie da 3 metri, al di sotto di 2,80 metri.

4.10.2 *Installazione*

Le livellazioni geometriche di alta precisione dovranno essere adottate per le seguenti attività di monitoraggio e controllo:

- Determinazione delle quote dei vertici di rete.
- Determinazione delle quote dei vertici di poligonale.
- Determinazione delle quote dei punti di controllo (capisaldi) e delle staffe livellometriche, materializzate sul piano campagna e sugli edifici da monitorare.

4.10.3 *Specifiche tecniche delle strumentazioni da adottare*

- Tipo di livello digitale
- S.q.m. chilometrico con livellazione doppia e stadia $\leq 0,4$ mm
- Ingrandimenti $\geq 32x$
- Intervallo di misura (Invar) 1.8 - 60 metri
- Sensibilità livella sferica $\leq 8'/2$
- Precisione del compensatore $\leq 0,2''$
- Software - Firmware autoverifica
- Memoria per registrazione dati min. 2000 misure

4.10.4 *Caratteristiche delle stadi*

- Tipo di graduazione Codici a barre su nastro invar
- Lunghezza 2 o 3 metri in un solo pezzo
- Tipo di livella Livella sferica
- Numero di unità per ogni livello Minimo 2

4.11 Mire ottiche e Mini-prismi

L'installazione di mire ottiche permette di controllare gli spostamenti nelle tre direzioni dei punti di applicazione e, di conseguenza, le eventuali distorsioni relative ad un determinato allineamento di capisaldi. Tipicamente vengono installati su strutture esistenti e/o da realizzare.

4.11.1 Specifiche tecniche

L'installazione degli strumenti dovrà essere realizzata nella posizione di progetto, con eventuali variazioni, riscontrabili in situ, dovute alla singolarità di alcuni casi.

La mira ottica è costituita da un target catarifrangente montato su una piastra rotante a 360°, predisposta ad essere solidarizzata, tramite opportuno supporto, alla struttura da monitorare mediante appositi chiodi con testa filettata.



4.11.2 *Installazione*

Le procedure da osservare, per l'installazione, sono le seguenti:

- eseguire con il trapano un foro di diametro e profondità adeguata all'installazione dell'apposito chiodo;
- infilare il chiodo nel foro e cementarlo con resine o cemento a presa rapida; aspettare quindi che il cemento faccia presa;
- avvitare lo strumento (target) di misura nell'ancoraggio e stringere fino a fondo corsa;
- misura di zero.

4.11.3 *Misure*

Il dato da misurare è la posizione nello spazio della mira ottica e quindi della struttura a cui esso è collegato e le sue variazioni nel tempo, rispetto alla lettura iniziale.

Le misure effettuate tramite tacheometro elettronico, riferite alla rete di punti fissi preesistente, permetteranno di determinare la posizione nello spazio e le eventuali variazioni del punto nel tempo. La restituzione deve contenere tutte le informazioni utili per identificare la posizione e l'andamento nel tempo del punto considerato. La frequenza delle misure dipenderà dalle lavorazioni in corso e dall'eventuale tipo di fenomeno in atto.

4.12 Caposaldi topografici

L'installazione di capisaldi topografici permette di controllare lo spostamento verticale dei punti di applicazione sia nel terreno che nelle strutture. Il caposaldo è costituito da una borchia metallica collegata ad una barra di acciaio resa solidale al terreno tramite cementazione. La lunghezza della barra dipende dal tipo di terreno e varia tra 30cm e 100cm.

I capisaldi dovranno presentare, ben visibile sulla parte superiore, una borchia metallica con l'indicazione del numero del vertice o caposaldo ed una testa emisferica per la battuta topografica. La borchia dovrà essere collegata tramite bullonatura o elettrosaldatura ad una barra di ferro (minimo ϕ 12) ad aderenza migliorata di idonea lunghezza ($L \geq 500-100\text{cm}$). Esecuzione di un foro nel terreno di pari lunghezza e cementazione con malta del caposaldo in modo da renderlo solidale al terreno. Il tutto dovrà essere protetto da pozzetto in cls., con coperchio carrabile in ghisa.

4.12.1 Misure di convergenza (con mire ottiche)

Consistono nel determinare la variazione di distanza tra due punti sulle pareti (opposte) del cavo.

Le misure di convergenza del cavo si effettuano controllando gli spostamenti assoluti nelle tre dimensioni di alcuni punti noti (targets) posizionati sulle pareti (opposte) del cavo oppure sul fronte di avanzamento (misure di estrusione superficiale).

4.12.2 Specifiche tecniche

I punti di misura sono costituiti da prismi ottici o da mire ottiche diottriche reticolate, traggurate mediante un teodolite o distanziometro o con un rilievo dei movimenti sempre di tipo topografico tridimensionale, realizzato grazie ad una stazione totale servoassistita con sistema di puntamento automatico.

La misura si effettua come una normale triangolazione di precisione. La precisione della misura è pari a 1mm. L'elaborazione dei dati consente di risalire alla deformata del profilo di scavo ed agli spostamenti del fronte, nonché di valutarne l'evoluzione nel tempo.

4.12.3 *Installazione*

La procedura da seguire è la seguente:

- L'operatore deve acquisire i dati x , y , z ed orientamento (azimut) della rete topografica di riferimento attraverso la consegna di capisaldi (almeno tre) di coordinate note da parte del topografo di cantiere.
- Man mano che il fronte di scavo avanza, l'operatore deve riposizionare i capisaldi (almeno tre, costituiti da prismi riflettenti) o in maniera fissa (tramite cementazione con malte a presa rapida delle piastre di supporto dei prismi) o in maniera mobile utilizzando opportuni dispositivi di fissaggio (boccole con innesto a baionetta) che garantiscano comunque la precisione ad ogni riposizionamento.
- Il fissaggio dei capisaldi può avvenire prima o dopo la posa in opera del rivestimento di betoncino spruzzato, secondo le esigenze di cantiere e la necessità di sperimentare l'influenza della procedura di installazione sulle misure stesse.

Qualora il fissaggio avvenga prima della posa in opera del betoncino, il caposaldo deve avere comunque lunghezza sufficiente per essere utilizzato anche dopo la posa in opera di questo: in tale circostanza si deve proteggere la testa del caposaldo durante la posa in opera del betoncino tramite opportune cuffie di plastica.

I capisaldi fissati alla centina devono essere saldati con cordone di saldatura completo con lato uguale a non meno di metà del diametro. Come per i capisaldi fissati in roccia, quelli fissati alla centina devono avere lunghezza sufficiente e devono essere protetti adeguatamente per poter essere utilizzati anche dopo l'installazione dello spritz-beton. In ogni caso i capisaldi devono essere installati in modo tale da non intralciare il movimento delle macchine, da subire il minor numero possibile di interferenze e da permettere la prosecuzione del rilievo con schema reticolare.

Le coordinate dei capisaldi così installati devono essere controllate periodicamente (ogni tre settimane) onde valutarne la stabilità.

I punti di misura sono i "targets tape" (costituiti da superficie riflettente su supporto adesivo, dimensioni cm 3 x 3, 4 x 4, 5 x 5) che devono essere posizionati su opportune piastre di supporto o murate nella struttura con malte cementizie a presa rapida o saldate sui chiodi da centina: l'installazione dei "targets" deve avvenire in modo da ottenere la migliore collimazione possibile rispetto alla stazione di misura.

4.12.4 *Misure*

Le operazioni che si devono osservare per il rilevamento delle coordinate dei punti di misura sono le seguenti:

- predisporre la stazione di misura, fissando il treppiede al terreno ed eseguire la "messa in bolla" del tacheometro;
- collimare i tre capisaldi di coordinate note in modo da conoscere, attraverso il programma dedicato presente all'interno dello strumento, la posizione della stazione di misura nel sistema di riferimento;
- procedere quindi al rilevamento di ogni "target" della sezione di misura;
- registrare e memorizzare i dati sulla memoria dello strumento.

I dati ricavati dalle misure vengono scaricati, in modo diretto, attraverso la memoria dello strumento al PC. Le informazioni ottenute dalle misure vengono in questo modo acquisite su PC ed elaborate con software opportuni.

Si ottengono così le coordinate di ogni "target" nel sistema di riferimento utilizzato ed è possibile verificare l'entità e la direzione degli spostamenti di ogni punto di misura.

I dati saranno poi presentati sia come tabulati sia come grafici e verranno utilizzati per eseguire le necessarie correlazioni alle misure ottenute dall'altra strumentazione in opera sulla sezione di monitoraggio.

4.13 Stazione pluviometrica

In generale le stazioni di misura devono essere collocate in luoghi aperti, su terreno pianeggiante, lontano da edifici, alberature od ostacoli in grado di interferire con le misurazioni, in siti rappresentativi del territorio circostante, evitando, per quanto possibile, installazioni su tetti, terrazzi di edifici e scarpate. Il vento, in particolare, è in grado di alterare anche pesantemente le misure pluviometriche, soprattutto nel caso di precipitazioni nevose. Per tale motivo, nelle installazioni andrebbero evitate posizioni particolarmente esposte al vento.

Inoltre, in dipendenza dalla quota s.l.m. dell'area di lavoro, la strumentazione deve essere dotata di adeguato sistema per il controllo della precipitazione nevosa.

4.13.1 Specifiche tecniche

Al fine di garantire la stabilità della stazione pluviometrica, per tutta la durata della campagna di monitoraggio, lo stesso dovrà essere posizionata su un palo con solida base di appoggio. Qualora non fosse disponibile in sito una base di appoggio che garantisca la stabilità del sistema, dovrà essere realizzato un basamento fisso di dimensioni adeguate.

A questo si dovrà associare un adeguato sistema di trasmissione dei dati in remoto tramite scheda dedicata.

In generale, lo strumento dovrà avere:

- Orologio radio controllato a ricezione DCF77 con data e display
- Visualizzazione di tutti i dati meteo sul display a cristalli liquidi. Su tutti questi è possibile programmare una funzione di allarme, inoltre la stazione memorizza i valori minimi e massimi per tutti i dati meteo unitamente all'indicazione dell'ora e della data corrispondente
- La temperatura interna ed esterna si visualizza in gradi centigradi o Fahrenheit (selezionabile dall'utente)
- Umidità relativa interna ed esterna.
- Pressione atmosferica, espressa, a scelta, o in Hp o in hPa, assoluta o relativa
- Quantità delle piogge in totale, nelle ultime 24 ore o nell'ultima ora.
- Velocità del vento, espressa, a scelta, in km/h, m/s, nodi o in Beaufort.

- Direzione del vento in forma di rosa dei venti con visualizzazione delle variazioni della direzione del vento in forma di numeri o con abbreviazioni (per esempio SE)
- Calcolo e visualizzazione della temperatura equivalente al fattore di sensibilità umana al freddo sia in aria stagnante che in presenza di corrente d'aria (temperatura percepita)
- Punti di rugiada che vengono calcolati separatamente per ciascun nuovo elemento termosensibile e sensibile all'umidità.
- Previsioni meteo con icone (sole, nuvola, pioggia)
- Tendenza barometrica
- Allarme forte temporale
- LED retro illuminato
- Tutti i dati meteo sono visualizzati su un largo display di facile lettura.
- Ingresso Com per connessione al computer
- Il display visualizza contemporaneamente tutti i dati impostati dall'utente.

Si possono cambiare e usare i dati relativi alle misurazioni meteo sul PC.

- | | |
|--|--|
| • Temperatura esterno | da - 25°C a + 60°C |
| • Risoluzione | 0.1°C |
| • Intervallo di misurazione umidità relativa | 1% a 99% |
| • Risoluzione | 1% |
| • Pluviometro | da 0 a 999.9 mm (1h e 24h di precipitazioni); da 0 a 2499.9 mm (precipitazioni totali) |
| • Risoluzione | 0.1 mm |
| • Velocità del vento | da 0 a 180 km/h o da 0 a 50 m/s |
| • Risoluzione | 0.1m/s |
| • Direzione del vento | risoluzione grafica 22.5 gradi, risoluzione numerica, formato lettera. |

Sensore Igro Termico

Il sensore igro termico misura la temperatura e l'umidità esterne. Trasmissione di tutti i dati alla stazione meteo attraverso il sistema radio a 433 MHz o attraverso un cavo di connessione.

Sensore Anemometrico

Il sensore anemometrico misura la velocità e la direzione del vento e trasmette i dati al sensore igro termico e questo alla stazione base.

Sensore Pluviometrico

Il sensore pluviometrico misura la quantità di acqua caduta e trasmette i dati al sensore igro termico e questo alla stazione base. Dovrà garantire la misura delle precipitazioni, trasmissione dei dati in modo automatico, con risoluzione di 0.1mm.

4.13.2 *Installazione*

Secondo tempistiche e posizioni da verificare sul campo.

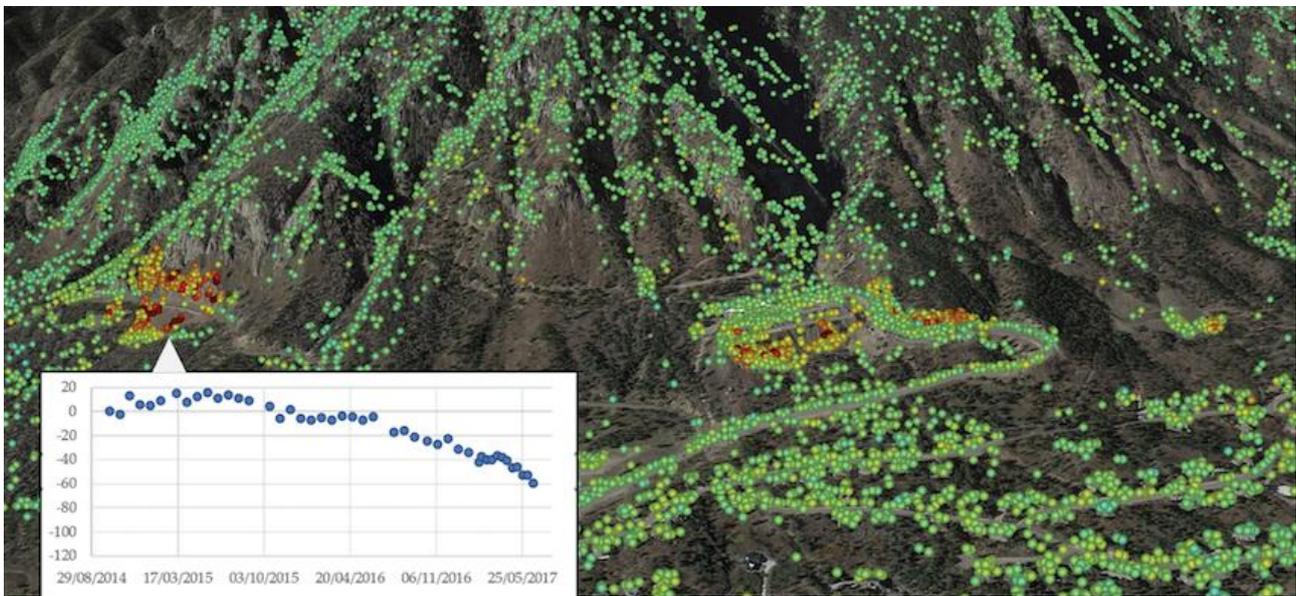
4.13.3 *Misure*

Le misure sono automatiche.

4.14 Interferometria SAR satellitare

4.14.1 Descrizione

L'interferometria SAR satellitare consiste nell'applicazione di tecniche di analisi interferometrica di immagini SAR (Radar ad Apertura Sintetica) acquisite da sensori installati su satelliti. L'interferometria è un metodo di analisi che, attraverso il confronto della fase di segnali elettromagnetici emessi nel campo delle microonde e riflessi dagli oggetti presenti a terra, consente di stimare lo spostamento di determinati punti.

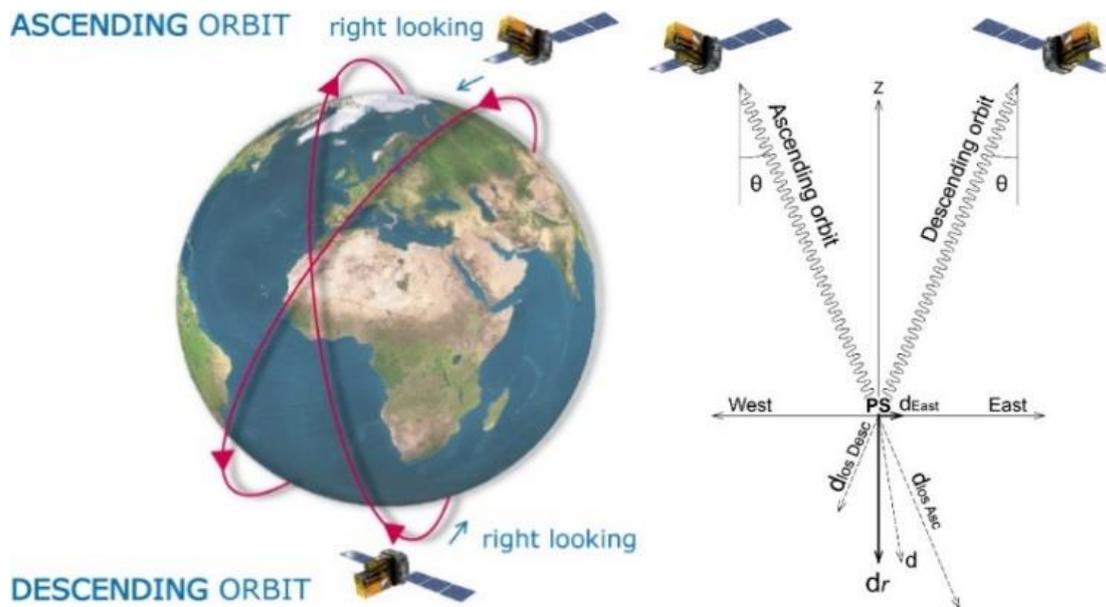


4.14.2 Modalità esecutive

Il monitoraggio con Interferometria SAR Satellitare dovrà essere eseguito utilizzando immagini SAR satellitari acquisite da satelliti operanti nel periodo di monitoraggio utilizzando metodi di analisi del dato basati su dataset di serie temporali di immagini acquisite sulla stessa area e lungo la stessa orbita in tempi diversi - ovvero metodi A-DInSAR (Advanced Differential Interferometric SAR) che consentano la stima delle quote e la rimozione del disturbo atmosferico al fine di un'ottimale stima degli spostamenti.

Salvo diversa indicazione della stazione appaltante la misura degli spostamenti potrà essere attivata solo nel momento in cui saranno disponibili almeno 10 immagini nella stessa geometria orbitale.

Si dovrà inoltre prevedere in tutti i casi una calibrazione ed una cross-validazione dei risultati ottenuti attraverso il confronto su alcuni punti di controllo con dati acquisiti da sistemi di monitoraggio indipendenti.



Il monitoraggio interferometrico SAR Satellitare dovrà produrre i seguenti prodotti di base:

- coordinate accurate di tutti i punti di misura distinti per geometria orbitale (ascendente e discendente);
- stima dell'estensione a terra e loro geometria di tutti i punti di misura;
- valori di coerenza temporale di tutti i punti di misura;
- valori di quota stimati per tutti i punti di misura;
- valori di spostamento complessivo per tutti i punti di misura;
- valori di spostamento medio annuo per tutti i punti di misura;
- serie temporali di spostamento di tutti i punti di misura.
- Vengono riportati di seguito i requisiti minimi richiesti per i singoli prodotti, salvo diversa indicazione della stazione appaltante:
- accuratezza nell'ubicazione dei punti di misura e/o dell'area di misura non inferiore a 10 metri
- valori di coerenza temporale di tutti i punti di misura non inferiore a 0,7.

Precedentemente all'avvio del monitoraggio si dovrà effettuare un'analisi di fattibilità del monitoraggio e dovranno essere identificati, anche attraverso appositi sopralluoghi in sito, una selezione di punti di monitoraggio e la loro corrispondenza con punti a terra. Si dovrà inoltre porre particolare attenzione in caso di riflettori artificiali a distinguere tra punti a terra e punti ubicati su strutture. Per ognuno dei punti di misura selezionati (siano essi già presenti o CR appositamente installati) si dovranno produrre apposite monografie corredate da documentazione fotografica, caratteristiche radiometriche, valori di coerenza temporale.

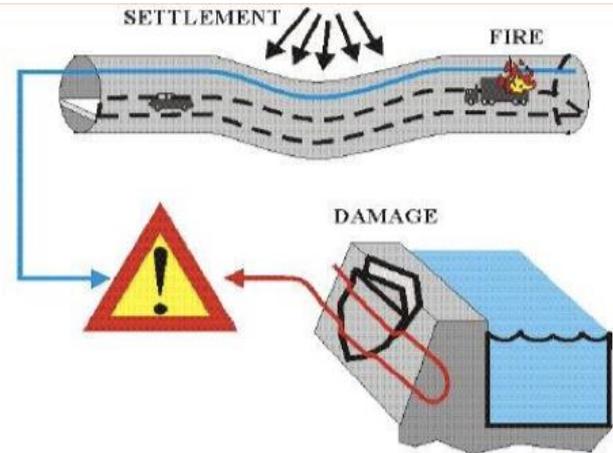
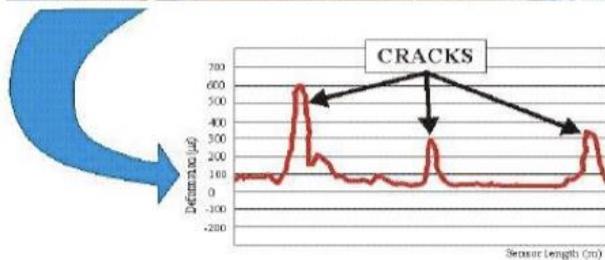
4.15 Fibre ottiche

La posa su una struttura dei sensori distribuiti a fibra ottica di tipo Brillouin permette la valutazione dell'evoluzione deformativa nel tempo dell'intero elemento su cui la fibra viene posata.

Il principio di misura Brillouin consiste in un impulso LASER ad alta potenza che viene iniettato ad un estremo del sensore a fibra ottica e, man mano che si propaga lungo di esso, una piccola frazione di luce viene retro-dispersa con una lunghezza d'onda ("colore") spostata rispetto a quella dell'impulso iniziale, con uno spostamento che è legato alla temperatura e alla deformazione della fibra ottica nel punto in cui avviene detta dispersione.

La tecnologia Brillouin, poiché permette di apprezzare la distribuzione delle deformazioni piuttosto che non di misurarne semplicemente l'entità in pochi punti dispersi, è particolarmente utile per la comprensione dei meccanismi di deformazioni nel loro insieme. Permette inoltre di valutare l'opera nel complesso, senza dover ipotizzare punti critici e avendo una risposta completa.

Basandosi inoltre sulla fibra ottica la sua risposta è indipendente da interferenze di natura elettrica e pressoché istantanea.



4.15.1 Specifiche tecniche

Il cavo di fibra ottica possiede le seguenti caratteristiche tecniche:

- | | |
|-------------------------|-------------|
| • Range di deformazione | ±1.5% |
| • Dimensioni | 8 mm * 4 mm |
| • Peso | 22 kg/Km |
| • Deformazione massima | 1.5% |

4.15.2 Installazione

L'installazione avviene per incollaggio progressivo a parete con l'utilizzo di apposita colla. La fibra sarà coperta da apposito nastro adesivo protettivo.

4.16 Sistemi di acquisizione dati

L'acquisizione dati centralizzati consiste in un sistema hardware/software che consente di acquisire, convertire e memorizzare i valori forniti da più sensori, di natura diversa, distribuiti nell'area oggetto di lavoro.

4.16.1 Misure

Per quanto riguarda i sistemi di lettura e di acquisizione dei dati, si prevede l'utilizzo dei seguenti sistemi:

- unità portatile di lettura sensori;
- unità di acquisizione dati provvisoria;
- sistema di acquisizione dati centralizzato.

Sono a carico dell'affidatario tutti i sistemi di letture della strumentazione prevista, a meno degli strumenti computati, di cui l'affidatario si farà carico dell'installazione, lettura ed elaborazione dei dati.

Al fine di rendere partecipe tutti i vari soggetti che prendono parte alla realizzazione dell'opera sarà implementata la piattaforma web per la distribuzione dei dati.

4.17 Sistema distribuzione dati (SDD)

La necessità di un sistema di monitoraggio, in grado di tenere sotto controllo gli effetti dell'avanzamento dei lavori in un intorno significativo dell'opera, comporta la realizzazione di un sistema complesso, proporzionale alla complessità dell'opera da realizzare e si traduce in grandi moli di dati da archiviare, valutare ed interpretare.

In quest'ottica, un valido supporto alle decisioni è rappresentato dai Sistemi Informativi, ovvero sistemi in grado di gestire ed elaborare grandi quantità di dati e da essi produrre informazione, che possa essere utilizzata a scopo di pianificazione. Nello specifico, risultano particolarmente indicati i Sistemi Informativi Geografici (abbreviati in GIS), che sono speciali sistemi informativi adatti alla manipolazione e visualizzazione di dati spazialmente distribuiti, riferiti ad elementi (territoriali), attività, eventi o valori. L'insieme di questi dati viene tradizionalmente riferito alla superficie terrestre e quindi

ad uno spazio bidimensionale caratterizzato da una coppia di coordinate. Nel caso del monitoraggio di un'opera come quella in oggetto, che si svolge sia in sotterraneo, sia in superficie, ma anche nel tempo, lo spazio che viene coinvolto intorno ad essa è a quattro dimensioni, poiché, oltre alle tre dello spazio cartesiano, risulta necessario considerare anche la dimensione tempo.

Il Sistema Informativo Geografico per il Monitoraggio ha lo scopo di archiviare, rendere consultabili ed elaborabili i dati derivanti dal monitoraggio durante le diverse fasi realizzative dell'Opera, confrontarli fra di loro e con tutti gli altri dati derivanti da ulteriori indagini, dati relativi al territorio e alle opere dell'uomo che in un intorno significativo dall'opera in oggetto possono essere da quest'ultima influenzati, fornendo così un supporto alle decisioni in tempo reale.

Un sistema informativo, per definizione, deve fornire le informazioni richieste in maniera rapida e diffusa e deve allo stesso tempo salvaguardare l'integrità dei dati in esso contenuti. Nel caso in esame, il sistema informativo di supporto al monitoraggio di opere di ingegneria civile proposto sarà consultabile:

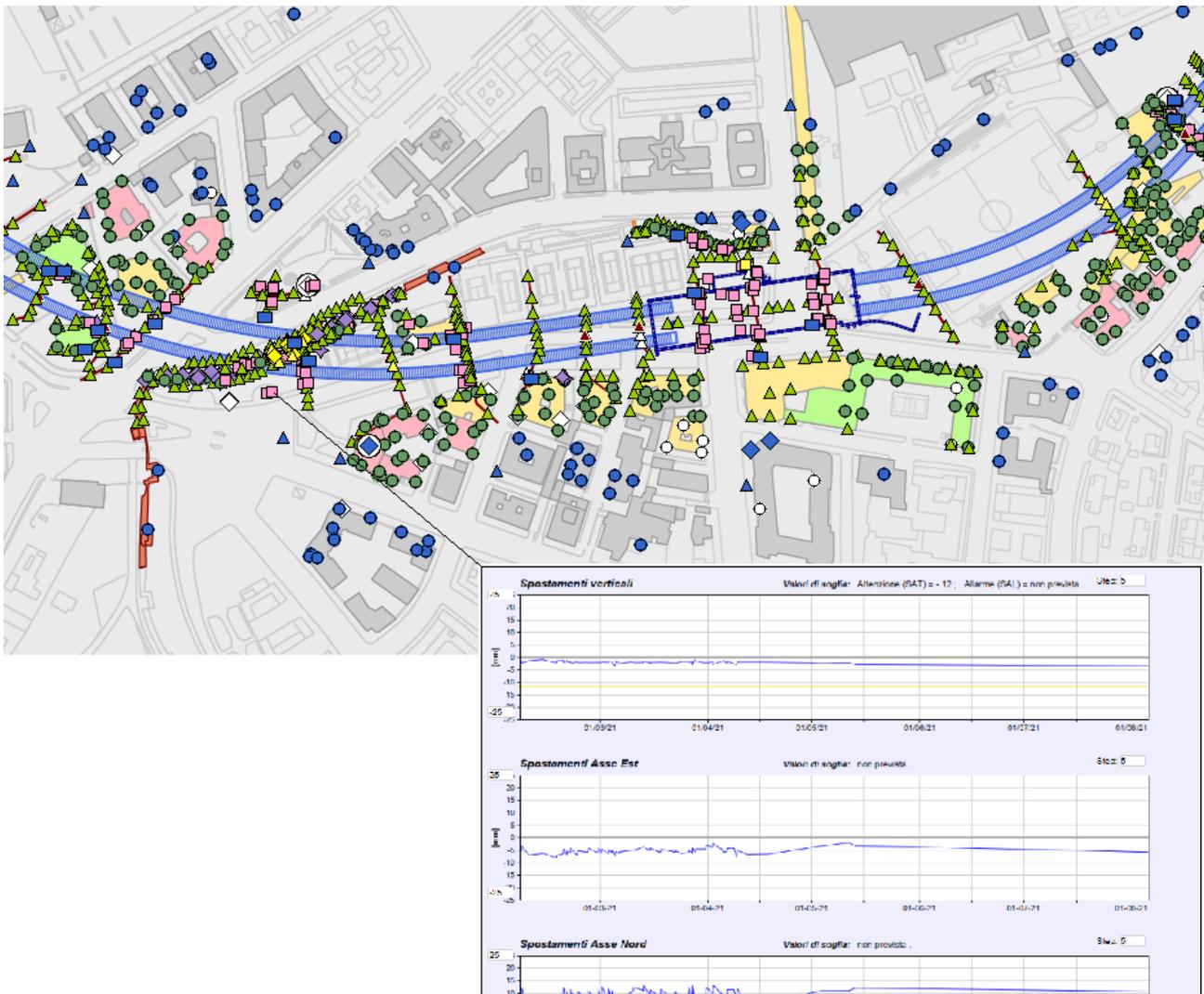
- al momento desiderato e con la frequenza desiderata,
- da tipologie di utenti diversi con modalità diverse; – da luoghi diversi Inoltre, data la differenziazione notevole di utenti che possono accedere al sistema, l'interfaccia GIS-Utente sarà realizzata affinché possa essere il più possibile amichevole.
- La piattaforma per la gestione dei dati di monitoraggio prevista è del tipo web-based o equivalente. Sviluppata con tecnologia tipo PHP o equivalente, dovrà prevedere un sistema di archiviazione dati su database SQL o equivalente, garantendo la totale sicurezza dei dati.

La piattaforma web di gestione dovrà avere le seguenti funzionalità:

- Consentire l'accesso alle informazioni solamente agli utenti autorizzati
- Archiviare e visualizzare tutti i documenti
- Archiviare e visualizzare le tavole di progetto
- Visualizzare gli elaborati relativi al monitoraggio
- Raggruppare gli elaborati secondo una struttura logica
- Consentire il download degli elaborati
- Visualizzare le informazioni all'interno di una planimetria (GIS)

Il sistema di gestione dati garantisce la riservatezza delle informazioni attraverso un accesso protetto da password fornito esclusivamente agli utenti autorizzati. Consente, inoltre, la corretta archiviazione di tutti i documenti, dalle tavole di progetto alle relazioni tecniche con possibilità di visualizzazione online.

Infine, si potrà avere la possibilità d'interagire con la planimetria dell'area, visualizzando i diversi "layers" (isolinee e stradale), la planimetria dell'intervento e la posizione degli strumenti di monitoraggio.



4.17.1 Ufficio Centrale di Elaborazione, gestione e controllo delle attività di monitoraggio e dei Dati (C.E.D.)

Il CED dovrà definire il "flusso" delle informazioni e le "Procedure generali".

L'Ufficio di gestione del monitoraggio, inseriti i dati, eseguirà le seguenti operazioni:

- verranno vagliati e filtrati (Ufficio di monitoraggio, Direzione di progetto) i dati ricevuti, in maniera che tutte le variazioni misurate siano riconducibili univocamente a reali comportamenti del terreno e delle strutture, quindi, qualora non vengano raggiunti valori di soglia, si attiverà la procedura di modulistica standard. I dati relativi saranno consultabili tramite GIS dagli attori dell'ufficio di gestione del monitoraggio (Appaltatore - Direzione di progetto, Direzione di cantiere, Ufficio del monitoraggio, Responsabili - ufficio tecnico, progettisti, Direzione Lavori);
- una volta evidenziato il superamento della soglia di "attenzione", oltre alla pubblicazione automatica tramite GIS agli stessi soggetti del punto precedente, si provvederà ad un incremento della frequenza delle misure ed ad un approfondimento dei dati da parte della Direzione di Progetto e della D.L.

A questo punto, la procedura da seguire dipende da quanto registrato:

- il fenomeno evidenziato risulta puntuale o abituale (valori già sperimentati in corso di costruzione dell'opera senza problemi di rilievo): Si predispongono eventuali controlli e quindi si prosegue con l'attivazione della procedura di reportistica standard.
- il fenomeno evidenziato evolve ulteriormente senza però raggiungere i valori relativi alla soglia d'allarme.: la soglia di "attenzione", quindi, resta fino al raggiungimento dei valori asintotici e si mantengono in atto le procedure di allerta precedentemente descritte;
- il fenomeno evidenziato può aggravarsi, i dati sono prossimi alla soglia di "allarme": Oltre alla pubblicazione tramite GIS dell'allarme ai soggetti definiti in precedenza nello schema di flusso (DL, Impresa, progettista, ecc.), si provvederà ad attivare la procedura di allarme e alla convocazione "dell'unità di crisi" composta da (Appaltatore - Direzione di progetto, eventualmente i progettisti, Direzione di cantiere, responsabili ufficio del monitoraggio e D.L.

- ufficio tecnico). Tale struttura sarà attivata direttamente dal direttore dell'Ufficio di gestione del monitoraggio, sentite la Direzione dei Lavori, la Direzione di Progetto o la Direzione di Cantiere. L'ufficio di gestione del Monitoraggio sarà unico per tutto il lavoro.

5. Attività correlate al monitoraggio

5.1 Sondaggio geognostico a carotaggio continuo

5.1.1 Descrizione

Il sondaggio geognostico permette di analizzare il terreno in profondità per la valutazione delle sue caratteristiche geologiche e geotecniche.

Il corredo della sonda deve essere completo di tutti gli accessori necessari per l'esecuzione del lavoro e norma di specifica e degli utensili per la riparazione dei guasti di ordinaria entità, nonché di argano a fune. Qualsiasi lavorazione prevista e non eseguita per carenza di attrezzature in cantiere, comporterà l'interruzione non remunerata del cantiere fino alla esecuzione di quanto richiesto dalla DL.

Gli utensili utilizzati per la perforazione, dovranno essere disponibili in sito in tutti i casi in cui siano di fatto impiegabili e comunque fare parte della dotazione dell'Impresa, in modo da poter essere rapidamente trasferiti in cantiere qualora necessari. Essi sono rappresentati da:

- Carotieri semplici, con valvola di testa a sfera e calice.
- Diametro nominale \emptyset est = 101 ÷ 146 mm
- Lunghezza utile l = 150 ÷ 300 cm
- Carotiere doppio a corona sottile (T2, T6) con estrattore.
- Diametro nominale \emptyset est = 100 mm
- Carotiere triplo con porta campione interno estraibile ed apribile longitudinalmente (T6S), con estrattore e calice.
- Diametro nominale \emptyset est = 100 mm
- Corone di perforazione in widia e diamantate.
- Aste di perforazione con filettatura tronco-conica.
- Diametro esterno \emptyset est = 60 ÷ 76 mm.

Nella eventualità di procedere alla pulizia del fondo foro, dovrà essere disponibile in cantiere:

- Carotiere semplice, l = 40 ÷ 80 cm
- Attrezzo a fori radiali, da impiegarsi con circolazione di fluido uscente dall'utensile con inclinazione di 45° ÷ 90° rispetto alla verticale.
- Campionate a pareti grosse \emptyset 100 mm, con cestello di ritenuta alla base, per l'asportazione di eventuali ciottoli.

Nel caso di utilizzo di rivestimenti associati alla perforazione ad aste, essi saranno in acciaio, con le seguenti caratteristiche:

- Spessore tubo - $S = 8 \div 10$ mm
- Diametro interno \varnothing int = $107 \div 162$ mm
- Lunghezza spezzoni - $l = 150 \div 200$ cm

L'Impresa potrà impiegare rivestimenti con diverse caratteristiche, in relazione al tipo di attrezzatura di perforazione prescelta.

Dovranno fare parte del corredo permanente della attrezzatura da perforazione tutti gli strumenti portatili necessari (scandaglio a filo graduato, freatimetro da 50 m, penetrometro tascabile, con fondo scala maggiore o uguale a 500 kPa, scissometro tascabile).

5.2 Sondaggio geognostico a distruzione di nucleo

5.2.1 Descrizione

Saranno realizzati per permettere, entro gli stessi, la esecuzione di prove e/o l'installazione di strumenti di vario genere e tipo.

La loro realizzazione dovrà quindi essere sempre eseguita tenendo conto di quanto prescritto per le prove o gli strumenti per cui il foro è connesso.

Potranno essere richiesti anche per la perforazione di pre-fori in appoggio a preparazioni di altre prove in sito, quali prove penetrometriche statiche, dilatometriche e similari, di emungimento.

5.2.2 Modalità esecutive

Per la perforazione si potrà utilizzare:

- Sonda a rotazione completa di pompa per la circolazione dei fanghi e dispositivi per la loro preparazione.
- Altre sonde proposte dall'Impresa, il cui utilizzo sarà preventivamente comunicato alla DL.
- Si potranno utilizzare come utensili di perforazione:
- Carotieri semplici o doppi.
- Triconi o utensili a distribuzione dotati di fori radiali per la fuoriuscita del fluido.

- Altri utensili proposti dall'Impresa il cui utilizzo sarà preventivamente comunicato alla DL.

Il diametro di perforazione sarà di 70 ÷ 150 mm, comunque da definire in funzione delle prove o degli strumenti da eseguire o installare nel foro.

Sono ammesse modalità di perforazione varie, comunque tali da garantire il sostentamento delle pareti del foro, il contenimento del fondo foro e la minimizzazione dei disturbi arrecati al terreno nei tratti di prova.

6. Descrizione delle opere da monitorare

A valle del precedente livello di progettazione (DOCFAP) e a seguito dell'individuazione dell'alternativa progettuale da sviluppare nei successivi livelli di progettazione, il progetto prevede una nuova linea di collegamento dal C.I. di Ottavia fino ad un nuovo centro idrico denominato Pineta Sacchetti creando un by-pass del centro idrico Trionfale esistente.

L'intervento di progetto prevede la realizzazione di una prima condotta adduttrice DN2500 mm in acciaio dal C.I. Ottavia fino ad un manufatto denominato Casale del Marmo; la partenza da Ottavia è prevista direttamente dall'opera di presa in modo da essere funzionale allo schema futuro che assumerà il centro idrico a seguito della sua ristrutturazione.

Dal Manufatto Casale del Marmo in cui è prevista una predisposizione per l'allaccio di altre future condotte verrà posata una condotta in acciaio DN2500 mm fino al parcheggio della stazione ferroviaria Monte Mario, in tale punto è previsto un partitore denominato Monte Mario da cui usciranno due condotte; una con DN2000 che proseguirà verso il nuovo centro idrico e l'altra condotta con DN800 che verrà posata lungo via Cesare Castiglioni per collegarsi alla condotta DN700 esistente che va verso Ponte Galeria. La lunghezza complessiva degli interventi è circa 5200 metri.

Si descrive di seguito il tracciato di progetto costituito principalmente da due tratte:

- C.I. OTTAVIA – MANUFATTO CASALE DEL MARMO: tratto di lunghezza pari a circa 1200 m che dall'opera di presa del C.I. Ottavia all'interno del confine di proprietà del centro idrico arriva al manufatto che verrà realizzato in prossimità del Casale del Marmo, in cui è prevista la posa in opera di una condotta DN2500 mm in acciaio, posata a cielo aperto.

La tubazione attraverserà la recinzione del centro idrico e Via Isidoro Carlini per proseguire con un tratto in campagna parallelo al fosso di Marmo Nuovo.

- MANUFATTO CASALE DEL MARMO – C.I. PINETA SACCHETTI: tratto di lunghezza pari a circa 4000 m che dal manufatto Casale Del Marmo di progetto arriva al nuovo centro idrico Pineta Sacchetti, in tale tratto è prevista la posa in opera di una condotta DN2500 mm, una condotta DN2000 mm ed una condotta DN800 mm tutte in acciaio.

Lo scavo e la posa di tali condotte sono previsti a cielo aperto ed attraverso la tecnologia di scavo in microtunnelling.

La tubazione partirà dal manufatto Casale del Marmo in area di campagna, per proseguire verso Via Giuseppe Barellai ed attraversando la valle Fontana sempre con scavo a cielo aperto; dopodiché si raggiungerà via Sebastiano Vinci dove, in prossimità della stazione Monte Mario, si prevede la realizzazione di un partitore denominato Monte Mario da cui uscirà una tubazione DN800 mm che verrà posata con scavo a cielo aperto lungo via Cesare Castiglioni per collegarsi alla condotta DN700 esistente, l'altra tubazione che uscirà dal partitore di progetto Monte Mario sarà una condotta DN2000 mm posata per un tratto in microtunnelling per una lunghezza pari a circa 180 m per l'attraversamento della linea ferroviaria Roma-Viterbo, con sbocco in una area libera confinata tra Via Trionfale e la ferrovia medesima; successivamente, si proseguirà sempre con tecnologia in microtunnelling lungo la corsia destra di Via Trionfale e poco prima di arrivare al nodo Trionfale esistente si attraverserà la via Trionfale prevedendo un pozzo di uscita intermedio per poi continuare fino all'incrocio con viale dei Monfortani dove è previsto il pozzo di uscita, da questo punto fino al nuovo centro idrico si prevede la posa con scavo a cielo aperto. Si prevede un tubo fodera DN2500 per tutto il tratto con posa in MT.

Dal nuovo centro idrico Pineta Sacchetti sono previste due condotte in uscita; una con DN 1400 mm che si collegherà alle condotte esistenti DN1000 mm e DN1400 mm su via Enrico Pestalozzi, l'altra condotta con DN1600 sarà posata parallelamente alla galleria stradale Giovanni XXIII prevedendo la posa con scavo a cielo aperto fino a collegarsi alla condotta esistente DN2020 che va verso il C.I. Monte Mario.

Le opere di nuova realizzazione previste nel presente intervento sono riassunte di seguito.

Nome	Descrizione
OTT	Opere per il collegamento al C.I. di Ottavia
MCM	Manufatto Casal del Marmo
PMM	Partitore Monte Mario
PZT1 – PZ3	Pozzi Trionfale: manufatti di arrivo/partenza MT
CIPS	Centro Idrico Pineta Sacchetti
PPS	Pozzo Pineta Sacchetti: manufatto di spinta MT
PZP	Pozzo Pestalozzi: manufatto di arrivo MT
MP	Manufatto Pestalozzi: manufatto di connessione condotte DN1000/DN1400
CMM	Manufatto di connessione alla condotta verso Monte Mario

Tabella 10.1: Nomenclatura dei manufatti di nuova realizzazione

Nome	Descrizione
T1	Tratta dal C.I. Ottavia al Manufatto Casal del Marmo – scavo a cielo aperto DN2500 in acciaio
T2	Tratta dal Manufatto Casal del Marmo al il Partitore Monte Mario – scavo a cielo aperto DN2500 in acciaio
T3	Tratta dal Partitore Monte Mario al PZ3 – Microtunnelling DN2000 in acciaio con tubo fodera DN2500 in cls
T4	Tratta dal PZ3 al Centro Idrico Pineta Sacchetti – scavo a cielo aperto DN2000 in acciaio
T5	Tratta di collegamento alle condotte DN1000/ DN1400 su via Pestalozzi - prima parte in MT DN1400 in acciaio con tubo fodera DN1800 in cls, seconda parte scavo a cielo aperto DN1400 in acciaio
T6	Tratta di collegamento al DN2020 verso Monte Mario – scavo a cielo aperto DN1600 in acciaio
T7	Tratta di collegamento con la condotta DN700 verso Torrevicchia – Ponte Galeria – scavo a cielo aperto DN800 in acciaio
T8	Tratta per la rialimentazione della rete di Trionfale – DN300 in acciaio – percorso coincidente con la tratta T4.

Tabella 10.2: Nomenclatura dei macrotratti.

8. Monitoraggio in corso d'opera

Il monitoraggio in corso d'opera riguarda il periodo di realizzazione dell'infrastruttura, dall'apertura dei cantieri fino al completamento e al ripristino dei siti. Questa fase è quella che presenta in generale la maggiore variabilità in quanto legata allo stato di avanzamento dei lavori.

Il piano di monitoraggio individua delle sezioni tipo con i relativi strumenti per diverse parti d'opera da monitorare

Sezioni tipo

- Manufatti
- Pozzi MT
- Microtunnelling
- Edifici - interferenze

8.1 Manufatti

Di seguito le principali opere realizzate con scavo tra paratie per le quali si prevede il controllo con sezioni di monitoraggio tipo manufatti.

- **Opere di Connessione al C.I. di Ottavia:** le nuove opere partono in fregio alla galleria di derivazione esistente dal Peschiera Destro, che oggi costituisce l'ingresso al C.I. di Ottavia. Dalla galleria esistente parte uno scatolare 2,5x2,5 m, che prosegue interrato costeggiando la vasca esistente. All'altezza delle condotte di uscita dalle vasche viene realizzata una predisposizione, per futuri allacci con esse. La predisposizione viene chiusa poi con un opportuno sezionamento. Da tale punto parte poi la condotta DN2500 costituente la partenza dell'adduttrice in progetto. In tale area non è prevista la realizzazione di nuovi manufatti fuori terra.
- **Manufatto Casal del Marmo:** manufatto che costituisce una predisposizione per future alimentazioni. In esso sono presenti i necessari organi di sezionamento per consentire la realizzazione di eventuali futuri allacci senza mettere fuori servizio la linea. Il manufatto è realizzato interamente interrato, con una profondità di circa 6 m dal piano di campagna, fatta eccezione di una soletta di calcestruzzo di 40 cm che sporge dal terreno.
- **Partitore Monte Mario:** opera che costituisce la partenza delle condotte di attraversamento della Ferrovia Roma Viterbo. In esso è presente inoltre la

derivazione verso il DN700 su via di Torrevecchia. Il manufatto è interamente interrato per una profondità di circa 7m, e presenta dimensioni in pianta di circa 14 x 10 m. Nel manufatto è presente inoltre una soglia di sfioro per raccogliere eventuali acque provenienti dal tubo foderato DN2500 che sottopassa la ferrovia. Da tale soglia le acque vengono derivate verso una condotta di scarico DN2000 che collega alla fognatura presente nelle vicinanze del manufatto stesso.

- **Centro Idrico Pineta Sacchetti:** il nuovo C.I. è composto da una serie di manufatti sia interrati che fuori terra, che andranno a riprodurre le funzioni attualmente esercitate dal Nodo Trionfale esistente. L'ingresso al nuovo Centro Idrico avverrà da Nord Est, da via dell'Acquedotto Paolo, con una condotta DN2000 realizzata in affiancamento alla linea esistente dell'acquedotto Paolo. Il DN2000 giunge in un partitore interrato, a cui sarà possibile accedere tramite un edificio fuori terra, all'interno del quale il DN2000 si divide in due condotte in acciaio di diametro analogo, dotate degli opportuni sezionamenti. In tale primo manufatto è riprodotto anche il sistema di pompaggio per l'alimentazione della rete di trionfale, partenza della tratta T8. Le due linee DN2000 in uscita dal partitore entrano in due manufatti fuori terra speculari, composti da una camera di manovra interrata e una vasca dotata di uno stramazzo frontale, di dimensioni in pianta di circa 20x18 m. Ciascun manufatto è interrato per circa 7,5 m, mentre per quanto riguarda l'ingombro fuori terra presenta un'altezza massima di circa 15 m. Tale quota viene raggiunta sopra la parte del manufatto occupata dalla vasca a superficie libera, mentre al di sopra della camera di manovra l'altezza fuori terra si riduce a circa 9 m. Nella camera di manovra viene realizzato il sistema di by-pass della vasca, sempre con condotte DN2000 dotate di opportuni sezionamenti. Da ciascun manufatto escono infatti le condotte che alimentano le linee esistenti: il manufatto in sinistra idraulica alimenta il DN1600 che collega all'adduttrice diretta verso Monte Mario, mentre il manufatto in destra idraulica connette verso le due condotte DN1000/DN1400 dirette verso Nebbia e Carpegna. Le due camere di manovra dei due centri speculari sono unite da una linea DN2000. Ciascuno dei due centri è dotato di una vasca rettangolare di dimensioni 10x5 m, con quota di fondo posta a 120,70 m s.l.m., quota dello stramazzo pari a 125,80 m s.l.m. e quota di massimo invaso pari a 130,50 m s.l.m. La vasca sarà sostanzialmente pensile, dato che la quota del piazzale e

degli ingressi è posta a quota 116,85 m s.l.m. Nel Piazzale sono inoltre presenti cabina di trasformazione BT/MT e gruppo elettrogeno a servizio del sollevamento di rete.

- **Manufatto Pestalozzi:** il manufatto presenta forma rettangolare circa 10x5m, è interamente interrato con profondità di circa 6m. Al suo interno è presente la condotta DN1400 in arrivo dal C.I. Pineta Sacchetti e le condotte DN1000/DN1400 per la connessione alle linee esistenti, con gli opportuni sezionamenti.
- **Manufatto di Connessione DN2020:** Il manufatto viene realizzato intorno alla condotta esistente DN2020 esistente, dopo aver isolato con un by-pass provvisorio la linea esistente. La connessione verrà effettuata con un pezzo speciali in acciaio connesso alla linea esistente con opportuni giunti intermateriale.

8.1.1 Sezione tipo Manufatti

È previsto un sistema di monitoraggio delle paratie che consenta di verificare le previsioni progettuali e che permetta di evidenziare eventuali comportamenti anomali in fase di scavo.

Il monitoraggio delle paratie avverrà in maniera puntuale attraverso la posa in opera di sezioni di monitoraggio strumentate, con inclinometri, barrette estensimetriche annegate nei pali, celle di carico e mire ottiche, che consentiranno di realizzare un confronto tra le previsioni di progetto ed il reale comportamento delle opere in fase di scavo.

Il monitoraggio previsto per l'opera in oggetto dovrà essere costituito dalla seguente strumentazione di controllo:

- mire ottiche solidali con la paratia per il controllo delle deformazioni;
- celle toroidali solidali con i tiranti/puntoni per il controllo dello stato tensionale dei tiranti;
- tubi inclinometri a tergo delle paratie e al di sotto del solettone di fondo;
- barrette estensimetriche nei pali per il controllo delle deformazioni.

Il piano di monitoraggio previsto per la lettura delle mire ottiche, delle barrette estensimetriche, dei tubi inclinometrici può essere sintetizzato come segue:

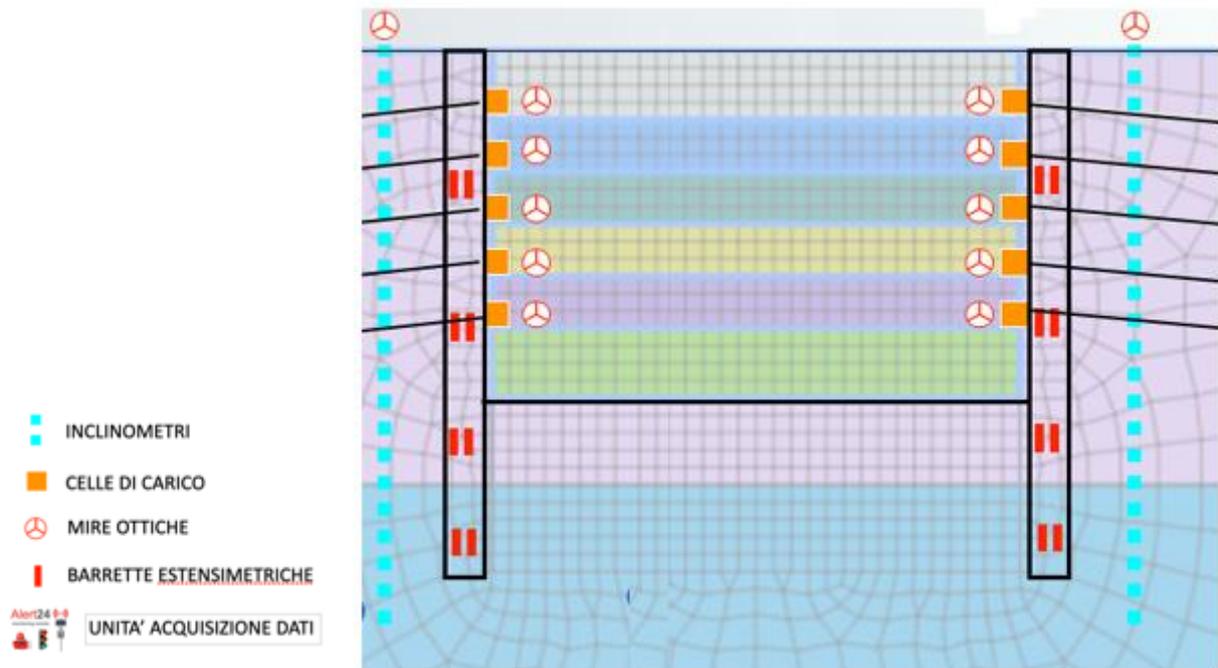
- lettura di zero effettuata al momento dell'installazione (dopo il tempo minimo necessario per il fissaggio dei target);

- n.1 lettura al termine di ogni fase di scavo;
- frequenza di lettura settimanale durante le fasi di scavo e comunque fino a stabilizzazione dei fenomeni deformativi;
- frequenza di lettura quindicinale/mensile in fase di fermo o al raggiungimento del fondo dello scavo in caso di stabilizzazione dei fenomeni deformativi.

Il piano di monitoraggio previsto per la lettura delle celle di carico toroidali sui tiranti può essere sintetizzato come segue:

- taratura e verifica dello strumento durante la fase di installazione con le letture effettuate per ogni incremento di carico previsto (l'installazione della cella potrà inoltre fornire indicazioni sul corretto valore di pre-tiro da utilizzarsi nella fase di messa in opera);
- lettura di zero effettuata subito dopo l'esecuzione del pre-tiro del tirante;
- frequenza di lettura settimanale eseguita durante le fasi di scavo e comunque fino a stabilizzazione dei fenomeni deformativi;
- frequenza di lettura quindicinale/mensile in fase di fermo o al raggiungimento del fondo dello scavo in caso di stabilizzazione dei fenomeni deformativi.

La frequenza delle letture in corso d'opera definite in precedenza potranno subire variazioni in qualsiasi momento a seguito di eventuali anomalie o incrementi del comportamento deformativo delle opere o del raggiungimento dei limiti di attenzione. In ogni caso è prevista l'automatizzazione dei sistemi di misura per la strumentazione che lo permette attraverso l'installazione di unità di acquisizione dati automatica con collegamento diretto al sistema di gestione e visualizzazione dati.



Si prevede il controllo dei manufatti attraverso l'utilizzo di sezioni tipo costituite da:

- 2 inclinometri verticali;
- 10 celle di carico;
- 12 mire ottiche;
- 16 barrette estensimetriche;
- 1 unità di acquisizione

8.2 Pozzi MT

I pozzi di arrivo/partenza del microtunnelling nella configurazione di esercizio hanno la funzione di manufatti di ispezione, in quanto consentiranno all'operatore di scendere alla quota di scorrimento delle condotte per verificarne la funzionalità.

- **Pozzi Trionfale (PZ1 – PZ3) di spinta/ arrivo del Microtunnelling:** tali manufatti costituiscono i pozzi necessari alla realizzazione della tratta in Microtunnelling. Sono realizzati interamente interrati, con profondità comprese tra i 13 e i 15 m circa. In essi verrà lasciato un punto di accesso alla condotta chiuso con passo d'uomo.
 - o **Pozzo Trionfale 1 – manufatto di spinta MT:** il manufatto costituisce, in fase di realizzazione delle opere, il nodo di spinta delle condotte posate in Microtunnelling, sia verso il Partitore Monte Mario che verso il Pozzo Trionfale 2. È costituito da un pozzo circolare di 11,5 m di diametro interno e presenta una profondità complessiva di 13,40 m. Al termine della posa delle condotte verrà realizzato un solaio di copertura del manufatto a 6m di altezza dal calpestio del pozzo, al di sopra del quale l'opera verrà interrata. Per l'accesso dal piano stradale rimarrà un pozzetto in ghisa di forma quadrata 2x2m, nel quale sarà installata una scala alla marinara che arriva fino al fondo dell'opera. La condotta all'interno del pozzo sarà passante e in pressione, attrezzata con passo d'uomo per effettuare l'ingresso per ispezione e manutenzione.
 - o **Pozzo Trionfale 2 – manufatto di spinta/ arrivo MT:** il manufatto costituisce punto di arrivo della tratta di Microtunnelling dal Pozzo Trionfale 1 e la partenza della tratta verso il Pozzo Trionfale 3. Presenta una forma poligonale allungata nel verso delle condotte, di dimensioni interne pari a circa 11,5x6 m, con una profondità di circa 15 m. Anche in questo caso verrà realizzato un solaio di copertura a circa 6m dal piano di calpestio del manufatto, al di sopra del quale l'opera verrà interrata, lasciando per l'accesso un pozzetto di discesa quadrato 2x2m attrezzato con scala alla marinara. Analogamente al Pozzo Trionfale 1, l'opera viene dotata di passo d'uomo per l'accesso alla condotta, che anche in tale nodo è passante e in pressione.

- **Pozzo Trionfale 3 – manufatto di arrivo MT:** il manufatto costituisce punto di arrivo della tratta di Microtunnelling dal Pozzo Trionfale 2 e la partenza della tratta a cielo aperto verso il C.I. Pineta Sacchetti. La forma è circolare, con diametro interno pari a 8m, con una profondità di circa 14 m. Nel manufatto la condotta in pressione risale di circa 6 m, per poter essere posata nella tratta successiva con scavo a cielo aperto. Alla quota di uscita della condotta è realizzato un orizzontamento intermedio, mentre la copertura dell'opera è realizzata poco sotto al piano di campagna. L'accesso un pozzetto di discesa quadrato 2x2m attrezzato con scala alla marinara, che conduce sia all'orizzontamento intermedio che sul fondo. Analogamente agli altri pozzi, l'opera viene dotata di passo d'uomo per l'accesso alla condotta.
- **Pozzo Pineta Sacchetti:** Il pozzo costituisce il manufatto di spinta della prima tratta della tratta T5, presenta forma circolare con diametro interno pari a 9m e profondità di circa 10m.
- **Pozzo Pestalozzi:** il pozzo costituisce il manufatto di arrivo della prima parte della tratta T5, presenta forma circolare con diametro interno pari a 5,5m e profondità di circa 10m.

Di seguito vengono descritte le fasi di costruzione che saranno utilizzate per la costruzione dei pozzi:

1. Costruzione delle opere di sostegno del pozzo (la tecnologia di esecuzione varia in base alle profondità di scavo da raggiungere);
2. Realizzazione Trave di coronamento;
3. Esecuzione del jet-grouting per la realizzazione del tappo di fondo ed eventualmente della coronella laterale qualora necessaria;
4. Scavo all'interno del pozzo;
5. Esecuzione di opere in calcestruzzo per realizzazione della soletta di fondo e dei muri di spinta e di intestazione (nel caso di pozzo di spinta).

Al termine dell'esecuzione delle fasi di scavo e realizzazione dei pozzi, saranno eseguite le perforazioni dei MT con l'installazione delle tubazioni dell'acquedotto (nel caso di pozzi di spinta/arrivo) e della realizzazione della soglia di sfioro (nel caso di pozzi con funzionalità di invaso).

In tal senso, ogni pozzo sarà completato con un piccolo edificio di accesso fuori terra che conduce ai piani inferiori e consente l'accesso da piano campagna. Tutta l'opera e la camera ispezionabile interrata, realizzata con pareti di calcestruzzo gettato in opera di dimensioni adeguate, saranno funzionali ad accogliere una scala in acciaio posta al di sopra delle tubazioni, che consenta di arrivare alla quota delle stesse per le necessarie operazioni di manutenzione ordinaria e straordinaria.

In ingresso e in uscita ai manufatti di spinta/arrivo e collegamento, sono presenti dei giunti intermateriale, che consentono il passaggio dalle tubazioni in c.a. provenienti dai pozzi adiacenti alle tubazioni in acciaio, in modo da rendere possibile l'attraversamento del manufatto e inserire pezzi speciali.

8.2.1 Sezione tipo Pozzi MT

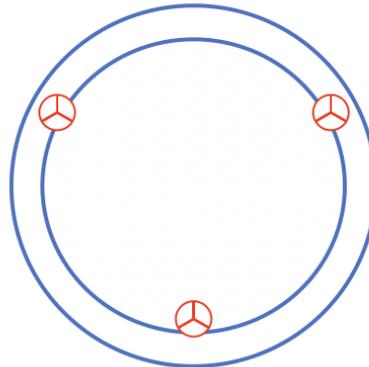
È previsto un sistema di monitoraggio dei pozzi di microtunnelling che consenta di verificare le previsioni progettuali e che permetta di evidenziare eventuali comportamenti anomali in fase di scavo.

Il monitoraggio dello scavo dei pozzi avverrà in maniera puntuale attraverso la posa in opera di sezioni di monitoraggio strumentate. Un tipo di sezione di monitoraggio "leggera" sarà installata ogni 7m di approfondimento per il controllo delle convergenze; un secondo tipo "pesante" sarà installata in posizioni peculiari, indicate per massima spinta o criticità geologiche, per il controllo dello stato tensionale agente sulle centine del rivestimento provvisorio e poi sul rivestimento definitivo. A tale controllo strutturale viene integrato un controllo geotecnico per la valutazione del propagarsi delle deformazioni nell'intorno dello scavo e della variazione dei livelli di falda.

Il monitoraggio previsto per l'opera in oggetto dovrà essere costituito dalle seguenti tipologie di sezione:

- Sezione topografica
- Sezione centina strumentata
- Sezione geotecnica

RIVESTIMENTO PROVVISORIO



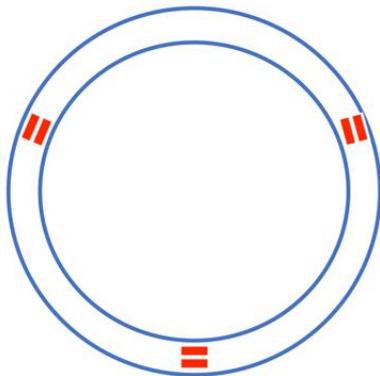
 MIRE OTTICHE

Il controllo topografico delle gallerie naturali attraverso l'utilizzo di:

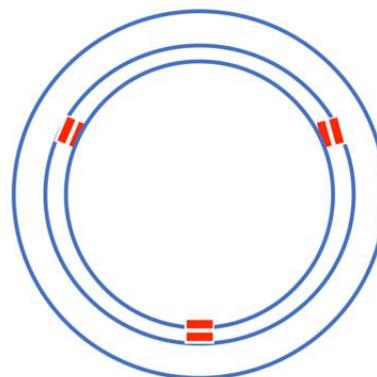
- 3 mire ottiche per ogni sezione

Si prevedono almeno 3 sezioni topografiche per pozzo.

RIVESTIMENTO PROVVISORIO



RIVESTIMENTO DEFINITIVO



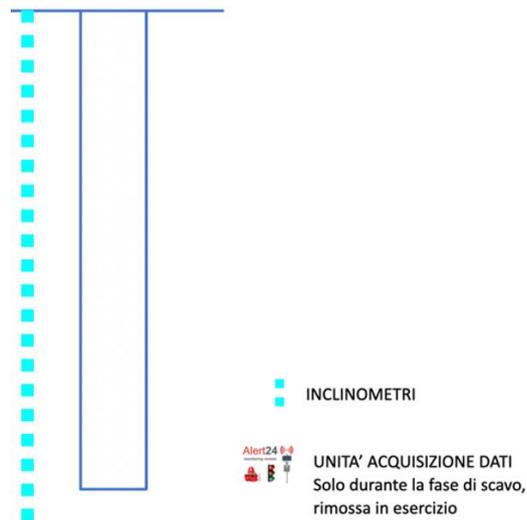
 BARRETTE ESTENSIMETRICHE

La sezione tipo centina strumentata prevede per ogni sezione l'utilizzo di:

- 6 barrette estensimetriche per il rivestimento provvisorio
- 6 barrette estensimetriche per il rivestimento definitivo.

Si prevedono almeno 3 sezioni tipo centina strumentata per pozzo.

Gli strumenti permettono di valutare la deformazione della centina ed eventuali spostamenti relativi, oltre che valutarne lo stato tensionale.



La sezione tipo geotecnica prevede per ogni sezione l'utilizzo di:

- 1 inclinometro

Si prevede almeno 1 sezione geotecnica per pozzo.

Gli strumenti permettono di caratterizzare l'intorno dello scavo, valutandone la deformazione.

La strumentazione sarà collegata ad una centralina di acquisizione automatica.

8.3 Microtunnelling

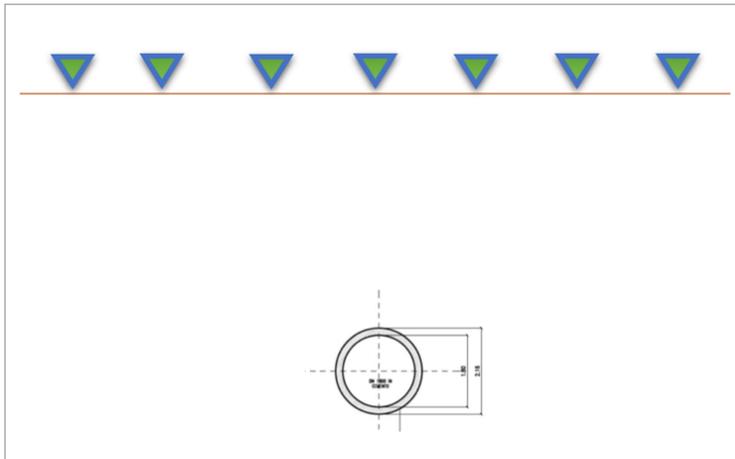
8.3.1 Sezione tipo Microtunnelling

È previsto un sistema di monitoraggio delle gallerie in microtunnelling che consenta di verificare le previsioni progettuali e che permetta di evidenziare eventuali comportamenti anomali in fase di scavo.

Il monitoraggio dello scavo in microtunnelling avverrà in maniera puntuale attraverso la posa in opera di sezioni di monitoraggio strumentate. Un tipo di sezione di monitoraggio "leggera" sarà installata per il controllo delle subsidenze indotte; un secondo tipo "pesante" di tipo geotecnico sarà installata in posizioni peculiari, indicate per bassa copertura, criticità geologiche o presenza di interferenze in superficie, per il controllo delle deformazioni nell'intorno dello scavo e della variazione dei livelli di falda. Il monitoraggio previsto per l'opera in oggetto dovrà essere costituito dalle seguenti tipologie di sezione:

Si prevedono diverse tipologie di sezione:

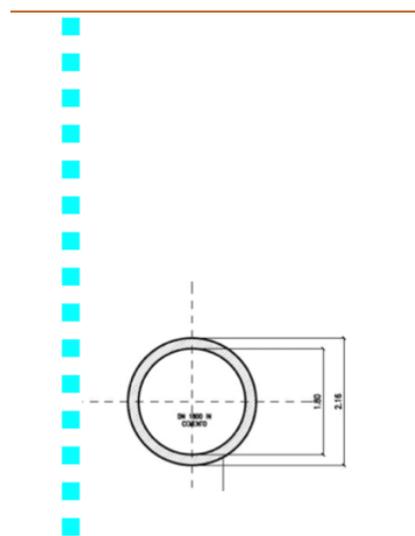
- Sezione topografica
- Sezione geotecnica



 CAPISALDI TOPOGRAFICI

La sezione topografica prevede per ogni sezione l'utilizzo di:

- 7 capisaldi topografici



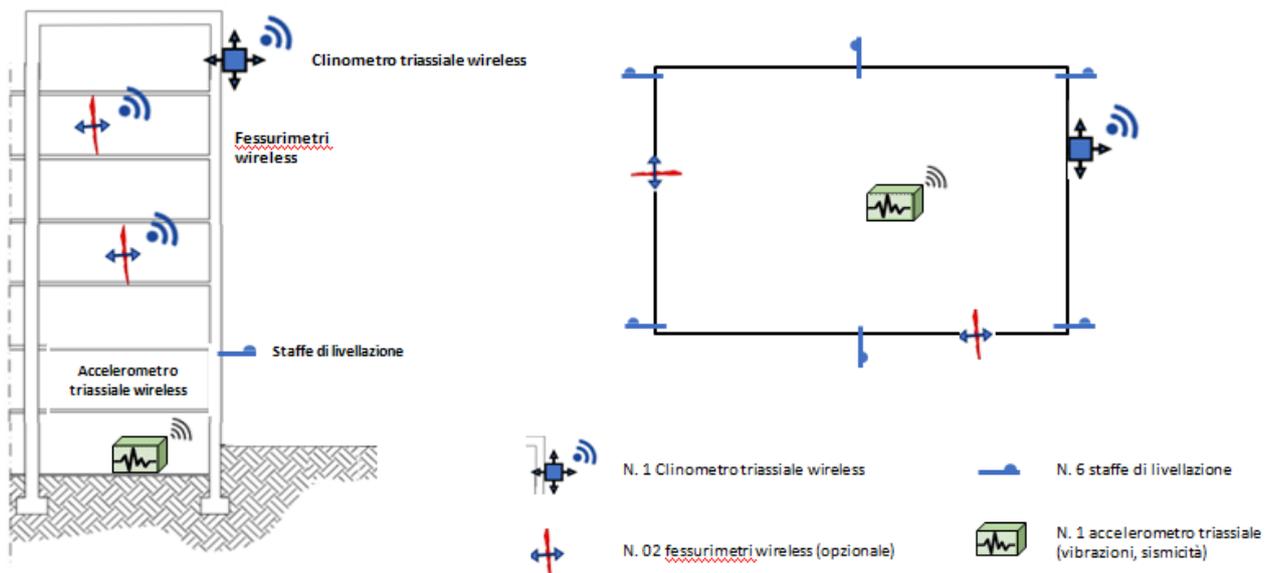
 INCLINOMETRI

La sezione geotecnica prevede per ogni sezione l'utilizzo di:

- 1 inclinometro

8.4 Edifici e interferenze

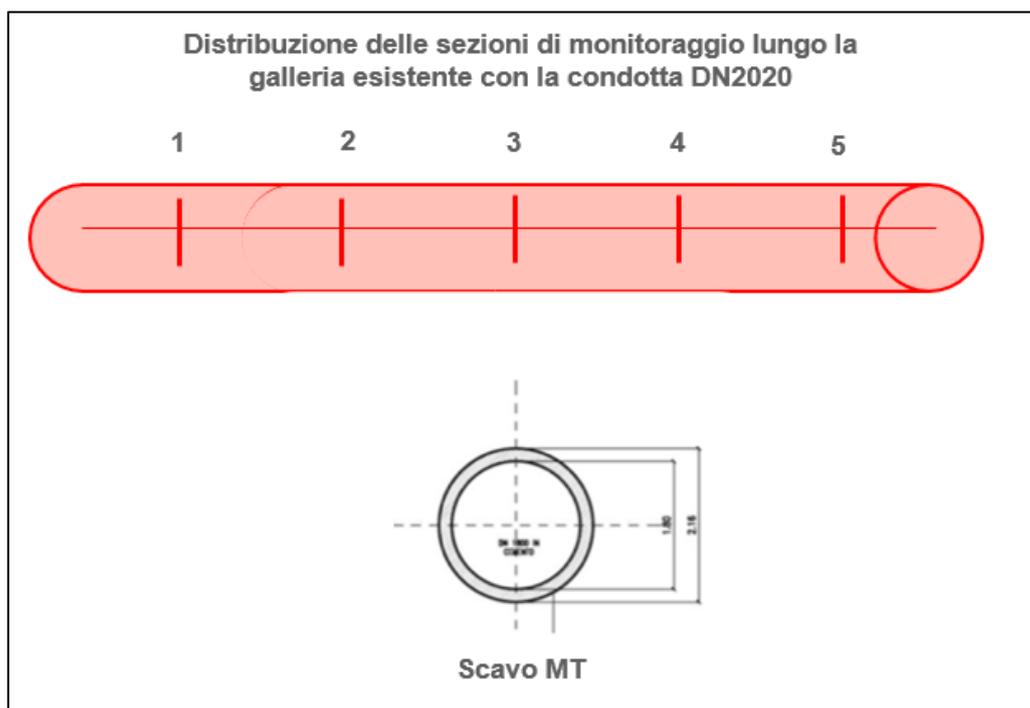
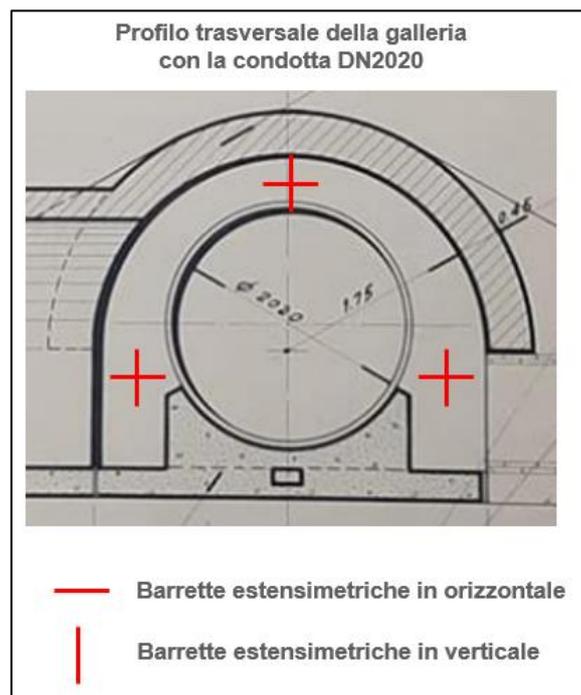
Al fine di controllare gli effetti delle lavorazioni sugli edifici e opere esistenti adiacenti si propone un monitoraggio integrato che utilizza staffe di livellazione/capisaldi, per valutare eventuali cedimenti; clinometri, per valutare la variazione dell'inclinazione delle superfici verticali; accelerometri, per controllare le vibrazioni indotte sulla struttura. Ulteriori strumenti potranno essere installati, come i fessurimetri, per misurare l'eventuale apertura di quadri fessurativi. Il numero degli strumenti sarà legato alla tipologia di edificio e le frequenze di misura saranno legate alle fasi di avanzamento dei lavori.



Da un'analisi delle aree di sviluppo dell'opera gli edifici che potrebbero essere soggetti a monitoraggio sono quelli più prossimi alle lavorazioni di scavo e/o microtunnelling o per loro maggiore criticità. Oltre a edifici si individuano anche opere infrastrutturali come ferrovia e strade principali.

Dal Centro Idrico Trionfale diparte una condotta in tubo BONNA DN2020 alloggiato all'interno di una galleria in muratura. L'opera di progetto prevede il sottoattraversamento di tale interferenza lineare. Pertanto, si prevede di installare all'interno di tale galleria, una rete estensimetrica volta alla valutazione di eventuali danni prodotti dal passaggio del microtunnelling.

Tale rete estensimetrica è composta da n. 5 sezioni di monitoraggio, poste a distanza di 5 m lineari l'una dall'altra, centrate sull'asse dello scavo in MT di progetto da realizzare. Ogni sezione di monitoraggio prevede l'installazione, sulle reni e sulla calotta della galleria esistente, di n. 3 barrette estensimetriche per il controllo delle deformazioni orizzontali e di n. 3 barrette estensimetriche per il controllo delle deformazioni verticali.



9. Monitoraggio in fase di esercizio

Il monitoraggio in fase di esercizio viene effettuato per verificare il mantenimento dello stato di funzionalità dell'infrastrutture, oltre che per prevedere eventuali degradi.

Oltre alla strumentazione installata in corso d'opera da mantenere anche per la fase di esercizio è stata prevista ulteriore strumentazione sia per un controllo a grande scala dell'opera sia per un controllo di dettaglio per le opere che in esercizio non sono direttamente ispezionabili salvo interruzioni temporanee.

9.1 Monitoraggio con Interferometria SAR satellitare

Il monitoraggio satellitare permetterà di controllare il comportamento geologico e geomorfologico del territorio in cui ricade l'opera, permettendo sia un'analisi di area vasta per gradi deformazioni a livello regionale sia di dettaglio per opere di imbocco o subsidenze delle pianure alluvionali attraversate.

Si propone un'analisi storica ed un monitoraggio InSAR, considerando tutte le immagini SAR satellitari di archivio e le immagini SAR che saranno acquisite nell'area di interesse negli anni a venire, al fine di caratterizzare il comportamento deformativo durante le fasi di pre-opera, in corso d'opera e post-operam per le fasi di pre-esercizio ed esercizio. Attraverso le analisi InSAR sarà quindi possibile acquisire informazioni quantitative sugli eventuali spostamenti in corrispondenza dell'area di interesse, derivando i parametri caratteristici dei punti di misura. Più in dettaglio, per ciascun punto di misura sarà possibile ottenere le seguenti informazioni:

- la posizione geografica (ovvero, le coordinate in latitudine, longitudine e quota);
- trend deformativo di spostamento (lungo la linea di vista – LOS) in mm/anno;
- la serie temporale di spostamento (lungo la LOS) in millimetri.

9.2 Monitoraggio sismico

Data la presenza di rischio sismico dell'area di interesse dell'acquedotto si prevede di installare almeno una stazione sismica con accelerometro 3D al centro dell'opera per poter analizzare in maniera autonoma i dati di un eventuale sisma registrato nella zona.



9.3 Monitoraggio pluviometrico

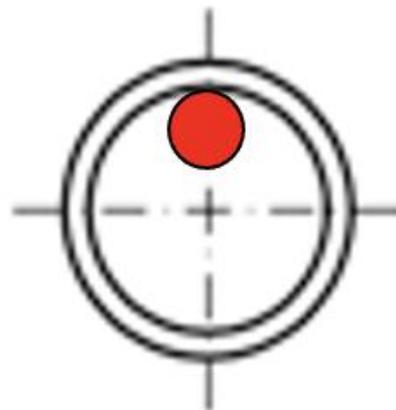
Data la continua evoluzione dei cambiamenti climatici si prevede anche un monitoraggio con stazioni pluviometriche dei parametri meteorologici. Tali parametri oltre ad essere utilizzati in fase di realizzazione dell'opera potranno essere correlati con i parametri geotecnici e strutturali acquisiti per valutarne la possibile correlazione e controllare come l'opera reagisce ai cambiamenti climatici.

Sono previste 5 stazioni meteo da installare lungo il tracciato dell'opera

9.4 Monitoraggio condotte non ispezionabili con fibra ottica

Date le caratteristiche dell'acquedotto, una parte sarà sempre ispezionabile con accesso garantito in galleria con automezzi, mentre una parte sarà ispezionabile solo in caso di interventi con variazioni del flusso idrico.

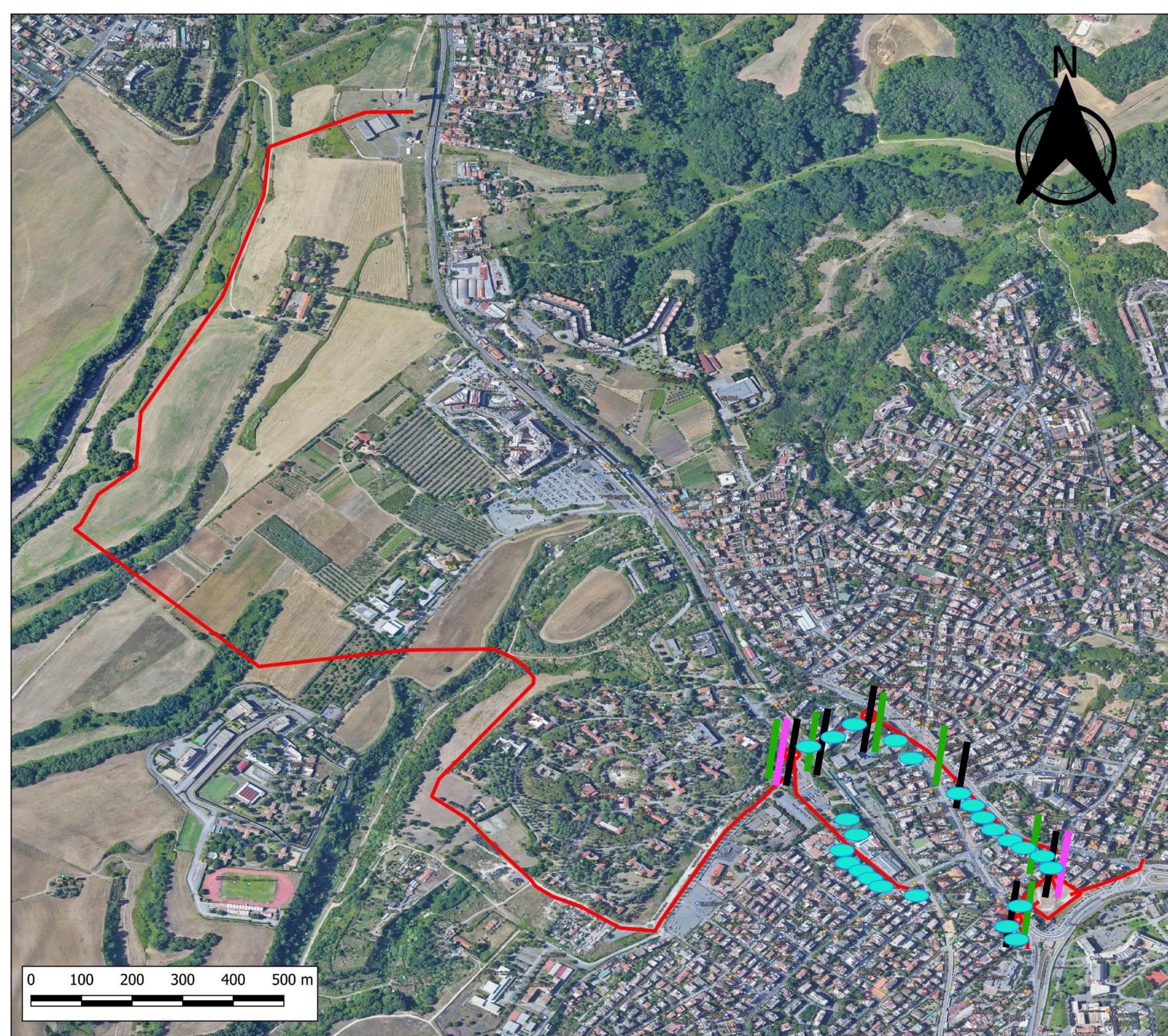
Il monitoraggio dello stato tenso-deformativo delle condotte non accessibili in fase di esercizio sarà valutato in regime statico mediante sensori distribuiti a fibra ottica (Brillouin) per tutta l'estensione del tracciato di progetto, i quali possono essere posati in opera a galleria finita, consentendo di analizzare l'evoluzione deformativa nel tempo dell'intero elemento strutturale sottoposto a controllo. I sensori estensimetrici distribuiti tipo Brillouin si basano su una tecnologia che pur innovativa ha raggiunto un livello di maturità idoneo ad applicazioni industriali finalizzate al monitoraggio strutturale.



Tale tecnologia consente la realizzazione di sistemi di monitoraggio permanenti di assoluta affidabilità, caratterizzati da elevata stabilità a lungo termine, alta risoluzione, con operatività in regime statico. La tecnologia proposta è stata sviluppata con specifico riferimento alla operatività in campo, in reali condizioni di cantiere, adottando soluzioni tecnologiche che consentono la installazione senza interferire con le comuni procedure costruttive o di intervento.

Il principio di misura Brillouin consiste in un impulso LASER ad alta potenza è iniettato ad un estremo del sensore a fibra ottica e, man mano che si propaga lungo di esso, una piccola frazione di luce viene retro-dispersa con una lunghezza d'onda ("colore") spostata rispetto a quella dell'impulso iniziale, con uno spostamento che è legato alla temperatura e alla deformazione della fibra ottica nel punto in cui avviene detta dispersione.

La tecnologia Brillouin, poiché permette di apprezzare la distribuzione delle deformazioni piuttosto che non di misurarne semplicemente l'entità in pochi punti dispersi, è particolarmente utile per la comprensione dei meccanismi di deformazioni nel loro insieme. Il sistema di misura proposto sfrutta l'effetto Brillouin Spontaneo e consente di misurare la distribuzione delle deformazioni con risoluzione di 2 m e accuratezza di $\pm 20 \mu\epsilon$ su una lunghezza massima del sensore di 100 km.



PLANIMETRIA GENERALE

SEZIONI DI MONITORAGGIO

	TIPO MANUFATTI
	TIPO POZZI MT (Geotecnica + 3 Strutturale)
	TIPO MICROTUNNELING
	TIPO EDIFICI/INTERFERENZE

Le sezioni di monitoraggio topografiche saranno ubicate in funzione delle criticità per lo scavo del microtunneling

ALLEGATO 2

CENSIMENTO SEZIONI DI MONITORAGGIO DI TIPO EDIFICI/INTERFERENZE

1. Ferrovia Roma - Viterbo (Stazione Roma Monte Mario)
2. Edificio residenziale, Via Trionfale, 8891
3. Edificio residenziale, Via Trionfale, 8891
4. ITIS Enrico Fermi, Via Trionfale, 8737
5. Edificio residenziale, Via dell'Acquedotto del Peschiera, 162
6. Centro Idrico Trionfale ACEA S.p.a.
7. Edificio residenziale, Via Trionfale, 8509
8. Edificio residenziale, Via Trionfale, 8473
9. Edificio residenziale, Via Trionfale, 8445
10. Edificio residenziale, Via Trionfale, 8365
11. Edificio residenziale, Via Trionfale, 8345
12. Edificio residenziale, Via Trionfale, 8313
13. Edificio residenziale, Via dell'Acquedotto Paolo, 15/A
14. Edificio residenziale, Via Enrico Pestalozzi, 28
15. Edificio residenziale, Via Tommaso Pendola, 4
16. Edificio residenziale, Via Tommaso Pendola, 7
17. Edificio residenziale, Via Torrevecchia, 1A
18. Edificio residenziale, Via Torrevecchia, 14
19. Edificio residenziale, Via Cesare Castiglioni, 7
20. Edificio residenziale, Via Cesare Castiglioni, 13
21. Edificio residenziale, Via Cesare Castiglioni, 19
22. Edificio residenziale, Via Cesare Castiglioni, 21
23. Edificio residenziale, Via Cesare Castiglioni, 30
24. Edificio residenziale, Via Cesare Castiglioni, 34

