0	11/2017	PRIMA EMISSIONE	SPIGARELLI	GATTI	CASSANI
Revisione	**Data**	**Oggetto revisione**	**Redatto**	**Verificato**	**Approvato**

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



Progettista/Progettisti responsabili elaborato
Rocksoil S.p.A.
Ing. Giovanna Cassani
Ord. Ingg. Milano N° 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 - OST00 -RE05- 0

Oggetto della tavola

OPERE IN SOTTERRANEO

GENERALI

Relazione di monitoraggio

Scala: -

Data: NOVEMBRE 2017

Codice FILE: BIS2E-R-OST00-RE05-0.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 MONITORAGGIO IN GALLERIA 17
4.1 Criteri generali 17
4.2 Specifiche tecniche della strumentazione e frequenza di lettura 20
4.2.1 Rilievo geomeccanico del fronte di scavo 20
4.2.2 Misura delle convergenze 20
4.2.3 Monitoraggio tenso-deformativo del rivestimento di prima fase mediante strain meters 22
4.2.4 Monitoraggio tenso-deformativo del rivestimento definitivo mediante strain meters 23
4.2.5 Monitoraggio deformativo dell'ammasso mediante estensimetri multibase 24
4.2.6 Monitoraggio piezometrico 25
4.3 Finestra di servizio 26
4.4 Galleria Scolmatrice – Tratta a monte 27
4.5 Galleria Scolmatrice – Corso Italia 28
4.6 Galleria Scolmatrice – Camera di lancio 28
4.7 Galleria Scolmatrice – Camerone e allargo finestra 28
4.7.1 Monitoraggio in fase di cantiere 29
4.7.2 Monitoraggio in fase di esercizio 31
4.8 Galleria Scolmatrice – Scavo meccanizzato 35
5 CONCLUSIONI 36

1 INTRODUZIONE

La presente Relazione 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.

Il sistema di monitoraggio predisposto permetterà di raccogliere informazioni circa il comportamento deformativo della galleria e dell'ammasso roccioso sovrastante, sia con strumentazione profonda (inclinometri e piezometri), sia con strumentazione in superficie (principalmente mire topografiche). Dal momento che lo scavo viene realizzato in ambito urbano, particolare attenzione verrà dedicata anche al 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 per gli avanzamenti in sotterraneo, rimandando invece ad uno specifico elaborato la trattazione del monitoraggio da piano campagna e degli edifici.

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.

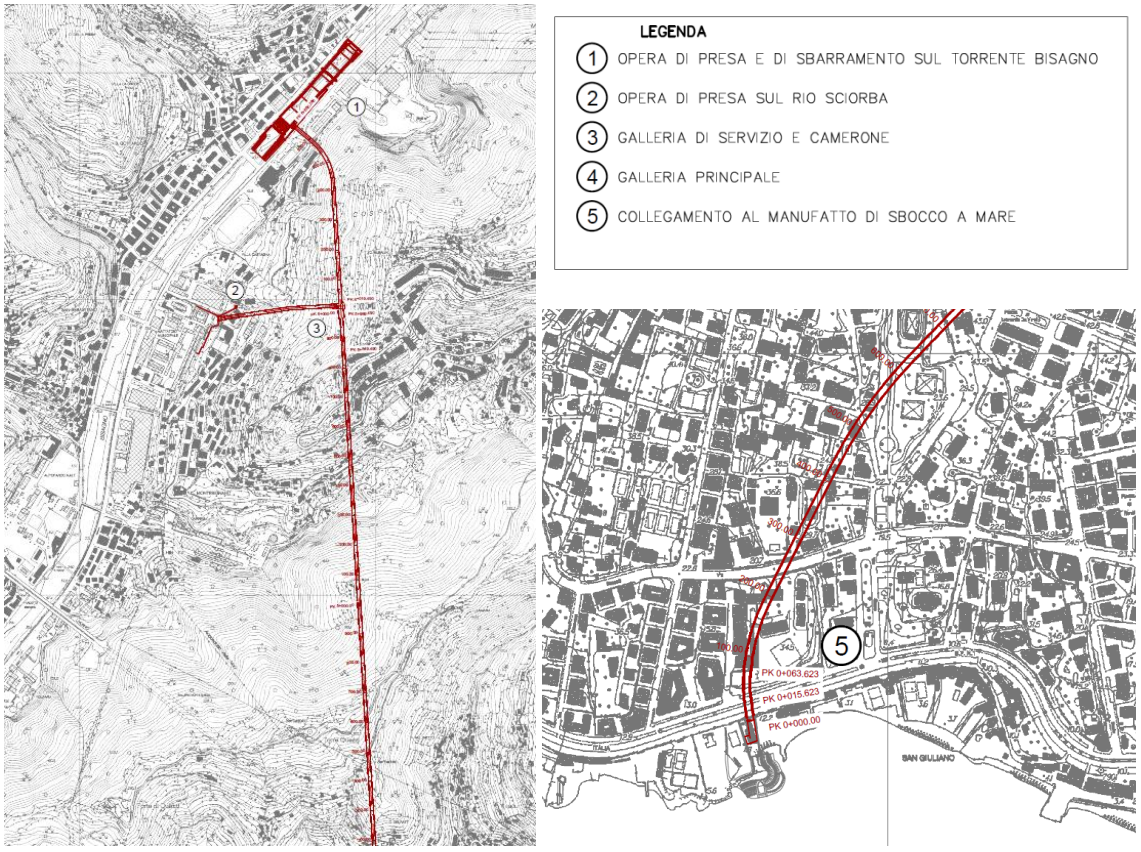


Figura 1 – Inquadramento generale dell'intervento

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.

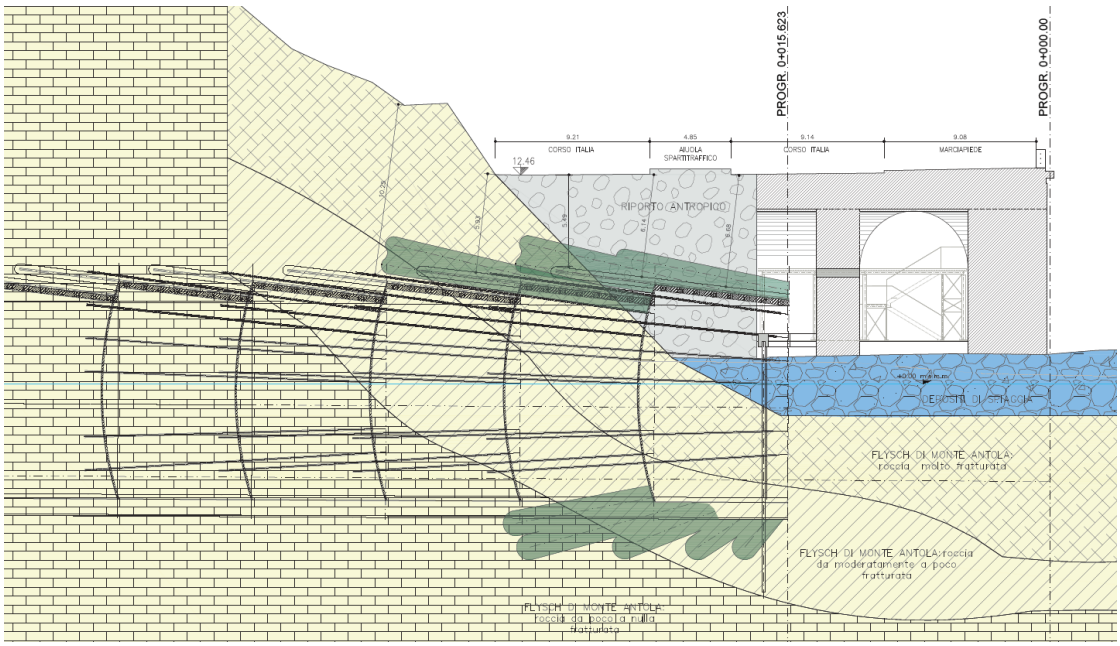


Figura 2 – Profilo longitudinale scavo in tradizionale galleria Scolmatrice – tratta a mare (sotto attraversamento C.so Italia)

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).

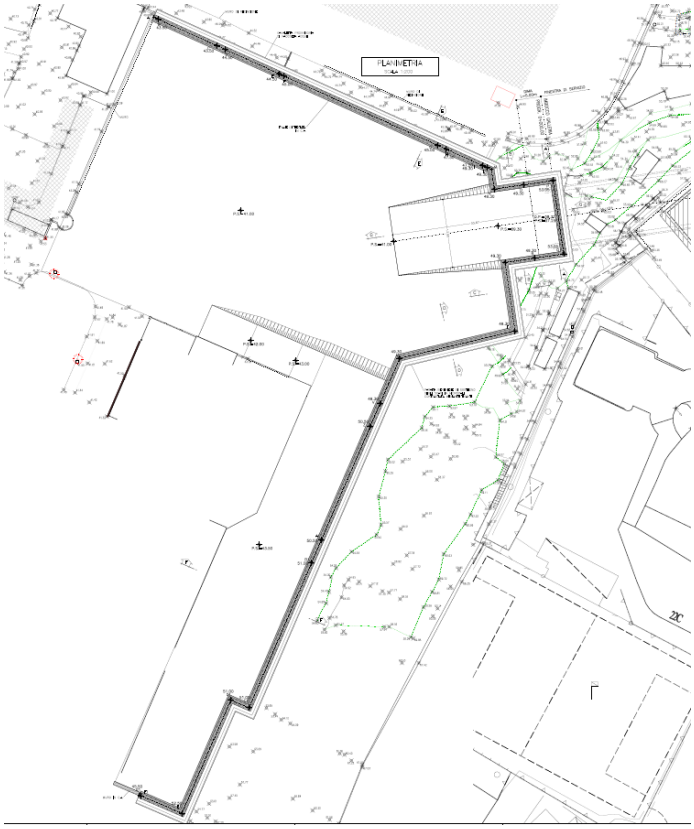


Figura 3 – Planimetria di inquadramento paratia di imbocco cantiere principale ex canile

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.

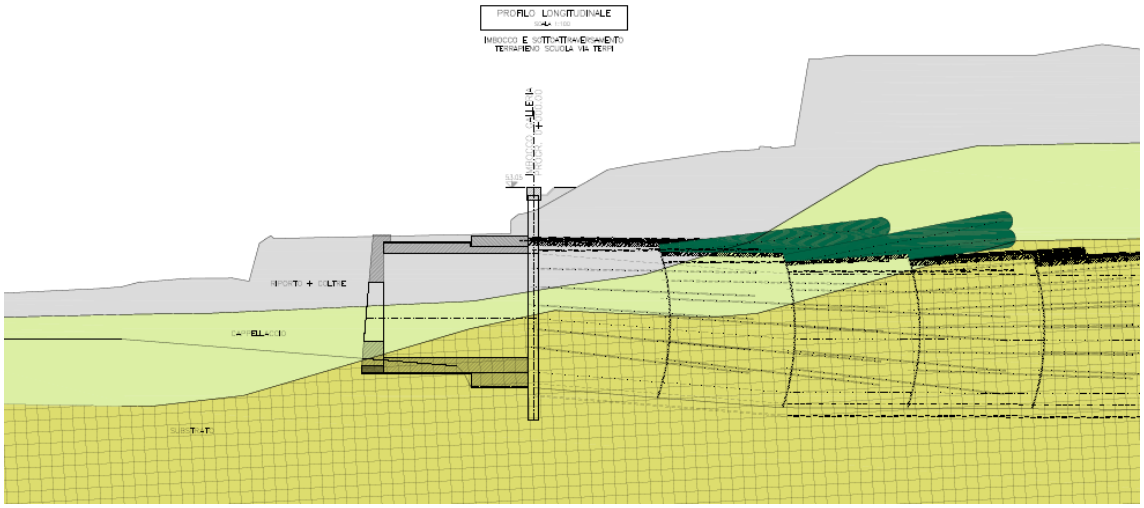


Figura 4 – Profilo longitudinale finestra di servizio – tratta di imbocco

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.

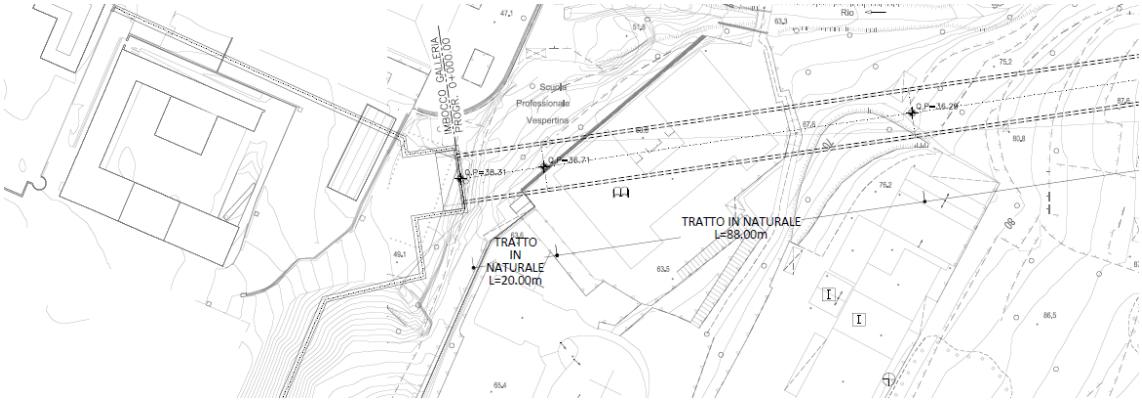


Figura 5 – Planimetria finestra di accesso

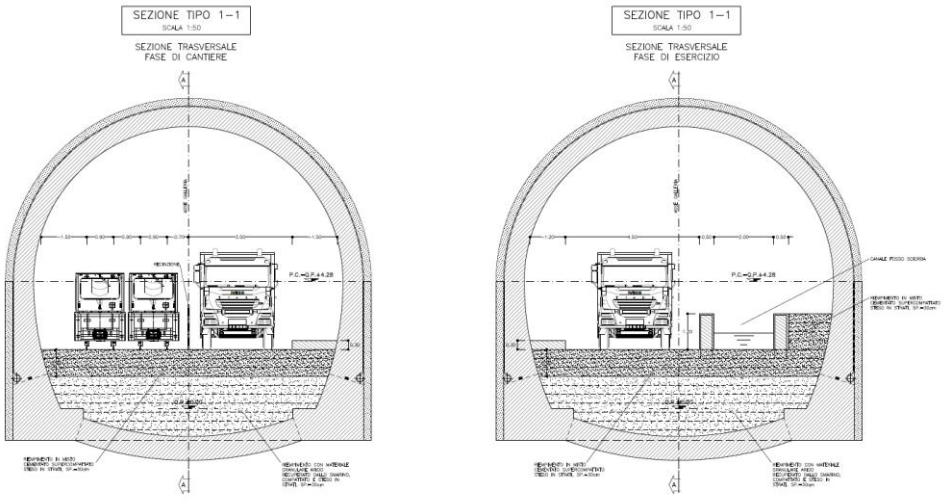


Figura 6 – Sezioni trasversali funzionali finestra di accesso – fase di cantiere

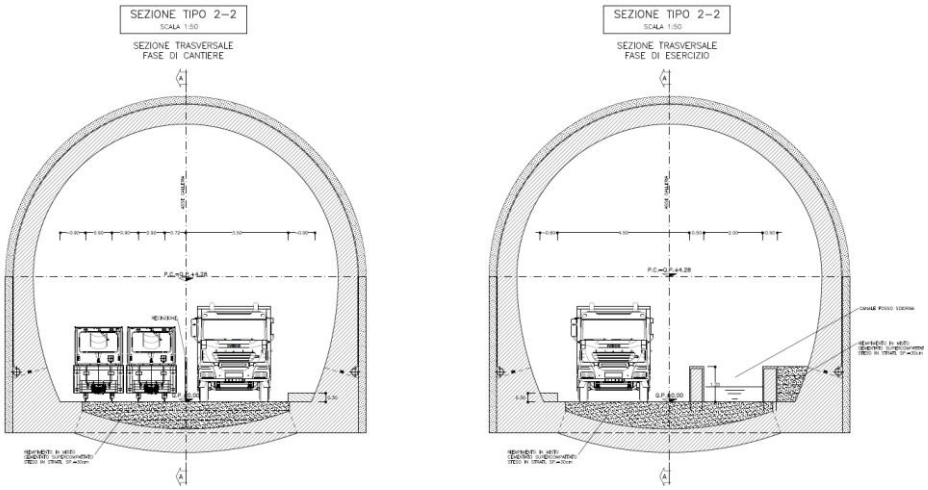


Figura 7 – Sezioni trasversali funzionali finestra di accesso – fase di esercizio

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).

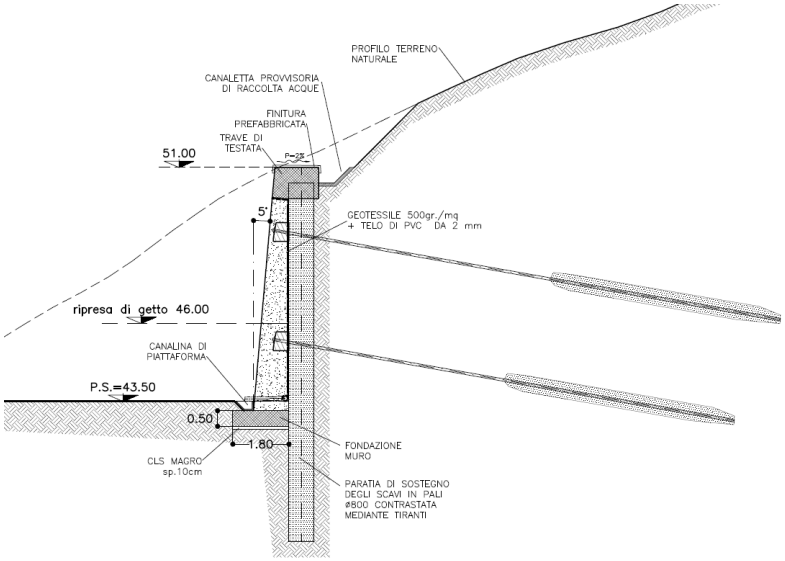


Figura 8 – Paratia di imbocco – sezione trasversale tipo sistemazione finale

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.

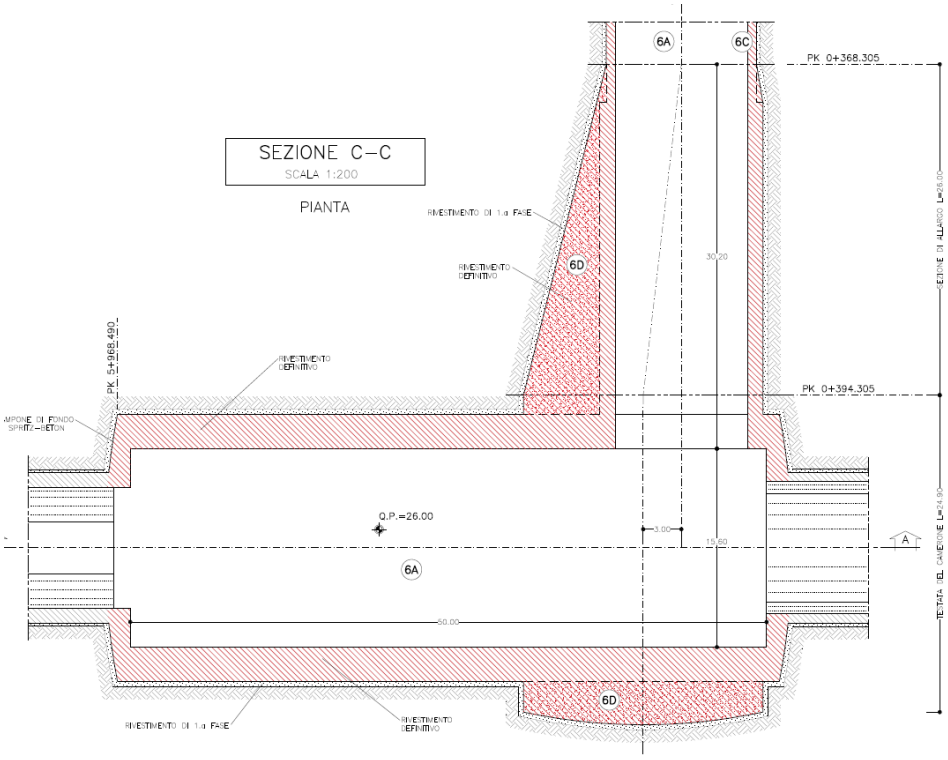


Figura 9 – Camerone di montaggio TBM – planimetria d'insieme

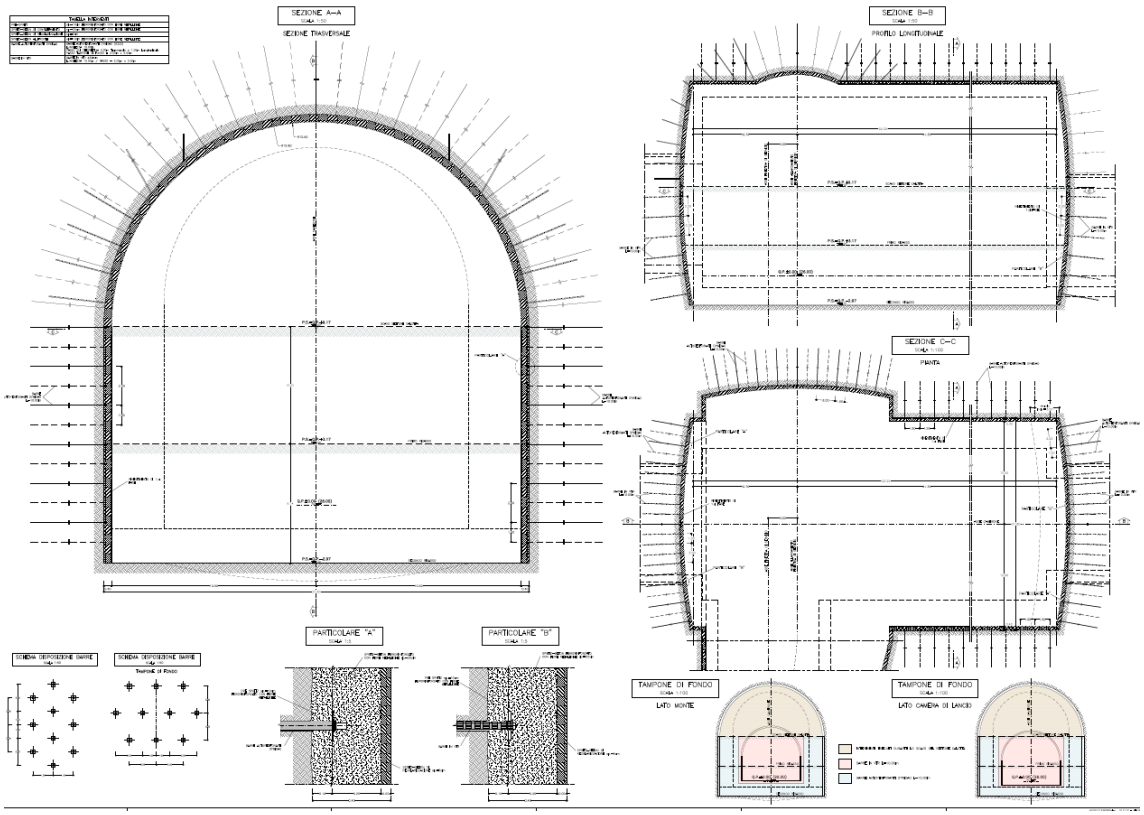


Figura 10 – Camerone di montaggio TBM – sezione tipologica interventi di sostegno provvisionale

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).

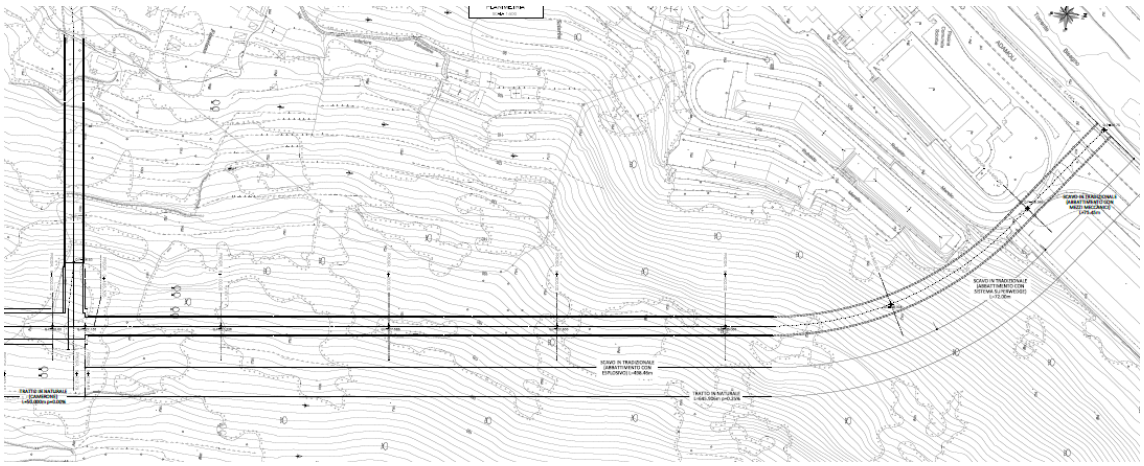


Figura 11 – Galleria Scolmatrice - tratta di monte

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.

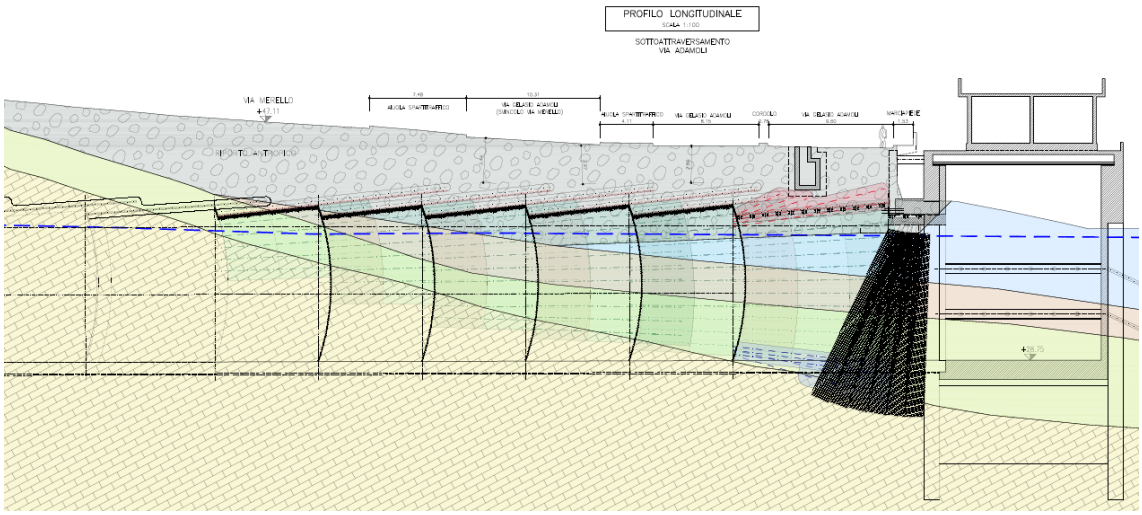


Figura 12 – Galleria Scolmatrice tratta di monte – profilo interventi di scavo e consolidamento

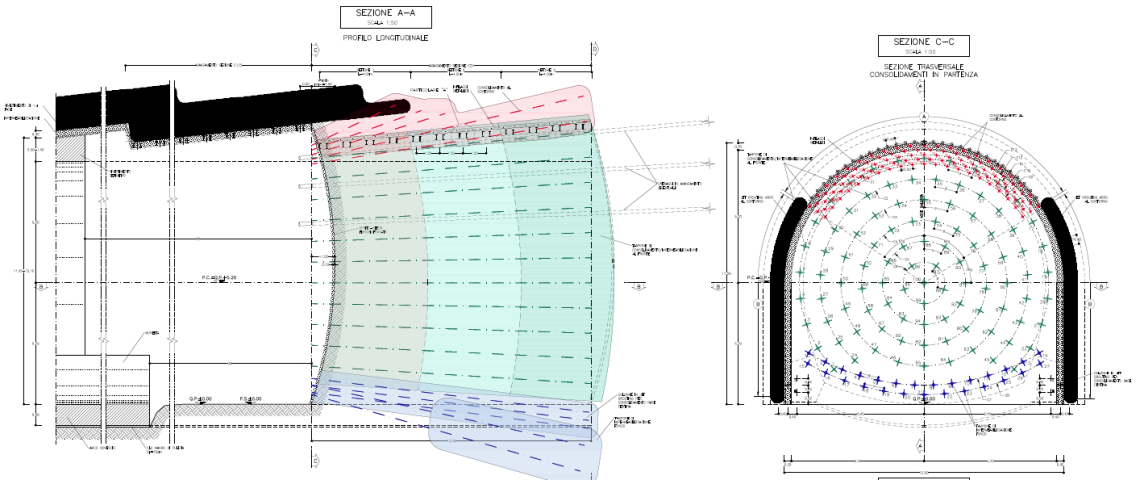


Figura 13 – Galleria Scolmatrice tratta di monte - sezione tipologica di scavo e consolidamento sotto la carreggiata stradale di Via Adamoli

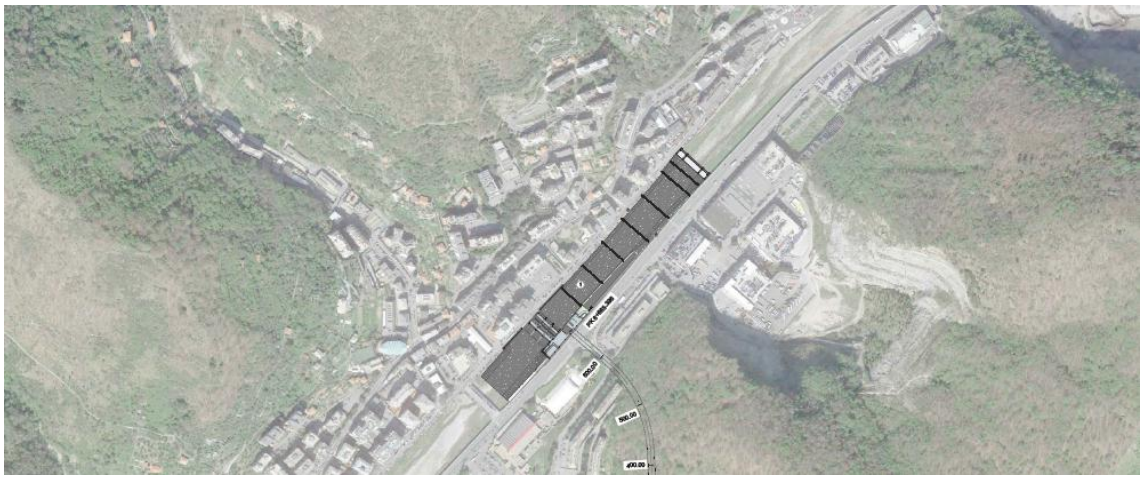


Figura 14 – Galleria Scolmatrice tratta di monte - stralcio planimetria su fotopiano

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.

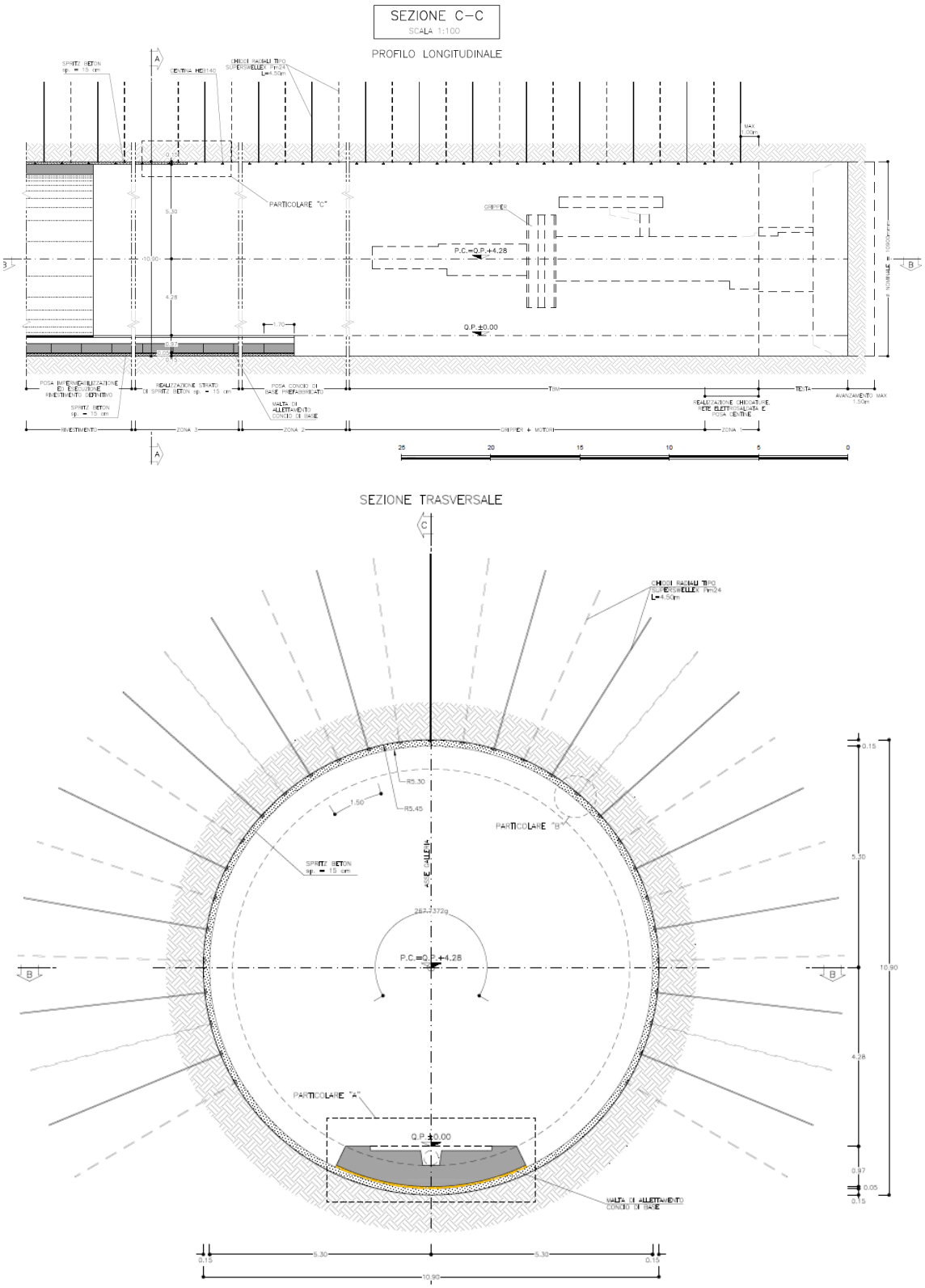


Figura 15 – Galleria Scolmatrice – tratta scavata con sistema meccanizzato – Profilo longitudinale e sezione tipo interventi di sostegno provvisionale

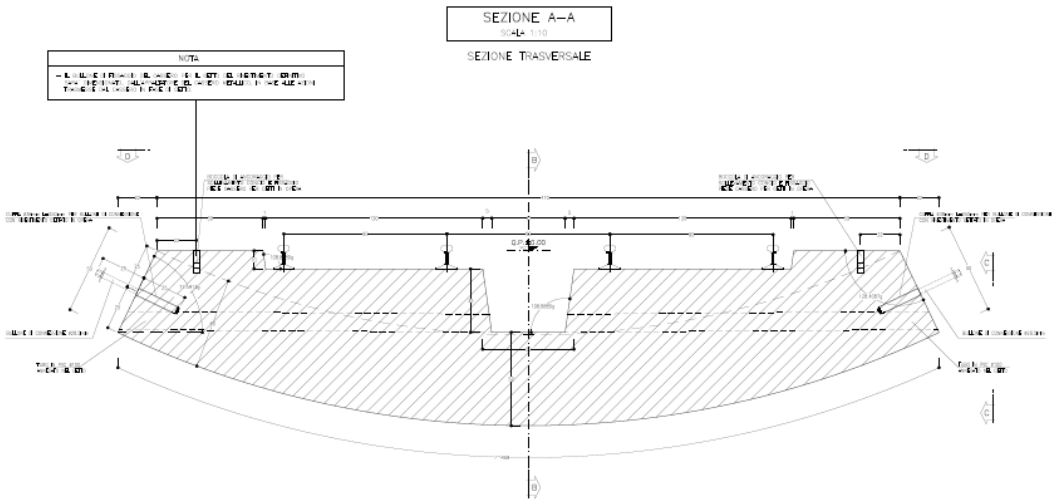


Figura 16 – Galleria Scolmatrice – tratta scavata con sistema meccanizzato – carpenteria concio di base

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 previsto in galleria. Per le altre due categorie (monitoraggio da piano campagna e monitoraggio degli edifici) si rimanda invece all'elaborato specifico BIS-2E-R-PMS00-RE02 "*Piano di monitoraggio di superficie e degli edifici sensibili*".

4 MONITORAGGIO IN GALLERIA

4.1 Criteri generali

Il monitoraggio in galleria è stato impostato prevedendo, oltre all'esecuzione sistematica nel corso degli avanzamenti di rilievi del fronte, la realizzazione lungo il tracciato di sezioni di monitoraggio di tre tipologie, con intensità di strumentazione e grado di dettaglio crescenti:

In particolare le sezioni di monitoraggio individuate sono le seguenti:

- **Sezione tipo A** – Sezione di monitoraggio topografico in fase di scavo, che prevede il rilievo ad alta precisione delle coordinate di 5 punti di misura (mire ottiche per misure di convergenza) disposti sul rivestimento di prima fase della galleria. Indicativamente le mire ottiche saranno disposte in corrispondenza della chiave calotta, del piano dei centri e dell'attacco dei piedritti, come indicato nella seguente Figura 17 (la posizione esatta varierà in funzione della sagoma della sezione di scavo).
  La sezione sarà applicata sistematicamente nel corso degli avanzamenti, con un intervallo tra stazioni di misura successive indicativamente pari a 50,0 m;

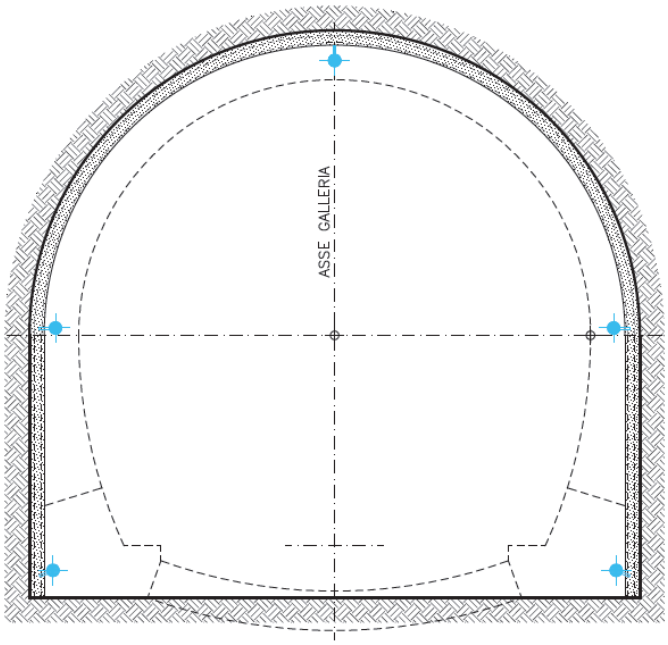


Figura 17 – Monitoraggio in galleria – Sezione di monitoraggio tipo A

- **Sezione tipo B** – Sezione di monitoraggio tenso-deformativo del cavo, rappresenta un'evoluzione della sezione tipo A rispetto alla quale, oltre al monitoraggio topografico del rivestimento di prima fase, è previsto anche il posizionamento di 3 coppie di strain-meters (da saldare alle centine in corrispondenza di piano dei centri e chiave calotta, come indicato in Figura 18) per la misura dello stato tensionale (nel caso di sezioni che prevedono l'esecuzione di interventi di chiodatura radiale gli strain-meters sulle centine saranno sostituiti da bulloni strumentati con estensimentri).
  La sezione prevede inoltre il monitoraggio del rivestimento di seconda fase, sia dal punto di vista deformativo (con il posizionamento di 3 miniprismi per misure di convergenza in chiave calotta e al piano dei centri) che dal punto di vista tensionale (4 coppie di strain meters collegate

all'armatura o annegate nel calcestruzzo in corrispondenza di chiave calotta, piano dei centri e chiave arco rovescio).
La sezione sarà applicata puntualmente nel corso degli avanzamenti, con un intervallo tra stazioni di misura successive indicativamente pari a 500,0 m;

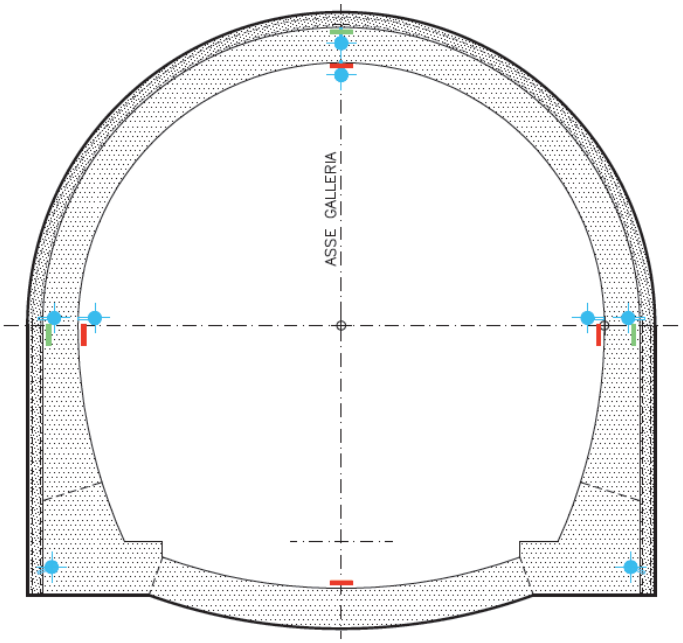


Figura 18 – Monitoraggio in galleria – Sezione di monitoraggio tipo B (con centina)

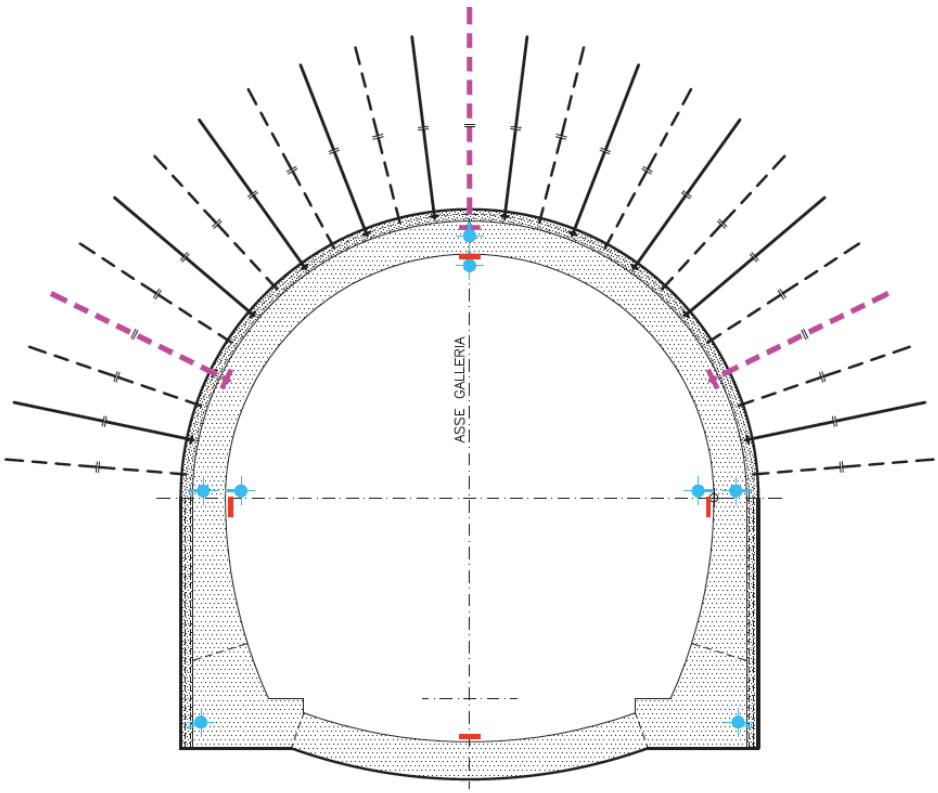


Figura 19 – Monitoraggio in galleria – Sezione di monitoraggio tipo B (con intervento di chiodatura radiale)

- **Sezione tipo C** – La sezione rappresenta un'ulteriore evoluzione della sezione tipo B alla quale, mantenendo la strumentazione descritta in precedenza, viene aggiunto il posizionamento di due estensimetri multibase (L = 20,0 m – 4 basi di misura) in corrispondenza dei reni, per la valutazione del comportamento deformativo dell'ammasso nell'intorno dello scavo, e di due piezometri radiali (L = 10,0 m – 2 celle) per la valutazione dello stato di falda e della presenza di eventuali pressioni neutre a tergo del rivestimento.
  La sezione verrà applicata localmente, nelle zone di tracciato ritenute più significative (in totale saranno previste 4 sezioni).

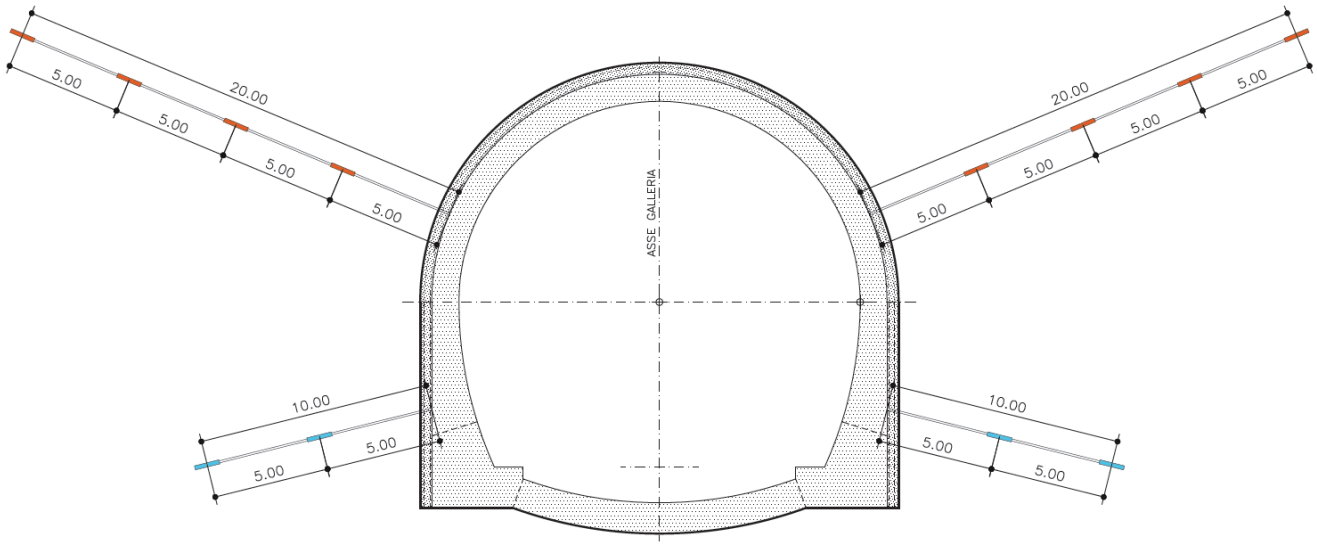


Figura 20 – Monitoraggio in galleria – Sezione di monitoraggio tipo C

Nei paragrafi seguenti, dopo una descrizione delle specifiche tecniche relative alla strumentazione da installare e delle frequenze di lettura previste, si riporta una spiegazione sintetica dell'applicazione delle diverse sezioni per ciascuna tratta di galleria.

4.2 Specifiche tecniche della strumentazione e frequenza di lettura

4.2.1 Rilievo geomeccanico del fronte di scavo

Il rilievo del fronte di scavo consiste nel rilevamento e nella restituzione grafica e numerica delle caratteristiche geologiche-geostrutturali e geomeccaniche del fronte di scavo valutate durante gli avanzamenti.

Si possono distinguere due differenti tipologie di rilievo:

- rilievi di tipo “analitico”;
- rilievi di tipo “speditivo”.

Nei rilievi di tipo analitico devono essere descritte in dettaglio le caratteristiche litologiche stratigrafiche e strutturali dell’ammasso, con indicazione della litologia e delle caratteristiche petrografiche, del grado e tipo di compattezza/cementazione, della granulometria, dello stato di alterazione, delle caratteristiche delle discontinuità (tipo, localizzazione, giacitura, geometria, tipo di riempimento, JRC, JRS), nonché osservazioni sulle venute d’acqua e sugli eventuali distacchi. Durante i rilievi di tipo analitico, si potranno prelevare campioni per prove di laboratorio (prove di classificazione, di compressione, triassiali, di taglio su giunto, di estrusione …) ed eventualmente eseguire prove in situ (pressiometriche, dilatometriche, scissometriche…).

Nei rilievi di tipo speditivo, basterà rilevare qualitativamente le caratteristiche litologico-stratigrafiche e strutturale dell’ammasso.

Si prevede la seguente frequenza di rilievi, da tarare eventualmente in corso d’opera in funzione delle effettive condizioni dell’ammasso:

- rilievi analitici: in corrispondenza di cambi di litologia o, al massimo, ogni 250,0 m;
- rilievi speditivi:ogni campo di avanzamento (indicativamente ogni 8,0÷12,0 m).

4.2.2 Misura delle convergenze

Le misure in oggetto, come già anticipato, consentono di stimare le deformazioni del cavo della galleria attraverso il sistematico rilievo ad alta precisione delle coordinate di 5 punti di misura disposti lungo il perimetro del cavo stesso e attrezzati con mire ottiche (Figura 21, per il rilievo delle convergenze del pre-rivestimento) o miniprismi (Figura 22, per il rilievo delle convergenze del rivestimento definitivo) 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

Le mire ottiche vengono generalmente installate durante la posa in opera della centina, quando è possibile, mediante un foro eseguito con un fioretto, ancorare efficacemente ed in completa sicurezza i supporti all’ammasso e successivamente, appena terminata la proiezione dello spritz-beton sulla centina, procedere al posizionamento delle mire ottiche e all’effettuazione della lettura di riferimento (lettura di zero).

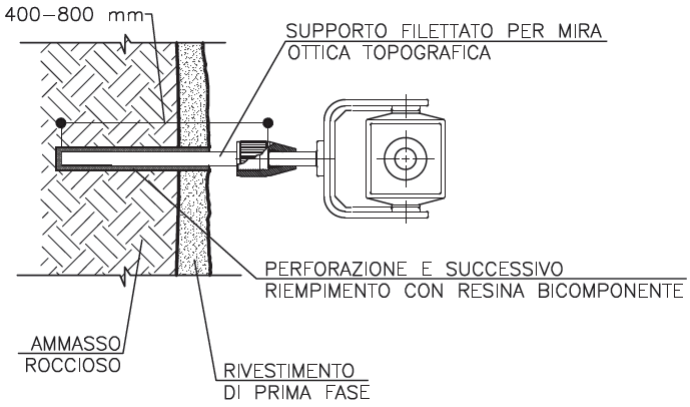


Figura 21 – Mire ottiche per il rilievo delle convergenze del rivestimento di prima fase

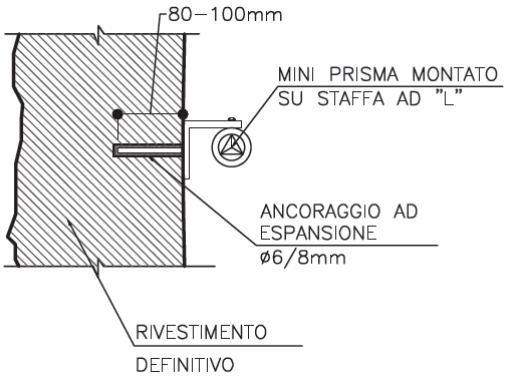


Figura 22 – Mire ottiche per il rilievo delle convergenze del rivestimento definitivo

Le misure saranno effettuate con strumento topografico a lettura manuale. La convergenza del cavo si intenderà riferita al valore medio di tre delle misure diametrali condotte, con riferimento a quanto riportato nella successiva Figura 23.

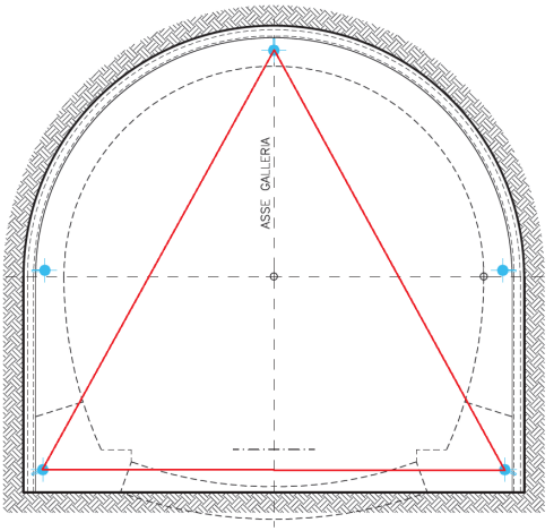


Figura 23 – Convergenza diametrale media

La frequenza dei rilevamenti, passibile di modifiche in corso d'opera, sarà di massima la seguente:

Rivestimento di prima fase:

- n. 1 lettura al giorno durante le fasi di scavo dei due campi successivi rispetto alla posizione della stazione;
- n. 1 lettura integrativa a fronte fermo successivamente all'esecuzione di lavorazioni quali scavo e getto dell'arco rovescio e/o esecuzione di consolidamenti del nucleo;
- n. 2 letture settimanali per il periodo immediatamente successivo, fino ad una distanza di 50,0 m dal fronte;
- n. 1 lettura settimanale per una distanza dal fronte superiore a 50,0 m, fino a stabilizzazione del dato.

Rivestimento definitivo:

- n. 2 letture settimanali, fino a stabilizzazione del dato.

4.2.3 *Monitoraggio tenso-deformativo del rivestimento di prima fase mediante strain meters*

Per la determinazione delle deformazioni e dei carichi nelle centine del rivestimento di prima fase e nello spritz beton è prevista l'installazione di coppie di estensimetri a corda vibrante posizionate tangenzialmente in intradosso e estradosso sulle ali della centina, come indicato nella seguente figura (per le sezioni in cui non è prevista la posa in opera della centina gli strain gauges saranno annegati nello spritz beton).

Principio di Misura	Corda Vibrante
Campo di Misura (f.s.)	- / + 1500 με
Precisione	<2 % f.s.
Campo di Temperatura	-20° / +80° C
Coefficiente di espansione termica	11.6 μs /°C
Lunghezza	min 150 mm
Segnale in Uscita	Hz

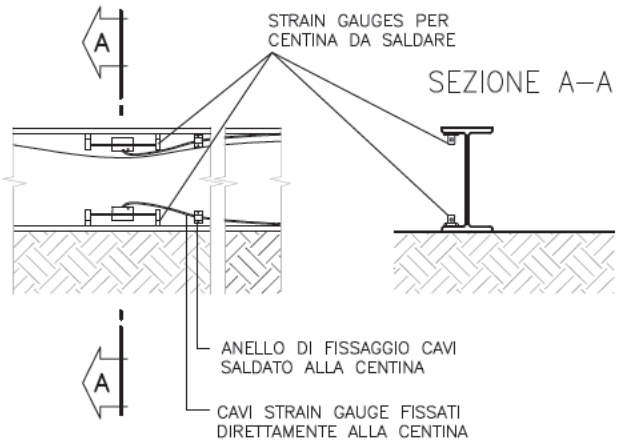


Figura 24 – Estensimetri su rivestimento di prima fase

Le barrette estensimetriche saranno collegate ad un'unità di acquisizione dati, la quale a sua volta invierà i dati all'unità centrale, da cui saranno scaricati i dati dei sensori mediante apposita centralina mobile.

Si prevedono 3 letture alla settimana per il primo mese e successivamente 2 letture al mese fino a stabilizzazione del dato.

4.2.4 Monitoraggio tenso-deformativo del rivestimento definitivo mediante strain meters

Per la determinazione delle deformazioni e dei carichi nel rivestimento definitivo è prevista l'installazione di coppie di estensimetri a corda vibrante posizionate tangenzialmente in intradosso e estradosso, fissati all'armatura (vedi) o annegati nel calcestruzzo, a seconda della tipologia di sezione applicata.

Principio di Misura	Corda Vibrante
Campo di Misura (f.s.)	- / + 1500 με
Precisione	<2 % f.s.
Campo di Temperatura	-20° / +80° C
Coefficiente di espansione termica	12,0 μs /°C
Lunghezza	250 mm
Segnale in Uscita	Hz

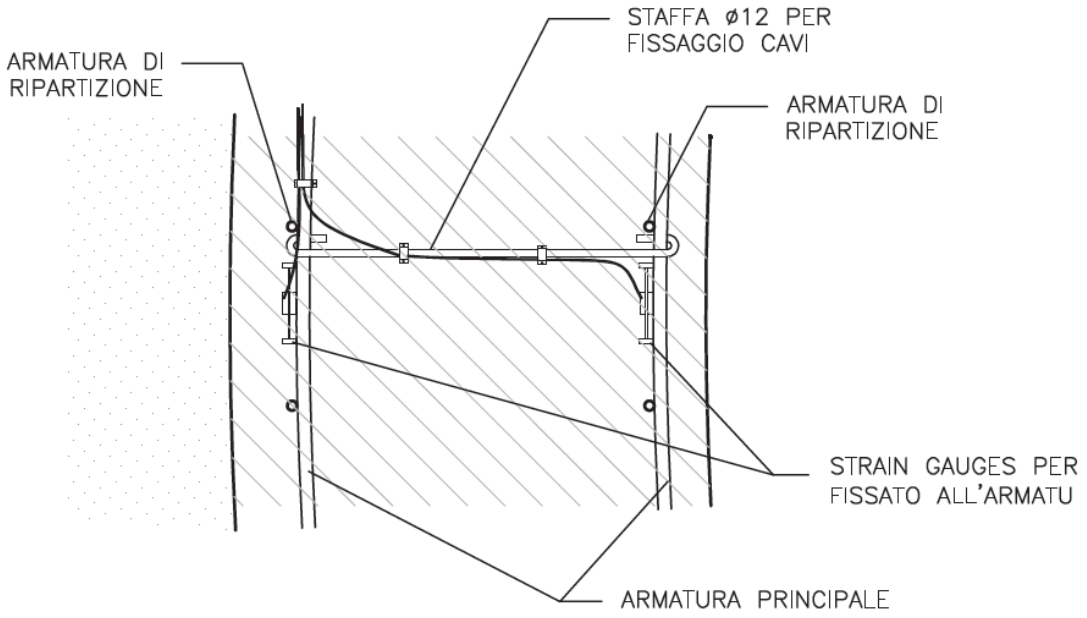


Figura 25 – Estensimetri su rivestimento definitivo

Le barrette estensimetriche saranno collegate ad un'unità di acquisizione dati, la quale a sua volta invierà i dati all'unità centrale, da cui saranno scaricati i dati dei sensori mediante apposita centralina mobile.

Si prevedono 2 letture alla settimana per il primo mese e successivamente 2 letture al mese fino a stabilizzazione del dato.

4.2.5 *Monitoraggio deformativo dell'ammasso mediante estensimetri multibase*

Per la determinazione delle deformazioni radiali del cavo e dell'ammasso nel medio lungo termine è prevista l'installazione di sezioni strumentate composte da 2 estensimetri multibase (a 4 basi) ubicati radialmente all'altezza del rene destro e sinistro del cavo, attrezzati con trasduttori di spostamento elettrico per consentire la misura in automatico delle deformazioni. Il sistema prevede l'installazione, all'interno di perforazioni, di punti di ancoraggio collegati alla superficie con aste di vetroresina protette da una robusta guaina esterna. Le aste, libere di scorrere all'interno della loro guaina protettiva, trasferiscono il movimento del punto di ancoraggio alla testa dello strumento. Tale movimento viene rilevato tramite un trasduttore di spostamento elettrico.

Estensimetro a barre	
Materiale aste	Fibra di vetro
Coefficiente di espansione lineare	3,5 x 10^{-6}/°C
Diametro astine	7 mm
Guaina protettiva	nylon
Numero basi	4
Trasduttore di spostamento	
Principio di Misura	Potenziometrico
Campo di Misura (f.s.)	0-25 / 0-50 / 0-100 / 0-150
Precisione	<0.25 % F.S.
Campo di Temperatura	-20° / +70° C
Segnale in Uscita	Volt/mA

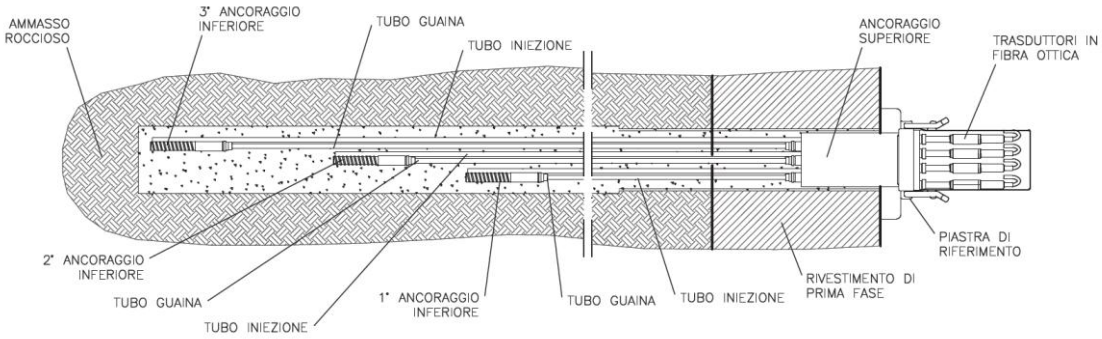


Figura 26 – Estensimetri multibase

Si prevedono 2 letture alla settimana, fino ad una distanza di 50,0 m dal fronte (o comunque per il primo mese) e successivamente 2 letture al mese fino a stabilizzazione del dato.

4.2.6 *Monitoraggio piezometrico*

Il monitoraggio piezometrico verrà effettuato mediante piezometri elettrici radiali disposti in corrispondenza dei piedritti della galleria collegati ad un'unità di acquisizione dati, la quale a sua volta invierà i dati all'unità centrale da cui saranno scaricati i dati dei sensori mediante apposita centralina mobile.

Campo di misura tipico	500 Kpa
Massimo sovraccarico	min 1.5 volte il fondo scala
Carico minimo di utilizzo	1 % f.s.
Precisione tipica	0.2 e 0.5% F.S.
Segnale in uscita	mV/V o 4-20mA
Deriva termica	(zero-span) non superiore a 0.05% f.s./°C
Campo di temperatura	0-35 °C

Si prevede 1 lettura alla settimana per il primo mese e successivamente 1 lettura al mese fino al termine dei lavori. In funzione dei dati rilevati si potrà impiegare tale strumentazione anche in esercizio, eseguendo 4 letture all'anno (letture stagionali).

4.3 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. Lo scavo interesserà prevalentemente la formazione del Flysh di Monte Antola, di buone caratteristiche geomeccaniche, a meno della zona di imbocco, a basse coperture, in cui saranno presenti anche strati di coltre eluvio colluviale e riporti.

Il sistema di monitoraggio prevedrà prevalentemente l'applicazione di sezioni di monitoraggio di tipo A, disposte ad interasse di 50,0 m.

Un'intensificazione delle sezioni è prevista in corrispondenza dell'imbocco dove, alla luce del particolare contesto geomeccanico, si prevede il posizionamento di 3 sezioni tipo A con interasse ridotto e anche una stazione di monitoraggio tenso-deformativo (tipo B).

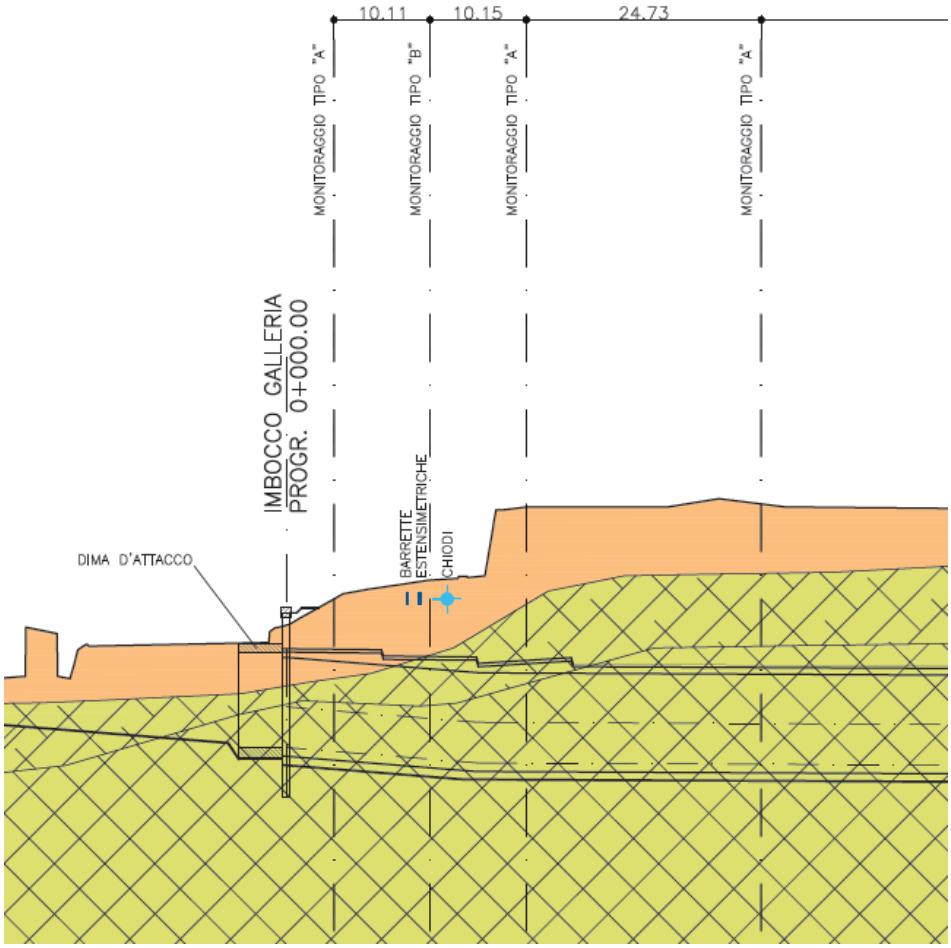


Figura 27 – Finestra di servizio – Sistema di monitoraggio – Tratta di imbocco

4.4 Galleria Scolmatrice – Tratta a monte

Il tratto di monte della galleria Scolmatrice ha uno sviluppo complessivo di circa 650 m e verrà realizzata a con scavo in tradizionale a partire dal camerone di montaggio della TBM, applicando prevalentemente una sezione tipo semplicemente bullonata (sezione tipo Ab).

Il sistema di monitoraggio prevedrà l'applicazione di sezioni di monitoraggio di tipo A, disposte ad interasse di 50,0 m, oltra a due sezioni tipo B (in rosso in Figura 28, nel tratto immediatamente successivo all'attraversamento di via Merello e 300 m dopo, a metà del tracciato) e una sezione tipo C in prossimità del camerone di montaggio (in verde in Figura 28).

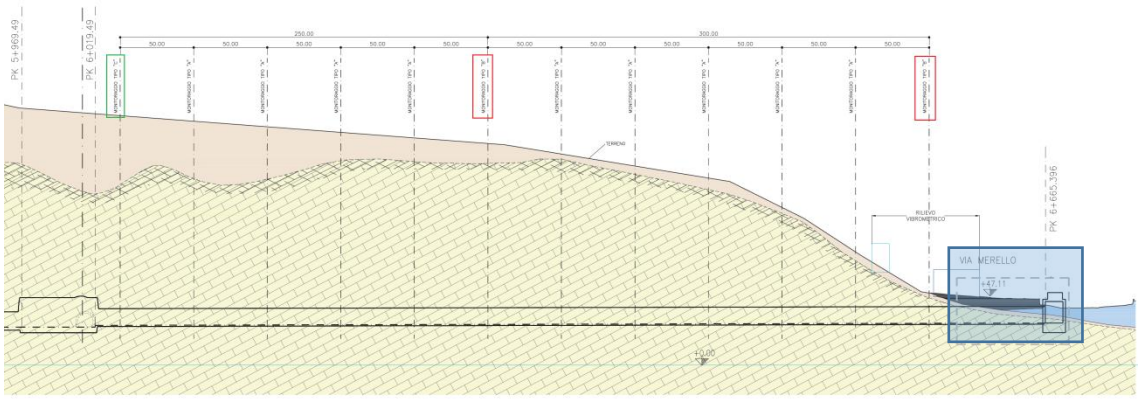


Figura 28 – Galleria Scolmatrice – Tratto di monte – Sistema di monitoraggio

Un sistema di monitoraggio ad hoc sarà previsto per il tratto più prossimo all'opera di presa, in cui la galleria sottopassa la via Adamoli con valori di ricoprimento molto ridotti, dell'ordine di 3,0÷4,0 m (riquadro blu in Figura 28). Vista la particolare configurazione in questo tratto l'interasse delle sezioni di monitoraggio verrà ridotto a 10,0÷16,0 m, con l'introduzione di due sezioni di tipo A e due sezioni di tipo B.

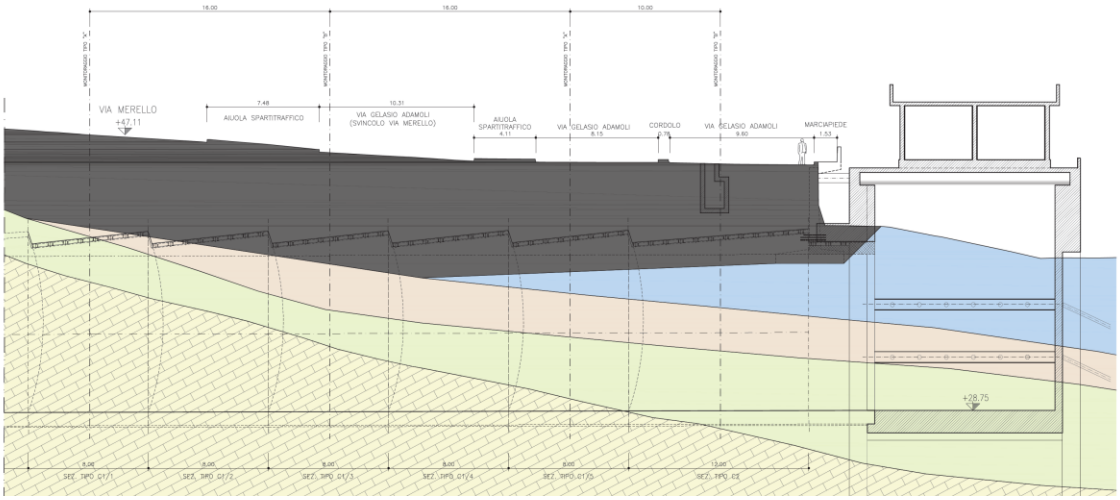


Figura 29 – Galleria Scolmatrice – Tratto di monte – Sistema di monitoraggio (sotto-attraversamento via Adamoli)

4.5 Galleria Scolmatrice – Corso Italia

Il tratto in oggetto si estende per circa 50,0 m all'estremità lato mare della galleria Scolmatrice ed interessa la formazione del Flysh di Monte Antola con basse o 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.

Così come per il sottopasso di via Adamoli descritto in precedenza, anche in questo caso, vista la presenza di coperture molto ridotte, si è predisposto un sistema di monitoraggio ad hoc con sezioni disposte ad interasse ridotto. Nel dettaglio, come indicato nella seguente Figura 30, saranno predisposte due sezioni di tipo A e due sezioni di tipo B, con interasse pari a 8,0÷16,0 m.

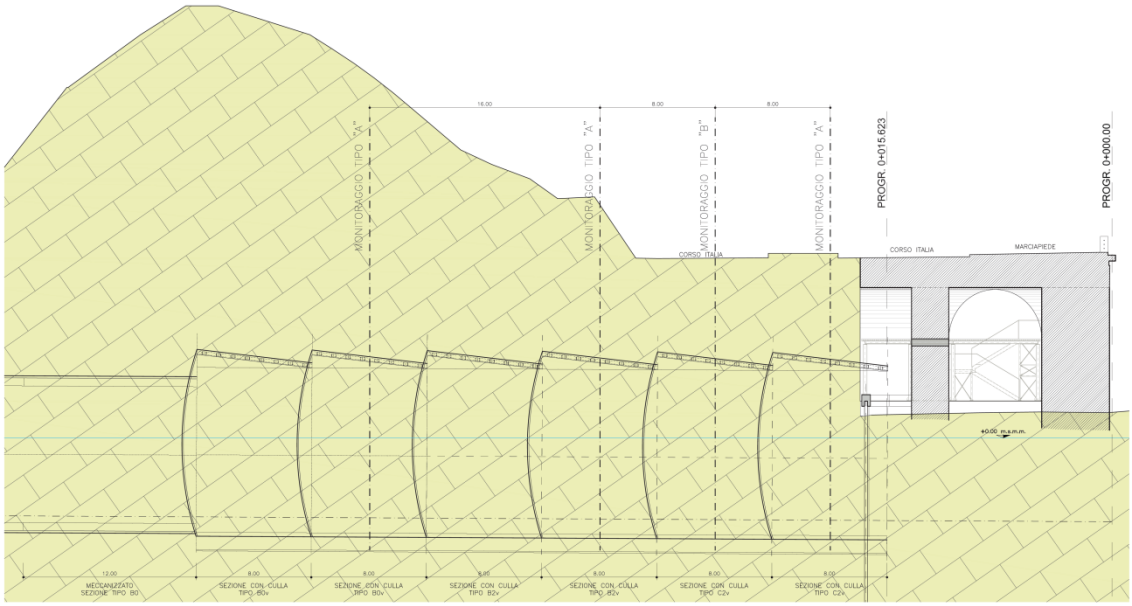


Figura 30 – Galleria Scolmatrice – C.so Italia – Sistema di monitoraggio

4.6 Galleria Scolmatrice – Camera di lancio

La Camera di lancia viene scavata interamente nella formazione del Flysh di Monte Antola, in condizioni di copertura elevata (indicativamente compresa tra 140,0 m e 170,0 m), per uno sviluppo complessivo di 120,0 m.

Tenuto conto del contesto geomeccanico favorevole (il comportamento dell'ammasso roccioso allo scavo risulta essere sostanzialmente di tipo "A", con fronte stabile) si prevede l'approntamento di due sezioni di misura delle convergenze (tipo A) ad inizio e fine Camera, intervallate da una sezione tipo B ubicata in corrispondenza della mezzeria.

4.7 Galleria Scolmatrice – Camerone e allargo finestra

Il camerone si sviluppa per 50 m sulla direzione individuata dall'asse della galleria principale, verrà realizzato con scavo in tradizionale a partire dalla finestra secondo una particolare fasistica descritta negli specifici documenti di progetto. Nel dettaglio, la finestra nel tratto terminale prevedrà un allargamento della

sezione di scavo per consentire di attaccare il fronte del camerone. Lo scavo interesserà prevalentemente la formazione del Flysh di Monte Antola, di buone caratteristiche geomeccaniche.

Per il monitoraggio in accordo alle fasi generali di realizzazione dell'opera si individuano due configurazioni:

- Monitoraggio in fase di cantiere durante la quale sono installati i soli rivestimenti di prima fase (costituiti da spritz beton e bulloni) e sarà gettato il solettone di fondo
- Monitoraggio in fase di esercizio in cui la struttura definitiva è ultimata

4.7.1 Monitoraggio in fase di cantiere

In analogia a quanto previsto per le galleria si sono individuate delle sezioni tipo di monitoraggio:

MONITORAGGIO TIPO A

Sezione di monitoraggio topografico e tenso-deformativo del cavo, che prevede il rilievo ad alta precisione delle coordinate di 5 punti di misura (mire ottiche per misure di convergenza) disposti sul rivestimento di prima fase della galleria. Indicativamente le mire ottiche saranno disposte in corrispondenza della chiave calotta, del piano dei centri e dell'attacco dei piedritti, come indicato nella seguente figura. Inoltre, per la misura dello stato tensionale dei prerivestimenti si prevede l'installazione di 5 bulloni strumentati con estensimetri posizionati indicativamente come mostrato nella figura seguente.

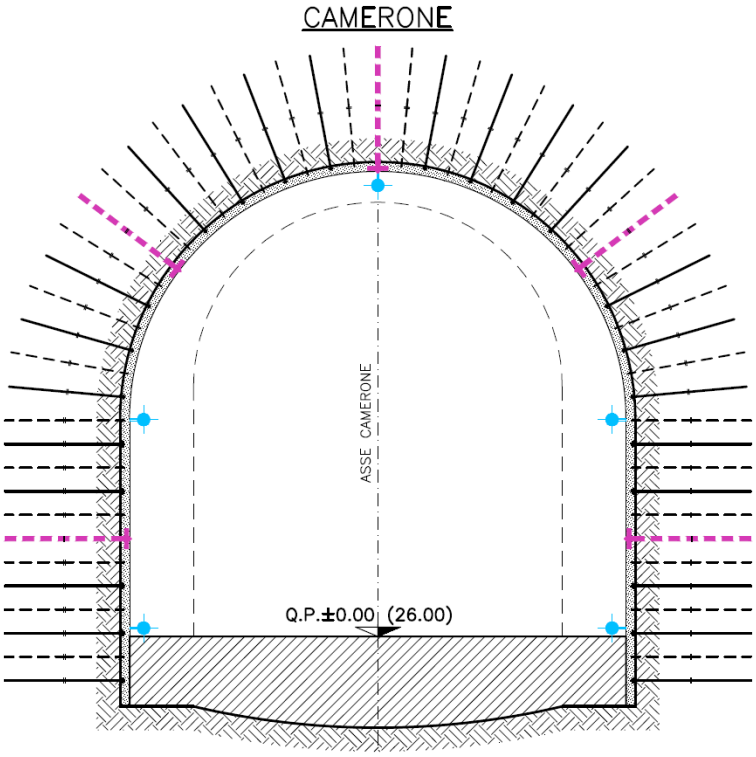


Figura 31 – Monitoraggio Camerone – Sezione di monitoraggio tipo A

MONITORAGGIO TIPO B

La sezione rappresenta un'ulteriore evoluzione della sezione tipo A alla quale, mantenendo la strumentazione descritta in precedenza, viene aggiunto il posizionamento di due estensimetri multibase (L = 20,0 m – 4 basi di misura) in corrispondenza dei reni, per la valutazione del comportamento deformativo

dell'ammasso nell'intorno dello scavo, e di due piezometri radiali (L = 10,0 m – 2 celle) per la valutazione dello stato di falda e della presenza di eventuali pressioni neutre a tergo del rivestimento.

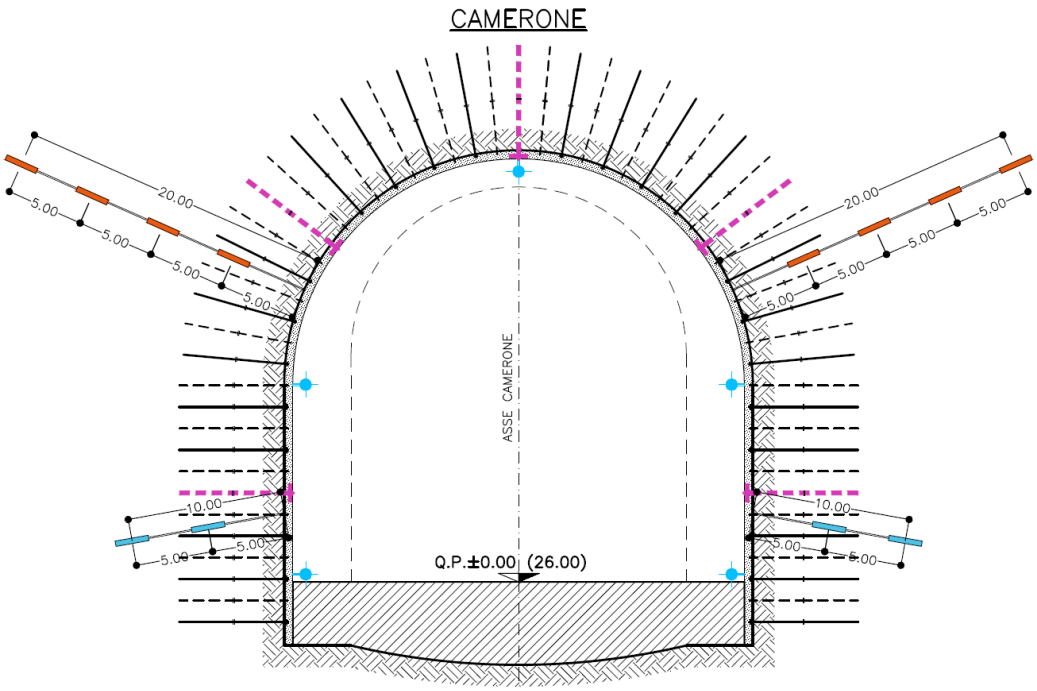


Figura 32 – Monitoraggio Camerone – Sezione di monitoraggio tipo B

Planimetricamente si prevede l'installazione delle sezioni di monitoraggio tipo A e B sia in corrispondenza della finestra di accesso (tratto in allargo) che del camerone come riportato nella figura seguente.

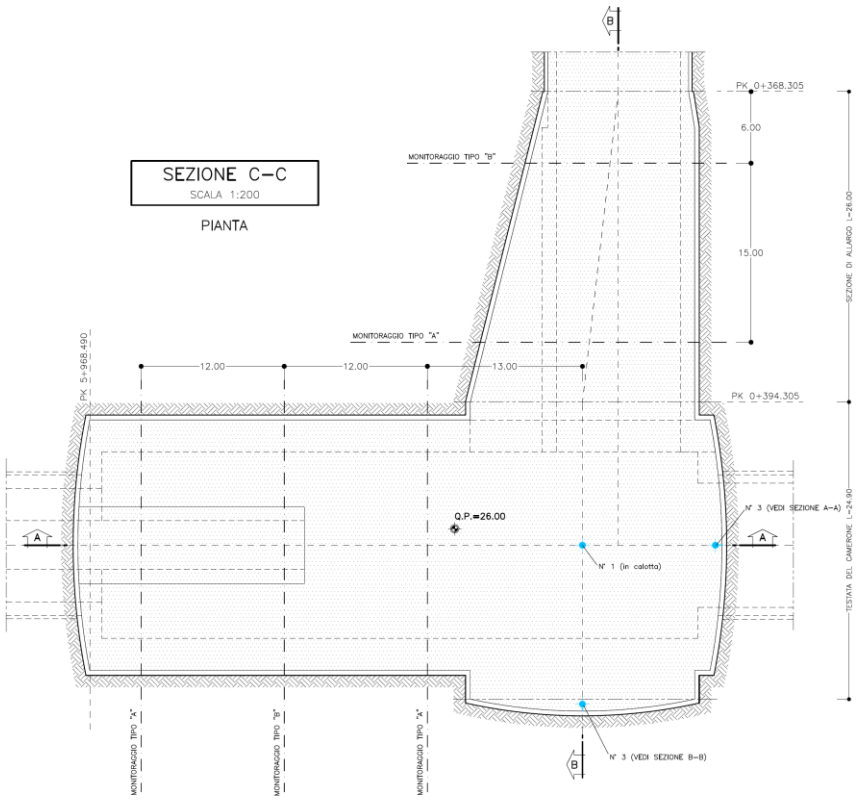


Figura 33 – Monitoraggio Camerone – Distribuzione planimetrica sezioni di monitoraggio tipo A-B

Oltre alle sezioni definite sopra si prevede l'installazione di mire ottiche nella zona di innesto delle due gallerie come rappresentato nelle due sezioni seguenti.

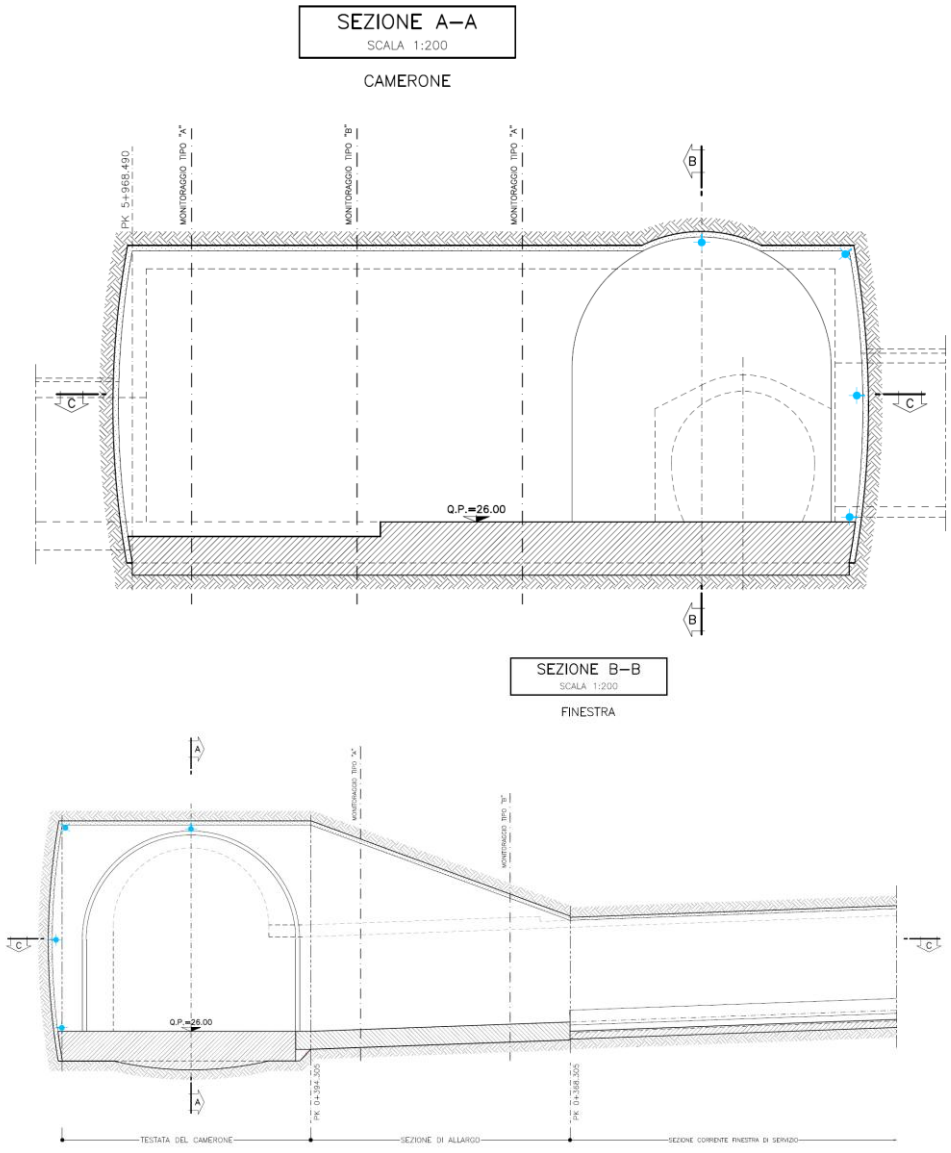


Figura 34 – Monitoraggio Camerone – Sezioni trasversali con indicazione del monitoraggio aggiuntivo

4.7.2 Monitoraggio in fase di esercizio

In analogia a quanto previsto per le galleria si sono individuate delle sezioni tipo di monitoraggio:

MONITORAGGIO TIPO C

Sezione di monitoraggio topografico dei rivestimenti definitivi, che prevede il rilievo ad alta precisione delle coordinate di 3 punti di misura (mire ottiche per misure di convergenza) disposti sul rivestimento di seconda fase della galleria. Indicativamente le mire ottiche saranno disposte in corrispondenza della chiave calotta e del piano dei centri non potendo essere disposte in corrispondenza dell'attacco dei piedritti a causa dello scorrimento dell'acqua che avverrà immediatamente dopo il completamento dell'opera in oggetto. La posizione indicativa delle mire è rappresentata nella figura seguente.

CAMERONE

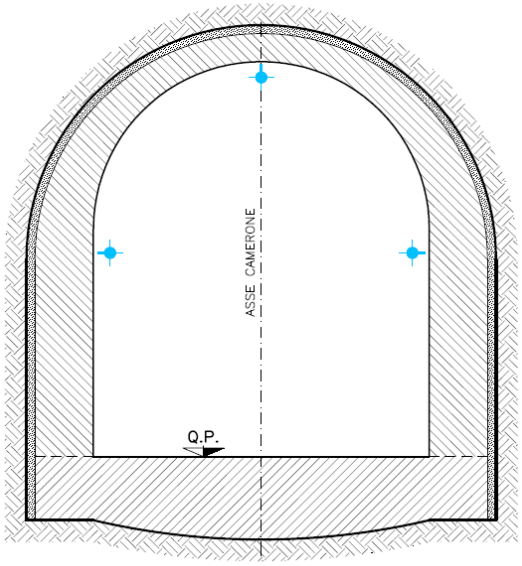


Figura 35 – Monitoraggio Camerone – Sezione di monitoraggio tipo C

MONITORAGGIO TIPO D

La sezione rappresenta un'evoluzione della sezione tipo C alla quale si aggiungono degli strumenti per il monitoraggio del comportamento tenso-deformativo del rivestimento definitivo. In particolare è prevista l'installazione di 4 coppie di strain meters collegate all'armatura o annegate nel calcestruzzo in corrispondenza di chiave calotta, piedritti e chiave arco rovescio.

CAMERONE

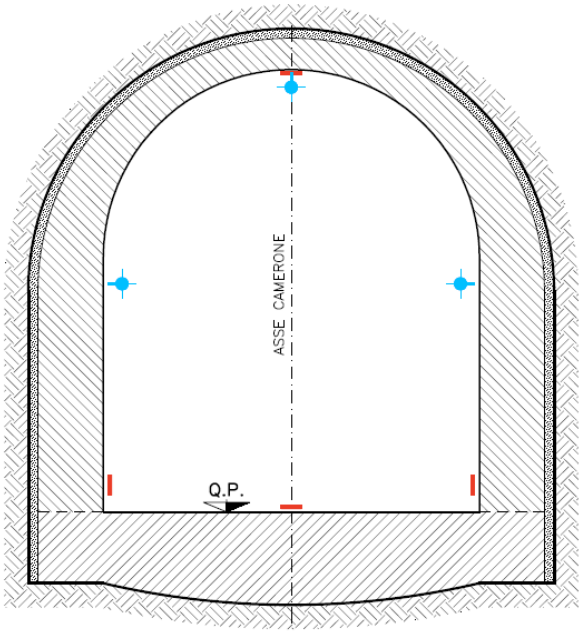


Figura 36 – Monitoraggio Camerone – Sezione di monitoraggio tipo D

Planimetricamente si prevede l'installazione delle sezioni di monitoraggio tipo C e D sia in corrispondenza della finestra di accesso (tratto in allargo) che del camerone come riportato nella figura seguente.

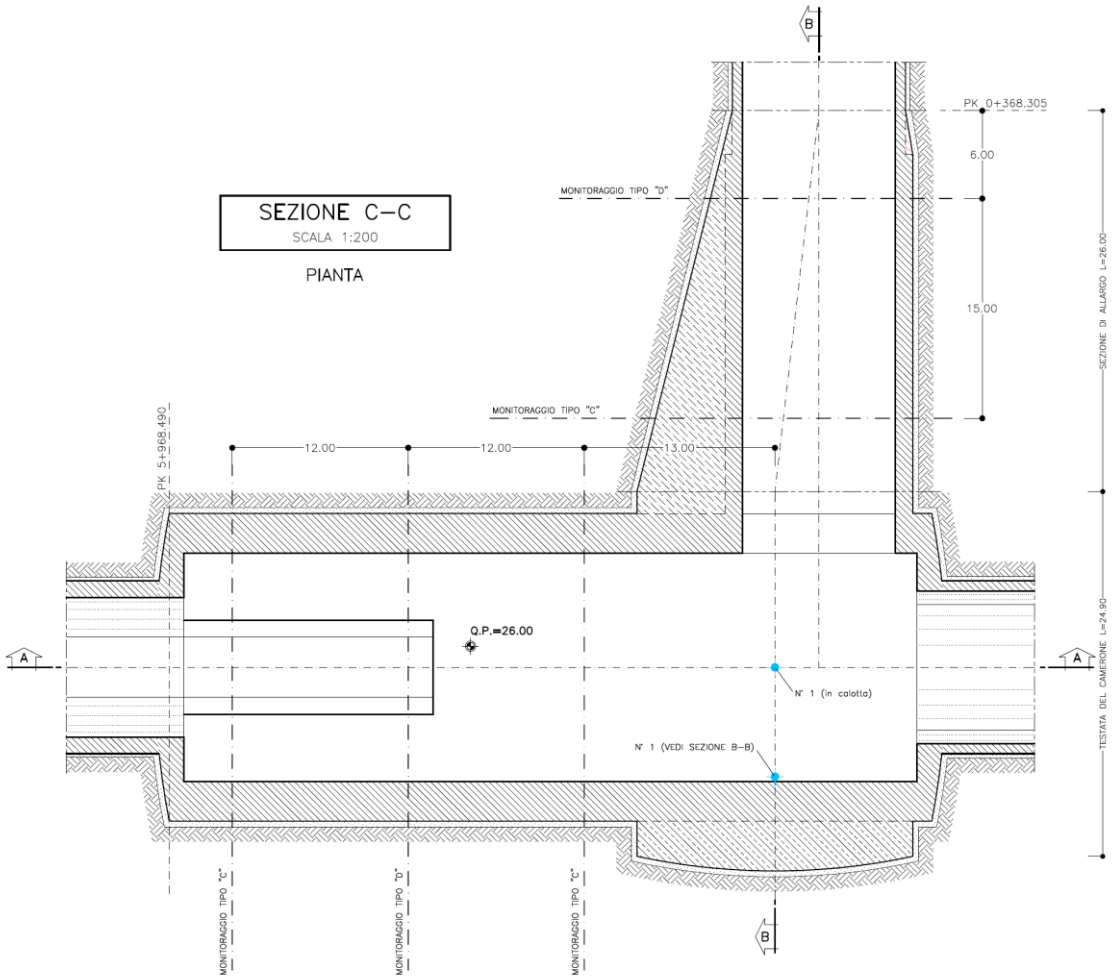


Figura 37 – Monitoraggio Camerone – Distribuzione planimetrica sezioni di monitoraggio tipo C-D

Oltre alle sezioni definite sopra si prevede l'installazione di mire ottiche nella zona di innesto delle due gallerie come rappresentato nelle due sezioni seguenti.

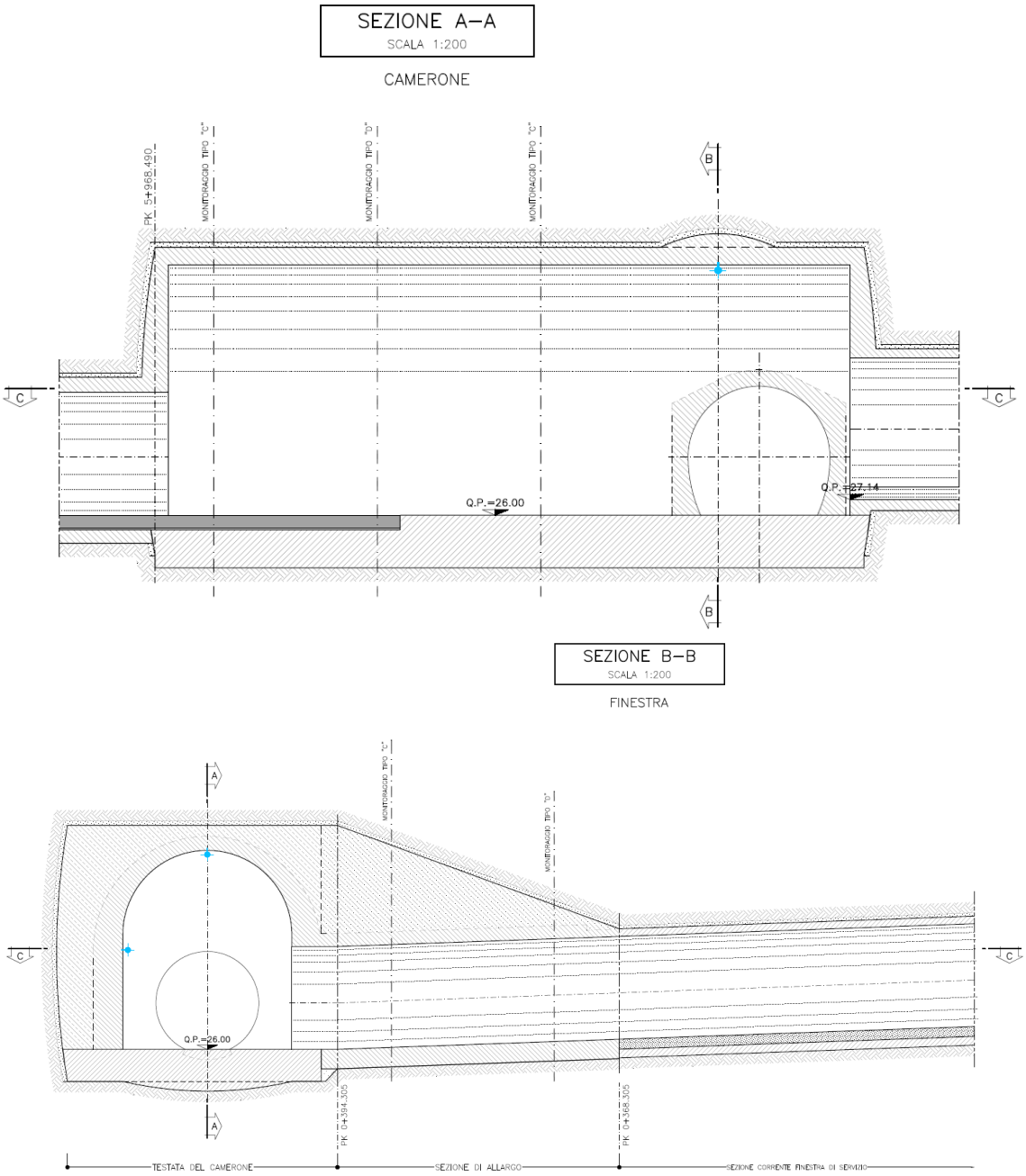


Figura 38 – Monitoraggio Camerone – Sezioni trasversali con indicazione del monitoraggio aggiuntivo

4.8 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.

La distribuzione delle sezioni di monitoraggio rispetta le indicazioni di progetto, con una sezione di monitoraggio topografico (tipo A) ogni 50,0 m e una sezione di monitoraggio tenso-deformativo del cavo (tipo B) ogni 500,0 m.

In 5 punti ritenuti di particolare interesse si provvederà al posizionamento delle sezioni tipo C, per valutare anche il comportamento deformativo dell'ammasso nell'intorno dello scavo e le condizioni di falda:

- **Progr. Km 0+880 circa**: Attraversamento della formazione del Flysh di Monte Antola con basse coperture e ammasso intensamente tettonizzato, fratturato e alterato;
- **Progr. Km 2+200 circa**: Attraversamento della formazione del Flysh di Monte Antola in corrispondenza del Graben di Terralba, con possibile presenza in calotta di Argille di Ortovero;
- **Progr. Km 3+720 circa**: Attraversamento della formazione del Flysh di Monte Antola in corrispondenza dell'impluvio del Rio Fereggiano;
- **Progr. Km 4+680 circa**: Attraversamento della formazione del Flysh di Monte Antola in corrispondenza delle massime coperture;
- **Progr. Km 5+380 circa**: Attraversamento della formazione delle Argilliti di Montoggio in condizioni di bassa copertura.

Una decisa intensificazione delle sezioni di monitoraggio è stata inoltre imposta nel tratto in cui gli scavi passeranno al di sotto della linea ferroviaria esistente Genova – La Spezia (progr. Km 1+520 circa), ad una distanza di circa 6,20 m dalla base delle gallerie esistenti. In virtù della particolare configurazione di lavoro e per avere un controllo quanto più possibile capillare delle condizioni di avanzamento, per una fascia di 20,0 m a cavallo delle gallerie esistenti si predisporrà una stazione di misura topografica ogni 5,0 m, oltre ad una sezione di monitoraggio tenso-deformativo del cavo.

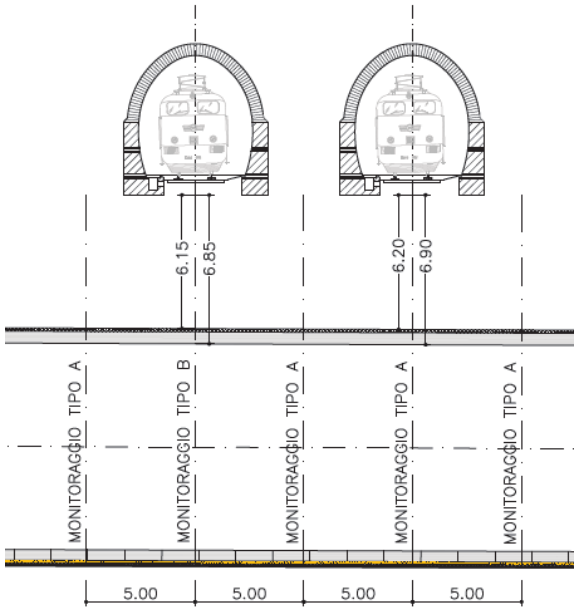


Figura 39 – Galleria Scolmatrice – Scavo meccanizzato – Sistema di monitoraggio per il tratto in corrispondenza della linea ferroviaria esistente Genova – La Spezia

5 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 per gli avanzamenti in sotterraneo, rimandando invece ad uno specifico elaborato la trattazione del monitoraggio da piano campagna e degli edifici.