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

RESPONSABILE UNICO PROCEDIMENTO
Ing. Stefano PINASCO

RESPONSABILE STRUTTURA COMMISSARIALE
Ing. Luca BERRUTI

DIRETTORE DEI LAVORI
Ing. Mario CANGIANO

PROGETTO ESECUTIVO E DIREZIONE LAVORI

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

GRUPPO DI IMPRESE:

COSTRUIRE PER GENOVA

ReseArch · Ad Engineering · manelli · AMEC · AICOM

Direttore Tecnico
Ing. Gianni Orlati

IL DIRETTORE di COMMESSA
(dott. ing. Gianni Orlati)

PROGETTO COSTRUTTIVO

CAPOGRUPPO MANDATARIA: HYpro srl
MANDANTE: TUNNEL CONSULT
MANDANTE: Progetti e opere

Progettista responsabile integrazioni prestazioni specialistiche
Ing. Vincenzo Secreti

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI GENOVA
Dott. Ing. Vincenzo SECRETI
n. 412 sez. A
Data 10/4/03

Progettazione scavo meccanizzato
Ing. Morena Restara

Progettazione gallerie naturali
Ing. Vincenzo Secreti

Progettazione opere marittime
Ing. Elio Ciralli

Gruppo di progettazione

Gallerie naturali, imbocchi e opere di sostegno	Ing. Francesco Conte
Strutture	Ing. Antonello Mastropierro
Scavo meccanizzato	Ing. Mario Coppola
Opere marittime	Ing. Giancarlo Inserra
Gestione T&R da scavo	Geol. Carla Leonetti
Aspetti ambientali	Ing. Valentina Bonifati
Cantierizzazione	Ing. Raffaele Ciardullo
Monitoraggio geotecnico	Geol. Giovanni De Fazio
Geologia	Geol. Alessandro Grispino
Indagini	Geol. Davide Fabbricatore
Computi e stime	Ing. Francesco Trovati

Geologo
Dott. Giuseppe Cerchiaro

ORDINE DEI GEOLOGI REGIONE CALABRIA
DOTT. GEOLOGO GIUSEPPE CERCHIARO
ALBO N° 528

Intervento/Opera

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

VARIANTE TECNICA MIGLIORATIVA

N° Progr.

Codice elaborato
BIS2V-C-GEN01-RE02-1

Oggetto della tavola

ELABORATI DESCRITTIVI GENERALI

RELAZIONE GENERALE DELLA VARIANTE TECNICA MIGLIORATIVA

Scala

Data
30/06/2021

Revisione	Data	Oggetto revisione	Redatto	Verificato	Approvato
1	30/06/21	PRIMA EMISSIONE	ZANETTI	COSIMI	ORLATI

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.

INDICE

1 PREMESSA ... 3
2 QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO DEL PROGETTO ESECUTIVO CON MIGLIORIE ... 8
3 PROGETTO ESECUTIVO CON MIGLIORIE ... 9
4 PROPOSTA DI VARIANTE ... 11
5 RICHIAMO DELLE CONDIZIONI GEOLOGICO-TECNICHE ... 13
5.1 ASSETTO GEOLOGICO REGIONALE ... 13
5.2 ASSETTO GEOLOGICO LOCALE DA PROGETTO ESECUTIVO ... 16
5.2.1 Le Argilliti di Montoggio ... 17
5.2.2 Il Flysch di Monte Antola ... 18
5.2.3 Le Argille di Ortovero ... 20
5.3 PROFILO GEOLOGICO DI PROGETTO ESECUTIVO ... 21
6 OTTIMIZZAZIONE DEL TRACCIATO ZONA FORTE SAN GIULIANO ... 25
7 VERIFICA IDRAULICA DELLA VARIANTE ... 26
8 APPLICABILITA' DELLA TBM SCUDATA ... 29
8.1 SCAVO NEL FLYSCH DI MONTE ANTOLA. ... 29
8.1.1 Scavo al di fuori delle faglie ... 29
8.1.2 Scavo nelle faglie ... 35
8.2 SCAVO NELLE ARGILLITI DI MONTOGGIO ... 36
8.2.1 Scavo al di fuori delle faglie ... 36
8.2.2 Scavo nelle faglie ... 37
8.3 SCAVO NELLE ARGILLE DI ORTOVERO ... 37
8.4 VALUTAZIONE DELLO SCAVO CON TBM SCUDATA ... 39
8.5 LE CARATTERISTICHE DELLA TBM SCUDATA PROPOSTA ... 39
8.5.1 La TBM scudata ... 39
8.5.2 Le specifiche proposte per la TBM scudata ... 41
8.6 APPLICABILITA' DELLA TBM SCUDATA PROPOSTA NEL CONTESTO GEOMECCANICO DI RIFERIMENTO ... 42
8.6.1 L'instabilità del fronte e del cavo ... 43
8.6.2 La stabilità del fronte e/o del cavo ... 44
9 IL RIVESTIMENTO IN CONCI PREFABBRICATI ... 45
9.1 CARATTERISTICHE DELL'ANELLO ... 45
9.2 GESTIONE DEL SISTEMA DI DRENAGGIO ... 46
9.3 IPOTESI DI CALCOLO E PROCEDIMENTO DI VERIFICA ... 47
9.4 SUDDIVISIONE DEL TRACCIATO PER TIPOLOGIA DI ANELLO INSTALLATO ... 51
9.5 TENUTA DELLE GUARNIZIONI ... 52
9.6 VERIFICA DEI CONNETTORI ... 54

10 IL NODO DELLA CAVERNA ... 55
10.1 VERIFICA DELLE DIMENSIONI DEL CAMERONE – MONTAGGIO TBM ... 56
10.2 VERIFICA DELLE DIMENSIONI DEL CAMERONE – FASE DI SCAVO DELLA TBM ... 57
10.3 FASI COSTRUTTIVE DEL CAMERONE ... 58
10.3.1 Fase 1 ... 59
10.3.2 Fase 2 ... 61
10.3.3 Fase 3 ... 62
10.3.4 Fase 4 ... 63
10.3.5 Fase 5 ... 65
10.3.6 Fase 6 ... 65
10.3.7 Fase 7 ... 66
10.3.8 Fase 8 ... 66
10.4 TIPOLOGIA DI SOSTEGNO DI PRIMA FASE E RIVESTIMENTI DEFINITIVO ... 68
11 OTTIMIZZAZIONE SCAVO IN TRADIZIONALE ... 69
11.1 FINESTRA DI SERVIZIO ... 69
11.1.1 Sezione tipologica Ab1 ... 69
11.1.2 Sezione tipologica Ab2 ... 72
11.1.3 Sezione tipologica B0V2 ... 74
11.1.4 Sezione tipologica Ac ... 76
11.2 TRATTA IN TRADIZIONALE DA MONTE ... 77
11.2.1 Sezione tipologica Ab1 ... 77
11.2.2 Sezione tipologica Ab2 ... 79
11.2.3 Sezione tipologica B0V2 ... 82
12 OPERE DI SBOCCO A MARE: RINFORZO STATICO DEGLI ARCONI DI C.SO ITALIA ... 84
12.1 NOTE GENERALI D'INQUADRAMENTO DELL'INTERVENTO ... 84
12.2 STRUTTURA DI SCARICO DEGLI ARCONI DI C.SO ITALIA ... 85
12.3 STRUTTURE DI SOSTEGNO PROVVISIONALI AL DI FUORI DEGLI ARCONI DI C.SO ITALIA ... 86
13 GESTIONE T&R DA SCAVO (PUT) ... 88
14 CRONOPROGRAMMA LAVORI ... 95
15 NUOVI PREZZI ... 96
16 QUADRO ECONOMICO DI RAFFRONTO ... 97

1 PREMESSA

La presente Relazione Generale è stata redatta quale relazione tecnica di accompagnamento alla Proposta di Variante Migliorativa concernente l'ottimizzazione della tecnologia di scavo meccanizzato della galleria scolmatrice del Secondo Lotto dei lavori relativi alla realizzazione della galleria scolmatrice del Torrente Bisagno in Comune di Genova.

L'intervento in oggetto, nel suo complesso, comprende un insieme di strutture idrauliche da erigersi nell'alveo del torrente (opera di sbarramento, opera presa e briglia di trattenuta corpi galleggianti), la galleria scolmatrice con sviluppo complessivo di 6.665 m circa, da scavarsi sia mediante tecniche di scavo meccanizzato a piena sezione che con metodo tradizionale, e gli interventi connessi alla finalizzazione delle opere di sbocco a mare presso la spiaggia di San Giuliano, tramite il completamento del manufatto di convergenza della galleria Bisagno sulla galleria scolmatrice del torrente Fereggiano, ormai ultimato (Appalto integrato 1° Lotto – 1 Stralcio).

Il progetto a base di gara, com'è noto, prevede:

a) la realizzazione degli interventi in sotterraneo per il transito della portata scolmata dall'alveo Bisagno ed il recapito della medesima a mare (su una lunghezza complessiva di 6650 m), costituiti, da monte verso valle, da un primo tratto di galleria naturale a sezione policentrica, scavata con metodo tradizionale (lunghezza 645.906 m), un camerone ed una camera di lancio necessarie all'assemblaggio della fresa TBM (lunghezza di tali elementi pari rispettivamente a 50 m e 120 m), un successivo tratto di galleria naturale scavato con sistema meccanizzato (TBM aperta da roccia) esteso sin quasi allo sbocco a mare dello scolmatore (lunghezza 5785.867 m), un settore finale di galleria naturale scavato con metodo tradizionale in corrispondenza del passaggio al di sotto di Corso Italia (lunghezza 48 m);

b) la realizzazione della finestra di servizio (galleria naturale), di sviluppo prossimo a 400 m, scavata con metodo tradizionale dall'area occupata dall'ex canile municipale, funzionale – in fase di cantiere - all'attacco della tratta di galleria scolmatrice da scavarsi, con sistema meccanizzato, verso valle e del settore di galleria la cui esecuzione è prevista con metodo tradizionale, verso monte, nonché costituente – in fase di esercizio - via di accesso per interventi di manutenzione alla galleria principale e canale per il transito della portata intercettata dall'opera di presa prevista sul Rio Sciorba, presso l'imbocco della finestra medesima;

c) il completamento dello sbocco a mare della galleria scolmatrice, ovvero dei manufatti di raccordo con l'opera di recapito delle portate scolmate dal Rio Fereggiano,

d) gli interventi di ripascimento delle spiagge del Genovesato, riutilizzando il materiale di recupero dello smarino della galleria

La disponibilità di siti di prefabbricazione idonei, ubicati a distanze non superiori a 130km dal cantiere, permette il costante stoccaggio di elementi prefabbricati per il rivestimento della galleria presso l'area destinata al supporto logistico delle attività di scavo, a copertura di un fabbisogno medio corrispondente a tre giorni consecutivi di produzione.

Ciò ha consentito di modificare le previsioni di offerta delocalizzando le attività di produzione di inerti per calcestruzzo e di confezionamento del calcestruzzo stesso (come si è detto, previste dal Progetto Esecutivo sul piazzale dell'area di cantiere ed in caverna), consentendo dunque di prendere in considerazione l'utilizzo di una TBM a scudo semplice, che, permettendo la posa in opera del rivestimento definitivo della galleria all'interno dello scudo della macchina, simultaneamente all'avanzamento dello scudo stesso, genera condizioni di elevata sicurezza e produttività del lavoro intrinseche, delle quali viene dunque a beneficiare la costruzione della galleria scolmatrice, lungo l'intera tratta caratterizzata dall'adozione di tecniche di scavo meccanizzato.

La nuova ipotesi, studiata sulla base del quadro delle conoscenze desunte dal progetto esecutivo a base di contratto, non modifica in alcun modo l'impianto progettuale della galleria, progettata con una macchina fresante da roccia, ma disciplina diversamente le varie farsi esecutive con un significativo vantaggio temporale sull'utilizzo dell'opera, nonché un minor impatto ambientale razionalizzando diversamente i trasporti.
A tal proposito, si prevede che in primo luogo venga realizzata la finestra di accesso a partire dal cantiere principale di via Adamoli (area ex canile) che si connetterà sull'asse della galleria principale alla pk 6+013,25 mediante un camerone in cui verrà montata la fresa e da cui partiranno le attività di scavo meccanizzato verso valle per una lunghezza complessiva di 5.861,78 m.

Lo scavo della porzione a monte, dal camerone all'opera di presa, verrà realizzato, invece, con metodo tradizionale per una lunghezza complessiva di circa 646 m.

Nello specifico, la modifica alla metodologia di scavo meccanizzato: da TBM aperta a TBM scudata consente di beneficiare di alcuni vantaggi di immediata percezione.

(1) *Migliore garanzia di tempi di avanzamento certi e miglioramento del grado di durabilità dell'opera* in quanto il calcestruzzo per i conci prefabbricati, destinati alla realizzazione del rivestimento definitivo della galleria, confezionato e maturato in stabilimento, presenta caratteristiche superiori, a questo riguardo, rispetto ad un rivestimento tradizionale realizzato con calcestruzzo gettato in opera.
(2) *miglioramento della sicurezza intrinseca dell'opera* in quanto l'eliminazione dei sostegni di prima fase (chiodi, calcestruzzo proiettato, rete elettrosaldata, etc.) riduce statisticamente il rischio di infortuni oltre ad avere una *maggiore garanzia della stabilità del cavo* nella tratta tra il fronte di scavo e il rivestimento definitivo.
(3) *disponibilità immediata della galleria in caso di emergenza*, a valle della fase di smontaggio della TBM, non dovendo attendere il completamento del rivestimento gettato in opera, il quale verrebbe invariabilmente a trovarsi ad una distanza di qualche chilometro dalla testa fresante durante l'esecuzione dei lavori di scavo.
(4) *minori costi per l'amministrazione* derivanti da una razionalizzazione delle fasi esecutive e da una riduzione dei controlli di qualità dei materiali da prevedere in cantiere dato l'utilizzo di conci prefabbricati.

In conseguenza della variazione della tipologia di TBM da impiegare, si vengono a produrre ulteriori situazioni vantaggiose, che si provvede di seguito ad anticipare e che saranno meglio percepibili dalla lettura degli elaborati progettuali:

a) Vengono riviste le dimensioni del camerone di montaggio della macchina ed eliminato il by-pass previsto in fase di gara in modo da accelerare le attività di scavo sia verso Nord che del tratto in meccanizzato.

b) In conseguenza della modifica della metodologia di avanzamento, nel tratto meccanizzato il diametro finale dello scolmatore passa da 9,50m a 9,70m in virtù dell'aumento di scabrezza legato al rivestimento in conci prefabbricati, con un aumento della sezione libera del 6.2%, anche in virtù dell'eliminazione della sezione piatta alla base della galleria. Tale modifica migliora le condizioni idrauliche complessive dell'opera con particolare riferimento agli ipotetici scenari di crisi (vedasi relazione BIS2V-C-OST00-RE08-1).

c) Variazione delle modalità realizzative dell'intervento strutturale sugli "arconi" di Corso Italia. A differenza di quanto previsto nel PE, la realizzazione della struttura metallica per l'appoggio delle pilastrate centrali verrà eseguita prima dell'inizio delle fasi di scavo previste in corrispondenza dello sbocco a mare. Tale soluzione permette di escludere la realizzazione della struttura di sottofondazione (micropali) attorno ai plinti di fondazione dei suddetti "arconi" e garantire un maggiore spazio di manovra dei mezzi di cantiere per le lavorazioni.

Per dovere di completezza si aggiunge che il cambio della tecnologia di scavo comporta ulteriori modifiche che, pur non costituendo di per sé una ragione di convenienza particolare, non impattano comunque sulla performance dell'opera e non costituiscono criticità alcuna per la esecuzione del progetto.

a) In virtù del cambio di tecnologia che comporta la realizzazione del rivestimento definitivo in anelli di conci prefabbricati, il tracciato sotto la zona del forte di San Giuliano viene modificato eliminando l'ultima curva con 200m di raggio e riorganizzando i raccordi in modo che il raggio minimo risulti di 300m, ben gestibile dalla nuova TBM; tale variazione comporta uno spostamento in pianta minimo che garantisce comunque tutte le distanze di sicurezza dalle pre-esistenze previste in sede di PE.

b) Affinamento delle sezioni di avanzamento di prima fase e del rivestimento definitivo nelle tratte da scavare in naturale (finestra e galleria naturale di monte);

Restano confermati come da Progetto Esecutivo con Migliorie (consegna ottobre 2020) sia le modalità di gestione delle terre e rocce da scavo che gli interventi di ripascimento.

Come risulterà confermato nello sviluppo della Relazione, e nei documenti che costituiscono il progetto accompagnato dalla Relazione medesima, la variante è inquadrabile quale "*proposta dell'esecutore*", ed è pertanto redatta in forma di perizia tecnica e corredata dagli elementi di valutazione economica, ai sensi di quanto previsto e consentito dall'art. 8 comma 8 del Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 7 marzo 2018 n. 49 recante l'"*Approvazione delle linee guida sulle modalità di svolgimento delle funzioni del direttore dei lavori e del direttore dell'esecuzione*", richiamato come applicabile dell'art.5 comma 4 del CSA
La presente relazione è quindi organizzata come segue:

- richiamo del quadro normativo (capitolo 2)
- sintesi del Progetto Esecutivo con Migliorie (capitolo 3)
- elementi costituenti la proposta di variante con riferimento al Progetto Esecutivo con Migliorie (capitolo 4)

- Richiamo delle condizioni geologiche attese (capitolo 5)
- Ottimizzazione del tracciato (capitolo 6)
- Verifica dell'accettabilità della variante rispetto alla sua funzionalità idraulica (capitolo 7)
- Applicabilità della TBM scudata rispetto alla TBM aperta (capitolo 8)
- Descrizione del rivestimento definitivo in conci prefabbricati per il tratto scavato con TBM (capitolo 9)
- Ottimizzazione del nodo della caverna (capitolo 10)
- Ottimizzazione scavo in tradizionale (capitolo 11)
- Ottimizzazione interventi su C.so Italia (capitolo 12)
- Cronoprogramma dei lavori (capitolo 13)
- Nuovi prezzi (capitolo 14)
- Quadro di raffronto delle categorie di lavori (capitolo 15)
- Quadro economico di raffronto (capitolo 16)

Dal quadro economico di raffronto (capitolo 16), risulta confermata una diminuzione dell'importo originario dei lavori che viene ottenuta senza compromissione delle prestazioni qualitative e quantitative stabilite nel progetto posto a base di contratto e ovviamente senza alcuna compromissione delle condizioni di sicurezza dei lavoratori.

Inoltre, si ottengono favorevoli impatti sulla tempistica di esecuzione dei lavori a finire che non solo viene mantenuta inalterata (come richiesto dalla norma), ma risulta addirittura compressa (Capitolo 13).

Nel seguito della relazione verranno esposti gli elementi della variante con evidenziazione dei vantaggi conseguenti, che in ultima analisi mirano ad un miglioramento del cronoprogramma di PE, sia in termini di durata complessiva sia in termini di affidabilità delle previsioni.

Infatti la proposta di variante della tecnologia di scavo che comporta modifiche tutte innestate sul percorso critico comportano impatti positivi sul cronoprogramma:

- ottimizzazione scavo in tradizionale → riduzione del tempo per il raggiungimento dell'attacco del camerone e per ultimare gli savi verso l'opera di presa;
- ottimizzazione dimensioni nodo camerone → rapido avvio dello scavo verso nord pur con l'eliminazione della galleria di by-pass prevista in sede di gara e predisposizione di uno spazio minimo per il montaggio della TBM con avvio in configurazione semi-finale;
- modifica scavo con TBM scudata → condensando in un'unica attività lo scavo e la posa del rivestimento semplifica le operazioni specie le interferenze tra l'avanzamento ed il getto del rivestimento definitivo oltre a dare certezza delle velocità di avanzamento al fronte eliminando tutta la variabilità legata alla decisione/installazione dei sostegni di prima fase;
- ottimizzazione del tracciato sotto la zona del forte S. Giuliano → consente di poter arrivare con la TBM scudata fino "sulla spiaggia" con l'installazione dei conci prefabbricati per un tratto di maggior lunghezza, ottimizzando quindi i tempi di realizzazione delle opere definitive e di smontaggio della TBM, che potrà essere eseguito interamente all'aperto con mezzi di movimentazione di più facile gestione
- ottimizzazione rinforzi delle strutture di C.so Italia → accelerazione e guadagno di spazio a vantaggio dell'efficienza dei mezzi di scavo

La variante proposta, infine, non altera in maniera sostanziale il progetto né le categorie di lavori che lo compongono (capitolo 15)

In considerazione di quanto sopra risultano verificati i presupposti di ammissibilità della variante medesima.

2 QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO DEL PROGETTO ESECUTIVO CON MIGLIORIE

- Legge 5 novembre 1971 n. 1086 - Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica
- Circ. Min. LL.PP.14 Febbraio 1974, n. 11951 – Applicazione della L. 5 novembre 1971, n. 1086
- Legge 2 febbraio 1974 n. 64, recante provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche
- D. M. Min. II. TT. del 14 gennaio 2008 – Norme tecniche per le costruzioni
- Circolare 2 febbraio 2009, n.617 Istruzione per l'applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008
- UNI EN 1990 - Eurocodice – Criteri generali di progettazione strutturale;
- UNI-ENV-1992 : "Progettazione Strutture in c.a."
- UNI EN 1997-1 - Eurocodice 7 – Progettazione Geotecnica – Parte 1: Regole generali;
- UNI EN 1998-1 - Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici;
- UNI EN 1998-5 - Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento e aspetti geotecnici;
- UNI EN ISO 14688-1 - Indagini e prove geotecniche - Identificazione e classificazione dei terreni - Identificazione e descrizione.
- Linee guida sul calcestruzzo strutturale - Presidenza del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici - Servizio Tecnico Centrale
- UNI EN 197-1 giugno 2001 – "Cemento: composizione, specificazioni e criteri di conformità per cementi comuni"
- UNI EN 11104 marzo 2004 – "Calcestruzzo: specificazione, prestazione, produzione e conformità", Istruzioni complementari per l'applicazione delle EN 206-1
- UNI EN 206-1 ottobre 2006 – "Calcestruzzo: specificazione, prestazione, produzione e conformità"

NOTA: ai sensi dell'Art. 2 del DM 17.01.2018, l'applicazione del D.M. 14.01.2008 fino all'ultimazione dei lavori ed al Collaudo degli stessi, è consentita per l'intervento in esame rispondendo questo alle condizioni stabilite dall'Art. 2, ovvero trattandosi di progetto esecutivo già affidato prima della data di entrata in vigore delle norme tecniche per le costruzioni DM 17.01.2018, ed essendo la consegna dei lavori prevista entro cinque anni dalla data di entrata in vigore del DM di cui sopra.

3 PROGETTO ESECUTIVO CON MIGLIORIE

Partendo dal Progetto Esecutivo di gara, il Progetto Esecutivo al momento in esecuzione, come modificato dalle migliorie proposte in sede di gara da Costruire per Genova Scarl (CpG), ha confermato la scelta del metodo di scavo a favore di una fresa di tipo aperto (TBM aperta) per una lunghezza complessiva di 5.199,49 m



Figura 3-1 – Planimetria di ubicazione tratta di scavo in meccanizzato secondo PE

Complessivamente l'impostazione progettuale attuale prevede quanto segue, dove in grassetto sono evidenziate le migliorie introdotte in sede di gara rispetto al Progetto Esecutivo originario. Tutto quanto non citato risulta pari al Progetto Esecutivo e non coinvolto dalla variante qui esposta:

- Scavo con TBM aperta da roccia e getto del rivestimento definito a seguire in galleria in concomitanza con avanzamento per una lunghezza di 5.199,49m da Pk 5+849,49 a Pk 0+650,00
- Montaggio TBM in caverna **allungata** (sezione a ferro di cavallo 22,9 x 19,60 - HxL - Lunghezza 110 m) per garantire le operazioni di scavo ed il recupero di spazio di cantiere
- **Realizzazione di una galleria di by-pass per la connessione diretta tra finestra di accesso e tratta di galleria scolmatrice a monte della caverna di montaggio TBM**
- **Scavo dall'imbocco di C.so Italia per complessivi 650m con metodo tradizionale**
- Avvio scavo con TBM dopo il suo inserimento in un galleria di lancio di lunghezza 120 m
- **Smarino per mezzo di nastri** fino al portale imbocco area ex-canile (treni per alimentazione fresa)
- Getto del rivestimento definitivo in opera in contemporanea con scavo TBM
- **Getto rivestimento del camerone a fine scavo TBM** (prima solo in relazione ad un eccesso di venute d'acqua)
- Estrazione back-up da imbocco lato ex-canile + estrazione TBM aperta da imbocco lato C.so Italia (15gg naturali e consecutivi)

- Recupero materiale di smarino come inerte calcestruzzo di circa 60.000 m^3
- Deposito temporaneo di parte del materiale di risulta dallo scavo meccanizzato della galleria idraulica in aree prossime al cantiere (area ex-cava Frantoi S.r.l.), in attesa del completamento delle operazioni di scavo e della disponibilità degli arenili da ripascere.
- Trasporto del marino per il ripascimento direttamente a mare senza generare traffico in città attraverso la galleria ultimata per mezzo dello stesso nastro trasportatore della TBM operato in senso inverso

4 PROPOSTA DI VARIANTE

Con esplicito riferimento a quanto esposto al capitolo 3 la proposta di variante intende apportare le seguenti modifiche al Progetto Esecutivo con migliorie, elencate in ordine cronologico rispetto allo sviluppo del cantiere.

- Al fine di assicurare la necessaria velocità delle operazioni di scavo della finestra di servizio, e, successivamente, della galleria idraulica lato monte, si è deciso di operare le seguenti ottimizzazioni:
  - ❖ Ottimizzazione del rivestimento di prima fase;
  - ❖ Ottimizzazione armatura rivestimento definitivo.
- Modifica interventi in C.so Italia, sia all'interno che al di fuori gli "arconi", per consentire di eseguire i lavori all'interno di spazi ridotti e confinati; in particolare si è:
  - ❖ Ottimizzato il diametro dei pali in modo da poter eseguire le opere provvisionali con attrezzature di dimensioni ridotte;
  - ❖ Sostituzione dei profilati HEB200 con tubolari metallici;
  - ❖ Sostituzione del trattamento colonnare mediante jet-grouting con iniezioni cementizie;
  - ❖ Ri-geometrizzazione delle travi che reggono i pilastri rimossi e delle opere di consolidamento (paratie in micropali e tirantature) in modo da non interferire con la sagoma della TBM durante il suo transito verso la prospicente spiaggia di San Giuliano.

  Resta inalterata, rispetto al Progetto Esecutivo delle migliorie, la funzione della doppia paratia a sostegno della struttura metallica per l'appoggio delle pile (travi principali, travi secondarie e travi accoppiate di sostegno delle pile[CM1][PM2]); tale struttura, infatti, verrà eseguita prima dell'inizio delle fasi di scavo delle opere provvisionali escludendo la realizzazione dei micropali attorno al plinto centrale degli "arconi" di Corso Italia previsti, nel P.E.A., come intervento di sottofondazione.
- Eliminazione galleria di by-pass da finestra di servizio a galleria scolmatrice a monte della camera;
- Ottimizzazione nodo caverna con dimensioni finite:
  - ❖ Lunghezza 78,75m
  - ❖ Larghezza 12,80m
  - ❖ Altezza 14,30m
- Riduzione lunghezza galleria di lancio a 12,5 m (avvio scavo meccanizzato a pk 5+925.40)
- Scavo con TBM scudata per 5861,78 m e montaggio contemporaneo di un rivestimento in conci prefabbricati con aumento di diametro da 9,5 m a 9,7 m
- Possibilità di getto dei piedritti del rivestimento della caverna durante lo scavo con TBM (la calotta sarà gettata durante le attività di ripascimento
- Ottimizzazione planimetria dell'ultima parte del tracciato con eliminazione della curva con raggio R=200m

- Estrazione dell'intera TBM (macchina con scudi e back-up) dall'opera di sbocco a mare (i.d. imbocco tratta in tradizionale lato mare)

Come evidente il cambio principale è legato all'impiego della TBM scudata al posto della TBM aperta.

Nel seguito, dopo un richiamo alle condizioni geologiche e geotecniche attese lungo la galleria saranno illustrati i vari punti della variante proposta.

.

5 RICHIAMO DELLE CONDIZIONI GEOLOGICO-TECNICHE

I dati di base "geologico-tecnici" per la formazione del Flysch di Monte Antola sono quelli del Progetto Esecutivo, corroborati da alcune alte informazioni visive sia per le Argilliti di Montoggio che per le argille di Ortovero. Queste ultime in particolare sono state "viste" sui documenti "as built" della galleria scolmatrice del torrente Fereggiano.

5.1 ASSETTO GEOLOGICO REGIONALE

Nel seguito si riporta, sulla base dei dati contenuto nel PE, un inquadramento geologico geomorfologico generale dell'area e quindi, nel dettaglio, la situazione geologico-morfologica locale.

Il settore interessato dalle opere a progetto è interamente compreso nel Foglio 213-230 Genova della Carta Geologica d'Italia, a scala 1:50.000. Questo settore della Liguria è caratterizzato da un substrato costituito dai Flysch Intrappenninici e dalla presenza, discontinua, di coperture, generalmente di ridotto spessore, rappresentate da depositi quaternari.

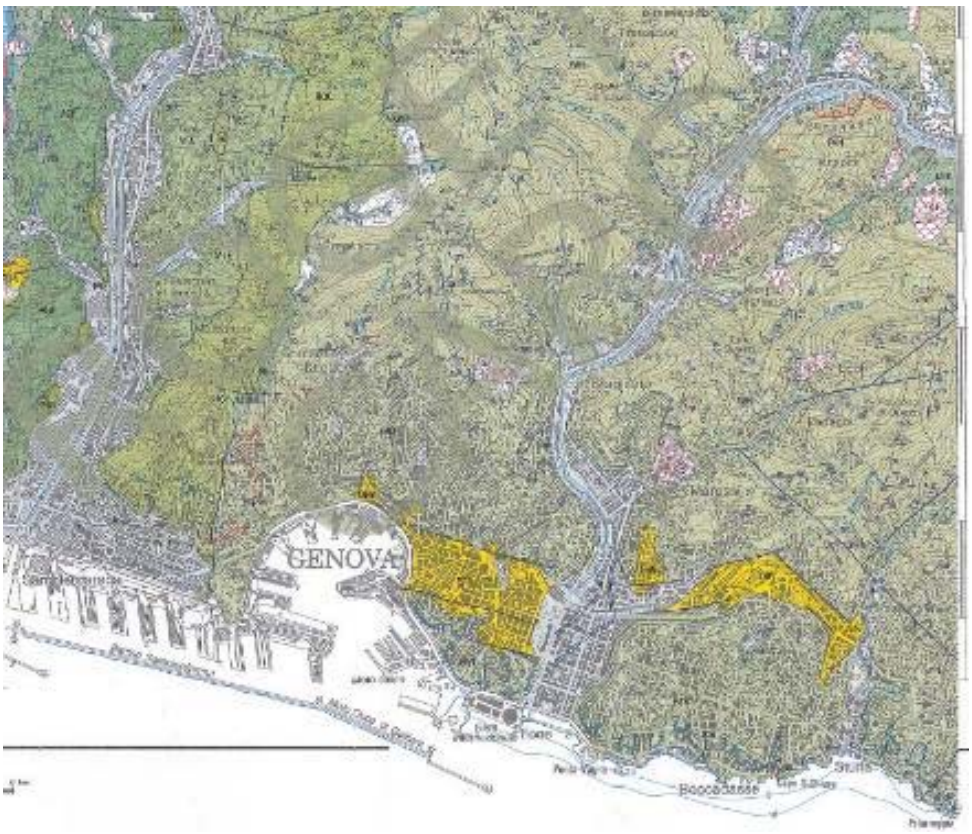


Figura 5-1 - Stralcio carta geologica 1:50.000 Foglio 213-230 Genova

La storia geologica dell'area interessata dal tracciato può essere inserita nel contesto più generale della complessa storia geologica evolutiva della Liguria. L'evento che maggiormente caratterizza il territorio in esame ha inizio con un movimento di divergenza dei blocchi cratonici di Europa ed Africa, che porta alla formazione dell'Oceano Ligure - Piemontese. Al termine della sua evoluzione, sviluppatasi nell'intero periodo Cretaceo, ha inizio l'Orogenesi Alpina durante la quale si verifica un riavvicinamento delle zolle

continentali; queste collidono e si sovrappongono mentre una parte dei terreni generatisi durante la fase espansiva è subdotta.

La deposizione dell'Unità del Monte Antola (UMA), cui appartengono buona parte dei terreni rilevati nell'area in studio, avviene nel Cretaceo medio – superiore all'interno di una fossa circa subparallela al piano di subduzione ed in un bacino allungato in direzione circa E-W.



Figura 5-2 - Stralcio carta geologica 1:50.000 Foglio 213-230 Genova - Legenda

A seguire la deposizione (Fase 0, Marini 1981) inizia la prima fase di ripiegamento (fase alpina precoce) con carattere decisamente compressivo, vergenza verso S ed assi delle pieghe diretti verso E. Nel corso di questa fase vengono generati vasti piani di rottura (faglia inversa di Ellera – Magrania) ed accavallamenti di masse a diversa vergenza, le pieghe assumono scala chilometrica e l'UMA va in emersione.

La fase tettonica successiva, concomitante con il parossismo principale alpino e responsabile dell'instaurarsi più ad oriente della zona a scaglie Sestri – Voltaggio, ha una direzione circa ortogonale alla prima e genera due famiglie di pieghe a scala chilometrica, accompagnate da pieghe minori cui corrispondono due sub-fasi con assi dapprima in direzione circa Est e poi Nord-Est. Ad esse è associata una scistosità di frattura molto

evidente in particolare nelle argilliti, dove il clivaggio è la superficie più evidente in affioramento rispetto alla stratificazione.

Le linee di cerniera e le superfici assiali dei due sistemi di strutture sono, generalmente, perpendicolari tra loro, tranne che nelle zone dove la seconda fase riorienta gli elementi strutturali della prima fase. Uno schema tridimensionale dell'interferenza geometrica tra le due deformazioni plicative principali è rappresentato in Figura 3.3.

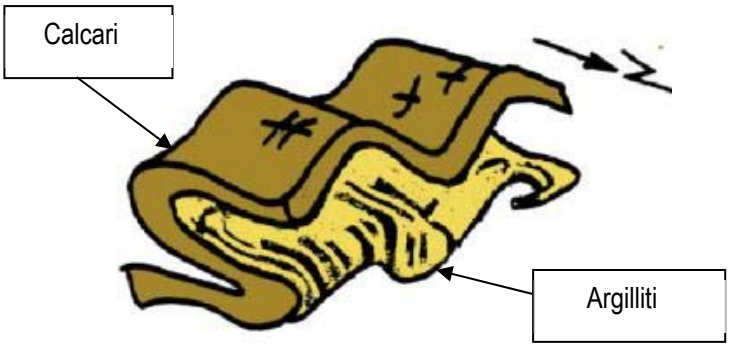


Figura 5-3 - Schema tridimensionale dell'interferenza geometrica tra le due deformazioni plicative principali relativa alla formazione del Flysch di M. Antola

Dall'analisi delle stereo proiezioni polari delle famiglie di discontinuità si osserva che, spesso, le giaciture dei due sistemi principali di fratture sono disperse in relazione alla sovraimposizione della Fase 2 sulla fase 1.

Le fasi plicative hanno comunque dato una risposta deformativa diversa in relazione ai materiali coinvolti; infatti gli orizzonti a comportamento duttile generano pieghe a diverso raggio mentre negli orizzonti rigidi possono crearsi diffuse fratturazioni secondo piani ortogonali alla stratificazione.

L'unità viene successivamente interessata da ulteriori fasi deformative in ambiente duttile e fragile. I piani di discontinuità sono in un primo momento paralleli alla costa (E-W) e successivamente normali alla stessa, contribuendo in tal modo ad impostare le direttrici dei principali corsi d'acqua.

La fase tettonica più recente ha generato due sistemi di faglie con direzione circa Est – Ovest che hanno interessato l'UMA lungo una striscia che corre tra la zona della Stazione di Porta Principe, a ponente, e il quartiere di Sturla a levante. Gli eventi dislocativi hanno abbassato una zolla del massiccio calcareo (struttura a graben). Nella fossa creatasi, delimitata da faglie e fianchi gradonati, si è inserito il mare che ne ha determinato il riempimento con sedimenti principalmente fini (argillo – limosi, Argille di Ortovero) in ragione della profondità di deposizione. Ai margini della fossa talvolta si riscontrano rifluimenti di natura argillosa che si sovrimpongono, generalmente per spessori modesti, al basamento calcareo.

Alla base della fossa si rileva la presenza di depositi grossolani che costituiscono il prodotto del progressivo disfacimento delle falesie calcaree che delimitavano la fossa stessa prima dell'inizio del colmamento.

Ai margini della depressione si sono originate, nel corso dello "strappo" che ha portato all'affondamento della fossa, fasce di cataclasiti e contesti dove la roccia ha subito processi di alterazione anche in profondità.

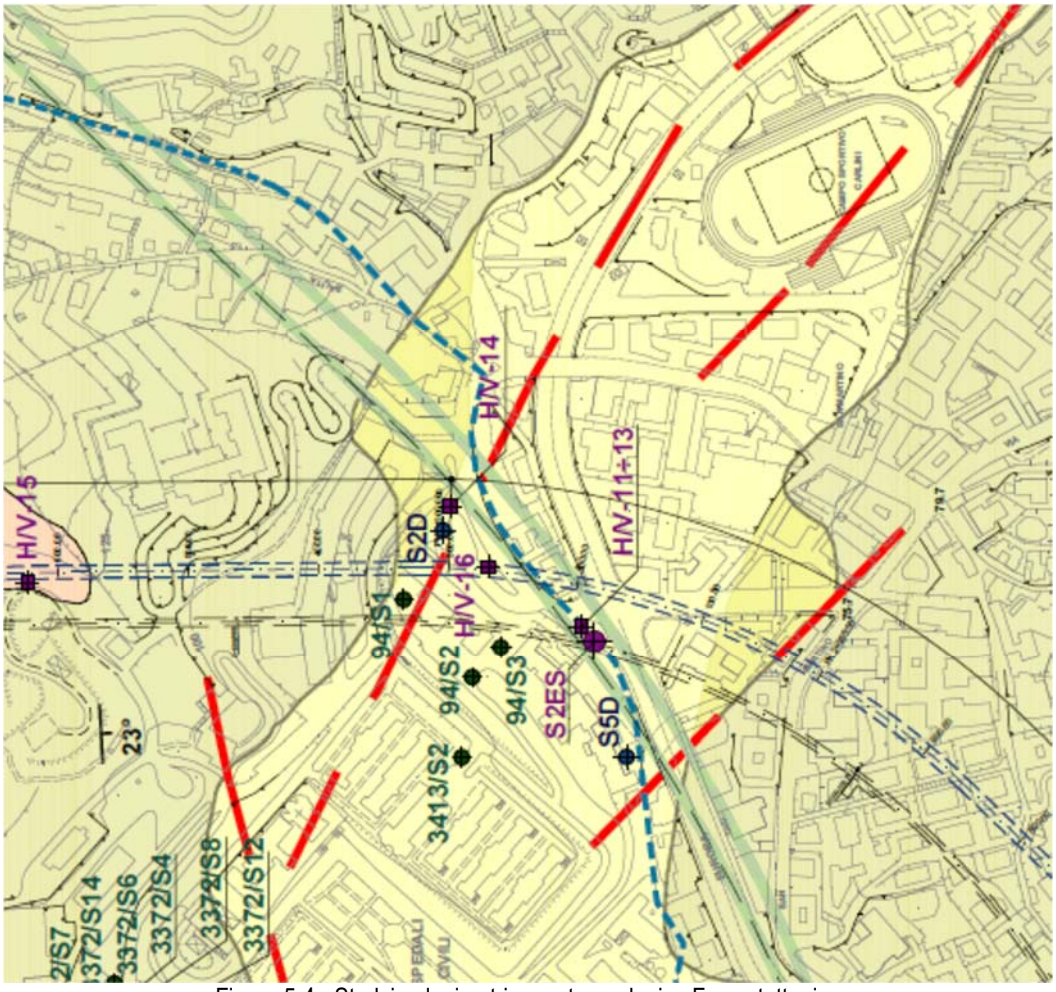


Figura 5-4 - Stralcio planimetrico carta geologica Fossa tettonica

Nel quadro generale l'Appennino Settentrionale si colloca al raccordo con la catena alpina ed è tradizionalmente delimitato a NW dalla linea Sestri – Voltaggio e a Sud dalla linea Ancona – Anzio (Corsi, 2003). Le Unità che lo costituiscono sono riconducibili a quattro domini paleogeografici ben distinti: quello Ligure (oceanico e transizionale), Subligure, Toscano e Umbro – Marchigiano. Il dominio Ligure è suddivisibile in due sottodomini: Ligure Interno e Ligure Esterno.

5.2 ASSETTO GEOLOGICO LOCALE DA PROGETTO ESECUTIVO

L'area interessata dal tracciato dello scolmatore del Torrente Bisagno include la porzione inferiore e mediana della Val Bisagno, che scorre con direzione circa N-S, e parte dei bacini dei Rii Fereggiano, Rovare e Noce. Dal punto di vista geolitologico questo settore è caratterizzato dalla presenza delle tre seguenti Formazioni, distinte in ordine cronologico dalla più antica alla più recente:

- Argilliti di Montoggio – (Cenomaniano - Turoniano)
- Flysch di Monte Antola (Campaniano superiore, Maastrichtiano – Paleocene basale)
- Argille di Ortovero (Pliocene inferiore)

Le prime due Formazioni concorrono a formare l'Unità Tettonica di Monte Antola (UMA), che compete ad un'area di bacino di fondo oceanico sviluppatasi a partire dal Giurassico superiore fra i margini paleoeuropeo e adriatico, non interessata dal metamorfismo di alta pressione e colmata rapidamente nel corso delle fasi orogeniche iniziali dell'edificio strutturale nordappenninico.

L'UMA rappresenta una delle falde di impilamento tettonico a margine della linea Sestri-Voltaggio. Poggia tettonicamente sull'Unità del Flysch di Busalla e la base del sovrascorrimento è rappresentata dalle Argilliti di Montoggio che avrebbero funzionato da livello di scollamento e lubrificante tettonico.

Da segnalare la presenza, nella zona dell'ospedale di S. Martino, della formazione delle Argille di Ortovero, un deposito che rappresenta il colmamento di un basso strutturale (graben) del fondale marino pliocenico.

Nell'ambito dell'anfiteatro genovese il flysch di Monte Antola rappresenta la litologia arealmente predominante che determina la morfologia dei versanti. Le argilliti basali affiorano lungo i fianchi della media Val Bisagno, dove risultano più diffuse in sponda destra rispetto alla sinistra, mentre sono praticamente assenti nell'area cittadina se si eccettua una ristretta zona in Albaro. Le argille plioceniche, infine, sono presenti con buona continuità in una larga fascia che attraversa la città in direzione ponente – levante.

Nel seguito si descrivono in dettaglio i depositi presenti lungo la galleria scolmatrice nella tratta d'interesse, così come si evince dai dati di PE.

5.2.1 Le Argilliti di Montoggio

Le Argilliti di Montoggio sono argilliti manganesifere vari-colori prevalentemente grigio scuro-nerastro, talvolta verde pallido o rosso-vinaccia, ad accentuata scistosità con sporadiche intercalazioni arenacee di spessore decimetrico (vedi Figura 5-5). Sono depositi di ambiente emipelagico; poste alla base del Flysch di Monte Antola morfologicamente sono facilmente distinguibili per la brusca rottura di pendio che determinano. La struttura nel complesso si presenta fortemente scagliettata per effetto in special modo dell'intensa milonitizzazione alla quale il materiale è stato sottoposto; tali argilliti rappresentano infatti una superficie di scorrimento preferenziale per le principali dislocazioni tettoniche.

Il limite inferiore della formazione è rappresentato dal Flysch di Ronco e la natura del contatto, stratigrafico o tettonico, è ancora controversa. Lo spessore della formazione è normalmente modesto; nella zona di Montoggio è indicato in bibliografia, normalmente, nell'ordine di una trentina di metri. Valori localmente riscontrati e nell'ordine di 70 – 80 m sono imputabili a sovrapposizione tettonica.

Il grado di alterazione delle argilliti è sempre elevato; risultano fortemente aggredibili dagli agenti esogeni e, pertanto, scarsamente rappresentate in affioramento ammantate da una estesa copertura detritica. L'alterazione, causa l'elevato stato di fratturazione, può spingersi anche in profondità per effetto del regime di circolazione delle acque.

Questa unità è presente in modo discontinuo ma diffuso alla base della Formazione di Antola, e costituisce corpi lenticolari rimasti legati alla superficie di sovrascorrimento dell'Unità dell'Antola sulle unità sottostanti. L'Argillite di Montoggio ha costituito l'orizzonte di scollamento per l'unità soprastante; per questo motivo gli affioramenti oltre che essere discontinui si presentano fortemente tettonizzati (vedi Figura 5-6). Le argilliti sono attraversate da numerose famiglie di fratture che delineano lithons molto allungati.



Figura 5-5 – PE: Sondaggio SEB6 da m 15.00 a m 20.00



Figura 5-6 – PD: Sondaggio S8D, zona di passaggio tra Argilliti e Calcari marnosi

5.2.2 *Il Flysch di Monte Antola*

Il Flysch di M.te Antola, a Fucoidi ed Helmintoidi appartiene, nell'ambito del Dominio Piemontese Ligure, alle Liguri Interne. E' costituito da una sequenza monotona di strati torbiditici accumulati in facies probabilmente distale lungo superfici di fondale inclinate ed instabili. La sequenza litologica tipo è costituita da alternanze eteropiche di calcari arenacei fini, calcari marnosi, marne calcaree, livelli di argilliti emipelagiche talora scistose e, più raramente, strati a base arenacea (Figura 3.9).



Figura 5-7 – PE: Sondaggio SEB2 – Area Sciorba

Lo spessore del Flysch di Monte Antola non dovrebbe superare, nel genovese, lo spessore di 200 m; nell'ambito della sua intera area di affioramento, fra il bordo padano dell'Appennino settentrionale ed il Mar Ligure, si ritiene che la sua potenza, causa accavallamenti tettonici, possa superare i 2000 m.

L'ordine di grandezza delle differenti litofacies in ambito cittadino vede una netta prevalenza della componente calcarea, calcareo marnosa o marnoso calcarea (70-80)%, limitati calcari arenacei (15%) ed argilliti complessivamente inferiori al 5% (Limoncelli e Marini, 1969 – Marini, 1981 e 2003).

I livelli calcarei e calcareo-marnosi si presentano in strati e banchi aventi spessori da sub-metrici a plurimetrici (spessore medio 1,0-1,50 m), generalmente compatti, da poco a mediamente fratturati esternamente alle zone di maggior disturbo tettonico. Gli interstrati argillitici hanno spessore decimetrico ed un elevato grado di alterazione. Stratigraficamente sia a grande che a piccola scala si hanno frequenti ed improvvise variazioni giaciturali per effetto sia di complessi fenomeni sinsedimentari (slumping) sia per le diverse deformazioni plicative subite dall'ammasso in fasi diverse.

E' stato accertato dagli Studiosi della geologia locale che il Flysch dell'Antola non è interessato da processi metamorfici oltre il campo della diagenesi.

La transizione alle sottostanti Argilliti di Montoggio è graduale e rappresentato da pochi metri di fitte intercalazioni di straterelli marnoso calcarei, argillitici ed arenacei.

Il Flysch di Monte Antola evidenzia una certa eterogeneità imputabile alla presenza di diverse litologie con comportamento ora rigido (calcari arenacei fini), ora mediamente rigido (calcari marnosi) ora duttile (marne ed argilliti), sia da una spiccata variabilità dello stato fessurativo della roccia.

Il grado di alterazione del materiale in banco dipende essenzialmente dalle condizioni di esposizione, dalla circolazione di acque di falda e dalla natura della facies interessate. Le bancate francamente calcaree sono,

in genere, poco alterate già a livello di affioramento. Non è inconsueto riscontrare a modeste profondità livelli calcarei con roccia essenzialmente sana, anche se fratturata, avente resistenza medio – elevata.

Differenti sono le caratteristiche medie dei livelli marnosi ed argillitici. I primi se superficiali o soggetti a circolazione di acqua di falda sono, in genere, molto alterati, suddivisi in scaglie oppure ad aspetto terroso e plastico pur con consistenza medio-alta. Se l'alterazione non ha ancora prodotto il disfacimento totale si può avere uno stato di conservazione intermedio con roccia tenera o debole.

Situazione analoga si riscontra nei livelli argillitici, quasi sempre scistosi, le cui caratteristiche di resistenza decadono rapidamente al crescere del grado di alterazione che può interessare livelli anche relativamente profondi (fino a molte decine di metri).

Le intercalazioni marnose e argillose alterate costituiscono, in caso di giacitura sfavorevole, i piani di debolezza preferenziali lungo i quali possono instaurarsi fenomeni di instabilità. Tale contesto, unitamente ad un certo grado di frammentazione della massa rocciosa imputabile a motivi tettonici, giustifica la presenza di accumuli di frana, localmente anche importanti e generalmente di antica data (paleofrane).

Il Flysch di Monte Antola, rappresentato da calcari non puri, sulla base degli elementi bibliografici acquisiti integrati dalle diverse evidenze in sito, non risulta soggetto a fenomeni carsici di rilievo. Alcuni autori addirittura dubitano che per l'Antola si possa parlare di vero e proprio carsismo il quale, comunque, assume un carattere blando e poco pervasivo. I dati disponibili, in particolare, sembrano escludere la presenza di una circolazione idrica a grande scala di tipo carsico.

5.2.3 Le Argille di Ortovero

Le Argille di Ortovero sono depositi marini costituiti prevalentemente da marne e marne argillose, di colore grigio o grigio azzurro quando non alterate, fortemente sovraconsolidate e molto consistenti o dure. Più raramente si registra la presenza di strati sottili di sabbie a grado di cementazione variabile.

Il contatto basale con il substrato roccioso ha caratteristiche di trasgressivo e molto spesso è costituito da livelli di brecce e conglomerati, di spessore da pochi centimetri a qualche metro. La stratigrafia rappresenta il "breve tempo" dell'evento trasgressivo e dell'affondamento fino alla profondità (stimata) di circa 400 – 500 metri.

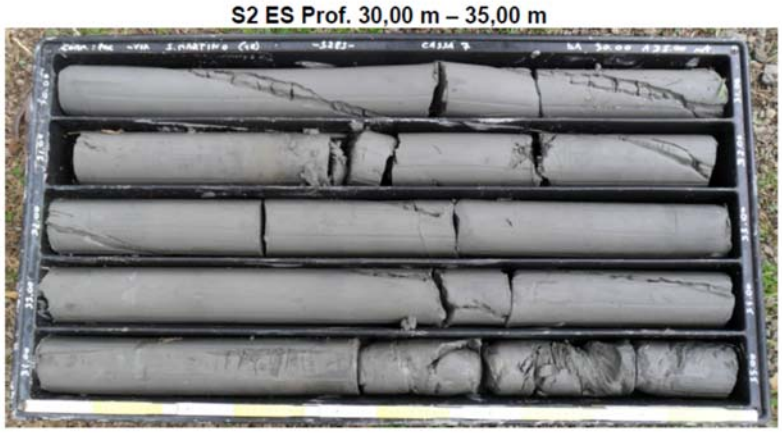


Figura 5-8 – PE: Sondaggio S2 ES – Argille di Ortovero



Figura 5-9 – PE: Sondaggio S2 ES, depositi ghiaiosi alla base delle argille di Ortovero

Le argille di Ortovero affiorano in lembi isolati lungo la costa ligure tra Albenga e il levante genovese, dove occupano una fascia, di larghezza variabile (massimo circa 1 km), disposta grosso modo est – ovest tra il centro città e Sturla. In genere si dispongono all'interno di "graben" di piccola estensione delimitati da faglie sub-parallele alla costa.

Difficilmente riscontrabili in affioramento in quanto confinate in aree densamente urbanizzate, le argille hanno colmato una fossa tettonica neogenica per spessori molto variabili; si va dagli oltre 200 m riscontrati nel centro di Genova (Piazza Corvetto – Acquasola) a spessori di alcune decine di metri (o pochi metri) all'estremità della depressione.

5.3 PROFILO GEOLOGICO DI PROGETTO ESECUTIVO

La galleria dello scolmatore per la porzione in cui si propone un cambio della tecnica di scavo è inserita nel Flysch di Monte Antola, che si estende con continuità lungo quasi tutto il suo sviluppo a meno di due inserimenti localizzati che fanno riferimento alle Argilliti di Montoggio (da Pk 5+430 a 5+330 secondo PE) ed alle Argille di Ortovero (da Pk 2+300 a Pk 2+020 secondo PE).

Il Flysh di Monte Antola ha una stratificazione, non sempre molto evidente in affioramento, che riproduce una serie di strutture anticilinaliche e monoclinaliche spesso blande interrotte da sistemi di faglie "raddrizzate" disposte generalmente NW-SE e, più raramente, N-S. Accanto ai sistemi dislocativi indicati in carta è probabile che ve ne siano altri non riconoscibili sia per la scarsità di affioramenti sia per il grado di urbanizzazione di molte aree. Normalmente il Flysch è ricoperto da una coltre detritica di spessore modesto; localmente sono presenti depositi riconducibili a movimenti gravitativi e costituiti prevalentemente da brecce eterogenee in matrice limoso - sabbiosa di colore grigio.

Dalla progressiva di innesto con la finestra di servizio fino alla progressiva 5+430 circa, lo scavo si sviluppa parte all'interno del Flysch del Monte Antola e per una tratta di circa 100 m, all'interno delle Argilliti di Montoggio, il cui contatto con i calcari marnosi è delimitato da due faglie sub-verticali. Le Argilliti di Montoggio affiorano localmente lungo il Rio Mermi, in generale sono ricoperte da una coltre detritica originata a spese della formazione stessa e su cui spesso s'instaurano fenomeni deformativi superficiali.

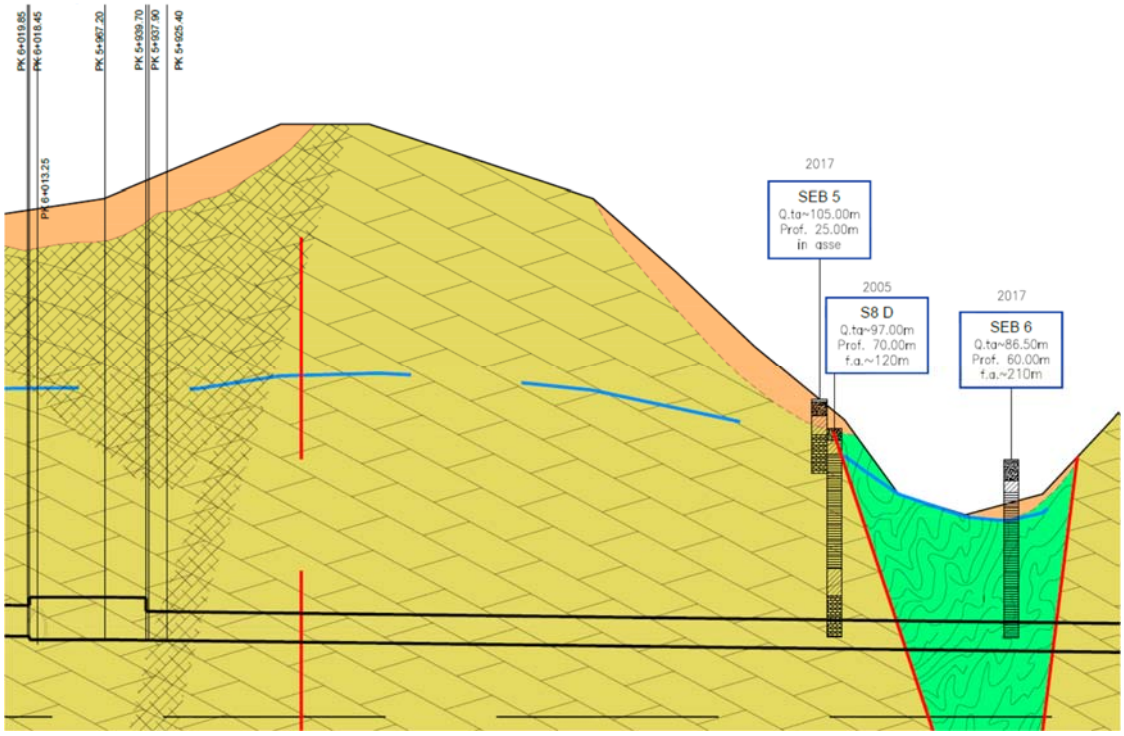


Figura 5-10 – Tratta in tra camerone e Argilliti scistose (“Argilliti di Montoggio”)

Dalla progressiva 5+320 circa, zona di contatto con le Argilliti di Montoggio fino alla progressiva 2+300 circa, lo scavo si sviluppa interamente all’interno del Flysch dell’Antola, variamente ripiegato.

Dalla progressiva 2+300 alla progressiva 2+020 il tracciato si sviluppa interamente in corrispondenza del “Graben di Terralba”, interessato dalla Formazione delle Argille di Ortovero.

Le Argille di Ortovero occupano una fascia ristretta avente direzione circa E-W, delimitata da due faglie parallele con direzione NW-SE o E-W. Lo spessore del litotipo si dimostra molto variabile e compreso fra i 60 m del vicino sondaggio SF6 del Fereggiano (anche se sono possibili spessori maggiori, sino a 80 – 100 m) ed i 12 m del sondaggio S2D. Anche in questo caso non sono stati riscontrati affioramenti del litotipo per effetto dell’elevata alterabilità dello stesso e del marcato grado di urbanizzazione delle aree di competenza.

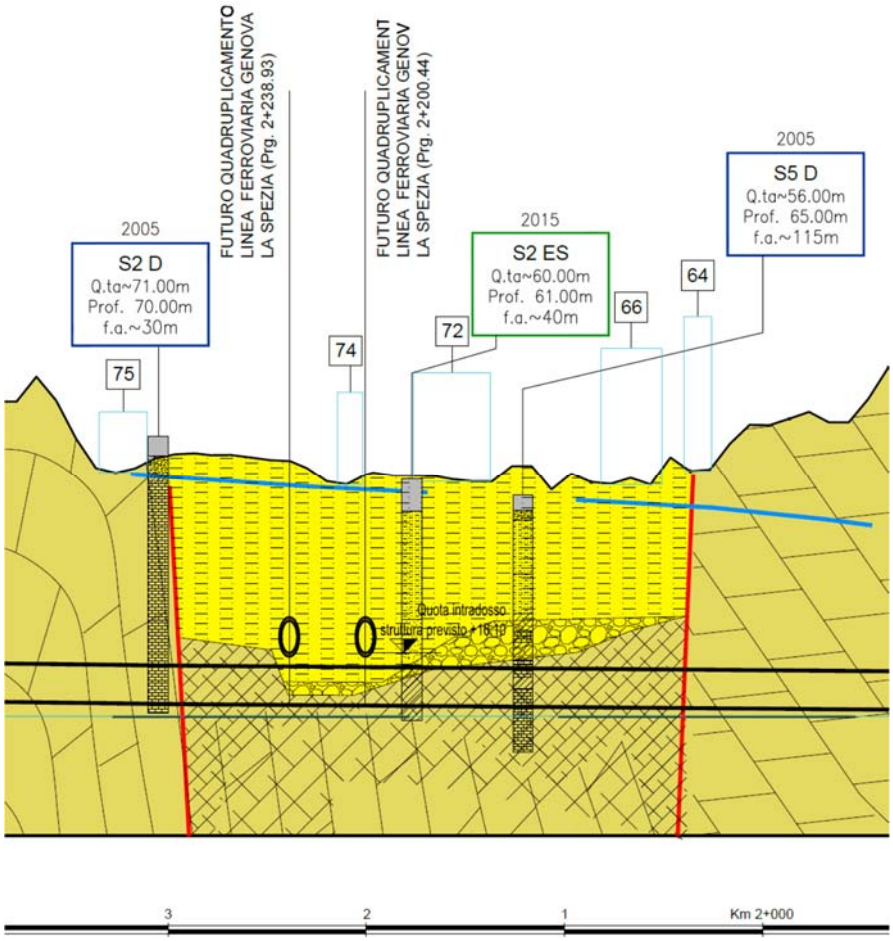


Figura 5-11 – Tratta con le Argille di Ortovero

Nella tratta tra le progressive 2+020 e lo sbocco a mare (progressiva 0+000) lo scavo si sviluppa interamente all'interno del Flysch del M. Antola con la presenza di basse coperture e di ammasso roccioso, localmente molto alterato e fratturato.

In questa tratta avviene il sottopasso delle gallerie ferroviarie esistenti.

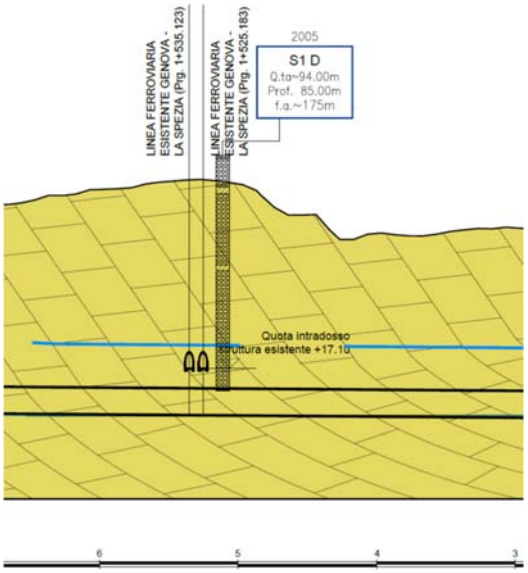


Figura 5-12 – Profilo longitudinale di dettaglio dell'opera nella tratta in cui si sottopassano le gallerie ferroviarie esistenti

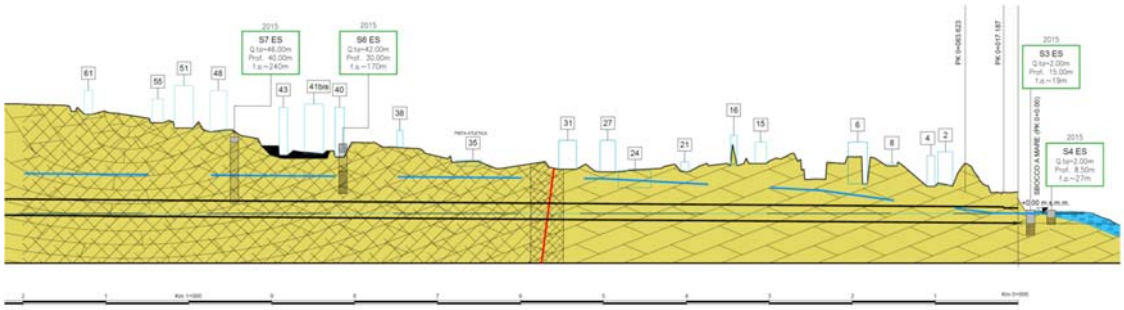


Figura 5-13 – Profilo longitudinale di dettaglio nell'ultimo tratto di galleria verso mare

6 OTTIMIZZAZIONE DEL TRACCIATO ZONA FORTE SAN GIULIANO

Sotto il forte di San Giuliano il tracciato della proposta di variante vede l'eliminazione dell'ultima curva di raggio 200m, rimanendo il raggio minimo pari a 300m.

Le figure che seguono mostrano la differenza in pianta dei due tracciati e le diverse distanze finali dalle interferenze più prossime, in particolare la galleria del Fereggiano, rappresentata in verde.



Figura 6-1 – Planimetria con la modifica di tracciato sotto il forte di San Giuliano
(in colore rosso il nuovo tracciato)

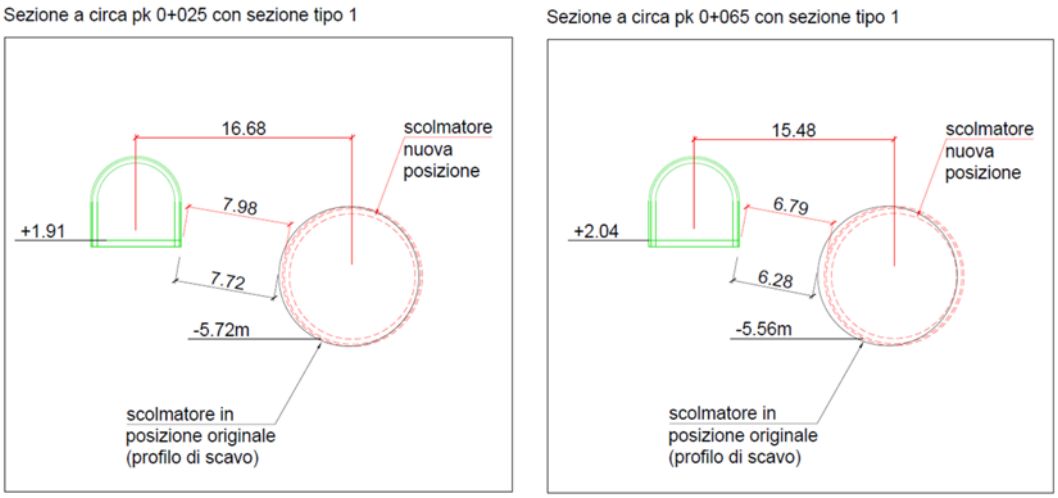


Figura 6-2 – sezione trasversali rappresentative nel tratto in cui la galleria del Fereggiano fu scavata con metodo tradizionale a ferro di cavallo

7 VERIFICA IDRAULICA DELLA VARIANTE

La variante proposta innanzi tutto introduce due modifiche geometriche influenti sul comportamento idrodinamico dell'opera che, quindi, necessitano di una verifica puntuale in modo tale da assicurare l'equivalenza delle due condizioni, ovvero quella del Progetto Esecutivo e quella del Progetto di Variante.

Le due modifiche consistono in:

- cambio di tipologia di rivestimento definitivo del tratto scavato con metodo meccanizzato in cui si prevede un aumento di diametro da 9,5m a 9,7m ed un aumento di scabrezza legato alla presenza dei giunti longitudinali e circonferenziali che separano i conci nell'anello e gli anelli;
- cambio della geometria del camerone di raccordo tra la galleria principale e quella di adduzione di monte, con funzione anche di camera di lancio per la fresa, le cui dimensioni sono modificate rispetto al PE (sezione meno ampia e maggiore lunghezza).

In conseguenza delle due modifiche risulta necessario operare un leggero ritocco delle pendenze con i seguenti obiettivi:

- mantenere inalterata la galleria a monte del camerone;
- mantenere a quota +26,00 il fondo scorrevole del camerone per una lunghezza il più possibile simile a quella della camera originale del PE per limitare gli impatti a valle del camerone
- aumentare la pendenza della galleria nel tratto fino al sottopasso delle future galleria ferroviarie al fine di mantenere sostanzialmente il franco indicato nel Progetto Esecutivo (da 0,617% a 0,622%)
- diminuire in conseguenza la pendenza a valle del sottopasso delle suddette gallerie per raccordarsi con la tratta scavata in tradizionale alla medesima quota (da 0,40% a 0,392%);
- operare un raccordo tra la sezione circolare della galleria scavata in meccanizzato, rivestita in conci prefabbricati (compresa la tratta in cui la TBM transita senza scavare), e quella oltre la progressiva della paratia frontale sotto C.so Italia (0+017,187) in cui si getterà in opera il rivestimento che andrà a raccordarsi con la struttura già realizzata nell'ambito dell'appalto dello scolmatore del torrente Fereggiano

La verifica dell'accettabilità delle modifiche descritte è stata condotta riprendendo il modello idraulico sviluppato in sede di Progetto Esecutivo e modificandolo coerentemente con la proposta di variante per apprezzarne le differenze. I calcoli di verifica sono ampiamente descritti nella relazione idraulica di variante e nel seguito se ne sintetizzano i passaggi salienti e le conclusioni (vedasi elaborato BIS2V-C-OST00-RE08-1).

In primo luogo è stato valutato analiticamente l'incremento di scabrezza atteso per la presenza dei giunti trasversali e longitudinali alla galleria dovuti al collegamento tra anelli e tra conci del rivestimento.

Tale effetto è conseguente sia all'incremento della rugosità media (proporzionalmente alla superficie dei giunti rispetto alla superficie bagnata totale), sia, più significativamente, agli effetti turbolenti di parete che le discontinuità prodotte dai giunti possono generare, con innesco di vortici stabili e perdita di energia.

Per la quantificazione di questa maggiore resistenza al moto si è proceduto considerando le seguenti ipotesi piuttosto cautelative.

- Per tutti i giunti di ogni anello e concio è stato assunto il massimo disallineamento possibile ("altezza" della discontinuità) pari a 15 mm in funzione delle tolleranze ammesse in fase costruttiva.

Nella realtà, anche ammesso di raggiungere questi scostamenti massimi, è improbabile che essi presentino lo stesso valore per tutti i giunti di uno stesso anello, andando verosimilmente a ridursi nella porzione opposta della sezione.

- Come valore di scabrezza "di base", ovvero proprio della superficie del rivestimento, per coerenza con le assunzioni del PE (in cui costituiva vincolo di capitolato per la progettazione) si è assunto un valore espresso secondo Strickler di c = 65 $m^{1/3}/s$. Esso sarebbe riferibile in letteratura tecnica a superfici in calcestruzzo usurate o già a rivestimenti realizzati per conci.

Dall'analisi effettuata si è giunti a stimare un valore di scabrezza equivalente di riferimento per la configurazione di variante pari (secondo la formulazione di Strickler) a 64 $m^{1/3}/s$, con peggioramento di circa l'1,5% rispetto al valore di PE, a priori coerente con la proposta di incremento del diametro da 9,50m a 9,70m (ovvero + 2,1%).

Lo scostamento rispetto al dato assunto nel PE risulta modesto in quanto il valore "base" di scabrezza adottato per la superficie corrente del rivestimento è già di per sé riferibile a una superficie usurata o con giunti, e l'incremento dovuto a questi ultimi in termini di maggiore scabrezza assoluta è meno rilevante di quello che si sarebbe ottenuto considerando un parametro più in linea con la bassa rugosità effettiva attesa per la superficie dei conci (dell'ordine degli 80 $m^{1/3}/s$).

Considerando quindi questo valore di scabrezza e la geometria definita dalla sezione con D=9,70 m, si è proceduto a un'analisi con modello numerico 1D del comportamento idrodinamico della galleria principale, considerando 3 scenari di riferimento:

1. scenario di progetto – funzionamento atteso dello scolmatore per la portata con tempo di ritorno duecentennale;
2. scenario di progetto considerando anche l'effetto di perdita di carico nel manufatto di sbocco dovuto al contestuale recapito della portata dello scolmatore del Fereggiano con inclinazione rispetto all'asse della galleria scolmatrice del Bisagno;
3. scenario di rischio residuale che considera il malfunzionamento dell'opera di presa con ostruzione di una delle tre paratoie della traversa di regolazione.

Con riferimento allo scenario "base" di progetto (1) si riscontra la sostanziale equivalenza tra la configurazione di variante e quella del PE, in termini di profilo idraulico massimo: nel primo tratto di maggior pendenza le altezze d'acqua nella geometria di variante risultano leggermente inferiori (fino a 6 cm), mentre nel tratto di valle a minor pendenza sono sostanzialmente identiche (superiori di 1 cm).

Considerando invece scenari di maggiore gravosità, in cui si va ad impegnare maggiormente la sezione di deflusso disponibile, per presenza di riempimenti più elevati, la configurazione di variante risulta più vantaggiosa, in relazione alle maggiori dimensioni della galleria.

In particolare nello scenario 2, in cui il tratto prossimo al manufatto di sbocco mostra un comportamento in pressione, viene ridotta di circa 400 m l'estensione del tratto in cui questo si verifica.

Nel tratto più a monte, inoltre, l'effetto di rigurgito amplifica gli scostamenti tra le due configurazioni rispetto allo scenario 1, con altezze d'acqua inferiori anche di oltre 30 cm nella geometria di variante, e corrispondenti incrementi del franco idraulico di oltre 50 cm nel tratto di monte a maggior pendenza.

Nelle condizioni di funzionamento anomalo dello scenario 3, la configurazione del PE mostra il transito della maggior portata nella galleria principale (circa 580 m^3/s) al limite del funzionamento in pressione; tale valore

è stato infatti individuato nel PE come capacità limite di smaltimento del sistema scolmatore, inteso come incipiente moto in pressione in galleria. Nella configurazione di variante, grazie alla maggior sezione di deflusso disponibile ed alla presenza di altezze d'acqua leggermente inferiori nel tratto di monte, si riscontrano franchi idraulici decisamente più significativi rispetto all'intradosso della galleria (minimo di 85 cm) che rendono ancora compatibile questa modalità anomala di funzionamento con condizioni di deflusso a pelo libero.

Per quanto riguarda il camerone di raccordo, l'analisi svolta con modello 2D ha mostrato condizioni idrodinamiche di deflusso lievemente migliorative della configurazione di variante rispetto a quella del PE:

- la minore larghezza del camerone fa sì che le velocità medie di deflusso siano più elevate, con conseguenti quote di pelo libero inferiori, anche se l'escursione del pelo libero all'imbocco si presenta più ampia;
- la maggiore lunghezza del camerone fa sì che nella sua parte centrale il deflusso si normalizzi a sufficienza e le oscillazioni presenti all'imbocco si smorzino in modo che all'ingresso della galleria circolare il pelo libero si mantenga più regolare ed uniforme.

Nonostante le differenze riscontrate sulla distribuzione delle quote di pelo libero all'interno del camerone, si osserva che i livelli lungo la galleria a sezione policentrica nello scenario di variante sono sostanzialmente coincidenti con quelli ottenuti nello scenario di progetto.

In conclusione pertanto, avendo riscontrato nelle differenti analisi condotte una sostanziale equivalenza delle condizioni idrodinamiche della configurazione di variante rispetto a quella del PE, ove non un lieve miglioramento dell'assetto idraulico (particolarmente per scenari di maggiore gravosità rispetto a quello "base" di progetto, nei quali si impegna maggiormente la sezione di deflusso con più elevati gradi di riempimento), si ritiene correttamente verificata dal punto di vista prettamente idraulico l'ipotesi di variante proposta, che risulta compatibile con il raggiungimento delle caratteristiche prestazionali definite dal progetto esecutivo per il sistema scolmatore.

8 APPLICABILITA' DELLA TBM SCUDATA

A seguito dello studio del PE per quanto attiene sia i dati di base geologico–tecnici, sia le scelte costruttive, l'Impresa Appaltatrice dei lavori ha ritenuto doveroso ed indispensabile durante la fase di Progettazione Costruttiva approfondire la conoscenza di alcuni aspetti fondamentali legati al comportamento allo scavo delle condizioni geotecniche più rappresentative, e di alcuni passaggi critici lungo il tunnel al fine di poter attestare l'efficacia di una soluzione basata sull'impiego di una TBM a scudo semplice per lo scavo meccanizzato della galleria idraulica.

Per facilità di lettura si farà riferimento alle medesime metodologie impiegate per lo sviluppo del PE e quindi al metodo ADECO-RS ed, in particolare, alle tre categorie di comportamento:

A→Galleria a fronte stabile;

B→Galleria a fronte stabile a breve termine;

C→Galleria a fronte instabile.

La definizione delle categorie di comportamento viene effettuata procedendo alla valutazione comparata e sistematica di tre fattori:

1. entità del fenomeno deformativo al fronte e a scavo avvenuto;
2. entità della fascia plasticizzata al fronte e a scavo avvenuto;
3. andamento della linea caratteristica (forma e ampiezza del tratto elastico e plastico).

In particolare, in questo caso, sulla base delle caratteristiche dei materiali da scavare, il PE ha considerato in linea generale per la definizione della classe di comportamento quanto di seguito:

- se la convergenza prevista al fronte è inferiore allo 0.5% del raggio medio, il comportamento è di classe A; se invece la convergenza prevista al fronte è maggiore dello 0.5% ma inferiore al 1.5%del raggio medio il comportamento è di classe B, altrimenti di classe C;
- se la fascia plastica risulta non rilevante (inferiore a 0.5 volte il raggio) il comportamento è di classe A; se invece la fascia plastica è maggiore di 0.5 volte il raggio ma inferiore a 1.5 volte il raggio il comportamento è di classe B, altrimenti di classe C;
- si valuta la forma della linea caratteristica del cavo; in classe A questa è quasi interamente lineare (tratto elastico); in classe B compare una parte curva (tratto plastico) ma non rilevante; in classe C il tratto curvo è rilevante e generalmente, a pressione nulla, le convergenze del cavo non sono compatibili con lo scavo o hanno andamento asintotico senza mai convergere.

8.1 SCAVO NEL FLYSCH DI MONTE ANTOLA.

8.1.1 Scavo al di fuori delle faglie

In base al PE (Relazione *"BIS2E-R-OST00-RE01-1 Galleria scolmatrice tratta in meccanizzato - Relazione tecnica e di calcolo*, Tabella 7.33 al paragrafo 7.2.3) il flysch di Monte Antola ha un comportamento di tipo A, fronte stabile, cioè non si generano significative fasce plastiche e la massa rocciosa è in grado di assorbire il cambiamento di stato tensionale dovuto all'apertura del cavo.

Quindi, il comportamento allo scavo di questo formazione è più che altro legato alla creazione di cinematismi che consentono il formarsi di volumi rocciosi più o meno liberi che devono perciò essere stabilizzati.

Per meglio visualizzare il fenomeno che si genera al fronte, sono state riprodotte alcune foto di affioramenti (ex-cava Frantoi S.r.l. e foto "as-built" della galleria dello scolmatore del torrente Fereggiano) con l'inserimento dell'ipotetico contorno di scavo.

Per dar conto delle condizioni di sostanziale stabilità del fronte sono riportate le fotografie in condizioni che potremmo definire più critiche, sebbene si siano rappresentate anche le condizioni migliori, quindi potendo osservare una casistica rappresentativa (come tipologia) della formazione.

A seguire alcune foto selezionate tra le disponibili.

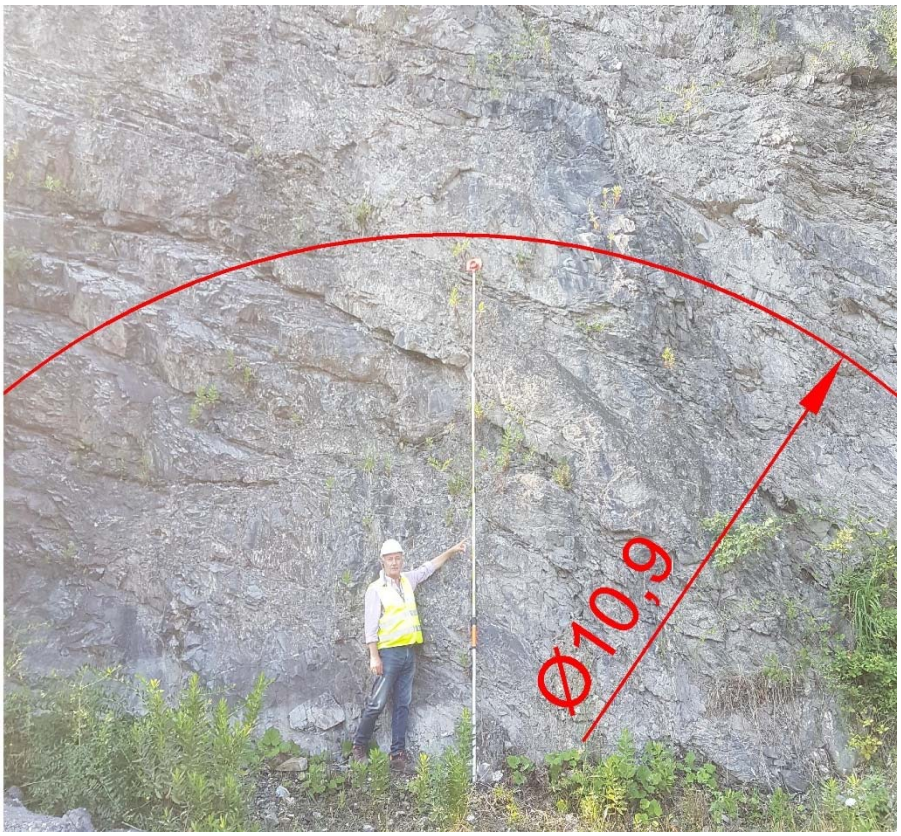


Figura 8-1 – Fronte della Cava Cavalletti

Flysch di Monte Antola
GSI stimato: 60
Foto scattata in direzione circa sud-ovest (direzione galleria in scavo meccanizzato circa sud-sud/ovest).
Stratificazione a franapoggio per avanzamento dello scavo da monte verso valle
Presenza di volumi rocciosi unitari con lato circa pari a 30-50cm massimo



Figura 8-2 – Fronte della Cava Cavalletti

Flysch di Monte Antola
GSI stimato: 45
Foto scattata in direzione circa sud-ovest (direzione galleria in scavo meccanizzato circa sud-sud/ovest).
Stratificazione a franapoggio per avanzamento dello scavo da monte verso valle
Presenza di volumi rocciosi unitari con lato circa pari a 10-20cm massimo
Possibilità di formazione di diedri instabili fino a 0,5m³ e che per successivi crolli, se non stabilizzati, coinvolgono un volume maggiore di svariati metri cubi.
La posizione del cerchio che indica il profilo di scavo è del tutto casuale potendo essere spostata in qualunque direzione per simulare altre condizioni tutte possibili.

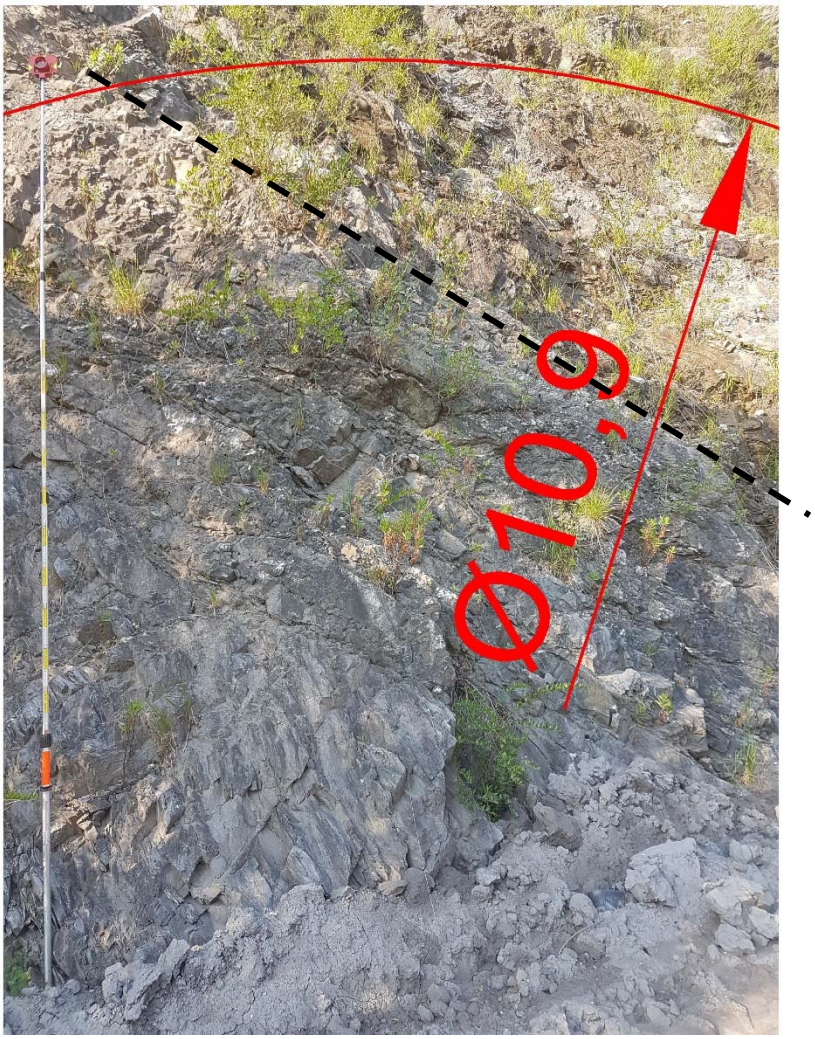


Figura 8-3 – Fronte della Cava Cavalletti

Flysch di Monte Antola
GSI stimato: fronte misto, 50 nella parte centrale, 35-40 nella parte alta del fronte (sopra la linea tratteggiata)
Foto scattata in direzione circa sud-ovest (direzione galleria in scavo meccanizzato circa sud-sud/ovest).
Stratificazione a franapoggio per avanzamento dello scavo da monte verso valle
Presenza di volumi rocciosi unitari con lato circa pari a 30-50cm massimo sul fronte
Presenza di roccia alterata e volumi rocciosi di 10-20cm massimo in calotta
Possibilità di "crolli" dalla calotta
.



Figura 8-4 – Fronte della Cava Cavalletti

Flysch di Monte Antola
Impossibilità di definire la scala della foto per accostare l'ipotetico contorno di scavo.
Trattasi di uno dei fronti più alti della coltivazione della cava con spaziatura tipica della stratificazione di circa 50cm).
GSI stimato: 50
Foto scattata in direzione circa sud-est (direzione galleria in scavo meccanizzato circa sud-sud/ovest).
Stratificazione mista, molto irregolare con prevalenza a franapoggio per avanzamento dello scavo da monte verso valle.
Possibilità di formazione di diedri instabili fino a 0,5m3.



Figura 8-5 – Camerone lungo la galleria dello scolmatore del torrente Fereggiano Pk 1+690

GSI stimato: 50-55
Stratificazione orizzontale
Presenza di volumi rocciosi unitari con lato circa pari a 30-50cm massimo sul fronte che si localizzano in calotta con andamento sub-orizzontale il quale risulta molto sfavorevole



Figura 8-6 – Galleria dello scolmatore Fereggiano Pk 2+458

GSI stimato: 60
Stratificazione inclinata a 45°
Distacco di un significativo volume roccioso in calotta creato dalla stratificazione e dalle famiglie di giunti prevalenti



Figura 8-7 – Galleria dello scolmatore Fereggiano Pk 1+700

GSI stimato: 45
Stratificazione sub-orizzontali con evidenti strati argillitici che separano i banchi di calcare
Possibili volumi unitari di 10-20cm di lato

L'esame delle precedenti fotografie mette in evidenza che le giaciture della stratificazione sono estremamente variabili lungo lo sviluppo della galleria con GSI massimi di circa 60.

Altro dato evidente, che conferma le analisi di PE, è che i problemi di stabilità saranno legati alla gestione dei volumi di roccia instabile e non a fenomeni di deformazione del cavo. I volumi da considerare presentano una dimensione rappresentativa che al massimo raggiunge i 50cm, ma che più probabilmente si attesterà su valori più bassi pari a 30cm se non inferiori.

8.1.2 Scavo nelle faglie

Per quanto attiene le zone di faglia ne deriva un comportamento di tipo B, cioè stabile a breve termine. Per la sua corretta comprensione riteniamo però doveroso osservare che:

- il calcolo eseguito con il metodo delle curve caratteristiche presuppone un mezzo infinitamente esteso delle medesime caratteristiche geotecniche che rappresenta un'approssimazione della realtà dove le faglie in questo materiale hanno estensione ridotta a circa 10m e quindi sono confinate tra porzioni sane di massa rocciosa;

- i parametri che vedono l'attribuzione di un comportamento tipo B sono al confine con il comportamento A, essendo la convergenza al fronte 0,58% (comportamento B tra 0,5% e 1,5%) e la fascia plastica pari a 0,75 volte il raggio di scavo (comportamento B tra 0,5 e 1,5 volte)

Riteniamo quindi che il comportamento sia riconducibile ad una situazione di confine tra un comportamento A ed un B e che le stabilità a breve termine sia in realtà una condizione di stabilità con possibili distacchi localizzati, verosimilmente nella parte alta del fronte.

8.2 SCAVO NELLE ARGILLITI DI MONTOGGIO

8.2.1 Scavo al di fuori delle faglie

Anche in questo caso come per il caso delle faglie nel Flysch di Monte Antola, il comportamento è di tipo B con parametri nuovamente al confine con il comportamento tipo A, essendo la convergenza al fronte pari al 0,57% (comportamento B tra 0,5% e 1,5%) e la fascia plastica pari a 0.65 (comportamento B tra 0,5 e 1,5 volte).

Tale conclusione trova peraltro riscontro anche dalle foto del sondaggio SEB6 (vedi paragrafo 3.2.1) in cui è stato possibile ricavare carote di lunghezza significativa con valori di RQD sempre maggiori di 60 e spesso attestati su 70-90, con percentuale di recupero del 100%.

La foto seguente mostra un affioramento delle argilliti nei pressi del fondovalle del rio Mermi dove è evidente la compattezza dell'affioramento. Benché questo litotipo tenda a subire una significativa alterazione quando è in superficie soggetto agli agenti atmosferici, la fotografia dimostra che questo non è generalizzato e quindi le argilliti posso risultare anche migliori.



Figura 8-8 – Affioramento di Argilliti ti Montoggio nella valle del Rio Mermi (via Mogadiscio)

8.2.2 *Scavo nelle faglie*

In questo contesto, il comportamento è di tipo C ma con parametri contrastanti, essendo la convergenza al fronte pari al 2,58% (comportamento C > 1,5%) e la fascia plastica pari a 1.41 (comportamento B tra 0,5 e 1,5 volte).

Nuovamente, come per il caso delle faglie nel Flysch di Monte Antola, assume grande rilevanza l'estensione della zona di faglia e le caratteristiche dei materiali di confine; tale transizione appare comunque limitata come estensione sia come cuore della faglia che come zone di disturbo associate.



Figura 8-9 – Zona di contatto (affioramento) tra le Argilliti ti Montoggio ed il Flysh di Monte Antola nella valle del Rio Mermi (via Mogadiscio)

8.3 SCAVO NELLE ARGILLE DI ORTOVERO

Le informazioni più importanti su questo materiale geotecnico sono fornite dalle fotografie dei fronti "as built" della galleria scolmatrice del torrente Fereggiano che consento una corretta interpretazione anche delle foto dei sondaggi (vedi capitolo 3.2.3).



Figura 8-10 – Fronte Pk 2+300 galleria dello scolmatore Fereggiano

Il fronte qui riportato, rappresentativo di altre fotografie disponibili, indica che il letto dell'argilla si attesta ad una quota corrispondente a circa la metà del fronte, il quale risulta poi occupato per la metà sottostante dai depositi posti alla base delle argille medesime.

Le argille sono rigide, sostanzialmente priva di acqua, sicuramente stabili a breve termine; il materiale granulare sottostante è immerso in una matrice coesiva e si presenta anch'esso stabile.

Il profilo "as-built" indica che in questa tratta è stato necessario applicare un pre-sostegno con bulloni autoperforanti (come si vede nella foto) ma nessun elemento di contenimento del fronte.

Le presunte zone di faglia in entrata e uscita dalla zona in questione non hanno avuto necessità di nessuna opera di presostegno o precontenimento del fronte, confermando la stabilità generale del medesimo e dei contatti.

Considerati i rapporti dimensionali tra le due gallerie scolmatrici e la loro posizione reciproca (vedere la figura seguente), riteniamo di poter definire su base empirica-esperienziale un comportamento di tipo A-B per questa tratta di galleria.

La dicitura "base empirica-esperienziale" che può apparire poco rassicurante è invece da tenere in grande considerazione perché in questa tratta la galleria scolmatrice del torrente Fereggiano che viaggia parallela a quella del torrente Bisagno ha operato come un cunicolo esplorativo di grande rilevanza vista la dimensione e la posizione.

Pertanto il ritorno di esperienza di questa opera, in vista dello scavo della galleria maggiore è un elemento di riferimento di primaria importanza (come già visto per la tratta nel Flysch) che chiarisce il comportamento a scala reale dei materiali geotecnici da scavare.

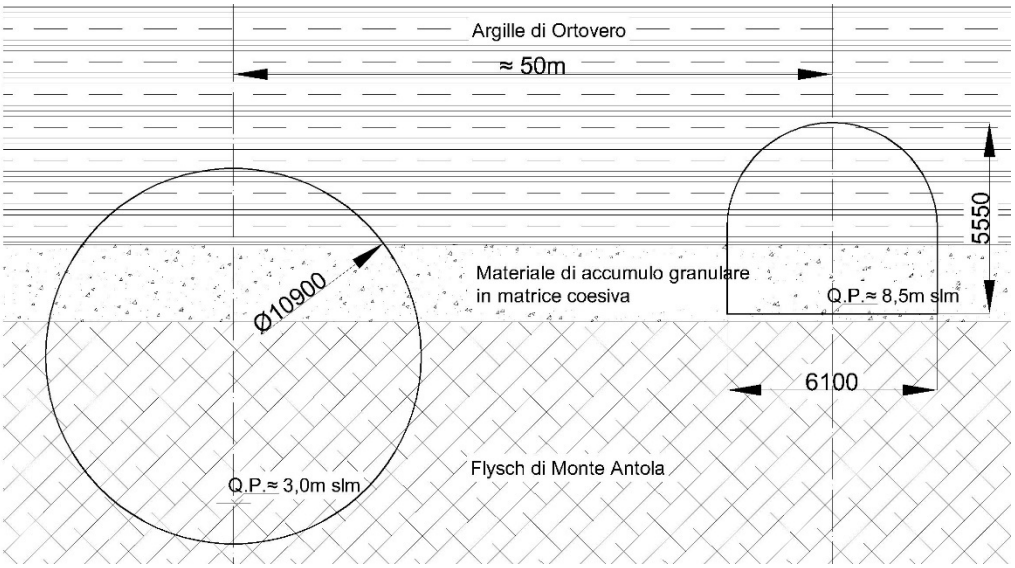


Figura 8-11 – Fronte Pk 2+200

Rappresentazione geologica in corrispondenza del graben di Torralba con indicate le geometrie reciproche delle due gallerie scolmatrici
(vista in direzione mare)

8.4 VALUTAZIONE DELLO SCAVO CON TBM SCUDATA

A fronte delle evidenze emerse dall'analisi approfondita del PE e sulla base degli approfondimenti geologico-tecnici analizzati in fase di sviluppo del Progetto Costruttivo (dati "as built" dello scolmatore del torrente Fereggiano, oltre che ispezione dei fronti della cava Cavalletti), si ritiene appropriato proporre l'impiego di una TBM, da roccia a scudo semplice, che, mantenendo le medesime modalità di abbattimento al fronte, garantisce ugualmente la stabilità del contorno di scavo, sostituendo il sostegno di prima fase con lo scudo ed il rivestimento in conci prefabbricati posto in continuità con il primo. Quest'ultimo, poi, fungerà anche da rivestimento definitivo, che si ritiene essere di qualità migliore essendo prefabbricato e non gettato in opera.

A seguire vengo illustrati gli aspetti principali della proposta avanzata.

8.5 LE CARATTERISTICHE DELLA TBM SCUDATA PROPOSTA

8.5.1 La TBM scudata

La TBM scudata è una macchina per lo scavo meccanizzato integrale costituita da:

1. testa di scavo per l'abbattimento della roccia al fronte, in principio identica a quella della TBM aperta;
2. scudo costituito da un cilindro di acciaio che avvolge tutte le componenti meccaniche della TBM; esso può essere suddiviso in 2-3 parti con diametro via via più piccolo in modo che il cilindro nel suo complesso sia "conico" per agevolare la conduzione delle curve e ridurre il rischio d'intrappolamento a seguito della convergenza del cavo;
3. sistema di assemblaggio dell'anello in conci prefabbricati all'interno dello scudo in modo tale che la galleria sia sempre sostenuta/rivestita a partire immediatamente dal retro della testa di scavo,

prima dallo scudo e poi dalla sequenza di anelli di conci prefabbricati (gli operatori non vedono mai le pareti nude della galleria);

4. sistema di spinta costituito da pistoni oleodinamici longitudinali che si appoggiano sulla sequenza di anelli per ottenere il contrasto necessario all'avanzamento dell'intero sistema;
5. sistema di perforazione per eseguire sondaggi in avanzamento al fronte, ovvero installare elementi di presostegno o eseguire consolidamenti al fronte;
6. back-up con tutti i servizi ausiliari necessari, tra cui, importantissimo, il sistema di retroinieizione per l'intasamento del vuoto anulare tra estradosso dell'anello di rivestimento ed il contorno di scavo.

La figura che segue mostra una tipica TBM scudata delle dimensioni adeguate per il progetto in questione, per la quale valgono le considerazioni seguenti:

- Il diametro interno del rivestimento è pari a 9700mm secondo quanto giustificato al precedente capitolo 6.
- Lo scudo è dotato di articolazione attiva per facilitarne la guida;
- La testa di scavo ha un diametro nominale indicativo di 10900mm con la possibilità di un extra-scavo di 50mm ,
- Lo scudo della TBM sarà formato in principio da tre cilindri, aventi diametro decrescente in modo tale che la differenza tra quello frontale e quello di coda sia almeno pari a 50mm

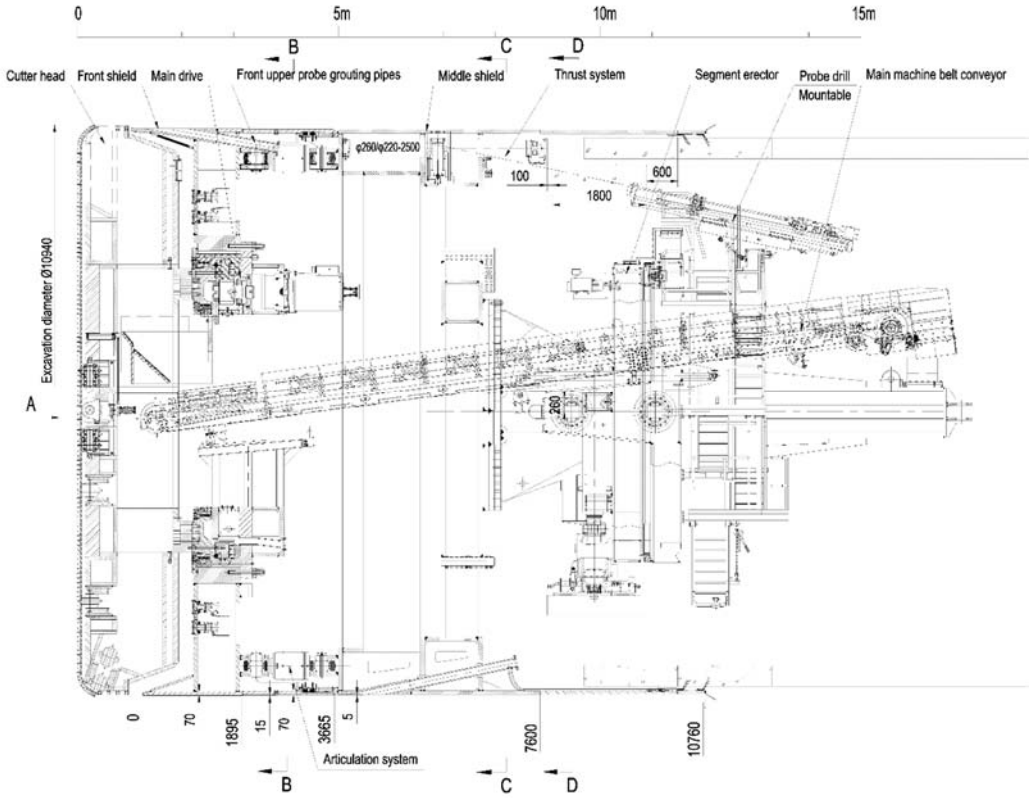


Figura 8-12 – Profilo della TBM scudata

8.5.2 Le specifiche proposte per la TBM scudata

In questa fase di proposta le specifiche della TBM scudata sono state redatte come documento integrativo alle specifiche della TBM aperta poste nel Progetto Esecutivo (vedasi elaborato BIS2V-C-OST00-RE09-1).

Questo scaturisce dall'evidenza che a livello di capacità di scavo e necessità di perforazioni in avanzamento sarà necessario disporre dei medesimi livelli di prestazione.

Per tutti i dettagli si rimanda quindi al documento BIS2V-C-OST00-RE09-1 che integra e modifica la base fornita in PE nel documento BIS2E-R-EAM02-RE02-1, Capo II.

8.6 APPLICABILITA' DELLA TBM SCUDATA PROPOSTA NEL CONTESTO GEOMECCANICO DI RIFERIMENTO

Le linee guida per operare le scelte progettuali si basano ormai sempre sui concetti dell'analisi di rischio. Questa impostazione è stata chiaramente rispettata anche per il caso del PE della galleria scolmatrice del Torrente Bisagno; i criteri sono esposti nella relazione "BIS2E-R-SDB01-RE01-2 – Relazione geologica geomorfologica generale - Capitolo 8" e visualizzati negli elaborati grafici "BIS2E-R-SDB01-PG01-1 Profilo geologico idrogeologico inquadramento generale".

I rischi presi in considerazione sono:

- Rischio di instabilità del fronte e/o del cavo per la presenza di zone tettonizzate e/o di basse coperture
- Rischio presenza trovanti
- Rischio di fronte misto
- Rischio di fenomeni di "spalling"
- Rischio di fenomeni di "squeezing"
- Rischio di deformazioni d'ammasso (convergenze/estrusioni)
- Rischio di fenomeni di subsidenza e/ di interferenza con edifici
- Rischio di microcarsismo
- Rischio legato alla presenza di un elevato carico idraulico
- Rischio di venute d'acqua concentrate
- Rischio di eventuali fenomeni di dissoluzione
- Rischio di acque aggressive
- Rischio di impatto sulle risorse idriche (sorgenti).

La loro valutazione si basa sulla ben nota matrice di seguito indicata

	Likelihood				
Impact	**Rare**	**Unlikely**	**Possible**	**Likely**	**Almost certain**
Catastrophic	moderate	moderate	high	critical	critical
Major	low	moderate	moderate	high	critical
Moderate	low	moderate	moderate	moderate	high
Minor	very low	low	moderate	moderate	moderate
Insignificant	very low	very low	low	low	moderate

Figura 8-13 – Matrice di valutazione dei rischi geotecnici

Ed il risultato è visualizzato sui profili con una legenda a colori:

- Rischio trascurabile (rappresentato con il colore bianco)
- Rischio basso (rappresentato con il colore verde)
- Rischio medio (rappresentato con il colore arancio)
- Rischio elevato (rappresentato con il colore rosso).

Con riferimento alla tratta di scavo meccanizzato si deduce che:

- alcuni rischi sono del tutto trascurabili (colore bianco) quali lo spalling e le acque aggressive;
- altri rischi sono al massimo giudicati bassi (colore verde) quali il microcarsismo, i fenomeni di dissoluzione ed l'impatto sulle sorgenti;
- altri rischi hanno al massimo valore medio (colore arancio) quali basse coperture, carico idraulico e convergenze/estrusioni, ma queste ultime solo in corrispondenza delle limitate zone di faglia, altrimenti si attestano su valori bassi o trascurabili;
- infine alcuni rischi sono giudicati alti (colore rosso) come instabilità del fronte e squeezing ma solo in corrispondenza delle zone di faglia di contatto tra formazioni, altrimenti il valore è arancio nelle formazioni argillitiche/argillose e trascurabili altrove.

Di tutti questi rischi gli unici che possono impattare sul cambio di tipologia di macchina, passando da una TBM aperta ad una TBM scudata, sono lo squeezing e l'instabilità del fronte di scavo mentre tutti gli altri non hanno impatti di sorta alche in relazione alla loro valutazione in termini d'importanza.

8.6.1 L'instabilità del fronte e del cavo

Questo rischio è segnalato per le zone di faglia, ma come già discusso al § 8.2 esso è veramente significativo solo in presenza di un comportamento tipo C, segnalato solo per le faglie di passaggio tra il Flysch di Monte Antola e le Argilliti di Montoggio.

8.6.2 La stabilità del fronte e/o del cavo

La stabilità del fronte e/o del cavo interessa nuovamente la sola tratta delle Argilliti di Montoggio e delle Argille di Ortovero sia nei passaggi delle faglie, sia quanto pienamente nelle formazioni citate.

Argilliti di Montoggio

In merito al passaggio attraverso le due previste faglie si ritiene che esse possano essere superate con un'attenta gestione delle procedure di scavo che coinvolgano:

- riduzione della velocità di rotazione della testa
- riduzione della spinta
- controllo del peso smarinato in funzione della percentuale di "stroke" eseguito
- controllo del riempimento del vuoto anulare.

La natura dei materiali indica una permeabilità estremamente bassa, difficilmente iniettabile e quindi gli interventi possibili sono essenzialmente quelli di presostegno con elementi metallici (infilaggi) eseguibili attraverso i fori dello scudo. Peraltro la ridotta estensione della zona di faglia rende particolarmente efficace tale intervento.

Ad ogni modo, così come indicato nel §8.5, la TBM scudata proposta sarà attrezzata per eseguire gli interventi al fronte con una tipologia e geometria comparabili con quelle richieste dal PE, essendo la testa di scavo della TBM scudata proposta identica a quella che avrebbe avuto la TBM aperta.

La possibilità di eseguire un sondaggio in avanzamento dalla TBM potrà indirizzare la scelta dei parametri riferiti alle procedure di scavo ed alla necessità di eventuali interventi in avanzamento.

Argille di Ortovero

La ricostruzione geologica di dettaglio e l'esperienza dello scavo della galleria scolmatrice del torrente Fereggiano indicano il passaggio attraverso le faglie; lo scavo lungo la zona del graben non ha mai risentito di problemi di stabilità del fronte.

Flysch di Monte Antola

La valutazione del rischio di PE in questo caso indica come trascurabile la stabilità di fronte e cavo e quindi l'uso di una TBM scudata non può che migliorare tale condizione per la presenza dello scudo medesimo che garantisce sempre il sostegno del cavo senza soluzione di continuità.

9 IL RIVESTIMENTO IN CONCI PREFABBRICATI

Come detto, nell'ambito della presente perizia di variante, si propone di eseguire lo scavo del tratto in meccanizzato della galleria scolmatrice mediante una TBM scudata che restituirà una galleria rivestita con anelli di conci prefabbricati aventi diametro interno pari a 9,7m, quindi 20cm più grande rispetto a quanto previsto dal PE.

Tale passaggio è giustificato ed è necessario dal punto di vista idraulico come già esposto al capitolo 6.

9.1 CARATTERISTICHE DELL'ANELLO

L'anello di rivestimento realizzato in conci prefabbricati in calcestruzzo armato che si propone di adottare è di tipo universale per garantire la possibilità di seguire il tracciato e la traiettoria della TBM durante le operazioni di scavo con le tolleranze richieste, che si indicano con lo scostamento dell'asse reale dall'asse teorico di 5cm.

Le caratteristiche dimensionali sono elencate nel seguito:

• Diametro interno	=	9700mm
• Diametro esterno	=	10500mm
• Spessore	=	400mm
• Lunghezza media anello	=	1800mm
• Delta lunghezza media su minima e massima	=	40mm
• Raggio minimo di curva	=	240m compatibile con la curva minima del tracciato di 300m che occorre tra pk 0+063 e 0+191 circa
• N. conci	=	7+1 (chiave)
• N. connessioni longitudinali (anello-anello)	=	22 (connettori a scomparsa) tipo FAMA SMARTBLOCK 110-140 300-60 o similare
• Connessioni trasversali (concio-concio)	=	Assenti
• Tenuta idraulica	=	Guarnizione in EPDM prossima all'estradosso tipo FAMA UG018A o similare
• Caratteristiche del calcestruzzo	=	Rck>50MPa (C40/50) anello standard Rck>50MPa (C40/50) anello pesante
• Rinforzo	=	Acciaio tipo B450C Incidenza anello standard circa 105kg/m^3 Incidenza anello pesante circa 135kg/m^3

La figura seguente mostra una vista d'insieme dell'anello.

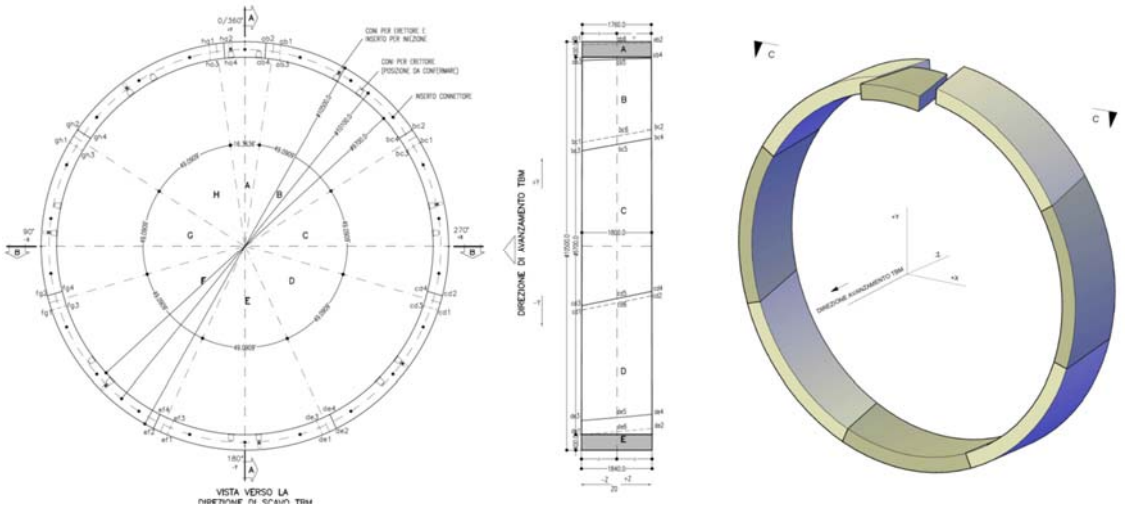


Figura 9-1 – Vista d'insieme dell'anello di rivestimento in conci prefabbricati proposto

L'anello verrà collegato alla massa rocciosa incassante per mezzo dell'intasamento del vuoto anulare che sarà realizzato in due fasi:

- direttamente dalla coda della TBM nei 100° inferiori di sviluppo angolare mediante malta bicomponente, capace di agire come letto di appoggio immediato per l'anello montato nella coda della TBM e che sfila dalla medesima durante l'avanzamento;
- mediante iniezione radiale dai conci di pea-gravel, attraverso uno dei fori del sistema vacuum dell'erettore, appositamente attrezzato con tubo filettato e valvola;
- con intasamento degli inevitabili vuoti di calotta mediante iniezione secondaria con miscela cementizia.

Nelle tratte a più bassa copertura, in presenza di faglie, nei tratti in cui la galleria andrà eventualmente in pressione ed in presenza dell'anello pesante l'intasamento con pea-gravel sarà interamente iniettato su tutto il contorno.

Non si prevede l'impiego di uno specifico concio di base con intradosso piatto o sagomato; quindi il back-up si sposterà mediante ruote coniche direttamente sull'anello che sarà anche la quota del fondo scorrevole, riferimento per la quota progetto.

Allo stesso modo le ispezioni durante la vita utile dell'opera dovranno avvenire su mezzi gommati che si muoveranno sul fondo della galleria circolare: data la dimensione del cerchio però i normali mezzi stradali non avranno problemi nel transito.

9.2 GESTIONE DEL SISTEMA DI DRENAGGIO

Premesso che l'anello di per se sarà una struttura impermeabile grazie all'alta qualità del calcestruzzo ed alla presenza della doppia guarnizione in EPDM su ogni giunto tra anelli e tra conci, la sezione della galleria sarà resa impermeabile o drenante nei medesimi tratti indicati dal PE per la sezione scavata con TBM aperta.

Laddove richiesto, il drenaggio della galleria sarà realizzato mediante perforazioni in roccia, attraverso i conci, eseguite dal back-up durante l'avanzamento ed attrezzate con tubazioni microfessurata in PEAD,

avvolta in una calza di tessuto non tessuto con diametro 50mm (perforazione diametro 80mm e lunghezza 1m).

Per le perforazioni saranno usati gli inviti del sistema vacuum usati anche per l'iniezione del pea-gravel che si troveranno ad una distanza dal fondo scorrevole di almeno 7,20m in modo tale che essi non vengano interessati dall'acqua che scorrerà in galleria durante gli eventi di piena nelle condizioni di progetto (scenario 1 del capitolo 6).

La figura seguente mostra la sistemazione finale della galleria.

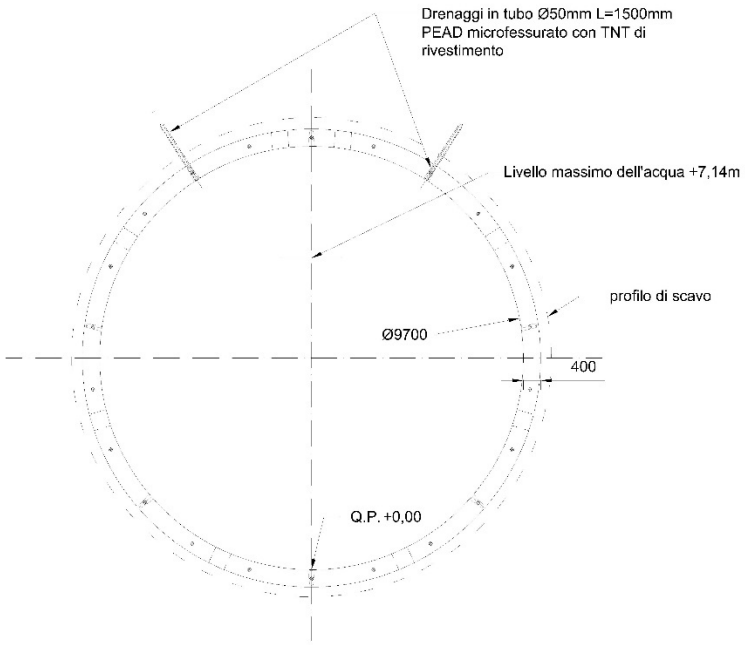


Figura 9-2 – Sezione finale della galleria

Si evidenzia come questa nuova metodologia non consenta di intubare l'acqua di falda che viene drenata e pertanto non ci sarà alcun sistema di restituzione a valle in corrispondenza degli stabilimenti balneari di C.so Italia.

9.3 IPOTESI DI CALCOLO E PROCEDIMENTO DI VERIFICA

Al fine di rendere facilmente comparabile la proposta di variante rispetto al PE approvato, le verifiche statiche dell'anello di rivestimento a breve termine e lungo termine sono state eseguite con specifico riferimento allo stesso PE.

A questo si aggiungono le verifiche specifiche legate ai processi di prefabbricazione, stoccaggio, trasporto e montaggio dei singoli conci per formare l'anello nella coda della TBM.

Per le condizioni di spinta della TBM si assume un carico massimo fornito dai 22 martinetti pari a circa 82000kN, con dimensione circonferenziale delle scarpe di 1000mm ed eccentricità di 30 mm.

Nel seguito sono riportate le ipotesi alla base dei calcoli strutturali di verifica del rivestimento definitivo in conci, partendo dalla distribuzione delle unità geotecniche e dalla conseguente associata caratterizzazione geotecnica desunte dal profilo geotecnico di PE.

1) La litologia prevalente sarà quella del Flysch di Monte Antola (FMA).
2) La copertura è variabile da 270m a 9m.
3) All'interno della litologia prevalente sono presenti due tratte relativamente corte in cui sono presenti:
    a. Argilliti di Montoggio da pk 5+406 a pk 5+348 (58 m)
    b. Argille di Ortovero da pk 2+274 a pk 2+060 (214 m) nella zona del Graben di Torralba
4) Lungo il tracciato si identificano le seguenti faglie:
    a. 5+850 – 5+810 (40 m) FMA
    b. 5+446 – 5+406 (40 m) transizione FMA – A. Montoggio
    c. 5+348 – 5+308 (40 m) transizione A Montoggio – FMA
    d. 4+204 – 4+164 (40 m) FMA
    e. 3+688 – 3+650 (38 m) FMA
    f. 3+160 – 3+120 (40 m) FMA
    g. 2+314 – 2+274 (40 m) transizione FMA – A. Ortovero
    h. 2+060 – 2+020 (40 m) transizione A. Ortovero – FMA
    i. 1+190 – 0+588 (602 m) FMA alterato
    j. 0+588 – 0+548 (40 m) FMA
5) Come in PE, alcuni tratti della galleria saranno resi drenanti, mentre alter porzioni dovranno risultare impermeabili. Questi ultimi sono elencati nel seguito:
    a. 5+446 – 5+308 (A. Montoggio)
    b. 3+786 – 3+650 (FMA)
    c. 2+314 – 0+050 (A. Ortovero + FMA)
6) Nei tratti in cui la galleria drena si assume che venga mantenuto un carico idraulico pari al 30% di quello originale.
7) Ai fini del calcolo la massima altezza d'acqua desunta dal profilo geotecnico è pari a 180m e quindi il carico considerato in calotta sarà di 54m nelle condizioni peggiori di carico idraulico.
8) Per quanto attiene la verifica della guarnizione, si assumono 5.4bar in calotta pari a 6.4bar in arco rovescio, il che porta ad una richiesta di tenuta di 12.8bar (con fattore di sicurezza FS=2).
9) La classe di esposizione del calcestruzzo sarà XC4 (ambiente aggressivo) con un copriferro minimo di 50mm.

10) La massima apertura delle fessure per le verifiche SLE sarà limitata a 0.2 mm.

11) Le verifiche SLU saranno condotte sia in condizioni statiche che sismiche assumendo i medesimi parametri di riferimento per il sisma coerenti con la zona in cui è ubicata l'opera ed il tempo di ritorno assunto.

12) Nello specifico per le verifiche sismiche si assumono i seguenti parametri:

V_R = 200 anni
T_R = 1898 anni
P_{VR} = 10%
ag = 0.110g
SS (tipo A-roccia) = 1
SS (tipo B-suolo e faglia) = 1.2
St = 1
PGA (A-roccia) = 0.110g
PGA (B-suolo e faglia) = 0.132g
PGV (A-roccia) = 0.0053
PGV (B-suolo e faglia) = 0.0354

In aggiunta alle ipotesi descritte fin qui si aggiunge quella derivata dalle verifiche idrauliche condotte in cui, nello scenario 2, (massima portata di progetto dello scolmatore Fereggiano e Bisagno concomitanti allo sbocco a mare) il tunnel andrà in pressione con un valore in calotta di 0,1bar.

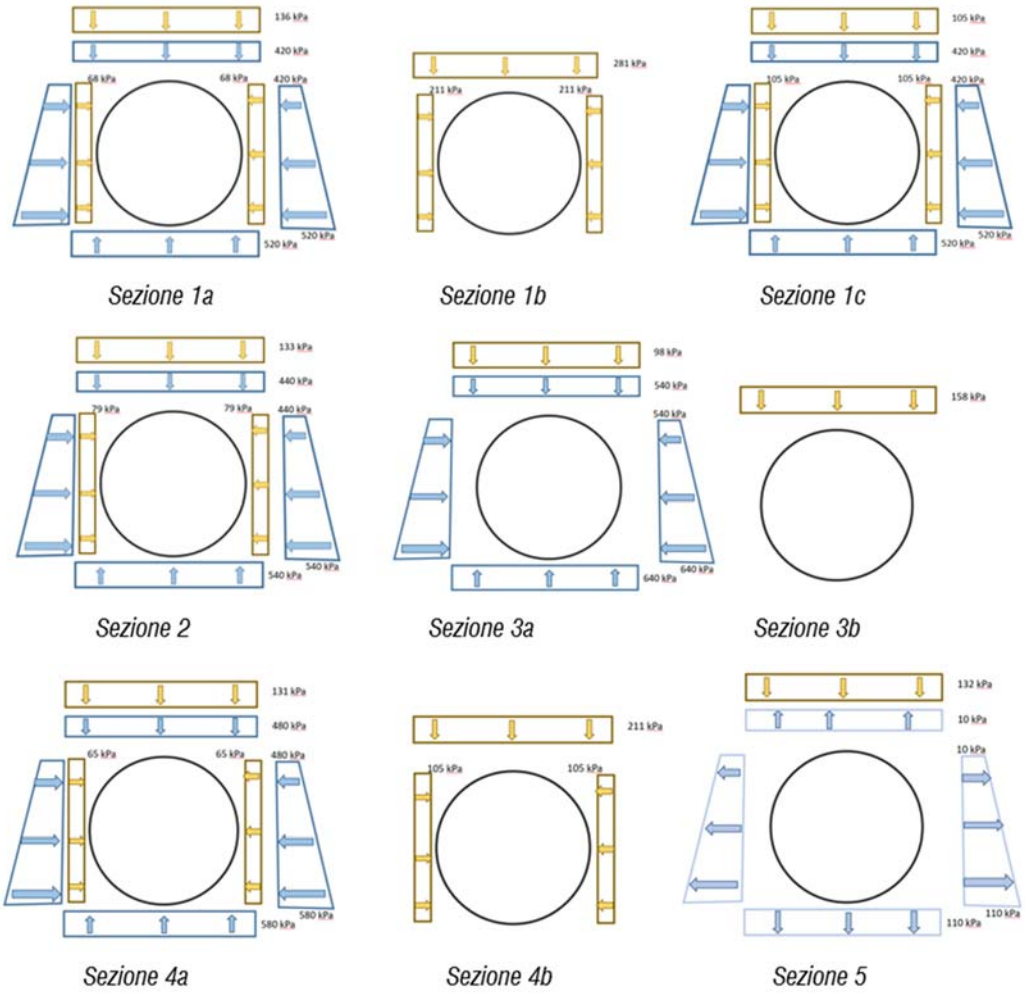
In base a quanto esposto le sezioni di verifica analizzate con le condizioni associate sono esposte nella tabella che segue.

I calcoli per le verifiche strutturali dell'anello sono condotti con un modello SAP a carichi imposti definiti secondo la teoria di Terzaghi nel caso di sezioni in faglie o nella Argilliti, ovvero secondo la formula di Unal per le condizioni in roccia.

I calcoli a breve termine escludo che si sia stabilizzato il carico idraulico, che quindi è supposto nullo, mentre il carico di roccia agisce pienamente.

Sezione	Condizione geologica di riferimento	Copertura (m)	Altezza cuneo di carico secondo Terzaghi (faglie/argille) Unal (FMA)(m)	Altezza d'acqua in calotta (m)	GSI	K_0	Modulo di deformabilità della massa rocciosa E (MPa)
S1a	Argilliti Montoggio (faglia)	42	8.28	42	30	0.5	160
S1b	Argilliti Montoggio (faglia)	42	10.64	Breve termine	30	0.75	160
S1c	Argilliti Montoggio (faglia)	42	8.54	42	30	1.0	80
S2	Argilliti Ortovero (+edifici)	44	13.28	44	30	0.5	100-50-650
S3a	FMA	270	6.0	54	40	1.0	2850
S3b	FMA	270	6.0	Breve termine	40	1.0	2850
S4a	FMA (faglia)	120	8.0	48	20	0.5	650
S4b	FMA (faglia)	120	8.0	Breve termine	20	0.5	650
S5	FMA (+ pressione interna)	10	5.0	Breve termine	50	1.0	2850

Le configurazioni di carico assunte sono le seguenti.



L'anello è modellato come una struttura continua ma con modulo di Young del calcestruzzo ridotto secondo le formulazioni di Muir-Wood per tenere conto della presenza dei giunti in posizione angolare differente tra anelli consecutivi, contando quindi su un effetto di ridistribuzione dei momenti flettenti tra conci e giunti.

9.4 SUDDIVISIONE DEL TRACCIATO PER TIPOLOGIA DI ANELLO INSTALLATO

L'anello standard sarà applicato in presenza del Flysch di M. Antola per condizioni della massa rocciosa caratterizzata da un valore di GSI maggiore di 40.

L'anello pesante sarà applicato in presenza del Flysch di M. Antola per condizioni della massa rocciosa caratterizzata da un valore di GSI minore di 40, nelle faglie, nella Argilliti di Montoggio, nelle Argille di Ortovero e nell'ultimo tratto in cui la galleria potrà andare potenzialmente in pressione (circa 150m di lunghezza).

Nella tabella che segue si identificano le zone in cui è suddiviso il tracciato incrociando il tipo di anello e la gestione del drenaggio.

Inzio	Fine	Lunghezza (m)	Condizione Geologico/tecnica	Tipo di anello	Drenaggio
5+939	5+924	15	Camera di lancio	Pesante	
5+924	5+850	74	Flysch	Standard	si
5+850	5+810	40	Fault	Pesante	si
5+810	5+446	364	Flysch	Standard	si
5+446	5+406	40	Fault	Pesante	no
5+406	5+348	58	A. Montoggio	Pesante	no
5+348	5+308	40	Fault	Pesante	no
5+308	4+204	1104	Flysch	Standard	si
4+204	4+164	40	Fault	Pesante	si
4+164	3+786	378	Flysch	Standard	si
3+786	3+688	98	Flysch	Standard	no
3+688	3+650	38	Fault	Pesante	no
3+650	3+160	490	Flysch	Standard	si
3+160	3+120	40	Fault	Pesante	si
3+120	2+314	806	Flysch	Standard	si
2+314	2+274	40	Fault	Pesante	No
2+274	2+060	214	A. Ortovero	Pesante	No
2+060	2+020	40	Fault	Pesante	No
2+020	1+190	830	Flysch	Standard	No
1+190	0+588	602	Flysch alterato	Pesante	No
0+588	0+548	40	Fault	Pesante	No
0+548	0+200	348	Flysch	Standard	No
0+200	0+063	137	Flysch	Pesante	No
TOTAL		5876			

	Lunghezza (m)	Quantità
Standard	4394	74,8%
Pesante	1384	23,6%

9.5 TENUTA DELLE GUARNIZIONI

L'impermeabilità della galleria è assicurata dalla presenza di una coppia di guarnizioni affacciate su ogni giunto tra conci in prossimità dell'estradosso.

Al fine di garantire la tenuta idraulica richiesta, indentificata a lungo termine in 6,4bar si propone l'impiego di una guarnizione ancorata in EPDM tipo FAMA modello UG018A or similare, avente larghezza di 29 mm.

La verifica dell'adeguatezza della guarnizione viene condotta controllando che ad un tempo pari alla vita utile dell'opera (100 anni) la tenuta sia garantita al netto delle tolleranze d'installazione ammesse.

Nella fattispecie, si assume un gap (apertura del giunto) di 5mm ed un off-set (disassamento guarnizioni) di 10mm.

Assumendo una vita utile della struttura di 100 anni è necessario considerare il rilassamento delle guarnizioni in tale periodo con un coefficiente di rilassamento pari al 50%. Nel caso in esame, la pressione idraulica massima prevista è pari a 6.4bar viene ricondotta a lungo termine ad una pressione pari a 12.8bar, proprio in virtù del fenomeno del rilassamento.

Nella figura che segue è riportato il diagramma tenuta idraulica - apertura giunto per la guarnizione proposta.

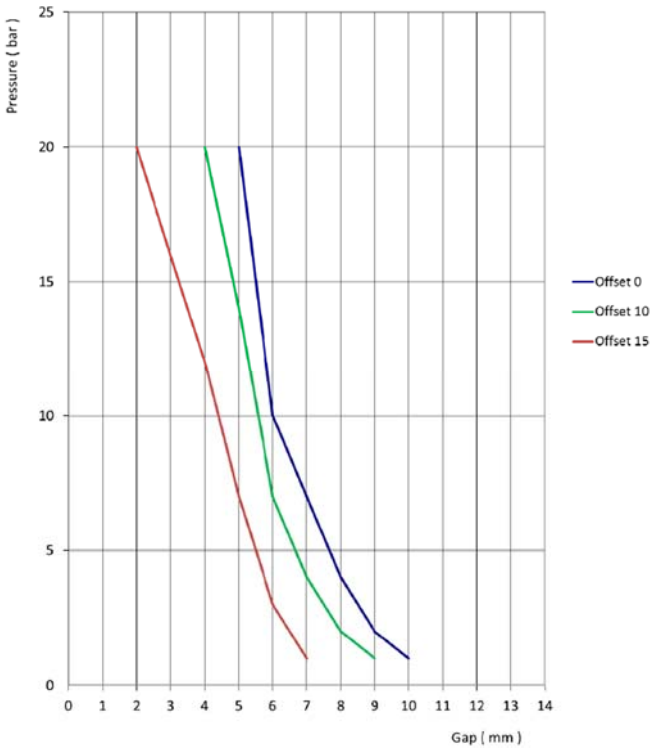


Figura 9-3 – Grafico di tenuta della guarnizione proposta

Si può osservare come la tenuta idraulica risulta essere garantita anche per un offset di 10 mm ed un gap di 5mm (14bar) e pertanto si conferma che tale dispositivo garantisce una tenuta idraulica compatibile con in carichi idrostatici di progetto.

A completamento delle caratteristiche tecniche della guarnizione vi è anche il grafico carico-apertura giunto per la guarnizione prescelta utile per la verifica della forza di serraggio necessaria trasmessa dai connettori.

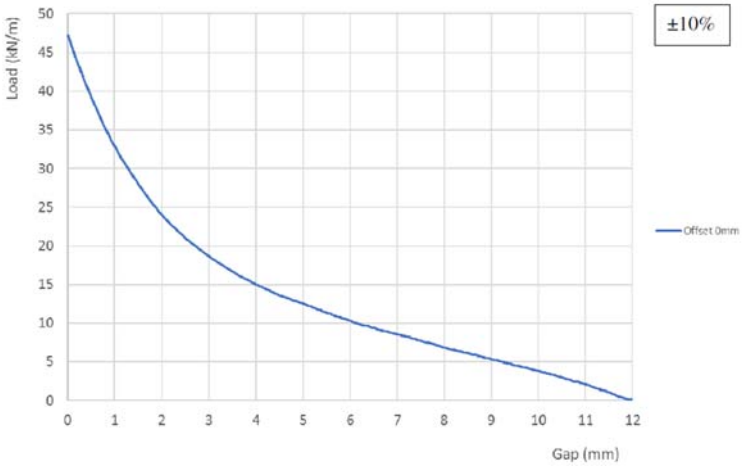


Figura 9-4 – Grafico di carico-apertura giunto della guarnizione proposta

9.6 VERIFICA DEI CONNETTORI

I giunti dei conci sono di tipo piano.

La connessione tra anelli avviene per mezzo di 22 connettori a scomparsa distribuiti uniformemente sulla circonferenza ed in posizione tale da coincidere con i pistoni di spinta dei martinetti.

All'interno dei giunti tra conci dello stesso anello è presente una barra guida che costituisce un elemento che facilita l'inserimento del concio e funge da chiave di taglio tra i conci medesimi.

I connettori sono verificati nelle seguenti tre condizioni.

- Resistenza ad estrazione e taglio per reggere il singolo concio in calotta sospeso in una condizione a mensola (caso eccezionale legato a un malfunzionamento del sistema di controllo erettore/sistema di spinta)
- Contrasto alla reazione elastica della coppia di guarnizioni che tende ad aprire il giunto con perdita della tenuta idraulica
- Resistenza all'azione di taglio che deriva dalla coppia di guarnizioni che tendono ad aprire il giunto longitudinale

10 IL NODO DELLA CAVERNA

Nella proposta di Variante si modificano sia la sezione che l'impronta planimetrica del camerone posto all'intersezione tra la finestra di accesso e la galleria scolmatrice, in maniera da ottimizzare le operazioni di scavo, riducendo così la durata dei lavori precedenti l'inizio dello scavo della galleria naturale verso monte e di quella meccanizzata verso mare.

La TBM sarà montata in corrispondenza di questo camerone, per cui la geometria della sezione trasversale e, in particolare l'altezza, verrà ridotta compatibilmente con le dimensioni minime richieste per il montaggio della TBM scudata e le apparecchiature di sollevamento che appunto consentano le movimentazioni in sicurezza con il minimo ingombro.

La figura che segue mostra la nuova geometria proposta per la sezione trasversale confrontata con quella originale di PE. La sezione trasversale del camerone avrà una larghezza finita di 12,80 m (rispetto ai 15,60 m del P.E.) e altezza finita di 14,30 m (anziché circa 18,40 m del P.E.).

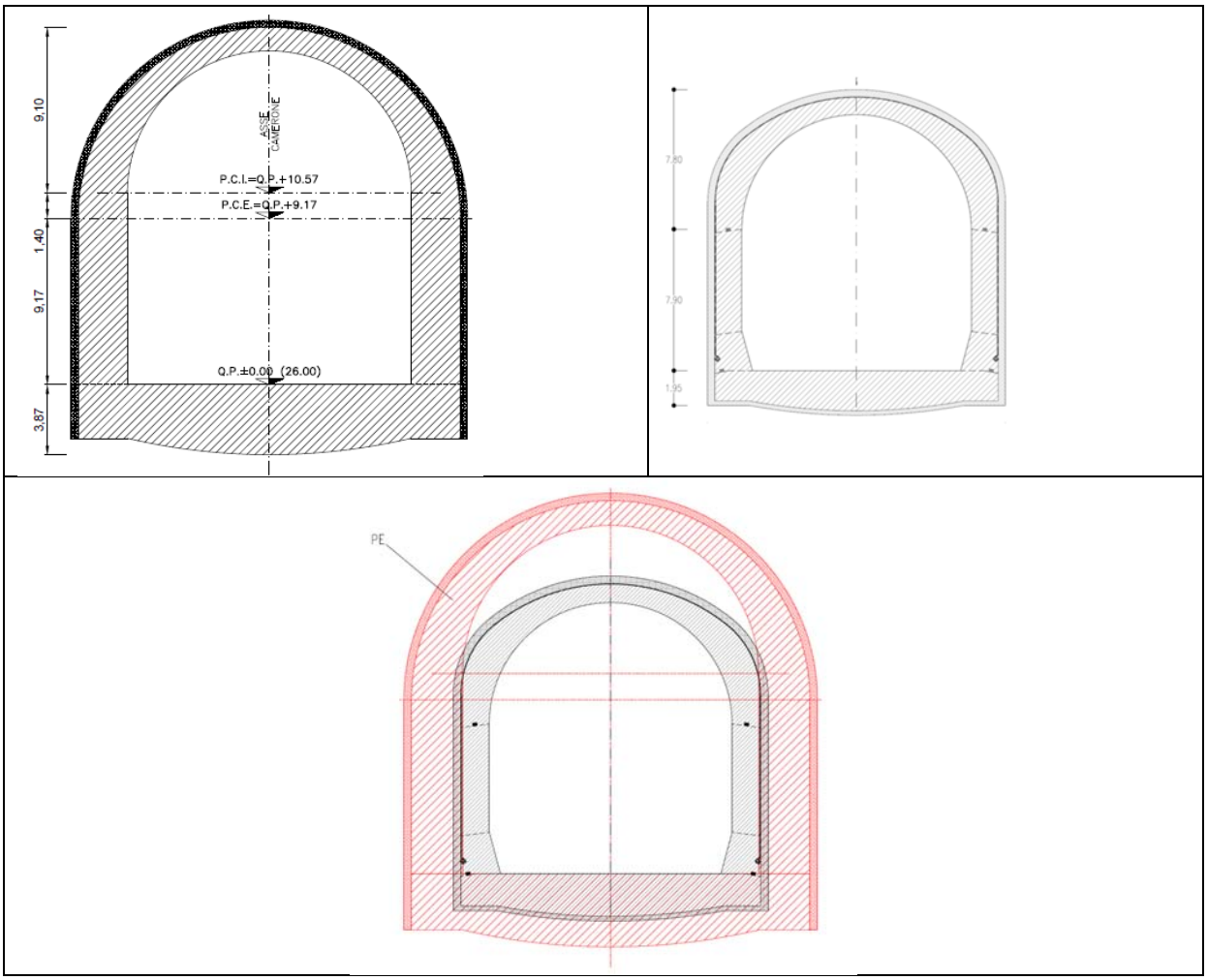


Figura 10-1 – Proposta della nuova sezione trasversale della caverna (a destra) confrontata con quella prevista in PE (a sinistra)

La lunghezza del camerone in senso longitudinale all'asse delle gallerie è invece incrementata rispetto al P.E. di circa 25 m, per un totale di 78,75 m (dimensione netta interna a getti del rivestimento definitivo in posto). Questa modificazione permetterà il montaggio delle installazioni necessarie per l'assemblaggio completo della fresa nonché renderà possibile lo scavo contemporaneo delle due gallerie (naturale verso monte e meccanizzata verso mare).
Inoltre, per massimizzare l'efficienza di scavo della TBM scudata, si eseguirà un ulteriore ottimizzazione che consiste nell'accorciamento della galleria di lancio a soli 12,5 m (fronte di attacco scavo alla Pk 5+925.40).
Di seguito si dettaglia la giustificazione delle dimensioni proposte, con riferimento alla fase di montaggio della fresa e alla fase di scavo della stessa.
Si rimanda agli elaborati "BIS2V-C-OST05-PL03-1 Fase di Montaggio TBM" e "BIS2V-C-OST05-PL04-1 Fase di Scavo TBM" in cui si mostrano le attrezzature e le installazioni necessarie valutate in questa fase in base a dati di opere con dimensioni simili a quello in oggetto e che dovranno trovare conferma in base alle attrezzature messe in campo in fase di costruzione.

10.1 VERIFICA DELLE DIMENSIONI DEL CAMERONE – MONTAGGIO TBM

La fase di montaggio della TBM comprende i lavori di assemblaggio della macchina così come il processo di lancio della fresa; per eseguire l'assemblaggio della fresa e montare la struttura di spinta della macchina si utilizzerà un carroponte dimensionato per muovere e sollevare il carico più importante. Le dimensioni della caverna (senza contare il rivestimento definitivo gettato in opera) garantiscono la sagoma opportuna per poter realizzare i lavori.

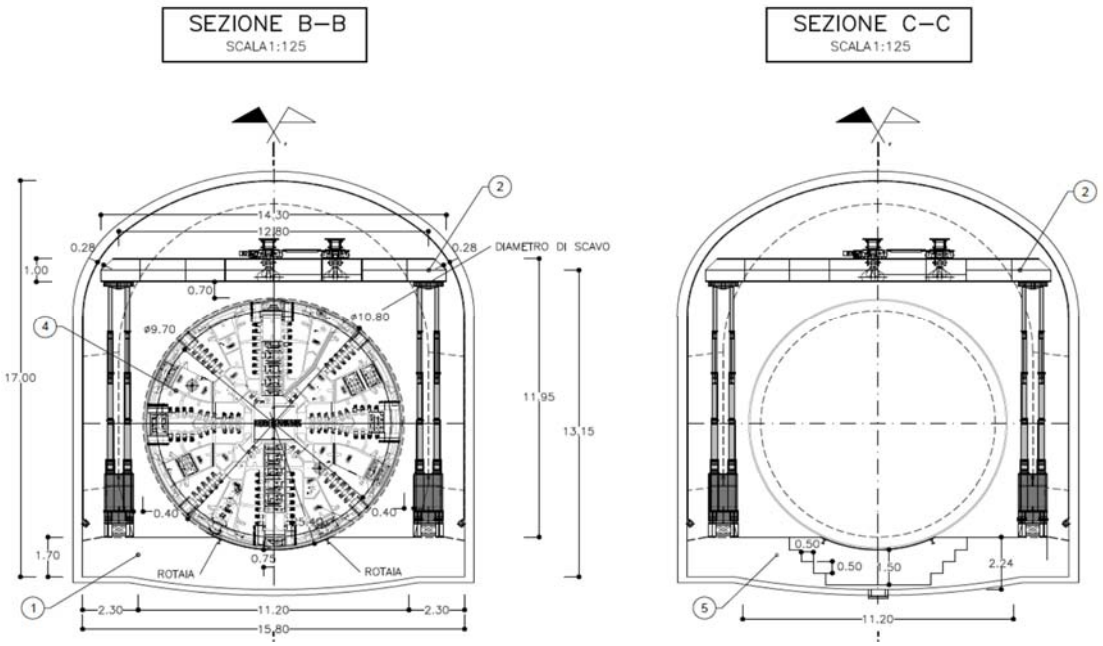


Figura 10-2 – Sezioni del camerone in corrispondenza della testa fresante della TBM e della Trincea di saldatura

Si configura la culla della TBM sulla quale appoggeranno le parti montate della macchina e che infine scorreranno per permettere il montaggio completo della fresa. La culla sarà provvista di una Trincea di Saldatura (vedasi sezione C-C in Figura 10-2) necessaria per assemblare i pezzi che formano la TBM (scudo, testa fresante, ..); questa trincea deve essere sufficientemente ampia e profonda in maniera che

una persona possa svolgere i lavori di saldatura al suo interno. Si è considerata una altezza netta pari a 1,5 m.

Inoltre si è tenuto in conto dello spazio minimo che deve esserci tra l'inizio della camera di lancio, e la zona di montaggio della TBM. Questa distanza corrisponde al diametro della testa fresante a cui si aggiungono un paio di metri di "margine"; in questa sede si sono considerati 14 m, visto che la testa fresante giacerà in posizione orizzontale prima di essere montata verticalmente sulla TBM.

In quanto alla struttura di spinta, questa sarà progettata al fine di resistere alla spinta iniziale della macchina, trasmettendo gli sforzi alla soletta gettata in opera, per poter cominciare a scavare i primi metri di galleria. La struttura di contrasto sarà montata a 1,8 m dall'inizio della camera di lancio (L=12,5 m), e si è tenuto in conto lo spazio minimo necessario al suo montaggio.

Con le dimensioni proposte del camerone, in questa fase iniziale di montaggio della TBM, quando ancora il rivestimento definitivo non è ancora stato gettato, il passaggio delle attrezzature e dei mezzi di trasporto è realizzabile senza difficoltà.

10.2 VERIFICA DELLE DIMENSIONI DEL CAMERONE – FASE DI SCAVO DELLA TBM

Di seguito, si illustra la configurazione dei vari elementi che partecipano alla logistica del camerone durante la fase di avanzamento della macchina. Si è tenuto in conto della contemporaneità degli scavi della galleria meccanizzata (lato mare) e di quella realizzata con metodi tradizionali (lato monte). Inoltre, la sezione del camerone tiene in conto del rivestimento definitivo, nel caso che questo possa essere realizzato durante la fase di scavo della TBM, come è intenzione di CpG sempre nell'ottica di ridurre le interferenze sul percorso critico dell'opera.

Il sistema di smarino che trasporta il materiale scavato sarà formato da tre nastri trasportatori:

- il nastro installato sulla TBM che parte dalla coclea fino ad un determinato carro del back-up, con lunghezza fissa;
- il nastro installato lungo la galleria, che parte dal punto dove finisce il nastro trasportatore della TBM e termina alla stazione di trasferimento, la cui lunghezza incrementerà con l'avanzamento della fresa;
- il nastro del portale, che parte dalla stazione di trasferimento posta in una nicchia laterale del camerone, e termina in superficie, percorrendo la finestra di accesso, con lunghezza fissa.

Lo smarino verrà scaricato dal nastro trasportatore della TBM a quello installato lungo la galleria, e da quest'ultimo al nastro del portale attraverso la stazione di trasferimento. Per limitare le interferenze nella circolazione dei mezzi che trasporteranno il materiale necessario per realizzare lo scavo delle due gallerie lato mare e lato monte contemporaneamente, si è aggiunta una nicchia (di sezione trasversale uguale a quella della finestra di accesso, prima dell'allargamento) nella quale si ubicherà parte della stazione di trasferimento del nastro trasportatore. Questa stazione di trasferimento è necessaria per cambiare la direzione dello smarino, da longitudinale a trasversale rispetto alla galleria scolmatrice (e parallela alla finestra di accesso) per arrivare al portale di accesso.

Per il nastro trasportatore della TBM si è considerato una dimensione "standard", pari a 1,2 m di larghezza; per facilitare la manutenzione del nastro così come per poter facilmente ispezionare il materiale scavato, si propone installare il nastro trasportatore lungo la galleria nella parte inferiore (vedasi figura sottostante). L'altezza di 2,9 m è stata fissata tenendo in conto del limitato spazio disponibile nel camerone per

l'installazione della stazione di trasferimento. In ogni caso, si sottolinea che tale configurazione del nastro trasportatore dovrà essere confermata dal fabbricante della TBM, otre che dovrà risultare compatibile con i "boosters" selezionati.

Nel camerone, si ubica un accumulatore per il nastro trasportatore capace di immagazzinare 500 m di nastro che corrispondono a 250 m di avanzamento della TBM, trascorsi i quali sarà necessario procedere all'allungamento del nastro riempiendo il magazzino.

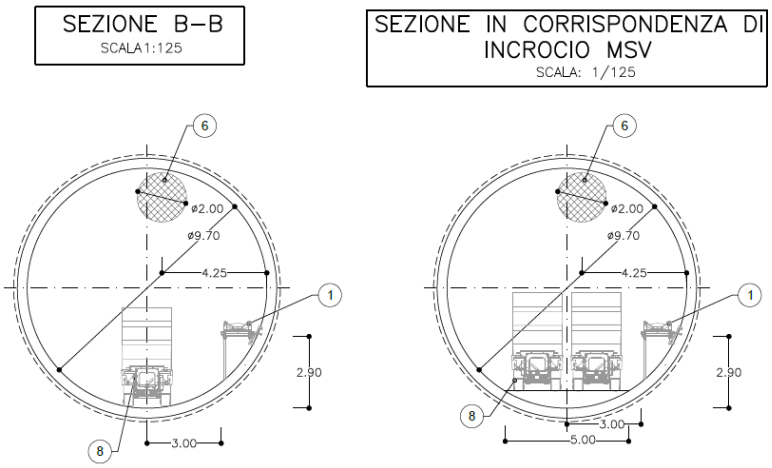


Figura 10-3 – Sezioni della galleria durante lo scavo della TBM

Un altro elemento importante è rappresentato dal sistema di ventilazione; dal momento che si realizzerà lo scavo simultaneo della galleria in convenzionale e di quella meccanizzata sarà necessario disporre di due condotte separate. Il sistema di propulsione dell'aria pulita si ubicherà al portale di accesso. Le due condotte percorreranno la finestra di accesso ed una volta nella caverna ciascuna si dirigerà verso una galleria; durante l'avanzamento dello scavo, si dovrà procedere al prolungamento delle condotte. In questa fase si è considerato un diametro sufficientemente grande pari a 2,0 m per ogni condotta, ma questa dimensione dovrà essere validata in seguito alla verifica inerente alla buona qualità dell'aria al fronte di scavo.

Inoltre, nell'elaborato grafico "BIS2V-C-OST05-PL04-1 Fase di Scavo TBM" si è individuato il percorso che i veicoli MSV potranno realizzare, tenendo in conto un raggio di curvatura limite di 19,55 m. Dovuto a questa limitazione, la finestra di accesso prevede un allargamento in corrispondenza dell'entrata alla caverna. Inoltre, si è rappresentato il percorso dei mezzi che porteranno il materiale verso la galleria in tradizionale e che non presentano particolari limitazioni, confermando così la compatibilità dell'esecuzione simultanea delle due gallerie. Riguardo alla logistica dei mezzi MSV all'interno della galleria meccanizzata, si provvederà alla realizzazione di una piattaforma di 5 m di ampiezza e 50 m di lunghezza ogni 1500 m, affinché gli MSV in entrata e uscita possano incrociarsi lungo i 6 km totali di galleria.

10.3 FASI COSTRUTTIVE DEL CAMERONE

Le fasi realizzative dell'opera prevedono in prima battuta la realizzazione della finestra di accesso il cui asse intercetta l'asse della galleria principale in corrispondenza della Pk 6+013.25 come da PE (la differenza di circa 46cm sulle progressive è legata al cambio di tracciato proposto), con una quota finita della soletta di +26.00m. Completato lo scavo in sezione corrente della finestra di accesso è previsto uno scavo in allargo per una lunghezza pari a 21 m fino al raggiungimento del camerone. Lo scavo del camerone risulta suddiviso

in due corpi, il corpo di testata, ortogonale allo sviluppo della galleria principale, che risulta propedeutico alla realizzazione del corpo principale longitudinale del camerone il quale, a scavi conclusi, avrà uno sviluppo pari a 78,75 m considerando il rivestimento definitivo. Nella seguente immagine viene invece riportata la planimetria di inquadramento generale nella configurazione finale, confrontata con quella del PE (in rosso).

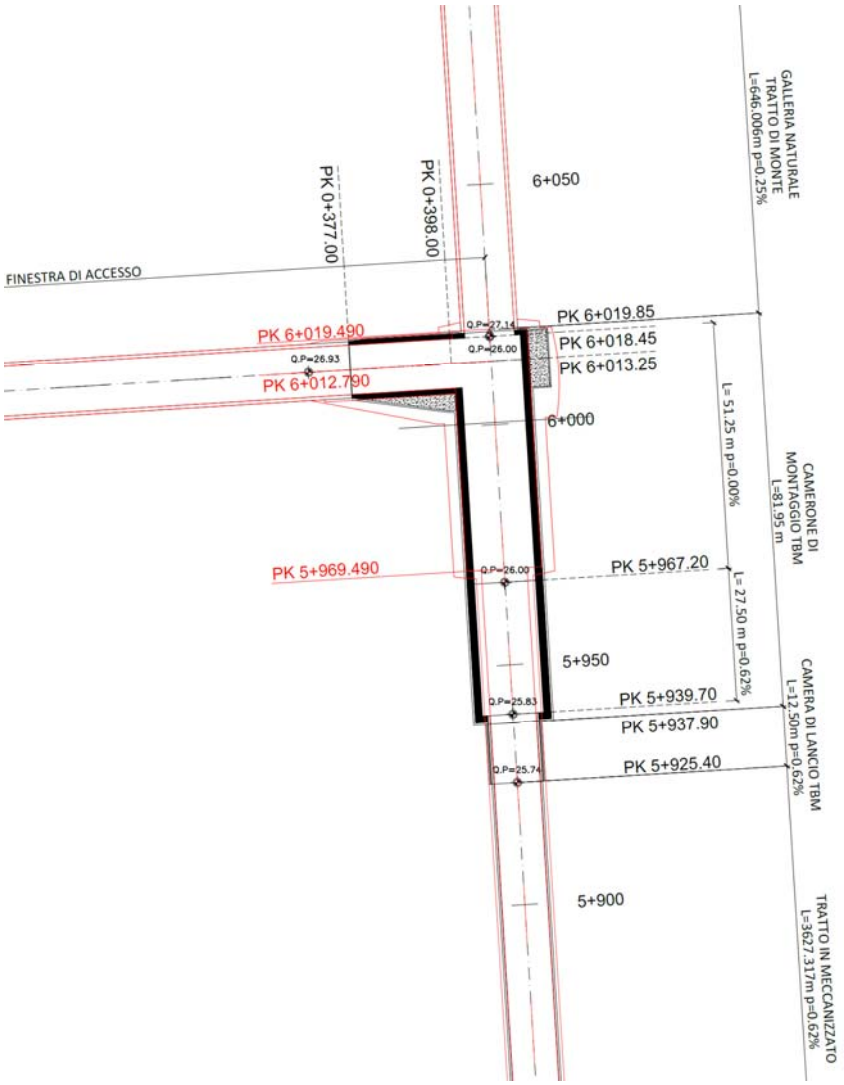


Figura 10-4- Camerone – Planimetria nella configurazione finale.

Per una completa comprensione delle fasi realizzative del camerone nel seguito vengono descritte le fasi esecutive generali di scavo secondo quanto riportato nei relativi elaborati grafici.

10.3.1 Fase 1

- Scavo della finestra di accesso fino alla Pk 0+377.00 secondo le modalità di progetto;
- Scavo della sezione di allargo fino alla Pk 0+398.00 secondo le modalità di progetto con pendenza del piano di scavo di circa 16%;

- Scavo della testata del camerone mantenendo la sezione di allargo, secondo le modalità di progetto, fino alla quota 28.30;
- Scavo della nicchia che alloggerà la Stazione di Trasferimento del Nastro Trasportatore. Questa nicchia avrà una sezione finale pari alla sezione della finestra di accesso (la reale necessità di tale nicchia verrà confermata nel corso della definizione di dettaglio della geometria del sistema di convogliamento su nastro del materiale di risulta dallo scavo del tunnel idraulico).

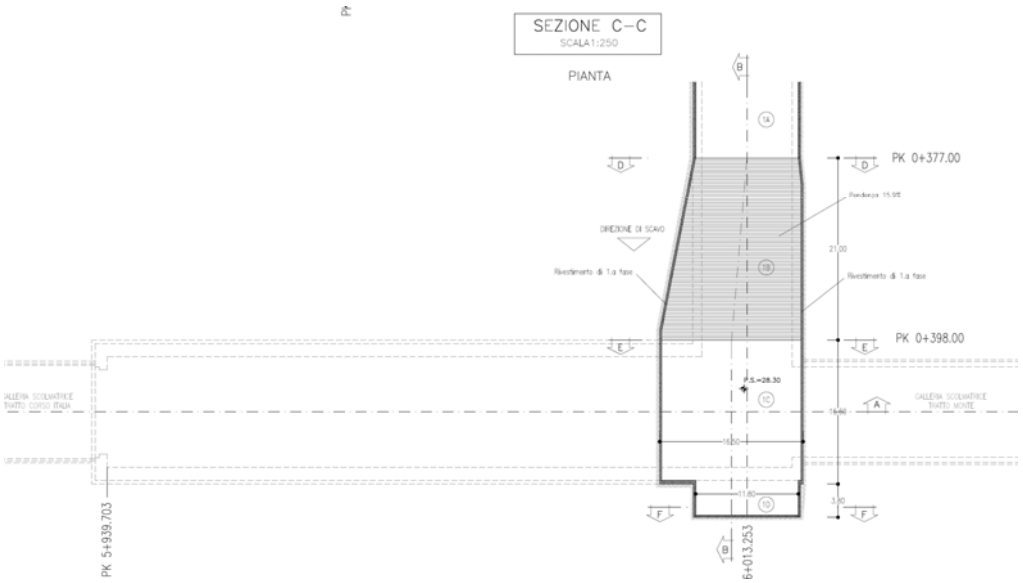


Figura 10-5– Fase 1_Planimetria.



Figura 10-6– Fase 1_Sezione A-A.

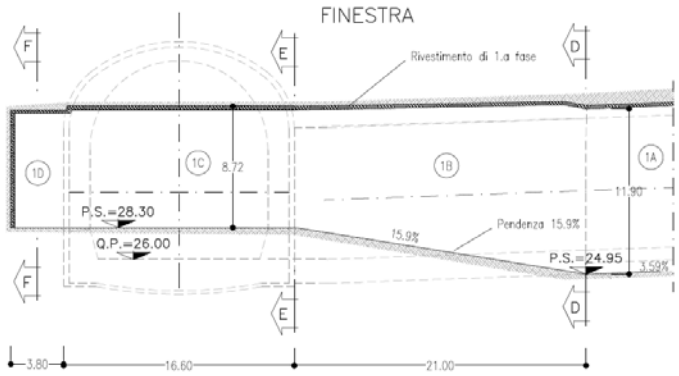


Figura 10-7 – Fase 1_Sezione B-B.

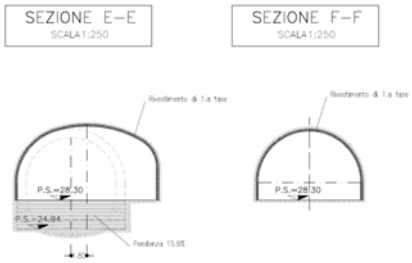


Figura 10-8 – Fase 1_Sezioni D–D (allargo) e E-E (nicchia).

10.3.2 Fase 2

- Scavo della testata del camerone e scavo parziale del corpo longitudinale del camerone, nel settore di calotta secondo le modalità di progetto, seguendo le sottofasi 2A.1-2A.7. Le sottofasi 2A.1-2A.4 si realizzeranno mediante 3 sfondi e le sottofasi 2A.5-2A.7 4 si realizzeranno mediante 2 sfondi. Per queste sottofasi si rimanda agli elaborati specifici “BIS2V-C-OST05-SZ04-1” al “BIS2V-C-OST05-SZ06-1”.

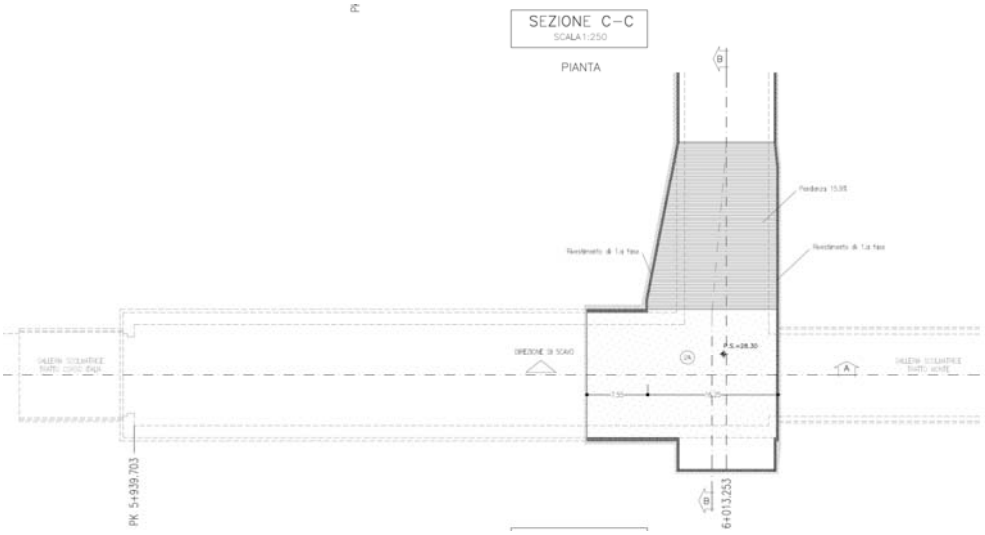


Figura 10-9 – Fase 2_Planimetria.

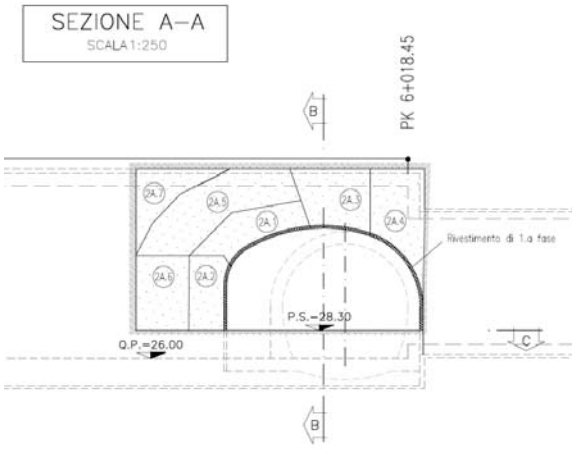


Figura 10-10 – Fase 2_Dettaglio delle sottofasi 2A.1-2A.7, Sezione A-A.

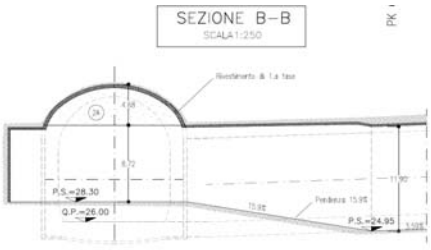


Figura 10-11 – Fase 2_ Sezione B-B.

10.3.3 Fase 3

- Scavo parziale per una lunghezza di circa 30 m del corpo longitudinale del camerone secondo le modalità di progetto con piano di scavo a quota 28.3 m.

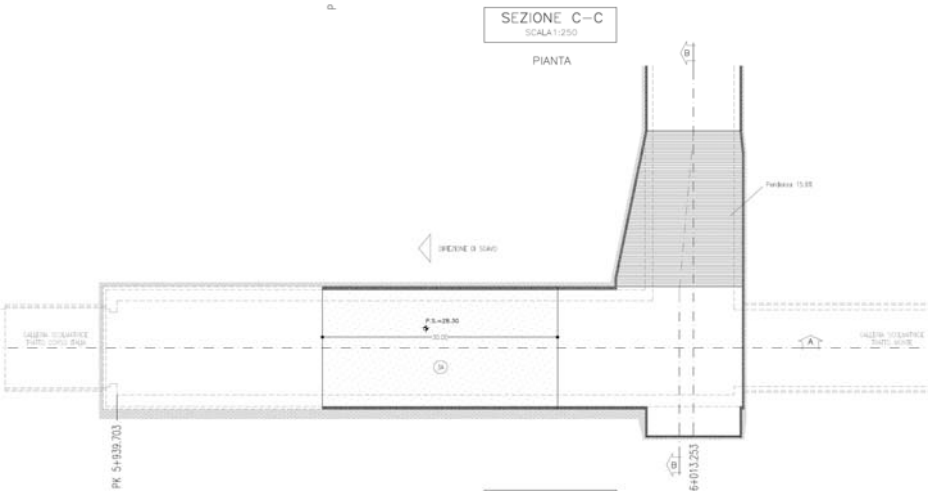


Figura 10-12 – Fase 3_Planimetria.



Figura 10-13 – Fase 3_Sezione A-A.

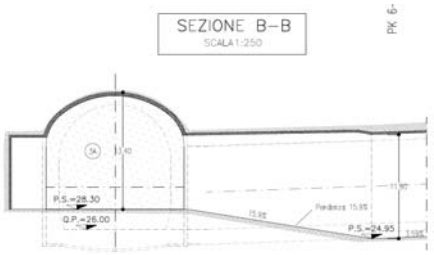


Figura 10-14 – Fase 3_Sezione B-B.

10.3.4 Fase 4

- Una volta scavati 30 m di corpo longitudinale del camerone, si procederà ad eseguire un ribasso fino a quota 23.75 m per la sezione di allargo, la testata e la nicchia;

- Nel settore di camerone già scavato, si creerà una rampa per arrivare da quota 23.75 m nella zona della testata a quota 28.3 m a circa 7.5 m dal fronte di scavo (pendenza della rampa di circa 13%);
- Inizio dello scavo della galleria tradizionale verso monte seguendo le modalità di progetto;
- Continuazione dello scavo del corpo longitudinale del camerone, secondo le modalità di progetto con piano di scavo a quota 28.3 m.

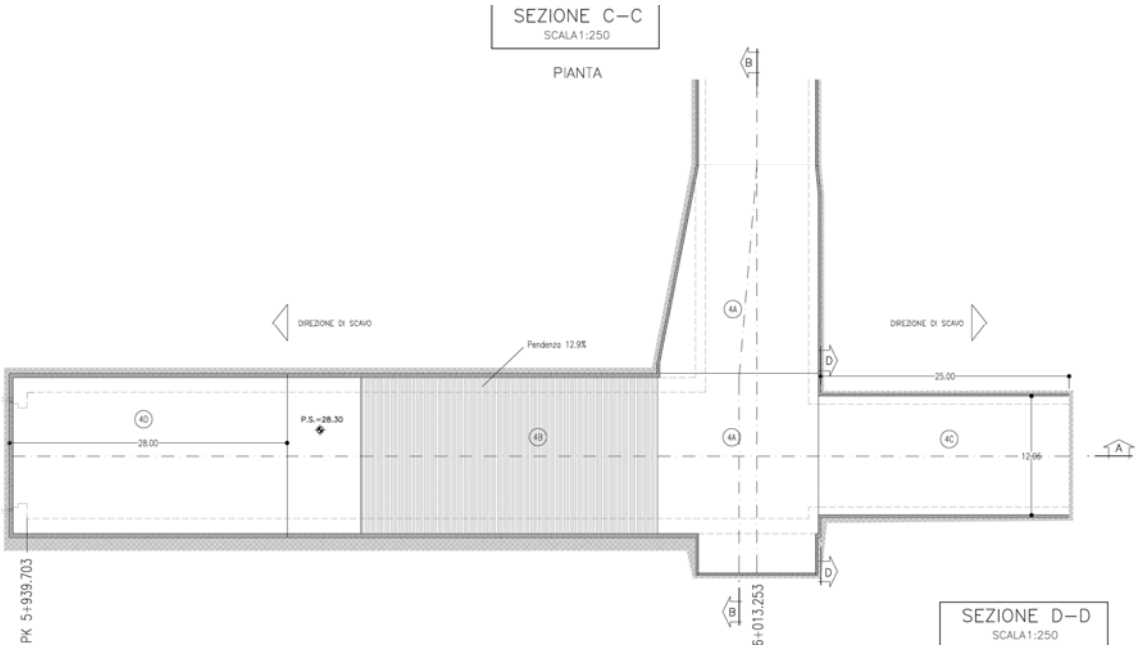


Figura 10-15 – Fase 4_ Planimetria.

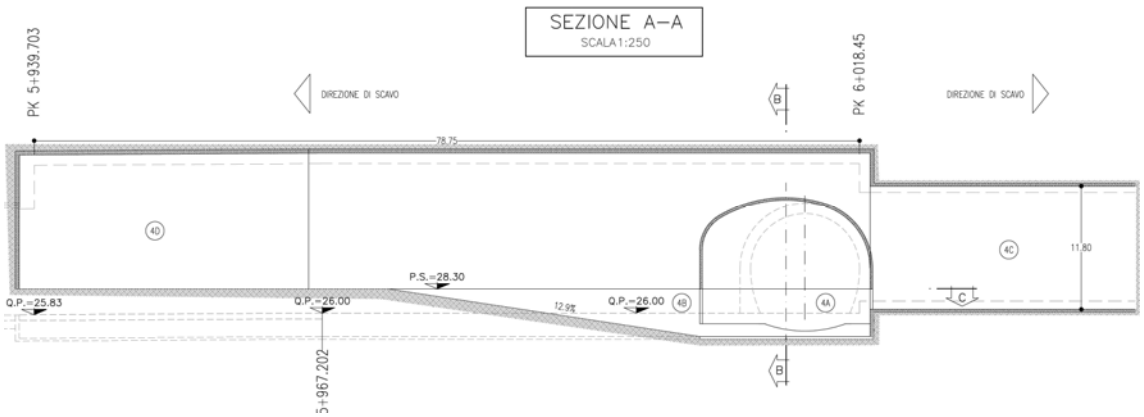


Figura 10-16 – Fase 4_Sezione A-A.

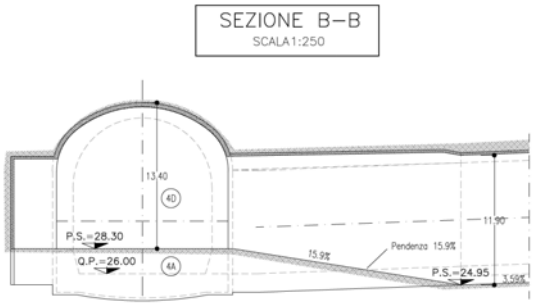


Figura 10-17 - Fase 4 – Sezione B-B.

10.3.5 Fase 5

- Completamento dello scavo del camerone attraverso il ribasso fino a quota 23.75 m lungo il corpo longitudinale del camerone, secondo le modalità di progetto, fino alla progressiva 5+967.202; da quest'ultima progressiva fino al PK 5+937.90 esecuzione del ribasso con pendenza 0.622%;
- Scavo della fossa centrale della Trincea di Saldatura per lo scudo della TBM.

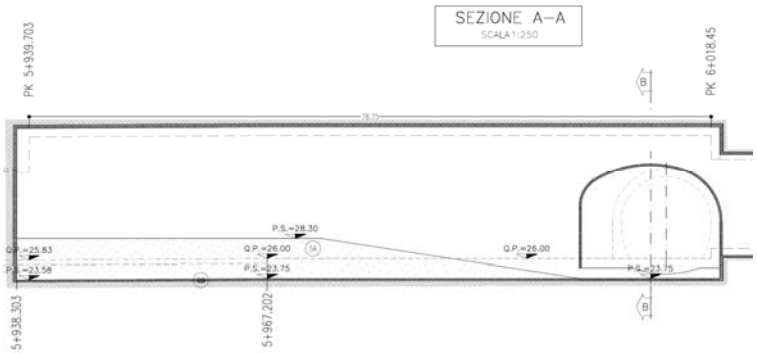


Figura 10-18 – Fase 5_Sezione A-A.

10.3.6 Fase 6

- Realizzazione della galleria di lancio della TBM, di lunghezza pari a 12.5 m, secondo le modalità di progetto. La galleria di lancio inizia 1.8 m a partire dal rivestimento interno del camerone, ovvero alla Pk 5+937.44 e termina alla Pk 5+924.94.

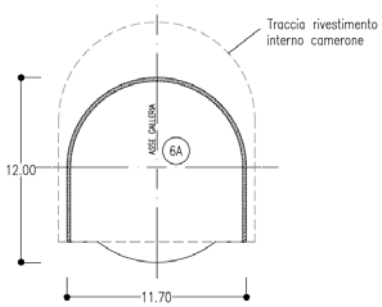


Figura 10-19 – Fase 6 – Sezione della camera di lancio.

10.3.7 Fase 7

- Esecuzione della soletta di base all'interno del camerone secondo le geometrie di progetto. In prossimità della galleria di lancio si realizzerà la culla per la TBM;
- Dopo la realizzazione della soletta e della culla si potranno avviare le fasi di montaggio carroponte e TBM per l'avvio dello scavo meccanizzato.

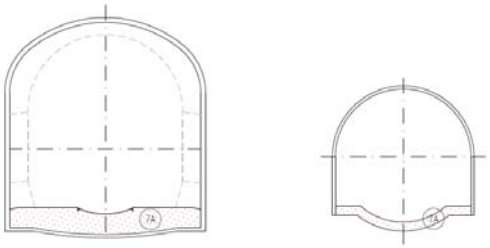


Figura 10-20 – Fase 6 – Sezione della camera di lancio.

10.3.8 Fase 8

- Se/ove possibile, durante l'esecuzione dello scavo meccanizzato, si predisporrà il piano di lavoro a quota 26.00 m, secondo le modalità di progetto;
- Posa in opera del sistema di impermeabilizzazione e realizzazione dei rivestimenti definitivi secondo le geometrie di progetto;
- I getti dovranno essere eseguiti per step successivi di 3,0 – 4,0 m di altezza ciascuno. Per i volumi non armati sarà impiegato lo stesso calcestruzzo del rivestimento definitivo;
- Una volta terminati i lavori di scavo meccanizzato, si procederà a completare la soletta nella zona della culla della TBM.

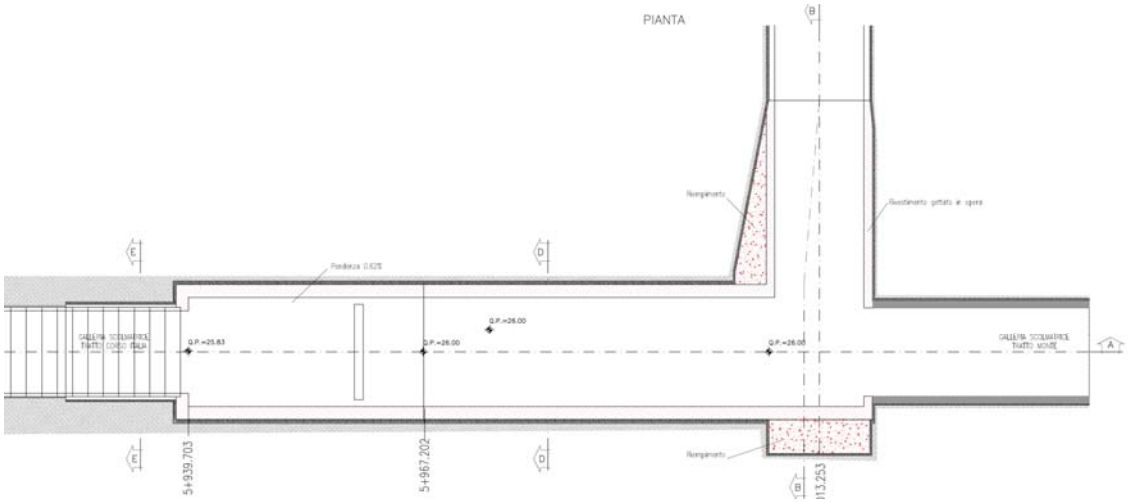


Figura 10-21 – Fase 8_Planimetria.

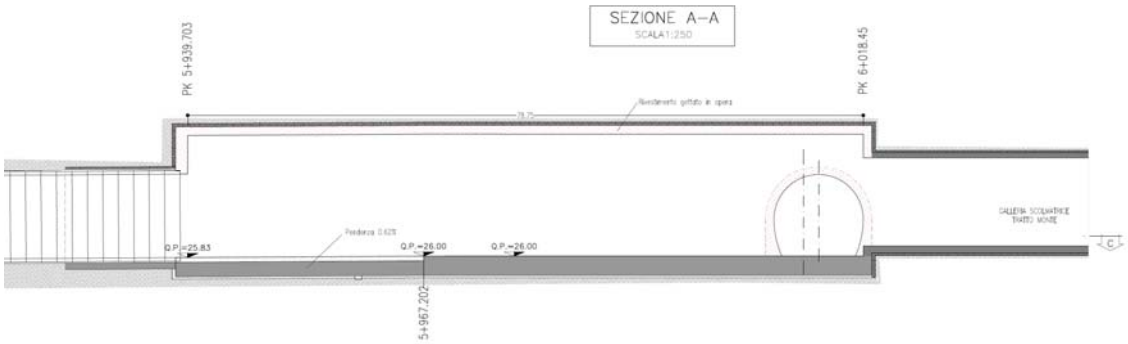


Figura 10-22 – Fase 8_Sezione A-A

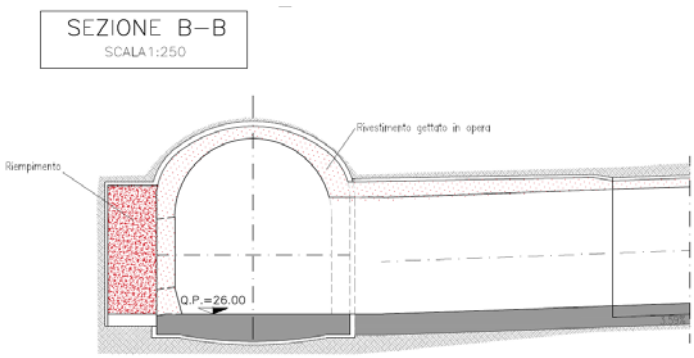


Figura 10-23 – Fase 8_Sezione B-B.

10.4 TIPOLOGIA DI SOSTEGNO DI PRIMA FASE E RIVESTIMENTI DEFINITIVO

Il sostegno di prima fase della sezione trasversale del camerone sarà composto dai seguenti elementi:

- Bulloni radiali ø32 costituiti da un ancoraggio puntuale ad immediata azione e da un sistema per l'iniezione successiva con guaina e doppia protezione tipo CT-bolt o equivalenti di lunghezza pari a L=8.00 m, maglia 2,00 m x 1,50 m in corrispondenza dello scavo in allargo e maglia 2.00 x 2.00 m in corrispondenza del tampone di fondo;
- Spritz-beton fibrorinforzato al contorno sp. 40,0 cm (10,0 cm + 30,0 cm);
- Spritz-beton fibrorinforzato al fronte di scavo sp. 10,0 cm a fine sfondo (profondità massima pari a 3,0 m);

Per quanto riguarda il rivestimento definitivo ed il sistema d'impermeabilizzazione esso avrà le medesime caratteristiche di quanto previsto in PE.

11 OTTIMIZZAZIONE SCAVO IN TRADIZIONALE

Al fine di garantire delle velocità di avanzamento più celeri rispetto a quanto previsto nel Progetto Esecutivo approvato si è deciso di operare le seguenti variazioni:

a) Ottimizzazione del rivestimento di prima fase
b) Ottimizzazione armatura rivestimento definitivo

Tali modifiche hanno riguardato la finestra di servizio e la tratta a monte che collega l'opera di presa al camerone.

11.1 FINESTRA DI SERVIZIO

L'ottimizzazione delle sezioni di avanzamento nella finestra di servizio riguardano:

1) la sostituzione dei chiodi ad aderenza migliorata in acciaio B450 C, previsti per la sezione Ab, con chiodi tipo Swellex aventi la stessa lunghezza dei chiodi di Progetto (4.50m) ma con spaziatura di 1,70 m (trasv.) x 1,70 m (long.);
2) ottimizzazione dello spessore di spritz-beton fibrorinforzato, gettato in due fasi distinte;
3) l'ottimizzazione delle armatura del rivestimento definitivo limitandole alle sole murette;

Tali ottimizzazioni hanno portato all'introduzione delle seguenti sezioni tipologiche di scavo:

1) Ab1 costituita da:
   - chiodi radiali tipo Swellex con spaziatura 1.70 m(long.)x1.70 m(trasv.)
   - spritz-beton fibrorinforzato spessore 15 cm
   - rivestimento definitivo armato in corrispondenza delle murette
2) Ab2 costituita da:
   - chiodi radiali tipo Swellex con spaziatura 1.20 m(long.)x1.20 m(trasv.)
   - spritz-beton fibrorinforzato spessore 20 cm
   - rivestimento definitivo armato in corrispondenza delle murette

in luogo, rispettivamente, alle sezioni Ab e Ac previste dal PE approvato.

Per far fronte, comunque, a situazioni locali di ammassi più fratturati e/o alterati, sarà previsto l'impiego di sezioni tipologiche più robuste, Ac e B0V2, nel seguito descritte.

11.1.1 Sezione tipologica Ab1

Il substrato roccioso di riferimento è il Flysch del Monte Antola (GSI 60, medio del range risultato durante la fase di caratterizzazione dell'ammasso).

Successivamente alla posa in opera di drenaggi sub-orizzontali in avanzamento (3+3 tubi di lunghezza L=24,0 m, da prevedere solo in presenza d'acqua, che possa ostacolare o risulti pregiudizievole per la sicurezza delle lavorazioni al fronte di scavo) si provvederà all'esecuzione dello scavo a piena sezione mediante esplosivo, con sfondi di profondità massima pari a 3,00 m, sagomando il fronte a forma concava e provvedendo ad un accurato disgaggio meccanico di tutti i blocchi potenzialmente instabili.

La posa in opera dello spritz-beton fibrorinforzato avverrà in due fasi distinte rispettivamente con spessore sp1.=8,0 cm (1° fase) e sp2 =7,00 cm (2° fase).

Ad una distanza di 1,0 m dal fronte verrà quindi eseguita la perforazione e posa in opera dell'intervento di bullonatura al contorno, costituito da chiodi radiali tipo Swellex, di lunghezza L≥4,50 m, disposti a maglia 1,70 x 1,70 m.

Il getto delle murette e dell'arco rovescio verrà eseguito ad una distanza dal fronte regolata in funzione del comportamento deformativo del cavo (eventualmente sarà possibile realizzare prima le murette e successivamente l'arco rovescio).

Si provvederà quindi alla realizzazione di un ultimo strato di spritz beton di regolarizzazione (senza utilizzo di fibre, spessore sp.=5,0 cm) a cui seguiranno la messa in opera dell'impermeabilizzazione e il getto immediatamente successivo del rivestimento definitivo di calotta.

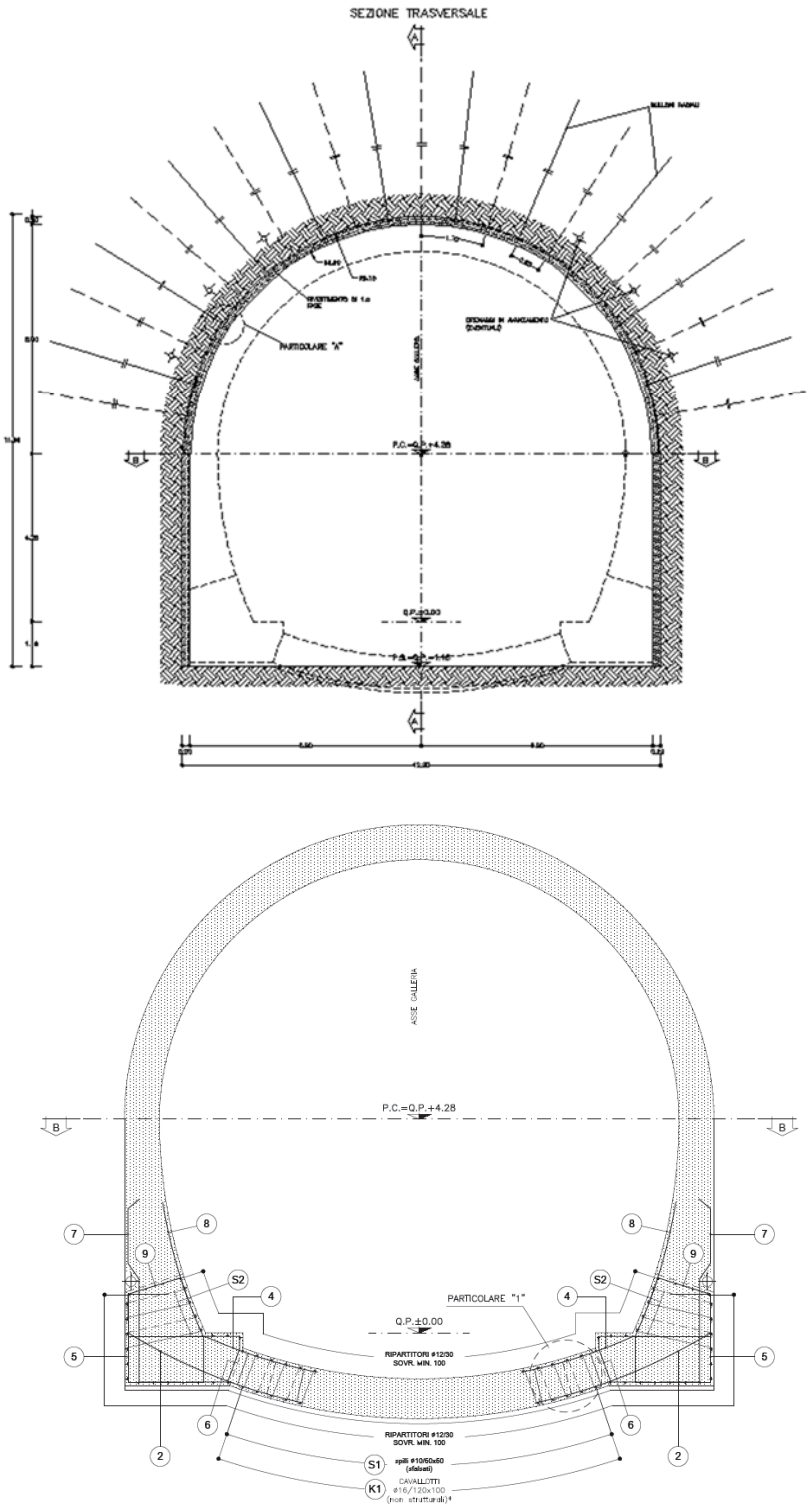
Anche il getto della calotta sarà eseguito ad una distanza dal fronte regolata in funzione del comportamento deformativo del cavo.

La sezione risulta armata in corrispondenza delle murette laddove il battente idrico risulti maggiore di 15m.

11.1.1.1 Interventi previsti

La sezione tipo Ab è costituita dai seguenti interventi:

- n° 3+3 drenaggi di lunghezza L = 24,00 m ogni 3 sfondi (eventuali in presenza d'acqua);
- 10/11 chiodi radiali tipo Swellex, di lunghezza L≥4,50 m, maglia 1,70 m (trasv.) x 1,70 m (long.);
- Spritz-beton fibrorinforzato al contorno sp. 15,0 cm (8,0 cm + 7,0 cm);
- Spritz-beton di regolarizzazione al contorno sp. 5,0 cm;
- Spritz-beton fibrorinforzato al fronte di scavo sp. 5,0 cm a fine sfondo (profondità massima pari a 3,0 m);
- Murette e arco rovescio in CLS di spessore 0,80 m;
- Rivestimento definitivo in CLS di spessore 0,70 m;
- Impermeabilizzazione con teli in PVC + TNT.



-

- Figura 11-1 – Sezione di scavo e armatura sezione tipo Ab1

11.1.2 Sezione tipologica Ab2

Il substrato roccioso di riferimento è il Flysch del Monte Antola per il quale viene ipotizzato uno scenario più conservativo del contesto geomeccanico (rispetto alla sezione precedente) caratterizzato da un indice GSI di 40.

Successivamente alla posa in opera di drenaggi sub-orizzontali in avanzamento (3+3 tubi di lunghezza L=24,0 m, da prevedere solo in presenza d'acqua, che possa ostacolare o risulti pregiudizievole per la sicurezza delle lavorazioni al fronte di scavo) si provvederà all'esecuzione dello scavo a piena sezione mediante esplosivo, con sfondi di profondità massima pari a 3,00 m, sagomando il fronte a forma concava e provvedendo ad un accurato disgaggio meccanico di tutti i blocchi potenzialmente instabili.

La posa in opera dello spritz-beton fibrorinforzato avverrà in due fasi distinte rispettivamente con spessore sp1.=10,0 cm (1° fase) e sp2 =10,00 cm (2° fase).

Ad una distanza di 1,0 m dal fronte verrà quindi eseguita la perforazione e posa in opera dell'intervento di bullonatura al contorno, costituito da chiodi radiali tipo Swellex.

Il getto delle murette e dell'arco rovescio verrà eseguito ad una distanza dal fronte regolata in funzione del comportamento deformativo del cavo (eventualmente sarà possibile realizzare prima le murette e successivamente l'arco rovescio).

Si provvederà quindi alla realizzazione di un ultimo strato di spritz beton di regolarizzazione (senza utilizzo di fibre, spessore sp.=5,0 cm) a cui seguiranno la messa in opera dell'impermeabilizzazione e il getto immediatamente successivo del rivestimento definitivo di calotta.

Anche il getto della calotta sarà eseguito ad una distanza dal fronte regolata in funzione del comportamento deformativo del cavo.

La sezione risulta armata in corrispondenza delle murette laddove il battente idrico risulti maggiore di 15m.

11.1.2.1 Interventi previsti

La sezione tipo Ab2 è costituita dai seguenti interventi:

- n° 3+3 drenaggi di lunghezza L = 24,00 m ogni 3 sfondi (eventuali in presenza d'acqua);
- 14/15 chiodi radiali tipo Swellex, di lunghezza L≥4,50 m, maglia 1,20 m (trasv.) x 1,20 m (long.);
- Spritz-beton fibrorinforzato al contorno sp. 20,0 cm (10,0 cm + 10,0 cm);
- Spritz-beton di regolarizzazione al contorno sp. 5,0 cm;
- Spritz-beton fibrorinforzato al fronte di scavo sp. 5,0 cm a fine sfondo (profondità massima pari a 3,0 m);
- Murette e arco rovescio in CLS di spessore 0,80 m;
- Rrivestimento definitivo in CLS di spessore 0,70 m;
- Impermeabilizzazione con teli in PVC + TNT.

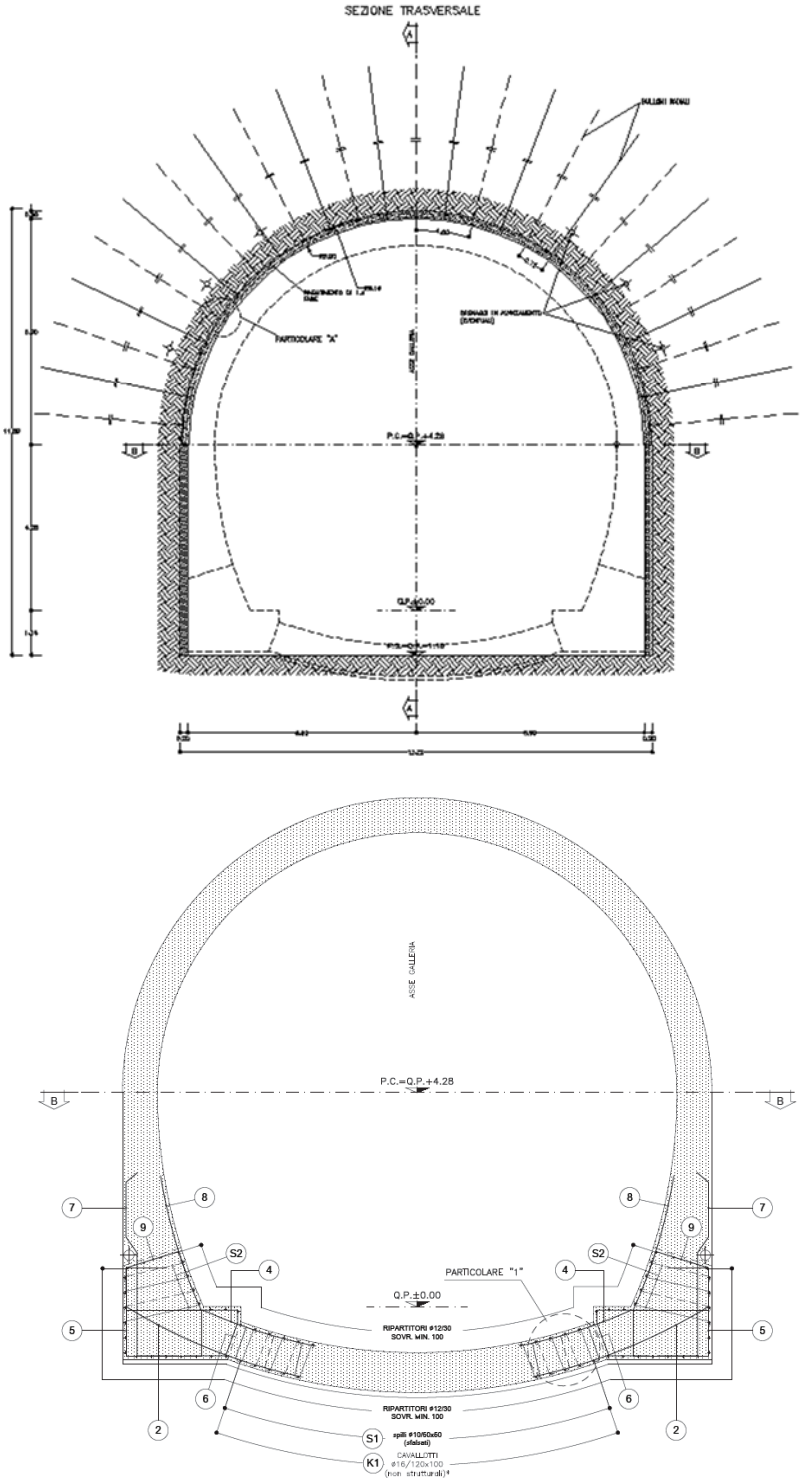


Figura 11-2 – Sezione di scavo e armatura sezione tipo Ab2

11.1.3 Sezione tipologica B0V2

La sezione tipo B0V2 è prevista per scavi all'interno della formazione del Flysh di Monte Antola in corrispondenza delle zone di faglia e/o con intensa fratturazione e alterazione, caratterizzato da un indice GSI inferiore a 40, laddove il grado di separazione strutturale dell'ammasso evidenzi la necessità di prevedere interventi di presostegno in calotta, al fine di mantenere il profilo di scavo.

A tal proposito, verrà eseguito un intervento di presostegno in calotta mediante la posa in opera di 36 tubi metallici Ø 114/10mm, attrezzati mediante 2 vlv/m iniettate ad alta pressione, di lunghezza pari a 5,50 m e con sovrapposizione pari a 1,90 m. Il campo di avanzamento è quindi di 3,60 m.

Successivamente si provvederà alla posa in opera di drenaggi sub-orizzontali in avanzamento (3+3 tubi di lunghezza L=24,0 m, da prevedere solo in presenza d'acqua) e quindi all'esecuzione dello scavo a piena sezione mediante mezzi meccanici, con sfondi di profondità massima pari a 1,00 m, sagomando il fronte a forma concava e provvedendo ad un accurato disgaggio meccanico di tutti i blocchi potenzialmente instabili.

Dopo ogni sfondo verrà messo in opera uno strato di spritz-beton fibrorinforzato con spessore sp.=6,00 cm in corrispondenza della tratta appena scavata e disgaggiata, contestualmente verrà eseguito un tampone di spritz beton fibrorinforzato sul fronte di scavo, con spessore pari a 5,0 cm.

Ad una distanza di 0,5 m dal fronte si procederà quindi alla messa in opera delle centine 2IPN 180 disposte a passo 0,90 m, collegate alle altre mediante apposite catene.

Verrà quindi posato il secondo strato di spritz-beton fibrorinforzato al contorno con spessore sp.=19,0 cm, fino al raggiungimento di uno spessore totale di 25,0 cm.

Il getto delle murette e dell'arco rovescio verrà eseguito ad una distanza massima di 3,0 Ø dal fronte.

Si provvederà quindi alla realizzazione di un ultimo strato di spritz beton di regolarizzazione (senza utilizzo di fibre, spessore sp.=5,0 cm) a cui seguiranno la messa in opera dell'impermeabilizzazione e il getto immediatamente successivo del rivestimento definitivo di calotta ad una distanza massima dal fronte di 6Ø.

11.1.3.1 *Interventi previsti*

La sezione tipo B0V2 è costituita dai seguenti interventi:

- Presostegno al contorno con n°36 tubi metallici Ø114,0 mm, sp.=10,0mmvalvolati (2 vlv/m) e iniettati, L=5,50 m sovrapposizione 1,90 m;
- n° 3+3 drenaggi di lunghezza L = 24,00 m ogni campo di avanzamento (eventuali in presenza d'acqua);
- Centine metalliche 2IPN 180, passo 0,90 m;
- Spritz-beton fibrorinforzato al contorno sp. 25,0 cm (6,0 cm + 19,0 cm);
- Spritz-beton di regolarizzazione al contorno sp. 5,0 cm;
- Spritz-beton fibrorinforzato al fronte di scavo sp. 5,0 cm a fine sfondo;
- Murette e arco rovescio in C.A. di spessore 0,90 m, gettato ad una distanza dal fronte ≤ 3,0 Ø;

- Rivestimento def. in C.A. di spessore 0,70÷1,10 m, gettato ad una distanza dal fronte ≤ 6,0 Ø;
- Impermeabilizzazione con teli in PVC + TNT.

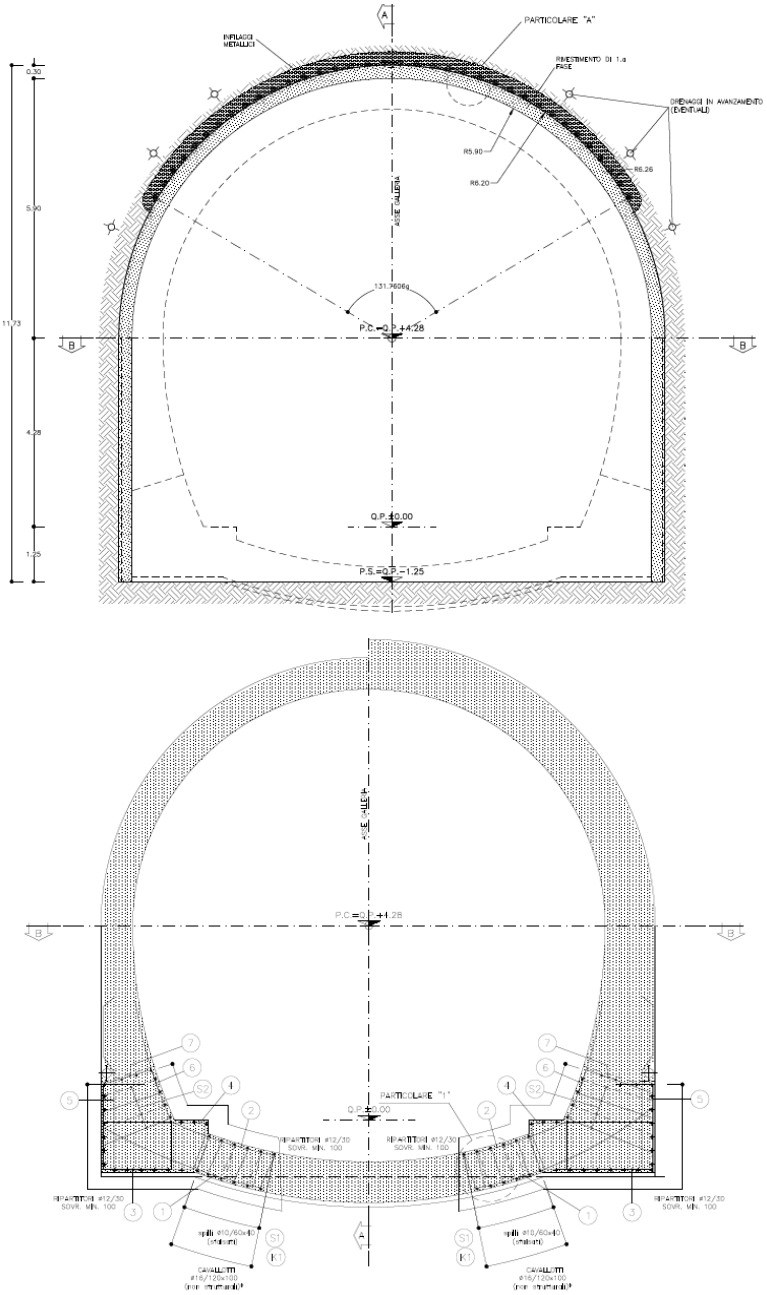


Figura 11-3 – Sezione di scavo e armatura sezione tipo B0V2

11.1.4 Sezione tipologica Ac

La sezione tipologica Ac risulta immutata rispetto a quanto proposto in sede di PE approvato. Per completezza, si riporta di seguito la descrizione di tale sezione e gli interventi previsti.

La sezione tipo Ac è prevista per scavi all'interno della formazione del Flysh di Monte Antola, per le situazioni geologiche e geomeccaniche abbastanza favorevoli, caratterizzato da un indice GSI pari a 40.

Successivamente alla posa in opera di drenaggi sub-orizzontali in avanzamento (3+3 tubi di lunghezza L=24,0 m, da prevedere solo in presenza d'acqua) si provvederà all'esecuzione dello scavo a piena sezione mediante esplosivo, con sfondi di profondità massima pari a 2,40 m, sagomando il fronte a forma concava e provvedendo ad un accurato disgaggio meccanico di tutti i blocchi potenzialmente instabili.

Dopo ogni sfondo verrà messo in opera uno strato di spritz-beton fibrorinforzato con spessore sp.=10,0 cm in corrispondenza della tratta appena scavata e disgaggiata, contestualmente verrà eseguito un tampone di spritz beton fibrorinforzato sul fronte di scavo, con spessore pari a 5,0 cm.

Ad una distanza di 0,6 m dal fronte si procederà quindi alla messa in opera delle centine 1 HEA 160 disposte a passo 1,20m, collegate alle altre mediante apposite catene.

Verrà quindi posato il secondo strato di spritz-beton fibrorinforzato al contorno con spessore sp.=15,0 cm, fino al raggiungimento di uno spessore totale di 25,0 cm.

Il getto delle murette e dell'arco rovescio verrà eseguito ad una distanza dal fronte regolata in funzione del comportamento deformativo del cavo (eventualmente sarà possibile realizzare prima le murette e successivamente l'arco rovescio).

Si provvederà quindi alla realizzazione di un ultimo strato di spritz beton di regolarizzazione (senza utilizzo di fibre, spessore sp.=5,0 cm) a cui seguiranno la messa in opera dell'impermeabilizzazione e il getto immediatamente successivo del rivestimento definitivo di calotta.

Anche il getto della calotta sarà eseguito ad una distanza dal fronte regolata in funzione del comportamento deformativo del cavo.

La sezione risulta armata in arco rovescio laddove il battente idrico risulti maggiore di 15m.

11.1.4.1 Interventi previsti

La sezione tipo Ac è costituita dai seguenti interventi:

- n° 3+3 drenaggi di lunghezza L = 24,00 m ogni 4 sfondi (eventuali in presenza d'acqua);
- Centine metalliche 1 HEA 160, passo 1,20 m;
- Spritz-beton fibrorinforzato al contorno sp. 25,0 cm (10,0 cm + 15,0 cm);
- Spritz-beton di regolarizzazione al contorno sp. 5,0 cm;
- Spritz-beton fibrorinforzato al fronte di scavo sp. 5,0 cm a fine sfondo (profondità massima pari a 2,4 m);

- Murette e arco rovescio in CLS di spessore 0,80 m, gettato ad una distanza dal fronte variabile in funzione del comportamento deformativo del cavo;
- Rivestimento definitivo in CLS di spessore 0,70 m, gettato ad una distanza dal fronte variabile in funzione del comportamento deformativo del cavo;
- Impermeabilizzazione con teli in PVC + TNT.

Durante l'esecuzione del rivestimento definitivo, al fine di velocizzare le attività lavorative, il getto dell'arco rovescio sarà eseguito in due fasi diverse per semi-conci longitudinali.

11.2 TRATTA IN TRADIZIONALE DA MONTE

L'ottimizzazione delle sezioni di avanzamento nella tratta a monte che collega l'opera di presa e il camerone riguardano:

1) la sostituzione dei chiodi ad aderenza migliorata in acciaio B450 C, previsti per la sezione Ab, con chiodi tipo Swellex aventi la stessa lunghezza e spaziatura dei chiodi del Progetto Esecutivo;
2) ottimizzazione dello spessore di spritz-beton fibrorinforzato, gettato in due fasi distinte;
3) l'ottimizzazione delle armatura del rivestimento definitivo limitandole alle sole murette;

Tali ottimizzazioni hanno portato all'introduzione delle seguenti sezioni tipologiche di scavo:

1) Ab1 costituita da:
   - chiodi radiali tipo Swellex con spaziatura 1.50 m(long.)x1.50 m(trasv.)
   - spritz-beton fibrorinforzato spessore 15 cm
   - rivestimento definitivo armato in corrispondenza delle murette
2) Ab2 costituita da:
   - chiodi radiali tipo Swellex con spaziatura 1.20 m(long.)x1.20 m(trasv.)
   - spritz-beton fibrorinforzato spessore 20 cm
   - rivestimento definitivo armato in corrispondenza delle murette

in luogo, rispettivamente, alle sezioni Ab e Ac previste dal PE approvato.

Per far fronte, comunque, a situazioni locali di ammassi più fratturati e/o alterati, sarà previsto l'impiego di una sezione tipologica più robusta, B0V2, di seguito descritta.

11.2.1 Sezione tipologica Ab1

Il substrato roccioso di riferimento è il Flysch del Monte Antola (GSI 60, medio del range risultato durante la fase di caratterizzazione dell'ammasso).

Successivamente alla posa in opera di drenaggi sub-orizzontali in avanzamento (3+3 tubi di lunghezza L=24,0 m, da prevedere solo in presenza d'acqua) si provvederà all'esecuzione dello scavo a piena sezione mediante esplosivo, con sfondi di profondità massima pari a 3,00 m, sagomando il fronte a forma concava e provvedendo ad un accurato disgaggio meccanico di tutti i blocchi potenzialmente instabili.

La posa in opera dello spritz-beton in polipropilene avverrà in due fasi distinte rispettivamente con spessore sp1.=8,0 cm (1° fase) e sp2 =7,00 cm (2° fase).

Ad una distanza di 1,0 m dal fronte verrà quindi eseguita la perforazione e posa in opera dell'intervento di bullonatura al contorno, costituito da chiodi radiali tipo Swellex, di lunghezza L≥4,50 m, disposti a maglia 1,50 x 1,50 m.

Il getto delle murette e dell'arco rovescio verrà eseguito ad una distanza dal fronte regolata in funzione del comportamento deformativo del cavo (eventualmente sarà possibile realizzare prima le murette e successivamente l'arco rovescio).

Si provvederà quindi alla realizzazione di un ultimo strato di spritz beton di regolarizzazione (senza utilizzo di fibre, spessore sp.=5,0 cm) a cui seguiranno la messa in opera dell'impermeabilizzazione e il getto immediatamente successivo del rivestimento definitivo di calotta.

Anche il getto della calotta sarà eseguito ad una distanza dal fronte regolata in funzione del comportamento deformativo del cavo.

La sezione risulta armata in corrispondenza delle murette laddove il battente idrico risulti maggiore di 15m.

11.2.1.1 Interventi previsti

La sezione tipo Ab è costituita dai seguenti interventi:

- n° 3+3 drenaggi di lunghezza L = 24,00 m ogni 3 sfondi (eventuali in presenza d'acqua);
- 12/13 chiodi radiali tipo Swellex, di lunghezza L≥4,50 m, maglia 1,50 m (trasv.) x 1,50 m (long.);
- Spritz-beton fibrorinforzato al contorno sp. 15,0 cm (8,0 cm + 7,0 cm);
- Spritz-beton di regolarizzazione al contorno sp. 5,0 cm;
- Spritz-beton fibrorinforzato al fronte di scavo sp. 5,0 cm a fine sfondo (profondità massima pari a 3,0 m);
- Murette e arco rovescio in CLS di spessore 0,80 m;
- Rivestimento definitivo in CLS di spessore 0,70 m;
- Impermeabilizzazione con teli in PVC + TNT.

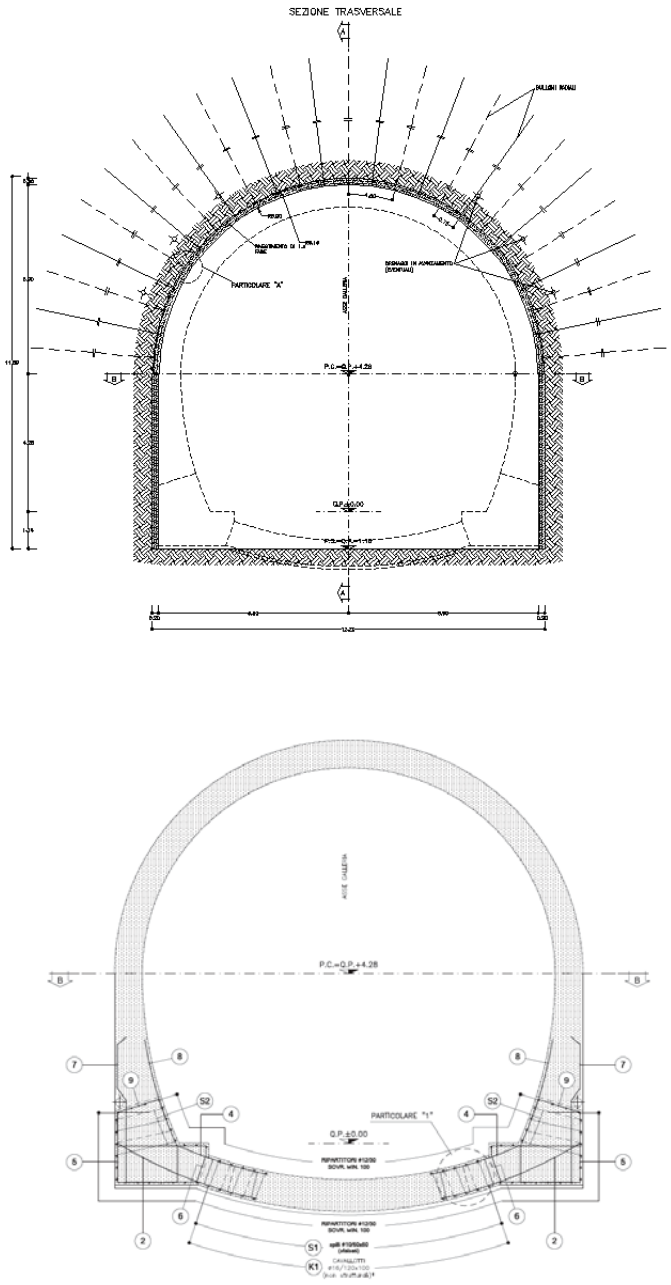


Figura 11-4 – Sezione di scavo e armatura sezione tipo Ab1

11.2.2 Sezione tipologica Ab2

Il substrato roccioso di riferimento è il Flysch del Monte Antola per il quale viene ipotizzato uno scenario più conservativo del contesto geomeccanico (rispetto alla sezione precedente) caratterizzato da un indice GSI di 40.

Successivamente alla posa in opera di drenaggi sub-orizzontali in avanzamento (3+3 tubi di lunghezza L=24,0 m, da prevedere solo in presenza d'acqua) si provvederà all'esecuzione dello scavo a piena sezione

mediante esplosivo, con sfondi di profondità massima pari a 3,00 m, sagomando il fronte a forma concava e provvedendo ad un accurato disgaggio meccanico di tutti i blocchi potenzialmente instabili.

La posa in opera dello spritz-beton fibrorinforzato avverrà in due fasi distinte rispettivamente con spessore sp1.=10,0 cm (1° fase) e sp2 =10,00 cm (2° fase).

Ad una distanza di 1,0 m dal fronte verrà quindi eseguita la perforazione e posa in opera dell'intervento di bullonatura al contorno, costituito da chiodi radiali tipo Swellex.

Il getto delle murette e dell'arco rovescio verrà eseguito ad una distanza dal fronte regolata in funzione del comportamento deformativo del cavo (eventualmente sarà possibile realizzare prima le murette e successivamente l'arco rovescio).

Si provvederà quindi alla realizzazione di un ultimo strato di spritz beton di regolarizzazione (senza utilizzo di fibre, spessore sp.=5,0 cm) a cui seguiranno la messa in opera dell'impermeabilizzazione e il getto immediatamente successivo del rivestimento definitivo di calotta.

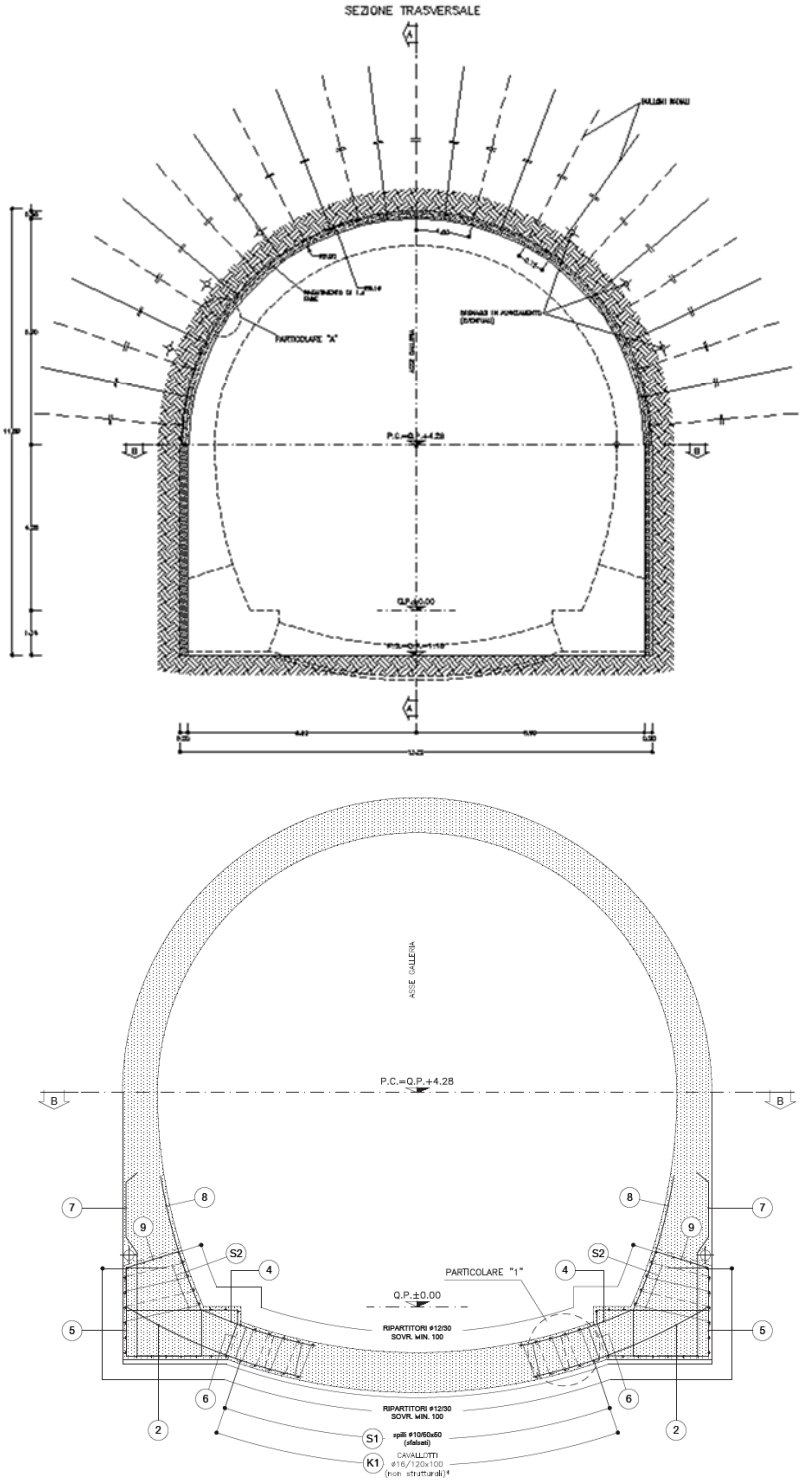
Anche il getto della calotta sarà eseguito ad una distanza dal fronte regolata in funzione del comportamento deformativo del cavo.

La sezione risulta armata in corrispondenza delle murette laddove il battente idrico risulti maggiore di 15m.

11.2.2.1 Interventi previsti

La sezione tipo Ab2 è costituita dai seguenti interventi:

- n° 3+3 drenaggi di lunghezza L = 24,00 m ogni 3 sfondi (eventuali in presenza d'acqua);
- 14/15 chiodi radiali tipo Swellex, di lunghezza L≥4,50 m, maglia 1,20 m (trasv.) x 1,20 m (long.);
- Spritz-beton fibrorinforzato al contorno sp. 20,0 cm (10,0 cm + 10,0 cm);
- Spritz-beton di regolarizzazione al contorno sp. 5,0 cm;
- Spritz-beton fibrorinforzato al fronte di scavo sp. 5,0 cm a fine sfondo (profondità massima pari a 3,0 m);
- Murette e arco rovescio in CLS di spessore 0,80 m;
- Rrivestimento definitivo in CLS di spessore 0,70 m;
- Impermeabilizzazione con teli in PVC + TNT.



-

- Figura 11-5 – Sezione di scavo e armatura sezione tipo Ab2

11.2.3 Sezione tipologica B0V2

La sezione tipo B0V2 è prevista per scavi all'interno della formazione del Flysh di Monte Antola in corrispondenza delle zone di faglia e/o con intensa fratturazione e alterazione, caratterizzato da un indice GSI inferiore a 40, laddove il grado di separazione strutturale dell'ammasso evidenzi la necessità di prevedere interventi di presostegno in calotta, al fine di mantenere il profilo di scavo.

A tal proposito, verrà eseguito un intervento di presostegno in calotta mediante la posa in opera di 36 tubi metallici Ø 114/10mm, attrezzati mediante 2 vlv/m iniettate ad alta pressione, di lunghezza pari a 5,50 m e con sovrapposizione pari a 1,90 m. Il campo di avanzamento è quindi di 3,60 m.

Successivamente si provvederà alla posa in opera di drenaggi sub-orizzontali in avanzamento (3+3 tubi di lunghezza L=24,0 m, da prevedere solo in presenza d'acqua) e quindi all'esecuzione dello scavo a piena sezione mediante mezzi meccanici, con sfondi di profondità massima pari a 1,00 m, sagomando il fronte a forma concava e provvedendo ad un accurato disgaggio meccanico di tutti i blocchi potenzialmente instabili.

Dopo ogni sfondo verrà messo in opera uno strato di spritz-beton fibrorinforzato con spessore sp.=6,00 cm in corrispondenza della tratta appena scavata e disgaggiata, contestualmente verrà eseguito un tampone di spritz beton fibrorinforzato sul fronte di scavo, con spessore pari a 5,0 cm.

Ad una distanza di 0,5 m dal fronte si procederà quindi alla messa in opera delle centine 2IPN 180 disposte a passo 0,90 m, collegate alle altre mediante apposite catene.

Verrà quindi posato il secondo strato di spritz-beton fibrorinforzato al contorno con spessore sp.=19,0 cm, fino al raggiungimento di uno spessore totale di 25,0 cm.

Il getto delle murette e dell'arco rovescio verrà eseguito ad una distanza massima di 3,0 Ø dal fronte.

Si provvederà quindi alla realizzazione di un ultimo strato di spritz beton di regolarizzazione (senza utilizzo di fibre, spessore sp.=5,0 cm) a cui seguiranno la messa in opera dell'impermeabilizzazione e il getto immediatamente successivo del rivestimento definitivo di calotta ad una distanza massima dal fronte di 6Ø.

11.2.3.1 *Interventi previsti*

La sezione tipo B0V2 è costituita dai seguenti interventi:

- Presostegno al contorno con n°36 tubi metallici Ø114,0 mm, sp.=10,0mmvalvolati (2 vlv/m) e iniettati, L=5,50 m sovrapposizione 1,90 m;
- n° 3+3 drenaggi di lunghezza L = 24,00 m ogni campo di avanzamento (eventuali in presenza d'acqua);
- Centine metalliche 2IPN 180, passo 0,90 m;
- Spritz-beton fibrorinforzato al contorno sp. 25,0 cm (6,0 cm + 19,0 cm);
- Spritz-beton di regolarizzazione al contorno sp. 5,0 cm;
- Spritz-beton fibrorinforzato al fronte di scavo sp. 5,0 cm a fine sfondo;
- Murette e arco rovescio in C.A. di spessore 0,90 m, gettato ad una distanza dal fronte ≤ 3,0 Ø;

- Rivestimento def. in C.A. di spessore 0,70÷1,10 m, gettato ad una distanza dal fronte ≤ 6,0 Ø;
- Impermeabilizzazione con teli in PVC + TNT.

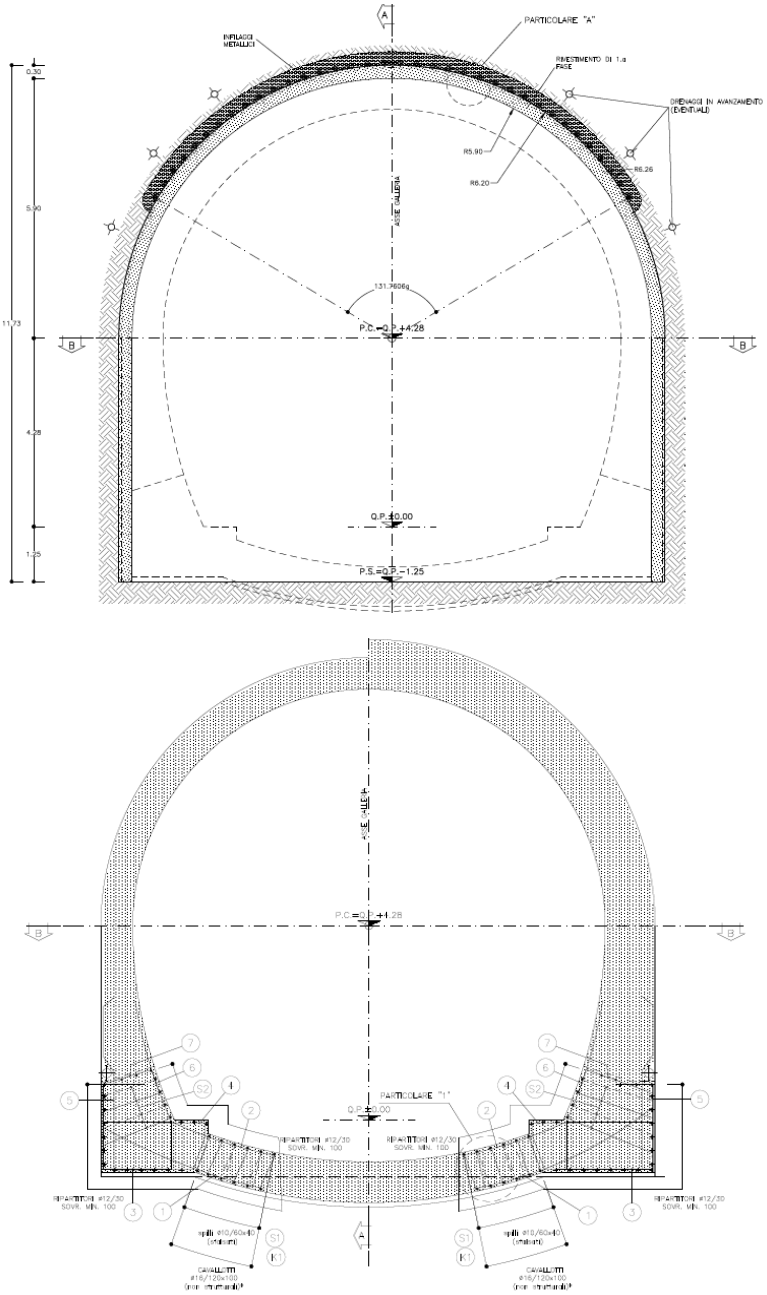


Figura 11-6 – Sezione di scavo e armatura sezione tipo B0V2

Durante l'esecuzione del rivestimento definitivo, al fine di velocizzare le attività lavorative, il getto dell'arco rovescio sarà eseguito in due fasi diverse per semi-conci longitudinali.

12 OPERE DI SBOCCO A MARE: RINFORZO STATICO DEGLI ARCONI DI C.SO ITALIA

12.1 NOTE GENERALI D'INQUADRAMENTO DELL'INTERVENTO

Il tratto terminale della galleria scolmatrice prevede la realizzazione di un segmento scavato con metodo tradizionale, di lunghezza prossima ai 50 m a partire dalla struttura ad archi che sostiene la passeggiata di Corso Italia.

L'intervento nel suo complesso si inserisce nel quadro delle opere in corso di realizzazione nell'ambito del progetto dello scolmatore del Rio Fereggiano; all'avvio dei lavori in oggetto, sarà infatti già ultimata l'opera di sbocco a mare costituita da un manufatto gettato in opera a sezione interna policentrica sul quale si innesta il manufatto scatolare realizzato in prosecuzione della galleria scolmatrice del Rio Fereggiano.

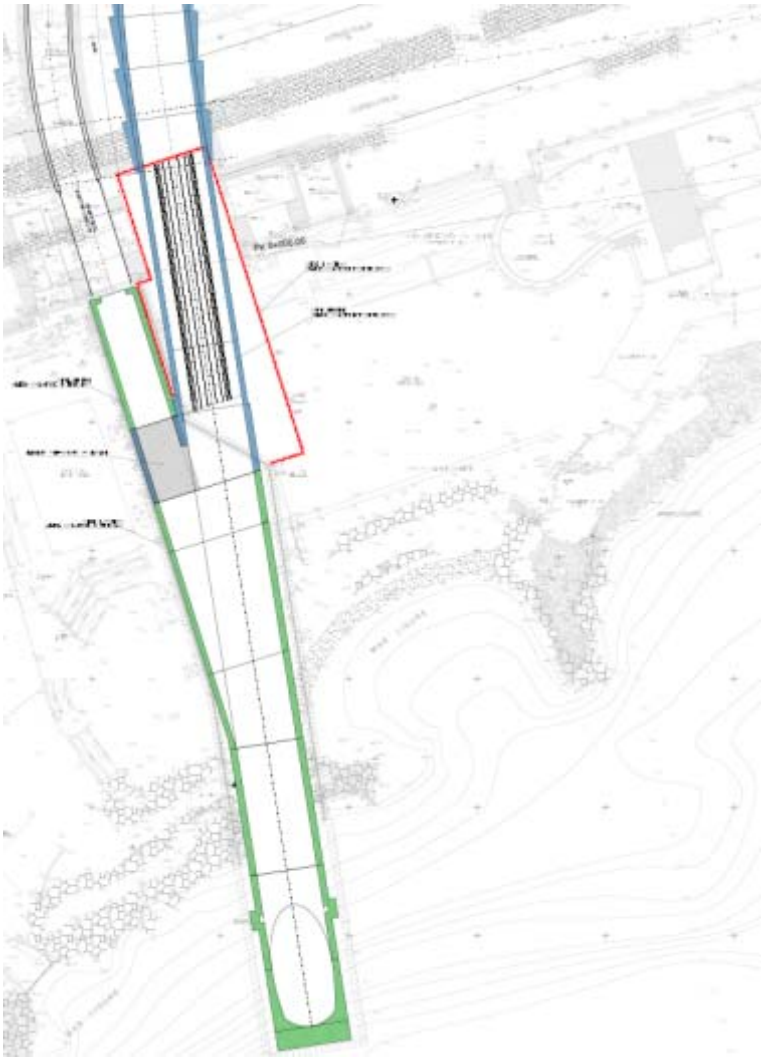
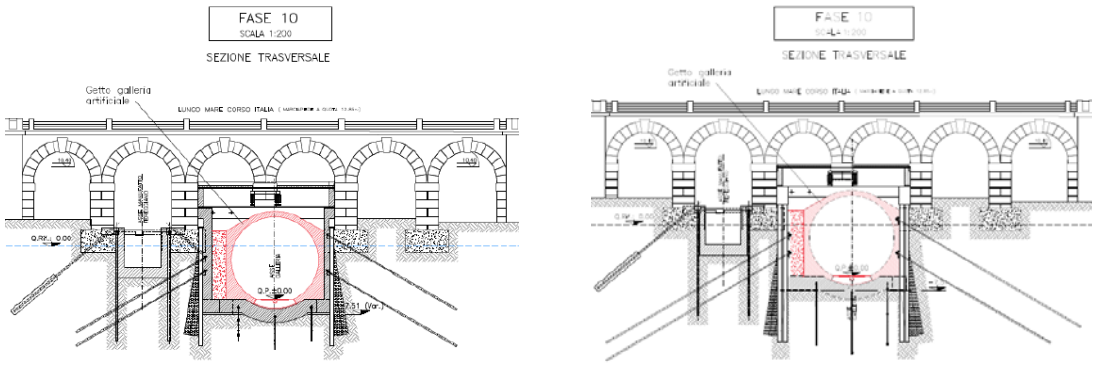


Figura 12-1 – Opera di sbocco a mare – inquadramento generale dell'intervento

In particolare, a differenza di quanto previsto nel PE, la realizzazione della struttura metallica per l'appoggio delle pile (travi principali, travi secondarie e travi accoppiate di sostegno delle pile) verrà eseguita prima dell'inizio delle operazioni di scavo, escludendo la realizzazione dei micropali attorno ai plinti di fondazione degli "arconi" di corso Italia previsti per l'intervento di sottofondazione.



a) b)

Figura 12-2– a) Soluzione prevista nel PE; b) Soluzione prevista nel Progetto di Variante

A sostenere la suddetta struttura metallica, in sostituzione ai setti in c.a., verranno previste due paratie costituite a loro volta da una doppia fila di micropali.

In sintesi, le fasi esecutive sono le seguenti:

1. Esecuzione delle opere di sostegno degli scavi (paratie di pali di medio diametro) e delle opere di consolidamento e impermeabilizzazione previste da progetto a tergo delle paratie.
2. Posa in opera della struttura metallica
3. Scavo per fasi sino alla quota di imposta della fondazione/culla. Le lavorazioni potranno richiedere l'impiego di dispositivi di emungimento delle acque eventualmente filtranti dal fondo scavo nonché il locale ricorso ad iniezioni di sigillatura dell'ammasso roccioso esposto, qualora l'entità delle venute idriche ne determinino la necessità. Durante le fasi di scavo verrà prevista la posa in opera di tiranti attivi.
4. Realizzazione della culla.
5. Completamento delle strutture definitive (galleria artificiale nei suoi differenti tratti), connesse alla culla già realizzata, ove presente.

12.2 STRUTTURA DI SCARICO DEGLI ARCONI DI C.SO ITALIA

Come detto, a sostenere la struttura di scarico metallica della pila centrale, provvederanno due paratie costituite a loro volta da una doppia fila di micropali.

Tali opere constano di una doppia fila di micropali (Φ300 mm) posti ad interasse trasversale e longitudinale rispettivamente di 0.60 m e 0.50 m, lunghezza di 16.00 m e sormontati in testa da un cordolo di collegamento in c.a. di dimensioni 1.30x2.00 m. L'armatura prevista è un tubolare metallico Φ_{ext} 219 mm e spessore 14.2 mm che, per motivi realizzativi, dovrà essere giuntato ogni 4 m.

Le paratie avranno una duplice funzione poiché fungeranno sia da sostegno dello scavo sino alla quota di imposta prevista in progetto e sia da fondazione delle due pilastrate centrali della struttura a tre archi di Corso Italia. Tale funzione, è resa necessaria dal momento che è prevista la demolizione della porzione basale delle medesime pilastrate in quanto direttamente interferenti con la futura galleria scolmatrice. Come già detto, il trasferimento dei carichi avverrà a mezzo di una struttura a travi metalliche, poggiate appunto sulle due nuove paratie di micropali, a ridosso delle pilastrate adiacenti. Per maggiori dettagli si rimanda all'elaborato di riferimento.

Inoltre, per garantire un opportuno vincolo agli spostamenti in direzione orizzontale, saranno previsti un sistema di tiranti attivi a trefoli di armatura, disposti su due file, della lunghezza variabile fra i 18 e 22 m, di cui 8-10 m di tratto libero e 10-12 metri di fondazione. Per tale sistema si considera una inclinazione di 30° rispetto all'orizzontale ed una collocazione con interasse di 1.50 m.

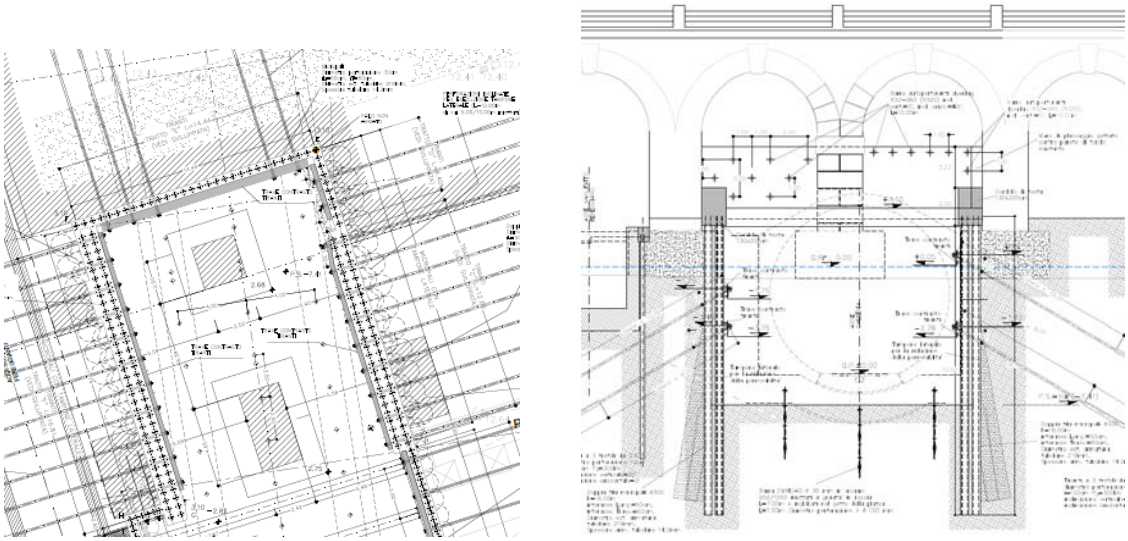


Figura 12-3– Struttura di supporto dei piedritti del viadotto

Infine, in sostituzione al Jet Grouting a tergo delle paratie, sarà prevista l'applicazione di colonne di iniezioni cementizie Φ 80 mm, con maglia 1.30mx0.70m e lunghezza 15.00 m.

12.3 STRUTTURE DI SOSTEGNO PROVVISIONALI AL DI FUORI DEGLI ARCONI DI C.SO ITALIA

Le opere di sostegno degli scavi poste al di fuori degli Arconi di Corso Italia, necessarie alla realizzazione delle strutture di connessione della galleria del Bisagno all'opera di sbocco a mare comune al canale scolmatore del Fereggiano, constano di paratie di micropali Φ350, armati con profili HEB200.

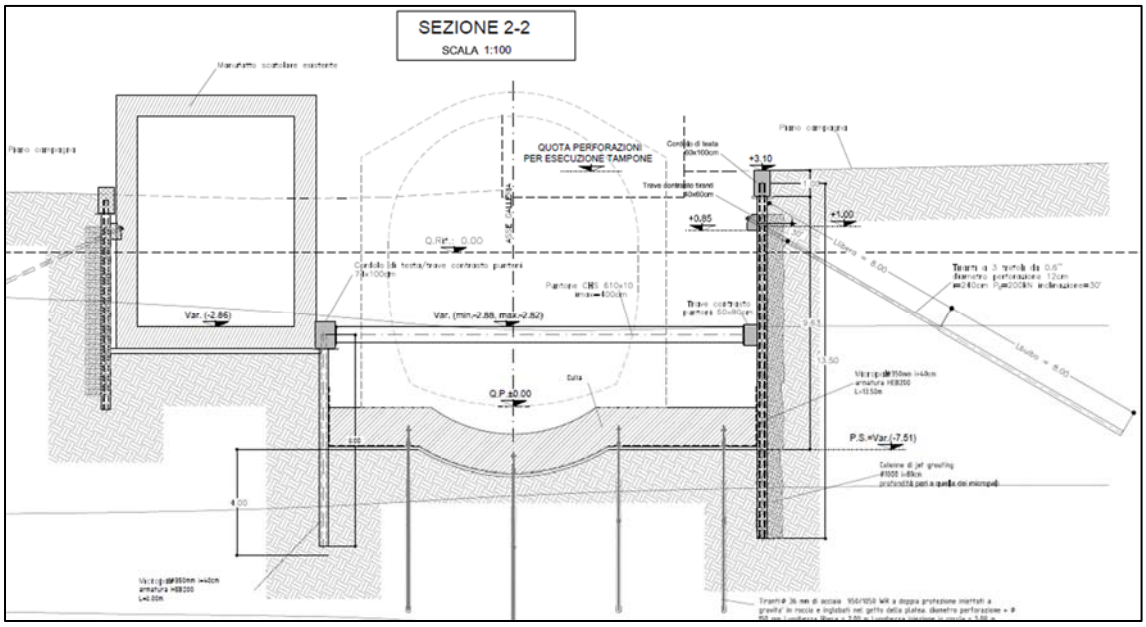


Figura 12-4– Sezione tipo al di fuori degli arconi di Corso Italia

A causa del ridotto spazio e, quindi, della difficoltà di posa in opera dei suddetti profilati metallici, in sede di Variante si propone la realizzazione di paratie (Φ300 mm) costituite da micropali, posti ad interasse di 0.35 m, e con armatura tubolare Φ_{ext} 193.7 mm e spessore 16 mm.

Restano invariati, rispetto al PE, le lunghezze dei micropali e gli elementi strutturali di contrasto (puntoni e tiranti).

Infine, in sostituzione del Jet Grouting a tergo delle paratie, sarà prevista l'applicazione di colonne di iniezioni cementizie Φ 80 mm, interasse 1.00m e lunghezza 13.50 m.

13 GESTIONE T&R DA SCAVO (PUT)

I volumi di materiali da scavo prodotti nell'ambito del cantiere ammontano complessivamente a circa 826.790 m³ valutati in banco, suddivisi in differenti ambiti del cantiere:

- Ambito alveo Bisagno: 76.776 m³;
- Ambito ex-canile: 734.895 m³, suddivisi nell'area del cantiere (22.291 m³) e della galleria (712.604 m³); di questi ultimi circa 546.661 m³ relativi all'esecuzione di attività di scavo meccanizzato e i restanti 165.943 m³ relativi a scavi in sotterraneo condotti con metodi tradizionali;
- Via Merello: 914 m³;
- Ambito sbocco a mare (C.so Italia): 14.205 m³.

Il materiale proveniente dallo scavo meccanizzato della galleria idraulica, sarà destinato per la maggior parte al reimpiego all'esterno dell'area di cantiere per il ripascimento degli arenili (381.906 mc) e, in misura minore, verrà destinato alla produzione di materia prima seconda (pea-gravel) per l'intasamento del vuoto anulare pareti scavo/estradosso rivestimento prefabbricato galleria idraulica (29.700mc), e per la produzione di inerti per usi diversi come l'eventuale confezionamento di calcestruzzo strutturale e non, da non utilizzarsi in cantiere (57.760mc), oppure a recupero in regime di sottoprodotto, qualora abbia caratteristiche non compatibili con gli usi previsti.

A questo riguardo, nell'ambito del progetto di variante, si sottolinea come la Stazione Appaltante, in analogia a quanto già previsto dal Progetto Esecutivo, non debba sostenere alcun costo addizionale per lo smaltimento del volume dei circa 87.000 mc di roccia che non sarà più reimpiegato per la produzione di inerti per calcestruzzo da utilizzarsi in cantiere.

Il materiale previsto da recuperare in regime di sottoprodotto tramite riutilizzo in cantiere sotto forma di pea-gravel, o come inerte per i ripascimenti o per usi diversi come l'eventuale produzione di calcestruzzo, da non utilizzarsi in cantiere, sarà assoggettato ai controlli di legge che il produttore deve mettere in atto per dimostrare che i requisiti ambientali di cui all'art.4 del DPR 120/2017, siano soddisfatti, ovvero che non siano superate le concentrazioni soglia di contaminazione per la specifica destinazione d'uso (colonne A e B tab.1, A Il.5 Titolo V, della Parte IV D.Lgs 152/06) e che non costituiscano fonte diretta o indiretta di contaminazione per le acque sotterranee, oltre ad altri requisiti specifici previsti dal CSA o dettati da pareri dell'ARPAL e secondo le "Linea guida sull'applicazione della disciplina per l'utilizzo delle terre e rocce da scavo" approvate dal Consiglio Federale SNPA.

Per tutti i materiali di scavo in esubero, gestiti in regime di rifiuto, quindi ad esclusione di quelli gestiti mediante il PUT, sarà cura del produttore sottoporre a caratterizzazione gli stessi, applicando la normativa di riferimento sui rifiuti per cui risulta necessario:

- fare riferimento alla norma UNI 10802 per il campionamento, la formazione dei campioni e le determinazioni analitiche; in particolare, il campionamento andrà effettuato sul rifiuto tal quale, come detto, senza esclusione della frazione granulometrica superiore a 2 cm;
- confrontare, ai fini dell'utilizzo dei rifiuti in attività di recupero e ripristino ambientale ai sensi del D.M. 5 febbraio 1998, le concentrazioni di contaminanti con i valori limite previsti per la specifica destinazione d'uso (colonne "A" e "B" della Tabella 1, dell'Allegato 5, al Titolo V°, Parte IV^, del D.Lgs 152/2006);

- sottoporre il rifiuto al test di cessione di cui all'Allegato 3, del DM 5 febbraio 1998 (tipologia 7.31-bis, attività di recupero 7.31bis.3, lettere b e c).

Siffatto approccio metodologico, peraltro, sembra essere giustificato anche da quanto espressamente indicato dal D.M. 3 agosto 2005, concernente i criteri di ammissibilità in discarica, in base al quale il campionamento dei rifiuti deve essere effettuato secondo i criteri, le procedure, i metodi e gli standard di cui alla norma UNI 10802 (allegato 3 al DM 3 agosto 2005).

La seguente tabella sintetizza il quadro della disponibilità di materiale da scavo derivante dallo sviluppo delle diverse fasi progettuali e la sua destinazione. Le differenti tipologie di destinazione comportano inoltre differenti modalità di trasporto sia in regime di rifiuto che in regime di sottoprodotto.

ID Attività (cronoprogramma lavori)	12	25	31	34	37	50 e 51		54	56	60	65	69	72	83	83	
Attività	Realizzazione dei piazzali delle aree di accantieramento	Scavo per realizzazione nuovi muri spondali e settore briglia selettiva in DX	Scavo per realizzazione nuovi muri spondali e settore briglia selettiva in SX	Scavo per completamento sbarramento (concio centrale)	Opera di sfioro - tappo di fondo e scavo	Sistemazione alveo briglia di monte	Via Merello	Paratia imbocco e dima	Scavo galleria servizio in tradizionale (410 m)	Camerone montaggio TBM (da 81.80 ml)	Galleria scolmatrice in tradizionale (646 m)	Scavo camera di lancio in tradizionale (12,5 m)	Scavo galleria in meccanizzato	Scavo in tradizionale sotto Corso Italia	Opere di sbocco a mare	TOTALE
Durata totale fase	50	15	15	10	100	120		70	140	100	230	40	300	30	30	
Durata operazioni di scavo	40	15	15	10	40	60		10	140	70	200	40	300	20	20	
Demolizione Jet		487	487	2.217	61											3.253
Rimozione spritz al fronte								30	264		484			208		986
Scavo ordinario	22.291	3.385	3.385	11.656	21.067	34.030	914	5.660	47.882	26.321	83.838	1.465	546.661	7.545	6.452	822.551
Volume totale scavato (in banco)	**22.291**	**3.873**	**3.873**	**13.873**	**21.128**	**34.030**	**914**	**5.689**	**48.147**	**26.321**	**84.322**	**1.465**	**546.661**	**7.753**	**6.452**	**826.790**
Cantiere origine	Ex Canile	Alveo Bisa	Alveo Bisa	Alveo Bisa	Alveo Bisa	Alveo Bisa		Ex Canile	Ex Canile	Ex Canile	Ex Canile	Ex Canile	Ex Canile	Corso Italia	Corso Italia	
Recupero presso impianti																
% recupero	30%	88,0%	88,0%	88,0%	96,0%	100%	80%	16%	93%	93%	93%	93%	10,0%	100%	85%	298.698
Volume recupero	6.687	3.408	3.408	12.209	20.283	34.030	731	910	44.776	24.478	78.420	1.362	54.759	7.753	5.484	
Trasporto a discarica rifiuti																
% discarica rifiuti	7%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1.604
Volume discarica rifiuti	1.604	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	
Trasporto a discarica inerti																
% discarica inerti	63%	12,0%	12,0%	12,0%	4,0%	0%	20%	84%	7%	7%	7%	7%	4%	0%	15%	57.122
Volume discarica inerti	14.000	465	465	1.665	845	0	183	4.779	3.370	1.842	5.903	103	22.536	0	968	
Produzione di materia prima seconda per la produzione di calcestruzzo da non utilizzarsi in cantiere																57.760
% ex recupero inerti x cls	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	10,6%	0%	0%	
Volume per x recupero inerti x cls	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	57.760	0	0	
Produzione di materia prima seconda (pea-gravel) per l'intasamento del vuoto anulare pareti scavo/estradosso rivestimento prefabbricato galleria idraulica																29.700
% recupero inerti	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	5,4%	0%	0%	
Volume x recupero inerti (pea-gravel)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29.700	0	0	
Ripascimenti																
% ripascimenti	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	69,9%	0%	0%	381.906
Volume x ripascimenti	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	381.906	0	0	
	22.291	3.873	3.873	13.873	21.128	34.030	914	5.689	48.147	26.321	84.322	1.465	546.661	7.753	6.452	826.790

Table 1 - Quadro della disponibilità complessiva di materiale da scavo con indicazione della tipologia di destinazione/recupero.

Lungo il limite meridionale del settore dell'area di cantiere ex-canile è prevista la predisposizione di un'area destinata al deposito temporaneo del materiale di smarino, in corrispondenza della quale potranno essere collocati fino a circa 3.000 m³ di materiale. Il deposito temporaneo verrà dotato di irrigatori a pioggia per evitare il sollevamento di polveri in caso di giornate ventose.



Figura 13-1 – Settore A del cantiere ex-canile

L'abbancamento dello smarino proveniente dallo scavo con TBM, finalizzato al riutilizzo come sottoprodotto per i ripascimenti, avverrà nell'area di deposito temporaneo esterna al cantiere dell'ex-cava Frantoi S.r.l. di via Adamoli, con cui il RTI ha stipulato specifico accordo.

Successivamente, a valle dell'avvenuto trattamento con normale pratica industriale di riduzione di pezzatura e pulizia/lavaggio delle parti fini, il trasporto dello stesso materiale destinato al ripascimento avverrà attraverso la galleria scolmatrice mediante nastro trasportatore. L'utilizzo dell'area di deposito temporaneo esterna al cantiere, consentirà di ridurre drasticamente le criticità connesse al trasporto del materiale verso le spiagge da ripascere, da eseguirsi su gomma con uso di autocarri, in quanto l'inerte destinato al ripascimento sarà trasportato allo sbocco a mare attraverso il nastro trasportatore installato all'interno della galleria scolmatrice, una volta ultimato lo scavo di quest'ultima senza produrre alcuna interferenza con la viabilità ordinaria.

Il sito di deposito temporaneo, ubicato nell'area dell'ex-cava Frantoi S.r.l. esterna al cantiere, ospiterà circa 381.906 m³ di roccia da scavo, e l'area sarà progressivamente riempita seguendo l'adnamento dei lavori di scavo.

Di seguito si riporta la localizzazione planimetrica delle superfici di pertinenza all'area dell'ex-cava Frantoi S.r.l., con le relative sezioni, su cui verrà localizzato il deposito temporaneo. Da queste è possibile evincere

la superficie utile ed il volume effettivo di stoccaggio delle aree rientranti all'interno del compendio della ex cava di Via Adamoli.

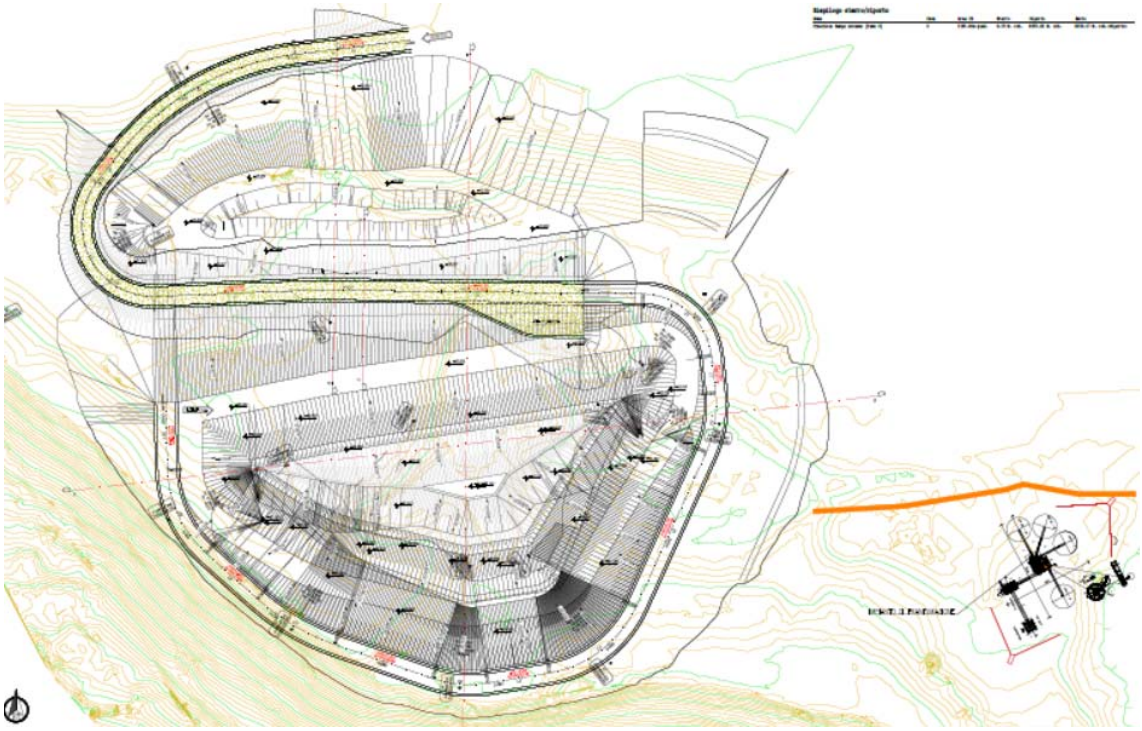


Figura 13-2- Area di deposito temporaneo sita nella Ex Cava Frantoi Srl di Via Adamoli e limitrofo impianto di frantumazione – Planimetria

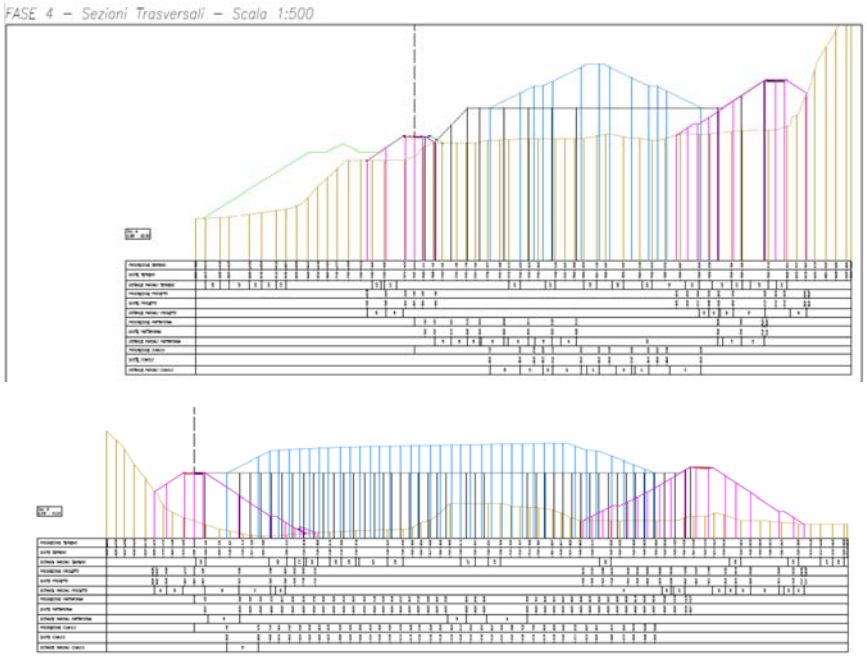


Figura 13-3 Area di deposito temporaneo sita nella Ex Cava Frantoi Srl di Via Adamoli – Sezioni

Il materiale proveniente dallo scavo meccanizzato della galleria e destinato al ripascimento e alla produzione di pea-gravel, è gestito in qualità di sottoprodotto, in esclusione dal regime dei rifiuti.

Le aree adibite al deposito temporaneo saranno appositamente recintate e segnalate al fine di creare una netta segregazione con le aree limitrofe.

Nell'area in cui è sito l'impianto è previsto il montaggio di barriere antirumore mobili sul perimetro esterno dell'area stessa; queste saranno calcolate per le loro dimensioni con apposito studio fonometrico in funzione dei ricettori sensibili esistenti nella zona.

L'abbattimento delle emissioni di polveri derivanti dall'abbancamento in cumuli del materiale nel sito di deposito temporaneo, dalla movimentazione dei mezzi e del materiale da frantumare o frantumato, avverrà mediante l'uso di cannoni nebulizzatori per l'abbattimento delle polveri conseguente anche alla movimentazione di tale materiale.

Per il lavaggio e la frantumazione del materiale destinato al ripascimento delle spiagge, così come previsto dal CSA e dagli elaborati di progetto, si ipotizza di utilizzare opportuno impianto di frantumazione mobile ubicato nell'area dell'ex-cava Frantoi S.r.l.

L'impianto di frantumazione dovrà possedere caratteristiche operative tali da poter configurare il trattamento del materiale come normale pratica industriale, così come previsto dall'art. 2 comma 1 lettera "o" del DPR 120/2017, "*la sostanza o l'oggetto può essere utilizzato direttamente senza alcun ulteriore trattamento diverso dalla normale pratica industriale*", come peraltro stabilito dall'art. 184-bis, comma c) del D.Lgs 152/2006.

L'alimentazione dell'impianto avviene per mezzo di una tramoggia che consente, tramite griglia in sommità, di scartare a terra eventuali massi di dimensioni maggiori di 100 mm. Il materiale passante (0-100 mm) viene scaricato tramite alimentatore a vibrazione vincolata sul nastro che lo veicola al mulino verticale mod. BV2400 che ha il compito di ridurlo alle dimensioni di circa 0-50 mm. Il materiale prodotto, grazie al mulino verticale, avrà un'ottima cubicità.

In seguito il materiale, sempre grazie al nastro trasportatore, verrà avviato al gruppo di vagliatura GV18,60/3,5 dotato di lavaggio. In questo modo l'inerte verrà lavato e selezionato grazie ai 4 piani vaglianti nelle 4 granulometrie richieste (0-2 mm, 2-8 mm, 8-16 mm e 16-100 mm).

L'acqua di lavaggio del vaglio contenente la sabbia 0-2 verrà convogliata al gruppo recupero fini GRF2/50 che avrà il compito di recuperare la maggior parte del materiale sabbioso contenuto nell'acqua. L'acqua torbida proveniente dal gruppo recupero fini verrà chiarificata e riciclata tramite vasca di decantazione (diametro 10 m). Grazie al processo di decantazione, l'acqua chiara viene riciclata e inviata di nuovo al vaglio. Il fango addensato viene pompato all'impianto di disidratazione allo scopo di limitare il costo di smaltimento. Tutte le macchine componenti l'impianto andranno posizionate col loro basamento e poggeranno su slitte apposite per consentirne il rapido riposizionamento/smantellamento quando necessario.

L'impianto lavora con processo "umido" in quanto provvisto di nebulizzatori sia sul macchinario che sui nastri. Le modalità di accesso al deposito temporaneo sono evidenziate nella tavola BIS2V - C - CAN07 - PL01 - 1. Tale accesso è indipendente e separato da quello della cava limitrofa, per cui si possono escludere interferenze con le attività ordinarie di quest'ultima.

14 CRONOPROGRAMMA LAVORI

I programma dei lavori di variante, come già quello relativo al progetto esecutivo, mostra l'esistenza di due percorsi principali concorrenti alla definizione della durata totale dei lavori, i quali si sviluppano simultaneamente occupando aree di cantiere distinte.

Il percorso principale, contenente il percorso critico per il progetto, è quello che, attraverso il completamento della paratia di pali dell'area dell'ex-canile, conduce all'uscita della TBM dall'opera di sbocco a mare, passando per lo scavo della finestra di servizio e della caverna di montaggio della TBM stessa.

Il secondo è quello che porta al collaudo delle paratoie a settore che saranno installate sull'opera di sbarramento in alveo, e allo sfondamento del diaframma separante la galleria idraulica dall'interno della relativa opera di presa.
Al momento, tale percorso non risulta critico per il progetto; le attività di montaggio e collaudo delle paratoie, così come quelle relative alla messa in funzione delle pompe e dei circuiti idraulici di controllo, presentano ancora un float quantificabile per la commessa, sebbene tale condizione sia comunque legata alla risoluzione di alcune criticità quali, per esempio, la definizione dei parametri operativi relativi alla buona esecuzione degli interventi di miglioramento delle caratteristiche dei terreni in alveo tramite la tecnica del jet-grouting, per la formazione dei tamponi di fondo delle strutture.
Ulteriori fattori di incertezza da questo punto di vista possono riguardare la reale disponibilità delle aree di cantiere, in base all'andamento del livello del torrente Bisagno durante le stagioni autunnali e primaverili, nonché la verifica dell'effettiva durata delle attività di montaggio del gargame e delle strutture metalliche, che potrà essere svolta di concerto con l'officina specializzata che eseguirà le lavorazioni.

A causa dei fattori di incertezza summenzionati, i quali concernono in particolare l'esecuzione di alcune delle lavorazioni in alveo, si è prudenzialmente ritenuto di far assorbire dall'attività di installazione e collaudo delle paratoie a settore tutto il float a disposizione lungo questo percorso di attività logicamente concatenate. Il risultato, pertanto, vede i due percorsi terminare alla stessa data, il 24 maggio 2024 (data prevista per l'ultimazione di tutte le attività di costruzione e ripascimento delle spiagge).

La variante tecnica migliorativa conduce pertanto alla generazione di un float positivo rispetto alla data di ultimazione dei lavori (24 luglio 2024) quantificabile in 61 giorni naturali e consecutivi.

Nota:

L'interfaccia esistente tra i lavori in alveo e la regimazione del rio Sciorba risulta interamente coperta dall'esecuzione dei lavori concernenti l'opera di presa e non può essere considerata sul percorso critico dei lavori diversamente da quanto indicato sul cronoprogramma allegato al Progetto Esecutivo.

15 NUOVI PREZZI

Nell'ambito della Proposta di Variante Migliorativa concernente l'ottimizzazione della tecnologia di scavo meccanizzato della galleria scolmatrice del Secondo Lotto dei lavori relativi alla realizzazione della galleria scolmatrice del Torrente Bisagno in Comune di Genova, sono stati redatti una serie di nuovi prezzi derivanti dalle nuove lavorazioni previste.

L'analisi dei Nuovi Prezzi è stata determinata, a seconda delle specifiche lavorazioni, basandosi su:

- Prezzario Opere Edili ed Impiantistiche - Regione Liguria – Anno 2019
- Prezziario ANAS 2019 – Nuove Costruzioni
- Stima Costi Opere Civili del Collegamento Torino – Lione – Analisi Nuovi Prezzi – Opere in Sotterraneo – Lato Italia

Per tutte le analisi sono state mantenute le Spese generali e gli Utili d'Impresa rispettivamente al 15% ed al10% (con riferimento al prezzario Regione Liguria).

Per maggiori dettagli si rinvia all'elaborato BIS2V-C-EAM01-RE03-1: Analisi Nuovi Prezzi.

16 QUADRO ECONOMICO DI RAFFRONTO

Il quadro di raffronto economico della variante in oggetto è stato redatto rispetto alla Perizia n. 1 (riduzione lunghezza paratia area ex-canile e modifica della tipologia di consolidamento della finestra di imbocco). La riduzione dei lavori stimata nella Perizia n.1 è stata compensata con l'inserimento delle somme per lavori in economia.

RIBASSO	IMPORTI LORDI								
10.37176%	A) Variante Tecnica Migliorativa 2			B) Variante Tecnica Migliorativa 1			(B-A) DELTA		
89.62824%	Misura	Corpo	Totale	Misura	Corpo	Totale	Misura	Corpo	Totale
Opere in Alveo	7 647 479.45	7 705 210.10	15 352 689.55	7 647 479.45	7 705 210.10	15 352 689.55	0.00	0.00	0.00
Finestra di Servizio	861 265.68	9 407 680.35	10 268 946.03	3 553 042.63	6 560 165.09	10 113 207.72	-2 691 776.95	2 847 515.26	155 738.31
G.N. Scolmatore tratta a monte in tradizionale	0.00	14 317 671.71	14 317 671.71	4 279 653.87	9 198 252.96	13 477 906.83	-4 279 653.87	5 119 418.75	839 764.88
G.N. Scolmatore tratta a mare in tradizionale	0.00	2 923 068.81	2 923 068.81	1 328 154.31	1 156 564.81	2 484 719.12	-1 328 154.31	1 766 504.00	438 349.69
Camerone di montaggio TBM	0.00	5 647 122.99	5 647 122.99	1 251 117.92	4 759 396.14	6 010 514.06	-1 251 117.92	887 726.85	-363 391.07
G.N. scolmatore Camera di Lancio	0.00	298 598.35	298 598.35	551 310.07	1 841 493.18	2 392 803.25	-551 310.07	-1 542 894.83	-2 094 204.90
G.N. scolmatore tratta in meccanizzato	0.00	95 514 776.17	95 514 776.17	22 396 355.07	72 574 367.29	94 970 722.36	-22 396 355.07	22 940 408.88	544 053.81
Opere di Presa Rio Sciorba	280 351.92	178 484.62	458 836.54	280 351.92	178 484.62	458 836.54	0.00	0.00	0.00
Opere di sbocco a mare	2 048 611.63	992 279.80	3 040 891.43	2 048 779.84	1 087 615.90	3 136 395.74	-168.21	-95 336.10	-95 504.31
Impianti elettromeccanici	0.00	2 564 000.00	2 564 000.00	0.00	2 564 000.00	2 564 000.00	0.00	0.00	0.00
Inserimento paesaggistico ambientale	0.00	204 474.00	204 474.00	0.00	204 474.00	204 474.00	0.00	0.00	0.00
Ripascimento spiagge	4 576 666.71	0.00	4 576 666.71	4 608 034.51	0.00	4 608 034.51	-31 367.80	0.00	-31 367.80
Demolizioni	233 180.49	120 051.61	353 232.10	137 671.50	120 051.61	257 723.11	95 508.99	0.00	95 508.99
Bilancio terre	8 415 125.00	0.00	8 415 125.00	8 415 125.00	0.00	8 415 125.00	0.00	0.00	0.00
Via Merello	0.00	209 111.88	209 111.88	0.00	209 111.88	209 111.88	0.00	0.00	0.00
Monitoraggi	0.00	1 226 519.19	1 226 519.19	0.00	1 226 519.19	1 226 519.19	0.00	0.00	0.00
Interferenze	197 499.64	0.00	197 499.64	197 499.64	0.00	197 499.64	0.00	0.00	0.00
Economie	619 353.21		619 353.21	619 353.21		619 353.21	0.00	0.00	0.00
	24 879 533.73	141 309 049.58	166 188 583.31	57 313 928.94	109 385 706.77	166 699 635.71	-32 434 395.21	31 923 342.81	-511 052.40
Oneri della Sicurezza	6.90911510965933%		11 482 160.52	6.88793378047629%		11 482 160.52			
TOTALE			177 670 743.83			178 181 796.23			
		Risparmi	511 052.40						
		Sommano	178 181 796.23						