Revisione	Data	Oggetto revisione	Redatto	Verificato	Approvato
2	01/2019	INTEGRAZIONE PER CONFERENZA DEI SERVIZI	SPIGARELLI	GATTI	CASSANI
1	09/2018	REVISIONE	ANDREOLI	GATTI	CASSANI
0	11/2017	PRIMA EMISSIONE	SPIGARELLI	GATTI	CASSANI

REGIONE LIGURIA

#ItaliaSicura
Presidenza del Consiglio dei Ministri

COMUNE DI GENOVA

PIANO STRALCIO PER LE AREE METROPOLITANE E LE AREE URBANE CON ALTO LIVELLO DI POPOLAZIONE ESPOSTA AL RISCHIO DI ALLUVIONI

Presidenza del Consiglio dei Ministri

PRESIDENZA DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI
COMMISSARIO STRAORDINARIO
delegato per l'attuazione degli interventi inseriti nell'A.d.P. del 16.09.2010 e ss.ii.
(ex art. 10 del D.L. n. 91 del 24.06.2014)

Commissario straordinario

Dott. Giovanni TOTI

PROGETTISTI

CAPOGRUPPO MANDATARIA:

Rocksoil S.p.A.
CONSULENZA E ASSISTENZA TECNICA
nel campo della GEOINGEGNERIA

MANDANTI:

art ambiente risorse territorio

HYDRODATA INGEGNERIA DELLE RISORSE IDRICHE

Ing. Mario CANGIANO

Ing. Paolo GALLO

Ing. Francesco DE SANCTIS

Dott.ssa Francesca GIOMI

RESPONSABILE STRUTTURA COMMISSARIALE: **Ing. Luca BERRUTI**

RESPONSABILE UNICO PROCEDIMENTO: **Ing. Stefano PINASCO**

Progettista responsabile integrazioni prestazioni specialistiche e Direttore Tecnico della mandataria.
Rocksoil S.p.A.
Ing. Giovanna Cassani
Ord. Ingg. Milano N° 20997

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI MILANO
DOTT. ING. CASSANI GIOVANNA
Sez. A Settori
a) civile e ambientale
b) industriale
c) dell'informazione
n° A 20997

Progettista/Progettisti responsabili elaborato
Rocksoil S.p.A.
Ing. Giovanna Cassani
Ord. Ingg. Milano N° 20997

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI MILANO
DOTT. ING. CASSANI GIOVANNA
Sez. A Settori
a) civile e ambientale
b) industriale
c) dell'informazione
n° A 20997

Intervento/Opera

SECONDO LOTTO DEI LAVORI RELATIVI ALLA REALIZZAZIONE DELLA GALLERIA SCOLMATRICE DEL TORRENTE BISAGNO IN COMUNE DI GENOVA

PROGETTO ESECUTIVO

N° Progr. ----

Codice elaborato: BIS2E - R - PMS00 -RE02- 2

Oggetto della tavola

PIANO DI MONITORAGGIO DI SUPERFICIE

Piano di monitoraggio di superficie e degli edifici sensibili

Scala: -

Data: 17 GENN. 2019

Codice FILE: BIS2E-R-PMS00-RE02-2.DWG

I DISEGNI E LE INFORMAZIONI IN ESSI CONTENUTE SONO PROPRIETA' ESCLUSIVA DELLA STRUTTURA COMMISSARIALE E NON POSSONO ESSERE MODIFICATI, RIPRODOTTI, RESI PUBBLICI O UTILIZZATI PER USI DIFFERENTI DA QUELLI PER CUI SONO STATI REDATTI, SALVO AUTORIZZAZIONE SCRITTA.

Sommario

1 INTRODUZIONE 2
2 DESCRIZIONE DELL'OPERA 3
2.1 Layout generale degli interventi 3
2.2 Finestra di servizio ed opere di imbocco 5
2.3 Camerone di montaggio TBM e camera di lancio 9
2.4 Galleria Scolmatrice – scavo in tradizionale (tratta a monte camerone) 11
2.5 Galleria Scolmatrice – Scavo in meccanizzato 13
3 INQUADRAMENTO GENERALE DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO 16
4 SPECIFICHE TECNICHE DELLA STRUMENTAZIONE 17
4.1 Monitoraggio da piano campagna 17
4.1.1 Caposaldi di livellazione 17
4.1.2 Monitoraggio piezometrico 17
4.1.3 Tubi inclinometrico 18
4.1.4 Monitoraggio opere di sostegno 19
4.1.5 Monitoraggio struttura di rinforzo statico degli arconi (C.so Italia) 20
4.2 Monitoraggio degli edifici 21
4.2.1 Caposaldi di livellazione 21
4.2.2 Clinometro da parete 22
4.2.3 Tazze livellometriche 22
4.2.4 Monitoraggio vibrazionale 23
4.3 Monitoraggio delle gallerie esistenti RFI 23
4.3.1 Martinetti piatti 23
4.3.2 Monitoraggio dei binari 24
5 UBICAZIONE DELLA STRUMENTAZIONE E FREQUENZE DI LETTURA 26
5.1 Finestra di servizio 26
5.2 Galleria Scolmatrice – Imbocco lato monte 28
5.3 Galleria Scolmatrice – Imbocco lato mare 29
5.4 Galleria Scolmatrice – Scavo meccanizzato 32
5.5 Gallerie esistenti RFI 34
5.6 Frequenza di lettura 36
6 CONCLUSIONI 38

1 INTRODUZIONE

Il Piano di Monitoraggio fa parte dei documenti previsti nell'ambito del Progetto Esecutivo del 2° Lotto dei lavori per la realizzazione della galleria Scolmatrice del torrente Bisagno, in comune di Genova.

L'intervento oggetto dell'affidamento di progettazione esecutiva comprende nello specifico il complesso delle opere di presa e sistemazione dell'alveo Bisagno, la galleria Scolmatrice con sviluppo complessivo di 6500 m circa da scavarsi parte con sistema meccanizzato e parte in tradizionale e gli interventi connessi allo sbocco a mare presso la spiaggia di San Giuliano, con il completamento del manufatto di convergenza della galleria Bisagno sulla galleria Scolmatrice del torrente Fereggiano, i cui lavori sono in corso di completamento.

Come già descritto anche nel documento BIS-2E-R-OST00-RE05 "*Relazione di Monitoraggio*", il progetto prevede la predisposizione di una sistema di monitoraggio che, oltre a consentire un continuo ed efficace controllo delle modalità di avanzamento in sotterraneo, permetta di raccogliere informazioni relativamente al comportamento dell'ammasso roccioso sovrastante alle gallerie, sia con strumentazione profonda (inclinometri e piezometri), sia con strumentazione in superficie (principalmente mire topografiche. Questi elementi risultano tanto più importanti tenendo conto che i lavori vengono realizzati in ambito urbano, con notevole presenza di edifici in superficie. A tal proposito il progetto comprenderà anche un attento e capillare monitoraggio degli edifici, al fine di valutare eventuali fenomeni di interferenza con le lavorazioni di scavo.

Nel seguito, dopo una descrizione generale delle caratteristiche principali dell'opera e del sistema di monitoraggio nel suo complesso, si analizzerà nel dettaglio il monitoraggio previsto da piano campagna e per il controllo degli edifici, rimandando invece ad uno specifico elaborato la trattazione del monitoraggio in sotterraneo.

2 DESCRIZIONE DELL'OPERA

2.1 Layout generale degli interventi

L'impianto progettuale prevede che la galleria Scolmatrice sia scavata per la maggior parte con sistema meccanizzato, impiegando una TBM da roccia di tipo aperto.

Lo stato dei luoghi (limitatezza delle aree disponibili nel contesto densamente urbanizzato), unitamente alle necessità costruttive (allineamento del tracciato) ed alle esigenze strettamente connesse alla logistica di cantiere per l'assemblaggio della fresa hanno determinato la scelta di collocare in sotterraneo gli spazi adibiti all'assemblaggio stesso. In particolare si è reso necessario prevedere un camerone di montaggio posizionato lungo il tracciato della galleria Scolmatrice la cui posizione consentisse di massimizzare il tratto di galleria sul quale avanzare appunto con lo scavo meccanizzato. Tale presupposto ha pertanto dettato l'individuazione del tracciato della Finestra di servizio tramite la quale accedere dall'area di cantiere ubicata presso l'ex- canile comunale al camerone medesimo: la scelta dell'allineamento della finestra ha assecondato altresì le ovvie esigenze legate alla limitazione dello sviluppo dello scavo in tradizionale (in ragione di una riduzione dei tempi e dei costi di realizzazione) nonché la necessità di seguire il corridoio di passaggio preferenziale individuato in corrispondenza dell'edificio scolastico di Via Terpi. La Finestra di servizio presenta pertanto uno sviluppo pari a m 368, sino all'attacco dello scavo del camerone di montaggio TBM.

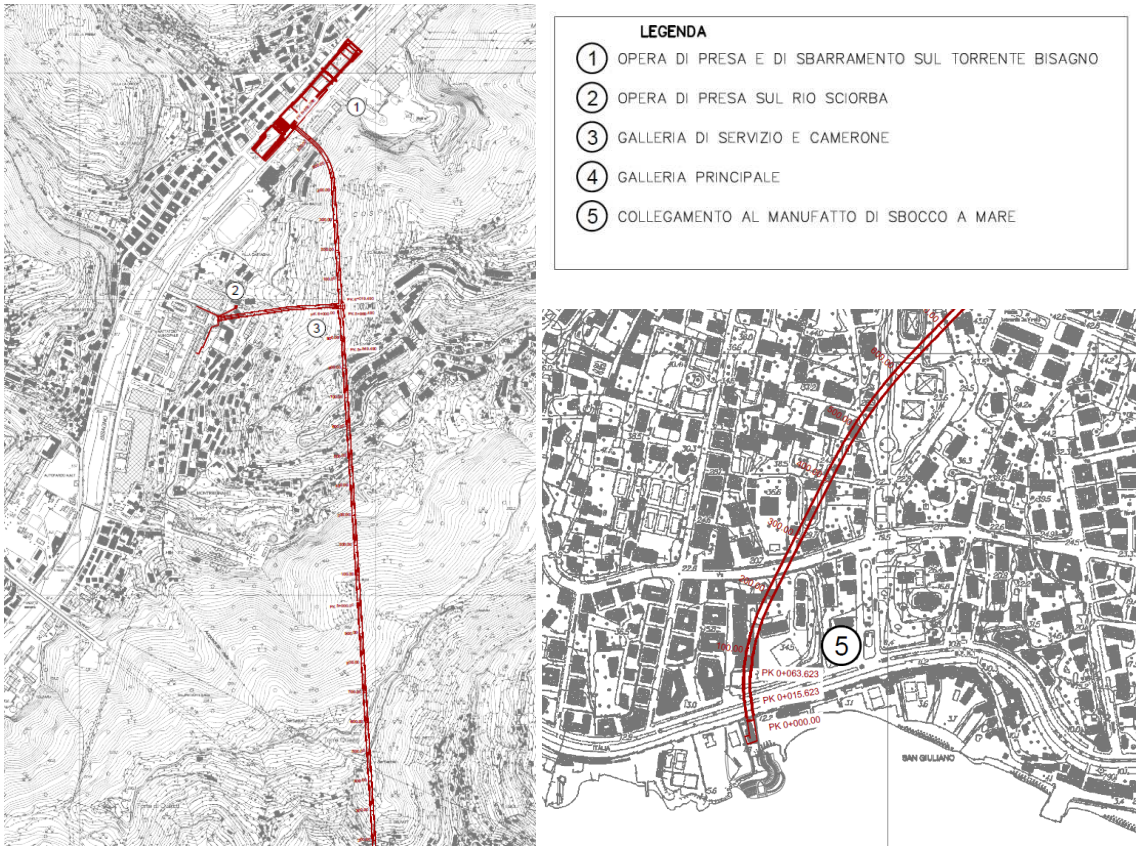


Figura 1 – Inquadramento generale dell'intervento

Le geometrie del camerone di montaggio sono state definite congruentemente con l'esigenza di disporre di idonei spazi e volumi per l'assemblaggio della fresa; è prevista in particolare l'installazione di un carroponte di ingombro trasversale prossimo ai 17.00 m ed altezza nell'ordine dei 16.00-17.00 m. Il lancio della fresa, ad assemblaggio effettuato, richiede l'apprestamento di un tratto di galleria di lunghezza sufficiente ad ospitare il corpo macchina e la serie dei carri di back-up (allestimento con sviluppo

complessivo pari a 130-140 m): è stata pertanto prevista la realizzazione con metodo tradizionale di scavo della cosiddetta camera di lancio, per una estensione di 120 m dalla parete sud del camerone di montaggio.

Dal camerone sarà avviato lo scavo del tratto di galleria Scolmatrice sino allo sbocco sul Bisagno (ovvero la cosiddetta tratta di monte), per uno sviluppo complessivo di m 650 circa. Lo scavo in roccia avverrà con metodo tradizionale e prevalente ricorso ad esplosivo, salvo l'applicazione del metodo di scavo denominato SUPERWEDGE nella tratta a più basse coperture in corrispondenza di via Merello; tale metodologia operativa, basata sul principio del cuneo spaccaroccia, è stata specificatamente sviluppata per la demolizione di roccia con minimizzazione delle problematiche connesse all'emissione di rumore, vibrazione e polveri (dinamica di abbattimento basata sull'inserimento di cunei in fori con la conseguente formazione di fratture). Il settore terminale della galleria lungo Via Merello, l'innesto di quest'ultima su Via Adamoli, compreso il sotto attraversamento della stessa Via Adamoli, sarà scavato entro i riporti antropici soprastanti la coltre detritico-alluvionale in posto: lo scavo avanzerà pertanto, mediate mezzi meccanici ordinari, ricorrendo a sezioni tipo caratterizzate da importanti interventi di consolidamento /preconsolidamento e presostegno del cavo, in considerazione del modesto ricoprimento e della presenza della viabilità di superficie. L'abbattimento dell'ultimo diaframma sulla vasca di dissipazione avverrà ad ultimazione delle lavorazioni su tutto lo sviluppo della galleria Scolmatrice fino a mare (incluso la tratta scavata con fresa), eliminando in tale maniera qualsiasi fattore di rischio indotto dalla potenziale connessione idraulica del cantiere in sotterraneo con l'alveo del Bisagno.

Lo scavo con fresa TBM si svilupperà per m 5785 dalla testata della camera di lancio per innestarsi sul breve tratto di galleria scavato con metodo tradizionale, da mare, al di sotto di C.so Italia e del Forte San Giuliano. Quest'ultimo settore si estende per m 50 ca; la scelta progettuale di intervenire con tecnica tradizionale di scavo è discesa dalla delicatezza del contesto, caratterizzato da modestissime coperture in corrispondenza dell'asse stradale di C.So Italia e del Forte San Giuliano, unitamente alla constatazione delle specifiche condizioni geomeccaniche dell'ammasso interessato dallo scavo nonché della natura dei materiali di riporto sotto il sedime di C.so Italia. Sono state infatti previste sezioni di avanzamento caratterizzate da interventi di consolidamento e preconsolidamento/presostegno al contorno ed al fronte, molto più efficacemente attuabili con metodo di scavo tradizionale piuttosto che con sistema meccanizzato.

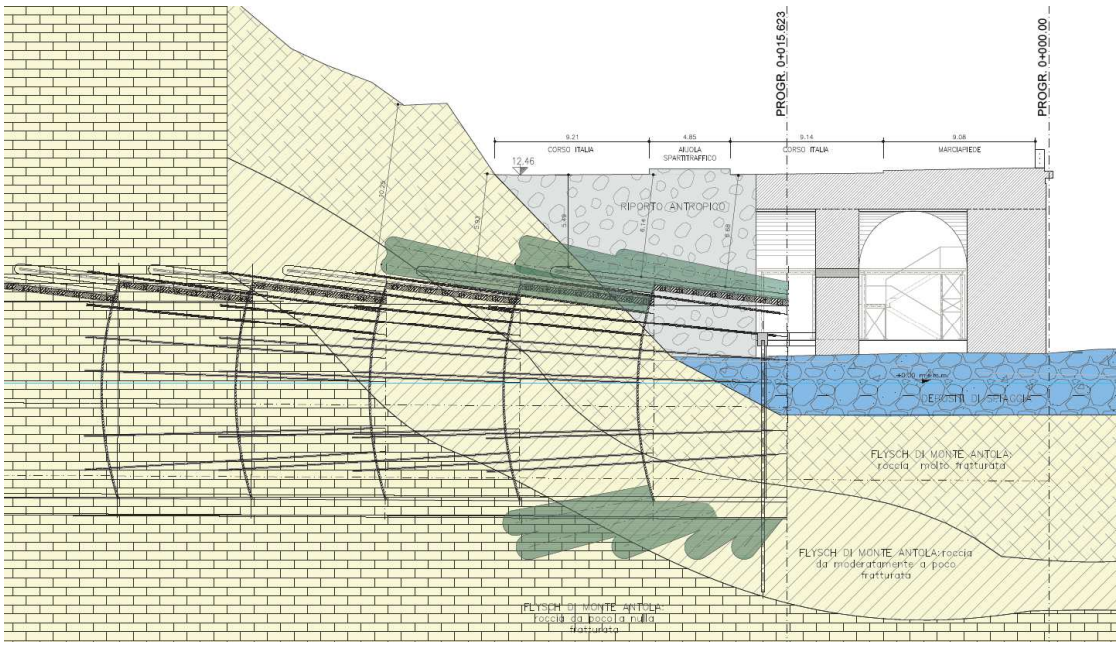


Figura 2 – Profilo longitudinale scavo in tradizionale galleria Scolmatrice – tratta a mare (sotto attraversamento C.so Italia)

2.2 Finestra di servizio ed opere di imbocco

L'imbocco della Finestra di Servizio è collocato presso l'ex area canile municipale; tale area è stata individuata dalla committenza come zona di accantieramento principale per la realizzazione di tutte le opere in sotterraneo. Allo stato attuale (ante operam) il sito presenta una morfologia parzialmente pianeggiante (settore inferiore occupato dai fabbricati dell'ex canile), con zona terrazzata superiore destinata a deposito materiali (Aster Genova); verso monte si estende la scarpata naturale parzialmente ricoperta da riporto antropico (come risultato dalle indagini geognostiche condotte in posto nell'ambito della presente fase di redazione del PE) sulla quale si impostano le opere di contenimento dei terrapieni sui quali si è sviluppata la soprastante urbanizzazione di Via Terpi (in particolare l'edificio scolastico di Via Terpi 24 e la parrocchia di San Michele Arcangelo. Vanno segnalati in questa sede gli aspetti di rischio geomorfologico riguardanti il versante di Via Terpi, come riferito dal servizio geologico del Comune e riportato nelle carte del PAI - identificata nello specifico area con franosità quiescente – classe elevata di suscettività al dissesto – Pg3a. In ragione del contesto sopra delineato, per la realizzazione del piazzale di imbocco e l'area di cantiere generale si è individuata nell'esecuzione di una paratia di pali trivellati, multi-tirantata, la soluzione progettuale in grado di offrire idonee garanzie di presidio del versante e dei fabbricati nella possibilità di massimizzare l'area da destinare agli apprestamenti di cantiere, allo stoccaggio temporaneo dello smarino ed agli impianti per il trattamento dello stesso ai fini del riutilizzo nell'ambito dell'intervento stesso (produzione inerte da calcestruzzo e materiale per ripascimento spiagge litorali di Ponente e Levante).



Figura 3 – Planimetria di inquadramento paratia di imbocco cantiere principale ex canile

Nella presente fase di progettazione sono state condotte indagini geognostiche, sia di tipo diretto (sondaggio a carotaggio continuo SEB1) che di tipo indiretto (coppia di stendimenti sismici a rifrazione lungo la direzione di sviluppo principale delle opere) per mezzo delle quali è stato possibile ricostruire l'assetto stratigrafico locale, accertando in particolare la profondità del tetto del substrato roccioso costituito dal Flysch del Monte Antola (in facies alterata – cappellaccio). E' emerso nello specifico un quadro particolarmente articolato con riferimento alla potenza delle coltri (sia di natura antropica che

originarie, in posto): localmente, in corrispondenza dell'opera di sostegno, si sono rilevati spessori di coltre sino a 8-9 m dal piano campagna; la restituzione tomografica delle onde elastiche di compressione e di taglio ha evidenziato altresì la modesta qualità meccanica del cappellaccio di alterazione del substrato.

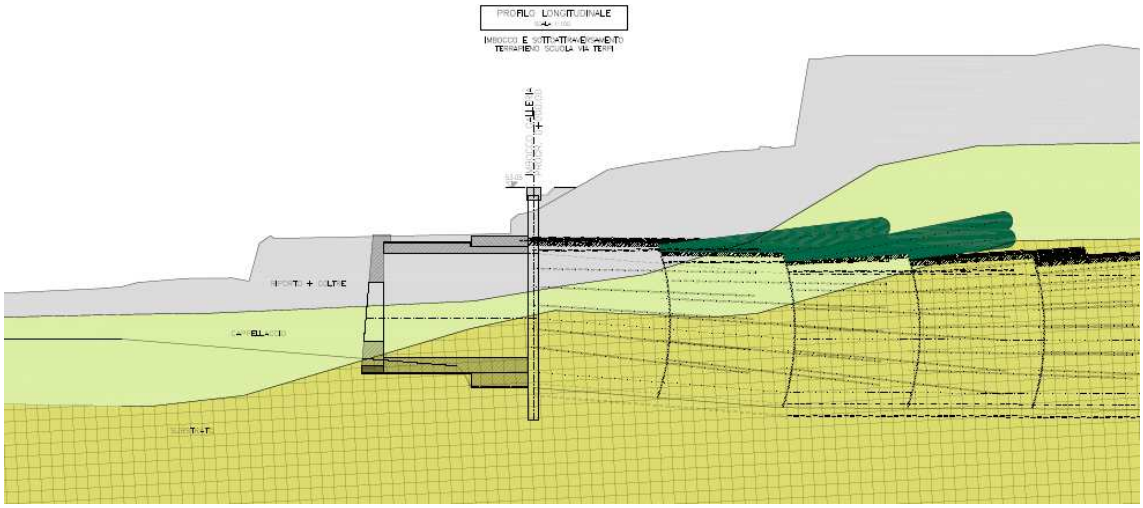


Figura 4 – Profilo longitudinale finestra di servizio – tratta di imbocco

Tali elementi geologici, congiuntamente alla delicatezza del contesto di intervento per quanto attiene al tema pre-esistenze e rischio geomorfologico, hanno determinato il ricorso a paratie di pali di medio-grande diametro in luogo di berlinesi di micropali. Sono stati previsti altresì più ordini di ritegni costituiti da tiranti a 4 trefoli da 0.6", con passo orizzontale di 3 m allo scopo di limitare fortemente il campo deformativo dell'opera sia sotto la condizione di carico statica che sismica.

La geometria dell'opera si presenta essenzialmente lineare in pianta, salvo prevedere specifica rientranza in corrispondenza dell'imbocco della finestra, necessaria al raggiungimento di un adeguato ricoprimento in calotta per l'attacco dello scavo in naturale. Le pareti dell'opera, in tale limitato settore, saranno sostenute da elementi tipo puntone (unico ordine sommitale); tale configurazione è stata dettata altresì dall'adiacenza del muraglione di sostegno a tergo degli spazi logistici di pertinenza dell'edificio delle Poste; tale manufatto rende impraticabile ogni intervento di tirantatura che possa geometricamente interferire con lo stesso, richiedendo bensì la progettazione di idonei interventi di consolidamento del terreno a tergo, operati da piano campagna (trattamenti colonnari di iniezioni con tubi a manchettes), allo scopo di incrementare le doti meccaniche del materiale imposto e ridurne l'effetto spingente sull'ala di paratia adiacente al muraglione in oggetto.

L'opera, nel suo sviluppo, interferisce con i manufatti idraulici presupposti all'intercettazione del rio che solca la scarpata a monte dell'area (immediatamente a valle del muro che sostiene il terrapieno dei locali parrocchiali) nonché con l'esistente intubamento del fosso Sciorba: in corrispondenza di tali manufatti è prevista la limitazione della lunghezza dei pali trivellati e la predisposizione di elementi strutturali di ripartizione / distribuzione delle azioni sollecitanti sui pali limitrofi aventi lunghezza integrale.

Planimetricamente la finestra di servizio presenta un tracciato sostanzialmente rettilineo, con innesto in retto sul camerone di montaggio della TBM. Da un punto di vista altimetrico, la progettazione della livelletta è stata mirata al raggiungimento quanto più rapido di idonei ricoprimenti per il sotto-attraversamento dell'edificio scolastico di Via Terpi e del relativo muraglione di sostegno del terrapieno sul quale esso si imposta. Tale edificio è stato oggetto - negli anni 2001-2002 – di un intervento di sottofondazione operato per mezzo di micropali, posti perimetralmente all'ala sud-est del fabbricato medesimo. Di tale intervento è stato possibile recuperare la documentazione progettuale: gli elementi scaturiti dall'esame della stessa hanno quindi guidato la progettazione del profilo altimetrico dell'opera nel suo primo settore, introducendo una livelletta all'8% su uno sviluppo di m 20, seguita da un tratto con

pendenza pari all'1% (per ulteriori 90 m ca), prima di raccordarsi alla livelletta unica del 3% mantenuta sino all'innesto con il camerone di montaggio TBM. Tale configurazione altimetrica della galleria di servizio sarà mantenuta per una prima fase operativa di transito dei mezzi per il trasporto dei componenti della TBM (sino al camerone di montaggio), mentre una livelletta più dolce (con primo tratto al 4%, in sostituzione della discenderia all'8% originario) sarà approntata per l'allestimento operativo del cantiere per lo scavo meccanizzato, dovendosi predisporre la sede per l'allogggiamento del doppio binario che servirà la macchina durante l'avanzamento. Tale profilo longitudinale sarà mantenuto anche nell'esercizio della finestra di servizio che, come da richiesta della committenza, fungerà contestualmente da accesso per manutenzione dell'opera idraulica e recapito alla galleria Scolmatrice delle acque derivate dal Fosso Sciorba durante gli eventi di piena.

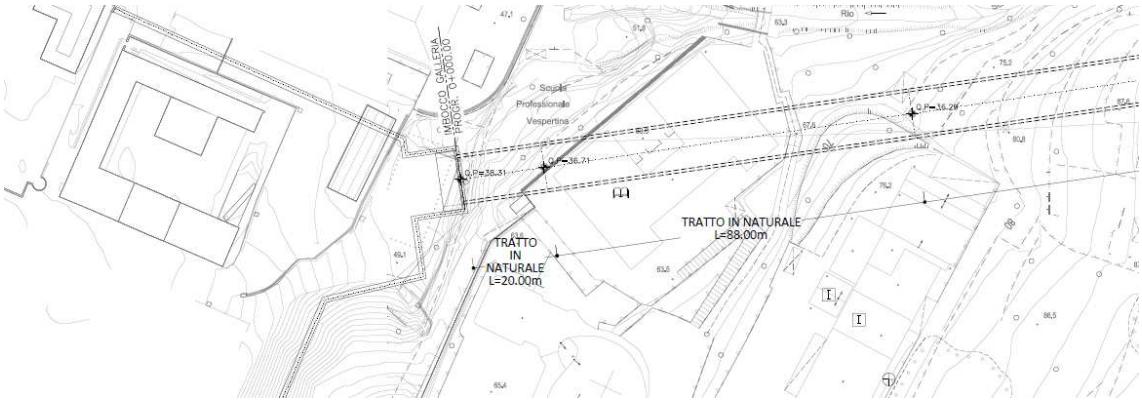


Figura 5 – Planimetria finestra di accesso

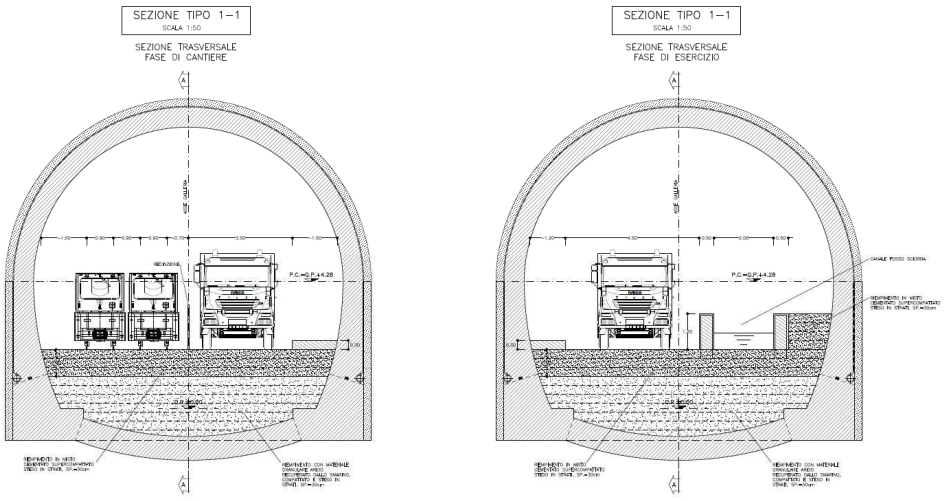


Figura 6 – Sezioni trasversali funzionali finestra di accesso – fase di cantiere

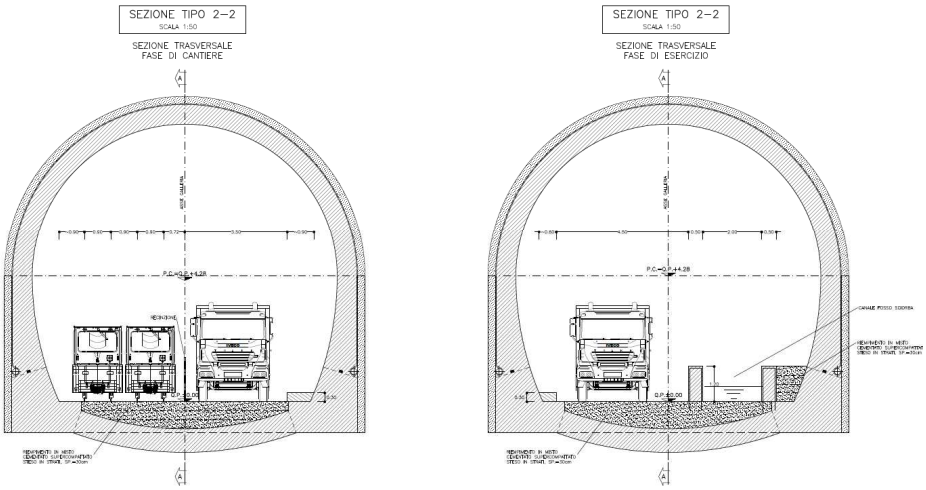


Figura 7 – Sezioni trasversali funzionali finestra di accesso – fase di esercizio

Per il completamento dell'opera è prevista la realizzazione di un tratto di galleria artificiale in prosecuzione della finestra di accesso, su uno sviluppo di m 20 ca (ad occupare la rientranza presente lungo il profilo della paratia di sostegno del versante) entro la quale sarà approntato il manufatto a pozzo per il collegamento del canale di scolmo superficiale (che staccandosi dall'incisione del Fosso Sciorba si porta sulla verticale del pozzo medesimo) ed il sottostante bacino di dissipazione dal quale prende avvio la canalizzazione di recapito delle acque verso la confluenza localizzata all'innesto della Finestra sul camerone.

L'opera di sostegno e la conformazione del nuovo piazzale ricavato a valle della medesima (su due livelli, il principale alla quota +41.00 m slm e l'appendice di Sud-est alla quota +43.50 m slm) saranno restituite con funzionalità di opere definitive al termine dei lavori, come da richiesta della committenza. Sono stati pertanto previsti - in questa sede - specifiche lavorazioni per il completamento e la finitura dei paramenti dell'opera, costituite in particolare da getti in opera per il placcaggio delle palificate tirantate, in allineamento con l'aggetto del cordolo di testa. Saranno predisposte apposite tasche per il ritesaggio eventuale delle tirantature, durante la vita utile dell'opera (assunta nello specifico pari a 100 anni, coerentemente con la natura strategica dell'intervento in oggetto).

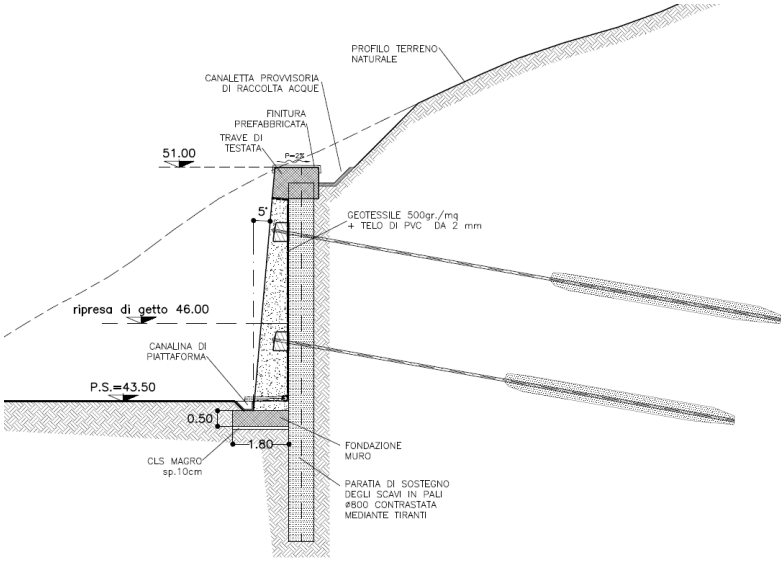


Figura 8 – Paratia di imbocco – sezione trasversale tipo sistemazione finale

Preliminarmente all'attacco dello scavo della finestra sarà portato a termine specifico intervento di consolidamento della coltre detritica (caratterizzata da composizione da granulare grossolana – più superficiale - ad argillo-sabbiosa nella parte basale sino alla profondità di ca 8-9 m da p.c.), realizzato da piano campagna sull'impronta dello scavo, ovvero nell'area compresa fra la paratia di testa e la base del muraglione di sostegno del terrapieno (laddove si estende fisicamente il concio di attacco dello scavo). Sono previste nello specifico trattamenti colonnari con iniezioni operate da tubi a manchettes, estesi sino al tetto del cappellaccio di alterazione.

Con riferimento alle attività di scavo si precisa come la realizzazione del concio di attacco richiederà l'installazione di elementi di presostegno della calotta (tubi metallici valvolati) e di consolidamento del fronte, specialmente nella porzione medio alta dello stesso interessata dalla presenza dei detriti a composizione granulometrica medio –fine. I successivi campi di scavo, estesi sino all'altezza del muraglione di sostegno del soprastante terrapieno, prevedono - ad integrazione degli interventi precedentemente descritti - la realizzazione di una doppia corona di iniezioni al contorno finalizzate al consolidamento preventivo del terreno di fondazione del muraglione. A tale proposito si segnala come nell'ambito delle attività propedeutiche alla progettazione esecutiva siano stati condotti saggi di scavo mirati a portare alla luce la zattera di fondazione dell'opera nonché alla verifica dell'eventuale presenza di pali di fondazione connessi alla medesima. Gli scavi completati hanno esposto l'intradosso della zattera, restituendo spessori strutturali del manufatto pari a ca 1.50 m. Le attività di indagine hanno previsto quindi lo scalzamento alla base della zattera, su un settore limitato (sviluppo nell'ordine del metro), spinto sino alla profondità di 1.50 m rispetto al filo di valle della zattera stessa. Il saggio realizzato come sopra descritto non ha nello specifico restituito alcuna evidenza che lasciasse presupporre la presenza di pali di fondazione.

2.3 Camerone di montaggio TBM e camera di lancio

L'opera predisposta per l'assemblaggio della fresa è stata calibrata geometricamente sulle necessità logistiche specifiche per il montaggio della macchina, ovvero sulle dimensioni del carroponte per la movimentazione dei singoli componenti. L'impianto progettuale prevede che tale funzione venga esplicata all'interno della cavità rivestita con mezzi di sostegno provvisionali (bullonatura radiale costituita da barre dywidag autoperforanti e spritz beton di spessore congruo con le dimensioni dello scavo): in tal senso si è considerato come la qualità media dell'ammasso interagente con l'opera, nonché l'assetto strutturale geomeccanico dello stesso, restituito dalla coppia di stendimenti sismici a riflessione appositamente realizzati a cavallo dell'opera, fossero compatibili con tale soluzione tecnica, anche nel prosieguo delle attività di scavo della tratta di galleria Scolmatrice verso monte (con metodo tradizionale) e verso valle (con sistema meccanizzato). Il completamento dei rivestimenti definitivi al termine delle attività di scavo della galleria Scolmatrice (cls gettato in opera su spessori strutturali commisurati alle dimensioni dell'opera) consente importanti ottimizzazioni in termini di volumi di scavo (in ragione dei ben precisi vincoli geometrici richiesti alla sagoma interna per il montaggio TBM), ovvero di tempi e costi per il completamento del camerone stesso.

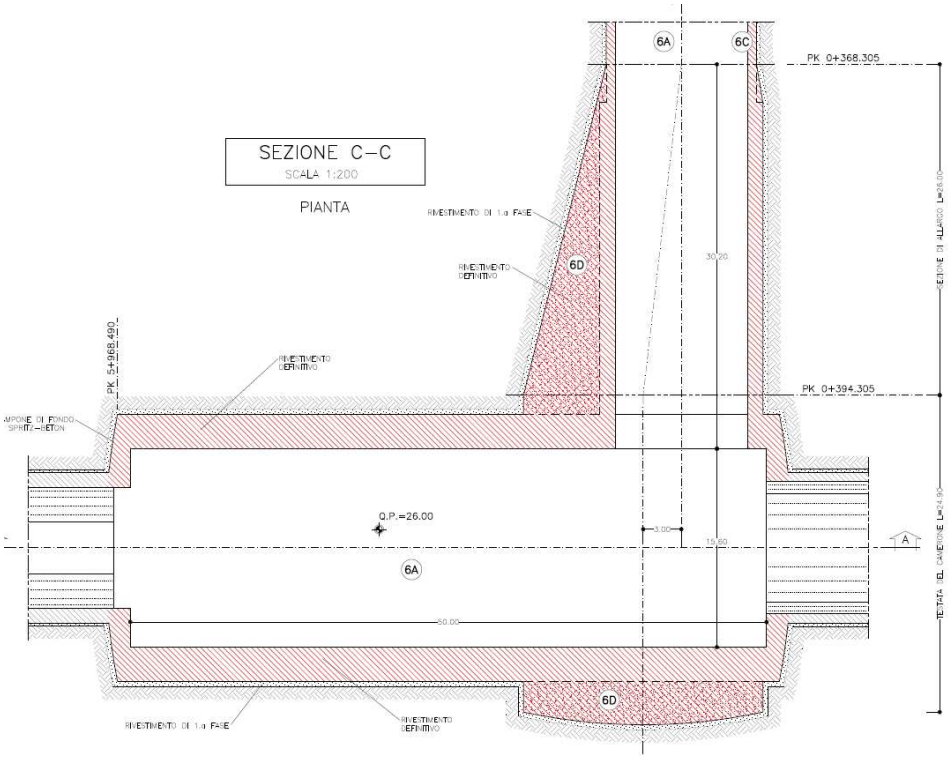


Figura 9 – Camerone di montaggio TBM – planimetria d'insieme

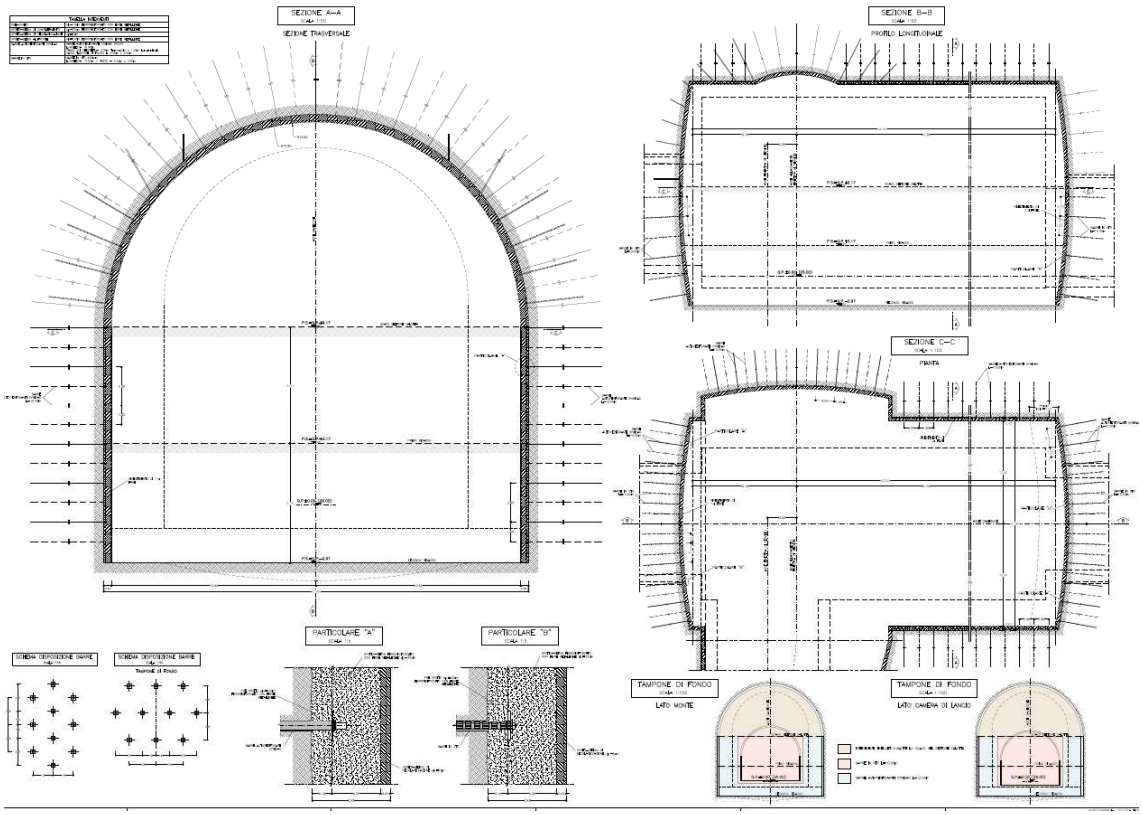


Figura 10 – Camerone di montaggio TBM – sezione tipologica interventi di sostegno provvisionale

Ad assemblaggio TBM completato, all'interno del camerone sarà allestita la centrale di betonaggio per la produzione dei calcestruzzi dei rivestimenti definitivi dell'intera galleria Scolmatrice (sia tratta di monte verso l'alveo Bisagno che la tratta di valle verso lo sbocco a mare).

La camera di lancio, necessario per l'approntamento della TBM nella sua configurazione operativa di scavo (compressiva quindi dei carri di back-up in linea), presenta uno sviluppo nell'ordine dei 120 m. Il rivestimento definitivo della stessa sarà realizzato dopo il passaggio della fresa, secondo le modalità ordinarie previste per il getto dei rivestimenti definitivi nella tratta scavata con sistema meccanizzato (si veda in seguito).

2.4 Galleria Scolmatrice – scavo in tradizionale (tratta a monte camerone)

La tratta di galleria Scolmatrice posta a monte del camerone di montaggio sarà scavata prevalentemente entro la formazione del Fliysch del Monte Antola, su una lunghezza prossima ai 650 m, ricorrendo alla sezione tipo prevalente semplicemente bullonata (sezione tipo Ab).

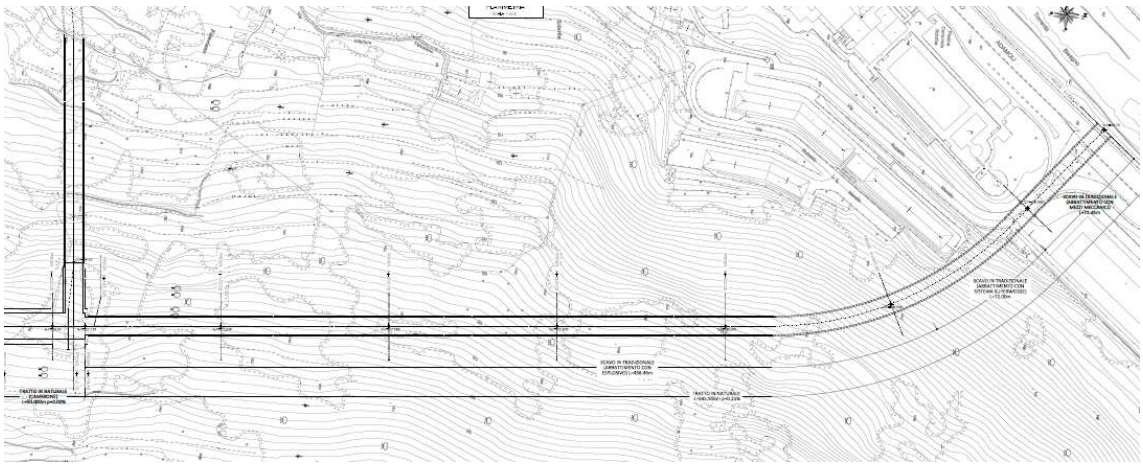


Figura 11 – Galleria Scolmatrice - tratta di monte

Lo scavo avverrà prevalentemente ricorrendo a sistema di abbattimento con esplosivo; solamente in corrispondenza del passaggio sotto gli edifici residenziali di Via Merello si adotterà la tecnica del superwedge, minimizzando in tal modo l'impatto in termini di propagazione delle onde sonore e vibrazionali verso la superfice. Di particolare delicatezza è il passaggio della galleria al di sotto della arteria stradale di Via Adamoli. Il sotto attraversamento avviene con ricoprimenti nell'ordine dei 3-4 m, ed interesserà la successione stratigrafica che vede, superficialmente, la presenza dei riporti antropici risalenti alle pregresse fasi di urbanizzazione della sponda sinistra della valle Bisagno, quindi, con profondità crescente gli orizzonti di origine detritico alluvionale e, alle maggiori profondità (indicativamente la parte bassa del fronte e l'arco rovescio), il cappellaccio di alterazione del substrato. Lo scavo procederà pertanto applicando 5 campi caratterizzati da intensità di interventi di consolidamento / preconsolidamento del contorno del cavo e del fronte crescente, con l'aumentare della porzione di galleria interagente con i riporti antropici e le coltri. L'intervento di preconsolidamento e presostegno in avanzamento è costituito da un ombrello di jet grouting colonnare diametro 600 mm coadiuvato da infilaggi metallici valvolati. Solamente l'ultimo campo in corrispondenza delle due corsie direzione centro città prevedrà il ricorso ad iniezioni al contorno (doppia coronella) a bassa pressione tramite tubi a manchettes, stante la presenza del cunicolo impianti che corre lungo la medesima carreggiata direzione sud di via Adamoli.

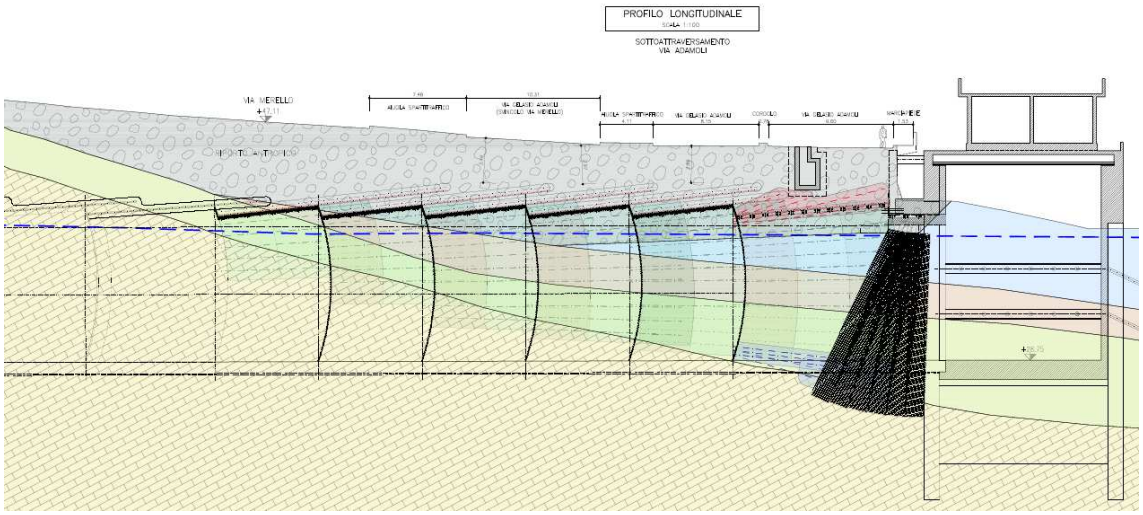


Figura 12 – Galleria Scolmatrice tratta di monte – profilo interventi di scavo e consolidamento

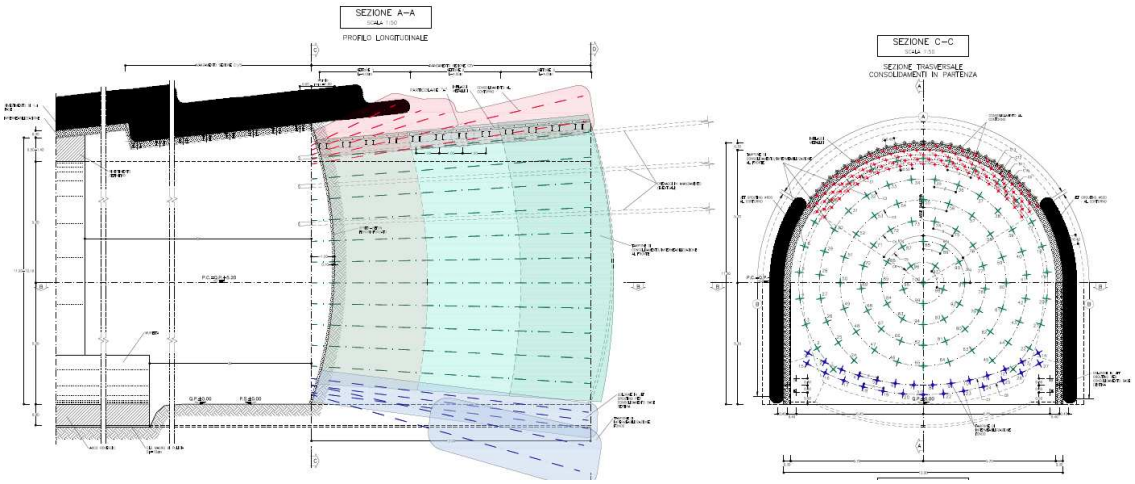


Figura 13 – Galleria Scolmatrice tratta di monte - sezione tipologica di scavo e consolidamento sotto la carreggiata stradale di Via Adamoli



Figura 14 – Galleria Scolmatrice tratta di monte - stralcio planimetria su fotopiano

L'abbattimento dell'ultimo diaframma per il completamento della tratta da camerone al Bisagno avverrà ad opera ultimata fino allo sbocco a mare e relativo cantiere TBM / opere di sbocco a mare completate, onde evitare qualsiasi tipo di rischio alluvione per il cantiere in sotterraneo. Va segnalato come lo scavo dell'ultimo diaframma interferisca con l'opera di sostegno presente lungo via Adamoli e costitutente il miro spondale. Lo scavo richiederà in particolare la demolizione della zattera di fondazione e di una porzione del paramento frontale, pertanto , preliminarmente al completamento della galleria nel suo ultimo tratto, si rende necessaria l'attuazione di un consolidamento dal piano alveo al di sotto della fondazione del muro medesimo (trattamento colonnare jet grouting) ed il trasferimento del carico dall'attuale fondazione ad un cordolo superiore innestato sul paramento da un lato e rigidamente connesso alla testata della paratia che delimita il bacino di dissipazione dall'altro. E' previsto altresì un ordine di puntoni a contrasto della testa del muro spondale.

2.5 Galleria Scolmatrice – Scavo in meccanizzato

La tratta di galleria Scolmatrice che si estende dalla camera di lancio allo sbocco a mare sarà scavata con metodo meccanizzato adottando una fresa da roccia di tipo aperto, su uno sviluppo di 5876 m. Si raggiungono coperture massime dell'ordine dei 280 m in corrispondenza del rilievo di torre Quezzi. Gran parte della tratta cittadina presenta ricoprimenti prossimi ai 30 m, fatta eccezione per gli ultimi 2000 m verso lo sbocco a mare laddove lo spessore di roccia in calotta scende su valori prossimi ai 10 m in corrispondenza del complesso di edificazioni insistenti sull'area del forte San Giuliano. E' previsto il passaggio al di sotto della linea storica RFI Genova – La Spezia, con spessore di roccia compresa fra la calotta dello scolmatore ed il basamento dei piedritti della doppia galleria attorno agli 8 m. In previsione futura si segnala il sovrappasso dello scolmatore ad opera delle gallerie ferroviarie del quadruplicamento ferroviario Genova – La Spezia (ricoprimento in roccia fra calotta scolmatore ed arco rovescio delle gallerie ferroviarie dell'ordine di 2 m); esso ricade nel conteso geologico del graben di Terralba; tale elemento progettuale richiederà la predisposizione di sezioni speciali in quanto ad armatura dei rivestimenti definitivi dell'opera oggetto della presente progettazione.

La scelta della macchina di tipo aperto è discesa dall'esame delle condizioni geomeccaniche dell'ammasso ritenute congrue con il campo di applicazione tipico di tale tipologia di macchine. In particolare la qualità dell'ammasso e le caratteristiche di fratturazione dello stesso per la maggior parte dell'estensione della tratta consentono di considerare una tipologia di intervento prevalente costituito dall'applicazione di chiodatura radiale tipo bullone superswellex e rete elettrosaldata pertanto ottimizzando l'avanzamento con tale tipologia di macchina. L'adozione di una macchina di tipo aperto da roccia, resa possibile dal presupposto geomeccanico di cui sopra, porta con se la possibilità di regolare efficacemente la gestione dello smarino ed in particolare il riutilizzo dello stesso ai fini della produzione dell'inerte per calcestruzzo (non possibile nel caso dell'utilizzo di frese ti tipo monoscudato/doppio scudato che presuppongono l'avvio della produzione dei conci con largo anticipo rispetto all'avanzamento dell'attività di scavo, impossibilitando pertanto il riutilizzo del materiale proveniente e dallo smarino). In tal senso si precisa come la litologia scavata, in particolare la facies calcarea del Flysch del monte Antola abbia caratteristiche idonee alla produzione di inerte per cls, soddisfacendo appieno il fabbisogno dello stesso. Altro elemento migliorativo caratterizzante l'impiego della fresa di tipo aperto rispetto alle frese di tipo scudato è l'eliminazione della necessità di approvvigionare il cantiere TBM con conci nonché lo stoccaggio dei medesimi nell'area del cantiere di imbocco; nel caso specifico del cantiere principale ubicato presso l'ex canile comunale si è ritenuto assai difficoltoso il poter procedere con un approvvigionamento costante dei conci che consentisse di seguire le esigenze della produzione né si sarebbe riuscito a garantire idonei spazi per lo stoccaggio del materiale.

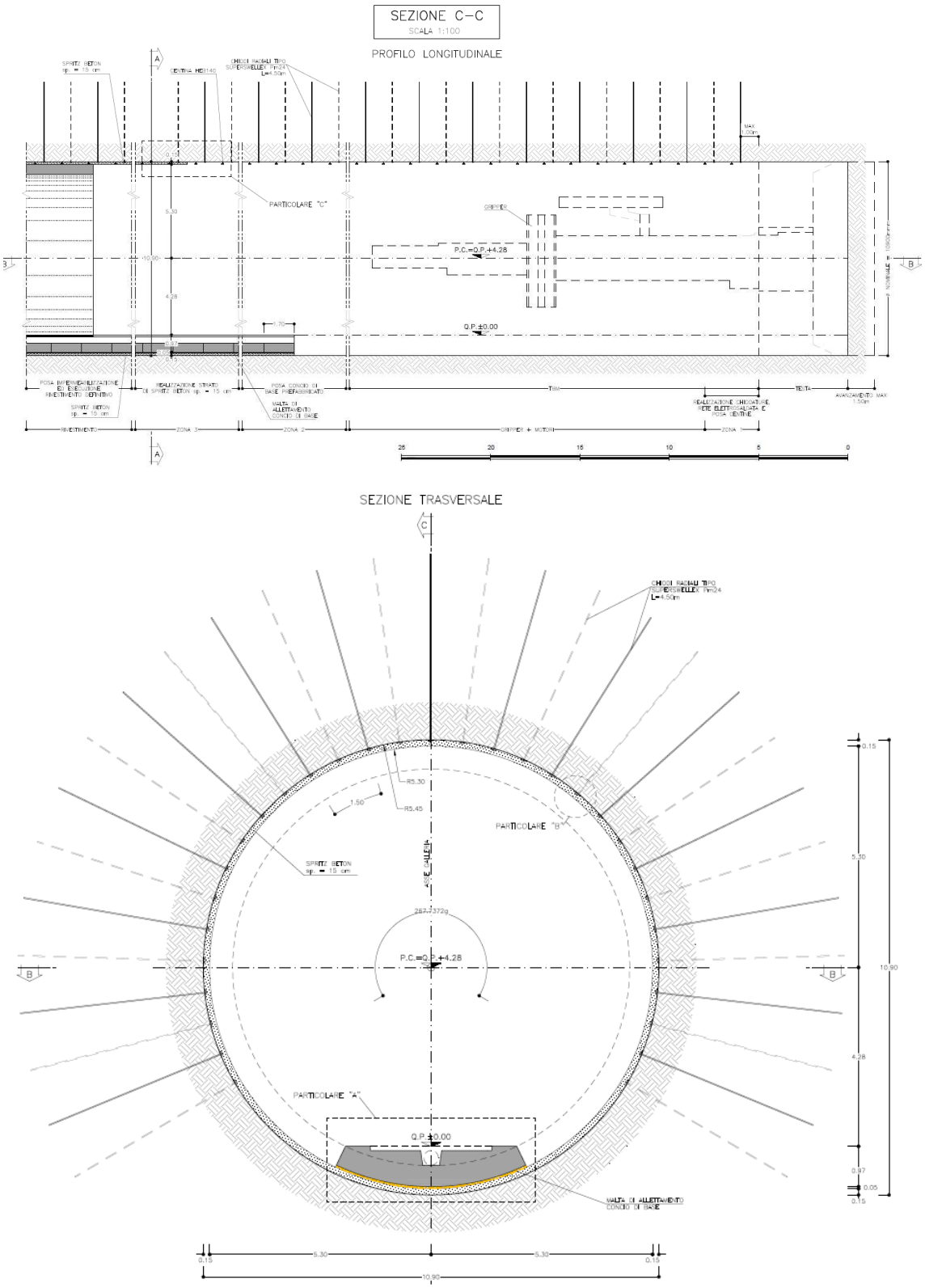


Figura 15 – Galleria Scolmatrice – tratta scavata con sistema meccanizzato – Profilo longitudinale e sezione tipo interventi di sostegno provvisionale

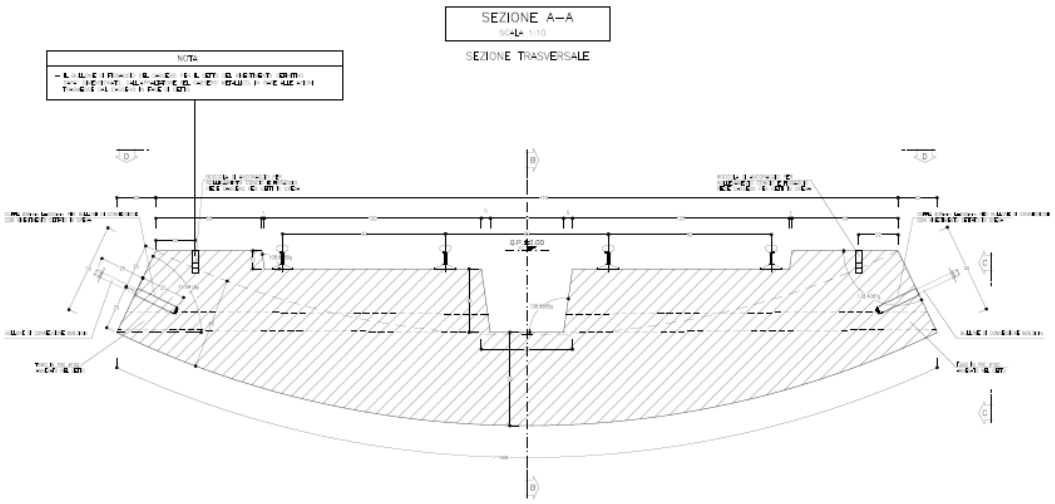


Figura 16 – Galleria Scolmatrice – tratta scavata con sistema meccanizzato – carpenteria concio di base

Lo scavo con fresa (diametro nominale della testa pari a 10700 mm) è previsto procedere con una velocità di avanzamento media attorno ai 20 m giorno. La sezione tipo principale applicata è prevista essere quella bullonata con rete elettrosaldata. Localmente, laddove il contesto geomeccanico possa determinare fenomeni di convergenza del cavo più sensibili, sarà fatto ricorso a sostegni full round per la chiusura del cavo a tergo della testa di scavo, in particolare a centine e blindaggi metallici tipo *Liner plates*. In corrispondenza della tratta da scavarsi nelle formazione delle argilliti di Montoggio e delle faglie presenti a lungo il percorso saranno applicate sezioni di scavo e consolidamento più pesanti che prevedono il ricorso ad interventi di consolidamento dell'ammasso in avanzamento rispetto alla testa di scavo. Trattasi di coronelle di iniezioni cementizie operate da tubi a manchettes, spinti per una lunghezza di 20 m dalla posizione di perforazione. Sistematicamente lo spritz beton di completamento, per tutte le sezioni tipo, sarà applicato con sistemi robotizzati alla distanza di circa 40-50 m dal fronte di scavo, successivamente all'installazione del concio di base in c.a. (lunghezza del singolo concio 1.70 m). Il concio di base presente geometria e conformazione superficiale funzionale alla installazione del doppi o binari a servizio della fresa. E' presente inoltre una canala centrale per la raccolta delle acque di infiltrazione dall'ammasso ed il collettamento delle stesse versi il fronte di avanzamento (la pendenza della galleria è infatti a scendere nella direzione di avanzamento dello scavo). Al fronte sarà presente idonea stazione di pompaggio per l'allontanamento delle acque verso il portale di imbocco, finestra di servizio.

Il rivestimento definitivo della galleria sarà gettato in opera e seguirà con velocità media stimata in di 12 m/giorno di getto la fresa ed i carri di back-up. Le operazioni di installazione del manto in PVC, dell'assemblaggio della gabbia di armatura e della casseratura saranno attuate per mezzo di uno speciale carro. Le operazioni di getto saranno servite dalla centrale di betonaggio installata all'interno del camerone; l'approvvigionamento avverrà tramite una coppia di treni composti da un numero di train mixer sufficiente alla fornitura di 190 mc di cls. Lo spessore ordinario dei rivestimenti definitivi è di 50 cm; un incremento a 55 cm è previsto in corrispondenza dei medesimi passaggi geologici entro i quali si rende necessario il ricorso a supporti temporanei full round quali centine e blindaggio metallico.

3 INQUADRAMENTO GENERALE DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO

Il sistema di monitoraggio predisposto consentirà di raccogliere informazioni e esercitare una continua azione di controllo circa il comportamento deformativo della galleria, del versante soprastante, nonché dei fabbricati interferiti.

Come già anticipato il sistema può essere suddiviso in tre principali categorie:

- **Monitoraggio in galleria**:
  Le misure eseguite in galleria per il monitoraggio del pre-rivestimento e del rivestimento definitivo permetteranno una verifica della risposta deformativa dell'ammasso e del cavo allo scavo, consentendo una taratura ed una ottimizzazione degli interventi e delle modalità esecutive da applicare nell'ambito di ogni sezione tipo. Consentiranno inoltre di verificare lo stato tensionale dei rivestimenti in opera. Localmente si provvederà a predisporre stazioni speciali per il controllo del livello di falda e la verifica dell'eventuale presenza di pressioni neutre a tergo dei rivestimenti;

- **Monitoraggio da piano campagna**:
  Le misure da piano campagna consisteranno prevalentemente nel monitoraggio topografico della superficie compresa nell'area di influenza degli scavi, al fine di ricostruire un modello accurato (ed in continuo aggiornamento) dell'interazione tra scavi ed effetti in superficie. In punti del tracciato ritenuti significativi si provvederà inoltre alla posa in opera tubi inclinometrici e piezometri per indagare eventuali fenomeni profondi;

- **Monitoraggio degli edifici**:
  Il sistema di monitoraggio degli edifici prevedrà la predisposizione di un reticolo topografico finalizzato a misurare eventuali deformazioni o assestamenti degli edifici prossimi alle gallerie. Si predisporrà inoltre un sistema di monitoraggio vibrazionale per valutare, soprattutto nei contesti di basse coperture, l'eventuale propagazione di vibrazioni indotte dalle lavorazioni di scavo.

Nei capitoli seguenti si riporta una descrizione di dettaglio del monitoraggio superficiale, che comprende sia il controllo da piano campagna del comportamento dell'ammasso interessato dagli scavi che il monitoraggio degli edifici. Per quanto riguarda il monitoraggio previsto in galleria si rimanda invece all'elaborato specifico BIS-2E-R-OST00-RE05 "*Relazione di Monitoraggio*".

Si descriverà inoltre lo specifico sistema di monitoraggio dedicato alle gallerie della linea ferroviaria esistente Genova – La Spezia che verranno sottopassate dalla Galleria Scolmatrice alla progr. Km 1+520 circa, con coperture di circa 6,20 m.

4 SPECIFICHE TECNICHE DELLA STRUMENTAZIONE

Nei paragrafi seguenti si riporta una descrizione delle specifiche tecniche relative alla strumentazione da installare, distinguendo tra il monitoraggio dell'ammasso eseguito da piano campagna (monitoraggio topografico e, puntualmente, strumentazione profonda) e quello specificatamente dedicato al controllo degli edifici interferenti con il tracciato delle gallerie.

Come già anticipato, uno specifico monitoraggio sarà inoltre dedicato alle gallerie della linea ferroviaria esistente Genova – La Spezia che verranno sottopassate dalla Galleria Scolmatrice alla progr. Km 1+520 circa.

4.1 Monitoraggio da piano campagna

4.1.1 Caposaldi di livellazione

Al fine di raccogliere informazioni sulle deformazioni nel terreno a seguito delle perdite di volume connesse allo scavo delle gallerie occorrerà misurare lo spostamento di punti, identificati mediante caposaldi di livellazione, ubicati a piano campagna in corrispondenza di elementi ritenuti significativi o di allineamenti disposti, ove possibile, perpendicolarmente all'asse della galleria. La distanza tra due allineamenti successivi sarà variabile e dipenderà anche dal grado di urbanizzazione della zona.

I capisaldi dovranno presentare, ben visibile sulla parte superiore, una borchia metallica con l'indicazione del numero del caposaldo ed una testa semisferica per la battuta topografica. Ogni borchia dovrà essere collegata tramite bullonatura o elettro-saldatura ad una barra di ferro di idonea lunghezza, che verrà cementata all'interno di appositi fori in modo da garantire la solidarietà con il terreno.



Figura 17 – Esempio di borchia topografica

Le misure saranno effettuate con strumento topografico a lettura manuale.

4.1.2 Monitoraggio piezometrico

Il monitoraggio piezometrico verrà effettuato mediante piezometri di tipo Casagrande che consentono il rilievo, mediante apposita sondina elettrica (freatimetro) munita di cavo graduato, della profondità della superficie piezometrica, attraverso l'inserimento in un foro di sondaggio di un piezometro costituito da un filtro cilindrico collegato a due tubicini rigidi in PVC per il raccordo con la superficie.

La cella tipo Casagrande è costituita da un cilindro poroso di materiale plastico (ad es. polietilene soffiato) o di ceramica, che dovrà avere un diametro minimo di 50 mm e una lunghezza non inferiore a 200 mm; il collegamento del cilindro poroso con la superficie è assicurato da due tubicini rigidi in PVC (andata e ritorno). Le caratteristiche generali della cella piezometrica dovranno essere le seguenti:

Filtro	Diametro esterno 55 mm circa e lunghezza tra 100 e 500 mm
Materiale	Agglomerato di polietilene o equivalente
Porosità	Tra 20 e 60 micron



Figura 18 – Esempio di cella Casagrande

Il piezometro potrà eventualmente essere automatizzato, con l'installazione al suo interno di un trasduttore di pressione con le seguenti specifiche:

Principio di funzionamento	A corda vibrante
Massimo sovraccarico	30 % del F.S.
Deriva termica	Non superiore a 0,05% del FS /°C
precisione	0.3% F.S.
sensibilità	0.01% F.S.
Segnale in uscita	frequenza
Campo di temperatura	-10 ÷ +55°C
Materiale	Acciaio inox

4.1.3 Tubi inclinometrico

L'installazione di un tubo inclinometrico in un foro di sondaggio consente, attraverso misure ripetute nel tempo, la misura dello spostamento orizzontale del terreno lungo tutta la verticale. Tali misure vengono effettuate introducendo nel tubo una apposita sonda inclinometrica che, dotata di sensori servoaccelerometrici di elevata precisione, consente di misurare l'inclinazione del tubo in corrispondenza di una determinata sezione.

I tubi inclinometrici dovranno essere di alluminio o in ABS e dovranno avere una sezione circolare provvista di quattro scanalature con funzione di guida per la sonda inclinometrica.

Le specifiche da considerare sono le seguenti:

Diametro perforazione	101 mm
Diametro interno tubo	76 mm
Diametro interno guide	82 mm
Diametro esterno guide	86 mm
Massa tubi	≥ 1350 g/m
Spiralatura tubi	≤ 0,5°/m
Assoluta perpendicolarità delle sezioni terminali degli spezzoni di tubo rispetto all'asse del tubo, con la tolleranza di 1°	

4.1.4 Monitoraggio opere di sostegno

4.1.4.1 Mire ottiche per il monitoraggio topografico

Il controllo degli spostamenti orizzontali delle opere di sostegno sarà effettuato attraverso il sistematico rilievo ad alta precisione delle coordinate di punti di misura disposti lungo la sviluppata della paratia e attrezzati con miniprismi rilevabili mediante strumento topografico di precisione.

Principio di Misura	Puntamento ottico e misurazione elettronica (angoli e distanze)
Precisione sistema collimazione automatica	</= 1 mm a 200 metri
Precisione lettura angolare	1”
Precisione misura della distanza	1 mm + 2 ppm

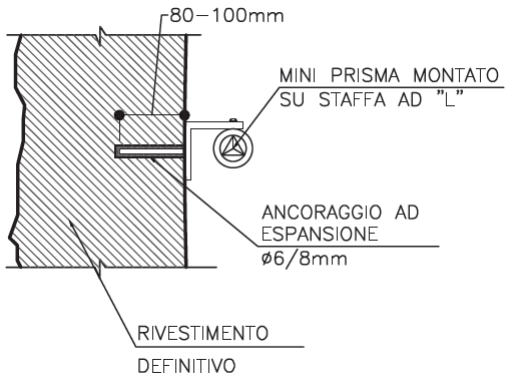


Figura 19 – Mire ottiche per il monitoraggio degli spostamenti delle opere di sostegno

Ciascun miniprisma sarà montato su apposite staffe ad L, opportunamente solidarizzate alla paratia per mezzo di ancoraggi ad espansione. Le misure saranno effettuate con strumento topografico a lettura manuale.

4.1.4.2 Estensimetri per monitoraggio dei puntoni

Il controllo del comportamento dei puntoni di contrasto predisposti per il sostegno delle paratie sarà effettuato mediante la posa in opera di estensimetri che consentiranno di valutarne il tasso di lavoro e la sua evoluzione nel tempo.



Figura 20 – Esempio di estensimetri

4.1.4.3 *Tirante strumentato*

Il controllo del comportamento dei tiranti di ancoraggio predisposti per il sostegno delle paratie sarà effettuato mediante la posa in opera di celle di carico toroidali in corrispondenza della testa dei tiranti stessi, che consentiranno di valutarne il tasso di lavoro e la sua evoluzione nel tempo.

Principio di Misura	Cella di carico idraulico dotata di manometro di Bourdon
Campo di misura	300 ÷ 2500 KN
Carico ammissibile	120 % del F.S.
Precisione	≤ 0,5% F.S.
Accuratezza	±1,5% F.S.
Materiale	Acciaio inossidabile AISI 304
Campo di temperatura	-35° ÷ +60°C



Figura 21 – Esempio di cella di carico con manometro Bourdon

Le celle potranno eventualmente essere dotate di trasduttore di pressione elettrico per effettuare le letture da remoto.

4.1.5 *Monitoraggio struttura di rinforzo statico degli arconi (C.so Italia)*

Il monitoraggio della struttura di rinforzo statico degli arconi in corrispondenza di Corso Italia prevede, oltre al posizionamento di mire ottiche ed estensimetri (già descritti nei precedenti paragrafi) la predisposizione di celle di carico in corrispondenza degli appoggi delle travi di rinforzo.

4.1.5.1 *Celle di carico*

Il controllo dei carichi trasmessi dalle travi di rinforzo sugli appoggi verrà misurato per mezzo di celle di carico costituite da due piatti in acciaio saldati lungo il loro perimetro e separati internamente da una cavità saturata sotto vuoto con olio disareato che ne garantisce la massima rigidità. Un trasduttore di pressione elettrico permette di remotizzarne la lettura.

Materiale	acciaio inossidabile 17- 4PH
Segnale in uscita	mV/V o 4-20 mA
campo di misura	Fino a 3.700 KN
range di temperatura	-10, +55 °C
Precisione	1% F.S.
Carico ammissibile	150% F.S.



Figura 22 – Esempio di cella di carico

4.2 Monitoraggio degli edifici

Uno specifico sistema di monitoraggio è stato predisposto per valutare eventuali deformazioni e/o assestamenti degli edifici interferenti con il tracciato della galleria Scolmatrice del torrente Bisagno e della Finestra di servizio.

Gli edifici potenzialmente sensibili sono stati individuati sulla base di due parametri fondamentali:

- Area di influenza dello scavo: ricadono nell'area di influenza quegli edifici il cui sedime è posto entro un raggio di 50 metri dall'asse galleria.
- Profondità del tracciato in relazione agli edifici (copertura): sono stati considerati come interferenti quegli edifici posti entro l'area di influenza della galleria ove quest'ultima riporta una copertura max pari a 5 diametri (50 metri).



Figura 23 – Stralcio planimetrico con individuazione degli edifici interferenti

4.2.1 Caposaldi di livellazione

Al fine di raccogliere informazioni su eventuali deformazioni o assestamenti di edifici prossimi ai lavori di scavo occorrerà controllare lo spostamento di punti solidali agli edifici, di tipo "verticale" (particolarmente significativo risulta essere il cedimento differenziale tra punti dello stesso edificio a seguito di un eventuale cedimento fondazionale).

Si predisporrà a tal fine un reticolo topografico di superficie composto da aste graduate (costituite da una lamina in acciaio inox o alluminio) per la livellazione topografica di precisione, solidali agli edifici, poste in opera a livello del piano viabile.

Le misure saranno finalizzate alla determinazione della sola componente verticale di movimento (cedimenti) e saranno eseguite con stadia e livello di precisione che garantisce una risoluzione della misura pari a 0,1 mm. La strumentazione sarà letta manualmente da unità topografiche dedicate.

4.2.2 *Clinometro da parete*

Puntualmente, per gli edifici ritenuti più significativi, il monitoraggio topografico con aste graduate sarà integrato con la posa in opera di clinometri da parete, così da ottenere informazioni anche in relazione a possibili movimenti di rotazione rispetto alla verticale delle strutture indagate.

Il clinometro da parete è costituito da un sensore monoassiale o biassiale (servoaccelelrometrico o magnetoresistivo) incorporato in una protezione di acciaio inossidabile, che misura l'inclinazione su uno o due piani. Il sensore sarà reso solidale alla parete dell'edificio per mezzo di un piatto di ancoraggio equipaggiato co un supporto per l'azzeramento meccanico dell'inclinazione iniziale.

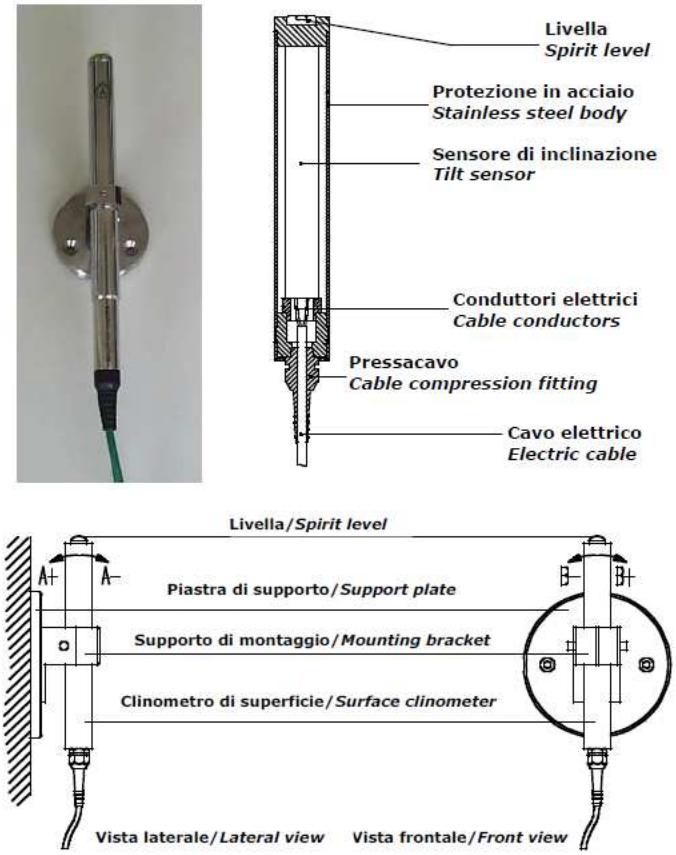


Figura 24 – Clinometro da parete

Le misure potranno essere eseguite manualmente o anche in modo automatico, collegando lo strumento ad un apposito sistema di acquisizione dati.

4.2.3 *Tazze livellometriche*

L'applicazione di tazze livellometriche consente il rilevamento degli spostamenti verticali assoluti e relativi di punti di misura basandosi sul principio della variazione di pressione di una colonna di liquido in funzione dell'altezza. Le differenza di quota che si verificheranno nel tempo tra il punto di riferimento assestimetrico e ciascun punto di misura determineranno proporzionali variazione idi pressione idraulica, misurabili manualmente o in automatico.

4.2.4 *Monitoraggio vibrazionale*

Il monitoraggio delle vibrazioni indotte dallo scavo delle gallerie sarà effettuato per mezzo di accelerometri triassiali, che consentiranno la misurazione dei seguenti valori indice:

- **Velocità di picco puntuale - PPV** (peak particle velocity): valore massimo del modulo del vettore velocità. La sua determinazione richiede la misurazione simultanea delle tre componenti mutuamente perpendicolari della velocità nel punto considerato (di solito due componenti orizzontali e la verticale) che successivamente devono essere combinate vettorialmente per determinare, istante per istante, il modulo della velocità risultante.
- **Velocità di picco di una componente puntuale – PCPV** (peak component particle velocity): valore massimo del modulo di una delle tre componenti ortogonali del vettore velocità.

I dati rilevati dovranno essere opportunamente elaborati con operazioni di filtraggio, utili all'eliminazione di eventuali componenti di rumore generalmente a bassa frequenza, e di integrazione, per il passaggio accelerazioni, velocità, spostamenti, così da fornire valori confrontabili con i riferimenti normativi.

4.3 Monitoraggio delle gallerie esistenti RFI

Il sistema di monitoraggio predisposto per le gallerie RFI esistenti prevede, oltre alla strumentazione descritta nel seguito, il posizionamento di mire ottiche sul profilo della galleria, per la cui descrizione si rimanda a quanto riportato nei paragrafi precedenti.

4.3.1 *Martinetti piatti*

Per la determinazione della tensioni assiali che agiscono sul rivestimento definitivo delle gallerie esistenti è prevista la realizzazione di 2 prove di martinetto piatto all'altezza dei piedritti. I martinetti piatti utilizzati per la prova saranno lasciati in posizione e strumentati con trasduttori di pressione elettrici collegati a una centralina di acquisizione automatica per registrare eventuali variazioni dello stato tensionale nel tempo.

La prova prevede l'esecuzione, mediante una sega circolare diamantata si esegue un taglio dello spessore di 4 mm. Il rilascio delle tensioni determina una parziale chiusura dell'intaglio che è rilevata mediante misura con estensimetro meccanico rimovibile. Si inserisce quindi un martinetto piatto avente la stessa sagoma dell'intaglio e spessore di 4 mm. Il martinetto è pressurizzato fino ad ottenere l'annullamento della deformazione verificatasi in fase di realizzazione dell'intaglio.

Lo stato di sollecitazione in direzione normale al piano di prova è ottenuto dalla pressione esistente nel martinetto quando si verifica l'annullamento della deformazione (pressione di ripristino), moltiplicata per una costante sperimentale < 1 dipendente dalla geometria del martinetto, dalla sua rigidezza, etc.. La costante sperimentale è determinata attraverso calibrazione dei martinetti in laboratorio con una pressa da 5000 kN.

Martinetto piatto	
Forma martinetto	Semi-ogivale
Dimensioni	350 x 260 x 3,5 mm
Trasduttore di pressione	
Fondo scala	10 MPa
Carico ammissibile	100% FS
Risoluzione	0,025% FS

Accuratezza	<0,5% FS
Segnale di uscita	Frequenza
Temperatura operativa	-20°C +100°C
Materiale	Acciaio inossidabile



Figura 25 – Martinetto piatto

4.3.2 Monitoraggio dei binari

Il monitoraggio dei binari verrà realizzato mediante sistema RDS (Railway Deformation System) che consenti di misurare (in modo automatizzato) l'evoluzione della geometria dei binari per arrivare a calcolarne allineamento, profilo longitudinale e sghembo senza fermi del traffico ferroviario.

Le deformazioni trasversali vengono misurate attraverso un sensore di inclinazione digitale montato sulle traversine. Le deformazioni longitudinali invece saranno rilevate solidarizzando un mini prisma direttamente sul sensore trasversale che viene monitorato con stazione totale robotizzata.

Tipo di sensore	Inclinometro MEMS digitale monoassiale
Campo di misura	±10° (±5° su richiesta)
Sensibilità	0.0013°
Precisione totale sensore (Linearità, ripetibilità e isteresi)	<± 0.05% FS (<±0.025 mm con sensore da ±10°)
Deriva in temperatura sensore	± 0.005 %FS / °C
Alimentazione	12 – 24 V cc
Segnale in uscita	RS-485 protocollo Modbus RTU
Temperatura di esercizio	da -30° a +70°C
Grado di protezione	IP67
Connettori	2 connettori da 5 pin, stagni fino a 1.0 MPa
Cavi sensore (inclusi)	N.2 cavi, 2 m cad
Cavo di segnale	0WE606IPDZH

Distanza max acquisitore	1000 m

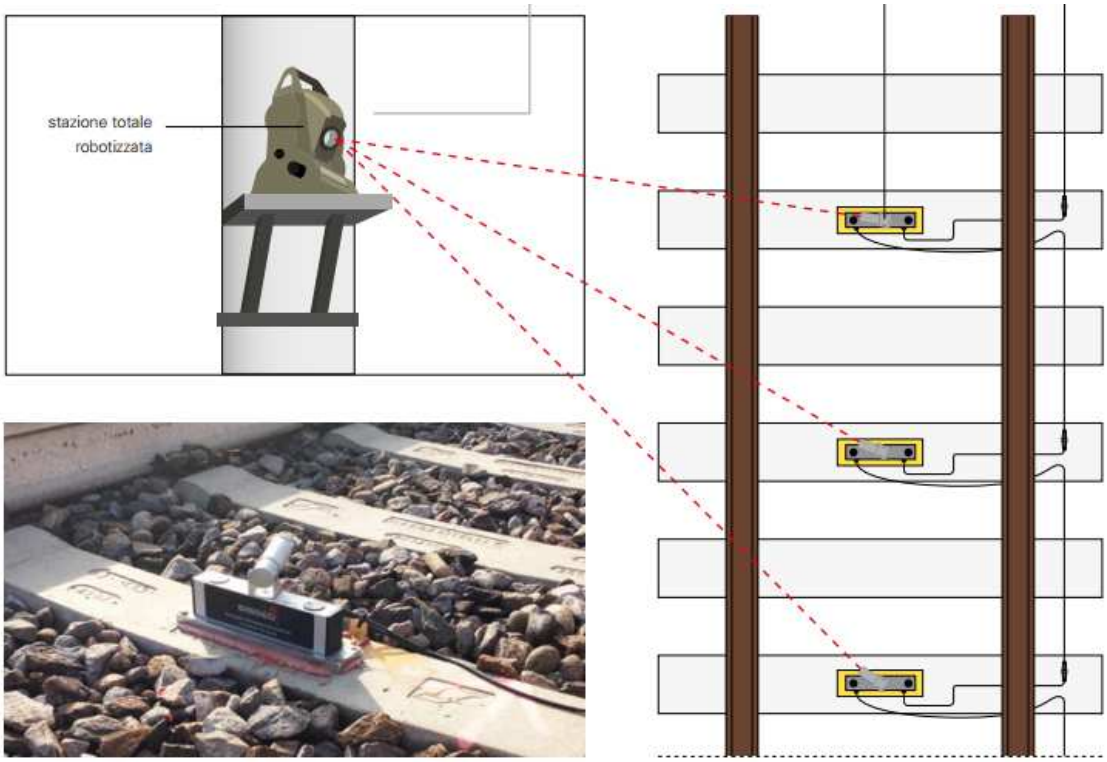


Figura 26 – Sistema RDS per il monitoraggio dei binari

5 UBICAZIONE DELLA STRUMENTAZIONE E FREQUENZE DI LETTURA

5.1 Finestra di servizio

La Finestra di servizio ha uno sviluppo complessivo di 368 m e verrà realizzata con scavo in tradizionale a partire dall'area dell'ex canile municipale.

Le coperture risultano per buona parte del tracciato inferiori a 50,0 m, ma gli edifici interferenti risultano concentrati nella sola tratta iniziale, fino ad una distanza di circa 120,0÷130,0 m dalla paratia di imbocco.

Il sistema di monitoraggio predisposto prevede il posizionamento di aste graduate per la livellazione topografica sulle pareti di tutti i 5 edifici coinvolti, come indicato nella seguente Figura 27. Tenuto conto del particolare assetto geostratigrafico del versante, che nell'area di imbocco è caratterizzato dalla presenza di riporti e coltre eluvio-colluviale, si sono disposti capisaldi per il controllo topografico anche sul muro di sostegno alla base del rilevato su cui è posta la "*Scuola Professionale Vespertina*", così da valutare eventuali cedimenti differenziale e garantire un controllo ulteriore sull'eventuale innesco di movimenti per effetto dello scavo della galleria.



Figura 27 – Finestra di servizio – Ubicazione strumentazione di monitoraggio

Il monitoraggio degli edifici sarà infine integrato con il posizionamento di un clinometro da parete sul campanile della chiesa di San Giustino e Santa Maria e con la predisposizione del monitoraggio delle vibrazioni sull'abitato di via Spalato 53, che essendo ubicato a maggiore distanza dall'imbocco, dove lo scavo interesserà ormai completamente la formazione del Flysh di Monte Antola, caratterizzata da maggiore rigidezza e assetto massivo, e potrebbe quindi risentire maggiormente delle vibrazioni indotte dagli scavi.

Al fine di valutare il comportamento del versante anche in profondità, si è prevista inoltre la realizzazione di un inclinometro in corrispondenza del piazzale antistante la chiesa di San Giustino e Santa Maria, che si estenderà fino a 28,0 m al di sotto del piano campagna, raggiungendo la quota del piano di scavo della galleria.

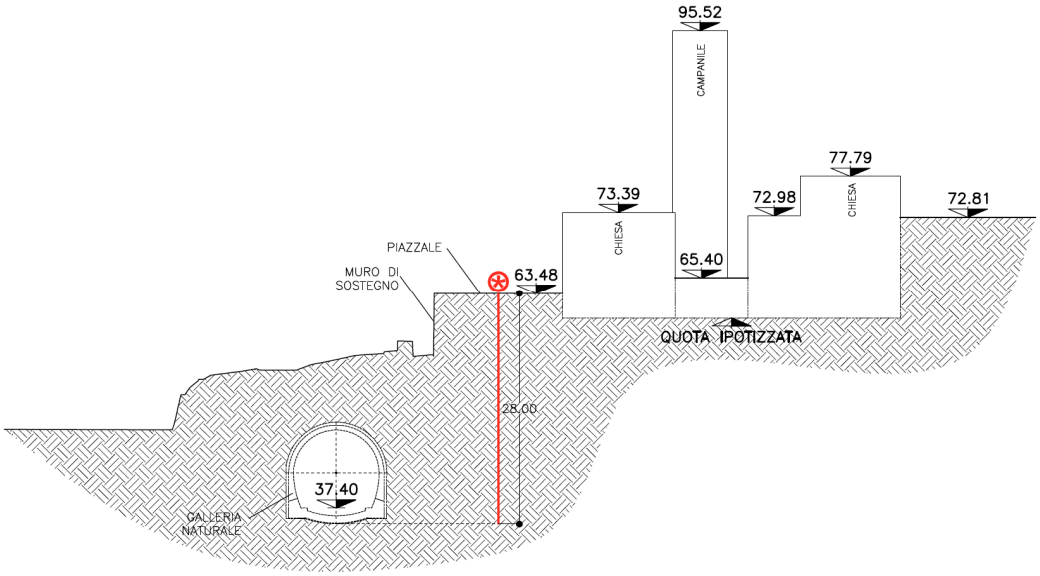


Figura 28 – Finestra di servizio - Ubicazione strumentazione di monitoraggio - Inclinometro

Uno specifico sistema di monitoraggio è infine previsto per la paratia in pali in c.a. ø800 da realizzarsi all'imbocco.



Figura 29 – Finestra di servizio – Paratia di imbocco

Il comportamento tenso-deformativo della paratia e degli elementi di contrasto previsti (puntoni metallici e tiranti) sarà controllato mediante:

- Mire ottiche disposte sulla trave di testata ed in corrispondenza di ciascun ordine di tiranti previsto (variabile in funzione del tratto di paratia in esame);
- 14 tiranti strumentati con celle di carico;
- 1 puntone strumentato con estensimetro.

5.2 Galleria Scolmatrice – Imbocco lato monte

Il tratto di monte della galleria Scolmatrice, scavato con metodo tradizionale, ha uno sviluppo complessivo di circa 650 m ed è caratterizzato dalla presenza di alte coperture ad eccezione della porzione finale più prossima all'opera di presa, in cui si raggiungono valori minimi di ricoprimento dell'ordine di 3,0÷4,0 m in corrispondenza del passaggio sotto la via Adamoli.

Proprio in virtù della presenza di ricoprimenti molto ridotti (e tenendo conto che al di sotto della via Adamoli è presente uno strato di riporto antropico piuttosto esteso, che potrebbe risentire in modo rilevante degli effetti dello scavo della galleria) si è previsto, compatibilmente con la configurazione della carreggiata, la predisposizione di 3 sezioni di monitoraggio topografico in superficie, perpendicolari al tracciato degli scavi, così da valutare lo sviluppo di eventuali fenomeni di subsidenza.

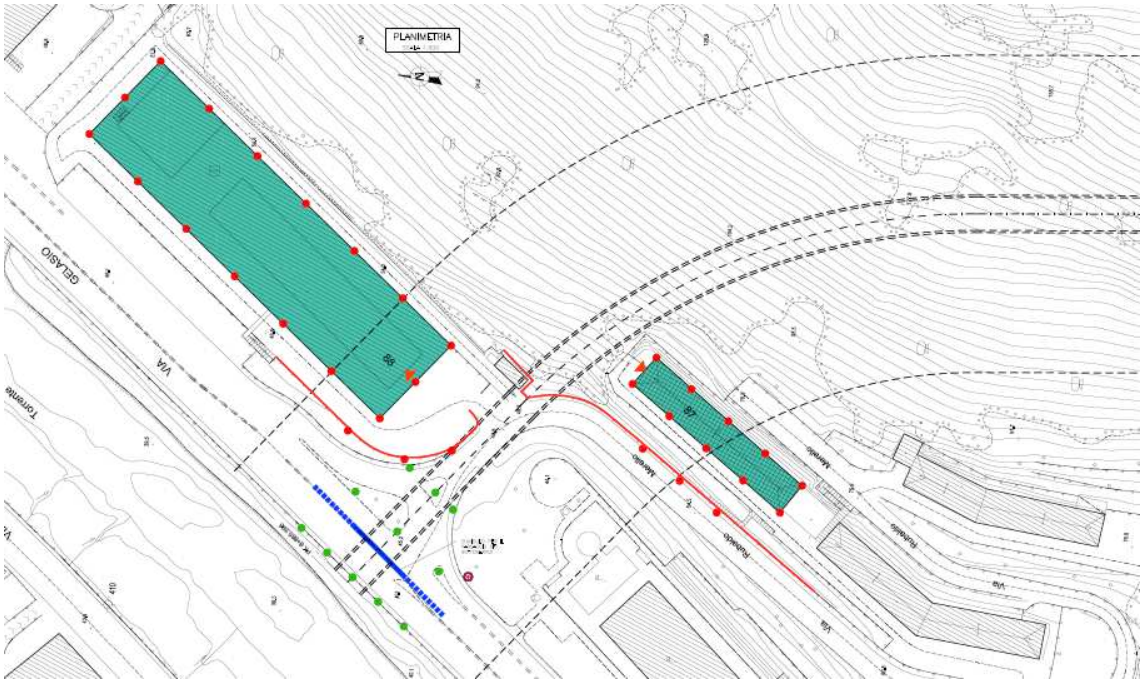


Figura 30 – Galleria Scolmatrice – Tratto di monte – Sistema di monitoraggio

Gli edifici interferiti (in totale 2) saranno oggetto di un controllo topografico, con posizionamento di aste graduate su tutti i 4 lati. Sulle facce rivolte verso lo scavo si provvederà inoltre alla posa in opera di clinometri da parete (uno per ciascun edificio), così da valutare anche eventuali distorsioni delle strutture per effetto delle subsidenze indotte dallo scavo.

L'edificio n°87 (via Merello 8), tenuto conto della sua vicinanza al tracciato della galleria, che nel tratto in oggetto interessa la formazione molto competente del Flysh di Monte Antola, sarà inoltre attrezzato con una stazione per il monitoraggio vibrazionale

Il monitoraggio topografico sarà esteso anche ai muri delimitanti le aree di pertinenza degli edifici, prevedendo la predisposizione di 3+3 caposaldi di livellazione.

E' prevista inoltre l'installazione di un piezometro nell'area a lato della Piscina Comunale Sciorba, da realizzarsi in corrispondenza del sondaggio SEB02 già realizzato.

Da ultimo si segnala la presenza di un cunicolo per sottoservizi che corre lungo la carreggiata direzione sud di via Adamoli, le cui eventuali deformazioni dovranno essere monitorate con l'installazione di tazze livellometriche.

5.3 Galleria Scolmatrice – Imbocco lato mare

Il tratto in oggetto comprende i primi 550,0 m circa della galleria Scolmatrice all'estremità lato mare (primo tratto di circa 50,0 m scavato in tradizionale e porzione iniziale – circa 500,0 m – dello scavo in meccanizzato) ed interessa la formazione del Flysh di Monte Antola con basse coperture (bassissime coperture in corrispondenza dell'asse stradale di C.So Italia e del Forte San Giuliano, caratterizzate inoltre dalla presenza di materiali di riporto sotto il sedime di C.so Italia).

Gli edifici interferiti, come rappresentato nella seguente Figura 31, sono in totale 33, con coperture generalmente inferiori a 15,0 m (edifici con campitura blu scura in figura) o comprese tra 15,0 m e 30,0 m (edifici con campitura celeste).



Figura 31 – Galleria Scolmatrice – Imbocco lato mare – Edifici interferiti

Tenuto conto che, a meno del primissimo tratto sotto C.so Italia, lo scavo viene interamente realizzato all'interno della formazione del Flysh di Monte Antola, caratterizzato da buone caratteristiche geomeccaniche, il monitoraggio degli edifici è stato limitato ai fabbricati più prossimi al tracciato della galleria, su ciascuno dei quali è stato predisposto un sistema di controllo topografico, con posizionamento di aste graduate.

Come riportato in Figura 32, il monitoraggio topografico è stato esteso anche alle strutture dei bastioni terrapienati del Forte San Giuliano ed alla carreggiata di Corso Italia, dove si provvederà alla predisposizione di 3 sezioni di monitoraggio topografico (costituite da 5 capisaldi topografici ciascuna) perpendicolari al tracciato degli scavi, così da valutare lo sviluppo di eventuali fenomeni di subsidenza.

Tutti gli edifici costituenti il complesso del Forte San Giuliano, sede del Comando Provinciale dei Carabinieri, saranno oggetto di monitoraggio vibrazionale da mettere in atto sia nella fase ante operam, per la definizione di un termine di confronto per i livelli di vibrazione associati alla successiva attività di cantiere, sia in corso d'opera, contestualmente alla realizzazione delle opere di sbocco a mare della galleria scolmatrice, allo scavo della galleria con metodo tradizionale (tratta da Corso Italia verso monte) e

con sistema meccanizzato (tratta da monte, a congiungimento con la tratta in tradizionale scavata da valle).

Prima dell'inizio dei lavori l'impresa esecutrice procederà ad un esame preliminare di tutti manufatti ricompresi nel sedime del Forte, potenzialmente interferiti dalle attività di scavo, attraverso un ampio ed esaustivo esame visivo e fotografico, per poi passare al monitoraggio costante del quadro fessurativo rilevato tramite un deformometro centesimale o millesimale, che potrà essere di tipo meccanico oppure di tipo elettronico. Tale monitoraggio si protrarrà per tutta la durata dei lavori nel settore in oggetto.



Figura 32 – Galleria Scolmatrice – Imbocco lato mare – Sistema di monitoraggio

Uno specifico sistema di monitoraggio è stato infine definito per il controllo della struttura di rinforzo degli arconi presenti in prossimità dell'opera di sbocco a mare. Come illustrato nelle figure il sistema prevede l'installazione di

- 12 mire ottiche (3 x 4) sulle travi di rinforzo metalliche principali;
- 18 mire ottiche (6 x 3) sugli arconi della struttura esistente (arconi centrali);
- 30 mire ottiche (10 x 3) sugli arconi della struttura esistente (arconi adiacenti);
- 8 estensimetri su travi metalliche;
- 8 celle di carico (2 x 4) in corrispondenza degli appoggi delle travi metalliche.

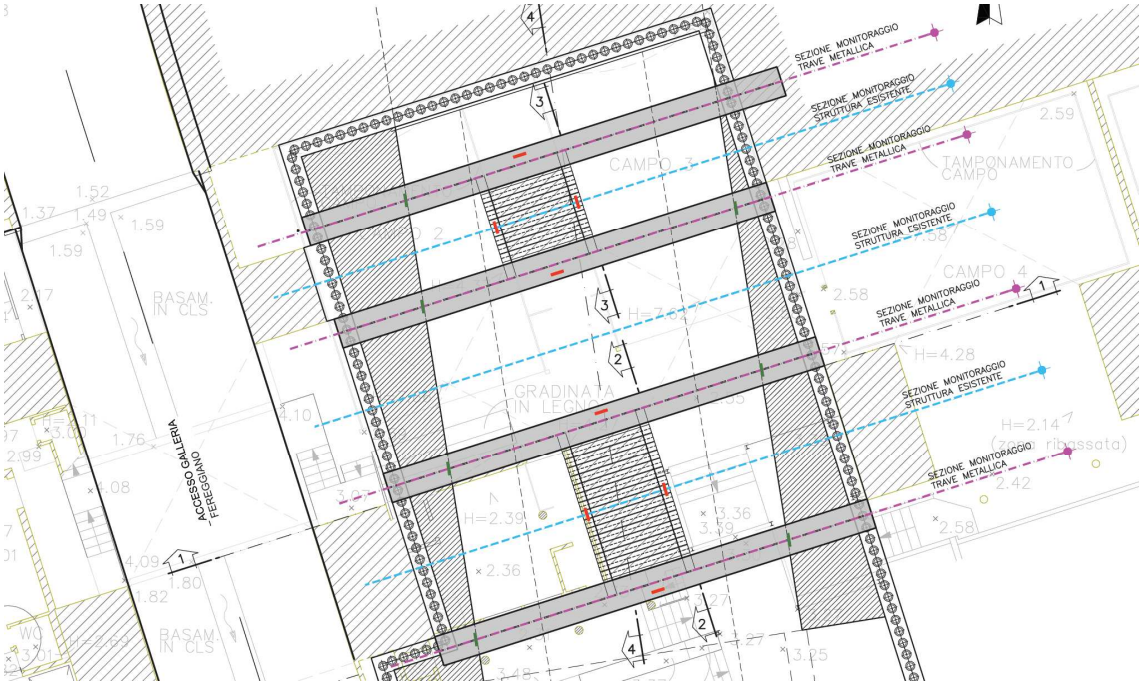


Figura 33 – Galleria Scolmatrice – Imbocco lato mare – Sistema di monitoraggio struttura di rinforzo arconi - Planimetria

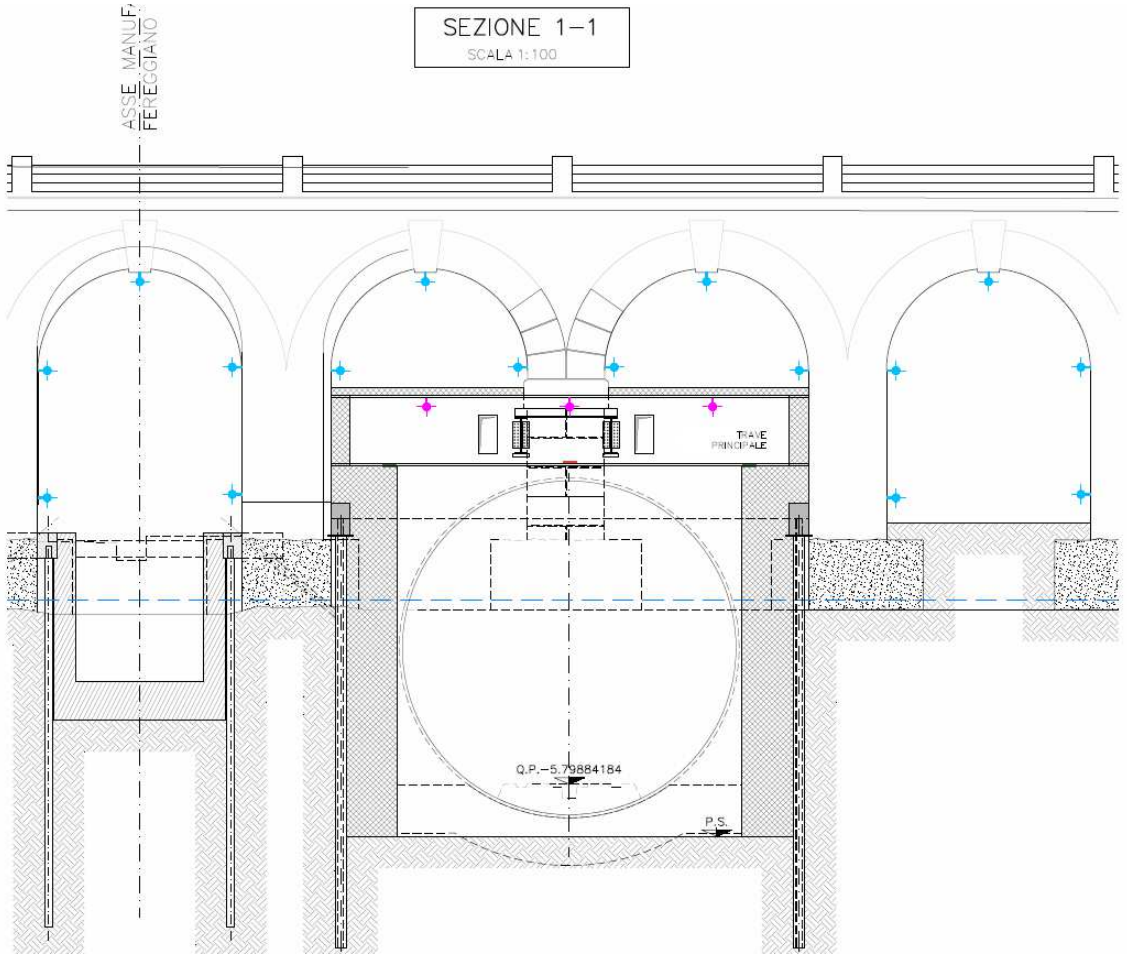


Figura 34 – Galleria Scolmatrice – Imbocco lato mare – Sistema di monitoraggio struttura di rinforzo arconi – Sezione

5.4 Galleria Scolmatrice – Scavo meccanizzato

Il tratto di galleria Scolmatrice scavato in meccanizzato si estende dalla camera di lancio allo sbocco a mare, per uno sviluppo complessivo di 5876 m.

Dal momento che le coperture risultano generalmente elevate, non si sono previste in generale attività di monitoraggio di superficie e/o degli edifici, a meno di aree localizzate in cui, in presenza di ricoprimenti inferiori ai 50,0 m, si è provveduto alla predisposizione di un sistema di monitoraggio topografico mediante posizionamento di aste graduate sui fabbricati ritenuti più significativi.

In particolare le aree di indagine sono le seguenti:

- Tratto a basse coperture immediatamente prossimo al tratto di imbocco lato mare (indicativamente tra progr. Km 0+600 e Km 1+120 - Figura 35);
- Tratto a basse coperture in corrispondenza del graben di Terralba (indicativamente tra progr. Km 2+000 e Km 2+400 - Figura 36);
- Tratto a basse coperture in corrispondenza dell'impluvio del Fereggiano (indicativamente tra progr. Km 3+680 e Km 3+760 - Figura 37);



Figura 35 – Galleria Scolmatrice – Scavo meccanizzato – Sistema di monitoraggio per il tratto tra progr. Km 0+600 e Km 1+120



Figura 36 – Galleria Scolmatrice – Scavo meccanizzato – Sistema di monitoraggio per il tratto tra progr. Km 2+000 e Km 2+400

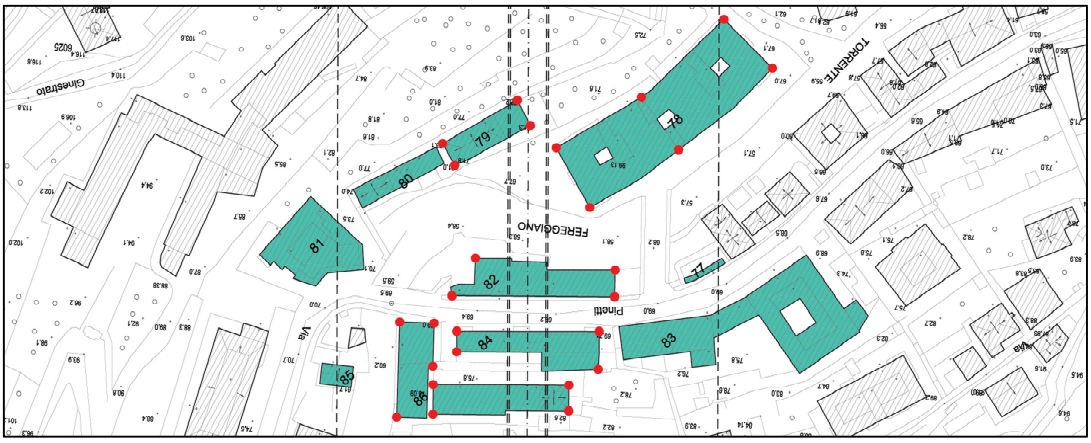


Figura 37 – Galleria Scolmatrice – Scavo meccanizzato – Sistema di monitoraggio per il tratto tra progr. Km 3+680 e Km 3+760

5.5 Gallerie esistenti RFI

Uno specifico sistema di monitoraggio verrà dedicato alle gallerie della linea ferroviaria esistente Genova – La Spezia che verranno sottopassate dalla Galleria Scolmatrice alla progr. Km 1+520 circa, con coperture di circa 6,20 m, come indicato nella seguente Figura 38.

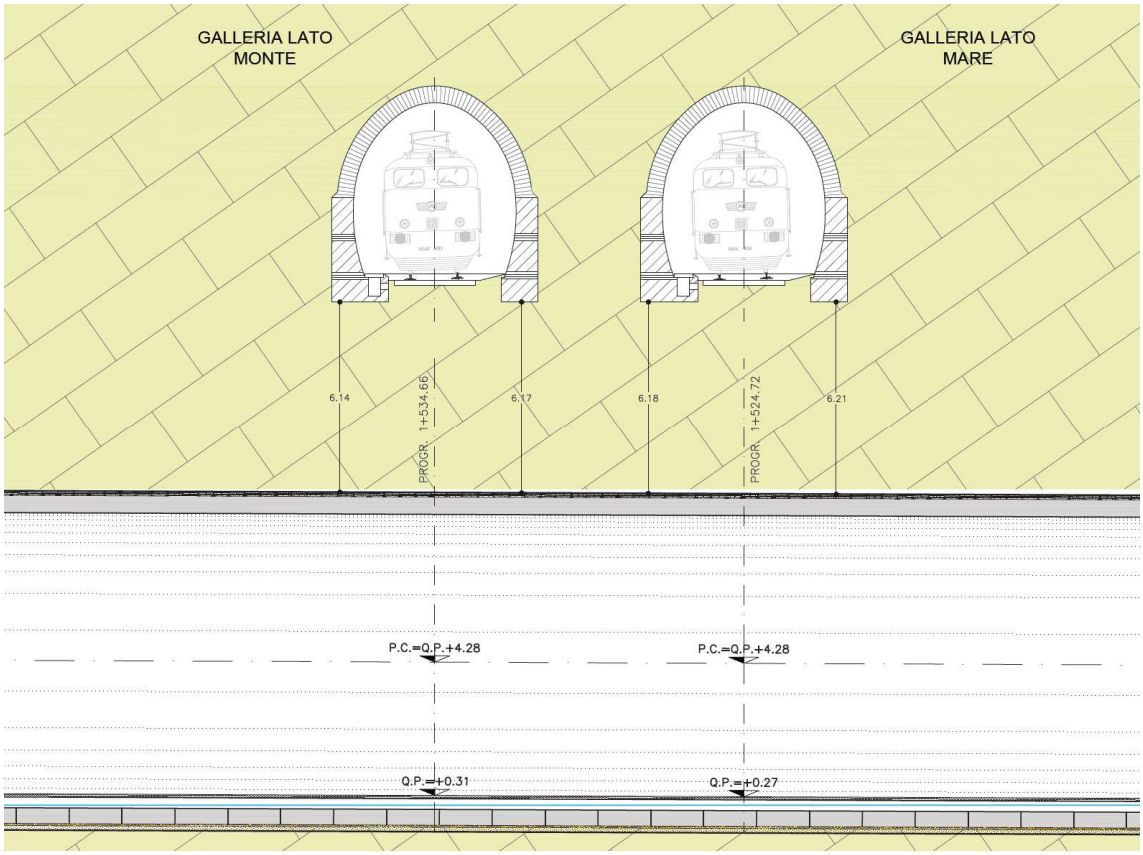


Figura 38 – Intersezione tra Galleria Scolmatrice e linea ferroviaria esistente Genova – La Spezia

In particolare si prevedrà il monitoraggio tenso-deformativo delle gallerie esistenti, con predisposizione di sezioni di misura topografica delle convergenze con posizionamento di 3 mire topografiche in corrispondenza di piano dei centri e chiave calotta (sezione tipo A) puntualmente integrate con rilievi dello stato tensionale del rivestimento mediante martinetto piatto (sezione tipo B). Come illustrato nella seguente Figura 39, saranno poste in opera 4 sezioni tipo A e 3 sezioni tipo B, intervallate a distanza di 9,0 m l'una dall'altra.

I binari saranno monitorati con sistema automatico RDS, al fine di valutare possibili deformazioni indotte dallo scavo della galleria Scolmatrice che possano eventualmente interferire con la gestione dell'esercizio. In particolare, come indicato schematicamente in Figura 40, si provvederà al posizionamento di 38 elettrolivelle trasversali (19 per binario) solidali alle traversine, con interasse pari a 3,0m. Sulle elettrolivelle saranno posizionate (con interasse 9,0 m) mire ottiche per la determinazione delle deformazioni longitudinali.

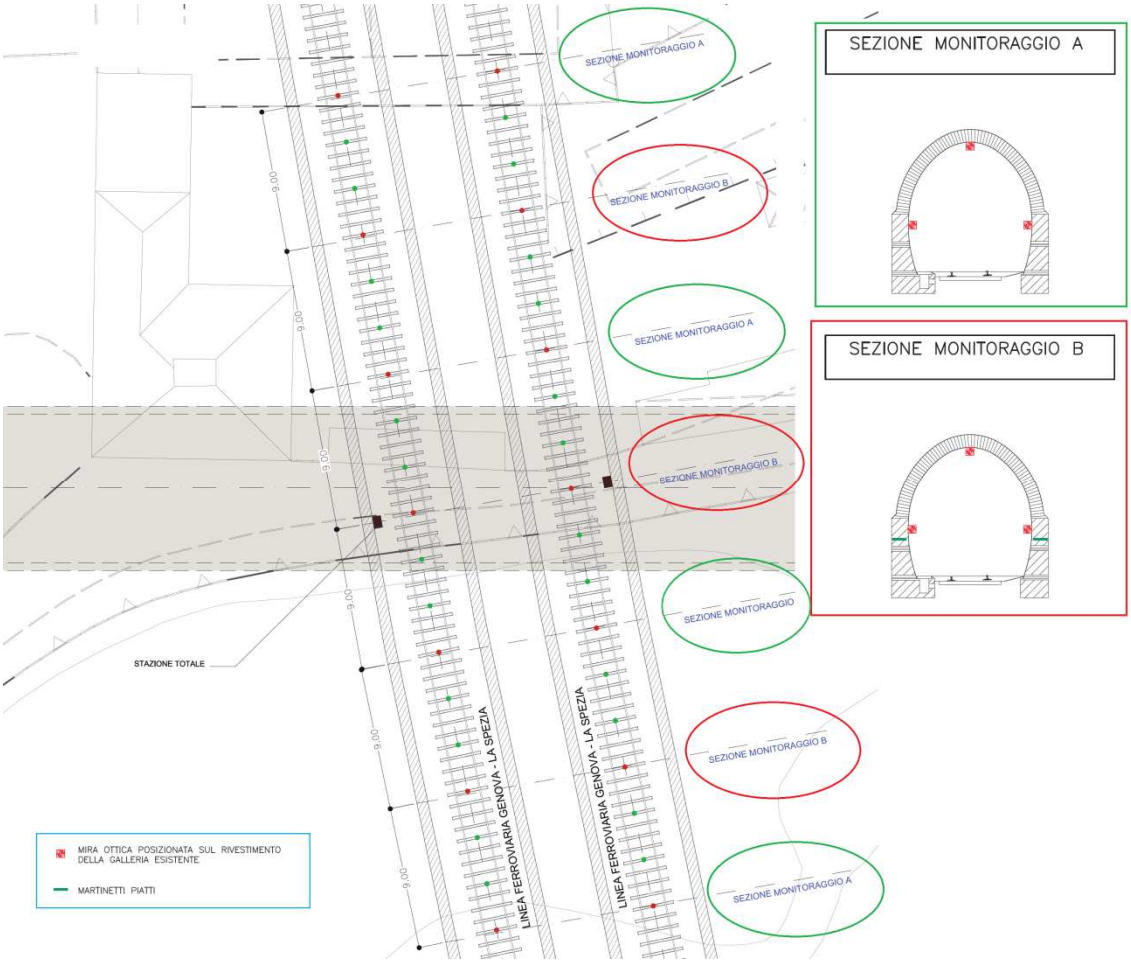


Figura 39 – Linea ferroviaria esistente Genova – La Spezia – Monitoraggio tenso-deformativo delle gallerie esistenti

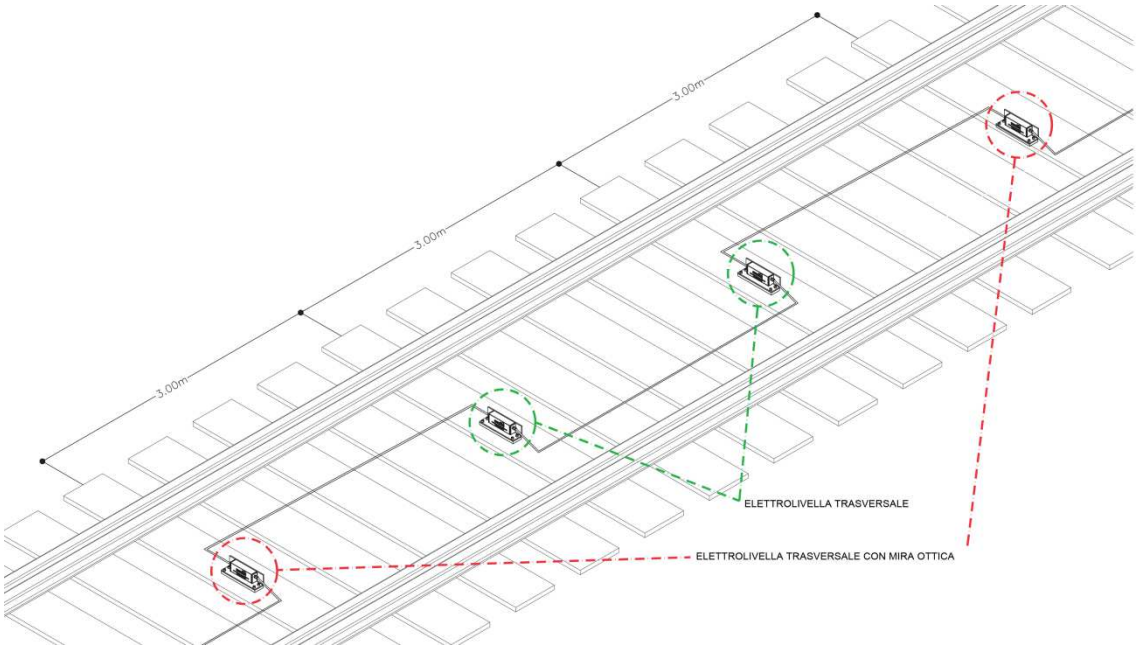


Figura 40 – Linea ferroviaria esistente Genova – La Spezia – Monitoraggio dei binari

5.6 Frequenza di lettura

Le frequenze di lettura di ciascuno degli strumenti indicati sono sintetizzate nella seguente tabella:

Strumento	Ubicazione	Frequenza di lettura
Caposaldi di livellazione		**1 lettura/giorno -** distanza fronte di scavo < 15 m. **1 lettura/settimana** – distanza fronte di scavo < 30 m. **1 lettura/15gg** – distanza fronte di scavo 30÷60 m. **1 lettura/mese** – distanza fronte di scavo > 60 m (fino a stabilizzazione).
Piezometro	Imbocco Lato Monte	**1 lettura/settimana** – distanza fronte di scavo < 100 m. **1 lettura/mese** – distanza fronte di scavo > 100 m (fino a stabilizzazione).
Inclinometro	Area ex canile	**1 lettura/settimana** – distanza fronte di scavo < 100 m. **1 lettura/mese** – distanza fronte di scavo > 100 m (fino a stabilizzazione).
Aste graduate di livellazione - edifici		**1 lettura/giorno -** distanza fronte di scavo < 15 m. **1 lettura/settimana** – distanza fronte di scavo < 30 m. **1 lettura/15gg** – distanza fronte di scavo 30÷60 m. **1 lettura/mese** – distanza fronte di scavo > 60 m (fino a stabilizzazione).
Clinometri da parete		**1 lettura/settimana** – distanza fronte di scavo < 30 m. **1 lettura/15gg** – distanza fronte di scavo 30÷60 m. **1 lettura/mese** – distanza fronte di scavo > 60 m (fino a stabilizzazione).
Monitoraggio vibrazioni		**1 lettura/giorno -** distanza fronte di scavo < 15 m. **1 lettura/settimana** – distanza fronte di scavo < 30 m. **1 lettura/15gg** – distanza fronte di scavo 30÷60 m (fino a stabilizzazione).
Tazze livellometriche	Cunicolo impianti (lato monte)	**1 lettura/settimana** – distanza fronte di scavo < 30 m. **1 lettura/15gg** – distanza fronte di scavo 30÷60 m. **1 lettura/mese** – distanza fronte di scavo > 60 m (fino a stabilizzazione).
Monitoraggio paratia	Area ex canile	**1 lettura/giorno** – durante gli scavi di ribasso della paratia **1 lettura/settimana** – distanza fronte di scavo < 30 m. **1 lettura/mese** – distanza fronte di scavo > 30 m (fino a stabilizzazione).

Strumento	Ubicazione	Frequenza di lettura
Monitoraggio struttura di rinforzo arconi	Imbocco Lato Mare	**Lettura in continuo** – distanza fronte di scavo < 50 m (fino a stabilizzazione)
Monitoraggio Gallerie RFI esistenti		**Lettura in continuo** – distanza fronte di scavo < 50 m (fino a stabilizzazione)

Tabella 1 – Frequenze di lettura

I valori indicati potranno comunque essere tarati in corso d'opera in funzione di quanto effettivamente rilevato nel corso delle lavorazioni.

6 CONCLUSIONI

La presente relazione di Monitoraggio si inserisce tra i documenti previsti nell'ambito del Progetto Esecutivo del 2° Lotto dei lavori per la realizzazione della galleria Scolmatrice del torrente Bisagno, in comune di Genova.

L'intervento oggetto dell'affidamento di progettazione esecutiva comprende nello specifico il complesso delle opere di presa e sistemazione dell'alveo Bisagno, la galleria Scolmatrice con sviluppo complessivo di 6500 m circa da scavarsi con sistema meccanizzato e gli interventi connessi allo sbocco a mare presso la spiaggia di San Giuliano, con il completamento del manufatto di convergenza della galleria Bisagno sulla galleria Scolmatrice del torrente Fereggiano, i cui lavori sono in corso di completamento.

Dopo una sintetica descrizione delle caratteristiche principali dell'opera si è riportato un inquadramento del sistema di monitoraggio predisposto che oltre a raccogliere informazioni circa il comportamento deformativo della galleria e dell'ammasso roccioso sovrastante sarà finalizzato a valutare eventuali fenomeni di interferenza tra le lavorazioni di scavo e gli edifici presenti in superficie.

Da ultimo si è analizzato nel dettaglio il monitoraggio previsto da piano campagna e per il controllo degli edifici, rimandando invece ad uno specifico elaborato la trattazione del monitoraggio in sotterraneo.