

REGIONE CAMPANIA

Acqua Campania S.p.A.

UTILIZZO IDROPOTABILE DELLE ACQUE
DELL'INVASO DI CAMPOLATTARO E
POTENZIAMENTO DELL'ALIMENTAZIONE
POTABILE PER L'AREA BENEVENTANA

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

Stralcio Allegato IV D.L. 31.05.2021 n.77 - L. di conversione 21.07.2021 n.108

Responsabile Unico del Procedimento
Dirigente Ciclo Integrato delle Acque della G.R. della Campania
Ing. Rosario Manzi

Il Concessionario
Acqua Campania S.p.A.
Direttore Generale
Area Tecnica
(Ing. Gianluca Maria SALVIA)

I Progettisti



Coordinatore responsabile della
Integrazione delle Prestazioni
Specialistiche

Revisione	Data	Descrizione	Redatto	Controllato	Approvato
0	Febbraio 2022	Integrazioni richieste dal Comitato Speciale (DPCM 4/11/2021)	P. Fantini	G. Ragazzo	F. Rossi
TITOLO : RELAZIONE TECNICA GALLERIA DI DERIVAZIONE E OPERE CONNESSE - ALLEGATO - MONITORAGGIO			Progettazione: 		
Allegato	ED.02.7.7		Revisione: 0	Scala: -	

INDICE

1. INTRODUZIONE	3
1.1 Inquadramento generale	3
1.2 Scopo del lavoro	4
2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	5
2.1 Normative di riferimento	5
2.2 Documenti di progetto	Errore. Il segnalibro non è definito.
3. IL SISTEMA DI MONITORAGGIO IN GENERALE	6
3.1 I parametri fondamentali da monitorare	6
4. MONITORAGGIO DEI TUNNEL	10
4.1 Introduzione e obiettivi	10
4.1.1 Parametri di controllo	11
4.2 Tunnel realizzati con metodo tradizionale	12
4.2.1 Sezioni strumentate.....	12
4.3 Tunnel realizzati con metodo meccanizzato	14
4.3.1 Sezioni strumentate.....	14
5. MONITORAGGIO DEI POZZI.....	16
5.1.1 Strumentazione di monitoraggio	16
6. MONITORAGGIO DEI PORTALI	18
6.1 Introduzione e obiettivi	18
6.2 Parametri di controllo	18
6.3 Strumentazione di monitoraggio	18
7. MONITORAGGIO GEOLOGICO	20
8. DEFINIZIONE DEI LIVELLI DI CONTROLLO	20
8.1 Mire ottiche per misure di convergenza (MO)	20
8.2 Celle di carico-deformazione (SG, SM, BL)	21
8.3 Celle di carico per ancoraggi (LC).....	21
8.4 Celle di pressione radiali (PC).....	21
8.5 Livello di falda (PZ)	21
8.6 Controlli topografici (CTC, CPL), inclinometri ed estensimetri incrementali (IN, EIN).....	22

8.6.1	Misure prima e durante il passaggio della TBM	22
8.7	Scavo meccanizzato	23
8.7.1	Peso dello smarino	23
8.7.2	Contropressione al fronte di scavo	23
8.7.3	Volume iniettato	23
8.7.4	Pressione di iniezione.....	23
8.8	Edifici	24
8.8.1	Identificazione delle vulnerabilità degli edifici	24
8.8.2	Classificazione del danno	25
8.8.3	Livelli di controllo	27
9.	INSTALLAZIONE DEGLI STRUMENTI E FREQUENZA DELLE MISURAZIONI	29
10.	TRATTAMENTO E INTERPRETAZIONE DELLE MISURAZIONI	31
11.	CONCLUSIONI	31

1. INTRODUZIONE

Questo elaborato è realizzato nell'ambito delle attività di progettazione di fattibilità tecnico economica (con riferimento allo schema di decreto ministeriale recante "definizione dei contenuti della progettazione nei tre livelli progettuali" ai sensi dell'articolo 23, comma 3 del decreto legislativo 18 aprile 2016, n. 50, capo 2), concernenti l'intervento di utilizzo idropotabile delle acque dell'invaso di Campolattaro.

1.1 INQUADRAMENTO GENERALE

Le opere previste in progetto si inquadrano in un intervento generale denominato "Piano di interventi per il miglioramento del Sistema Idrico Regionale - Acquedotto Intercomunale ex CITL - Condotta Carditello – Castel Volturno" che mira alla risoluzione definitiva delle problematiche afferenti all'approvvigionamento idrico dell'area Domitia. Le seguenti opere civili fanno parte dell'intervento di progettazione della galleria di derivazione sopra citato:

- ✓ Galleria di derivazione vera e propria, a partire dall'attacco al tronchetto predisposto in corrispondenza dello scarico di mezzofondo della diga esistente fino al portale di imbocco completo di opere di attacco, galleria artificiale ed opere di sostegno;
- ✓ Opera di collegamento con il tronchetto predisposto in corrispondenza dello scarico di mezzofondo della diga esistente;
- ✓ Discenderia intermedia completa di opere di attacco, galleria artificiale e portale;
- ✓ Camerone di collegamento tra la galleria principale e la discenderia;
- ✓ Pozzo piezometrico in corrispondenza dell'inizio della condotta forzata.

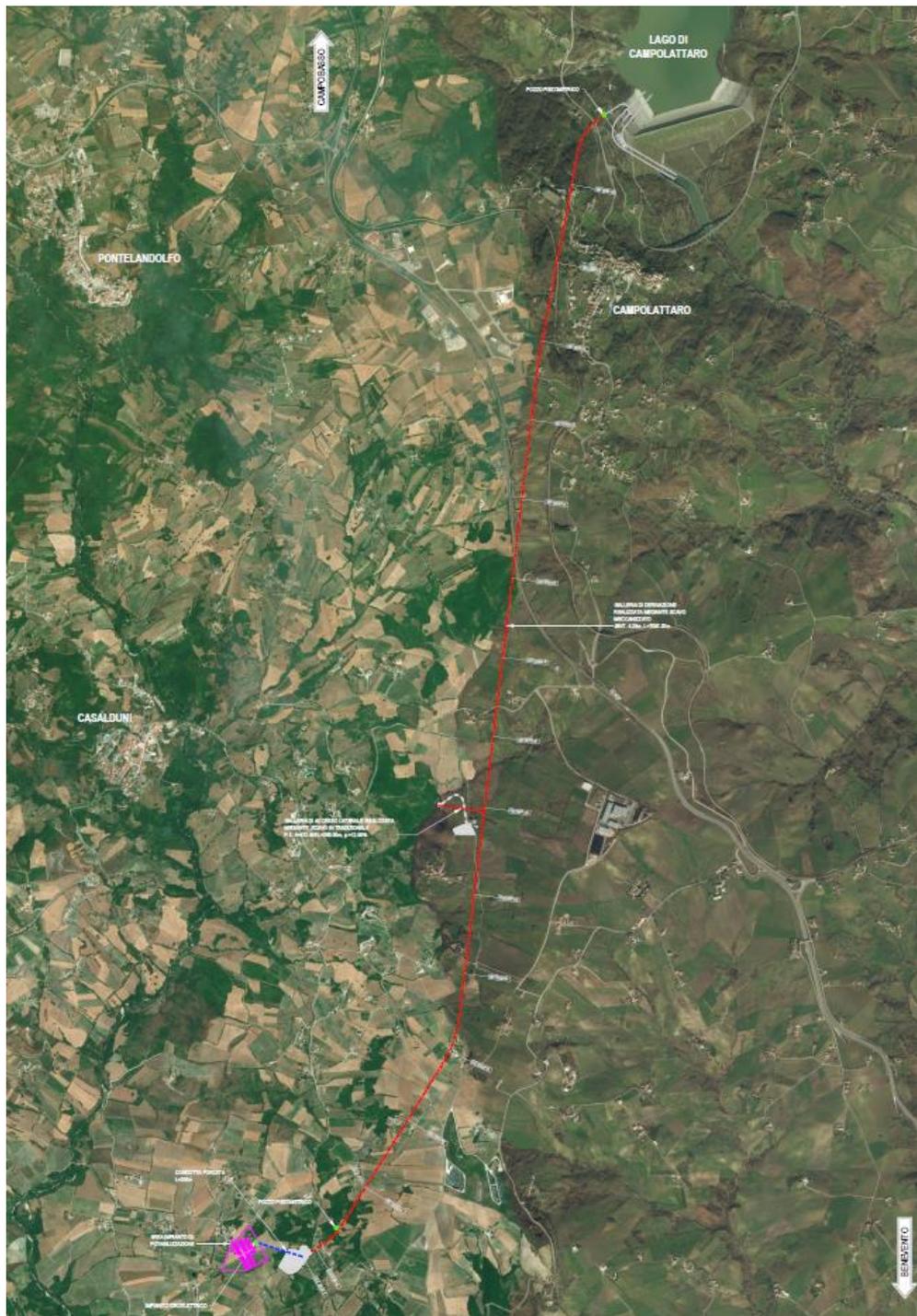


Fig. 1.1 – Planimetria di inquadramento

1.2 SCOPO DEL LAVORO

Nella presente relazione vengono illustrate le strumentazioni di monitoraggio e le relative indicazioni sulla lettura dei dati per le opere civili presenti in questo progetto.

2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 NORMATIVE DI RIFERIMENTO

- [1] Norme tecniche per le costruzioni, Approvate con Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018
- [2] Raccomandazione AFTES GT19R2F1: « Méthodes d'auscultation des ouvrages souterrains »

3. IL SISTEMA DI MONITORAGGIO IN GENERALE

Il monitoraggio ha lo scopo di valutare l'efficacia degli interventi e di verificare la rispondenza dei risultati ottenuti con le ipotesi progettuali. Ha, inoltre, lo scopo di controllare il comportamento nel tempo del complesso opera-terreno.

In altra maniera, si può dire che il monitoraggio è alla base di un approccio progettuale osservazionale, in cui le ipotesi progettuali sono verificate sistematicamente attraverso controlli in sito e le cui contromisure sono predefinite per reagire quando le condizioni incontrate sono diverse dagli scenari attesi.

3.1 I PARAMETRI FONDAMENTALI DA MONITORARE

Il monitoraggio in corso d'opera è finalizzato a valutare gli andamenti dei vari parametri considerati significativi, in relazione alle fasi costruttive, ai materiali scelti ed alle geometrie delle opere, con particolare riguardo alla sicurezza e con il fine di:

- ✓ convalidare e, se necessario, migliorare il modello geologico e geotecnico e la soluzione progettuale;
- ✓ verificare il comportamento del terreno;
- ✓ verificare i cedimenti in superficie e sugli edifici adiacenti;
- ✓ verificare il superamento dei limiti di soglia per attivare immediatamente contromisure.

In generale, i principali parametri da monitorare sono:

- ✓ Stress, deformazioni e spostamenti nelle strutture in costruzione;
- ✓ Stress, deformazione e cedimenti superficiali e nel terreno attorno all'opera in costruzione;
- ✓ Cedimenti, deformazione e rotazione di strutture esistenti.

Più nel dettaglio, i parametri chiave dovrebbero essere classificati in base alla struttura da monitorare. Nel caso di gallerie si individuano:

- ✓ **Struttura in costruzione:**
 - deformazioni e convergenze in galleria;
 - sforzi nel rivestimento;
 - deformazioni e spostamenti dei pali / diaframmi delle strutture C&C;
 - sollecitazioni su puntoni o tiranti temporanei di strutture C&C.
- ✓ **Terreno attorno alla struttura in costruzione:**
 - deformazione del terreno;
 - livello della falda acquifera.
- ✓ **Strutture esistenti:**
 - cedimenti superficiali;
 - cedimenti e rotazioni degli edifici circostanti;
 - cedimenti e rotazioni di altre strutture potenzialmente interferite (strutture interrato o di superficie).

In molti casi, anche se tutti i parametri sono misurati al di sotto dei valori di soglia, l'eventuale presenza di problemi dovrebbe essere segnalata da alcune discrepanze nei valori attesi di alcuni dati.

I parametri chiave da monitorare sono riassunti nella tabella sottostante in funzione della diversa tipologia di opere monitorate.

Tab. 3.1 – Elementi da monitorare e strumentazione necessaria

Elemento monitorato	Parametro chiave	Strumentazioni possibili
Terreno	Deformazione a tergo della struttura di sostegno.	- Inclinatori (IN) - Inclinatori + Estensimetri incrementali (Inclino – Estensimetri) (EIN)
	Cedimenti superficiali	- Livelle topografiche (CPL)
	Spostamenti superficiali	- Controlli topografici 3D (CTC)
	Livelli piezometrici	- Piezometri (PZ)
	Venute d'acqua negli scavi o all'interno di strutture interrato	- Misuratore di portate o flussometri (FM)
	Accelerazioni nel terreno	- Accelerografi (AC)
Strutture realizzate con il metodo <i>Cut & Cover</i> (Stazioni, accessi, pozzi, paratie ...)	Sforzi agenti nei puntoni	- Celle di carico-deformazione annegate nel calcestruzzo o calcestruzzo proiettato (SG – Strain Gauge) o saldati su elementi metallici (SM – Strain Metal)
	Deformazione di diaframmi o paratie di pali	- Inclinatori (IN) - Controlli topografici 3D (CTC) - Mire ottiche per la misurazione delle deformazioni (MO)
	Carico su ancoraggi temporanei	- Celle di carico per ancoraggi (LC – Load Cell)
	Deformazione di strutture temporanee (puntoni) e definitive	- Celle di carico-deformazione annegate nel calcestruzzo o calcestruzzo proiettato (SG – Strain Gauge) o saldati su elementi metallici (SM – Strain Metal)
Tunnel realizzati in meccanizzato	Sforzi agenti nel rivestimento in conci	- Celle di carico-deformazione annegate nel calcestruzzo: (SG) circonferenziali (BL) longitudinali (BEA) no stress
	Pressioni agenti all'interfaccia terreno-conci	- Celle di pressione radiali (CP)
	Deformazione del rivestimento in conci	- Mire ottiche per la misurazione delle convergenze (MO)
	Cedimenti superficiali	- Livelle topografiche (CPL)
Edifici esistenti	Fessurazioni rilevate sugli edifici	- Fessurimetri elettrici o "Tell tale" (FS)
	Cedimenti degli edifici	- Indicatori di cedimenti (IC)
	Rotazione o inclinazione della facciata dell'edificio	- Inclinatori biassiali (CL)
	Deformazione dei piani superiori dell'edificio	- Mire ottiche per controlli topografici 3D (CTC)
	Accelerazioni, vibrazioni e rumori a bassa frequenza	- Accelerografi (AC) e monitor di vibrazioni e rumore (VNM)
Tunnel e caverne	Deformazione del terreno	- Estensimetro multibase da foro (MPBX)

Elemento monitorato	Parametro chiave	Strumentazioni possibili
realizzati in tradizionale	attorno al tunnel	
	Deformazione del sostegno temporaneo	- Mire ottiche per la misurazione delle convergenze (MO)
	Pressioni agenti all'interfaccia terreno-conci	- Celle di pressione (PC)
	Deformazione del sostegno temporaneo di prima fase e rivestimento definitivo	- Celle di carico-deformazione annegate nel calcestruzzo o calcestruzzo proiettato (SG – Strain Gauge) o saldati su elementi metallici (SM – Strain Metal)
	Cedimenti superficiali	- Livelle topografiche (CPL)

Si precisano, inoltre, le seguenti prescrizioni:

- ✓ Il monitoraggio del terreno ha lo scopo di controllare i profili di deformazione del terreno in funzione della profondità, i cedimenti superficiali, gli spostamenti orizzontali e il livello delle acque sotterranee.
- ✓ Dovranno essere previsti *benchmark* o punti di riferimento stabili e accurati per mettere in relazione le misurazioni degli spostamenti.
- ✓ Il monitoraggio della superficie dovrà controllare gli effetti e i potenziali danni su servizi e infrastrutture preesistenti, a condizione che lo stato e la risposta dei servizi siano stati compresi e siano selezionati e installati strumenti adeguati a registrarne le risposte.
- ✓ Tutti gli strumenti di monitoraggio dovranno essere affidabili, durevoli e ridondanti per consentire tutti i controlli incrociati necessari durante l'esecuzione dei lavori e per garantire un corretto controllo dei lavori in caso di danneggiamento dello strumento. Poiché è inevitabile che la strumentazione venga danneggiata durante la costruzione, è necessario prevedere una certa ridondanza di tale strumentazione.
- ✓ Per una migliore interpretazione dei dati piezometrici, le condizioni meteorologiche (precipitazioni, temperatura, umidità, pressione, visibilità, ecc.) devono essere misurate e registrate o acquisite da stazioni meteorologiche approvate dalla direzione dei lavori.
- ✓ I flussometri devono essere installati in tutti i luoghi e in tutte le strutture in cui l'acqua viene pompata.
- ✓ Per monitorare le vibrazioni e il rumore a bassa frequenza indotti dalle opere, accelerografi e dispositivi di monitoraggio delle vibrazioni e del rumore a bassa frequenza devono essere installati nelle stazioni e su ogni fronte di scavo di gallerie TBM e gallerie scavate con mezzi convenzionali o come altrimenti designato.

Il sistema di monitoraggio dovrà essere integrato in un Piano di Monitoraggio del Progetto che dovrà essere attivato:

- ✓ in caso di superamento dei limiti di allerta o allarme, come determinati nei paragrafi successivi;
- ✓ in caso di incidenti, anche se non necessariamente (né anticipatamente né immediatamente) correlati alle misurazioni della strumentazione di monitoraggio, quali: cedimenti improvvisi, sovrascavi, comparsa di crepe alle strutture in

costruzione e/o di terzi, segnalazione di terzi per danni, disturbi, perdite d'acqua in strutture in costruzione e/o di terzi, ecc.

La definizione del piano di monitoraggio deve rispettare i seguenti passaggi:

- ✓ definizione dei parametri chiave da monitorare;
- ✓ definizione delle sezioni di monitoraggio, in termini di strumenti da applicare;
- ✓ localizzazione delle sezioni di monitoraggio lungo il percorso e su strutture sensibili;
- ✓ definizione della frequenza delle letture;
- ✓ definizione dei valori di soglia di allerta e allarme;
- ✓ individuazione delle contromisure da applicare in caso di superamento dei valori limite.

Gli interventi devono essere eseguiti durante tutto il periodo di costruzione fino all'inizio della fase di servizio dell'opera.

Tutte le misurazioni strumentali effettuate nell'ambito del sistema di monitoraggio, nonché i dati rilevanti, che - come descritto nei successivi paragrafi - sono utilizzati nell'elaborazione e valutazione di tali misurazioni, devono essere integrati in un sistema elettronico di gestione.

4. MONITORAGGIO DEI TUNNEL

Questo paragrafo riassume gli obiettivi e gli strumenti da prevedere per il monitoraggio di gallerie e altre opere sotterranee dell'attuale progetto.

4.1 INTRODUZIONE E OBIETTIVI

La strumentazione e il monitoraggio sono una parte essenziale nella costruzione di una galleria.

Tra tutte le opere di genio civile, i tunnel sono forse quelle che meritano maggiormente di essere monitorate: essi hanno, in effetti, la particolarità di essere costruiti a partire da un materiale naturale quasi sempre imperfetto, di cui non si conoscono precisamente le qualità ed i difetti. In questo contesto la verifica del progetto attraverso misurazioni di monitoraggio è, dunque, essenziale.

Per una realizzazione quanto più sicura ed economica di un tunnel è necessario un adattamento continuo del progetto e delle sezioni di scavo in modo che i parametri di input possano essere rivisti quando le previsioni si discostano dai valori misurati (vedere figura seguente).

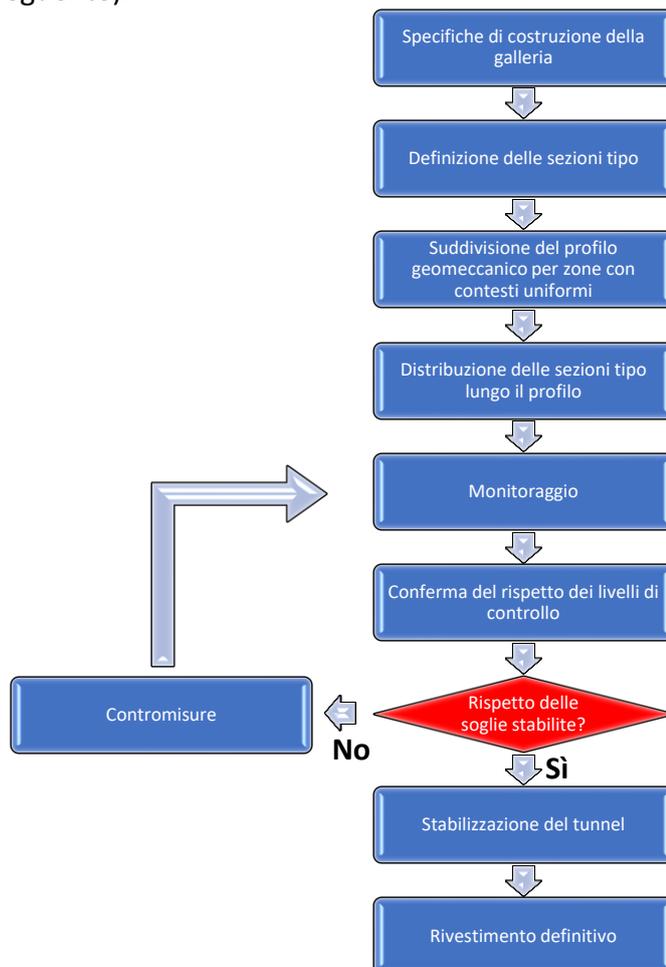


Fig. 4.1 – Processo ingegneristico di controllo durante la costruzione

I dati di un monitoraggio sistematico possono, inoltre, fornire preziose informazioni relative ad un eventuale collasso imminente, rendendo così possibile il controllo della stabilità del tunnel fornendo contromisure adeguate.

Gli obiettivi principali della strumentazione e del monitoraggio sono:

- ✓ ottenere informazioni sulla risposta del comportamento allo scavo;
- ✓ permettere il controllo in fase di costruzione;
- ✓ verificare i parametri e i modelli di progettazione;
- ✓ misurare le performances strutturali del rivestimento durante e dopo la costruzione;
- ✓ monitorare l'impatto sull'ambiente circostante (eventuali cedimenti, modifiche al regime di acque sotterranee, ecc.).

4.1.1 Parametri di controllo

Con particolare riferimento al progetto attuale, la funzione basilica è quella di misurare i movimenti nel terreno e le tensioni che si producono nel rivestimento della galleria, concentrandosi sul controllo dei seguenti parametri:

- ✓ **Deformazione sul contorno della galleria:** misura della deformazione relativa tra i punti interni alla sezione scavata, ovvero delle convergenze. Verranno controllati sia il valore di deformazione che la velocità, installando una serie di stazioni di convergenza lungo la galleria. Nelle zone particolarmente complicate, le stazioni di misurazione saranno intensificate.
- ✓ **Movimenti all'interno dell'ammasso roccioso/terreno:** controllo della deformazione attorno alla zona di scavo come risposta al rilascio tensionale del terreno o decompressione. In questo caso verranno installati degli estensimetri.
- ✓ **Determinazione delle tensioni nel rivestimento in calcestruzzo:** Misura delle pressioni radiali e tangenziali esercitate dal terreno sul supporto. Verranno utilizzate celle di pressione annegate nel calcestruzzo.
- ✓ **Determinazione delle tensioni geostatiche e del rilascio tensionale:** Le tensioni geostatiche, quantificate attraverso il rapporto tensionale $k_0 = (\sigma_H / \sigma_V)$, possono essere misurate in sito, appunto, da convergenze, martinetti, ecc. Un'altra variabile da determinare è il rilascio tensionale del terreno dovuto allo scavo.

4.2 TUNNEL REALIZZATI CON METODO TRADIZIONALE

Questo paragrafo concerne la discenderia nonché le differenti connessioni tra le opere sotterranee, ovvero la connessione tra galleria di derivazione e la discenderia stessa e quella tra la galleria di derivazione e il pozzo di presa esistente. Entrambe queste connessioni, in effetti, saranno necessariamente realizzate grazie a metodi di scavo di tipo tradizionale.

4.2.1 Sezioni strumentate

In generale, le sezioni strumentate possono essere classificate in base ai loro obiettivi.

- ✓ **Sezioni correnti con strumentazione standard:** queste sezioni standard sono applicate specialmente nella discenderia laterale ogni 50 m e servono a valutare le prestazioni generali di scavo, nelle sezioni di tunnel correnti, sulla base di misurazioni di convergenza. In generale, le sezioni standard sono più numerose di quelle strumentate speciali.
- ✓ **Sezioni speciali con strumentazione completa:** in queste sezioni vengono misurate sia le convergenze che le sollecitazioni nel rivestimento. Queste sezioni dovrebbero essere posizionate in zone geotecnicamente uniformi e rappresentative in modo che i parametri monitorati possano essere utilizzati per la calibrazione dei parametri di progetto presunti.
- ✓ **Sezioni per il monitoraggio della singolarità:** devono essere monitorate anche le sezioni con geometrie singolari (portali di gallerie, intersezioni, gallerie di emergenza vicine) o singolarità geologiche (faglie di taglio, zone di transizione, ecc.).

In generale, i parametri fisici monitorati includono: deformazioni, spostamenti relativi, spostamenti assoluti, cambiamenti di curvatura (nel rivestimento della galleria), sollecitazioni nel rivestimento e nell'ammasso roccioso, spinte della roccia o della terra sul rivestimento della galleria, sforzi negli ancoraggi e livelli piezometrici.

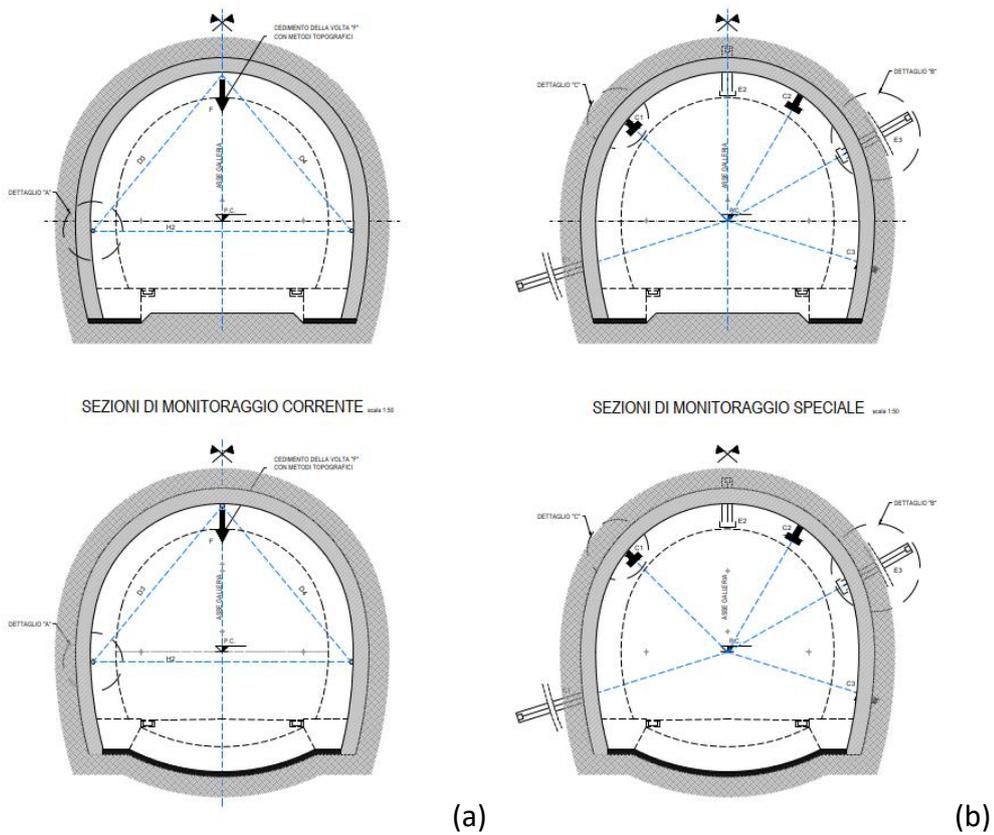


Fig. 4.2 – Sezioni strumentate corrente e speciale della discenderia naturale

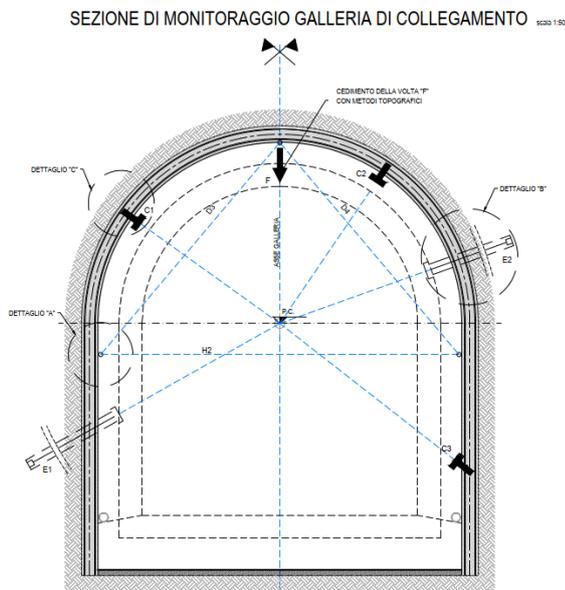


Fig. 4.3 – Sezione strumentata della galleria di collegamento al pozzo esistente

4.3 TUNNEL REALIZZATI CON METODO MECCANIZZATO

Questo paragrafo riguarda il monitoraggio della galleria di derivazione, realizzata con metodo meccanizzato.

4.3.1 Sezioni strumentate

Per la galleria di derivazione sono previste tre sezioni di monitoraggio seguenti:

- ✓ Sezione Ordinaria (SO) ogni 30 m ovvero ogni 20 anelli, composta da:
 - 4 mire ottiche per la convergenza **(CT)** in galleria.
- ✓ Sezione di Monitoraggio tipo A (SM-A) ogni 30 m ovvero ogni 20 anelli, composta da:
 - 4 mire ottiche per la convergenza **(CT)** in galleria;
 - 4 celle di pressione idrauliche **(CP)** installate radialmente dietro i conci in quattro punti opposti del rivestimento;
 - coppie di estensimetri a filo vibrante **(SG)** posizionate circonferenzialmente e coppie di estensimetri longitudinali **(BL)** su ogni concio dell'anello. Due conci saranno inoltre dotati di *no stress strain gauge* **(BEA)** posizionato radialmente.
- ✓ Sezione Speciale di Monitoraggio tipo B (SM-B) per attraversamento di zone a bassa copertura, composta da:
 - 4 mire ottiche per la convergenza **(CT)** in galleria;
 - 4 celle di pressione idrauliche **(CP)** installate radialmente dietro i conci in quattro punti opposti del rivestimento;
 - coppie di estensimetri a filo vibrante **(SG)** posizionate circonferenzialmente e coppie di estensimetri longitudinali **(BL)** su ogni concio dell'anello. Due conci saranno inoltre dotati di *no stress strain gauge* **(BEA)** posizionato radialmente;
 - livelle topografiche **(CPL)**;
 - inclinometri con estensimetri incrementali **(EIN)**; almeno 1 pozzo sarà dotato di stringhe di sensori estensimetrici sul posto con sensore di inclinazione biassiale, uniti insieme con filo di acciaio inossidabile, per consentire il monitoraggio automatico e continuo delle deformazioni del pozzo tridimensionale con letture dell'intervallo di una (1) ora quando il fronte della galleria sarà vicino alla sezione di monitoraggio (50 m davanti alla sezione e 30 m dietro di essa);
 - Un piezometro **(PZ)** a lato del tunnel.

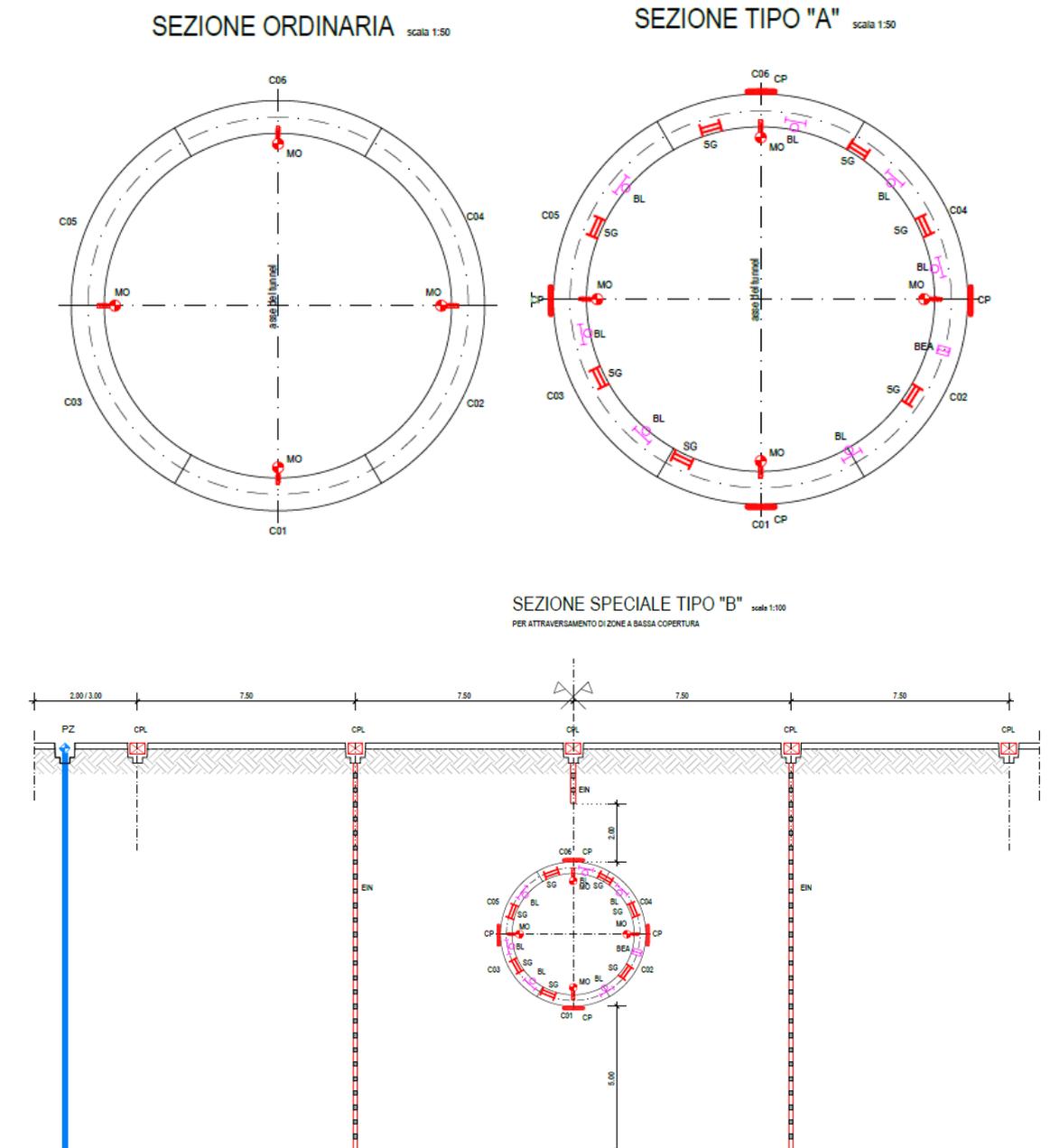


Fig. 4.4 – Sezioni strumentate della galleria di derivazione

La sezione speciale di tipo "B" sarà posta in corrispondenza dell'imbocco della galleria. Tale sezione sarà altresì posizionata in caso di attraversamenti di zone a bassa copertura per le quali un monitoraggio della superficie è richiesto, soprattutto in presenza di servizi e/o edifici esistenti. La lunghezza degli inclinometri con estensimetri incrementali (**EIN**) dovrà raggiungere una profondità superiore all'arco rovescio del tunnel di 5 m.

5. MONITORAGGIO DEI POZZI

Questo paragrafo riguarda il monitoraggio del pozzo piezometrico e del pozzo di collegamento all'opera di presa che, viste le alte profondità raggiunte, sono realizzati con metodo tradizionale.

5.1.1 Strumentazione di monitoraggio

Il sistema di monitoraggio dei pozzi comprende i seguenti strumenti:

- ✓ Inclinatori (**IN**) posizionati nel terreno e pali, di lunghezza uguale o 1 m sotto i pali, in modo da poter monitorare lo sviluppo della deformazione e confrontarlo con i risultati di analisi per le diverse fasi costruttive;
- ✓ Inclinatori con estensimetri incrementali (**EIN**) posti nel terreno, per monitorare l'evoluzione della deformazione e confrontarla con i risultati delle analisi per le diverse fasi costruttive;
- ✓ Mire ottiche (**MO**) in testa all'inclinometro e lungo le paratie per monitorare lo spostamento in 3D e gli spostamenti relativi (convergenza) delle pareti opposte.
- ✓ Piezometri (**PZ**) per il monitoraggio del livello della falda freatica durante lo scavo e nella fase finale di costruzione delle strutture permanenti;
- ✓ Livellamento topografico (**CPL**) per il controllo dei cedimenti verticali superficiali durante lo scavo e nella fase finale;
- ✓ Celle di carico-deformazione annegate nel calcestruzzo o calcestruzzo proiettato (**SG**);
- ✓ Estensimetri (**EPM**) su strutture permanenti orizzontali / verticali per il controllo dello stato tensionale degli elementi strutturali.

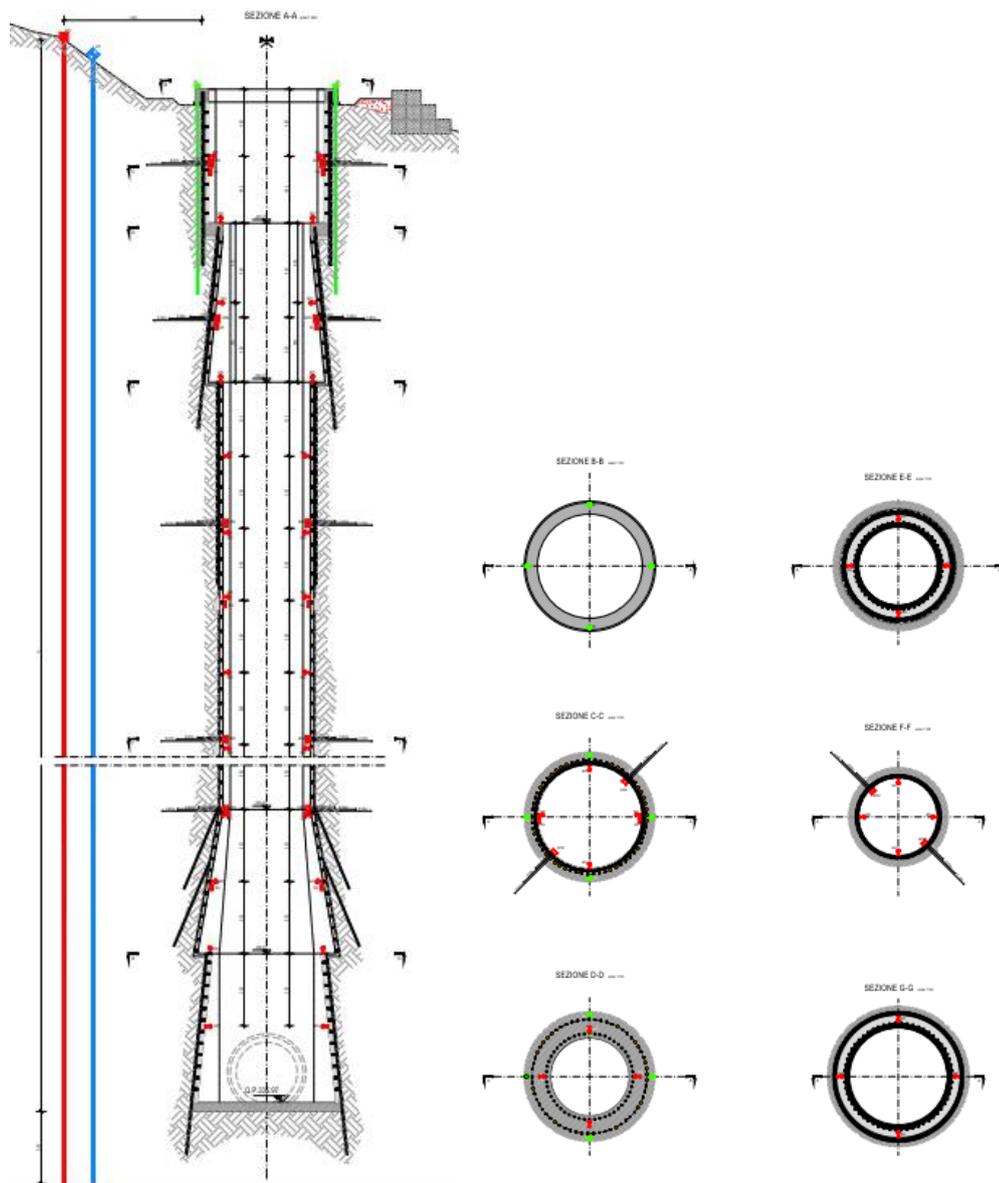


Fig. 5.1 – Esempio di monitoraggio – Pozzo piezometrico

L'ubicazione indicativa di questi strumenti ed i dettagli sono presentati negli elaborati grafici elencati al §2. Durante la costruzione l'ubicazione finale può variare, a seconda della disposizione del cantiere e delle tecniche di costruzione impiegate.

6. MONITORAGGIO DEI PORTALI

Questo paragrafo riassume gli obiettivi e gli strumenti da prevedere per il monitoraggio delle opere di sostegno e i pendii ai portali di imbocco della galleria di derivazione e della discenderia laterale.

6.1 INTRODUZIONE E OBIETTIVI

Il corretto monitoraggio e controllo dei portali delle gallerie è importante per i seguenti obiettivi:

- ✓ confermare e convalidare le ipotesi di progettazione durante e dopo la costruzione,
- ✓ ottenere informazioni sulla risposta del terreno agli scavi,
- ✓ fornire un controllo della costruzione,
- ✓ verificare i comportamenti di progettazione dei diversi elementi installati come bulloni e ancoraggi,
- ✓ monitorare l'impatto sull'ambiente circostante: cedimenti e regimi delle acque sotterranee (se presenti).

6.2 PARAMETRI DI CONTROLLO

L'obiettivo è controllare la deformazione delle pendenze del portale e di altri elementi:

- ✓ **Deformazioni dei pendii:** misura degli spostamenti delle banchine e delle velocità di spostamento. A tal fine devono essere utilizzate tecniche topografiche e inclinometri.
- ✓ **Bulloni, chiodi e ancoraggi:** monitoraggio dello spostamento nonché controllo dell'allungamento e/o del carico agente sull'elemento.
- ✓ **Livelli piezometrici:** nel caso in cui si incontrino livelli di falda oltre i livelli di scavo, dovranno essere installati piezometri.

6.3 STRUMENTAZIONE DI MONITORAGGIO

Il sistema di monitoraggio dei portali comprende i seguenti strumenti:

- ✓ Inclinometri (**IN**) posizionati nel terreno e pali, di lunghezza uguale o 1 m sotto i pali, in modo da poter monitorare lo sviluppo della deformazione e confrontarlo con i risultati di analisi per le diverse fasi costruttive;
- ✓ Inclinometri con estensimetri incrementali (**EIN**) posti nel terreno, per monitorare l'evoluzione della deformazione e confrontarla con i risultati delle analisi per le diverse fasi costruttive;
- ✓ Mire ottiche (**MO**) in testa all'inclinometro e lungo le paratie per monitorare lo spostamento in 3D e gli spostamenti relativi (convergenza) delle pareti opposte.
- ✓ Piezometri (**PZ**) per il monitoraggio del livello della falda freatica durante lo scavo e nella fase finale di costruzione delle strutture permanenti;
- ✓ Livellamento topografico (**CPL**) per il controllo dei cedimenti verticali superficiali durante lo scavo e nella fase finale;

7. MONITORAGGIO GEOLOGICO

Durante l'esecuzione dei lavori, tutte le descrizioni geologiche dei carotaggi e la mappatura geologica ingegneristica di tutti i fronti di scavo (gallerie, incroci, pozzi, aree di accesso, ecc.), le descrizioni geologiche delle perforazioni di indagine in galleria e i rilievi del fronte di scavo devono essere eseguiti allo scopo di validare / aggiornare il modello geologico e opportunamente registrati.

In caso di scavo meccanizzato l'utilizzo di tecniche indirette potrà integrare i sondaggi già eseguiti

8. DEFINIZIONE DEI LIVELLI DI CONTROLLO

Secondo la pratica comune, vengono definiti i due seguenti livelli di controllo:

1) Livello di allerta:

- **Definizione:** 90% del valore di progetto più alto o più basso (a seconda dei casi) ad eccezione dei carichi/tensioni sulle strutture per i quali si assume l'80% del valore di progetto.
- **Possibili contromisure:** aumento della frequenza delle letture sia per strumenti in opere sotterranee, in superficie e su edifici.

2) Livello di allarme:

- **Definizione:** 110% valore di progetto più alto o più basso (a seconda dei casi) ad eccezione dei carichi/tensioni sulle strutture per i quali si assume il 100% del valore di progetto. Il superamento di questo valore richiede un intervento immediato per applicare le contromisure necessarie. Questi sono necessari per portare la situazione sotto i limiti accettabili o per rinforzare la struttura ed aumentarne la resistenza.
- **Possibili contromisure:** verifica integrativa della resistenza strutturale, applicazione delle contromisure quali interventi di miglioramento del terreno o altre misure per evitare qualsiasi rischio per edifici, gallerie, pozzi ed altre strutture coinvolte...).

8.1 MIRE OTTICHE PER MISURE DI CONVERGENZA (MO)

Sono definiti i seguenti valori:

- ✓ **Valore di allerta:** 90% del valore più alto previsto nella progettazione.
 - Possibili contromisure: aumento della frequenza delle letture; verifiche integrative sulla resistenza strutturale dell'opera in costruzione.
- ✓ **Valore di allarme:** 110% del valore di progetto.
 - Possibili contromisure: aumento della frequenza delle letture; analisi e verifiche integrative sulla resistenza strutturale dell'opera in costruzione e applicazione di contromisure. Se necessario, è possibile prevedere miglioramenti del terreno o altre misure per evitare qualsivoglia rischio per edifici e strutture.

8.2 CELLE DI CARICO-DEFORMAZIONE (SG, SM, BL)

I valori di soglia di deformazione sono definiti come segue:

- ✓ **Valore di allerta:** 80% del valore di progetto.
 - Possibili contromisure: aumento della frequenza delle letture; verifiche integrative sulla resistenza strutturale dell'opera in costruzione.
- ✓ **Valore di allarme:** 100% del valore di progetto.
 - Possibili contromisure: aumento della frequenza delle letture; analisi e verifiche integrative sulla resistenza strutturale dell'opera in costruzione e applicazione di contromisure. Se necessario, è possibile prevedere miglioramenti del terreno o altre misure per evitare qualsivoglia rischio per edifici e strutture.

8.3 CELLE DI CARICO PER ANCORAGGI (LC)

I valori soglia di stress sono definiti come segue:

- ✓ **Valore di allerta:** 80% del valore di progetto.
 - Possibili contromisure: aumento della frequenza delle letture; verifiche integrative sulla resistenza strutturale dell'opera in costruzione.
- ✓ **Valore di allarme:** 100% del valore di progetto.
 - Possibili contromisure: aumento della frequenza delle letture; analisi e verifiche integrative sulla resistenza strutturale dell'opera in costruzione e applicazione di contromisure. Se necessario, è possibile prevedere miglioramenti del terreno o altre misure per evitare qualsivoglia rischio per edifici e strutture.

8.4 CELLE DI PRESSIONE RADIALI (PC)

I valori soglia di stress sono definiti come segue:

- ✓ **Valore di allerta:** 90% del valore di progetto.
 - Possibili contromisure: aumento della frequenza delle letture; verifiche integrative sulla resistenza strutturale dell'opera in costruzione.
- ✓ **Valore di allarme:** 110% del valore di progetto.
 - Possibili contromisure: aumento della frequenza delle letture; analisi e verifiche integrative sulla resistenza strutturale dell'opera in costruzione e applicazione di contromisure. Se necessario, è possibile prevedere miglioramenti del terreno o altre misure per evitare qualsivoglia rischio per edifici e strutture.

8.5 LIVELLO DI FALDA (PZ)

I livelli soglia per i piezometri sono definiti come segue:

- ✓ **Valore di allerta:** livello massimo + 0,5 m o minimo -1 m (a seconda dei casi) al di sopra o al di sotto del livello di falda osservato.

- Possibili contromisure: aumento della frequenza delle letture; verifiche integrative della resistenza strutturale della galleria o delle paratie.
- ✓ • **Valore di allarme**: il livello massimo + 1,5 m o minimo -2 m della falda acquifera (a seconda dei casi) sopra o sotto il livello di falda osservato.
 - Possibili contromisure: in caso di misure eccedenti i livelli consentiti devono essere eseguite analisi e verifiche strutturali integrative per verificare la resistenza delle strutture temporanee e/o permanenti e per valutare gli effetti sugli edifici circostanti esistenti. Interrompere lo scavo fino a nuovo avviso (se possibile). Installazione di pompaggio controllato (wellpointing) se necessario.

8.6 CONTROLLI TOPOGRAFICI (CTC, CPL), INCLINOMETRI ED ESTENSIMETRI INCREMENTALI (IN, EIN)

Per la verifica dei cedimenti superficiali si definiscono i valori di soglia in base alle particolari sollecitazioni e deformazioni generate nel terreno durante lo scavo:

- ✓ prima e durante il passaggio della TBM;
- ✓ dopo il passaggio della TBM.

8.6.1 Misure prima e durante il passaggio della TBM

Prima del passaggio della TBM sono possibili solo le misure di cedimenti superficiali. Le seguenti misurazioni sono necessarie in funzione delle diverse distanze dal fronte di scavo (d):

- ✓ $D \geq 2 \cdot D$;
- ✓ $d = D$;
- ✓ $d = 0,5 \cdot D$;
- ✓ $d = 0$ m (al fronte);

dove D = diametro di scavo della galleria.

Come noto in letteratura, l'evoluzione della perdita di volume non è immediata. Per questi motivi è necessario sottolineare che il cedimento al fronte deve essere inferiore a quello finale previsto.

I valori di soglia devono essere definiti in base ai valori di progetto dell'analisi di rischio sugli edifici (Building Risk Analysis) calcolati per lo scenario standard, considerando i parametri riportati nella seguente tabella.

Tab. 8.1 – Livelli di allerta e allarme per il monitoraggio di cedimenti

Soglie	Dove	Spostamento verticale
Allerta	Passaggio al fronte	$0,45 \cdot S_{Max}$ (valore di progetto)
Allarme	Passaggio al fronte	$0,55 \cdot S_{Max}$ (valore di progetto)
Allerta	A tempo infinito (lontano dal fronte)	$0,9 \cdot S_{Max}$ (valore di progetto)
Allarme	A tempo infinito (lontano dal fronte)	$1,1 \cdot S_{Max}$ (valore di progetto)

Se si raggiungono i limiti di allerta, la frequenza di monitoraggio delle letture deve essere aumentata, in particolare per edifici eventualmente interessati. È necessario sottolineare che il cedimento previsto al fronte dovrebbe essere inferiore ai limiti di allerta e allarme.

Qualora i cedimenti raggiungano il limite di allarme, oltre all'incremento del monitoraggio si dovranno considerare, se richieste, altre contromisure per evitare ogni rischio per gli edifici.

8.7 SCAVO MECCANIZZATO

8.7.1 Peso dello smarino

I valori limite di variazione del peso netto (senza acqua e additivi) sono definiti come segue:

- ✓ **Valore di allerta:** $\pm 2\% - 5\%$ del valore atteso;
- ✓ **Valore di allarme:** $\pm 5\% - 10\%$ del valore atteso.

Nel caso specifico, le potenziali contromisure dovrebbero essere la correzione della quantità di materiale estratto (nel caso di EPB-TBM attraverso la variazione della velocità della coclea); nel caso in cui la sovra-estrazione si protragga per più anelli, è necessario perforare la superficie per verificare la presenza di vuoti e riempirli con iniezione di malta a bassa pressione.

Si noti che nel caso in cui, durante lo scavo, il peso dello smarino risulti inferiore rispetto ai controlli precedenti, sarà necessario eseguire alcune letture incrociate della pressione al fronte e della densità nella camera di scavo; se tali valori risulteranno corretti il peso dovrà essere aggiornato (si può verificare un cambio di densità del materiale).

8.7.2 Contropressione al fronte di scavo

I valori di soglia sono definiti come segue:

- ✓ **Valore di allerta:** $\pm 20\% - 10\%$ del valore di progetto;
- ✓ **Valore di allarme:** $\pm 5\% - 10\%$ del valore di progetto.

Le possibili contromisure possono essere costituite dalla regolazione della velocità di rotazione della coclea e/o da iniezioni bentonitiche al fronte.

8.7.3 Volume iniettato

I valori di soglia sono definiti come segue:

- ✓ **Valore di allerta:** $\pm 5\%$ del valore teorico;
- ✓ **Valore di allarme:** $\pm 10\%$ del valore teorico.

In caso di volume d'iniezione minore alle attese, delle iniezioni aggiuntive possono essere ulteriormente eseguite come contromisura. In alternativa, in caso di basse coperture, possono essere realizzate delle perforazioni e delle iniezioni dalla superficie per riempire i vuoti.

8.7.4 Pressione di iniezione

La pressione di iniezione (dalle linee di iniezione alla fine dello scudo) deve essere approssimativamente mantenuta su dei valori di 0,5 bar superiori rispetto alla pressione applicata al fronte.

8.8 EDIFICI

Tutti gli edifici suscettibili di subire un cedimento superiore a 10 mm dovranno essere monitorati.

8.8.1 Identificazione delle vulnerabilità degli edifici

La definizione delle soglie per i danni ad edifici e strutture è molto difficile perché significa dare una definizione di danno accettabile. Prescindono da questa definizione i danni strutturali o funzionali che dovranno necessariamente essere evitati.

Un indice di vulnerabilità intrinseca I_v deve essere, pertanto, definito per ogni edificio, tenendo conto dei seguenti parametri:

- ✓ Tipologia di struttura,
- ✓ Numero di piani fuori terra,
- ✓ Tipologia di fondazione,
- ✓ Presenza di fessure,
- ✓ Rapporto tra lunghezza e larghezza,
- ✓ Contatto con edifici adiacenti,
- ✓ Uso e destinazione,
- ✓ Tipo di terreno di fondazione,
- ✓ Livello piezometrico,
- ✓ Presenza di cavità.

In caso di edifici e strutture ordinarie, si applica un approccio che segue il metodo di Burland e Wroth. Per tutte le altre strutture i metodi saranno adeguati all'opera e al contesto attingendo dalla bibliografia internazionale pertinente.

La definizione dei valori di soglia e dei parametri monitorati viene effettuata nei capitoli successivi, considerando la loro vulnerabilità e classe di importanza. I parametri da valutare sono lo sviluppo delle fessure, la massima deformazione registrata e i cedimenti al di sotto dell'edificio.

8.8.2 Classificazione del danno

Ogni edificio che rientri nella zona di influenza geotecnica sarà classificato in una delle categorie di rischio riassunte nella tabella seguente.

Tab. 8.2 – Valutazione del danno su edifici – Categorie di rischio

Categoria di rischio	Descrizione del grado di danno	Descrizione del danno tipico e probabile	β_{lim} [%]	Deformazione massima a trazione ϵ_{lim} [%]	Apertura delle fessure approssimata [mm]
0	Trascurabile	Fessure sottili	-	Inferiore a 0,05	
1	Molto Leggero	Fessure sottili facilmente trattate durante le normali ristrutturazioni. Possibili fessure sottili nell'edificio. Crepe nella muratura esterna visibili dopo un'attenta ispezione.	0,002	Da 0,05 a 0,075	Da 0,1 a 1
2	Leggero	Crepe e fessure facilmente riempite. Una probabile ristrutturazione estetica potrebbe essere necessaria. Diverse lievi fessure all'interno dell'edificio. Crepe esterne visibili: potrebbe essere necessaria qualche riparazione per assicurare la tenuta agli agenti atmosferici. Porte e finestre potrebbero danneggiarsi leggermente.	0,005	Da 0,0075 a 0,15	Da 1 a 5
3	Moderato	Le crepe possono richiedere interventi di rattoppatura. Le crepe ricorrenti possono essere mascherate da opportuni rivestimenti. Potrebbero essere necessari rattoppi ed eventualmente la sostituzione di ridotte quantità di muratura esterna. Porte e finestre possono danneggiarsi. I servizi di utilità potrebbero essere interrotti. L'impermeabilizzazione spesso viene compromessa.	0,02	Da 0,15 a 0,25	Da 5 a 15 o un numero di fessure superiore a 3
4	Grave	Sono necessarie riparazioni estese che comportano la rimozione e la sostituzione di sezioni di pareti, in particolare su porte e finestre. Finestre e infissi distorti. Il pavimento si inclina notevolmente. I muri si inclinano o si gonfiano notevolmente, qualche perdita di portanza nelle travi. Servizi di utilità interrotti.	0,02	Maggiore di 0,25	Da 15 a 25 (ma funzione anche del numero di fessure)
5	Molto Grave	È necessaria una riparazione importante che implichi una	-	-	Di solito superiore a 25

Categoria di rischio	Descrizione del grado di danno	Descrizione del danno tipico e probabile	β_{lim} [%]	Deformazione massima a trazione ϵ_{lim} [%]	Apertura delle fessure approssimata [mm]
		ricostruzione parziale o completa. Le travi perdono portanza, i muri si inclinano malamente e richiedono puntellamenti. Finestre rotte a causa dalla distorsione. Pericolo di instabilità.			(ma funzione anche del numero di fessure)

NOTA BENE: rispetto alla classificazione di Burland et al (1977) è stata aggiunta una colonna con i valori limite di distorsione

I valori limite sono ridotti in base all'indice di vulnerabilità valutato per ogni edificio come definito dalla classificazione di Burland e Rankine di seguito riportate.

Tabella 1: Valori limite per edifici in muratura (Burland)

Category of damage	Vulnerability index I_v of the building									
	Negligible		Low		Slight		Medium		High	
	$0 < I_v < 20$		$20 < I_v < 40$		$40 < I_v < 60$		$60 < I_v < 80$		$80 < I_v < 100$	
	Reduction factor F_R									
	$F_R = 1.0$		$F_R = 1.25$		$F_R = 1.50$		$F_R = 1.75$		$F_R = 2.0$	
	Control parameter									
	ϵ_{lim} [%]		ϵ_{lim} [%]		ϵ_{lim} [%]		ϵ_{lim} [%]		ϵ_{lim} [%]	
	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.
0	0,000	0,050	0,000	0,040	0,000	0,033	0,000	0,029	0,000	0,025
1	0,050	0,075	0,040	0,060	0,033	0,050	0,029	0,043	0,025	0,038
2	0,075	0,150	0,060	0,120	0,050	0,100	0,043	0,860	0,038	0,075
3	0,150	0,300	0,120	0,240	0,100	0,200	0,860	0,171	0,075	0,150
4 to 5	>0,300		>0,240		>0,200		>0,171		>0,150	

Tabella 2: Valori limite per edifici in cemento armato (Rankine)

Category of damage	Vulnerability index I_v of the building											
	Negligible		Low		Slight		Medium		High			
	$0 < I_v < 20$		$20 < I_v < 40$		$40 < I_v < 60$		$60 < I_v < 80$		$80 < I_v < 100$			
	Reduction factor F_R											
	$F_R = 1.0$		$F_R = 1.25$		$F_R = 1.50$		$F_R = 1.75$		$F_R = 2.0$			
	Control parameter											
	S_{max} [mm]	β_{max}	S_{max} [mm]	β_{max}	S_{max} [mm]	β_{max}	S_{max} [mm]	β_{max}	S_{max} [mm]	β_{max}	S_{max} [mm]	β_{max}
1	<10	<1/500	<8	<1/625	<6,7	<1/750	<5,7	<1/875	<5	<1/1000		
2	10–50	1/500–1/200	8–40	1/625–1/250	6,7–33	1/750–1/300	5,7–28,5	1/875–1/350	5–25	1/1000–1/400		
3	50–75	1/200–1/50	40–60	1/250–1/63	33–50	1/300–1/75	28,5–43	1/350–1/88	25–37,5	1/400–1/100		
4	>75	>1/50	>60	>1/63	>50	>1/75	>43	>1/88	>37,5	>1/100		

8.8.3 Livelli di controllo

In questo caso i valori di soglia sono fissati nel limite superiore e inferiore della categoria 2 corrispondenti ai soli danni superficiali agli edifici standard. Al contrario, la categoria di rischio 1 è considerata come limite per gli edifici vulnerabili o storici.

Le soglie sono conseguentemente definite come segue, rispettivamente per edifici vulnerabili o standard:

- ✓ **Limite di allerta:** il minimo tra il 90% del valore di progetto o il limite inferiore della categoria di rischio specifica (1 o 2)
 - Possibili contromisure: aumento della frequenza delle letture.
- ✓ **Limite di allarme:** il minimo tra il 110% del valore di progetto o il limite superiore della specifica categoria di rischio (1 o 2)
 - Possibili contromisure: aumento della frequenza delle letture; analisi integrative previsionali di regolamento basate sulla reale perdita di volume misurata. Trattamenti del terreno o altre misure per evitare qualsivoglia rischio per edifici e strutture.

Monitoraggio delle fessure

Il piano di monitoraggio prevede l'installazione di fessurimetri in corrispondenza delle fessurazioni più rilevanti nella parte frontale e laterale degli edifici rientranti nelle categorie di rischio 2 e 3 per scenario standard, per verificarne periodicamente l'ampiezza.

Considerando che l'ampiezza ammissibile della fessura per un edificio dipende sia dalla vulnerabilità del manufatto che dall'evoluzione della fessura durante lo scavo le soglie sono riportate nella tabella seguente.

Tab. 8.3 – Livelli di allerta e allarme per apertura delle fessure f

f ₀	Edifici vulnerabili		Edifici standard	
	Allerta	Allarme	Allerta	Allarme
0-2 mm	140%	160%	180%	250%
> 2 mm	120%	130%	150%	200%

NOTA BENE: Valori delle soglie definiti sulla base dell'apertura iniziale delle fessure

Monitoraggio dei cedimenti

I valori limite di deformazione sono dati da Burland (1977) e Boscardin e Cording (1989), che definiscono differenti categorie di rischio in base alle fessure presenti nella struttura. Facendo, dunque, riferimento ai capitoli precedenti, vengono definiti i seguenti valori limite per gli edifici vulnerabili o standard facendo riferimento alla classificazione Rankine, 1988.

Tab. 8.4 – Livelli di allerta e allarme per massima distorsione dell'edificio β_{max}

β_{max}	Edifici vulnerabili		Edifici standard	
	Allerta	Allarme	Allerta	Allarme
Limiti	1/750	1/500	1/500	1/200

Tab. 8.5 – Livelli di allerta e allarme sulla base dei valori di distorsione e cedimenti dell'edificio (Rankine, 1988)

Categoria di rischio	Danno	Descrizione del danno	Parametri chiave	
			β_{max}	S_{max} [mm]
1 (estetico)	Trascurabile, non visibile	Danno superficiale improbabile	< 1/500	< 10
2 (estetico)	Leggero	Danni superficiali possibili senza conseguenze strutturali	1/500 – 1/200 ^(*)	10 – 50
3 (funzionale)	Medio	Danni superficiali probabili e possibili danni a strutture e servizi	1/200 – 1/50	50 – 75
4 (strutturale)	Alto	Probabili danni a strutture e servizi	> 1/50	> 75

(*) Campo di applicazione: le strutture in cemento armato con fondazioni dirette su plinti o con fondazioni indirette su pali senza effetto di gruppo

9. INSTALLAZIONE DEGLI STRUMENTI E FREQUENZA DELLE MISURAZIONI

Per tutti gli strumenti la lettura “zero” deve essere eseguita immediatamente dopo l’installazione mentre le altre letture devono essere necessariamente eseguite in ogni caso in cui le condizioni di funzionamento dello strumento sono modificate.

Il momento dell’installazione di ogni strumento è riportato nella tabella seguente.

Tab. 9.1 – Momento di installazione degli strumenti di monitoraggio

STRUMENTI	MOMENTO DI INSTALLAZIONE
Inclinometri con estensimetri incrementali (EIN)	Prima dello scavo
Inclinometri (IN)	Durante l’esecuzione dei pali/diaframmi (paratie di pali/micropali o diaframmi) o immediatamente dopo l’esecuzione dei pali (strumentazione nel terreno)
Celle di carico-deformazione annegate nel calcestruzzo o calcestruzzo proiettato (SG – Strain Gauge) o saldati su elementi metallici (SM – Strain Metal) Celle di carico-deformazione circonferenziali (BL) , longitudinali (BEA) no stress (SM, BL, BEA)	Durante l’esecuzione degli elementi strutturali e l’installazione dei conci (scavo meccanizzato)
Mire ottiche per la misurazione delle convergenze (MO)	Durante l’avanzamento del fronte di scavo sia in caso di tunnel in meccanizzato che in tradizionale
Celle di pressione radiali (CP)	Durante la costruzione dei tunnel in tradizionale e della fabbricazione dei conci per un tunnel in meccanizzato
Livelle topografiche (CPL) e controlli topografici 3D (CTC)	Prima del passaggio della TBM e, ad ogni modo, prima dell’esecuzione di misure di consolidamento. Nel caso di strutture C&C prima (se possibile) o dopo l’esecuzione di paratie di pali/diaframmi e lavori di consolidamento.
Fessurimetri elettrici o “Tell tale” (FS) , Indicatori di cedimenti (IC) , Inclinometri biassiali (CL)	Prima del passaggio della TBM e, ad ogni modo, prima dell’esecuzione di misure di consolidamento. Nel caso di strutture C&C prima (se possibile) o dopo l’esecuzione di paratie di pali/diaframmi e lavori di consolidamento.
Piezometri (PZ)	Prima dello scavo di un tunnel (indipendentemente dal metodo) e in caso di strutture C&C prima dell’esecuzione di paratie di pali/diaframmi

Per quanto riguarda gli strumenti per il monitoraggio degli edifici, del terreno, o di qualsiasi altro elemento di interesse, associati allo scavo della galleria, l’installazione dovrà essere eseguita con sufficiente anticipo, ad una distanza di almeno 50 m prima del passaggio della TBM o dello scavo della galleria/caverna.

La normale frequenza delle letture per il monitoraggio di gallerie, cedimenti superficiali, cedimenti edilizi e deformazioni nella zona di influenza dello scavo TBM e delle gallerie/caverne in tradizionale è presentata nella tabella seguente.

Tab. 9.2 – Frequenze di lettura degli strumenti (Tunnel)

FASE ESECUTIVA		FREQUENZA
Durante l'esecuzione di misure di trattamento del terreno		1 lettura/giorno
Dopo il completamento di misure di trattamento del terreno e fino alla stabilizzazione delle misurazioni		1 lettura/giorno
Distanza (d) tra gli strumenti e il fronte di scavo [m]		
Prima	Dopo	
d > 50	-	2 letture iniziali
10 < d < 50	-	1 lettura/giorno
d < 10	-	2 letture/giorno
-	d < 10	2 letture/giorno
-	10 < d < 50	1 lettura/2 giorni
-	d > 50	1 lettura/settimana fino a stabilizzazione delle misurazioni

Nella tabella seguente viene presentata la normale frequenza delle letture per il monitoraggio di strutture in Cut&Cover (accessi, paratie, ecc.), cedimenti superficiali, cedimenti edilizi e deformazioni nella zona di influenza degli scavi.

Tab. 9.3 – Frequenze di lettura degli strumenti (Pozzi e portali di accesso)

FASE ESECUTIVA	FREQUENZA
Prima di cominciare i lavori	2 letture iniziali
Durante l'esecuzione delle opere di sostegno	1-2 letture/settimana
Durante lo scavo	2 letture/settimana
Dopo il completamento dello scavo e fino all'inizio della messa in servizio dell'opera	1 lettura/mese fino a stabilizzazione

Il monitoraggio del livello di falda è misurato secondo le frequenze riportate di seguito.

Tab. 9.4 – Frequenze di lettura dei piezometri

PRIMA della costruzione	DURANTE la costruzione	DOPO la costruzione
1 lettura/2 mesi	2 letture/mese	1 lettura/2mesi (per un anno dopo il completamento di ogni parte dell'opera)

La data di installazione degli strumenti deve consentire un tempo sufficiente familiarizzare con la naturale oscillazione delle letture dovuta all'errore del sistema di monitoraggio (relativo allo strumento, alla lettura, alle condizioni ambientali, ecc.).

Se sono necessari trattamenti, lo strumento deve essere installato in anticipo, al fine di monitorare questi lavori.

In generale il monitoraggio deve permettere una corretta comprensione di ogni fenomeno legato alla costruzione. Per questi motivi, senza ulteriore prescrizione, durante lo svolgimento delle attività più rilevanti, la frequenza delle letture deve essere

umentata. Tale frequenza dovrà essere aumentata anche in caso di superamento dei valori di soglia.

10. TRATTAMENTO E INTERPRETAZIONE DELLE MISURAZIONI

La fase di trattamento dei dati comprende le seguenti attività:

- ✓ trasformazione della grandezza misurata (ad esempio tensione elettrica) in una grandezza fisica pertinente,
- ✓ validazione dei dati, dopo eliminazione dei valori considerati aberranti,
- ✓ calcolo delle evoluzioni rispetto alla prima misurazione di origine,
- ✓ presa in conto delle grandezze d'influenza che perturbano le misure (soprattutto la temperatura) e correzione delle misurazioni in caso si evidenziasse una buona correlazione,
- ✓ confronto tra le letture rilevate,
- ✓ rappresentazione dei risultati sottoforma di grafici chiari che permettano di identificare le evoluzioni importanti.

Si ricorda, inoltre, che la trasmissione o l'archiviazione dei file informatici deve essere accompagnata dall'identificazione chiara e completa di tutti i dati ivi contenuti (luogo, data, ora, unità, qualità, formula di conversione, ecc.).

L'interpretazione del monitoraggio in termini di comportamento dell'opera è d'importanza primordiale durante la fase costruttiva. Si tratta di un'operazione differente dal trattamento delle misurazioni. Il risultato di questa interpretazione deve essere trasmesso immediatamente al responsabile dei lavori sottoforma di un documento chiaro e conciso e facilmente leggibile da un ingegnere non esperto in metrologia.

11. CONCLUSIONI

Il piano di monitoraggio è stato progettato sulla base dei calcoli e delle ipotesi progettuali con le seguenti finalità:

- ✓ prevenire fenomeni imprevisti al fine di evitare situazioni critiche in termini di sicurezza per strutture, infrastrutture, strade ed edifici;
- ✓ verificare le ipotesi progettuali e, se possibile, migliorare le soluzioni progettuali attraverso analisi retrospettive (back-analyses) e ulteriori interpretazioni del comportamento del terreno durante lo scavo.

Le letture devono consentire di attivare immediatamente le contromisure previste in caso di superamento dei valori di soglia.