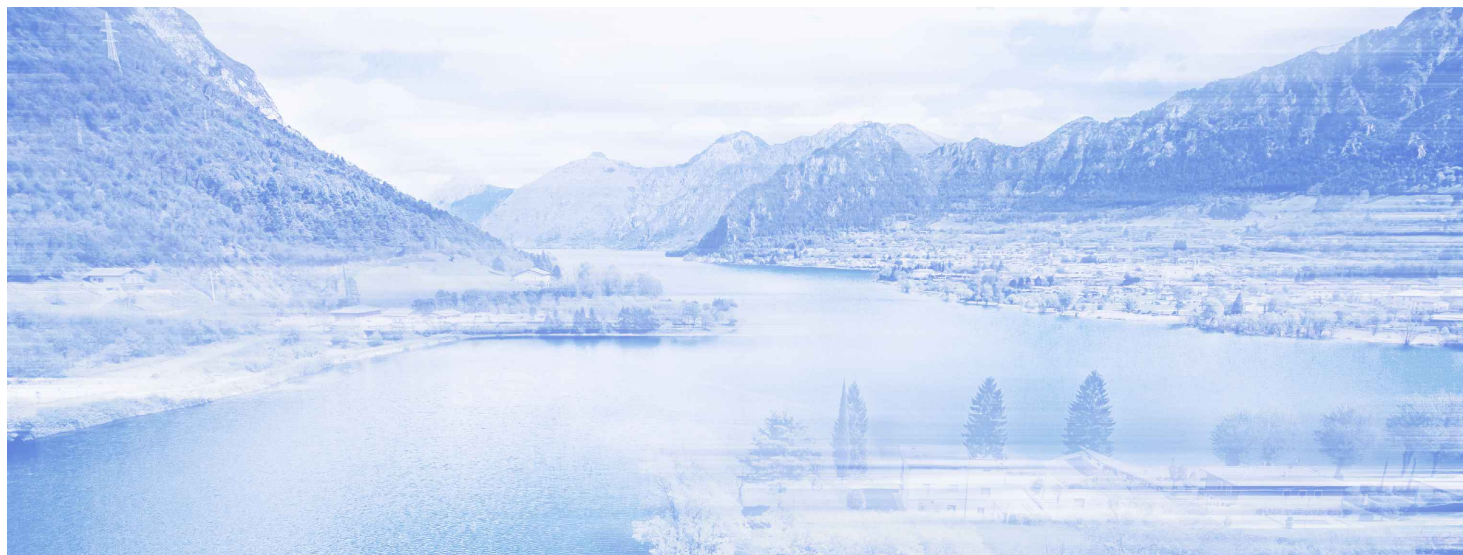


# NUOVE OPERE DI REGOLAZIONE PER LA MESSA IN SICUREZZA DEL LAGO D'IDRO



RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO DI PROGETTISTI




## PROGETTO ESECUTIVO

### GALLERIA

### GENERALE

### Relazione Tecnica Generale

Fase PE	Ambito GAL	Opera 000	Argomento GE	Progressivo 001	Tipo elaborato RT	Revisione A
Redatto G. Gianni		Controllato M. Ghidoli		Approvato P. Galvanin		Scala - Data 18/10/22

 Agenzia Interregionale per il fiume Po	IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO  Ing. M. Vergnani	
	RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE ALPINA S.p.A.  Ing. Paola Erba	PROGETTAZIONE STRUTTURALE ALPINA S.p.A.  Ing. Paolo Galvanin

REV.	DATA	OGGETTO REVISIONE	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO
A	18/10/2022	Prima emissione	GGI	MGI	PGA
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-



## SOMMARIO

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE</b> .....	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>DOCUMENTI DI RIFERIMENTO</b> .....	<b>7</b>
2.1	Elaborati del progetto preliminare .....	7
2.2	Elaborati del progetto definitivo .....	7
2.3	Elaborati del progetto esecutivo (2018) .....	7
2.4	Elaborati del progetto esecutivo (2022) .....	7
<b>3</b>	<b>DESCRIZIONE DELLA GALLERIA IDRAULICA</b> .....	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOLOGICO-IDROGEOLOGICO</b> .....	<b>9</b>
4.1	Imbocco Sud lato Lavenone .....	10
4.2	Imbocco Nord lato Lago d'Idro .....	11
4.3	Porzione centrale della galleria.....	12
4.4	Caratterizzazione idrogeologica lungo il profilo della galleria .....	14
<b>5</b>	<b>SINTESI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E GEOMECCANICA DEGLI AMMASSI ROCCIOSI</b> .....	<b>16</b>
5.1	<b>Caratterizzazione geotecnica</b> .....	<b>16</b>
5.1.1	Lato Idro: Imbocco (a valle della SS237) .....	16
5.1.2	Lato Idro: Imbocco (a monte della SS237) .....	17
5.1.3	Lato Lavenone: Sbocco .....	18
5.2	<b>Caratterizzazione geomeccanica</b> .....	<b>19</b>
<b>6</b>	<b>SCELTE PROGETTUALI</b> .....	<b>21</b>
6.1	<b>Sezioni tipo di scavo</b> .....	<b>21</b>
6.2	<b>Camerone Convergente</b> .....	<b>23</b>
6.2.1	Campo di applicazione.....	23
6.2.2	Interventi previsti (campo iniziale).....	23
6.2.3	Fasi esecutive (campo iniziale) .....	25
6.2.4	Interventi previsti (campo finale) .....	26
6.2.5	Fasi esecutive (campo finale).....	30
6.3	<b>Sezione Tipo C1P</b> .....	<b>31</b>
6.3.1	Campo di applicazione.....	31
6.3.2	Interventi previsti.....	31
6.3.3	Fasi esecutive .....	34
6.4	<b>Sezione Tipo C1</b> .....	<b>35</b>
6.4.1	Campo di applicazione.....	35

6.4.2	Interventi previsti.....	35
6.4.3	Fasi esecutive .....	38
<b>6.5</b>	<b>Sezione Tipo B2 .....</b>	<b>39</b>
6.5.1	Campo di applicazione.....	39
6.5.2	Interventi previsti.....	39
6.5.3	Fasi esecutive .....	42
<b>6.6</b>	<b>Sezione Tipo B2 “Allargata” .....</b>	<b>43</b>
6.6.1	Campo di applicazione.....	43
6.6.2	Interventi previsti.....	43
6.6.3	Fasi esecutive .....	46
<b>6.7</b>	<b>Sezione Tipo B2V.....</b>	<b>47</b>
6.7.1	Campo di applicazione.....	47
6.7.2	Interventi previsti.....	47
6.7.3	Fasi esecutive .....	50
<b>6.8</b>	<b>Sezione Tipo B2V* .....</b>	<b>51</b>
6.8.1	Campo di applicazione.....	51
6.8.2	Interventi previsti.....	51
6.8.3	Fasi esecutive .....	54
<b>6.9</b>	<b>Sezione Tipo C2 .....</b>	<b>55</b>
6.9.1	Campo di applicazione.....	55
6.9.2	Interventi previsti.....	55
6.9.3	Fasi esecutive .....	58
<b>6.10</b>	<b>Sezione Tipo B2P.....</b>	<b>59</b>
6.10.1	Campo di applicazione.....	59
6.10.2	Interventi previsti.....	59
6.10.3	Fasi esecutive .....	62
<b>6.11</b>	<b>Sezione Tipo B2VP .....</b>	<b>63</b>
6.11.1	Campo di applicazione.....	63
6.11.2	Interventi previsti.....	63
6.11.3	Fasi esecutive .....	66
<b>6.12</b>	<b>Sezione Tipo Ab .....</b>	<b>67</b>
6.12.1	Campo di applicazione.....	67
6.12.2	Interventi previsti.....	67
6.12.3	Fasi esecutive .....	70
<b>6.13</b>	<b>Sezione Tipo Ab “Allargata” .....</b>	<b>71</b>

6.13.1	Campo di applicazione.....	71
6.13.2	Interventi previsti.....	71
6.13.3	Fasi esecutive .....	76
<b>6.14</b>	<b>Sezione Tipo Ac .....</b>	<b>77</b>
6.14.1	Campo di applicazione.....	77
6.14.2	Interventi previsti.....	77
6.14.3	Fasi esecutive .....	80
<b>6.15</b>	<b>Sezione Tipo B0.....</b>	<b>81</b>
6.15.1	Campo di applicazione.....	81
6.15.2	Interventi previsti.....	81
6.15.3	Fasi esecutive .....	84
<b>6.16</b>	<b>Sezione Tipo C2V.....</b>	<b>85</b>
6.16.1	Campo di applicazione.....	85
6.16.2	Interventi previsti.....	85
6.16.3	Fasi esecutive .....	88
<b>6.17</b>	<b>Sezione di Attacco.....</b>	<b>89</b>
6.17.1	Campo di applicazione.....	89
6.17.2	Interventi previsti.....	89
6.17.3	Fasi esecutive .....	92
<b>6.18</b>	<b>Durabilità calcestruzzo dei rivestimenti.....</b>	<b>93</b>
<b>6.19</b>	<b>Prescrizioni di fermo fronte.....</b>	<b>93</b>
<b>6.20</b>	<b>Sistema di impermeabilizzazione.....</b>	<b>94</b>
6.20.1	Sistema di impermeabilizzazione e drenaggio Tipo 1 .....	94
6.20.2	Sistema di impermeabilizzazione e drenaggio Tipo 2 .....	96
6.20.3	Sistema di impermeabilizzazione e drenaggio Tipo 3 .....	98
<b>7</b>	<b>SCAVO ALL'INTERNO DEL DETRITO LATO IDRO: DIMENSIONAMENTO DELL'INTERVENTO DI COMPARTIMENTAZIONE.....</b>	<b>99</b>
<b>7.1</b>	<b>Descrizione degli interventi.....</b>	<b>99</b>
<b>7.2</b>	<b>Specifiche tecniche e procedure operative di iniezione.....</b>	<b>99</b>
7.2.1	Modalità di esecuzione.....	101
<b>7.3</b>	<b>Controlli in corso d'opera.....</b>	<b>103</b>
<b>8</b>	<b>LINEE GUIDA PER L'APPLICAZIONE DELLE SEZIONI TIPO .....</b>	<b>104</b>



## 1 INTRODUZIONE

Il presente documento costituisce parte integrante della documentazione di Progettazione Esecutiva delle “Nuove opere di regolazione per la messa in sicurezza del Lago d’Idro” ed in particolare ha in oggetto la descrizione delle problematiche e delle soluzioni progettuali individuate per la progettazione della fase di scavo e dei rivestimenti provvisori e definitivi della nuova galleria di derivazione.

## 2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

Oltre all'intera documentazione delle fasi di progettazione precedente (Progetto di Fattibilità, Progetto Preliminare e Progetto Definitivo), per la stesura della presente relazione si è fatto riferimento ai documenti riportati nel seguito.

### 2.1 Elaborati del progetto preliminare

- E00609A.E.X00.RI000.0.IS.IG.002.0 – Documentazione indagini geognostiche – Progetto Preliminare

### 2.2 Elaborati del progetto definitivo

- E00609A.E.X00.RI000.0.IS.IG.003.0 – Documentazione indagini geognostiche – Progetto Definitivo

### 2.3 Elaborati del progetto esecutivo (2018)

- E00609A\_E\_X00\_RI000\_0\_IS\_IG\_002\_0 – Documentazione indagini geognostiche – Progetto Preliminare
- E00609A\_E\_X00\_RI000\_0\_IS\_IG\_003\_0 – Documentazione indagini geognostiche – Progetto Definitivo
- E00609A\_E\_X00\_RI000\_0\_IS\_RT\_001\_0 – Relazione tecnica indagini geognostiche – Progetto Esecutivo
- E00609A\_E\_X00\_RI000\_0\_GG\_RB\_002\_1 – Relazione di caratterizzazione geomeccanica
- E00609A\_E\_G02\_RI000\_0\_GA\_FT\_003\_1 – Profilo geotecnico - geomeccanico e di monitoraggio

### 2.4 Elaborati del progetto esecutivo (2022)

- Indagini geognostiche a supporto del progetto esecutivo delle nuove opere di regolazione per la messa in sicurezza del lago d'Idro nei Comuni di Idro e di Lavenone (BS) – Rapporto indagini 2022
- PE-000-GEO-GG-001-RH – Relazione geologica ed idrogeologica
- PE-000-GEO-IN-002-PL – Planimetria ubicazione indagini geognostiche e geofisiche
- PE-000-GEO-GG-002-RB – Relazione di caratterizzazione geomeccanica
- PE-000-GEO-GG-003-RB – Relazione di caratterizzazione geotecnica
- PE-GAL-000-GE-004-PF – Profilo geotecnico - geomeccanico e di monitoraggio
- PE-000-GEO-SS-001-RH – Relazione Sismica
- PE-GAL-000-GE-002-RC – Relazione tecnica e di calcolo



### 3 DESCRIZIONE DELLA GALLERIA IDRAULICA

La galleria idraulica è lunga complessivamente 1446 m circa (di cui circa 1336 m realizzati in naturale, 31 m circa in artificiale lato Lago d'Idro e per ultimo circa 79 m in artificiale lato Lavenone) e si sviluppa dall'imbocco sul Lago d'Idro, a circa 160 m a nord-est dell'imbocco della galleria di svaso attuale, allo sbocco nel comune di Lavenone, a circa 550 m a valle dello sbocco esistente.

Nella sua parte prevalente la galleria idraulica presenta una sezione interna policentrica di area pari a circa 40 m<sup>2</sup> e pendenza costante e pari a circa lo 0.85%.

Le opere di imbocco lato Lago d'Idro sono costituite da una sezione sommersa di captazione della portata formata da due luci, che convogliano l'acqua in due successivi condotti a sezione rettangolare regolati da due paratoie piane delle medesime dimensioni. A seguire è presente un tratto di L = 32 m costituito da un camerone convergente con pendenza pari al 12% che convoglia la portata all'interno della sagoma policentrica.

Il funzionamento idraulico della galleria è a pelo libero con opera di captazione sotto battente.

La realizzazione della galleria è prevista mediante sistema di scavo in tradizionale.

Le coperture sono comprese tra un minimo di 3÷5 m circa nelle zone di imbocco, fino ad un massimo di circa 280 m nel tratto centrale.

Per garantire la sagoma idraulica prevista e le caratteristiche statiche necessarie la galleria idraulica policentrica presenta un'area di scavo variabile da un minimo di 57.5 mq (sezione tipo Ab) ad un massimo pari a 77.5 mq (sezione tipo C2V). i diametri equivalenti di scavo variano da un minimo di 8.20 m (sezione tipo Ab) sino ad un massimo di 9.30 m (sezione tipo C2V).

In corrispondenza dell'attacco lato Idro e del successivo camerone convergente, in ragione del sensibile incremento della sagoma idraulica, si incrementano conseguentemente anche le aree di scavo che variano da 80.05 mq (sezione di attacco) fino a 146.7 mq (media area di scavo del camerone convergente). I diametri equivalenti di scavo variano da 10.1 m (sezione di attacco) fino a 13.65 m (media diametro equivalente del camerone convergente).

## 4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO-IDROGEOLOGICO

Le indagini geognostiche sono state concentrate nelle zone di imbocco della galleria (lato Idro), poiché il resto della galleria si sviluppa all'interno di un rilievo caratterizzato da versanti acclivi non raggiungibili dalle normali sonde.

In particolare, mentre la zona di sbocco lato Lavenone è caratterizzata da un contesto geologico piuttosto omogeneo rappresentato dalla presenza della Formazione delle Arenarie di Val Sabbia, per la caratterizzazione geomeccanica delle quali è stato sufficiente una rielaborazione di dettaglio delle indagini già eseguite nelle precedenti campagne eseguite, presso la zona d'imbocco lato Idro, che presenta un quadro geologico più complesso caratterizzato da un ampio tratto detritico sotto falda in contatto con l'eterogenea Formazione di San Giovanni Bianco, si è resa necessaria una campagna geognostica integrativa (sondaggi attrezzati con piezometri, prove in sito, prove di laboratorio, e prove sismiche), avente le seguenti finalità:

- approfondire gli aspetti idraulici/idrogeologici dell'interazione lago-depositi detritici, che, soprattutto in funzione dell'approfondimento della livelletta del tracciato che pone la prima parte del tunnel in condizioni sottofalda, costituiscono una rilevante criticità costruttiva;
- dettagliare la caratterizzazione geomeccanica della Formazione di San Giovanni Bianco, vista la sua marcata eterogeneità litologica.

In relazione alla specificità dei contesti in cui si collocano le opere in oggetto, sono stati quindi individuati i seguenti contesti di intervento:

- Contesto imbocco Sud Galleria di by-pass, lato Lavenone;
- Contesto imbocco Nord Galleria di by-pass, lato Idro (lago);
- Porzione centrale della galleria.

Si riporta nel seguito una breve sintesi del contesto geologico di interesse per la galleria di derivazione in oggetti. Per ulteriori approfondimenti in merito si rimanda all'elaborato specialistico allegato al presente progetto esecutivo avente codice elaborato "PE-000-GEO-GG-001-RH".

## 4.1 Imbocco Sud lato Lavenone

L'attacco sud della galleria naturale (Figura 1), avviene in massima parte entro la formazione delle Arenarie della Val Sabbia (AVS); alla base del versante, in corrispondenza dell'imbocco, è stata rilevata una coltre detritica di modesto spessore, nelle previsioni marginalmente interferente con la galleria naturale, limitatamente al settore di calotta; quest'ultima poggia sullo strato di alterazione superficiale delle Arenarie di Val Sabbia ( $AVS_{capp}$ ) di spessore limitato fino al raggiungimento delle medesime non alterate.

Le Arenarie di Val Sabbia, affioranti lungo la SS237, a Est della sezione sotto-attraversata dalla galleria di bypass, sono di "colore rosso, rosso-grigio, a grana medio fine, con laminazione sottile piano-parallela non sempre visibile", risultando localmente intensamente fratturata, in frammenti scagliosi di dimensioni millimetriche.

I depositi detritici risultano talora associati a grossi blocchi e a depositi eluvio-colluviali, presentano spessori generalmente limitati (nell'ordine dei 5-10 m). L'area in esame è caratterizzata dalla presenza di un lineamento strutturale di importanza regionale, la Faglia dell'Abbioccolo.

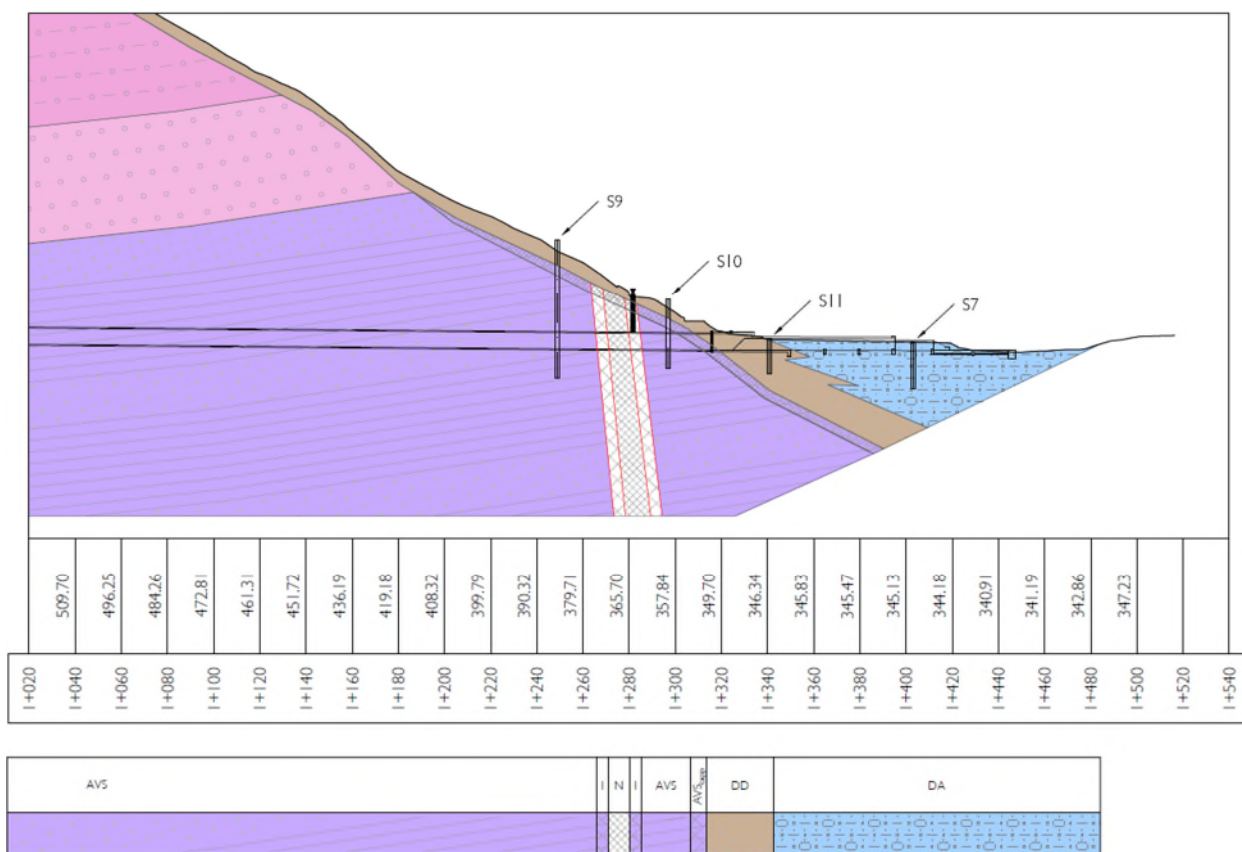


Figura 1 – Stralcio profilo geologico lato Lavenone

## 4.2 Imbocco Nord lato Lago d'Idro

Lato Nord (Figura 2), le opere in progetto, sia a cielo aperto che in sotterraneo, saranno realizzate nei depositi detritici di versante che, nel settore in disamina, raggiungono spessori dell'ordine della decina di metri. Essi sono costituiti da ghiaie grossolane con clasti spigolosi con sfericità bassa, immersi in matrice sabbioso-limoso. Sono presenti frequenti porzioni cementate, ben visibili in affioramento.

Il substrato roccioso di base è costituito dalla cosiddetta facies Terrosa della Formazione di San Giovanni Bianco. I sondaggi geognostici realizzati nel corso della Campagna 2009 hanno nello specifico intercettato una facies mediamente compatta della Formazione, costituita da prevalenti siltiti grigio verdastre, con livelli di breccie calcaree e breccie poligeniche grigio verdastre.

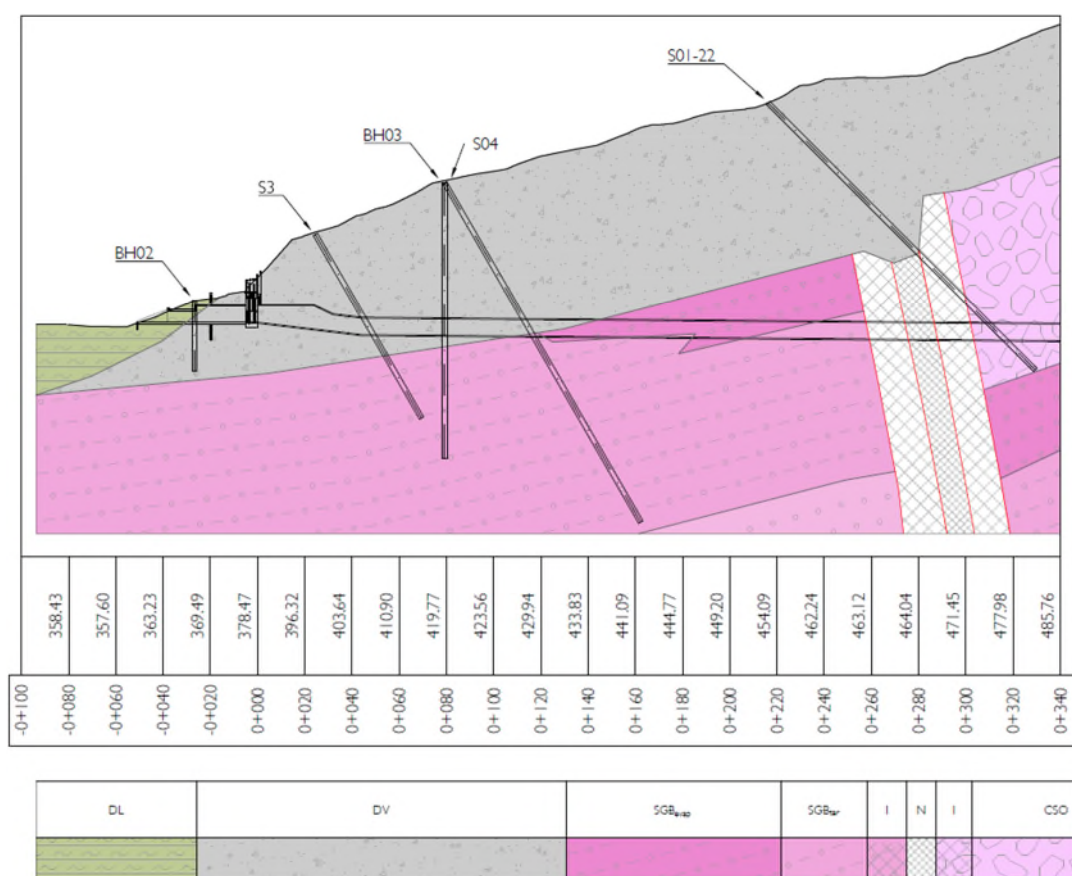


Figura 2 – Stralcio profilo geologico lato Lago d'Idro

In considerazione dell'elevata eterogeneità litologica riscontrata a breve distanza, si è ritenuto necessario indagare più in dettaglio il primo tratto di galleria prevedendo una campagna geognostica integrativa composta da una serie di indagini sismiche, tarate dai sondaggi presenti.

L'interpretazione di tali approfondimenti di indagini ha permesso di individuare altresì la presenza di un settore a peggiori caratteristiche geomeccaniche, assimilabile con ogni probabilità ad una zona di faglia.

### 4.3 Porzione centrale della galleria

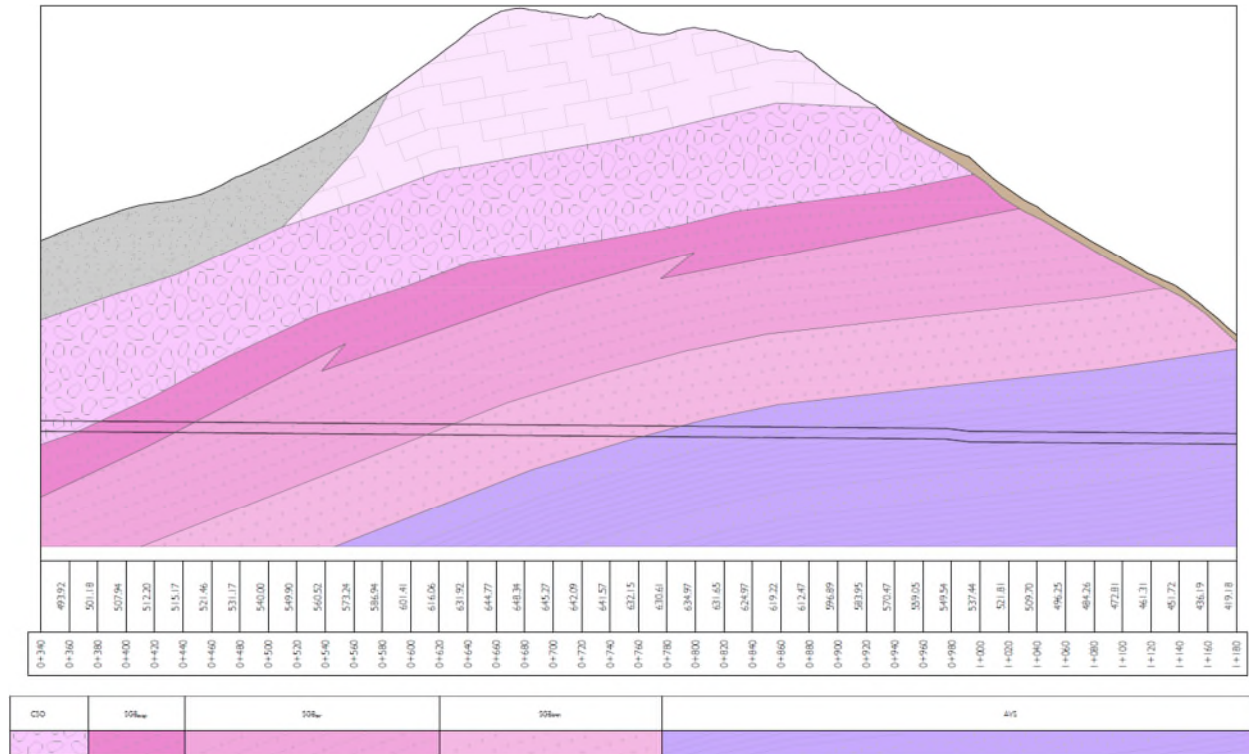


Figura 3 – Stralcio profilo geologico settore centrale

Come rappresentato in Figura 3, a partire dall'imbocco Nord, procedendo verso Sud, al Km 0+140 circa la galleria incontra il substrato roccioso, in particolare la facies Terrosa del San Giovanni Bianco, caratterizzata da alternanza di silti, breccie calcaree e dolomie mediamente con basso grado di fratturazione (sondaggi S3, S4 e BH03). Nel primo tratto compreso, tra il Km 0+140 circa al Km 0+240 circa, come si evince anche dalle indagini sismiche, i materiali potranno presentarsi a tratti piuttosto alterati, specialmente in prossimità del passaggio con i depositi detritici (San Giovanni Bianco facies Evaporitica).

Dal Km 0+240 circa al Km 0+310 circa le indagini sismiche, opportunamente tarate dai sondaggi eseguiti, hanno indicato la presenza di una fascia con caratteristiche geomeccaniche più scadenti, da assimilarsi con ogni probabilità ad una zona di faglia.

Dal Km 0+310 circa al Km 0+370 circa si attesta la Formazione di Castro Sebino (CSO), costituita da breccie minute a clasti mediamente centimetraci, intraformazionali di calcari grigio-chiari e scuri ricristallizzati, con numerose fratture tensionali primarie e tardo diagenetiche ed intercalazioni di calcari grigio chiari e scuri in prevalenza micritici. La formazione in oggetto dovrebbe presentarsi da compatta a molto fratturata, specie in corrispondenza del passaggio dal nucleo di faglia a quest'ultima.

Dal Km 0+370 circa al Km 0+440 potrebbe presentarsi la Formazione di San Giovanni Bianco nella sua facies Evaporitica, caratterizzata da silti, argilliti e arenarie, con gessi e anidriti diffusi in quantità subordinata rispetto alle peliti; localmente, come in una tratta di circa 200-300 m lungo l'asse della Galleria degli Agricoltori, le litologie evaporitiche diventano più abbondanti. In questo tratto l'ammasso risulterebbe di scadenti caratteristiche geomeccaniche, all'interno delle quali, in assenza di interventi, si prevedono fenomeni di instabilità

del fronte e del contorno con associati rilevanti fenomeni deformativi. Elevato anche il rischio di acque aggressive ed associati fenomeni di dissoluzione sia dell'ammasso che dei rivestimenti, vista la componente gessosa-anidritica presente all'interno delle formazioni in oggetto.

Dal Km 0+440 circa al Km 0+620 circa la formazione di San Giovanni Bianco in facies terrosa caratterizzata da alternanza di siliti, breccie calcaree e dolomie, in considerazioni delle coperture presenti fino anche a 250 m, dovrebbe presentarsi compatta, anche se non si può escludere che possano essere incontrate a tratti lenti evaporitiche di più scadenti caratteristiche geomeccaniche.

Al Km 0+620 circa è previsto il passaggio alla facies Arenacea del San Giovanni Bianco. Al Km 0+780 circa il tracciato della galleria entra nella formazione rocciosa delle Arenarie della Val Sabbia. Entrambe le formazioni presenteranno buone caratteristiche geomeccaniche.

La geometria e posizione dei suddetti contatti litostratigrafici è stata stimata sulla base delle informazioni desumibili dai rilievi geologici di dettaglio in campagna, dai dati di letteratura relativi agli spessori delle formazioni, nonché dalle risultanze delle indagini sismiche. Trattandosi di passaggi gradualmente, la posizione dei contatti è da ritenersi comunque stimata con un inevitabile margine d'incertezza.

Tra il Km 1+270 circa e il Km 1+280 circa, la galleria attraverserà la faglia dell'Abbioccolo, che è stata intercettata dal sondaggio sub orizzontale S14 del 2007.

## 4.4 Caratterizzazione idrogeologica lungo il profilo della galleria

Si riportano di seguito i principali elementi idrogeologici che caratterizzano l'area ove sono ubicate le opere in progetto.

Aspetti idrogeologici relativi agli ammassi rocciosi:

- la Dolomia principale, unitamente alla Formazione di Castro Sebino è caratterizzata da un fitto reticolo di fratture più o meno continue e beanti, le quali conferiscono all'intero complesso un'alta permeabilità secondaria; le due formazioni sono sede di un probabile acquifero carsico, il cui letto è rappresentato dalla sottostante Formazione di San Giovanni Bianco, a comportamento reologico più duttile, almeno per quanto riguarda la litofacies terrosa;
- laddove alla base della Dolomia Principale o della Formazione di Castro Sebino si trova la facies evaporitica della Formazione di San Giovanni Bianco si deve considerare la possibilità di processi di dissoluzione carsica delle evaporiti, tuttavia, risultano confinate idraulicamente alla base dalla facies pelitica (terrosa) del SGB; questo aspetto comporta una probabile limitazione dell'afflusso idrico alla quota galleria;
- la litofacies arenacea della Formazione di San Giovanni Bianco e la sottostante Formazione delle Arenarie di Val Sabbia presentano un comportamento intermedio rispetto alle precedenti, con un grado di permeabilità medio, legato prevalentemente al grado di fatturazione.

Il conseguente modello idrogeologico generale risulta caratterizzato dalla possibile presenza di un acquifero carsico nella Dolomia Principale e nella sottostante Formazione di Castro Sebino, in lenta e progressiva evoluzione conseguente ai processi di dissoluzione dei sottostanti corpi evaporitici presenti irregolarmente all'interno della Formazione di San Giovanni Bianco.

In generale l'acquifero risulta confinato alla base in corrispondenza delle litologie pelitico-marnose, le quali sono localmente interessate da deformazioni tettoniche legate al fatto che esse rappresentano uno dei principali orizzonti di scollamento alpino.

Le due faglie riconosciute dalle campagne d'indagine nelle diverse fasi progettuali costituiscono, localmente, una via di comunicazione preferenziale tra le unità superiori (Dolomia Principale e Formazione di Castro Sebino) o anche con i depositi detritici di versante, inducendo vie preferenziali per la circolazione idrica.

In un simile assetto generale dell'area è possibile aspettarsi, lungo il tracciato della galleria di progetto, locali venute d'acqua, la cui portata è difficilmente stimabile, concentrate prevalentemente, come detto, in corrispondenza della Faglia dell'Abbioccolo e della faglia rinvenuta nel corso delle ultime indagini circa alla progressiva 260÷300 m da imbocco Idro.

La circolazione idrica all'interno dei depositi sciolti di copertura nella zona delle opere d'imbocco lato Idro è monitorata da appositi assi piezometrici che nel corso delle Indagini integrative del 2022 sono stati attrezzati con sistema di registrazione in continuo. Nel corso delle medesime indagini, sono state eseguite nuove prove di permeabilità che, confrontate con i livelli idrici del lago, hanno permesso di confermare che la circolazione idrica sotterranea avviene per filtrazione delle acque del lago verso le aree circostanti.

I livelli piezometrici misurati differiscono in misura trascurabile con quelli lacuali; il piezometro PZ01-22, ubicato in prossimità della Galleria degli Agricoltori e fuori asse rispetto alla nuova galleria, mostra addirittura un leggero abbassamento rispetto al livello del lago (-0.40 ÷ -0.45 m).

Nella Carta Idrogeologica di Progetto Esecutivo (elaborato PE-000-GEO-GG-006-CG allegato al progetto), è mostrata l'ubicazione delle sorgenti rilevate, e le classi di permeabilità stimate, suddivise in permeabilità primaria per porosità nei depositi sciolti superficiali, e secondaria per fratturazione nel substrato roccioso. In corrispondenza dello sbocco lato Lavenone le misure effettuate nel corso del mese di agosto 2022 indicano che il livello di falda nella zona del canale di restituzione, si attesta ad una profondità di circa 4.10÷4.16 m da bocca foro, ossia a quota 341÷342 m s.l.m., circa coincidenti con il livello locale del F. Chiese.



## 5 SINTESI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E GEOMECCANICA DEGLI AMMASSI ROCCIOSI

### 5.1 Caratterizzazione geotecnica

Verranno di seguito riportate una sintesi delle caratterizzazioni geotecniche dei depositi sciolti riscontrati nelle diverse aree omogenee che interferiscono con la galleria di derivazione in oggetto. Per ulteriori approfondimenti in merito si rimanda alla relazione geotecnica di riferimento "PE-000-GEO-GG-003-RB".

#### 5.1.1 Lato Idro: Imbocco (a valle della SS237)

Il Modello Geotecnico di Riferimento per l'area in esame è stato definito a partire dalle informazioni riportate nel Modello Geologico di Riferimento, dalle indagini geofisiche eseguite, dai dati ottenuti con le indagini geognostiche effettuate in sito e dalle prove di laboratorio geotecnico integrate con dati bibliografici relativi ai siti prossimi a quello in oggetto e/o depositi analoghi per caratteristiche granulometriche e di addensamento.

Sulla base di quanto sopra, è stata definita la successione stratigrafica delle unità geotecniche presenti in sito:

- Da 0.0 a 1.5 m: depositi costituiti prevalentemente da riporti antropici costituiti da ghiaie sabbiose limose;
- Da 1.5 a 14.0 m: depositi costituiti da ghiaie grossolane in matrice sabbiosa debolmente limosa moderatamente addensate;
- Da 14.0 a 15.0 m: depositi costituiti da sabbie e ghiaie medio-fine in matrice limosa da poco a moderatamente addensate;
- Da 15.0 a 30.0 m: depositi costituiti da ghiaie grossolane in matrice sabbiosa debolmente limosa da moderatamente a ben addensate.

Quanto riportato sopra viene riassunto nelle tabelle di seguito.

Stratigrafia		Profondità		Proprietà fisiche				
				$\gamma_N$	$w_N$	$w_L$	$w_P$	$I_p$
		da [m]	a [m]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[%]	[%]	[%]	[-]
Strato 1	R	0.0	1.5	19.5	25÷35	26	14	12
Strato 2	G,S,DL	1.5	14.0	20.5				
Strato 3	S,G,L	14.0	15.0	20.0				
Strato 4	G,S,DL	15.0	30	20.5				

Tabella 1 – Tabella riassuntiva delle proprietà fisiche

Stratigrafia		Profondità		Proprietà meccaniche e idrauliche					
				$D_R$	$\phi'_{SPT}$	$c'$	$E_{01}$	$E_{OP}$	$k$
		da [m]	a [m]	[%]	[°]	[kPa]	[MPa]	[MPa]	[m/s]
Strato 1	R	0.0	1.5	65	41	0	50	20	
Strato 2	G,S,DL	1.5	14.0	65	41	0	50÷95	80	$1E^{-5}÷5E^{-4}$
Strato 3	S,G,L	14.0	15.0	45	39	0	70	15	
Strato 4	G,S,DL	15.0	30	80	42	0	120÷155	170	$1E^{-5}÷1E^{-4}$

Tabella 2 – Tabella riassuntiva delle proprietà meccaniche

### 5.1.2 Lato Idro: Imbocco (a monte della SS237)

Il Modello Geotecnico di Riferimento per l'area in esame è stato definito a partire dalle informazioni riportate nella relazione geologica e dal relativo Modello Geologico, dalle indagini geofisiche eseguite, dai dati ottenuti con le indagini geognostiche effettuate in sito e dalle prove di laboratorio geotecnico integrate con dati bibliografici relativi ai siti prossimi a quello in oggetto e/o depositi analoghi per caratteristiche granulometriche e di addensamento.

Sulla base di quanto sopra, è stata definita la successione stratigrafica delle unità geotecniche presenti in sito:

- Da 0.0 a 1.5 m: depositi costituiti prevalentemente da riporti antropici costituiti da ghiaie sabbiose limose;
- Da 1.5 a 6.0 m: depositi costituiti da ghiaie in matrice sabbioso-limosa moderatamente addensate;
- Da 6.0 a 25.0 m: depositi costituiti da ghiaie sabbiose debolmente limose moderatamente addensate;
- Da 25.0 a > 25.0 m: depositi costituiti da ghiaie sabbiose debolmente limose da moderatamente a ben addensate.

Quanto riportato sopra viene riassunto nelle tabelle di seguito.

Stratigrafia		Profondità		Proprietà fisiche				
				$\gamma_N$	$w_N$	$w_L$	$w_P$	$I_p$
		da [m]	a [m]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[%]	[%]	[%]	[-]
Strato 1	R	0.0	1.5	19.5	4÷14	20	14	6
Strato 2	G,S,L	1.5	6.0	20.5				
Strato 3	G,S,DL	6.0	25.0	20.5				
Strato 4	G,S,DL	25.0	>25.0	20.5				

Tabella 3 – Tabella riassuntiva delle proprietà fisiche

Stratigrafia		Profondità		Proprietà meccaniche e idrauliche					
				$D_R$	$\phi'_{SPT}$	$c'$	$E_{01}$	$E_{OP}$	$k$
		da [m]	a [m]	[%]	[°]	[kPa]	[MPa]	[MPa]	[m/s]
Strato 1	R	0.0	1.5	60	40.5	0	60	60	
Strato 2	G,S,L	1.5	6.0	60	40.5	0	60	90	
Strato 3	G,S,DL	6.0	25.0	70	41	0	70÷210	130	
Strato 4	G,S,DL	25.0	>25.0	80	41÷42	0	-	170	

Tabella 4 – Tabella riassuntiva delle proprietà meccaniche

### 5.1.3 Lato Lavenone: Sbocco

Il Modello Geotecnico di Riferimento per l'area in esame è stato definito a partire dalle informazioni riportate nel Modello Geologico di Riferimento, dalle indagini geofisiche eseguite, dai dati ottenuti con le indagini geognostiche effettuate in sito e dalle prove di laboratorio geotecnico integrate con dati bibliografici relativi ai siti prossimi a quello in oggetto e/o depositi analoghi per caratteristiche granulometriche e di addensamento.

Sulla base di quanto sopra, è stata definita la successione stratigrafica delle unità geotecniche presenti in sito:

- Da 0.0 a 5.0 m: depositi costituiti prevalentemente da ghiaie sabbiose limose moderatamente addensate;
- Da 5.0 a 6.1 m: depositi costituiti da ghiaie sabbiose limose da poco a moderatamente addensate;
- Da 6.1 a > 20.0 m: depositi costituiti da ghiaie sabbiose debolmente limose da moderatamente a ben addensate.

Quanto riportato sopra viene riassunto nelle tabelle di seguito.

Stratigrafia		Profondità		Proprietà fisiche				
				$\gamma_N$	$w_N$	$w_L$	$w_P$	$I_P$
		da [m]	a [m]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[%]	[%]	[%]	[-]
Strato 1	G,S,L	0.0	5.0	18.0	-	26	14	12
Strato 2	G,S,L	5.0	6.1	19.5	-	26	14	12
Strato 3	G,S,DL	6.1	>20.0	20.0	-	30	16	14

Tabella 5 – Tabella riassuntiva delle proprietà fisiche

Stratigrafia		Profondità		Proprietà meccaniche e idrauliche					
				$D_R$	$\phi'_{SPT}$	$c'$	$E_{01}$	$E_{OP}$	$k$
		da [m]	a [m]	[%]	[°]	[kPa]	[MPa]	[MPa]	[m/s]
Strato 1	G,S,L	0.0	5.0	60	36	0	45	25	-
Strato 2	G,S,L	5.0	6.1	40	34	0	50	80	-
Strato 3	G,S,DL	6.1	>20.0	65	41	0	75÷95	80÷160	-

Tabella 6 – Tabella riassuntiva delle proprietà meccaniche

## 5.2 Caratterizzazione geomeccanica

La caratterizzazione geomeccanica degli ammassi rocciosi è stata condotta applicando su ogni Formazione geologica individuata le classificazioni RMR di Bieniawski e GSI di Hoek sia sugli affioramenti di superficie che sulle carote di sondaggio delle varie campagne geognostiche. Successivamente, dopo aver determinato le caratteristiche di resistenza della matrice dalle prove di laboratorio, utilizzando i criteri di rottura di Mohr-Coulomb e Hoek & Brown, si sono determinati per ogni Formazione i relativi parametri geomeccanici.

Nel seguito saranno riassunti i principali parametri legati alle formazioni intercettate dalla galleria di by-passa lungo il suo tracciato; per ulteriori approfondimenti in merito alla caratterizzazione geomeccanica si rimanda alla relazione specialistica "PE-000-GEO-GG-002-RB".

Nella tabella seguente si riporta una sintesi delle risultanze delle classificazioni e delle parametrizzazioni geomeccaniche.

Formazione	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	RMR	GSI	Parametri di Hoek & Brown		
				$m_b$	$s$	$a$
SGB <sub>evap</sub>	23	40-50	30-40	0.622	0.002	0.522
				0.925	0.008	0.511
SGB <sub>ter</sub>	26	45-50	50-55	3.587	0.003	0.506
				4.374	0.005	0.504
SGB <sub>ter,alt</sub>	26	20-25	30-35	1.620	0.0002	0.522
				1.980	0.0004	0.516
Faglia (0+280)	26	15-20	20-25	1.090	0.00007	0.544
				1.330	0.0001	0.531
CSO <sub>alt</sub>	25	20-25	30-35	1.620	0.0002	0.522
				1.980	0.0004	0.516
CSO	25	45-50	50-55	3.300	0.0014	0.508
				4.000	0.0026	0.506
SGB <sub>aren</sub>	26	55-60	60-65	2.815	0.009	0.503
				3.433	0.016	0.502
AVS	25	45-55	60-65	3.314	0.009	0.503
				4.041	0.016	0.502
AVS <sub>alt</sub>	26	20-25	30-35	1.010	0.0002	0.522
Faglia Abbioccolo	26	15-25	20-25	0.687	0.00007	0.544

Tabella 7 – Caratterizzazione geomeccanica degli ammassi rocciosi

Le sigle riguardanti le formazioni indicate in Tabella 7 sono di seguito descritte:

- SGB<sub>evap</sub>: San Giovanni Bianco facies Evaporitica
- SGB<sub>ter</sub>: San Giovanni Bianco facies Terrosa
- SGB<sub>ter,alt</sub>: San Giovanni Bianco facies Terrosa alterata (intorno della faglia)

- Faglia (0+280): Faglia al Km 0+280 circa
- CSO<sub>alt</sub>: Castro Sebino alterata (intorno della faglia)
- CSO: Castro Sebino
- SGB<sub>aren</sub>: San Giovanni Bianco facies Arenacea
- AVS: Arenaria di Val Sabbia
- AVS<sub>alt</sub>: Arenaria di Val Sabbia alterata (intorno della faglia)
- Faglia Abbioccolo: Faglia a Km 1+270 circa

## 6 SCELTE PROGETTUALI

### 6.1 Sezioni tipo di scavo

Le sezioni di scavo proposte dovranno possedere i requisiti prestazionali tali da assicurare le condizioni di stabilità del fronte e del contorno di scavo ed il contestuale contenimento della risposta deformativa dell'ammasso. Le sezioni di scavo previste, progettate secondo l'approccio ADECO-RS, dovranno gestire sostanzialmente le seguenti tre condizioni geomeccaniche:

- 1) Zona d'imbocco e primi 140m. Lo scavo dall'imbocco Idro attraversa materiale detritico sottofalda costantemente alimentata dal lago, che, in virtù dell'elevata permeabilità di tali depositi, necessita un sistematico intervento di consolidamento ed impermeabilizzazione al fronte, al contorno, e sul fondo dello scavo, al fine di assicurare in fase di realizzazione la stabilità e la tenuta idraulica del fronte, del contorno del cavo e del fondo di scavo. Ciò si realizza al contorno del cavo mediante colonne in jet-grouting sub-orizzontale ed al fronte ed al fondo dello scavo mediante tamponi d'impermeabilizzazione e consolidamento da realizzarsi mediante iniezioni selettive in pressione di miscele cementizie e chimiche. Tale tecnologia, che permette con adeguati fattori di sicurezza il successivo scavo a piena sezione, è prevista sin a partire dalla sezione d'attacco lato Idro, nel successivo tratto di camerone convergente e nei primi 100 m circa di galleria idraulica a sezione policentrica costante fino al termine dei depositi detritici (sezioni tipo C1/C1P). Il pre-rivestimento è costituito da centine e spritz-beton fibrorinforzato ed i rivestimenti definitivi di calotta murette ed arco rovescio sono previsti in c.a., previa la messa in opera di un'impermeabilizzazione full-round senza alcun tubo di drenaggio acque, allo scopo di isolare idraulicamente la galleria dagli ingenti afflussi idrici provenienti dal lago. Tale accorgimento sarà cautelativamente da proseguirsi per almeno 50 m oltre il contatto detrito/San Giovanni Bianco, in modo da non istaurare nel corso della vita media dell'opera fenomeni di filtrazione al contorno dell'opera e conseguenti fenomeni di dissoluzione all'interno dell'ammasso con creazione di cavità e/o zone alterate/detensionate al contorno del cavo, che potrebbero gravare in modo anomalo sulla galleria. Detti fenomeni di filtrazione al contatto detrito/San Giovanni Bianco verranno anche limitati riducendo la permeabilità dell'ammasso mediante iniezioni di miscele cementizie in pressione sia nell'ultimo tratto di detrito (sezioni tipo C1/C1P) che nel primo tratto di San Giovanni Bianco (sezioni tipo B2/B2V/C2).
- 2) Tratti in roccia compatta (Formazioni San Giovanni Bianco e Arenarie di Val Sabbia). Si applicano prevalentemente sezioni di scavo con scavo a piena sezione e pre-rivestimento bullonato o centinato (sezioni tipo Ab/Ac/B0), nella Formazione delle Arenarie di Val Sabbia, e prevalentemente centinato (sezioni tipo B0/B2/B2V/B2P/B2VP), nella Formazione di San Giovanni Bianco. I rivestimenti definitivi di calotta murette ed arco rovescio sono previsti in CLS senza armatura per sezioni Ab/Ac/B0, mentre

per le restanti sezioni tipo è previsto un rivestimento definitivo in c.a. Nella Formazione del San Giovanni Bianco facies Evaporitica, allo scopo di evitare fenomeni di aggressione del CLS da parte delle acque di falda contenenti solfati, gli stessi prevederanno una classe di esposizione di tipo XA3; inoltre, il sistema d'impermeabilizzazione sarà di tipo full-round (calotta ed arco rovescio).

- 3) Tratti in roccia fratturata-alterata/faglia (Formazioni San Giovanni Bianco e Arenarie di Val Sabbia). In funzione dell'entità della fratturazione/alterazione e della resistenza a compressione della matrice si prevede il pre-consolidamento al fronte mediante VTR (sezioni tipo B2/B2P in San Giovanni Bianco) o anche un pre-sostegno metallico o pre-consolidamento con VTR valvolati al contorno (sezioni tipo B2V/B2V\*/B2VP/C2). Lo scavo è previsto a piena sezione con mezzi meccanici. Il pre-rivestimento è costituito da centine e spritz-beton fibrorinforzato. I rivestimenti definitivi di calotta murette ed arco rovescio sono previsti in c.a. Nella Formazione del San Giovanni Bianco facies Evaporitica, allo scopo di evitare fenomeni di aggressione del CLS da parte delle acque di falda contenenti solfati, gli stessi prevederanno una classe di esposizione di tipo XA3; inoltre, il sistema d'impermeabilizzazione sarà di tipo full-round (calotta ed arco rovescio).

Di seguito vengono descritti in dettaglio le caratteristiche di ogni sezione tipologica, oltre che il relativo campo di applicazione. Per la distribuzione e le percentuali di applicazione delle sezioni si faccia riferimento a quanto riportato all'interno dell'elaborato "Profilo geotecnico-geomeccanico e di monitoraggio" allegato al presente progetto ".

## 6.2 Camerone Convergente

### 6.2.1 Campo di applicazione

Le sezioni in oggetto sono previste in corrispondenza dell'imbocco (lato lago) mediante n°4 campi a geometria di scavo particolare ( $L_{TOT} = 32\text{ m}$ ) e dalle dimensioni maggiorate per permettere il convogliamento dell'acqua dal lago nella sagoma di galleria corrente.

Il camerone convergente segue al campo d'attacco che accoglie la camera paratoie, il cui fabbricato sarà solidarizzato ai piedritti della galleria.

Al termine della realizzazione dei 4 campi di avanzamento da 8 m previsti da progetto per il camerone convergente, bisognerà attendere il completamento della galleria di by-pass proveniente dal lato Lavenone.

### 6.2.2 Interventi previsti (campo iniziale)

La sezione del camerone convergente (campo iniziale) in fase costruttiva è costituita da:

AREA MEDIA DI SCAVO: 146.7 mq, DIAMETRO EQUIVALENTE MEDIO: 13.65 m

PRESOSTEGNO AL CONTOURNO	N.29 TUBI METALLICI $\phi 127/10\text{mm}$ PASSO 55cm L=17.00m SOVRAPPOSIZIONE 8.00m (VEDI GEOMETRIE PROGETTO)
CONSOLIDAMENTO AL CONTOURNO	N.18 COLONNE JET-GROUTING $\phi 800\text{mm}$ PASSO 57cm L=16.00m SOVRAPPOSIZIONE 8.00m
CONSOLIDAMENTO AL FRONTE	N.35 TUBI IN VTR CEMENTATI L=12.00m SOVRAPPOSIZIONE 4.00m
SPRITZ-BETON AL CONTOURNO sp.=28cm (5+20+3)	PRE SPRITZ-BETON sp.=5cm FIBRORINFORZATO CON FIBRE METALLICHE + SPRITZ-BETON DI COMPLETAMENTO sp.=20cm FIBRORINFORZATO CON FIBRE METALLICHE + SPRITZ-BETON DI REGOLARIZZAZIONE sp.=3cm, ADDITTIVATO CON FIBRE POLIMERICHE
SPRITZ-BETON AL FRONTE	SPRITZ-BETON sp.=10cm FIBRORINFORZATO CON FIBRE METALLICHE AD OGNI SINGOLO SFONDO  SPRITZ-BETON sp.=25cm FIBRORINFORZATO CON FIBRE METALLICHE E ARMATO CON RETE ELETTROSALDATA $\phi 6/10 \times 10$ A FINE CAMPO
CENTINE	1HEB 200 PASSO 100cm

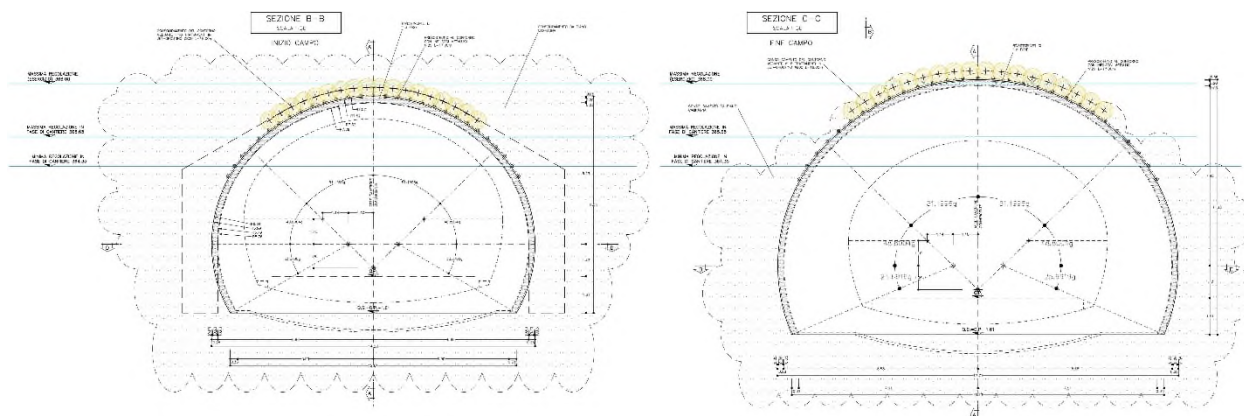


Figura 4 – Sezione Camerone Convergente (campo iniziale) – Scavi e consolidamenti - Sezione



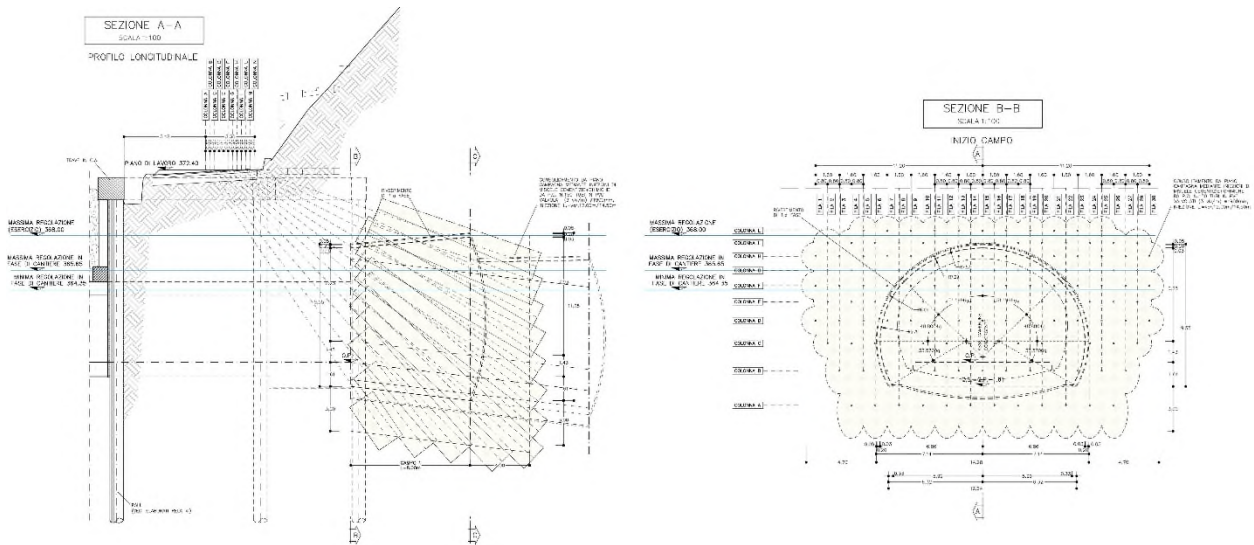


Figura 5 – Sezione Camerone Convergente (campo iniziale) – Scavi e consolidamenti – Profilo longitudinale

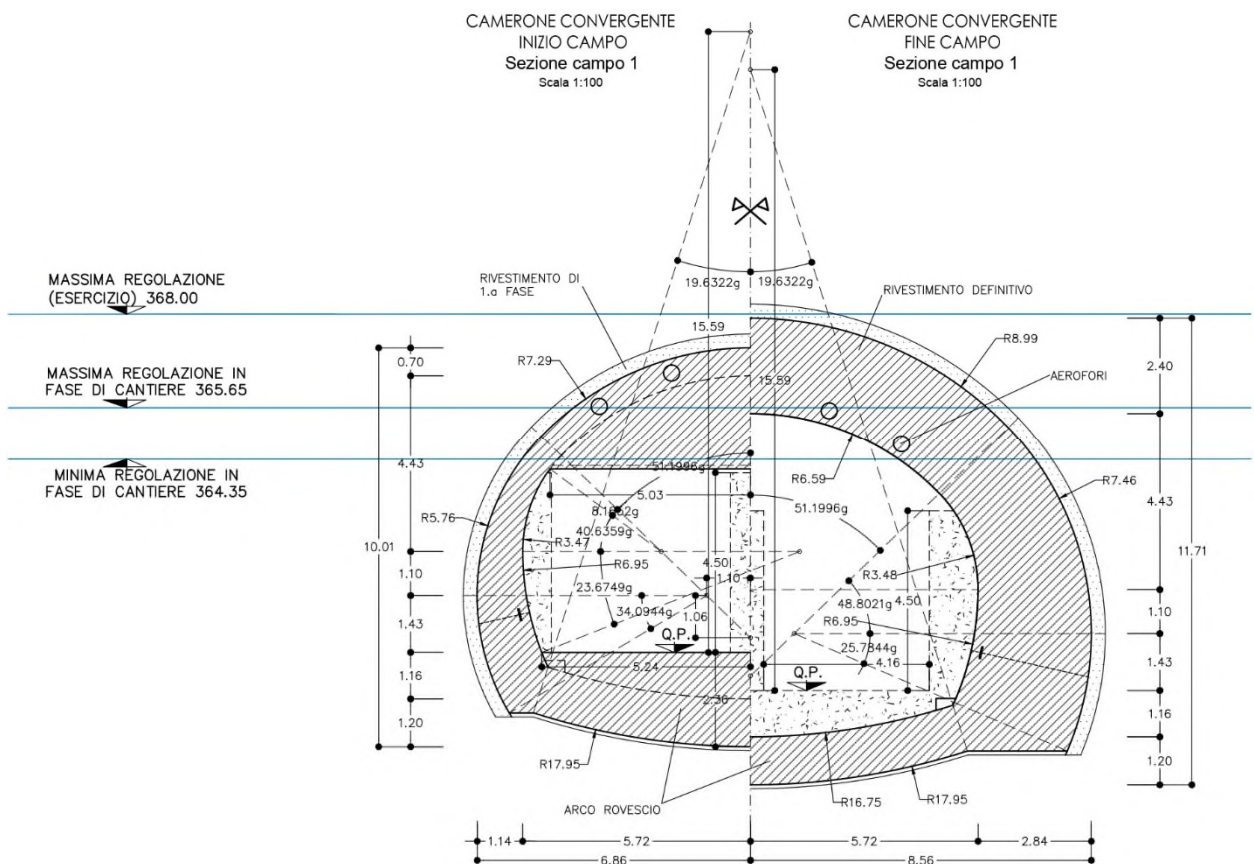


Figura 6 – Sezione Camerone Convergente (campo iniziale) – Carpenteria – Sezioni

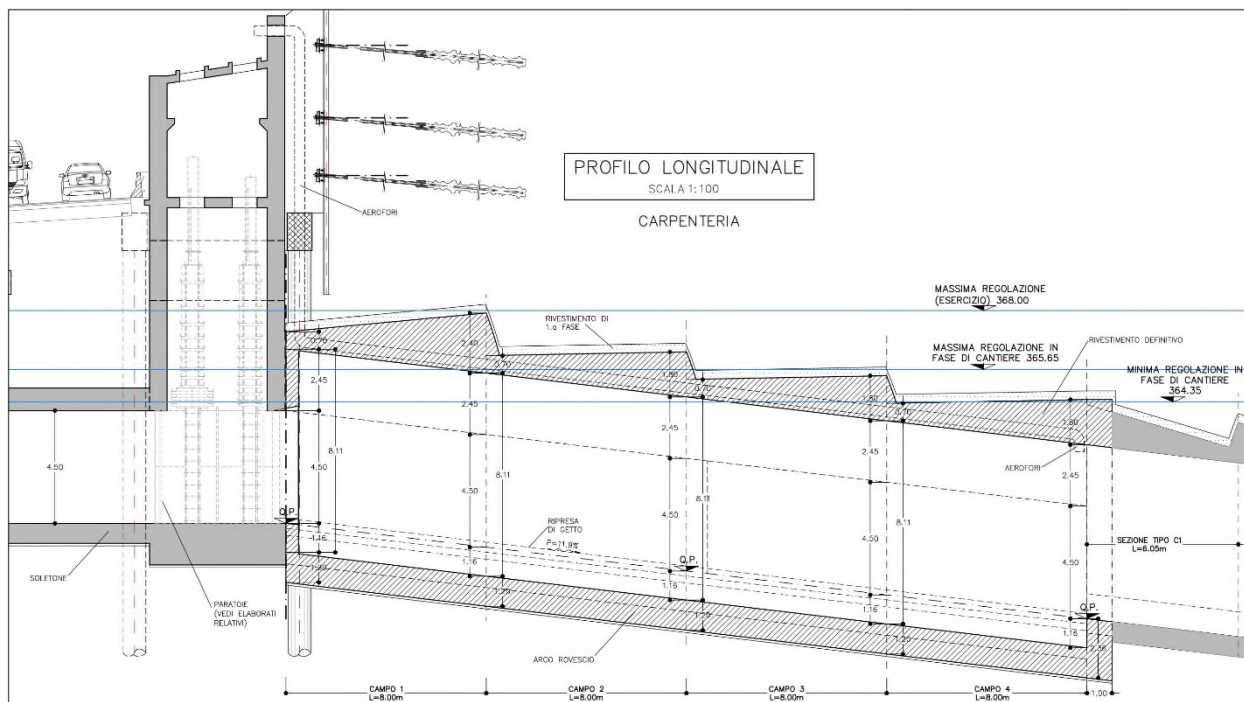


Figura 7 – Sezione Cameroni Convergente (campo iniziale) – Carpenteria – Profilo longitudinale

### 6.2.3 Fasi esecutive (campo iniziale)

Si procede all'esecuzione dei consolidamenti ed all'impermeabilizzazione da piano campagna della sezione mediante miscele cementizie + chimiche; a seguire si esegue il consolidamento e l'impermeabilizzazione del contorno mediante jet-grouting e pre-sostegno metallico. Tutte le perforazioni sottofalda dovranno essere eseguite con l'ausilio di preventer.

Si procede poi allo scavo a piena sezione del campo di lunghezza di 8.0 m mediante mezzi meccanici, con sfondi di profondità massima di 1.0 m. Al termine di ogni sfondo, il fronte dovrà essere sagomato a forma concava ( $f = 1.0$  m) e dovrà essere eseguito un accurato disaggio al fronte ed al contorno di tutte le porzioni instabili. A seguire, prima di procedere al posizionamento delle centine, dovrà essere messo in opera uno strato di spritz-beton fibrorinforzato di protezione al fronte ed al contorno pari ad almeno 5 cm circa. I reali spessori dello spritz-beton fibrorinforzato di protezione al fronte ed al contorno dovranno essere valutati in dettaglio dal preposto al fronte in funzione del contesto geomeccanico locale.

Dopo ogni sfondo, verranno messe in opera le centine e uno strato di spritz-beton fibrorinforzato di spessore 20 cm al contorno dello scavo.

Il tampone di spritz-beton fibrorinforzato al fronte di fine campo, propedeutico all'esecuzione dell'intervento di consolidamento, dovrà possedere uno spessore  $> 25$  cm circa, armato con rete elettrosaldata  $\varnothing 6/10 \times 10$ .

I getti delle murette e dell'arco rovescio in c.a. verranno eseguiti ad una distanza massima di 1 diametro dal fronte; per ultimo verrà eseguito il getto della calotta in c.a. ad una distanza massima di 3 diametri dal fronte, previa posa in opera dell'impermeabilizzazione prevista anche in arco rovescio, dopo la messa in opera di uno strato di regolarizzazione di spritz-beton di spessore 3 cm.

## 6.2.4 Interventi previsti (campo finale)

La sezione del camerone convergente (campo finale) in fase costruttiva è costituita da:

AREA MEDIA DI SCAVO: 137 mq, DIAMETRO EQUIVALENTE MEDIO: 13.2 m

SPRITZ-BETON AL CONTORNO sp.=28cm (5+20+3)	PRE SPRITZ-BETON sp.=5cm FIBRORINFORZATO CON FIBRE METALLICHE + SPRITZ-BETON DI COMPLETAMENTO sp.=20cm FIBRORINFORZATO CON FIBRE METALLICHE + SPRITZ-BETON DI REGOLARIZZAZIONE sp.=3cm, ADDITTIVATO CON FIBRE POLIMERICHE
SPRITZ-BETON AL FRONTE	SPRITZ-BETON sp.=10cm FIBRORINFORZATO CON FIBRE METALLICHE AD OGNI SINGOLO SFONDO SPRITZ-BETON sp.=25cm FIBRORINFORZATO CON FIBRE METALLICHE E ARMATO CON RETE ELETTROSALDATA $\phi 6/10 \times 10$ A FINE CAMPO
CENTINE	1HEB 200 PASSO 100cm
PRESOSTEGNO AL CONTORNO	N.29 TUBI METALLICI $\phi 127/10$ mm PASSO 55cm L=16.00m SOVRAPPOSIZIONE 8.00m
CONSOLIDAMENTO AL CONTORNO	N.48 COLONNE JET-GROUTING $\phi 800$ mm PASSO 57-58cm L=16.00m SOVRAPPOSIZIONE 8.00m
TAMPONE DI IMPERMEABILIZZAZIONE AL FRONTE (con iniezioni cementizie + chimiche)	N.112 TOTALE INTERVENTI, PERFORAZIONE L.=12.00m DI CUI: -N.83 TUBI IN PVC CIECHII PER 8.00m (da 0.00 a 8.00m) E VALVOLATI (3 vlv/m) ED INIETTATI NEGLI ULTIMI 4.00m (da 8.00 a 12.00m), CON CEMENTIZIE +CHIMICHE. (VEDI GEOMETRIE PROGETTO)  -N.29 ELEMENTI STRUTTURALI IN VTR (N°3 PIATTINE CON TUBI A MANCHETTE), CIECHI PER 4.00m (da 0.00 a 4.00m) E VALVOLATI (3 vlv/m) ED INIETTATI NEGLI ULTIMI 8.00m, DI CUI I PRIMI 4,00m (da 4.00 a 8.00m) CON CEMENTIZIE ED I SECONDI 4,00m (da 8.00 a 12.00m) CON CEMENTIZIE +CHIMICHE. (VEDI GEOMETRIE PROGETTO)
TAMPONE DI IMPERMEABILIZZAZIONE DI FONDO (CON INIEZIONI CEMENTIZIE + CHIMICHE)	N.54 TUBI IN PVC VALVOLATI (3 vlv/m) NEL TRATTO INIETTATO E CIECHI NEL TRATTO NON INIETTATO

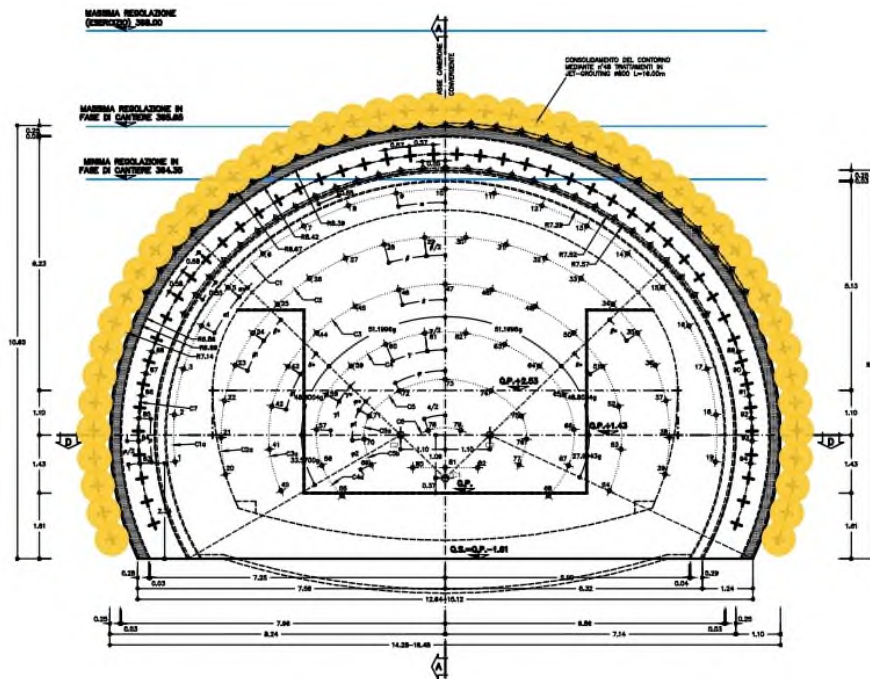


Figura 8 – Sezione Camerone Convergente (campo finale) – Scavi e consolidamenti - Sezione

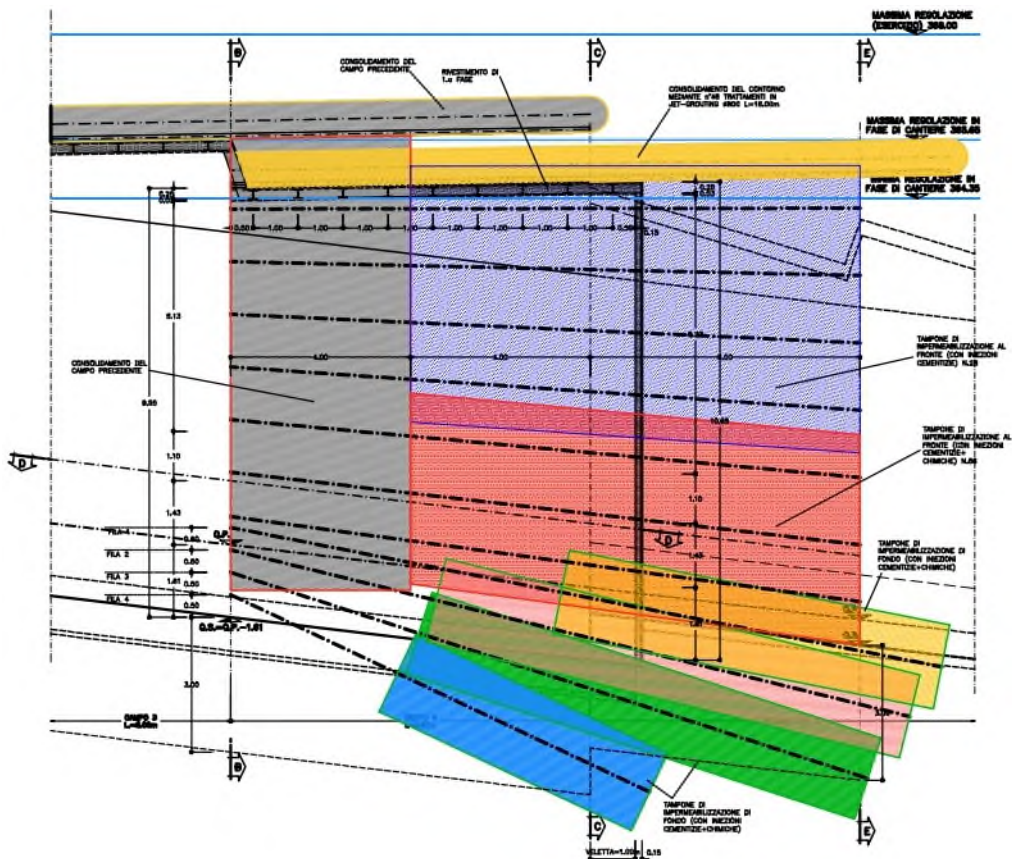


Figura 9 – Sezione Camerone Convergente (campo finale) – Scavi e consolidamenti – Profilo longitudinale

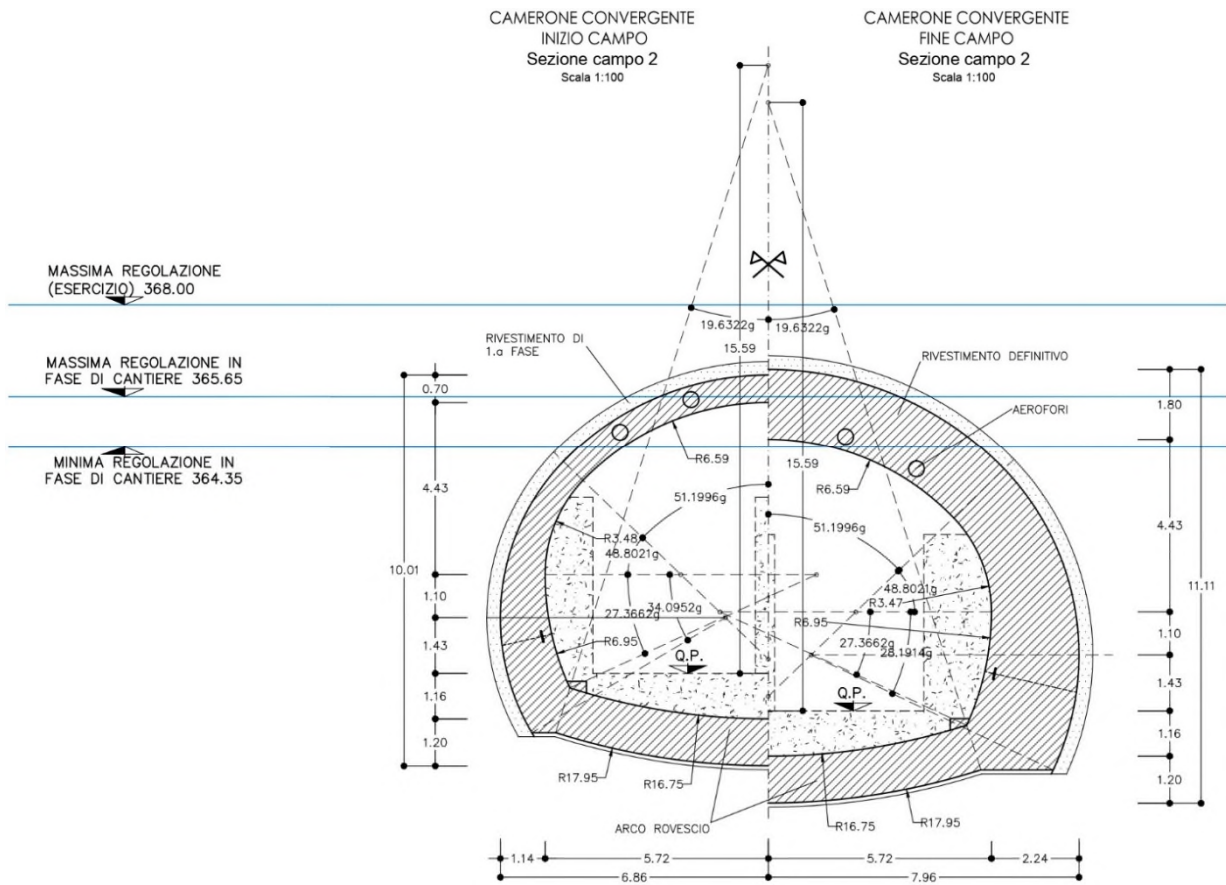


Figura 10 – Sezione Camerone Convergente (campo finale) – Carpenteria – Sezioni

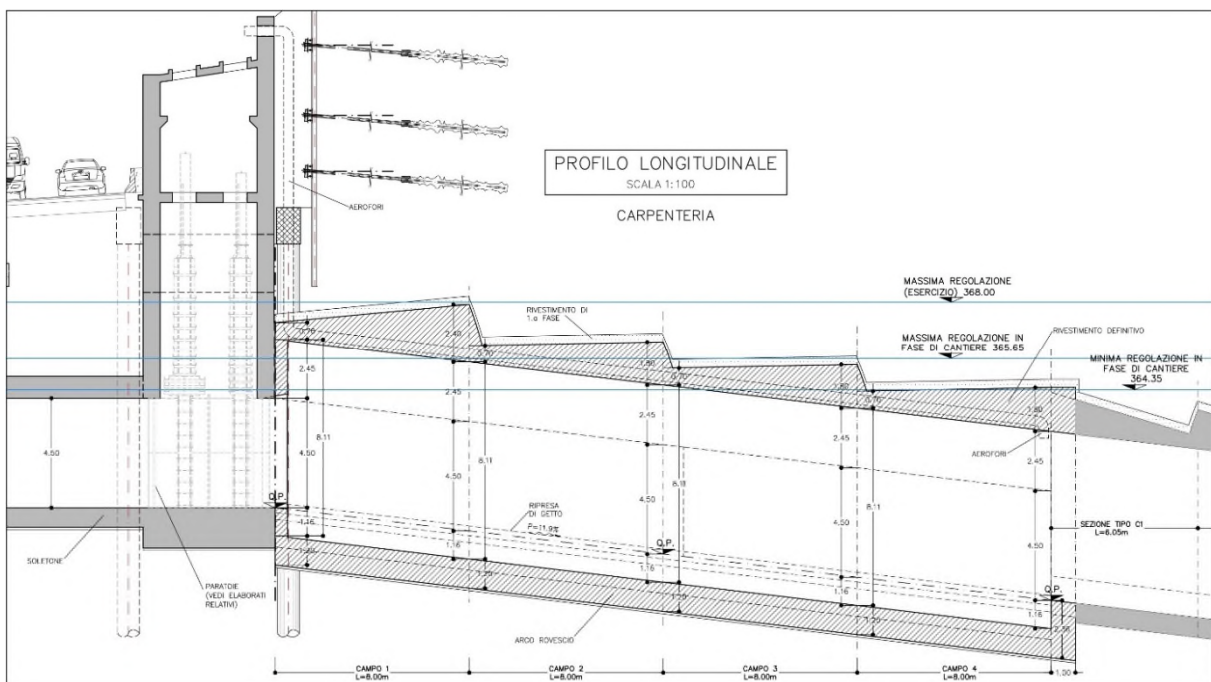


Figura 11 – Sezione Camerone Convergente (campo finale) – Carpenteria – Profilo longitudinale

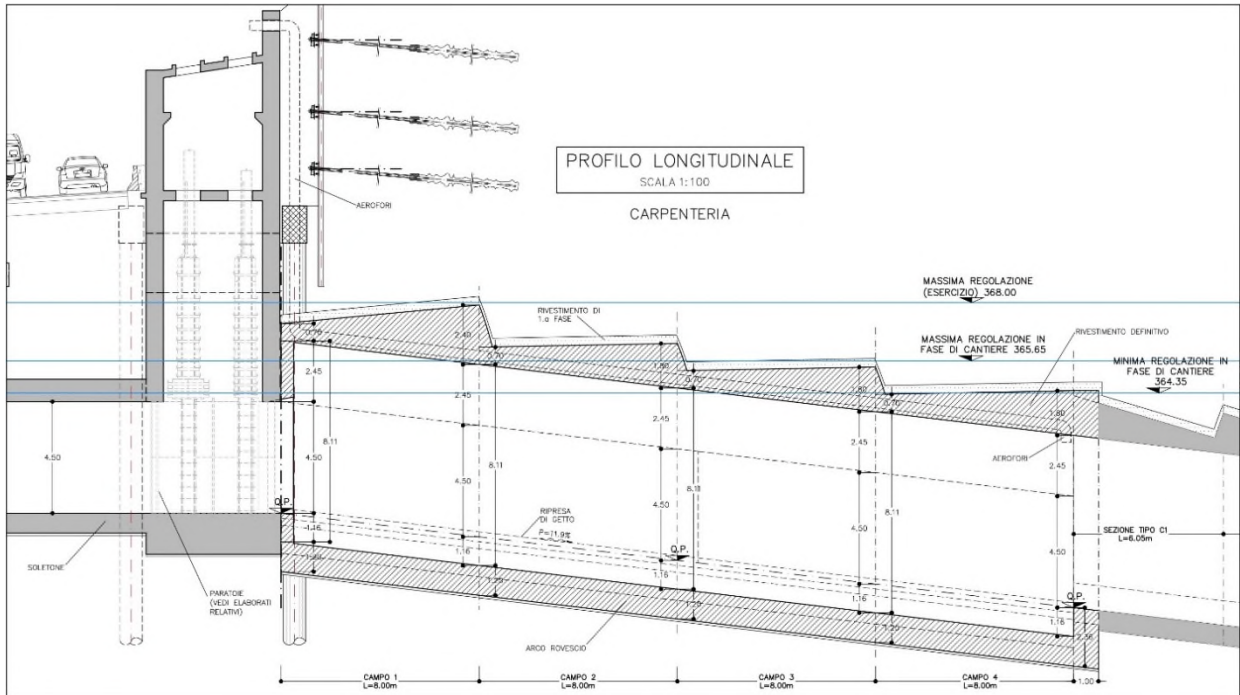


Figura 12 – Sezione Camerone Convergente (campo finale) – Carpenteria – Profilo longitudinale

## 6.2.5 Fasi esecutive (campo finale)

Si procede all'esecuzione del consolidamento ed all'impermeabilizzazione del contorno mediante jet-grouting e pre-sostegno metallico; a seguire si esegue il tampone di impermeabilizzazione e consolidamento al fronte mediante iniezioni selettive in pressione di miscela cementizie + chimiche; poi si esegue il tampone di fondo realizzando una fascia impermeabilizzata e consolidata di spessore pari a 3 m circa al di sotto del piano di scavo mediante iniezioni selettive in pressione di miscela cementizie + chimiche. Tutte le perforazioni sottofalda dovranno essere eseguite con l'ausilio di preventer.

Si procede poi allo scavo a piena sezione del campo di lunghezza di 8.0 m mediante mezzi meccanici, con sfondi di profondità massima di 1.0 m. Al termine di ogni sfondo, il fronte dovrà essere sagomato a forma concava ( $f = 1.0$  m) e dovrà essere eseguito un accurato disaggio al fronte ed al contorno di tutte le porzioni instabili. A seguire, prima di procedere al posizionamento delle centine, dovrà essere messo in opera uno strato di spritz-beton fibrorinforzato di protezione al fronte ed al contorno pari ad almeno 5 cm circa. I reali spessori dello spritz-beton fibrorinforzato di protezione al fronte ed al contorno dovranno essere valutati in dettaglio dal preposto al fronte in funzione del contesto geomeccanico locale.

Dopo ogni sfondo, verranno messe in opera le centine e uno strato di spritz-beton fibrorinforzato di spessore 20 cm al contorno dello scavo.

Il tampone di spritz-beton fibrorinforzato al fronte di fine campo, propedeutico all'esecuzione dell'intervento di consolidamento, dovrà possedere uno spessore  $> 25$  cm circa, armato con rete elettrosaldata  $\varnothing 6/10 \times 10$ .

I getti delle murette e dell'arco rovescio in c.a. verranno eseguiti ad una distanza massima di 1 diametro dal fronte; per ultimo verrà eseguito il getto della calotta in c.a. ad una distanza massima di 3 diametri dal fronte, previa posa in opera dell'impermeabilizzazione prevista anche in arco rovescio, dopo la messa in opera di uno strato di regolarizzazione di spritz-beton di spessore 3 cm.

## 6.3 Sezione Tipo C1P

### 6.3.1 Campo di applicazione

L'applicazione di tale sezione tipo è prevista all'interno dei depositi detritici presenti presso l'imbocco lato Idro, nel primo tratto di galleria di by-pass all'interno dei depositi più permeabili ( $K= 10^{-3} \div 10^{-5}$  m/sec). L'applicazione di tale sezione potrebbe essere necessaria anche nella parte detritica a cavallo con il contatto del San Giovanni Bianco (facies Evaporitica), dove potrebbero essere localmente presenti elevate permeabilità.

### 6.3.2 Interventi previsti

La sezione tipo C1P in fase costruttiva è costituita da:

AREA MEDIA DI SCAVO: 74.5 mq; DIAMETRO EQUIVALENTE MEDIO: 9.30 m

SPRITZ-BETON AL CONTORNO sp.=28cm (5+20+3)	PRE SPRITZ-BETON sp.=5cm FIBRORINFORZATO CON FIBRE METALLICHE + SPRITZ-BETON DI COMPLETAMENTO sp.=20cm FIBRORINFORZATO CON FIBRE METALLICHE + SPRITZ-BETON DI REGOLARIZZAZIONE sp.=3cm, ADDITTIVATO CON FIBRE POLIMERICHE
SPRITZ-BETON AL FRONTE	SPRITZ-BETON sp.=10cm FIBRORINFORZATO CON FIBRE METALLICHE AD OGNI SINGOLO SFONDO SPRITZ-BETON sp.=25cm FIBRORINFORZATO CON FIBRE METALLICHE E ARMATO CON RETE ELETTROSALDATA $\phi 6/10 \times 10$ A FINE CAMPO
CENTINE	ZIPE 160 PASSO 100cm
PRESOSTEGNO AL CONTORNO	N.23 TUBI METALLICI $\phi 127/10$ mm PASSO 50cm L=12.00m SOVRAPPPOSIZIONE 4.00m
CONSOLIDAMENTO AL CONTORNO	N.42 COLONNE JET-GROUTING $\phi 800$ mm PASSO 55cm L=16.00m SOVRAPPPOSIZIONE 8.00m
TAMPONE DI IMPERMEABILIZZAZIONE AL FRONTE (con iniezioni cementizie + chimiche)	N.19 INTERVENTI TOTALI CON TUBI IN PVC PERF. L=12.00m DI CUI: - N.10 CEMENTATI NEI PRIMI 8.00m (da 0.00 a 8.00m) E VALVOLATI (3 viv/m) ED INIETTATI A PRESSIONE NEGLI ULTIMI 4.00m (da 8.00 a 12.00m). - N.9 CEMENTATI NEI PRIMI 4.00m (da 0.00 a 4.00m), VALVOLATI (3 viv/m) ED INIETTATI A PRESSIONE NEI SUCCESSIVI 4.00m (da 4.00 a 8.00m) E INIETTATI A PRESSIONE CON MISCELA CEMENTIZIA +CHIMICA NEGLI ULTIMI 4.00m (da 8.00 a 12.00m). N.16 INTERVENTI TOTALI CON TUBI IN PVC PERF. L=16.00m DI CUI: - N.11 CEMENTATI NEI PRIMI 8.00m (da 0.00 a 8.00m) E VALVOLATI (3 viv/m) ED INIETTATI A PRESSIONE NEGLI ULTIMI 8.00m (da 8.00 a 16.00m). - N.5 CEMENTATI NEI PRIMI 4.00m (da 0.00 a 4.00m), VALVOLATI (3 viv/m) ED INIETTATI A PRESSIONE CON MISCELA CEMENTIZIA +CHIMICA NEGLI ULTIMI 12.00m (da 4.00 a 16.00m).
TAMPONE DI IMPERMEABILIZZAZIONE DI FONDO (con iniezioni cementizie + chimiche) * PARI E DISPARI VERRANNO ESEGUITI ALTERNATIVAMENTE PER CAMPI DI AVANZAMENTO	N.18(PARI) TUBI IN PVC VALVOLATI (3 viv/m) NEL TRATTO INIETTATO E CEMENTATI NEL TRATTO NON INIETTATO FILA 1 N'3 Ltot.=12.50m-Perf. a vuoto 7.50m-Iniettati 5.00m FILA 2 N'8 Ltot.=12.50m-Perf. a vuoto 7.50m-Iniettati 5.00m FILA 3 N'7 Ltot.=20.00m-Perf. a vuoto 16.00m-Iniettati 4.00m N.17(DISPARI) TUBI IN PVC VALVOLATI (3 viv/m) NEL TRATTO INIETTATO E CEMENTATI NEL TRATTO NON INIETTATO FILA 1 N'4 Ltot.=12.50m-Perf. a vuoto 7.50m-Iniettati 5.00m FILA 2 N'7 Ltot.=12.50m-Perf. a vuoto 7.50m-Iniettati 5.00m FILA 3 N'6 Ltot.=20.00m-Perf. a vuoto 16.00m-Iniettati 4.00m



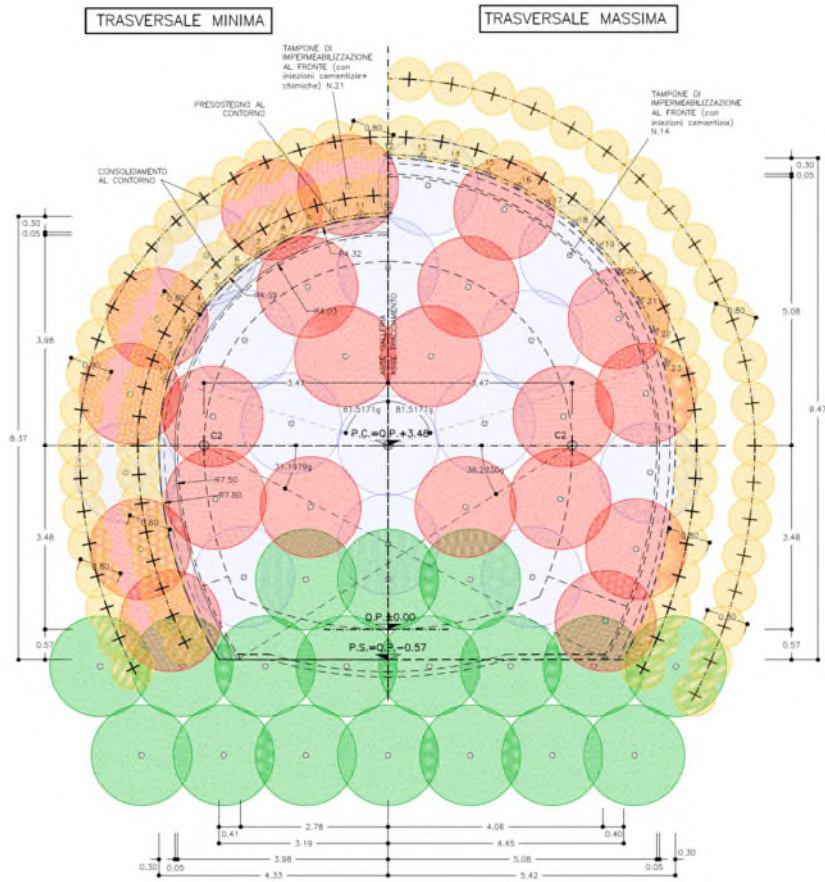


Figura 13 – Sezione Tipo C1P – Scavi e consolidamenti - Sezione

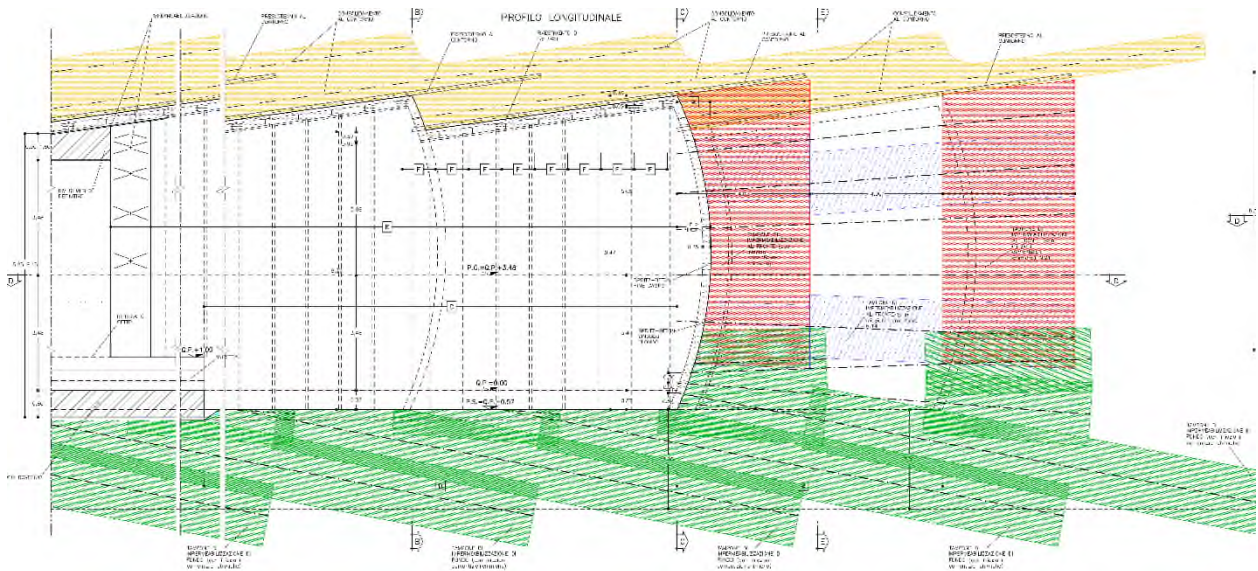


Figura 14 – Sezione Tipo C1P – Scavi e consolidamenti – Profilo longitudinale

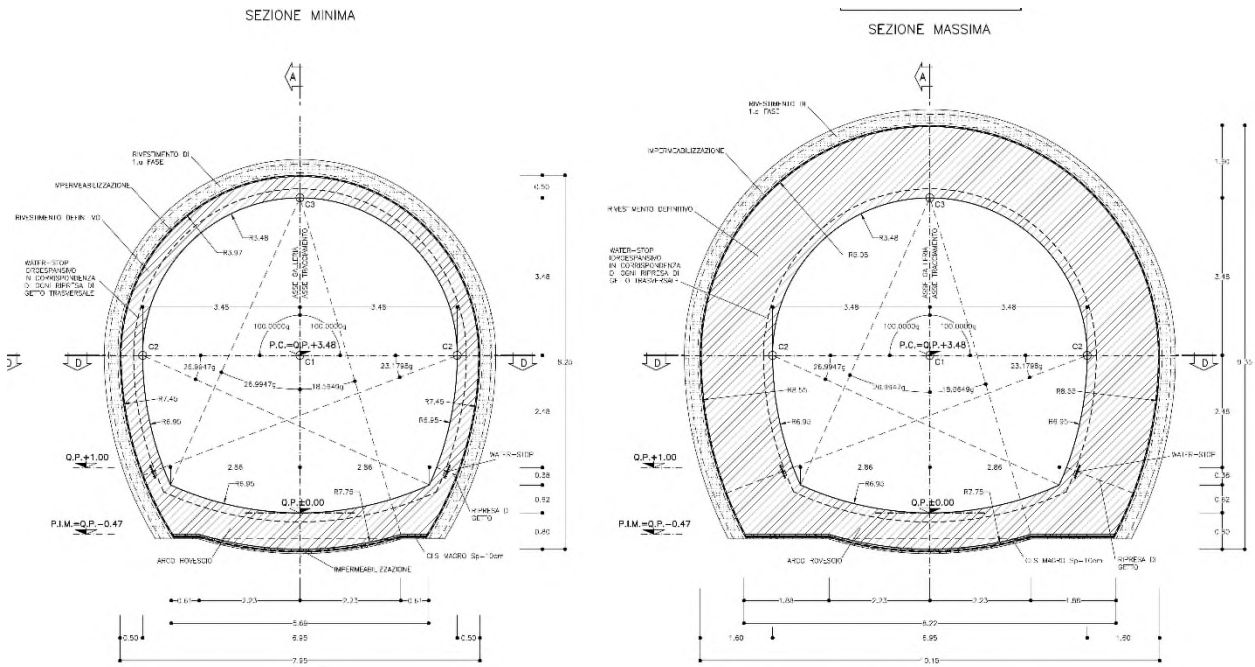


Figura 15 – Sezione Tipo C1P – Carpenteria – Sezioni

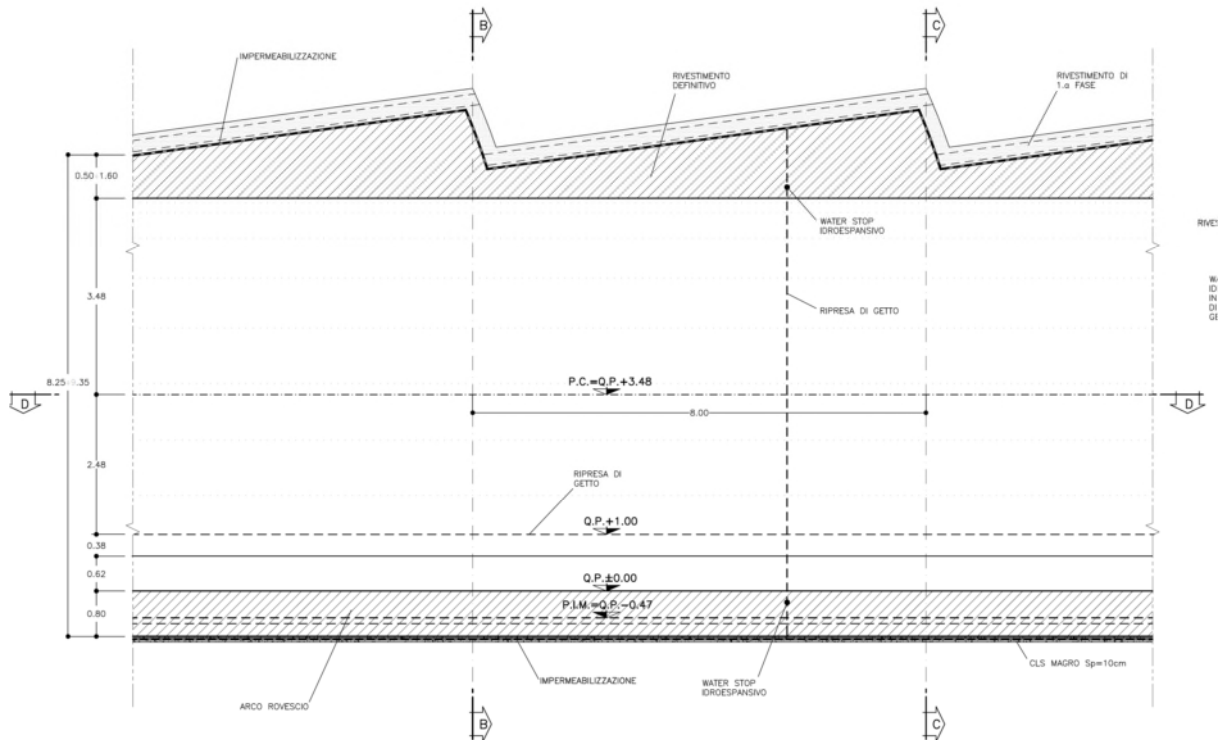


Figura 16 – Sezione Tipo C1P – Carpenteria – Profilo longitudinale

### 6.3.3 Fasi esecutive

Si procede all'esecuzione del consolidamento ed all'impermeabilizzazione del contorno mediante jet-grouting e pre-sostegno metallico; a seguire si esegue il tampone di impermeabilizzazione e consolidamento al fronte ( $L = 4$  m, da 8 a 12 m) mediante iniezioni selettive in pressione di miscele cementizie + chimiche e contestualmente il consolidamento del fronte dei setti intermedi tra due tamponi ( $L = 4$  m, da 4 a 8 m) mediante iniezioni selettive in pressione di miscele cementizie; poi si esegue il tampone di fondo realizzando una fascia impermeabilizzata e consolidata di spessore pari a circa 3 m al di sotto del piano di scavo mediante iniezioni selettive in pressione di miscele cementizie + chimiche. Tutte le perforazioni eseguite sottofalda dovranno essere eseguite con l'ausilio di preventer.

Si procede poi allo scavo a piena sezione per campi di 8.0 m mediante mezzi meccanici, con sfondi di profondità massima di 1.0 m. Al termine di ogni sfondo, il fronte dovrà essere sagomato a forma concava ( $f = 1.0$ m) e dovrà essere eseguito un accurato disgaggio al fronte ed al contorno di tutte le porzioni instabili. A seguire, prima di procedere al posizionamento delle centine, dovrà essere messo in opera uno strato di spritz-beton fibrorinforzato di protezione al fronte ed al contorno pari ad almeno 5 cm circa. I reali spessori dello spritz-beton fibrorinforzato di protezione al fronte ed al contorno dovranno essere valutati in dettaglio dal preposto al fronte in funzione del contesto geomeccanico locale.

Dopo ogni sfondo, verranno messe in opera le centine e uno strato di spritz-beton fibrorinforzato di spessore 20 cm al contorno dello scavo.

Il tampone di spritz-beton fibrorinforzato al fronte di fine campo, propedeutico all'esecuzione dell'intervento di consolidamento, dovrà possedere uno spessore  $> 25$  cm circa., armato con rete elettrosaldata  $\varnothing 6/10 \times 10$ .

I getti delle murette e dell'arco rovescio in c.a. verranno eseguiti ad una distanza massima di 1 diametro dal fronte; per ultimo verrà eseguito il getto della calotta in c.a. ad una distanza massima di 3 diametri dal fronte, previa posa in opera dell'impermeabilizzazione prevista anche in arco rovescio, dopo la messa in opera di uno strato di regolarizzazione di spritz-beton di spessore 3 cm.

## 6.4 Sezione Tipo C1

### 6.4.1 Campo di applicazione

L'applicazione di tale sezione tipo è prevista all'interno dei depositi detritici meno permeabili ( $K = 10^{-5} \div 10^{-6}$  m/sec) presenti nel tratto più lontano dall'imbocco lato Idro, più prossimo alla Formazione del San Giovanni Bianco (facies Evaporitica), dove, in ragione della ridotta permeabilità, gli afflussi idrici previsti sono contenuti e gli annessi fenomeni di trasporto solido poco rilevanti. In tale contesto (se si esclude il tratto detritico proprio a cavallo del contatto con il San Giovanni Bianco dove potrebbero essere localmente presenti elevate permeabilità ed è quindi cautelativo prevedere l'utilizzo della sezione tipo C1P) non sono necessari i tamponi d'impermeabilizzazione al fronte ed al fondo dello scavo mediante iniezioni cementizie e chimiche, mentre va comunque garantita la tenuta del cavo e del fronte mediante adeguati interventi di consolidamento, viste le scadenti caratteristiche geotecniche dei materiali.

Resta inteso che, considerata la criticità del contesto (scavo in materiali granulari sottofalda alimentata dal lago), la condizione di ridotta permeabilità dovrà essere costantemente verificata mediante l'esecuzione di sistematiche prospezioni in avanzamento con misure di portata propedeutiche all'esecuzione di ogni campo di scavo.

### 6.4.2 Interventi previsti

La sezione tipo C1 in fase costruttiva è costituita da:

AREA MEDIA DI SCAVO: 74.5 mq; DIAMETRO EQUIVALENTE MEDIO: 9.30 m

SPRITZ-BETON AL CONTORNO sp.=28cm (5+20+3)	PRE SPRITZ-BETON sp.=5cm FIBRORINFORZATO CON FIBRE METALLICHE + SPRITZ-BETON DI COMPLETAMENTO sp.=20cm FIBRORINFORZATO CON FIBRE METALLICHE + SPRITZ-BETON DI REGOLARIZZAZIONE sp.=3cm, ADDITTIVATO CON FIBRE POLIMERICHE
SPRITZ-BETON AL FRONTE	SPRITZ-BETON sp.=10cm FIBRORINFORZATO CON FIBRE METALLICHE AD OGNI SINGOLO SFONDO
	SPRITZ-BETON sp.=15cm FIBRORINFORZATO CON FIBRE METALLICHE E ARMATO CON RETE ELETTROSALDATA 6/10X10 A FINE CAMPO
CENTINE	2IPE 160 PASSO 100cm
PRESOSTEGNO AL CONTORNO	N.23 TUBI METALLICI $\phi$ 127/10mm PASSO 50cm L=12.00m SOVRAPPOSIZIONE 4.00m
CONSOLIDAMENTO AL CONTORNO	N.42 COLONNE JET-GROUTING $\phi$ 800mm PASSO 55cm L=16.00m SOVRAPPOSIZIONE 8.00m
CONSOLIDAMENTI AL FRONTE	N.12 COLONNE JET $\phi$ 800mm L.=16.00m SOVRAPPOSIZIONE 8.00m
CONSOLIDAMENTO AL PIEDE CENTINA	N.5+5 COLONNE JET-GROUTING $\phi$ 800mm L.=9.00m(2+2)/10.50m(3+3) L.libera 1.50m(2+2)/4m(3+3) L.iniettata 7.50m(2+2)/6.50m(3+3)

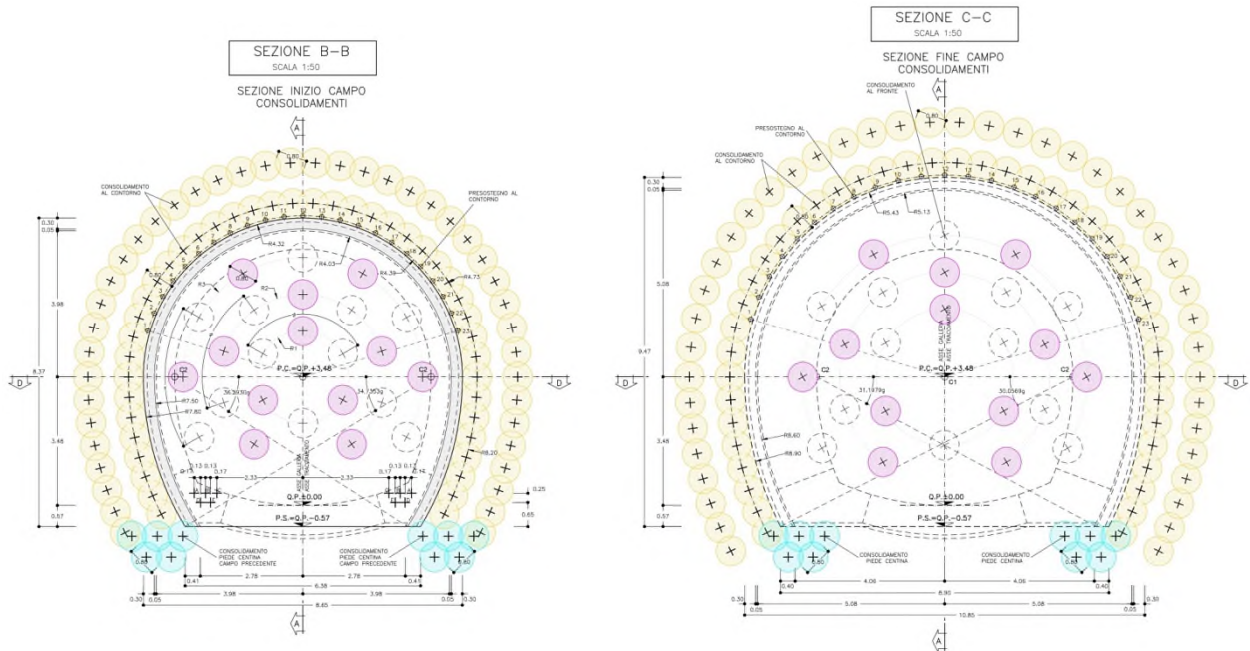


Figura 17 – Sezione Tipo C1 – Scavi e consolidamenti - Sezione

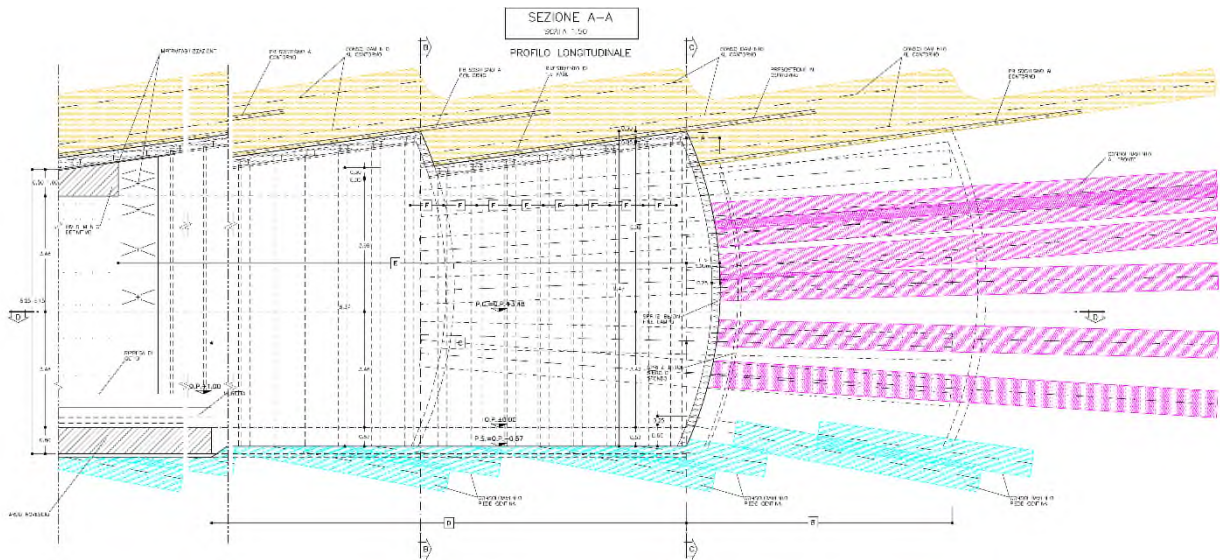


Figura 18 – Sezione Tipo C1 – Scavi e consolidamenti – Profilo longitudinale

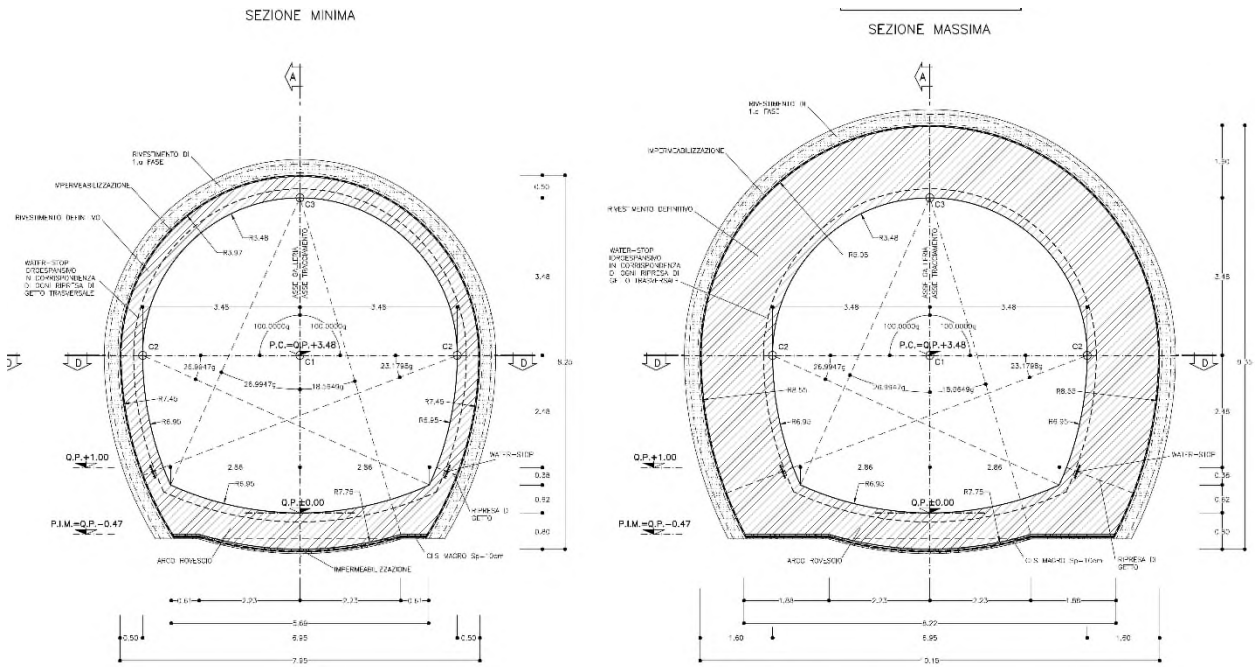


Figura 19 – Sezione Tipo C1 – Carpenteria – Sezioni

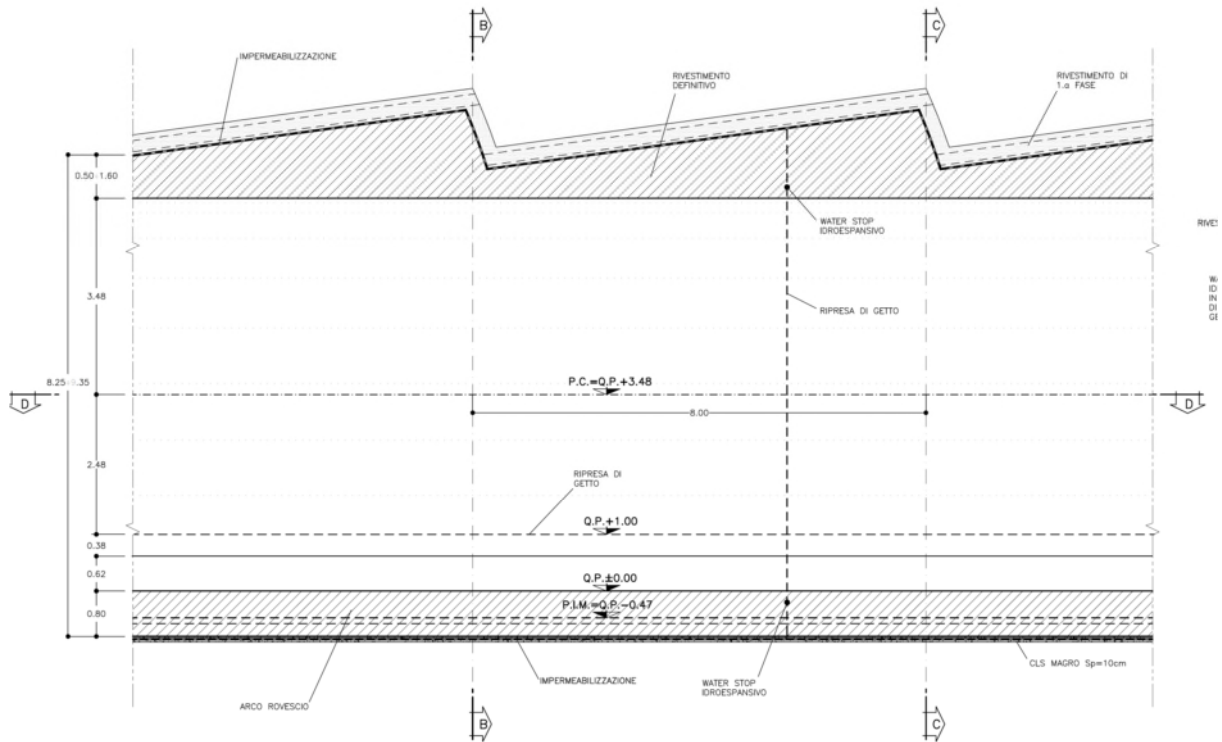


Figura 20 – Sezione Tipo C1 – Carpenteria – Profilo longitudinale

### 6.4.3 Fasi esecutive

Si procede all'esecuzione del consolidamento ed all'impermeabilizzazione del contorno mediante jet-grouting e pre-sostegno metallico e a seguire si esegue il consolidamento del fronte mediante jet-grouting. Si procede poi allo scavo a piena sezione per campi di 8.0 m mediante mezzi meccanici, con sfondi di profondità massima di 1.0 m. Al termine di ogni sfondo, il fronte dovrà essere sagomato a forma concava ( $f = 1.0$  m) e dovrà essere eseguito un accurato disaggancio al fronte ed al contorno di tutte le porzioni instabili. A seguire, prima di procedere al posizionamento delle centine, dovrà essere messo in opera uno strato di spritz-beton fibrorinforzato di protezione al fronte ed al contorno pari ad almeno 5 cm circa. I reali spessori dello spritz-beton fibrorinforzato di protezione al fronte ed al contorno dovranno essere valutati in dettaglio dal preposto al fronte in funzione del contesto geomeccanico locale.

Dopo ogni sfondo, verranno messe in opera le centine e uno strato di spritz-beton fibrorinforzato di spessore 20 cm al contorno dello scavo.

Il tampono di spritz-beton fibrorinforzato al fronte di fine campo, propedeutico all'esecuzione dell'intervento di consolidamento, dovrà possedere uno spessore  $> 25$  cm circa, armato con rete elettrosaldata  $\varnothing 6/10 \times 10$ .

I getti delle murette e dell'arco rovescio in c.a. verranno eseguiti ad una distanza massima di 1 diametro dal fronte; per ultimo verrà eseguito il getto della calotta in c.a. ad una distanza massima di 3 diametri dal fronte, previa posa in opera dell'impermeabilizzazione prevista anche in arco rovescio, dopo la messa in opera di uno strato di regolarizzazione di spritz-beton di spessore 3 cm.

## 6.5 Sezione Tipo B2

### 6.5.1 Campo di applicazione

L'applicazione di tale sezione tipo è prevista (in differenti percentuali di applicazione) all'interno della Formazione di San Giovanni Bianco in facies Evaporitica (GSI = 40-50) nella tratta che segue i depositi sciolti, in San Giovanni Bianco in facies Terrosa (GSI = 45-53), nella Formazione di Castro Sebino (GSI = 45-50) e nella Formazione San Giovanni Bianco in facies arenacea (GSI = 55-60).

### 6.5.2 Interventi previsti

La sezione tipo B2 in fase costruttiva è costituita da:

AREA DI SCAVO: 65.9 mq; DIAMETRO EQUIVALENTE: 8.80 m

SPRITZ-BETON AL CONTORNO sp.=28cm (5+20+3)	PRE SPRITZ-BETON sp.=5cm FIBRORINFORZATO CON FIBRE METALLICHE + SPRITZ-BETON DI COMPLETAMENTO sp.=20cm FIBRORINFORZATO CON FIBRE METALLICHE + SPRITZ-BETON DI REGOLARIZZAZIONE sp.=3cm, ADDITTIVATO CON FIBRE POLIMERICHE
SPRITZ-BETON AL FRONTE	EVENTUALE SPRITZ-BETON sp.=10cm FIBRORINFORZATO CON FIBRE METALLICHE AD OGNI SINGOLO SFONDO SPRITZ-BETON sp.=15cm FIBRORINFORZATO CON FIBRE METALLICHE A FINE CAMPO
CENTINE	2IPE 160 PASSO 120cm
CONSOLIDAMENTI AL FRONTE	N.25 TUBI IN VTR CEMENTATI L=16.00m SOVRAPPOSIZIONE 4.00m
DRENAGGI (EVENTUALI)	N°2+2 TUBI MICROFESSURATI IN PVC RIVESTITI CON CALZA TNT, L=24.00m, SOVR.=12.00m



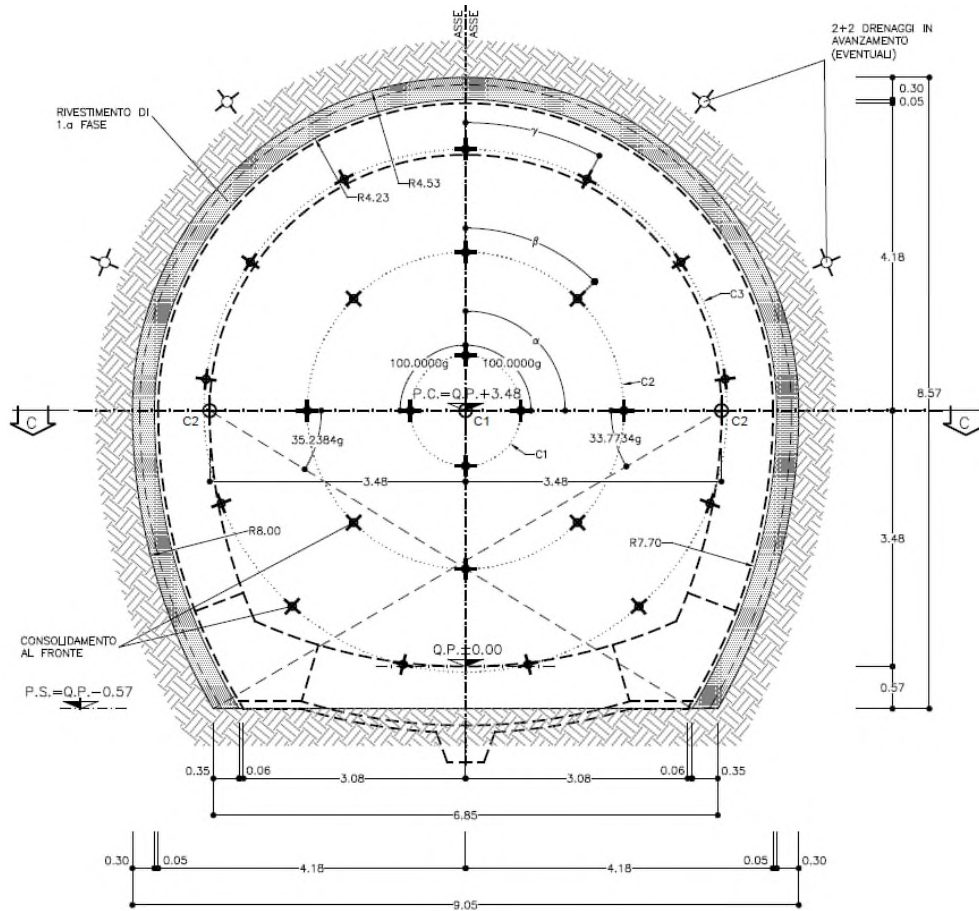


Figura 21 – Sezione Tipo B2 – Scavi e consolidamenti - Sezione

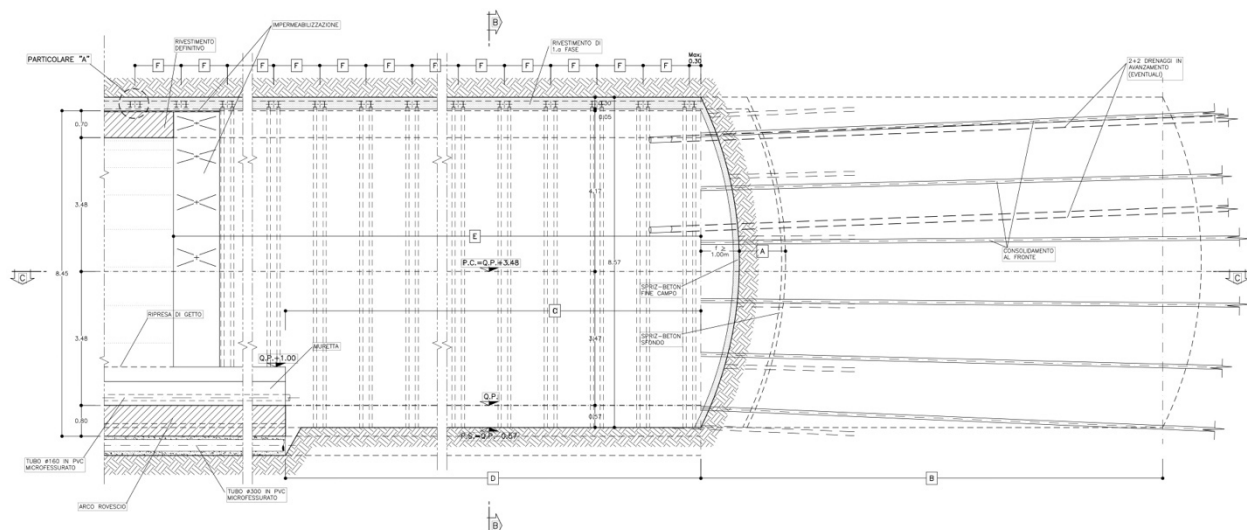


Figura 22 – Sezione Tipo B2 – Scavi e consolidamenti – Profilo longitudinale

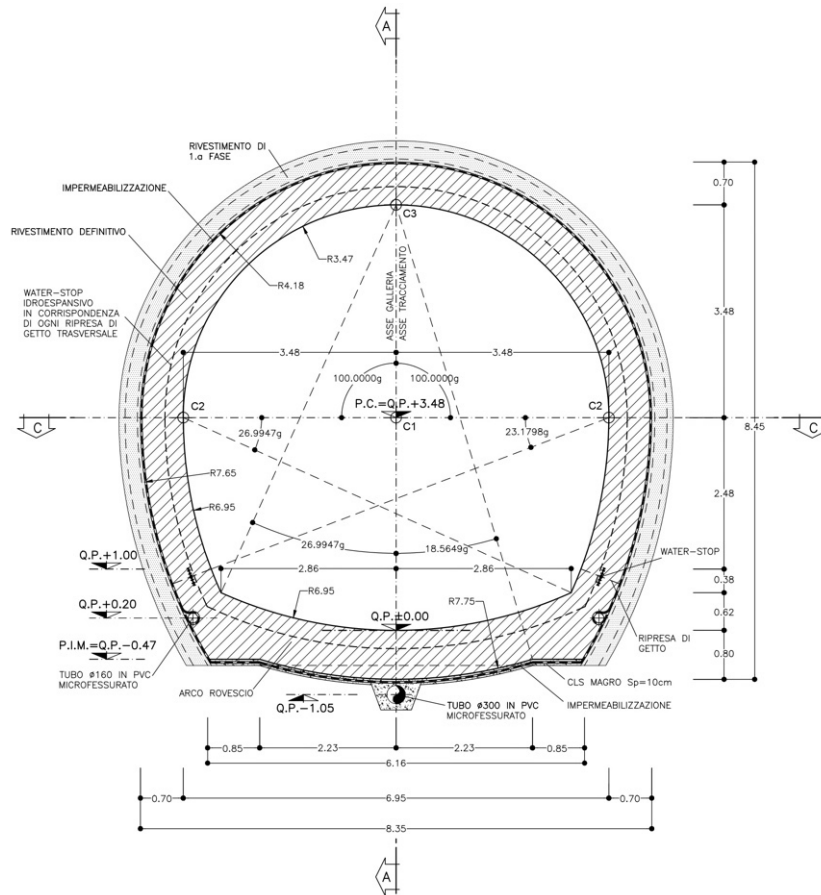


Figura 23 – Sezione Tipo B2 – Carpenteria – Sezioni

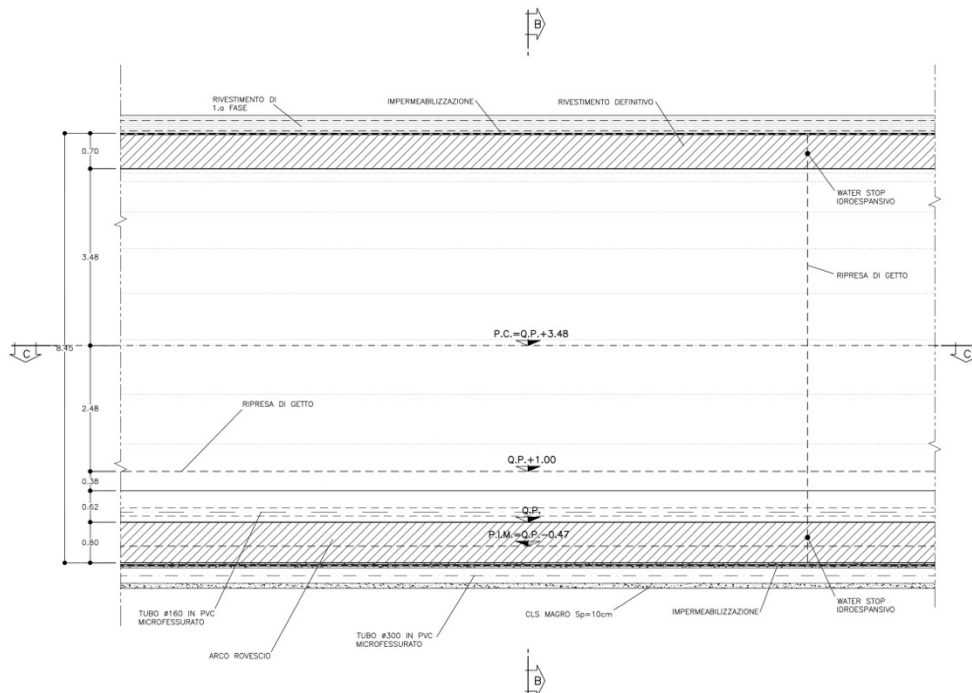


Figura 24 – Sezione Tipo B2 – Carpenteria – Profilo longitudinale

### 6.5.3 Fasi esecutive

Vengono eseguiti i consolidamenti al fronte mediante barre in VTR. Seguono gli eventuali drenaggi in avanzamento.

Si procede poi allo scavo a piena sezione per campi di 12.0 m mediante mezzi meccanici, con sfondi di profondità massima di 1.2 m. Al termine di ogni sfondo, il fronte dovrà essere sagomato a forma concava ( $f = 1.0\text{m}$ ) e dovrà essere eseguito un accurato disaggio al fronte ed al contorno di tutte le porzioni instabili. A seguire, prima di procedere al posizionamento delle centine, dovrà essere messo in opera uno strato di spritz-beton fibrorinforzato di protezione al fronte ed al contorno pari ad almeno 5 cm circa. I reali spessori dello spritz-beton fibrorinforzato di protezione al fronte ed al contorno dovranno essere valutati in dettaglio dal preposto al fronte in funzione del contesto geomeccanico locale.

Dopo ogni sfondo, verranno messe in opera le centine e uno strato di spritz-beton fibrorinforzato di spessore 20 cm al contorno dello scavo.

Il tampone di spritz-beton fibrorinforzato al fronte di fine campo, propedeutico all'esecuzione dell'intervento di consolidamento, dovrà possedere uno spessore  $> 15$  cm circa.

I getti delle murette e dell'arco rovescio in c.a. verranno eseguiti ad una distanza massima di 1.5 diametri dal fronte; per ultimo verrà eseguito il getto della calotta in c.a. ad una distanza massima di 4 diametri dal fronte, previa posa in opera dell'impermeabilizzazione, prevista anche in arco rovescio, dopo la messa in opera di uno strato di regolarizzazione di spritz-beton di spessore 3 cm.

## 6.6 Sezione Tipo B2 “Allargata”

### 6.6.1 Campo di applicazione

L'applicazione di tale sezione tipo è prevista all'interno della Formazione San Giovanni Bianco in facies Arenacea. L'allargato avrà la funzione di inversione mezzi in fase di scavo. La sagomatura idraulica verrà ripristinata in fase di getto dei rivestimenti.

### 6.6.2 Interventi previsti

La sezione tipo B2 “Allargata” in fase costruttiva è costituita da:

AREA DI SCAVO: 92.5 mq; DIAMETRO EQUIVALENTE: 10.45 m

SPRITZ-BETON AL CONTORNO sp.=18cm (5+10+3)	PRE SPRITZ-BETON sp.=5cm FIBRORINFORZATO CON FIBRE METALLICHE + SPRITZ-BETON DI COMPLETAMENTO sp.=10cm FIBRORINFORZATO CON FIBRE METALLICHE + SPRITZ-BETON DI REGOLARIZZAZIONE sp.=3cm, ADDITTIVATO CON FIBRE POLIMERICHE
SPRITZ-BETON AL FRONTE	EVENTUALE SPRITZ-BETON sp.=10cm FIBRORINFORZATO CON FIBRE METALLICHE AD OGNI SINGOLO SFONDO
BULLONI	N° 7-8 TIPO SWELLEX Pm24, L=5.50m, MAGLIA 2.00x1.50m
DRENAGGI	N°2+2 TUBI MICROFESSURATI IN PVC RIVESTITI CON CALZA TNT, L=24.00m, PASSO=12.00m

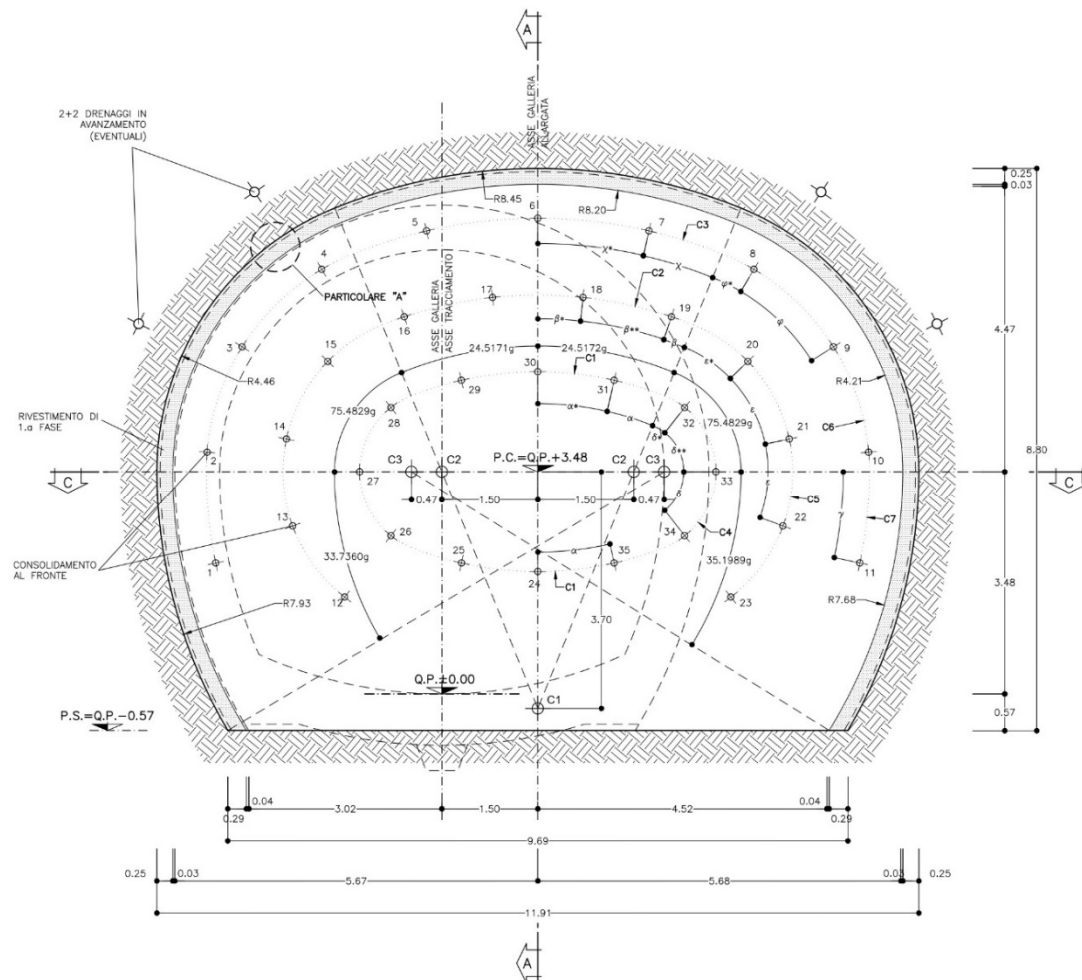


Figura 25 – Sezione Tipo B2 “Allargata” – Scavi e consolidamenti - Sezione

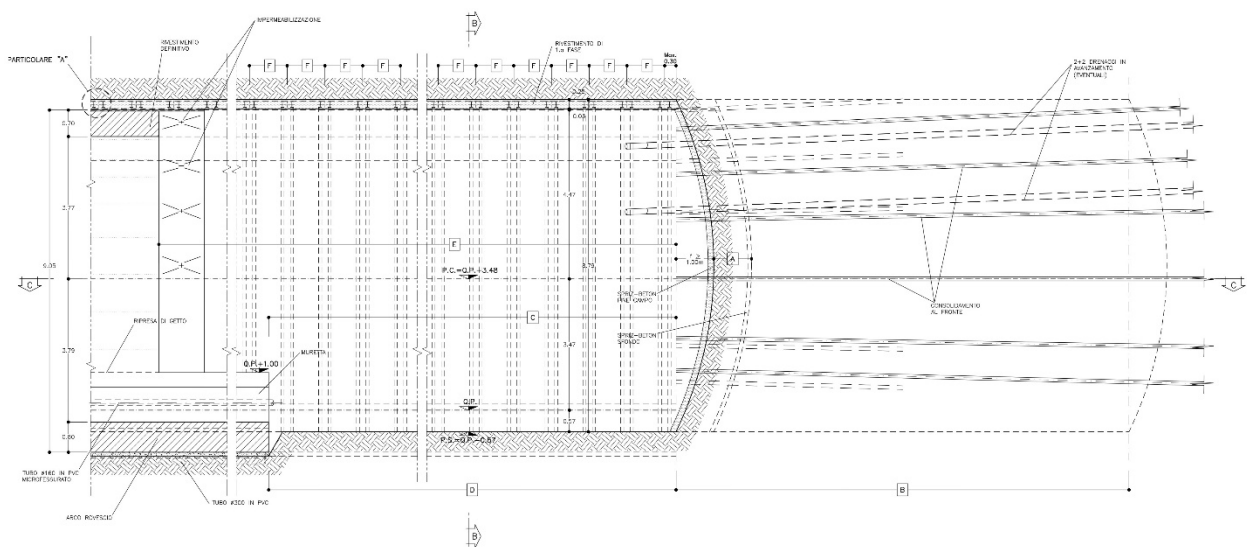


Figura 26 – Sezione Tipo B2 “Allargata” – Scavi e consolidamenti – Profilo longitudinale

**SEZIONE B-B**  
 SCALA 1:50  
 SEZIONE TRASVERSALE

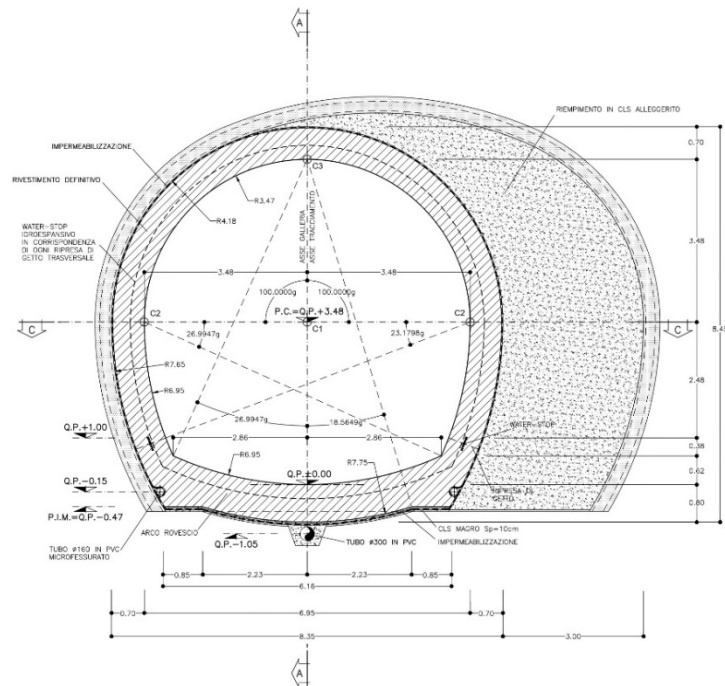


Figura 27 – Sezione Tipo B2 “Allargata” – Carpenteria – Sezioni

**SEZIONE A-A**  
 SCALA 1:50  
 PROFILO LONGITUDINALE

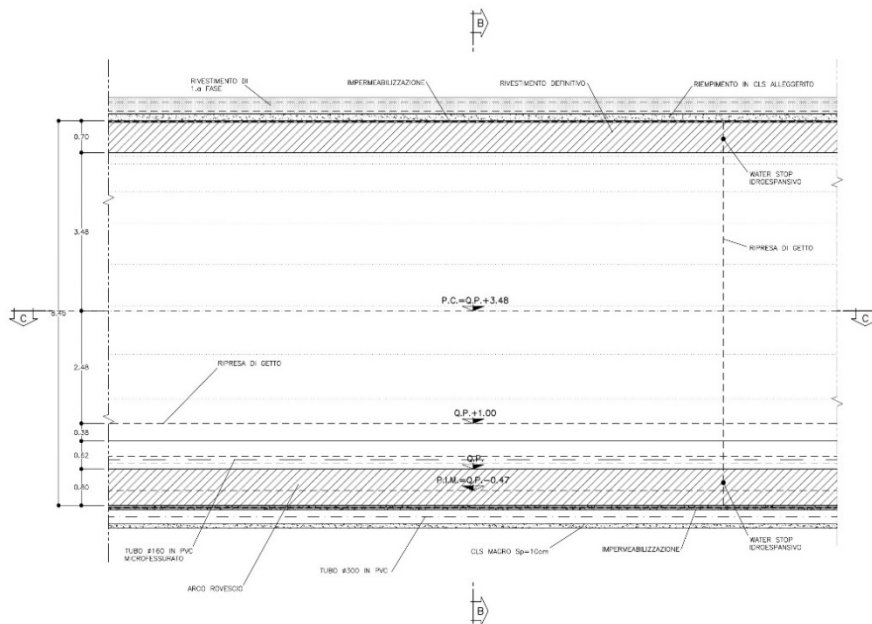


Figura 28 – Sezione Tipo B2 “Allargata” – Carpenteria – Profilo longitudinale

### 6.6.3 Fasi esecutive

Vengono eseguiti i consolidamenti al fronte mediante VTR cementati. Seguono gli eventuali drenaggi in avanzamento.

Si procede poi allo scavo a piena sezione per campi di 12.0 m mediante mezzi meccanici, con sfondi di profondità massima di 1.0 m. Al termine di ogni sfondo, il fronte dovrà essere sagomato a forma concava ( $f = 1.0$  m) e dovrà essere eseguito un accurato disgreggio al fronte ed al contorno di tutte le porzioni instabili. A seguire, prima di procedere al posizionamento delle centine, dovrà essere messo in opera uno strato di spritz-beton fibrorinforzato di protezione al fronte ed al contorno pari ad almeno 5 cm circa. I reali spessori dello spritz-beton fibrorinforzato di protezione al fronte ed al contorno dovranno essere valutati in dettaglio dal preposto al fronte in funzione del contesto geomeccanico locale.

Dopo ogni sfondo, verranno messe in opera le centine e uno strato di spritz-beton fibrorinforzato di spessore 20 cm al contorno dello scavo.

Il tampone di spritz-beton fibrorinforzato al fronte di fine campo, propedeutico all'esecuzione dell'intervento di consolidamento, dovrà possedere uno spessore  $\geq 15$  cm circa.

I getti delle murette e dell'arco rovescio in c.a. verranno eseguiti ad una distanza massima di 1.5 diametri dal fronte; per ultimo verrà eseguito il getto della calotta in c.a. ad una distanza massima di 4 diametri dal fronte, previa posa in opera dell'impermeabilizzazione, prevista anche in arco rovescio, dopo la messa in opera di uno strato di regolarizzazione di spritz-beton di spessore 3 cm. La sagoma idraulica del by-pass verrà ripristinata attraverso un getto di riempimento in CLS precedente alla fase di posa dell'impermeabilizzazione.

## 6.7 Sezione Tipo B2V

### 6.7.1 Campo di applicazione

L'applicazione di tale sezione tipo è prevista (in differenti percentuali di applicazione) all'interno della Formazione di San Giovanni Bianco in facies Evaporitica (GSI = 40-50), nella Formazione di Castro Sebino (GSI = 45-50), nella Formazione San Giovanni Bianco in facies arenacea (GSI = 55-60) e nell'Arenaria di Valsabbia (GSI = 45-55), compresa la zona di faglia (GSI = 15-25).

### 6.7.2 Interventi previsti

La sezione tipo B2V in fase costruttiva è costituita da:

AREA DI SCAVO: 66.5 mq; DIAMETRO EQUIVALENTE: 8.85 m

SPRITZ-BETON AL CONTORNO sp.=28cm (5+20+3)	PRE SPRITZ-BETON sp.=5cm FIBRORINFORZATO CON FIBRE METALLICHE + SPRITZ-BETON DI COMPLETAMENTO sp.=20cm FIBRORINFORZATO CON FIBRE METALLICHE + SPRITZ-BETON DI REGOLARIZZAZIONE sp.=3cm, ADDITTIVATO CON FIBRE POLIMERICHE
SPRITZ-BETON AL FRONTE	EVENTUALE SPRITZ-BETON sp.=10cm FIBRORINFORZATO CON FIBRE METALLICHE AD OGNI SINGOLO SFONDO
	SPRITZ-BETON sp.=15cm FIBRORINFORZATO CON FIBRE METALLICHE A FINE CAMPO
CENTINE	2IPE 160 PASSO 120cm
PRESOSTEGNO AL CONTORNO	N.23 TUBI METALLICI VALVOLATI (2vlv/m) $\varnothing$ 114.3/10 p. 40 cm L=16.00m SOVRAPPOSIZIONE 4.00m
CONSOLIDAMENTI AL FRONTE	N.25 TUBI IN VTR CEMENTATI L=16.00m SOVRAPPOSIZIONE 4.00m
DRENAGGI (EVENTUALI)	N°2+2 TUBI MICROFESSURATI IN PVC RIVESTITI CON CALZA TNT, L=24.00m, PASSO=12.00m



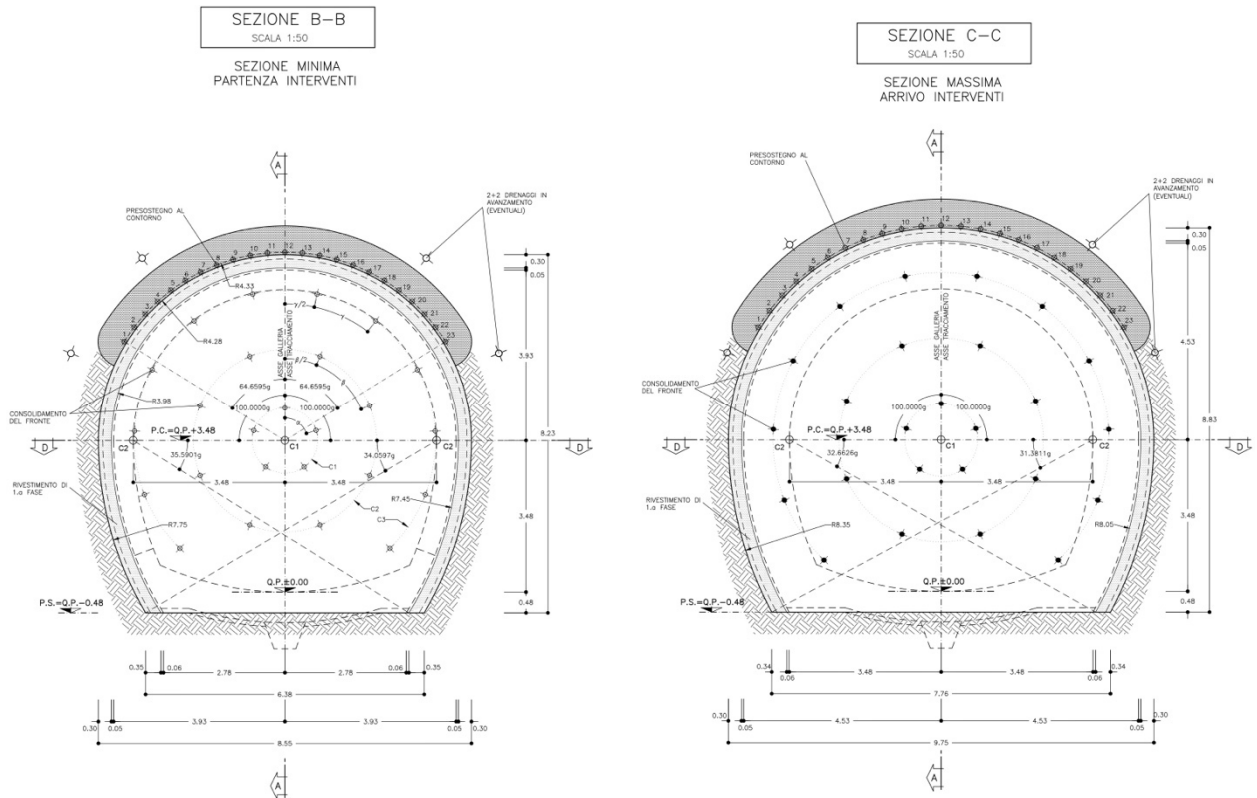


Figura 29 – Sezione Tipo B2V – Scavi e consolidamenti - Sezione

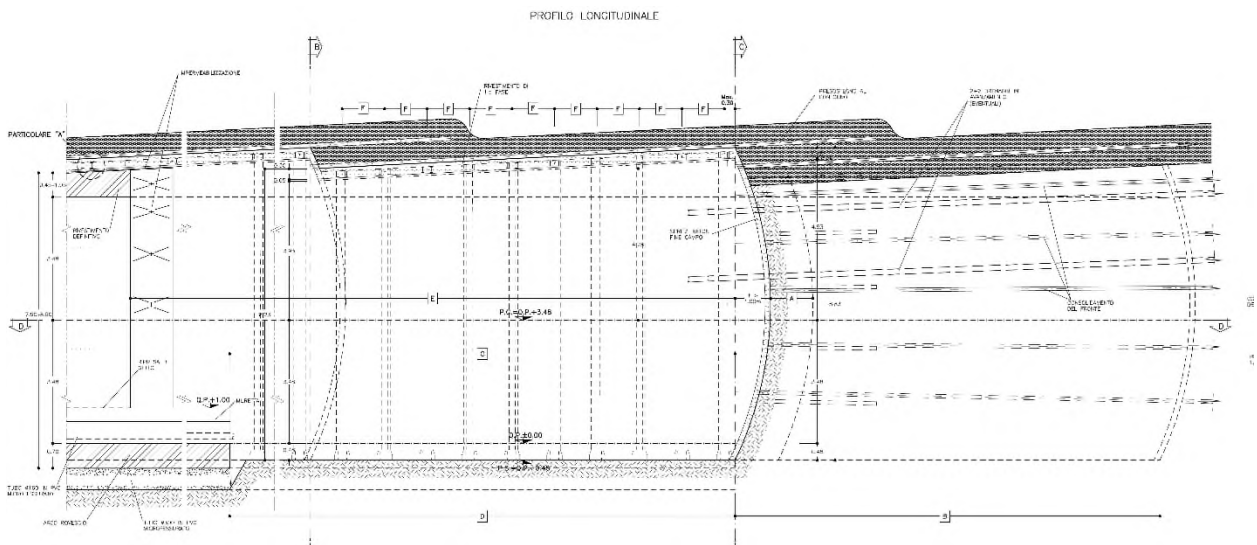


Figura 30 – Sezione Tipo B2V – Scavi e consolidamenti – Profilo longitudinale

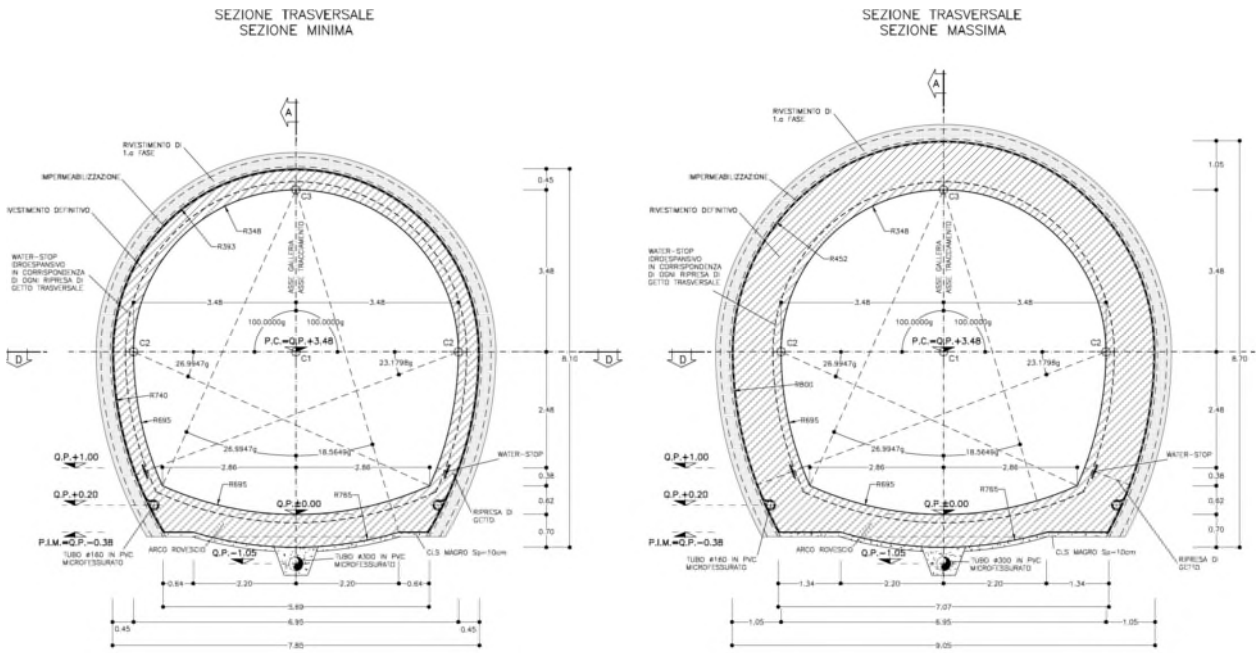


Figura 31 – Sezione Tipo B2V – Carpenteria – Sezioni

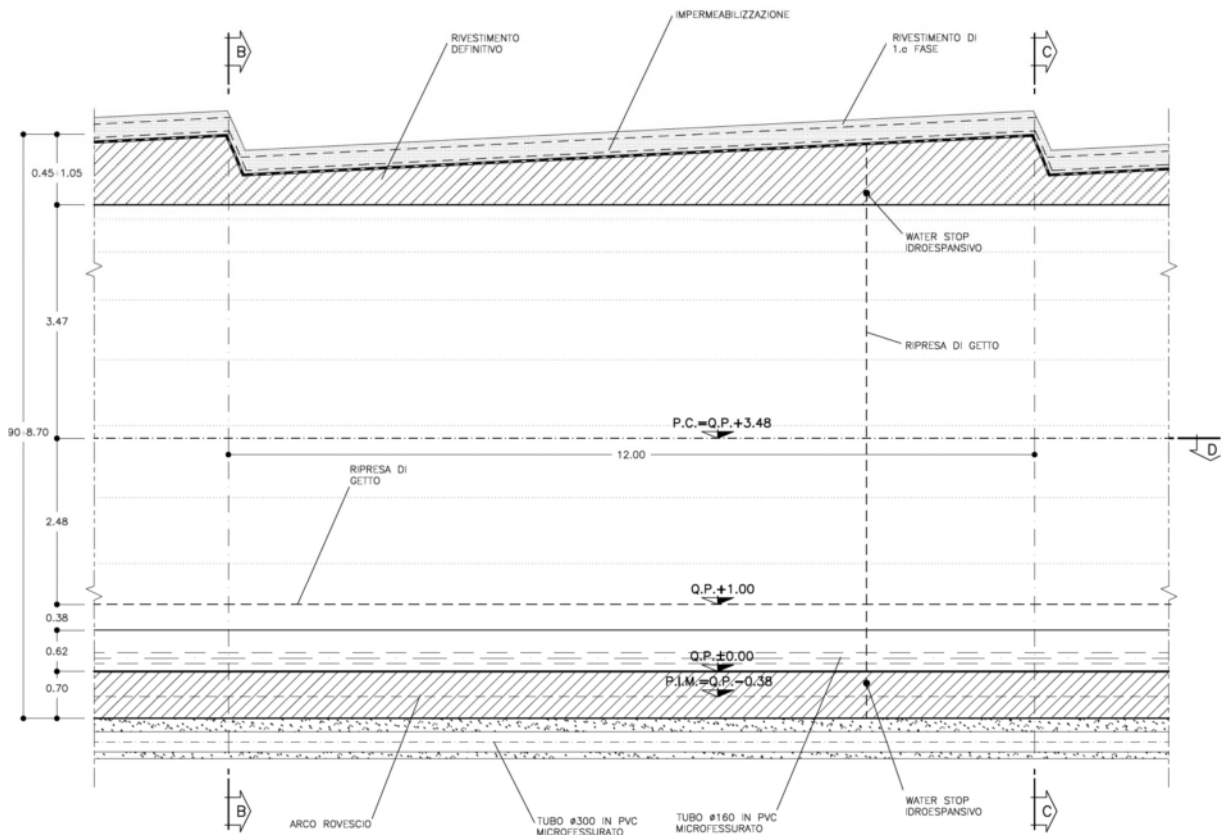


Figura 32 – Sezione Tipo B2V – Carpenteria – Profilo longitudinale

### 6.7.3 Fasi esecutive

Vengono eseguiti i consolidamenti al fronte e al contorno mediante barre in VTR. Seguono gli eventuali drenaggi in avanzamento.

Si procede poi allo scavo a piena sezione per campi di 12.0 m mediante mezzi meccanici, con sfondi di profondità massima di 1.2 m. Al termine di ogni sfondo, il fronte dovrà essere sagomato a forma concava ( $f = 1.0\text{m}$ ) e dovrà essere eseguito un accurato disaggio al fronte ed al contorno di tutte le porzioni instabili. A seguire, prima di procedere al posizionamento delle centine, dovrà essere messo in opera uno strato di spritz-beton fibrorinforzato di protezione al fronte ed al contorno pari ad almeno 5 cm circa. I reali spessori dello spritz-beton fibrorinforzato di protezione al fronte ed al contorno dovranno essere valutati in dettaglio dal preposto al fronte in funzione del contesto geomeccanico locale.

Dopo ogni sfondo, verranno messe in opera le centine e uno strato di spritz-beton fibrorinforzato di spessore 20 cm al contorno dello scavo.

Il tampone di spritz-beton fibrorinforzato al fronte di fine campo, propedeutico all'esecuzione dell'intervento di consolidamento, dovrà possedere uno spessore  $> 15$  cm circa.

I getti delle murette e dell'arco rovescio in c.a. verranno eseguiti ad una distanza massima di 2 diametri dal fronte; per ultimo verrà eseguito il getto della calotta ad una distanza massima di 5 diametri dal fronte, previa posa in opera dell'impermeabilizzazione, dopo la messa in opera di uno strato di regolarizzazione di spritz-beton di spessore 3 cm.

## 6.8 Sezione Tipo B2V\*

### 6.8.1 Campo di applicazione

L'applicazione di tale sezione tipo è prevista (in differenti percentuali di applicazione) all'interno della Formazione di San Giovanni Bianco in facies Evaporitica (GSI = 40-50), nella Formazione di Castro Sebino (GSI = 45-50), nella Formazione San Giovanni Bianco in facies arenacea (GSI = 55-60) e nell'Arenaria di Valsabbia (GSI = 45-55), compresa la zona di faglia (GSI = 15-25); in particolare sarà impiegata in alternativa alla sezione B2V in presenza di possibili intercettazioni di zone più fratturate o di faglia.

### 6.8.2 Interventi previsti

La sezione tipo B2V\* in fase costruttiva è costituita da:

AREA DI SCAVO: 69.5 mq; DIAMETRO EQUIVALENTE: 9.03 m

SPRITZ-BETON AL CONTORNO sp.=28cm (5+20+3)	PRE SPRITZ-BETON sp.=5cm FIBRORINFORZATO CON FIBRE METALLICHE + SPRITZ-BETON DI COMPLETAMENTO sp.=20cm FIBRORINFORZATO CON FIBRE METALLICHE + SPRITZ-BETON DI REGOLARIZZAZIONE sp.=3cm, ADDITTIVATO CON FIBRE POLIMERICHE
SPRITZ-BETON AL FRONTE	EVENTUALE SPRITZ-BETON sp.=10cm FIBRORINFORZATO CON FIBRE METALLICHE AD OGNI SINGOLO SFONDO
	SPRITZ-BETON sp.=15cm FIBRORINFORZATO CON FIBRE METALLICHE A FINE CAMPO
CENTINE	2IPE 160 PASSO 100cm
PRESOSTEGNO AL CONTORNO	N.25 TUBI METALLICI VALVOLATI (1 viv/m) $\phi$ 114.3/10 p. 40 cm L=18.00m SOVRAPPOSIZIONE 6.00m
CONSOLIDAMENTI AL FRONTE	N.25 TUBI IN VTR CEMENTATI L=18.00m SOVRAPPOSIZIONE 6.00m
DRENAGGI (EVENTUALI)	N°2+2, L=24.00m, sovr.=12.00m

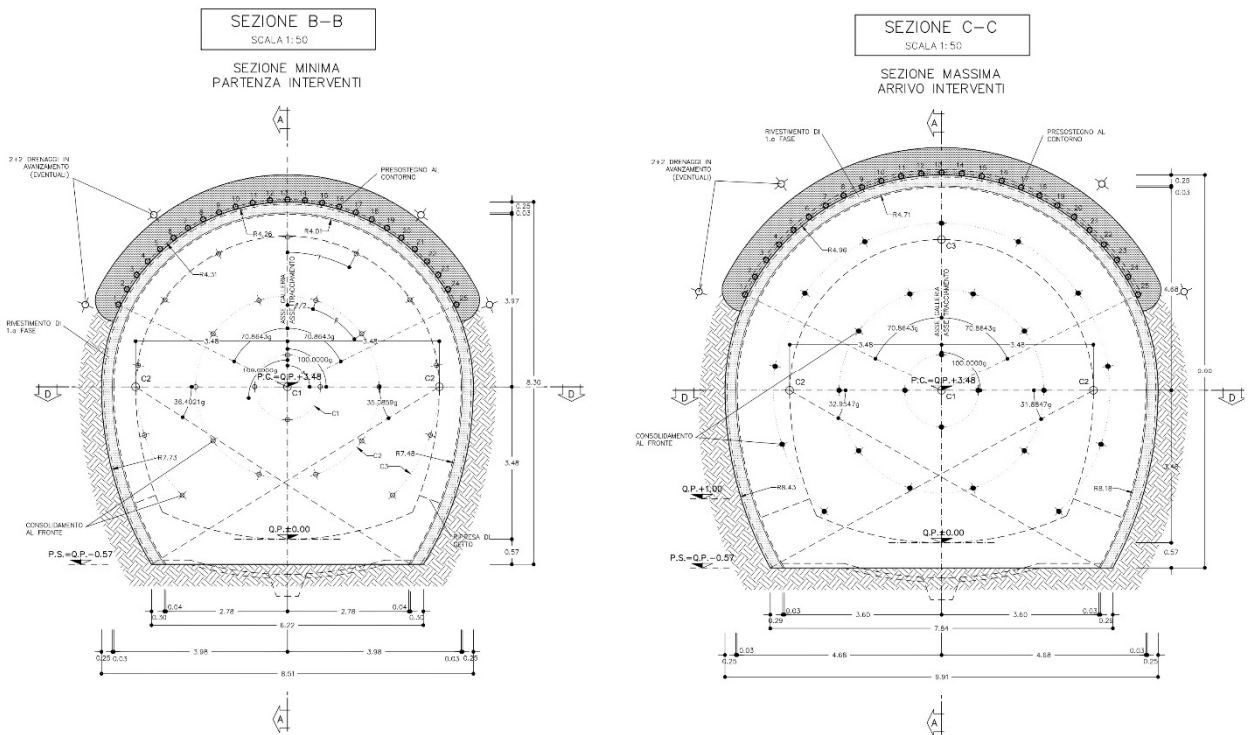


Figura 33 – Sezione Tipo B2V\* – Scavi e consolidamenti - Sezione

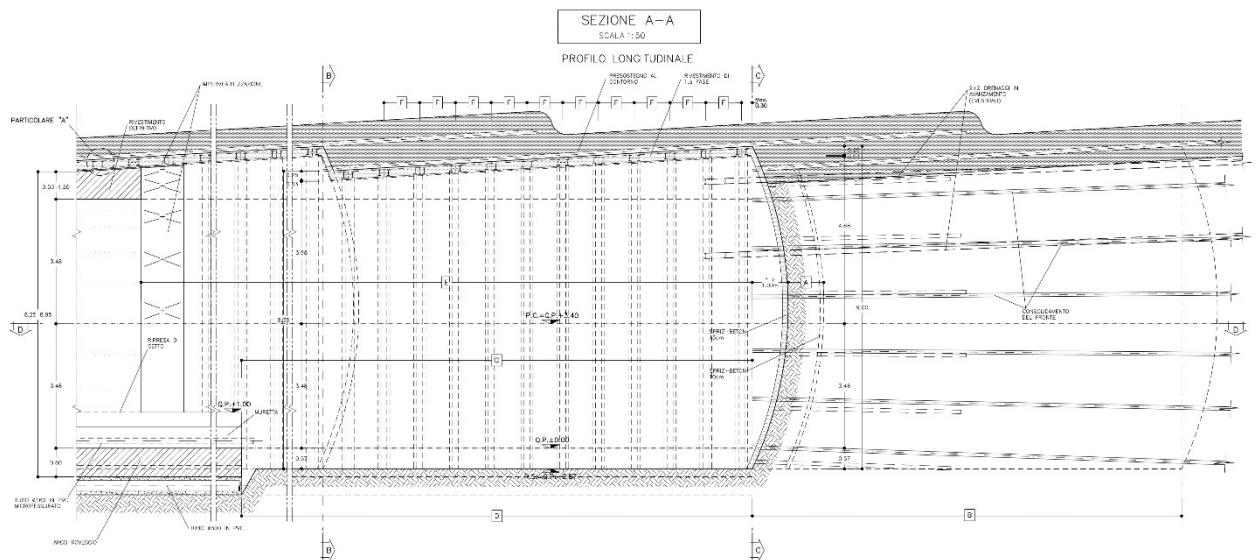


Figura 34 – Sezione Tipo B2V\* – Scavi e consolidamenti – Profilo longitudinale

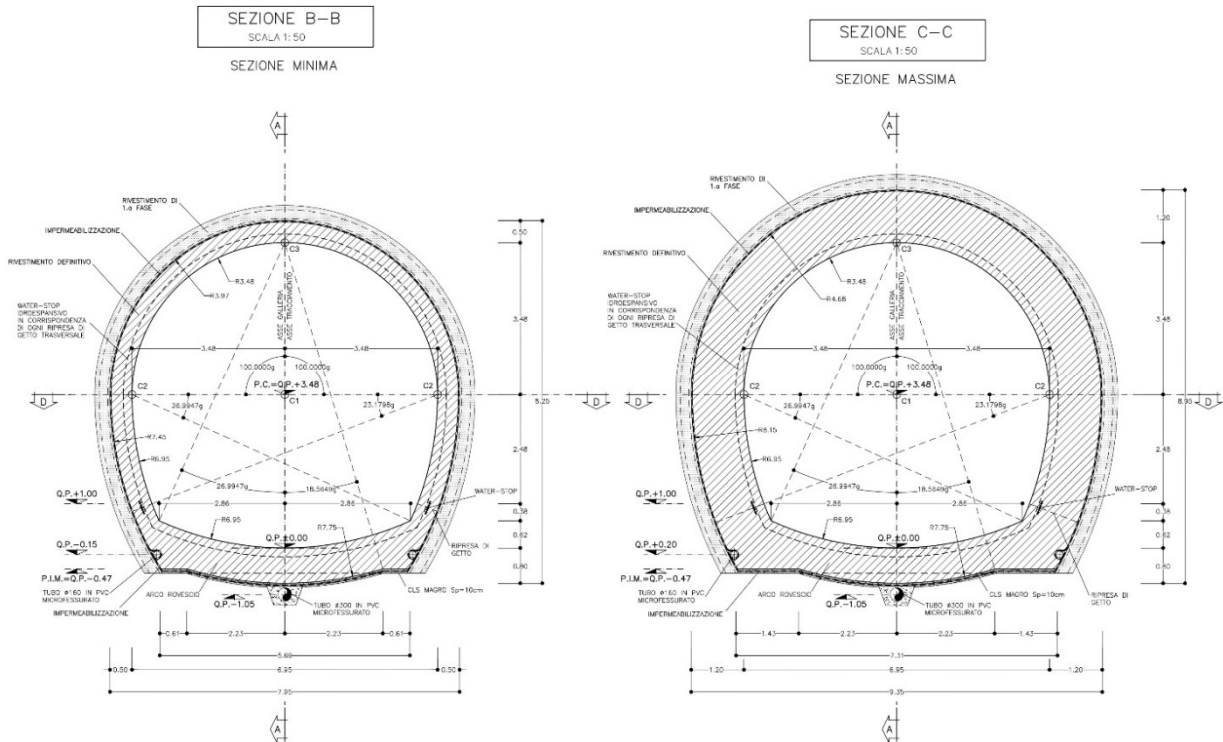


Figura 35 – Sezione Tipo B2V\* – Carpenteria – Sezioni

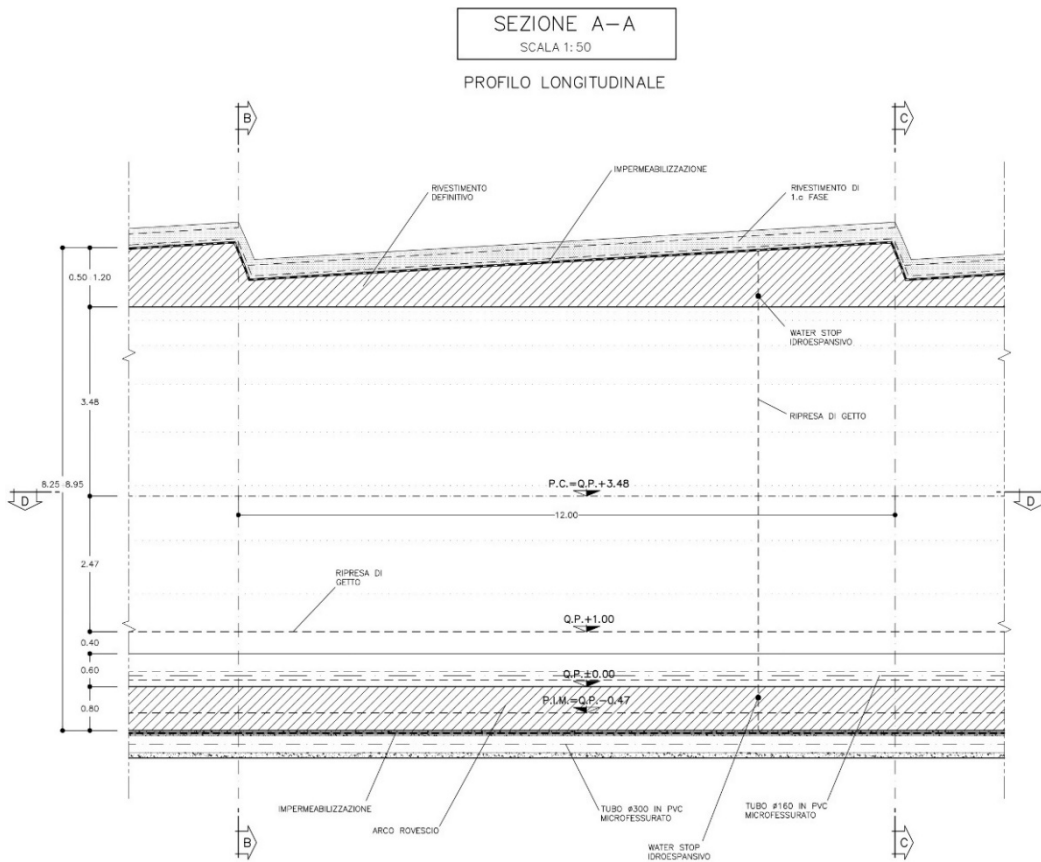


Figura 36 – Sezione Tipo B2V\* – Carpenteria – Profilo longitudinale

### 6.8.3 Fasi esecutive

Vengono eseguiti i consolidamenti al fronte e al contorno mediante barre in VTR. Seguono gli eventuali drenaggi in avanzamento.

Si procede poi allo scavo a piena sezione per campi di 12.0 m mediante mezzi meccanici, con sfondi di profondità massima di 1.2 m. Al termine di ogni sfondo, il fronte dovrà essere sagomato a forma concava ( $f = 1.0\text{m}$ ) e dovrà essere eseguito un accurato disaggio al fronte ed al contorno di tutte le porzioni instabili. A seguire, prima di procedere al posizionamento delle centine, dovrà essere messo in opera uno strato di spritz-beton fibrorinforzato di protezione al fronte ed al contorno pari ad almeno 5 cm circa. I reali spessori dello spritz-beton fibrorinforzato di protezione al fronte ed al contorno dovranno essere valutati in dettaglio dal preposto al fronte in funzione del contesto geomeccanico locale.

Dopo ogni sfondo, verranno messe in opera le centine e uno strato di spritz-beton fibrorinforzato di spessore 20 cm al contorno dello scavo.

Il tampone di spritz-beton fibrorinforzato al fronte di fine campo, propedeutico all'esecuzione dell'intervento di consolidamento, dovrà possedere uno spessore  $> 15$  cm circa.

I getti delle murette e dell'arco rovescio in c.a. verranno eseguiti ad una distanza massima di 2 diametri dal fronte; per ultimo verrà eseguito il getto della calotta ad una distanza massima di 5 diametri dal fronte, previa posa in opera dell'impermeabilizzazione, dopo la messa in opera di uno strato di regolarizzazione di spritz-beton di spessore 3 cm.

## 6.9 Sezione Tipo C2

### 6.9.1 Campo di applicazione

L'applicazione di tale sezione tipo è prevista all'interno della Formazione di San Giovanni Bianco in facies Evaporitica (GSI = 40-50) o in zona di faglia (core-zone – GSI = 15-20).

### 6.9.2 Interventi previsti

La sezione tipo C2 in fase costruttiva è costituita da:

AREA DI SCAVO: 65.9 mq; DIAMETRO EQUIVALENTE: 8.80 m

SPRITZ-BETON AL CONTORNO sp.=35cm (10+20+5)	PRE SPRITZ-BETON sp.=10cm FIBRORINFORZATO CON FIBRE METALLICHE + SPRITZ-BETON DI COMPLETAMENTO sp.=20cm FIBRORINFORZATO CON FIBRE METALLICHE + SPRITZ-BETON DI REGOLARIZZAZIONE sp.=5cm, ADDITTIVATO CON FIBRE POLIMERICHE
SPRITZ-BETON AL FRONTE	PRE SPRITZ-BETON sp.=10cm FIBRORINFORZATO CON FIBRE METALLICHE AD OGNI SINGOLO SFONDO
	PRE SPRITZ-BETON sp.=15cm FIBRORINFORZATO CON FIBRE METALLICHE A FINE CAMPO
CENTINE	2IPE 180 PASSO 100cm
CONSOLIDAMENTI AL FRONTE	N.40 TUBI IN VTR CEMENTATI L=18.00m SOVRAPPOSIZIONE 9.00m
CONSOLIDAMENTI AL CONTORNO	N.25 TUBI IN VTR VALVOLATI (2vlv/m) L=15.00m SOVRAPPOSIZIONE 6.00m
CONSOLIDAMENTI AL PIEDE CENTINA	N.4+4 TUBI IN VTR VALVOLATI (2vlv/m) L=15.00m SOVRAPPOSIZIONE 6.00m
DRENAGGI (EVENTUALI)	N°2+2 TUBI MICROFESSURATI IN PVC RIVESTITI CON CALZA TNT, L=24.00m, PASSO=9.00m



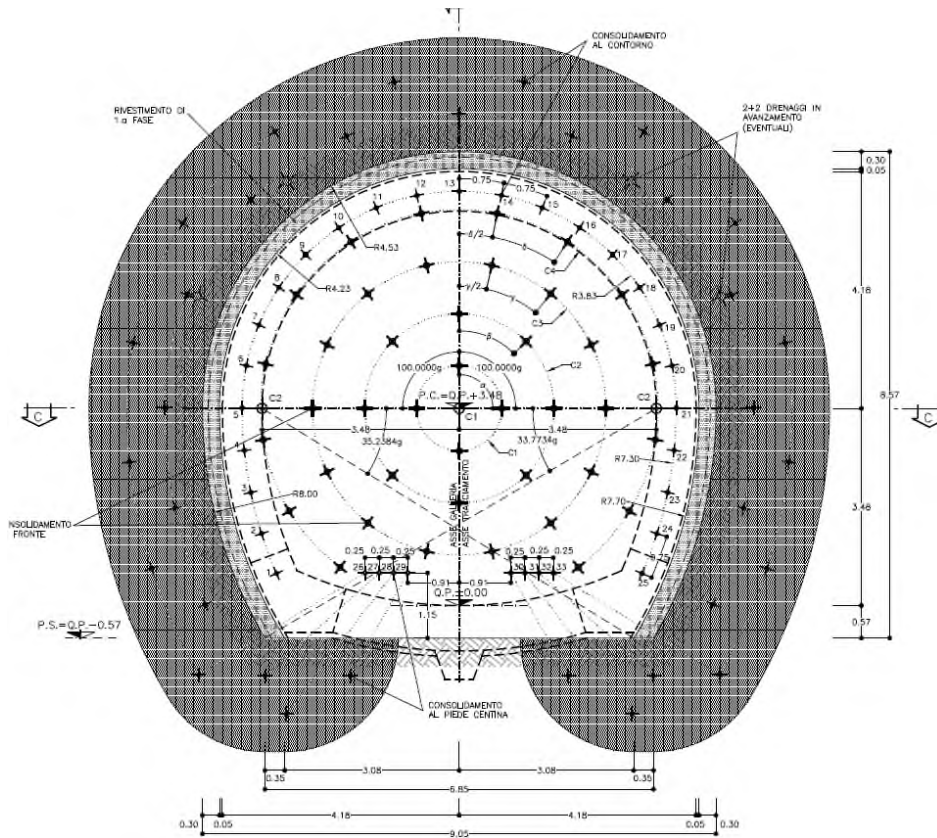


Figura 37 – Sezione Tipo C2 – Scavi e consolidamenti - Sezione

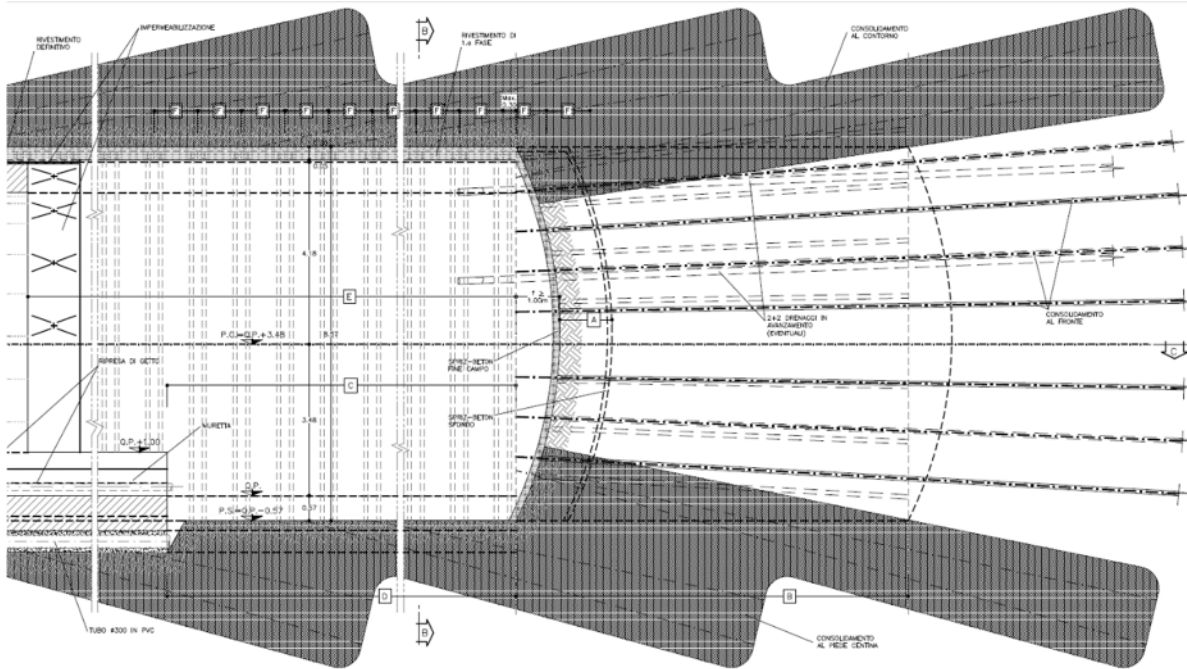


Figura 38 – Sezione Tipo C2 – Scavi e consolidamenti – Profilo longitudinale

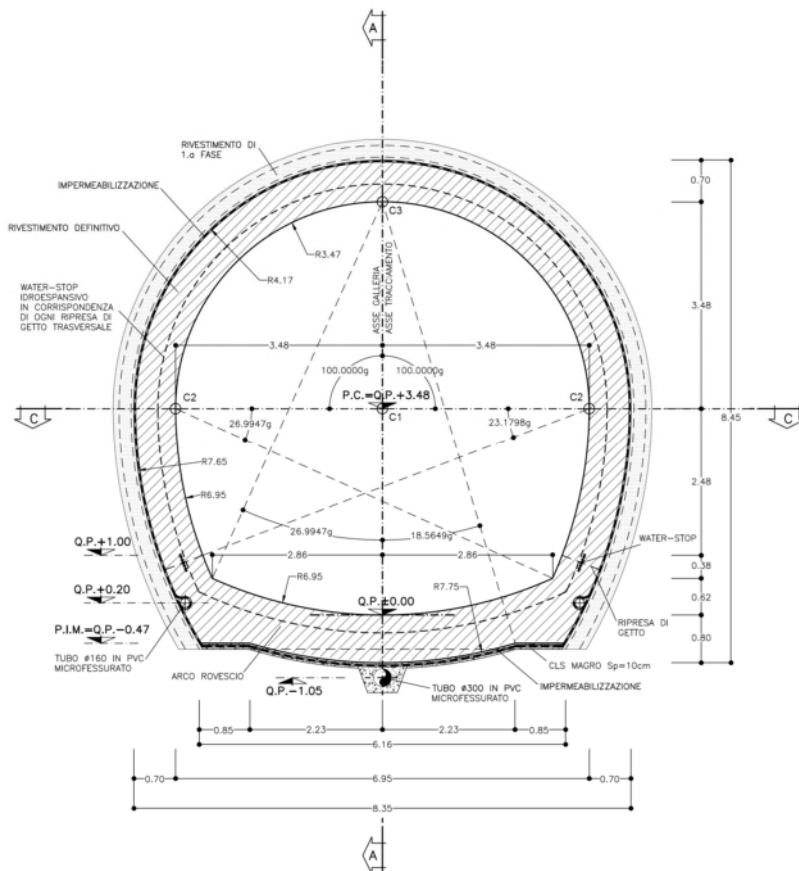


Figura 39 – Sezione Tipo C2 – Carpenteria – Sezioni

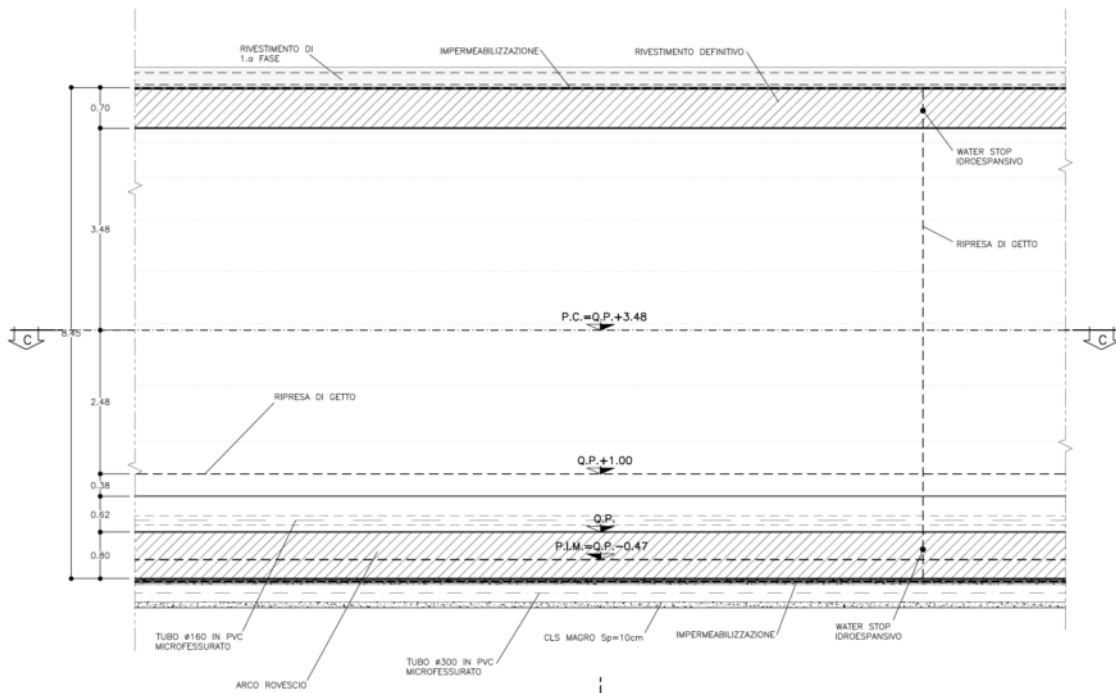


Figura 40 – Sezione Tipo C2 – Carpenteria – Profilo longitudinale

### 6.9.3 Fasi esecutive

Vengono eseguiti i consolidamenti al fronte in VTR cementati e al contorno mediante VTR valvolati ed iniettati con miscele cementizie. Seguono gli eventuali drenaggi in avanzamento.

Si procede poi allo scavo a piena sezione per campi di 9.0 m mediante mezzi meccanici, con sfondi di profondità massima di 1.0 m. Al termine di ogni sfondo, il fronte dovrà essere sagomato a forma concava ( $f = 1.0$  m) e dovrà essere eseguito un accurato disaggio al fronte ed al contorno di tutte le porzioni instabili. A seguire, prima di procedere al posizionamento delle centine, dovrà essere messo in opera uno strato di spritz-beton fibrorinforzato di protezione al fronte ed al contorno pari ad almeno 5 cm circa. I reali spessori dello spritz-beton fibrorinforzato di protezione al fronte ed al contorno dovranno essere valutati in dettaglio dal preposto al fronte in funzione del contesto geomeccanico locale.

Dopo ogni sfondo, verranno messe in opera le centine e uno strato di spritz-beton fibrorinforzato di spessore 20 cm al contorno dello scavo.

Il tampone di spritz-beton fibrorinforzato al fronte di fine campo, propedeutico all'esecuzione dell'intervento di consolidamento, dovrà possedere uno spessore  $> 15$  cm circa.

I getti delle murette e dell'arco rovescio verranno eseguiti in c.a. ad una distanza massima di 1 diametro dal fronte; per ultimo verrà eseguito il getto della calotta in c.a. ad una distanza massima di 3 diametri dal fronte, previa posa in opera dell'impermeabilizzazione, prevista anche in arco rovescio, dopo la messa in opera di uno strato di regolarizzazione di spritz-beton di spessore 3 cm.

## 6.10 Sezione Tipo B2P

### 6.10.1 Campo di applicazione

L'applicazione di tale sezione tipo è prevista (in differenti percentuali di applicazione) all'interno della Formazione di San Giovanni Bianco in facies Evaporitica (GSI = 40-50), nella Formazione di Castro Sebino (GSI = 45-50), nella Formazione San Giovanni Bianco in facies Terrosa (GSI = 45-50).

### 6.10.2 Interventi previsti

La sezione tipo B2P in fase costruttiva è costituita da:

AREA DI SCAVO: 65.9 mq; DIAMETRO EQUIVALENTE: 8.80 m

SPRITZ-BETON AL CONTORNO sp.=28cm (5+20+3)	PRE SPRITZ-BETON sp.=5cm FIBRORINFORZATO CON FIBRE METALLICHE + SPRITZ-BETON DI COMPLETAMENTO sp.=20cm FIBRORINFORZATO CON FIBRE METALLICHE + SPRITZ-BETON DI REGOLARIZZAZIONE sp.=3cm, ADDITTIVATO CON FIBRE POLIMERICHE
SPRITZ-BETON AL FRONTE	EVENTUALE SPRITZ-BETON sp.=10cm FIBRORINFORZATO CON FIBRE METALLICHE AD OGNI SINGOLO SFONDO
	SPRITZ-BETON sp.=15cm FIBRORINFORZATO CON FIBRE METALLICHE A FINE CAMPO
CENTINE	2IPE 160 PASSO 100cm
CONSOLIDAMENTI AL FRONTE	N.35 TUBI IN VTR CEMENTATI L=18.00m SOVRAPPOSIZIONE 6.00m
DRENAGGI (EVENTUALI)	N°2+2 TUBI MICROFESSURATI IN PVC RIVESTITI CON CALZA TNT, L=24.00m, SOVR.=12.00m

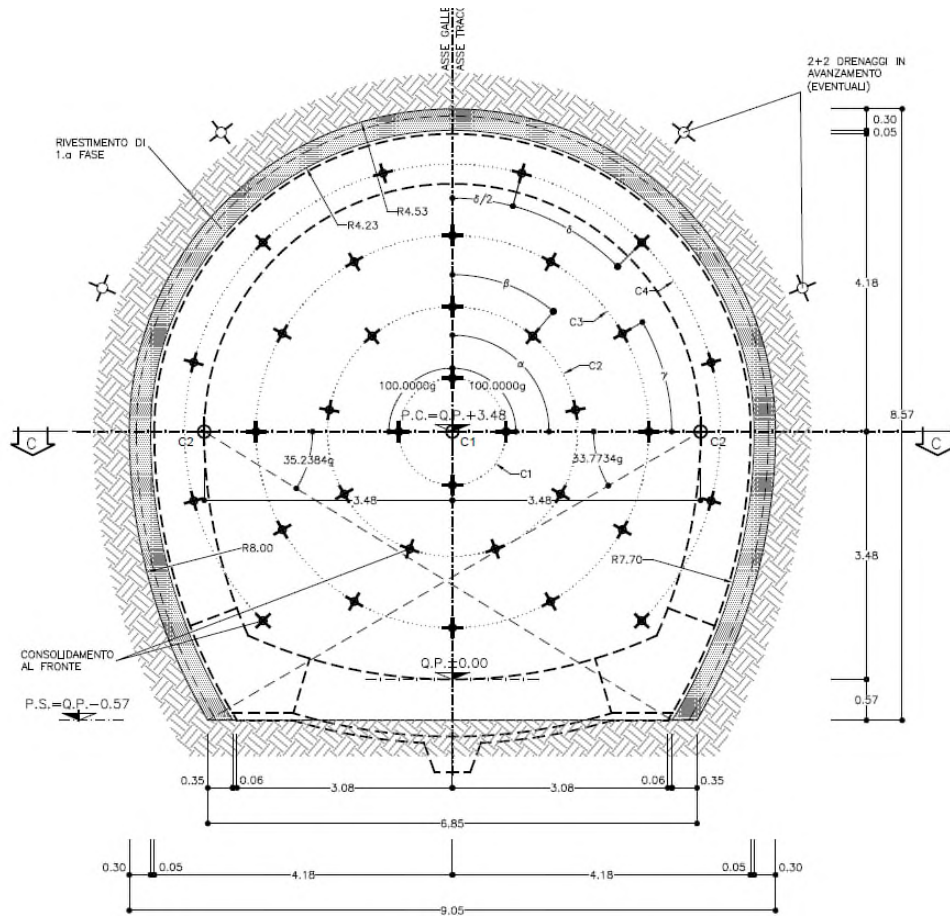


Figura 41 – Sezione Tipo B2P – Scavi e consolidamenti - Sezione

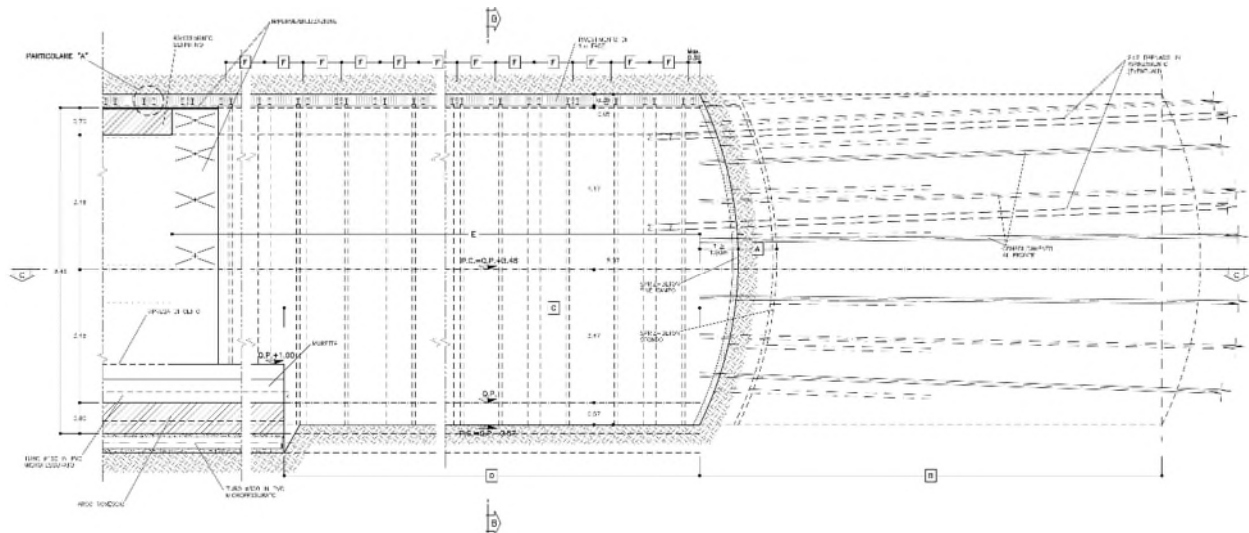


Figura 42 – Sezione Tipo B2P – Scavi e consolidamenti – Profilo longitudinale

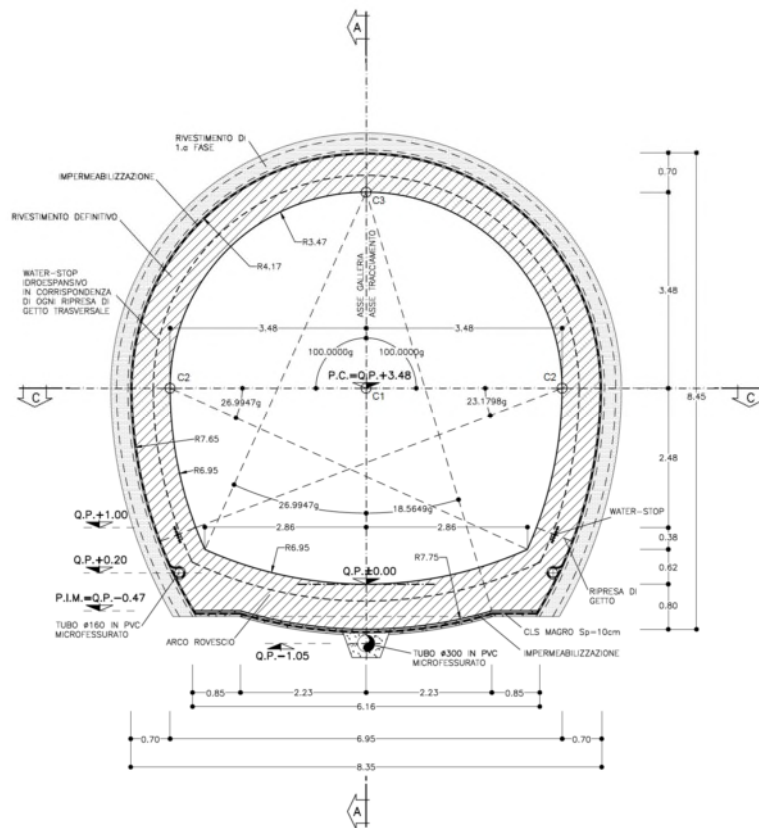


Figura 43 – Sezione Tipo B2P – Carpenteria – Sezioni

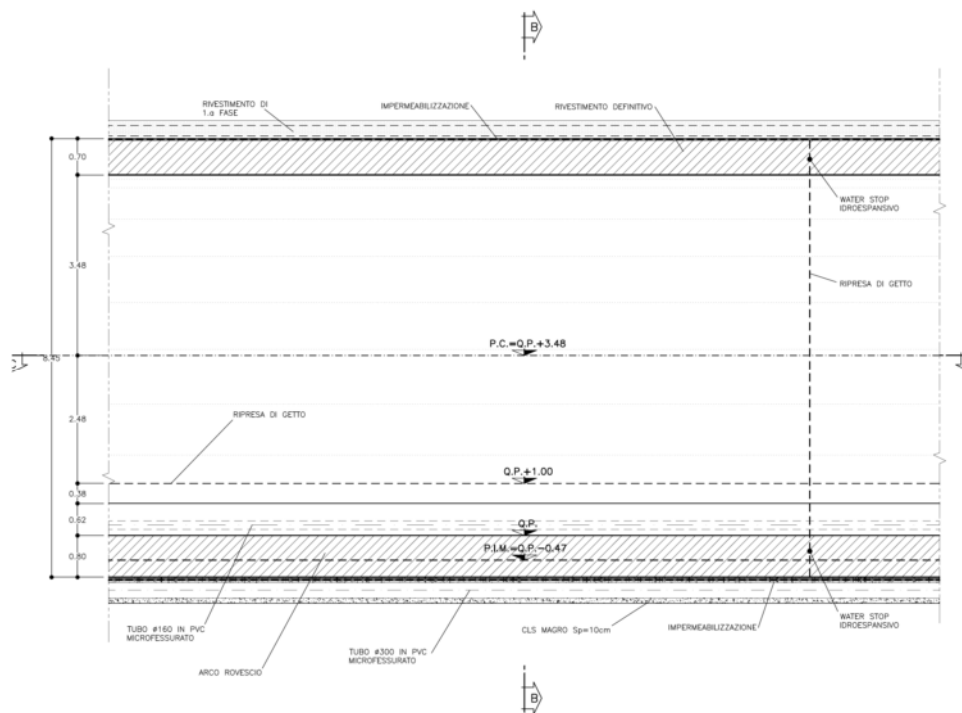


Figura 44 – Sezione Tipo B2P – Carpenteria – Profilo longitudinale

### 6.10.3 Fasi esecutive

Vengono eseguiti i consolidamenti al fronte mediante barre in VTR. Seguono gli eventuali drenaggi in avanzamento.

Si procede poi allo scavo a piena sezione per campi di 12.0 m mediante mezzi meccanici, con sfondi di profondità massima di 1.0 m. Al termine di ogni sfondo, il fronte dovrà essere sagomato a forma concava ( $f = 1.0$  m) e dovrà essere eseguito un accurato disgreggio al fronte ed al contorno di tutte le porzioni instabili. A seguire, prima di procedere al posizionamento delle centine, dovrà essere messo in opera uno strato di spritz-beton fibrorinforzato di protezione al fronte ed al contorno pari ad almeno 5 cm circa. I reali spessori dello spritz-beton fibrorinforzato di protezione al fronte ed al contorno dovranno essere valutati in dettaglio dal preposto al fronte in funzione del contesto geomeccanico locale.

Dopo ogni sfondo, verranno messe in opera le centine e uno strato di spritz-beton fibrorinforzato di spessore 20 cm al contorno dello scavo.

Il tampone di spritz-beton fibrorinforzato al fronte di fine campo, propedeutico all'esecuzione dell'intervento di consolidamento, dovrà possedere uno spessore  $> 15$  cm circa.

I getti delle murette e dell'arco rovescio in c.a. verranno eseguiti ad una distanza massima di 1.5 diametri dal fronte; per ultimo verrà eseguito il getto della calotta in c.a. ad una distanza massima di 4 diametri dal fronte, previa posa in opera dell'impermeabilizzazione, prevista anche in arco rovescio, dopo la messa in opera di uno strato di regolarizzazione di spritz-beton di spessore 3 cm.

## 6.11 Sezione Tipo B2VP

### 6.11.1 Campo di applicazione

L'applicazione di tale sezione tipo è prevista all'interno della Formazione di San Giovanni Bianco in facies Evaporitica (GSI = 40-50) e in corrispondenza della formazione di Castro Sebino, una volta superata la zona di faglia.

### 6.11.2 Interventi previsti

La sezione tipo B2VP in fase costruttiva è costituita da:

AREA MEDIA DI SCAVO: 69.5 mq; DIAMETRO EQUIVALENTE MEDIO: 9.03 m

SPRITZ-BETON AL CONTORNO sp.=28cm (5+20+3)	PRE SPRITZ-BETON sp.=5cm FIBRORINFORZATO CON FIBRE METALLICHE + SPRITZ-BETON DI COMPLETAMENTO sp.=20cm FIBRORINFORZATO CON FIBRE METALLICHE + SPRITZ-BETON DI REGOLARIZZAZIONE sp.=3cm, ADDITTIVATO CON FIBRE POLIMERICHE
SPRITZ-BETON AL FRONTE	EVENTUALE SPRITZ-BETON sp.=10cm FIBRORINFORZATO CON FIBRE METALLICHE AD OGNI SINGOLO SFONDO
	SPRITZ-BETON sp.=15cm FIBRORINFORZATO CON FIBRE METALLICHE A FINE CAMPO
CENTINE	2IPE 180 PASSO 100cm
PRESOSTEGNO AL CONTORNO	N.25 TUBI METALLICI VALVOLATI (1 vlv/m) $\varnothing$ 114.3/10 p. 40 cm L=18.00m SOVRAPPOSIZIONE 6.00m
CONSOLIDAMENTI AL FRONTE	N.35 TUBI IN VTR CEMENTATI L=18.00m SOVRAPPOSIZIONE 6.00m
DRENAGGI (EVENTUALI)	N°2+2, L=24.00m, sovr.=12.00m



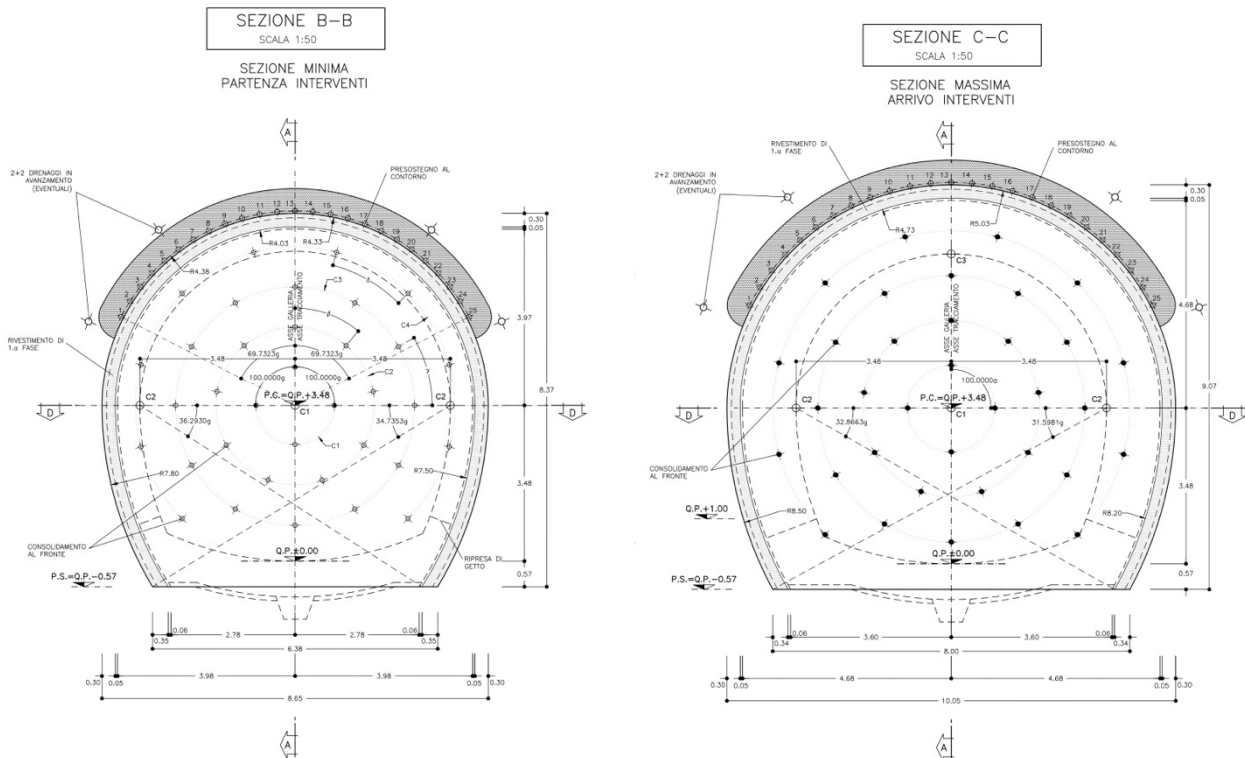


Figura 45 – Sezione Tipo B2VP – Scavi e consolidamenti - Sezione

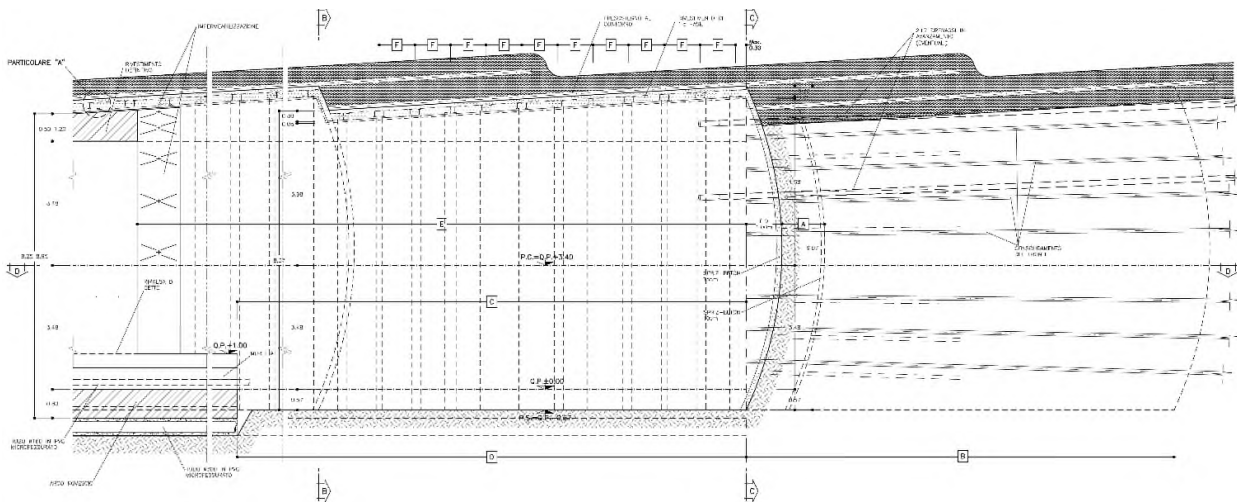


Figura 46 – Sezione Tipo B2VP – Scavi e consolidamenti – Profilo longitudinale

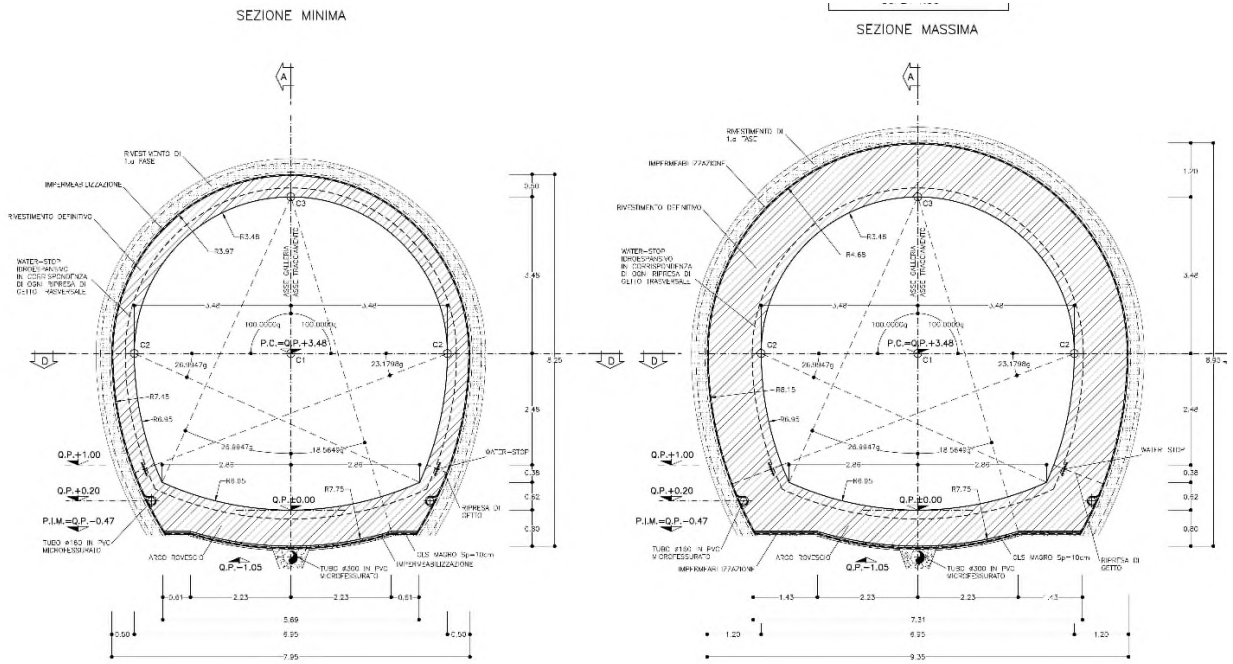


Figura 47 – Sezione Tipo B2VP – Carpenteria – Sezioni

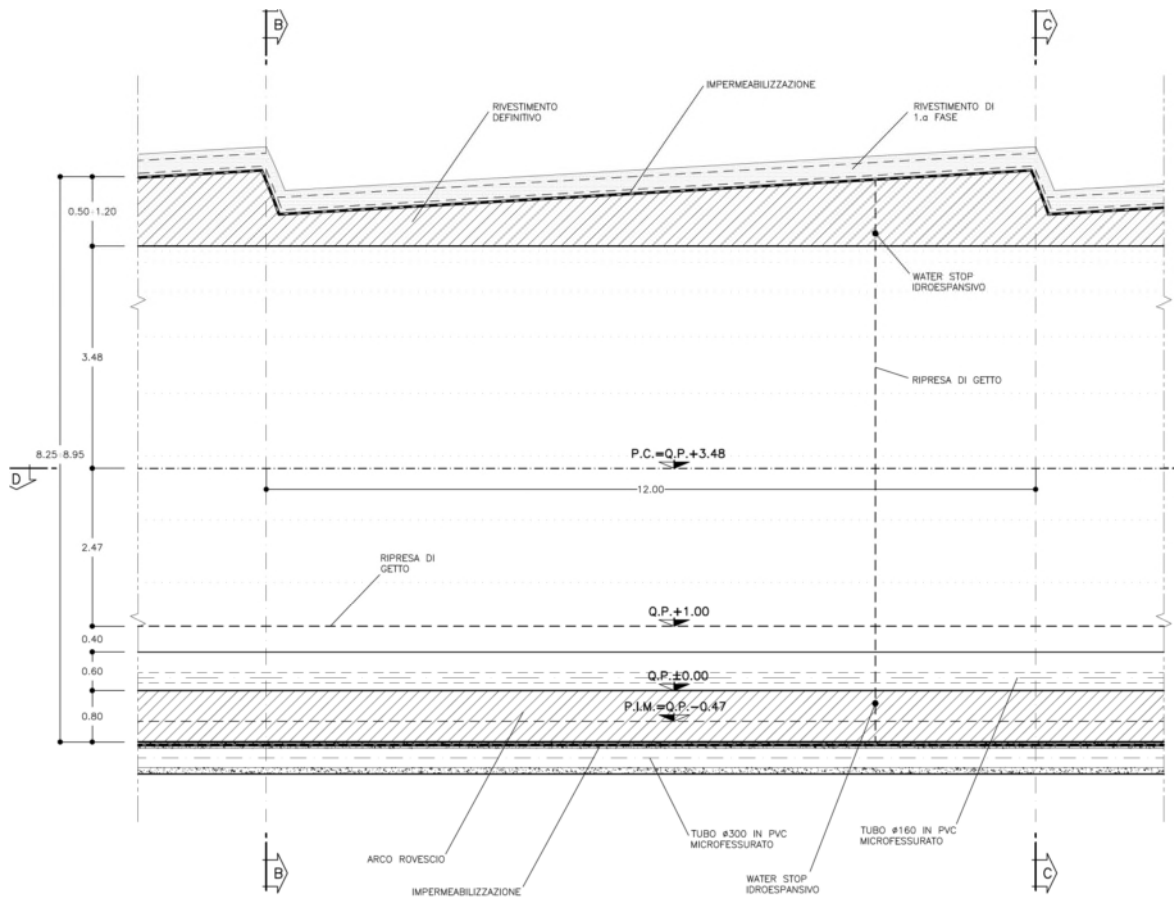


Figura 48 – Sezione Tipo B2VP – Carpenteria – Profilo longitudinale

### 6.11.3 Fasi esecutive

Vengono eseguiti i consolidamenti al fronte in VTR e al contorno mediante presostegno metallico valvolato ed iniettato con miscela cementizie. Seguono gli eventuali drenaggi in avanzamento.

Si procede poi allo scavo a piena sezione per campi di 12.0 m mediante mezzi meccanici, con sfondi di profondità massima di 1.0 m. Al termine di ogni sfondo, il fronte dovrà essere sagomato a forma concava ( $f = 1.0$  m) e dovrà essere eseguito un accurato disgreggio al fronte ed al contorno di tutte le porzioni instabili. A seguire, prima di procedere al posizionamento delle centine, dovrà essere messo in opera uno strato di spritz-beton fibrorinforzato di protezione al fronte ed al contorno pari ad almeno 5 cm circa. I reali spessori dello spritz-beton fibrorinforzato di protezione al fronte ed al contorno dovranno essere valutati in dettaglio dal preposto al fronte in funzione del contesto geomeccanico locale.

Dopo ogni sfondo, verranno messe in opera le centine e uno strato di spritz-beton fibrorinforzato di spessore 20 cm al contorno dello scavo.

Il tampono di spritz-beton fibrorinforzato al fronte di fine campo, propedeutico all'esecuzione dell'intervento di consolidamento, dovrà possedere uno spessore  $> 15$  cm circa.

I getti delle murette e dell'arco rovescio in c.a. verranno eseguiti ad una distanza massima di 1 diametro dal fronte; per ultimo verrà eseguito il getto della calotta in c.a. ad una distanza massima di 3 diametri dal fronte, previa posa in opera dell'impermeabilizzazione, prevista anche in arco rovescio, dopo la messa in opera di uno strato di regolarizzazione di spritz-beton di spessore 3 cm.

## 6.12 Sezione Tipo Ab

### 6.12.1 Campo di applicazione

L'applicazione di tale sezione tipo è prevista all'interno della Formazione delle Arenarie di Val Sabbia compatte (GSI= 45-55).

### 6.12.2 Interventi previsti

La sezione tipo Ab in fase costruttiva è costituita da:

AREA DI SCAVO: 57.5 mq; DIAMETRO EQUIVALENTE: 8.20 m

SPRITZ-BETON AL CONTORNO sp.=18cm (5+10+3)	PRE SPRITZ-BETON sp.=5cm FIBRORINFORZATO CON FIBRE METALLICHE + SPRITZ-BETON DI COMPLETAMENTO sp.=10cm FIBRORINFORZATO CON FIBRE METALLICHE + SPRITZ-BETON DI REGOLARIZZAZIONE sp.=3cm, ADDITTIVATO CON FIBRE POLIMERICHE
SPRITZ-BETON AL FRONTE	EVENTUALE SPRITZ-BETON sp.=10cm FIBRORINFORZATO CON FIBRE METALLICHE AD OGNI SINGOLO SFONDO
BULLONI	N° 5-6 TIPO SWELLEX Pm24, L=4.50m, MAGLIA 2.00x1.50m
DRENAGGI (EVENTUALI)	N°2+2 TUBI MICROFESSURATI IN PVC RIVESTITI CON CALZA TNT, L=24.00m, PASSO=12.00m

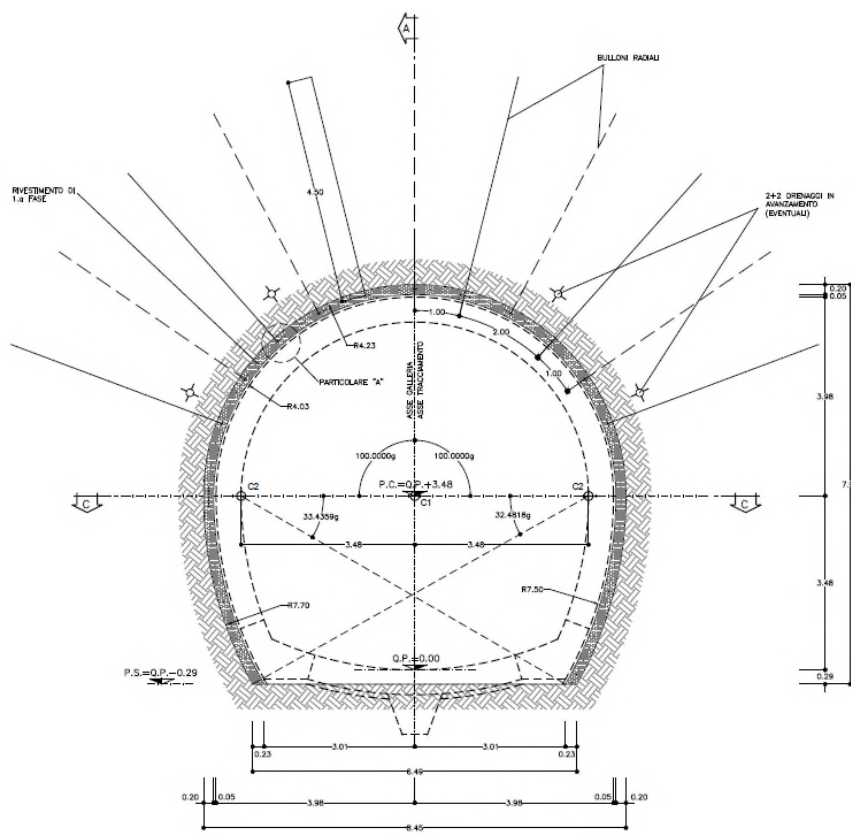


Figura 49 – Sezione Tipo Ab – Scavi e consolidamenti - Sezione

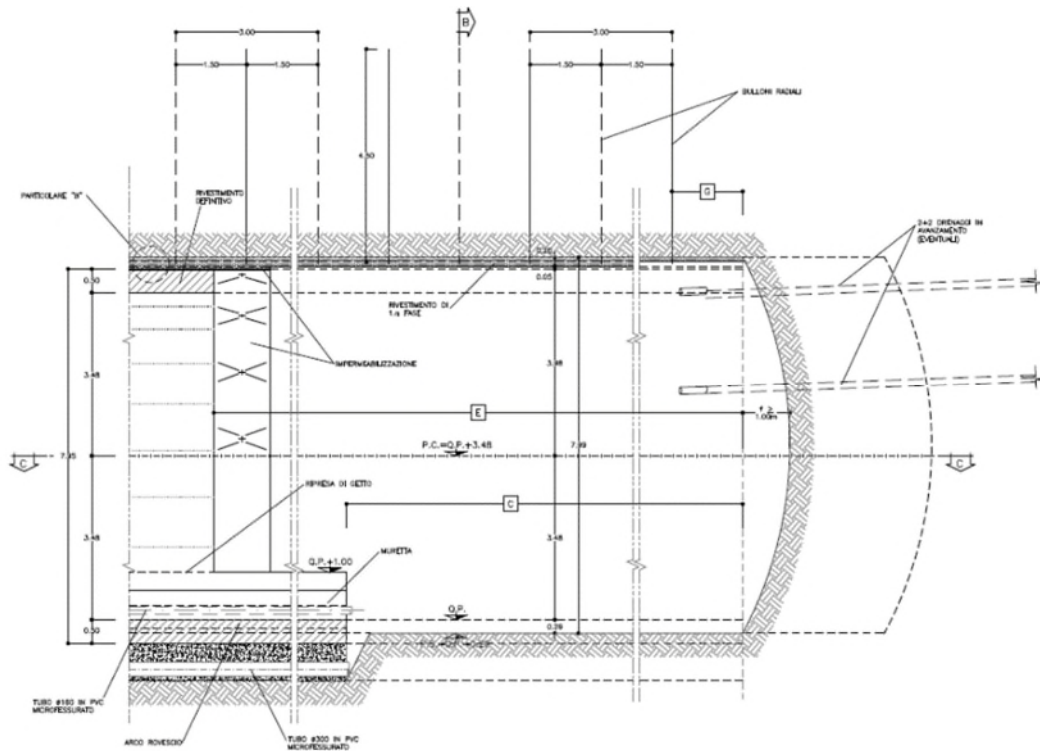


Figura 50 – Sezione Tipo Ab – Scavi e consolidamenti – Profilo longitudinale

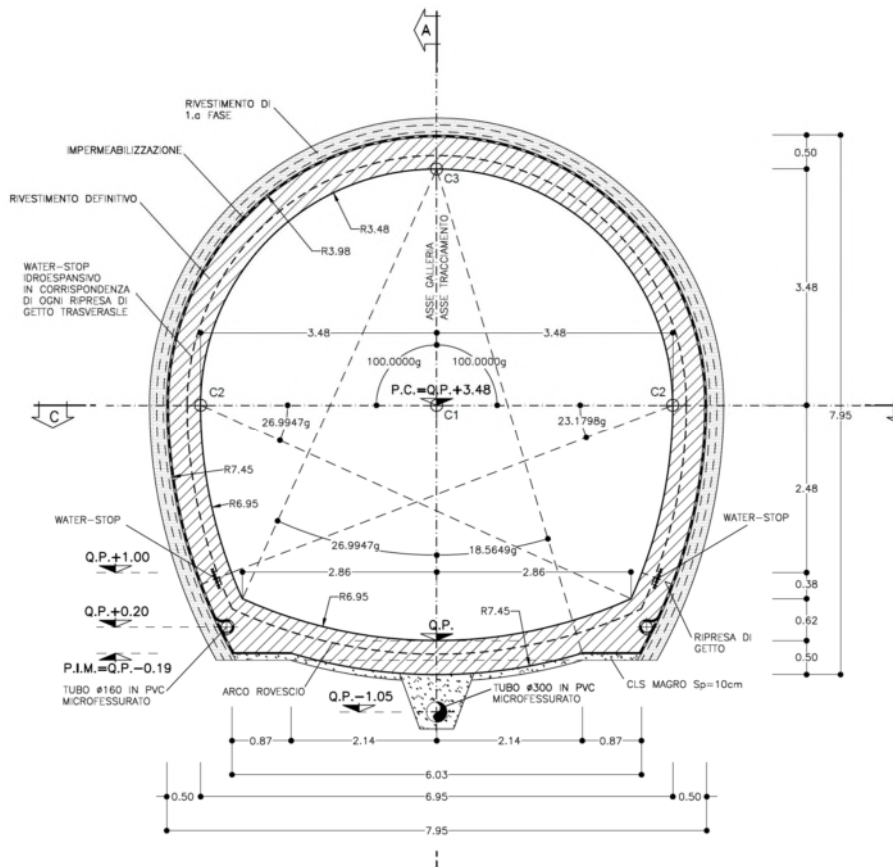


Figura 51 – Sezione Tipo Ab – Carpenteria – Sezioni

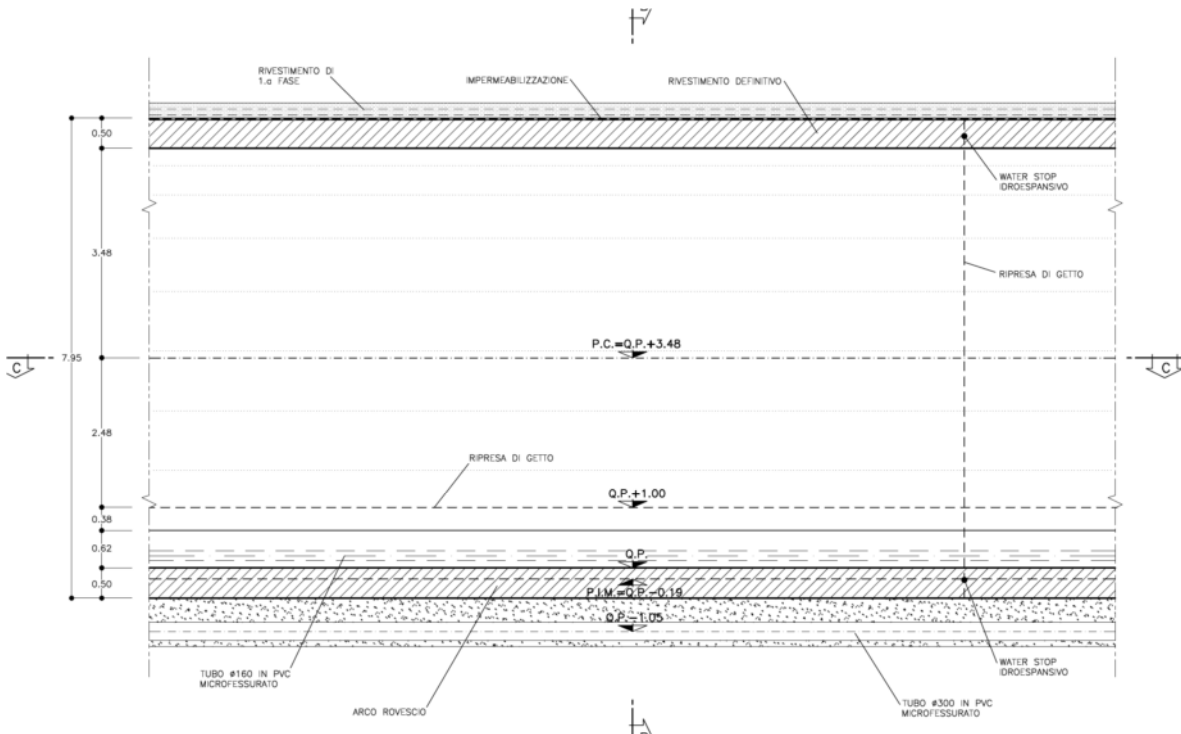


Figura 52 – Sezione Tipo Ab – Carpenteria – Profilo longitudinale

### 6.12.3 Fasi esecutive

Vengono eseguiti gli eventuali drenaggi in avanzamento.

Si procede poi allo scavo a piena sezione mediante esplosivo, con sfondi di profondità massima di 3 m. Al termine di ogni sfondo, il fronte dovrà essere sagomato a forma concava ( $f = 1.0$  m) e dovrà essere eseguito un accurato disaggio al fronte ed al contorno di tutte le porzioni instabili. A seguire, prima di procedere al posizionamento dei bulloni, dovrà essere messo in opera uno strato di spritz-beton fibrorinforzato di protezione al fronte ed al contorno pari ad almeno 5 cm circa (eventuale).

L'effettiva necessità del pre-spritz al fronte ed i reali spessori dello spritz-beton fibrorinforzato di protezione al fronte ed al contorno dovranno essere valutati in dettaglio dal preposto al fronte in funzione del contesto geomeccanico locale.

Dopo ogni sfondo, verranno messe in opera le bullonature radiali ed uno strato di spritz-beton fibrorinforzato di spessore 10 cm al contorno dello scavo.

I getti delle murette e dell'arco rovescio verranno eseguiti in CLS non armato ad una distanza svincolata dal fronte; per ultimo verrà eseguito il getto della calotta in CLS non armato ad una distanza svincolata dal fronte, previa posa in opera dell'impermeabilizzazione, dopo la messa in opera di uno strato di regolarizzazione di spritz-beton di spessore 3 cm.

## 6.13 Sezione Tipo Ab “Allargata”

### 6.13.1 Campo di applicazione

L'applicazione di tale sezione tipo è prevista all'interno della Formazione delle Arenarie di Val Sabbia compatte. L'allargato avrà la funzione di inversione mezzi in fase di scavo. La sagomatura idraulica verrà ripristinata in fase di getto dei rivestimenti.

### 6.13.2 Interventi previsti

La sezione tipo Ab “Allargata” in fase costruttiva è costituita da:

AREA DI SCAVO: 82.3 mq; DIAMETRO EQUIVALENTE: 9.85 m

SPRITZ-BETON AL CONTORNO sp.=18cm (5+10+3)	PRE SPRITZ-BETON sp.=5cm FIBRORINFORZATO CON FIBRE METALLICHE + SPRITZ-BETON DI COMPLETAMENTO sp.=10cm FIBRORINFORZATO CON FIBRE METALLICHE + SPRITZ-BETON DI REGOLARIZZAZIONE sp.=3cm, ADDITTIVATO CON FIBRE POLIMERICHE
SPRITZ-BETON AL FRONTE	EVENTUALE SPRITZ-BETON sp.=10cm FIBRORINFORZATO CON FIBRE METALLICHE AD OGNI SINGOLO SFONDO
BULLONI	N° 7-8 TIPO SWELLEX Pm24, L=5.50m, MAGLIA 2.00x1.50m
DRENAGGI	N°2+2 TUBI MICROFESSURATI IN PVC RIVESTITI CON CALZA TNT, L=24.00m, PASSO=12.00m



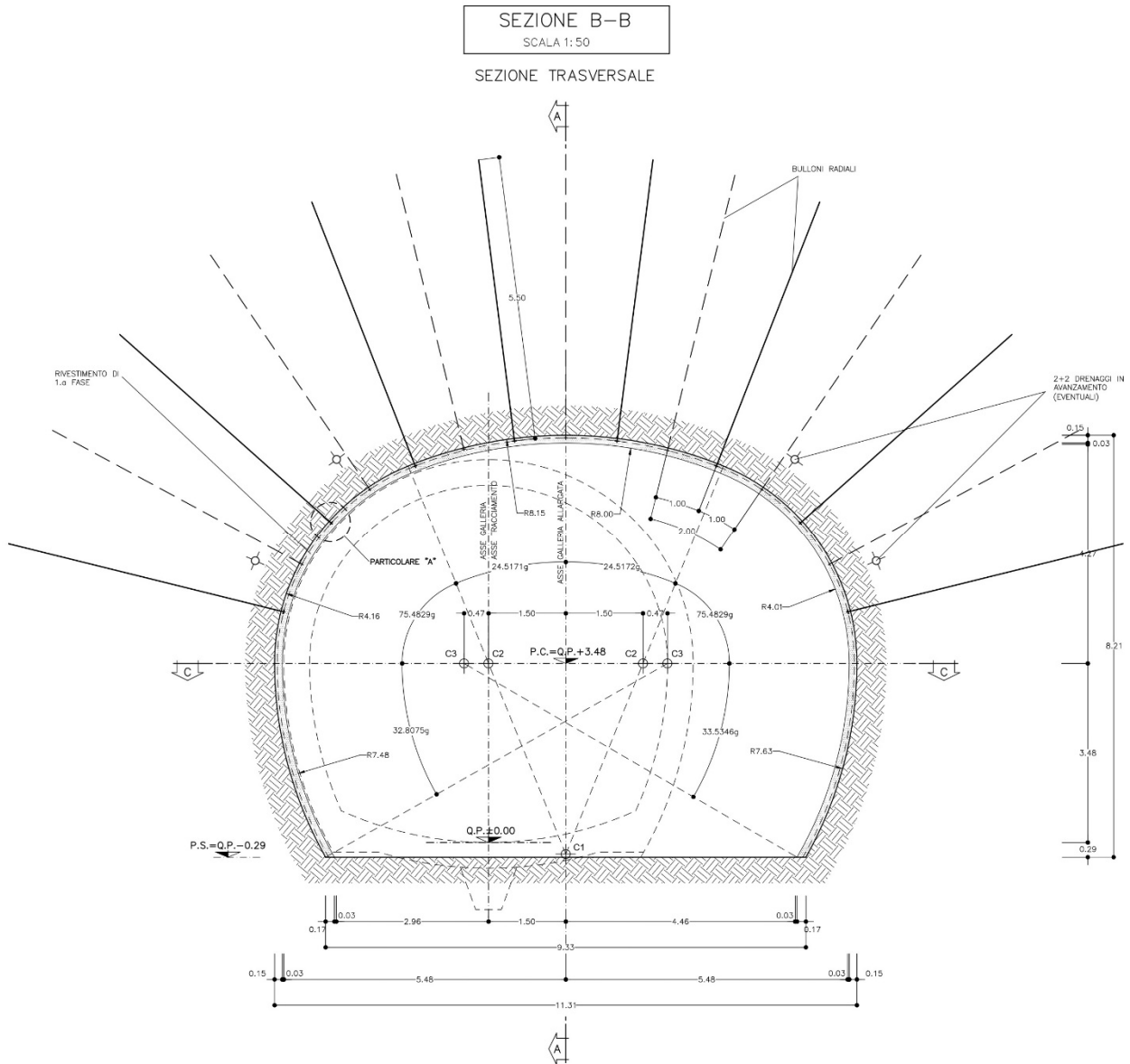


Figura 53 – Sezione Tipo Ab “Allargata” – Scavi e consolidamenti - Sezione

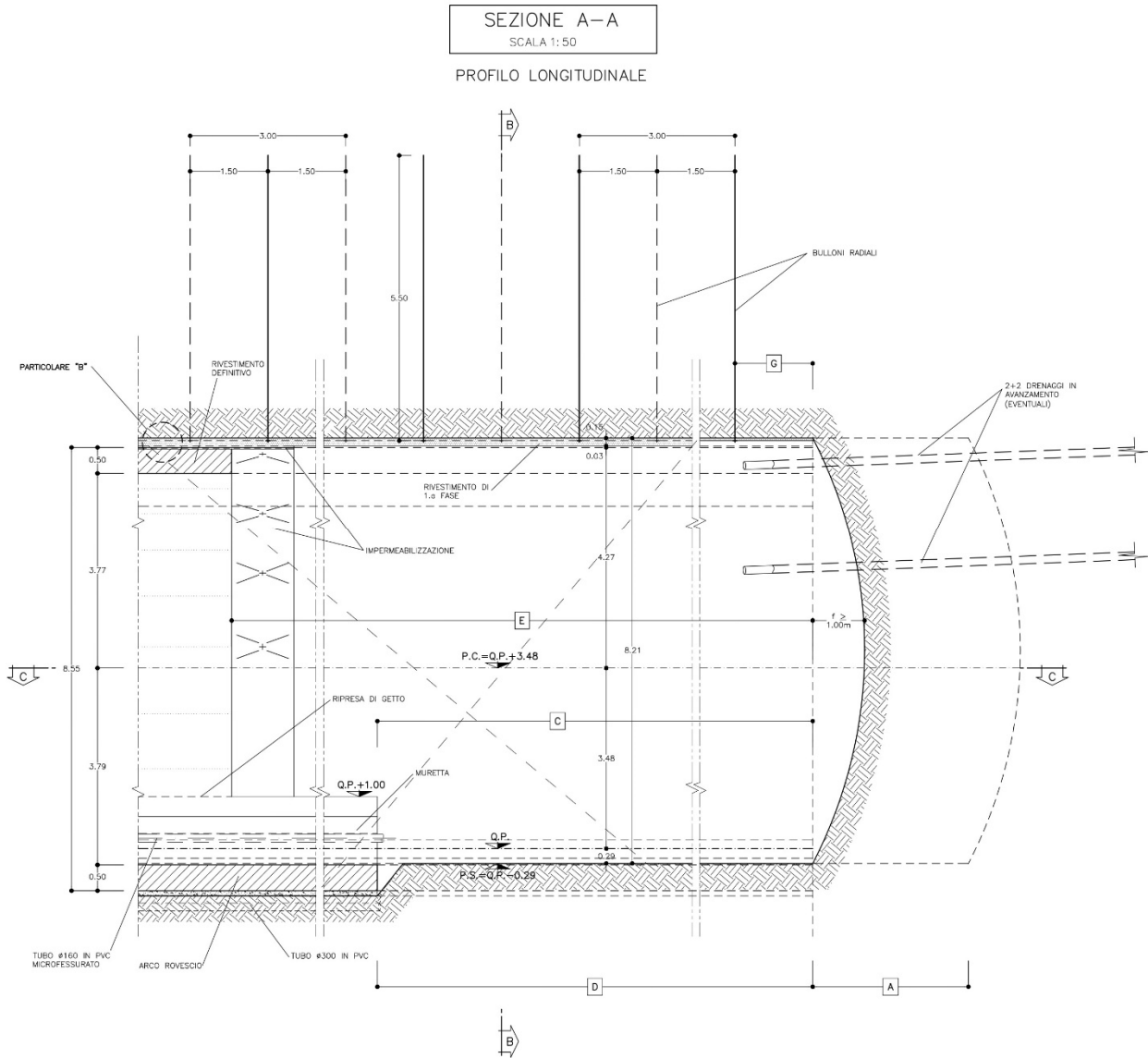


Figura 54 – Sezione Tipo Ab “Allargata” – Scavi e consolidamenti – Profilo longitudinale

**SEZIONE B-B**  
 SCALA 1:50

SEZIONE TRASVERSALE

NOTA BENE: PER LA GEOMETRIA DELLA SAGOMA INTERNA DELLA SEZIONE AB, VEDERE ELABORATO RELATIVO

\*NOTA BENE: QUALORA RITENUTO OPERATIVAMENTE PIU' CONGRUO IL GETTO DI CALOTTA POTRA' ESSERE ESEGUITO IN UN'UNICA SOLUZIONE IN CLS PREVIA MESSA IN OPERA DI ADEGUATA ARMATURA.

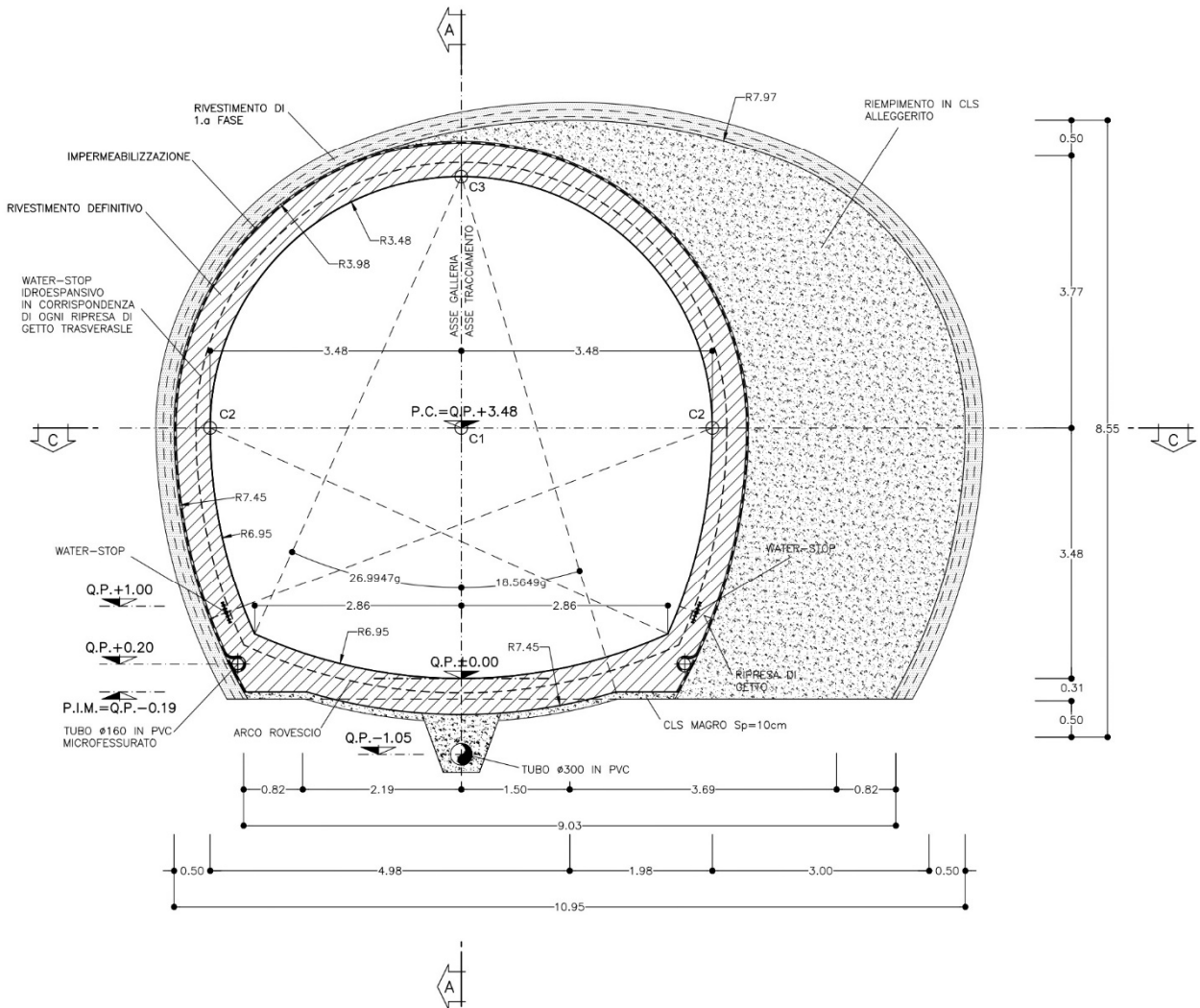


Figura 55 – Sezione Tipo Ab “Allargata” – Carpenteria – Sezioni

**SEZIONE A-A**  
 SCALA 1:50  
 PROFILO LONGITUDINALE

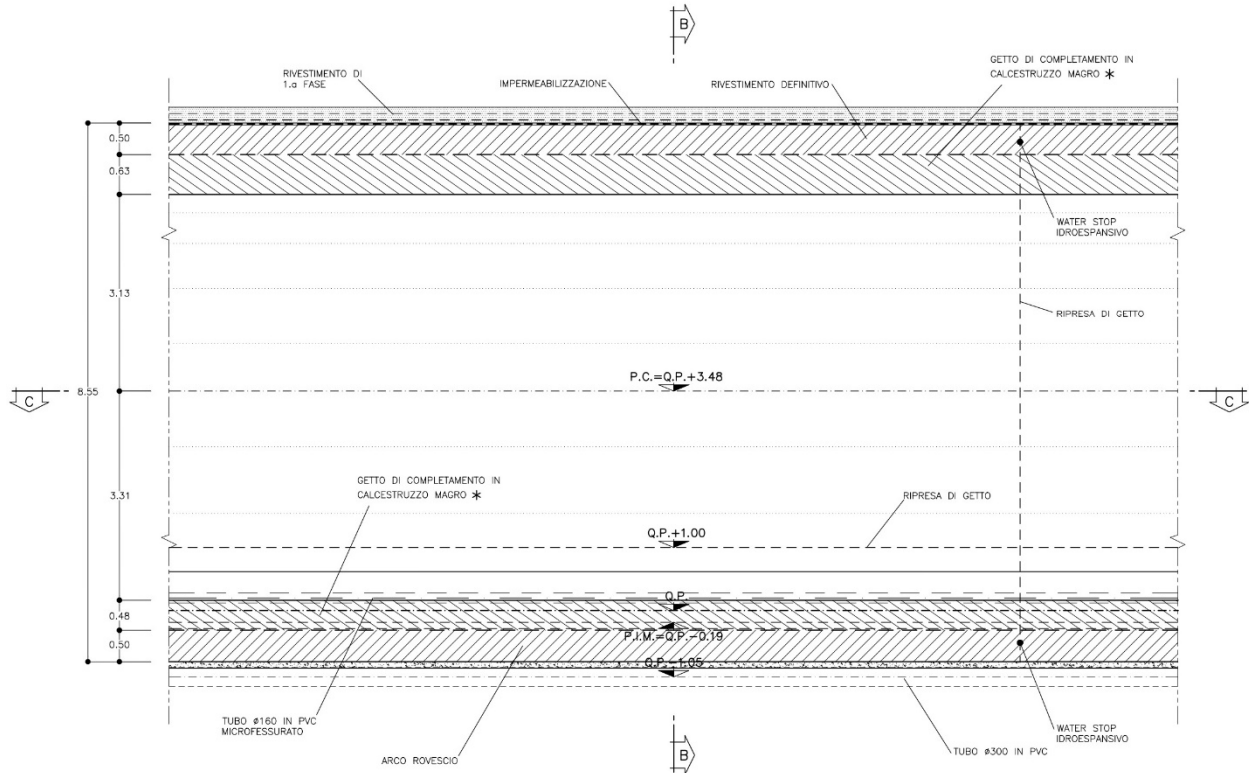


Figura 56 – Sezione Tipo Ab “Allargata” – Carpenteria – Profilo longitudinale

### 6.13.3 Fasi esecutive

Vengono eseguiti gli eventuali drenaggi in avanzamento.

Si procede poi allo scavo a piena sezione mediante esplosivo, con sfondi di profondità massima di 3 m. Al termine di ogni sfondo, il fronte dovrà essere sagomato a forma concava ( $f = 1.0$  m) e dovrà essere eseguito un accurato disgaggio al fronte ed al contorno di tutte le porzioni instabili. A seguire, prima di procedere al posizionamento dei bulloni, dovrà essere messo in opera uno strato di spritz-beton fibrorinforzato di protezione al fronte ed al contorno pari ad almeno 10 cm circa (eventuale).

L'effettiva necessità del pre-spritz al fronte ed i reali spessori dello spritz-beton fibrorinforzato di protezione al fronte ed al contorno dovranno essere valutati in dettaglio dal preposto al fronte in funzione del contesto geomeccanico locale.

Dopo ogni sfondo, verranno messe in opera le bullonature radiali ed uno strato di spritz-beton fibrorinforzato di spessore 5 cm al contorno dello scavo.

I getti delle murette e dell'arco rovescio verranno eseguiti in CLS non armato ad una distanza svincolata dal fronte; per ultimo verrà eseguito il getto della calotta in CLS non armato ad una distanza svincolata dal fronte, previa posa in opera dell'impermeabilizzazione, dopo la messa in opera di uno strato di regolarizzazione di spritz-beton di spessore 3 cm. La sagoma idraulica del by-pass verrà ripristinata attraverso un getto di riempimento in CLS precedente alla fase di posa dell'impermeabilizzazione.

## 6.14 Sezione Tipo Ac

### 6.14.1 Campo di applicazione

L'applicazione di tale sezione tipo è prevista all'interno della Formazione delle Arenarie di Val Sabbia compatte (GSI= 45-55).

### 6.14.2 Interventi previsti

La sezione tipo Ac in fase costruttiva è costituita da:

AREA DI SCAVO: 58.5 mq; DIAMETRO EQUIVALENTE: 8.30 m

SPRITZ-BETON AL CONTORNO sp.=23cm (5+15+3)	PRE SPRITZ-BETON sp.=5cm FIBRORINFORZATO CON FIBRE METALLICHE + SPRITZ-BETON DI COMPLETAMENTO sp.=15cm FIBRORINFORZATO CON FIBRE METALLICHE + SPRITZ-BETON DI REGOLARIZZAZIONE sp.=3cm, ADDITTIVATO CON FIBRE POLIMERICHE
SPRITZ-BETON AL FRONTE	EVENTUALE SPRITZ-BETON sp.=10cm FIBRORINFORZATO CON FIBRE METALLICHE AD OGNI SINGOLO SFONDO
CENTINE	1HEA 160 PASSO 150cm
DRENAGGI (EVENTUALI)	N°2+2 TUBI MICROFESSURATI IN PVC RIVESTITI CON CALZA TNT, L=24.00m, PASSO=12.00m

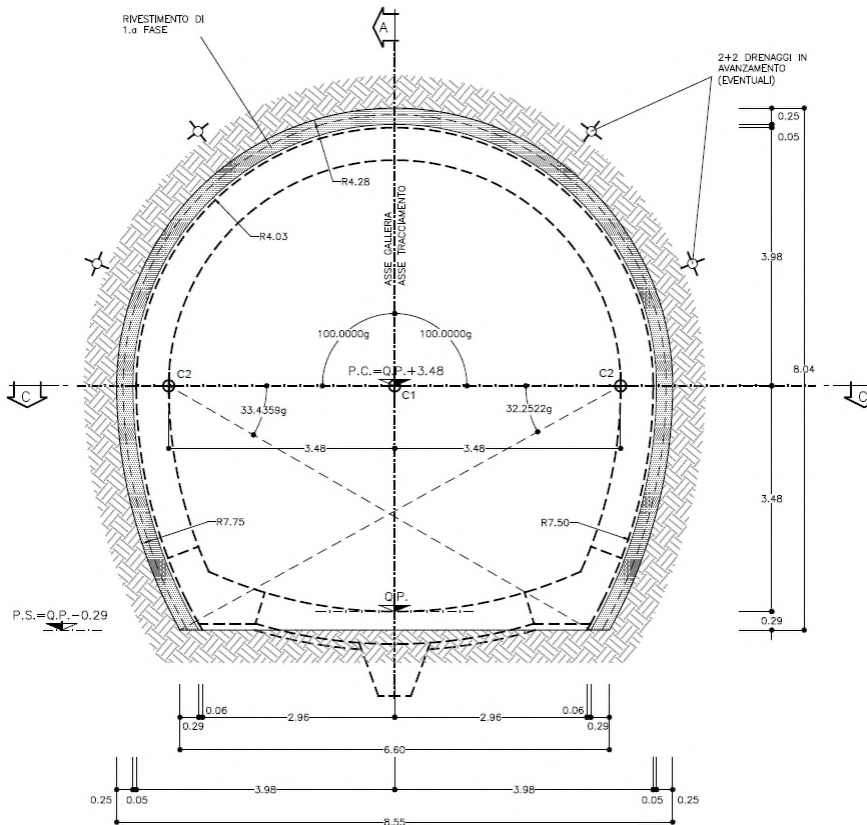


Figura 57 – Sezione Tipo Ac – Scavi e consolidamenti - Sezione

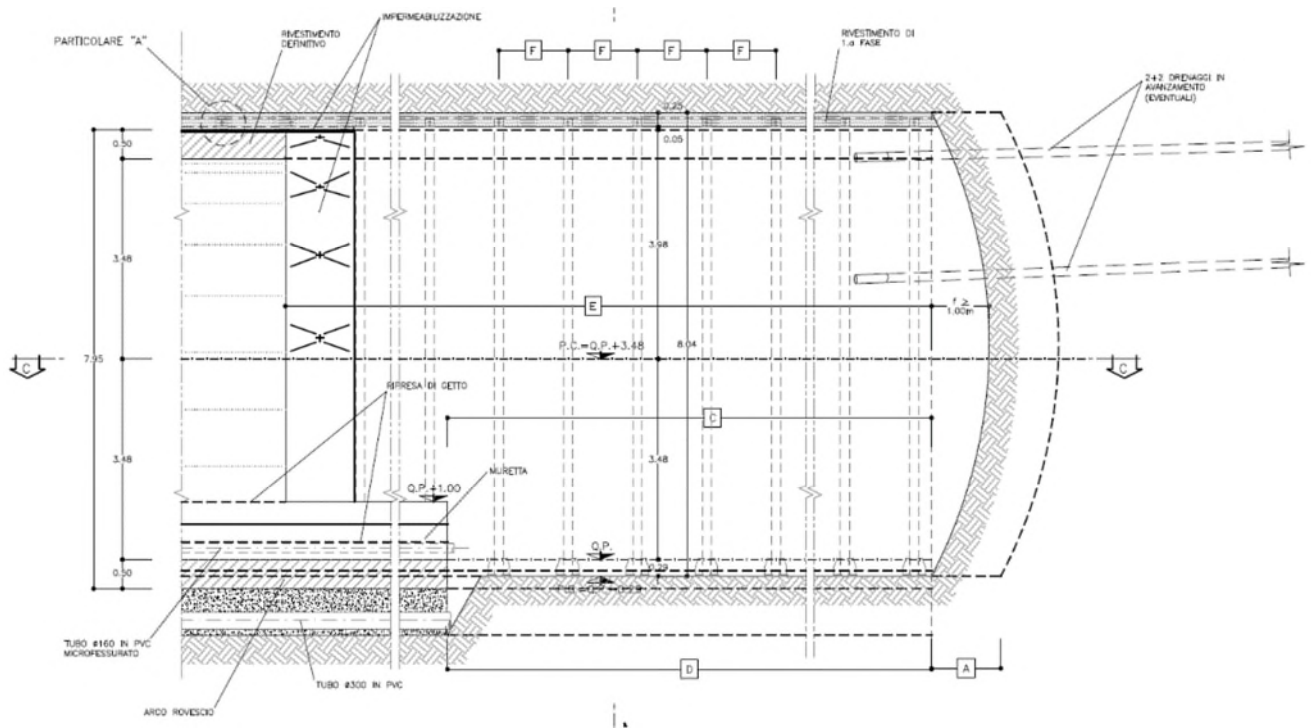


Figura 58 – Sezione Tipo Ac – Scavi e consolidamenti – Profilo longitudinale

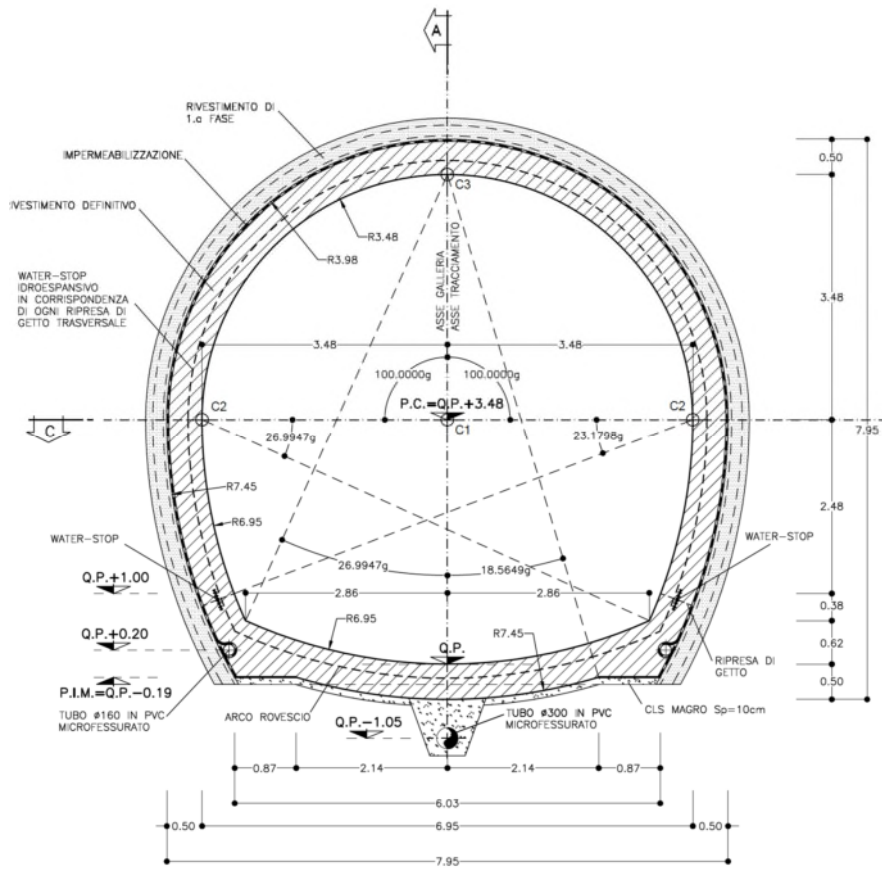


Figura 59 – Sezione Tipo Ac – Carpenteria – Sezioni

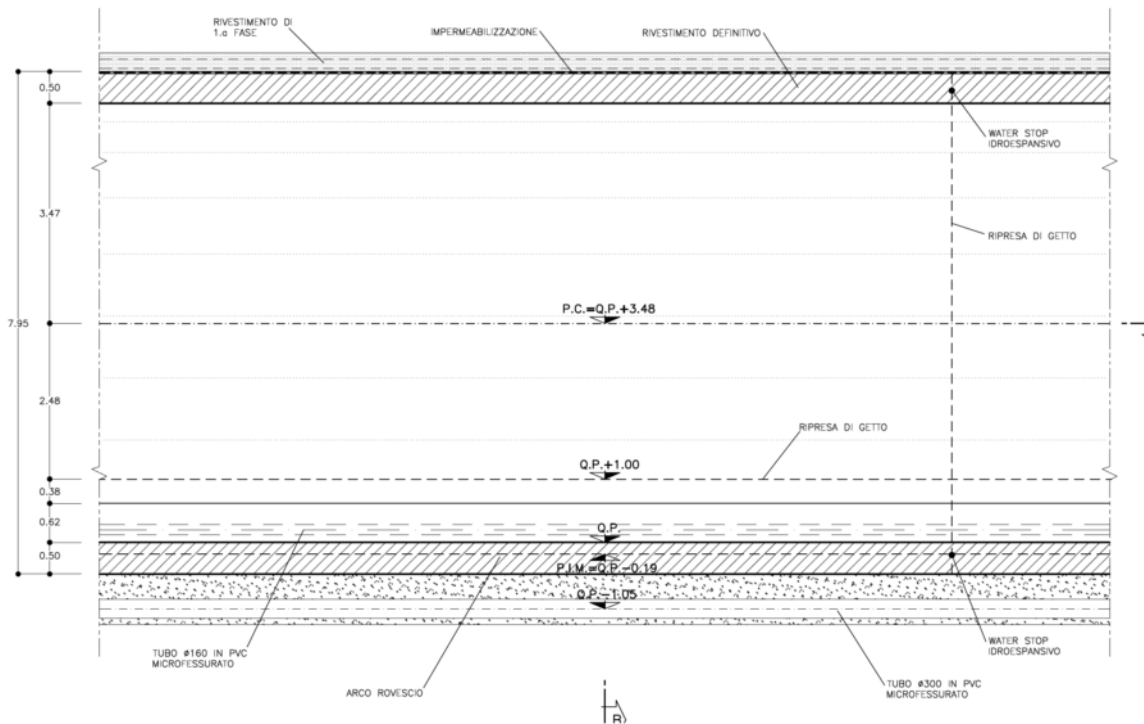


Figura 60 – Sezione Tipo Ac – Carpenteria – Profilo longitudinale



### 6.14.3 Fasi esecutive

Vengono eseguiti gli eventuali drenaggi in avanzamento.

Si procede poi allo scavo a piena sezione mediante mezzi meccanici, con sfondi di profondità massima di 1.5 m. Al termine di ogni sfondo, il fronte dovrà essere sagomato a forma concava ( $f = 1.0$  m) e dovrà essere eseguito un accurato disaggio al fronte ed al contorno di tutte le porzioni instabili. A seguire, prima di procedere al posizionamento delle centine, dovrà essere messo in opera uno strato di spritz-beton fibrorinforzato di protezione al fronte ed al contorno pari ad almeno 5 cm circa.

I reali spessori dello spritz-beton fibrorinforzato di protezione al fronte ed al contorno dovranno essere valutati in dettaglio dal preposto al fronte in funzione del contesto geomeccanico locale.

Dopo ogni sfondo, verranno messe in opera le centine e uno strato di spritz-beton fibrorinforzato di spessore 15 cm al contorno dello scavo.

I getti delle murette e dell'arco rovescio in CLS non armato verranno eseguiti ad una distanza massima di 5 diametri dal fronte; per ultimo verrà eseguito il getto della calotta in CLS non armato ad una distanza svincolata dal fronte, previa posa in opera dell'impermeabilizzazione, dopo la messa in opera di uno strato di regolarizzazione di spritz-beton di spessore 3 cm.

## 6.15 Sezione Tipo B0

### 6.15.1 Campo di applicazione

L'applicazione di tale sezione tipo è prevista all'interno della Formazione delle Arenarie di Val Sabbia compatte (GSI= 45-55) e nella Formazione San Giovanni Bianco in facies arenacea (GSI = 55-60).

### 6.15.2 Interventi previsti

La sezione tipo B0 in fase costruttiva è costituita da:

AREA DI SCAVO: 63.0 mq; DIAMETRO EQUIVALENTE: 8.60 m

SPRITZ-BETON AL CONTORNO sp.=28cm (5+20+3)	PRE SPRITZ-BETON sp.=5cm FIBRORINFORZATO CON FIBRE METALLICHE + SPRITZ-BETON DI COMPLETAMENTO sp.=20cm FIBRORINFORZATO CON FIBRE METALLICHE + SPRITZ-BETON DI REGOLARIZZAZIONE sp.=3cm, ADDITTIVATO CON FIBRE POLIMERICHE
SPRITZ-BETON AL FRONTE	EVENTUALE SPRITZ-BETON sp.=10cm FIBRORINFORZATO CON FIBRE METALLICHE AD OGNI SINGOLO SFONDO
CENTINE	2IPE 160 PASSO 120cm
DRENAGGI (EVENTUALI)	N°2+2 TUBI MICROFESSURATI IN PVC RIVESTITI CON CALZA TNT, L=24.00m, PASSO=12.00m

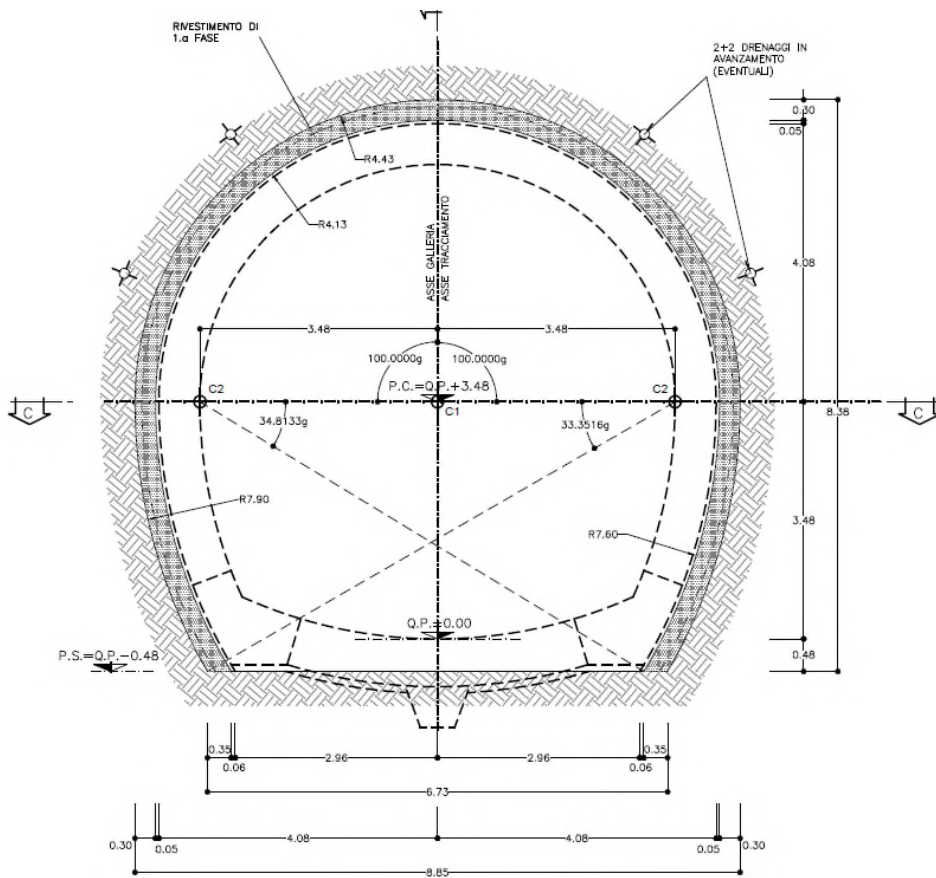


Figura 61 – Sezione Tipo B0 – Scavi e consolidamenti - Sezione

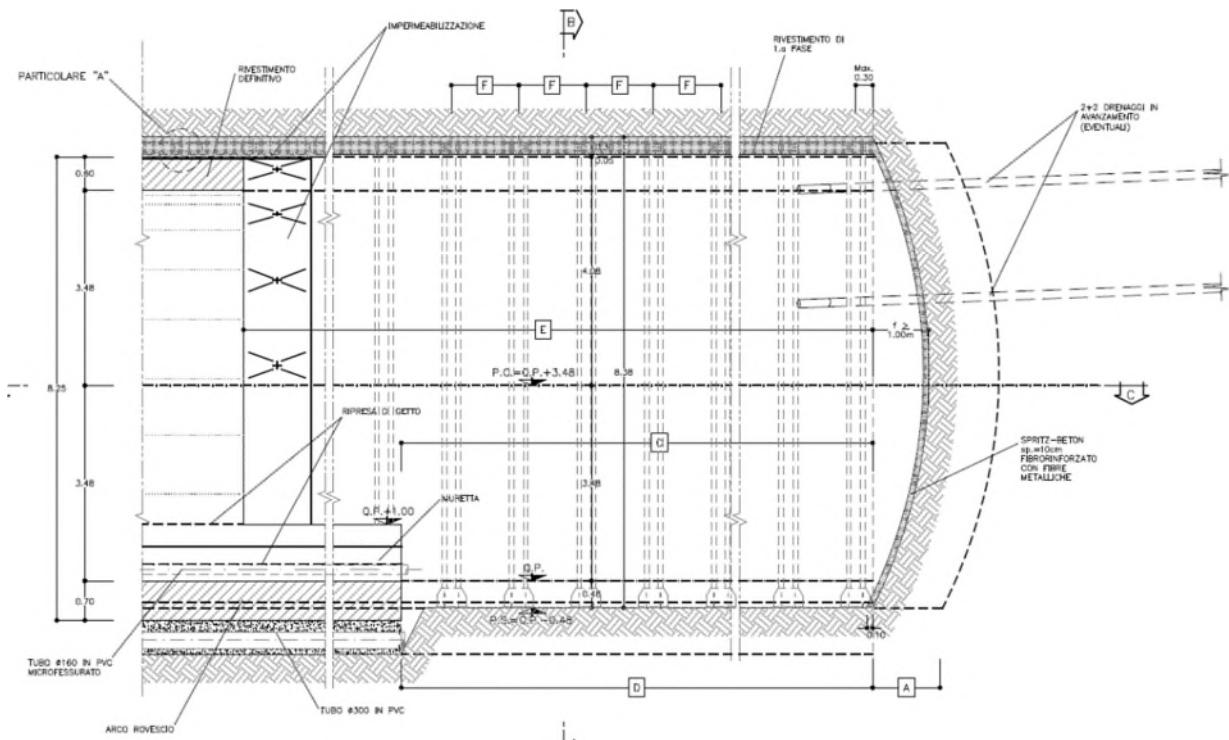


Figura 62 – Sezione Tipo B0 – Scavi e consolidamenti – Profilo longitudinale

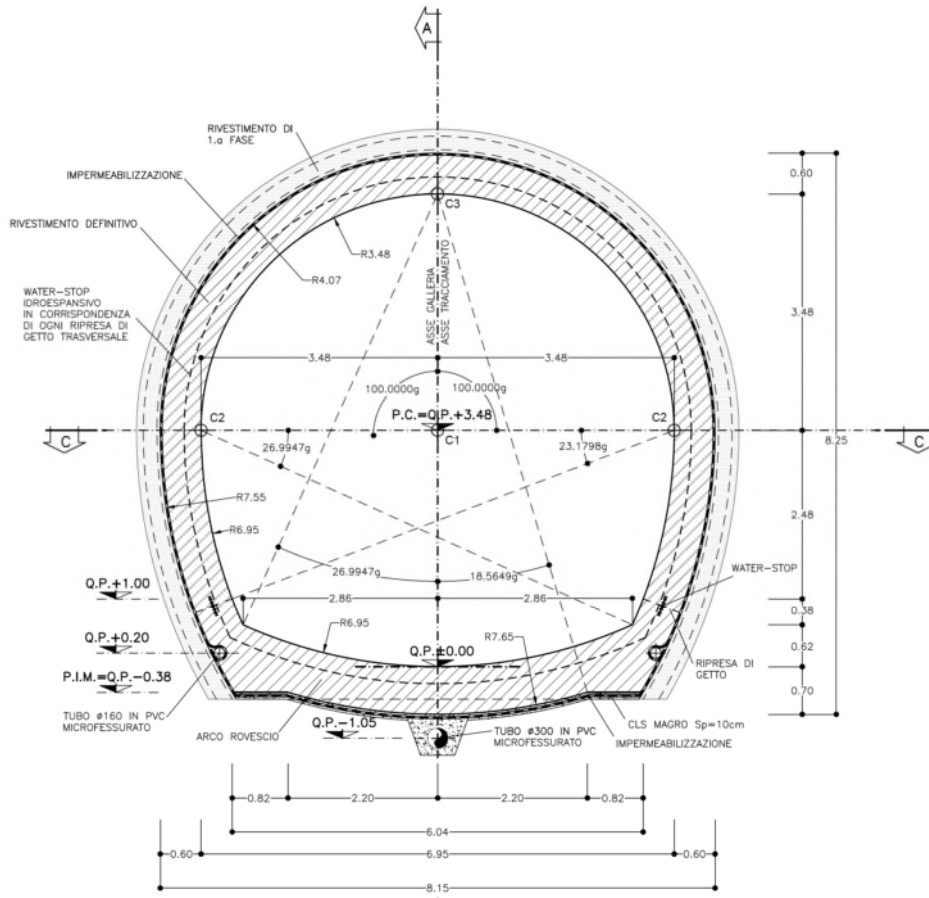


Figura 63 – Sezione Tipo B0 – Carpenteria – Sezioni

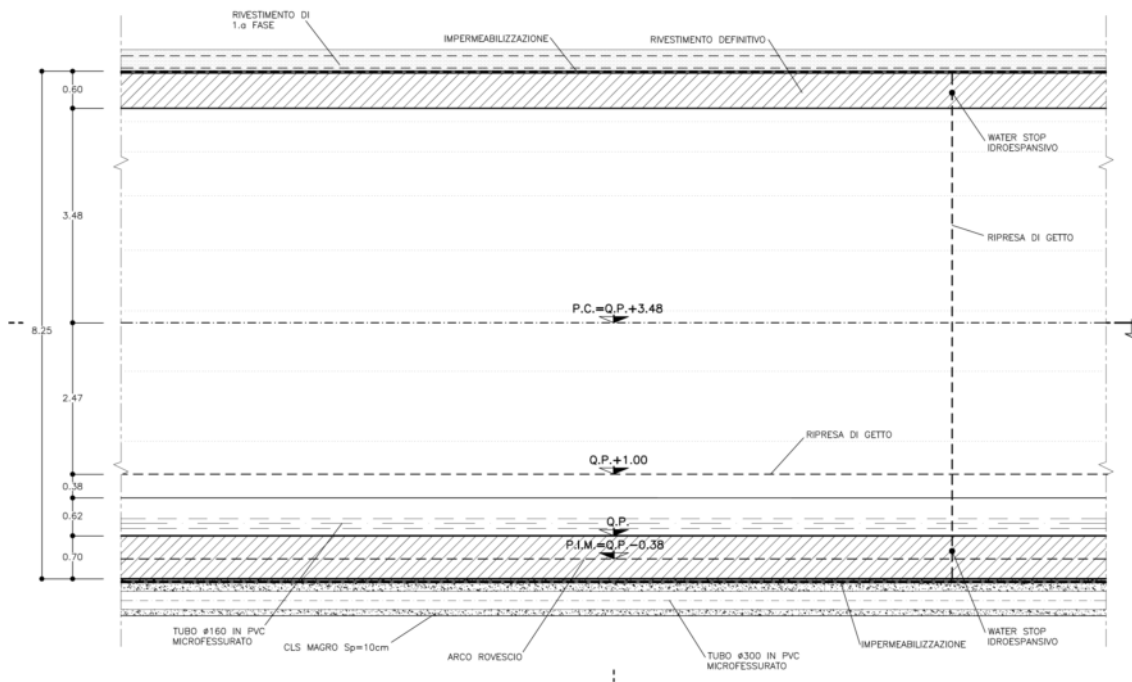


Figura 64 – Sezione Tipo B0 – Carpenteria – Profilo longitudinale

### 6.15.3 Fasi esecutive

Vengono eseguiti gli eventuali drenaggi in avanzamento.

Si procede poi allo scavo a piena sezione mediante mezzi meccanici, con sfondi di profondità massima di 1.2 m. Al termine di ogni sfondo, il fronte dovrà essere sagomato a forma concava ( $f = 1.0$  m) e dovrà essere eseguito un accurato disaggio al fronte ed al contorno di tutte le porzioni instabili. A seguire, prima di procedere al posizionamento delle centine, dovrà essere messo in opera uno strato di spritz-beton fibrorinforzato di protezione al fronte ed al contorno pari ad almeno 5 cm circa.

I reali spessori dello spritz-beton fibrorinforzato di protezione al fronte ed al contorno dovranno essere valutati in dettaglio dal preposto al fronte in funzione del contesto geomeccanico locale.

Dopo ogni sfondo, verranno messe in opera le centine e uno strato di spritz-beton fibrorinforzato di spessore 20 cm al contorno dello scavo.

I getti delle murette e dell'arco rovescio in CLS non armato verranno eseguiti ad una distanza massima di 4 diametri dal fronte; per ultimo verrà eseguito il getto della calotta in CLS non armato ad una distanza svincolata dal fronte, previa posa in opera dell'impermeabilizzazione, dopo la messa in opera di uno strato di regolarizzazione di spritz-beton di spessore 3 cm.

## 6.16 Sezione Tipo C2V

### 6.16.1 Campo di applicazione

L'applicazione di tale sezione tipo è prevista all'interno della Formazione delle Arenarie di Val Sabbia a seguire della sezione di attacco lato Lavenone, là dove nella zona di calotta possono essere ancora presenti i depositi detritici di versante e il Cappellaccio delle Arenarie di Val Sabbia.

### 6.16.2 Interventi previsti

La sezione tipo C2V in fase costruttiva è costituita da:

AREA MEDIA DI SCAVO: 77.5 mq; DIAMETRO EQUIVALENTE MEDIO: 9.30 m

SPRITZ-BETON AL CONTORNO sp.=28cm (5+20+3)	PRE SPRITZ-BETON sp.=5cm FIBRORINFORZATO CON FIBRE METALLICHE + SPRITZ-BETON DI COMPLETAMENTO sp.=20cm FIBRORINFORZATO CON FIBRE METALLICHE + SPRITZ-BETON DI REGOLARIZZAZIONE sp.=3cm, ADDITTIVATO CON FIBRE POLIMERICHE
SPRITZ-BETON AL FRONTE	SPRITZ-BETON sp.=10cm FIBRORINFORZATO CON FIBRE METALLICHE AD OGNI SINGOLO SFONDO
	SPRITZ-BETON sp.=15cm FIBRORINFORZATO CON FIBRE METALLICHE A FINE CAMPO
CENTINE	2IPE 180 PASSO 100cm
PRESOSTEGNO AL CONTORNO	N.33 TUBI METALLICI CEMENTATI $\phi$ 127.1/10 p. 40 cm L=16.00m SOVRAPPOSIZIONE 4.00m
CONSOLIDAMENTI AL CONTORNO	N.32 TUBI IN VTR VALVOLATI (2vlv/m) L=16.00m SOVRAPPOSIZIONE 4.00m
CONSOLIDAMENTI AL FRONTE	N.25 TUBI IN VTR CEMENTATI L=16.00m SOVRAPPOSIZIONE 4.00m
DRENAGGI (EVENTUALI)	N°2+2 TUBI MICROFESSURATI IN PVC RIVESTITI CON CALZA TNT, L=24.00m, PASSO=12.00m

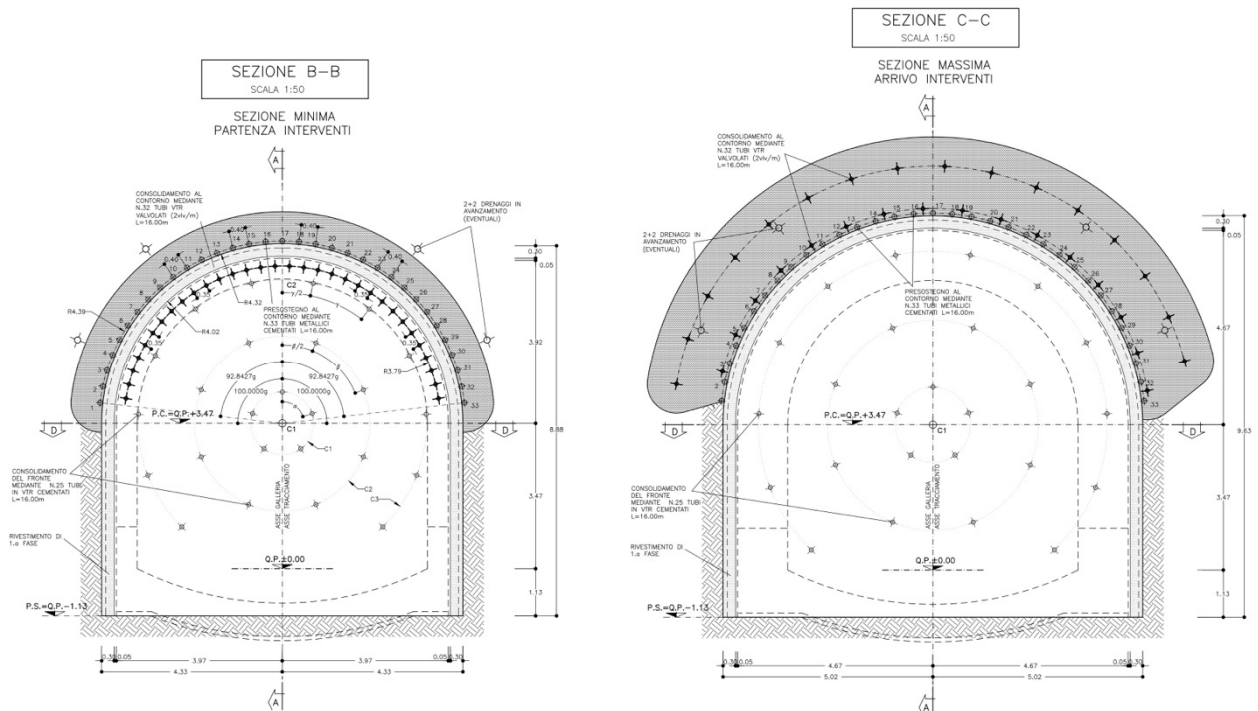


Figura 65 – Sezione Tipo C2V – Scavi e consolidamenti - Sezione

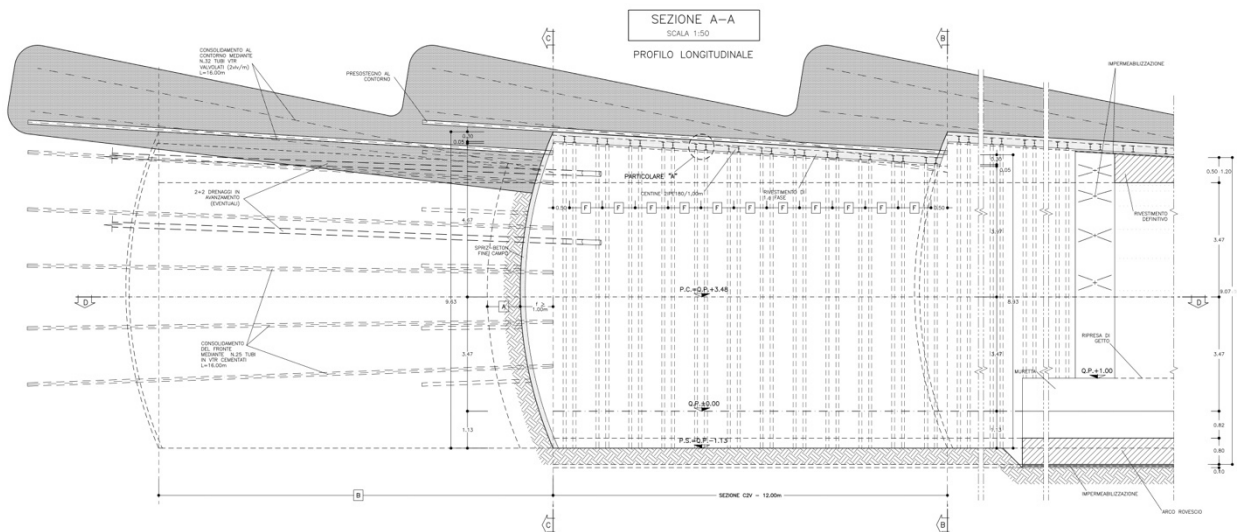


Figura 66 – Sezione Tipo C2V – Scavi e consolidamenti – Profilo longitudinale

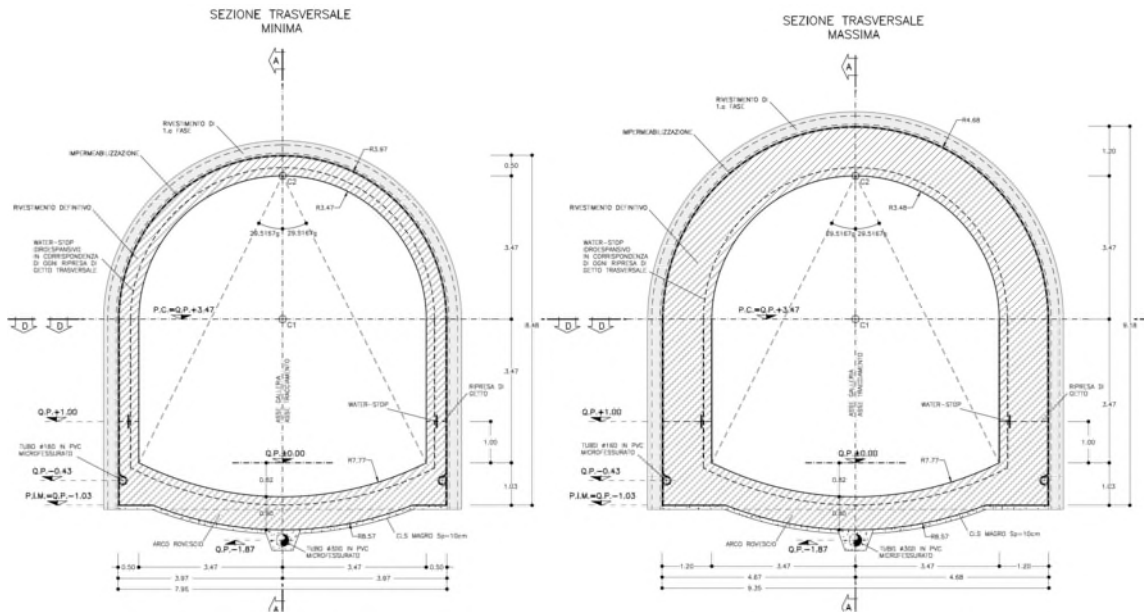


Figura 67 – Sezione Tipo C2V – Carpenteria – Sezioni

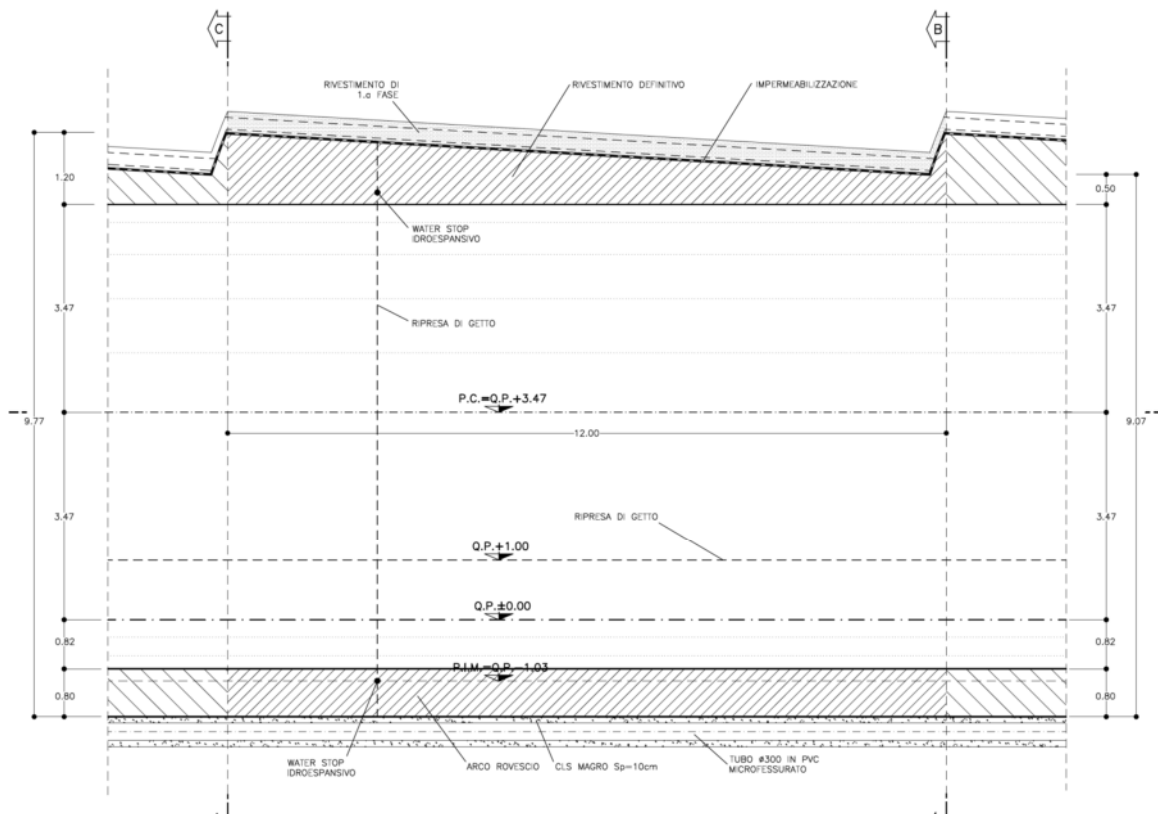


Figura 68 – Sezione Tipo C2V – Carpenteria – Profilo longitudinale



### 6.16.3 Fasi esecutive

Vengono eseguiti i consolidamenti al fronte in VTR e al contorno mediante pre-sostegno metallico e VTR valvolati ed iniettati con miscele cementizie. Seguono gli eventuali drenaggi in avanzamento.

Si procede poi allo scavo a piena sezione per campi di 12.0 m mediante mezzi meccanici, con sfondi di profondità massima di 1.0 m. Al termine di ogni sfondo, il fronte dovrà essere sagomato a forma concava ( $f = 1.0$  m) e dovrà essere eseguito un accurato disaggio al fronte ed al contorno di tutte le porzioni instabili. A seguire, prima di procedere al posizionamento delle centine, dovrà essere messo in opera uno strato di spritz-beton fibrorinforzato di protezione al fronte ed al contorno pari ad almeno 5 cm circa. I reali spessori dello spritz-beton fibrorinforzato di protezione al fronte ed al contorno dovranno essere valutati in dettaglio dal preposto al fronte in funzione del contesto geomeccanico locale.

Dopo ogni sfondo, verranno messe in opera le centine e uno strato di spritz-beton fibrorinforzato di spessore 20 cm al contorno dello scavo.

Il tampone di spritz-beton fibrorinforzato al fronte di fine campo, propedeutico all'esecuzione dell'intervento di consolidamento, dovrà possedere uno spessore  $> 15$  cm circa.

I getti delle murette e dell'arco rovescio in c.a. verranno eseguiti ad una distanza massima di 1 diametro dal fronte; per ultimo verrà eseguito il getto della calotta in c.a. ad una distanza massima di 3 diametri dal fronte, previa posa in opera dell'impermeabilizzazione, dopo la messa in opera di uno strato di regolarizzazione di spritz-beton di spessore 3 cm.

## 6.17 Sezione di Attacco

### 6.17.1 Campo di applicazione

Lo scavo dalla zona di sbocco lato Lavenone è a fronte misto, con l'Arenaria di Valsabbia sovrastata da materiale detritico che necessita un intervento di consolidamento al fronte e al contorno, al fine di assicurare la stabilità del fronte e del contorno del cavo in fase di scavo: dopo la sezione d'attacco è previsto lo scavo a piena sezione con mezzi meccanici con la sezione tipo C2V.

### 6.17.2 Interventi previsti

La sezione di Attacco (lato Lavenone) in fase costruttiva è costituita da:

AREA MEDIA DI SCAVO: 80.05 mq; DIAMETRO EQUIVALENTE MEDIO: 10.1 m

SPRITZ-BETON AL CONTORNO sp.=30cm (10+20+5)	PRE SPRITZ-BETON sp.=5cm FIBRORINFORZATO CON FIBRE METALLICHE + SPRITZ-BETON DI COMPLETAMENTO sp.=20cm FIBRORINFORZATO CON FIBRE METALLICHE + SPRITZ-BETON DI REGOLARIZZAZIONE sp.=3cm, ADDITTIVATO CON FIBRE POLIMERICHE
SPRITZ-BETON AL FRONTE	SPRITZ-BETON sp.=10cm FIBRORINFORZATO CON FIBRE METALLICHE AD OGNI SINGOLO SFONDO
	SPRITZ-BETON sp.=15cm FIBRORINFORZATO CON FIBRE METALLICHE A FINE CAMPO
CENTINE	2 IPE180 PASSO 100cm
PRESOSTEGNO AL CONTORNO	N.20 TUBI METALLICI CEMENTATI $\phi$ 127.1/10 p. 40 cm L=16.00m SOVRAPPOSIZIONE 4.00m
CONSOLIDAMENTI SOTTOSTRADA	N.39 TUBI IN PVC VALVOLATI (3vlv/m) L=13.00-15.00-16.00m SOVRAPPOSIZIONE 4.00m
CONSOLIDAMENTI AL CONTORNO	N.27 TUBI IN VTR VALVOLATI (2vlv/m) L=16.00m SOVRAPPOSIZIONE 4.00m
CONSOLIDAMENTI AL FRONTE	N.25 TUBI IN VTR CEMENTATI L=16.00m SOVRAPPOSIZIONE 4.00m
DRENAGGI (EVENTUALI)	N°2+2 TUBI MICROFESSURATI IN PVC RIVESTITI CON CALZA TNT, L=24.00m, PASSO=12.00m

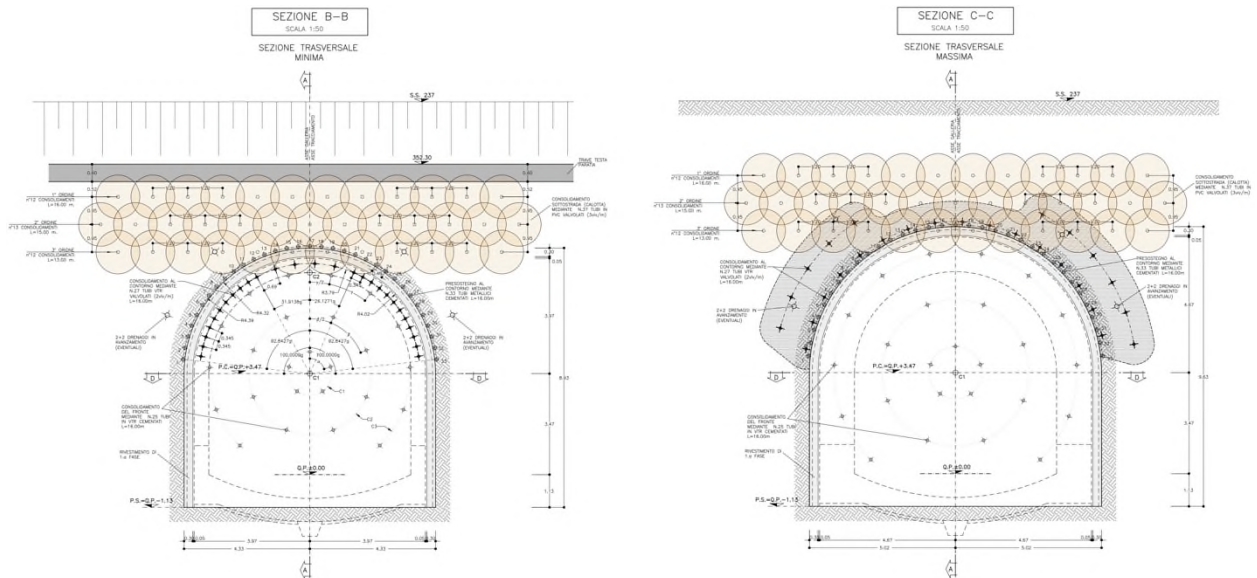


Figura 69 – Sezione di Attacco – Scavi e consolidamenti - Sezione

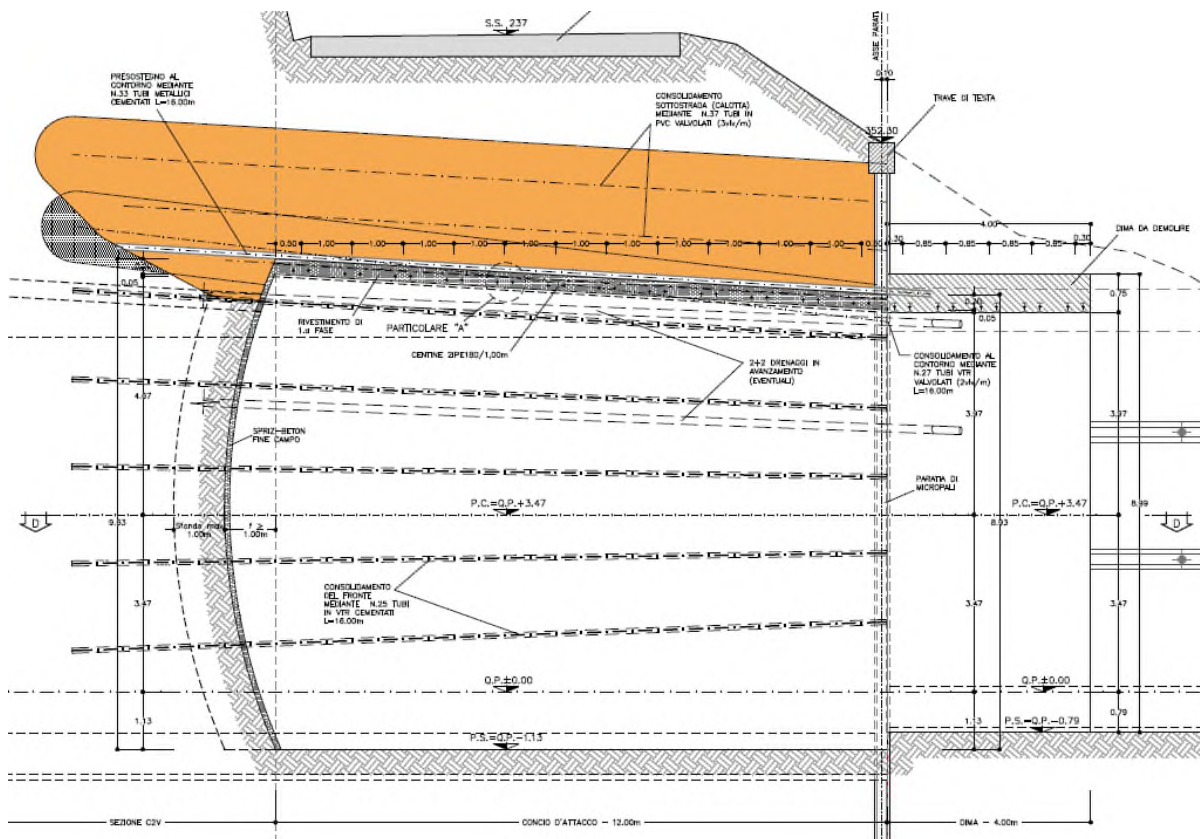


Figura 70 – Sezione di Attacco – Scavi e consolidamenti – Profilo longitudinale

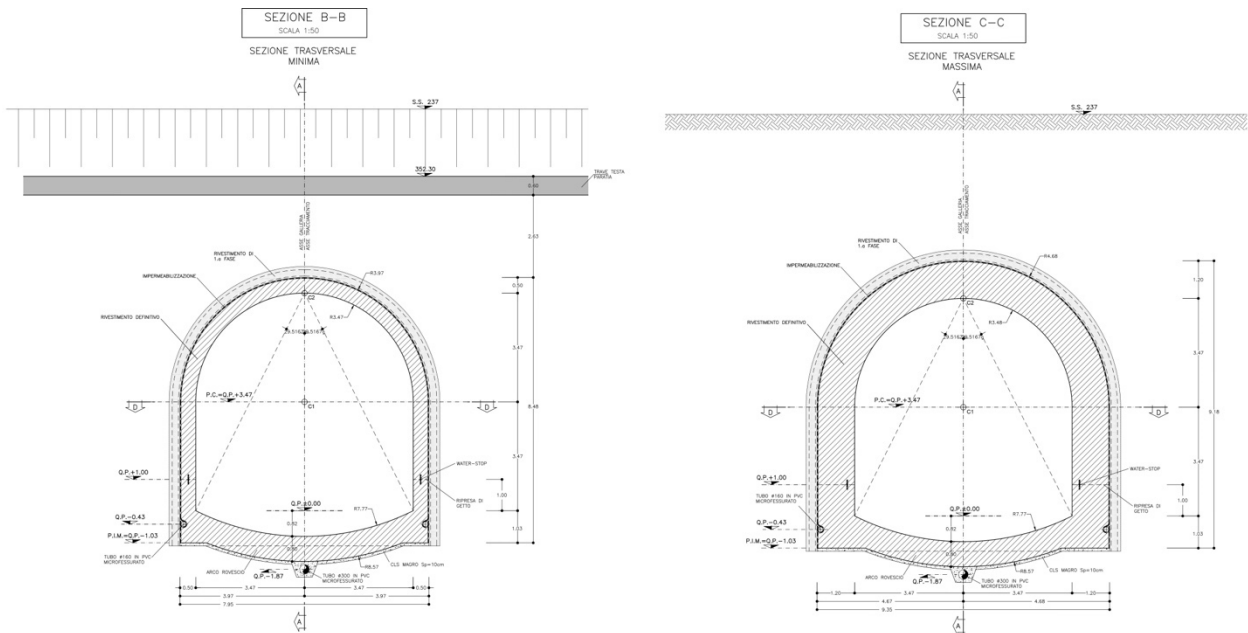


Figura 71 – Sezione di Attacco – Carpenteria – Sezioni

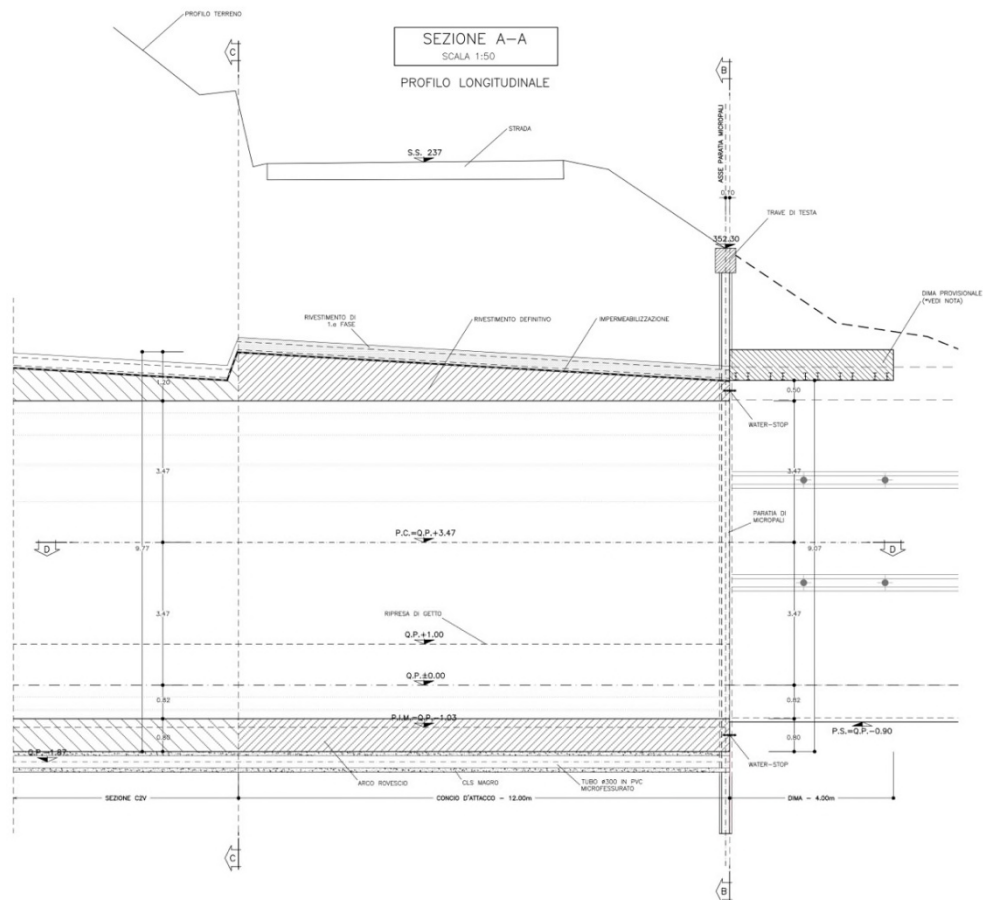


Figura 72 – Sezione di Attacco – Carpenteria – Profilo longitudinale

### 6.17.3 Fasi esecutive

Vengono eseguiti i consolidamenti sotto strada, al fronte e al contorno mediante miscele cementizie. Seguono gli eventuali drenaggi in avanzamento.

Si procede poi allo scavo a piena sezione per campi di 9.0 m mediante mezzi meccanici, con sfondi di profondità massima di 1.0 m. Al termine di ogni sfondo, il fronte dovrà essere sagomato a forma concava ( $f = 1.0$  m) e dovrà essere eseguito un accurato disaggio al fronte ed al contorno di tutte le porzioni instabili. A seguire, prima di procedere al posizionamento delle centine, dovrà essere messo in opera uno strato di spritz-beton fibrorinforzato di protezione al fronte ed al contorno pari ad almeno 5 cm circa. I reali spessori dello spritz-beton fibrorinforzato di protezione al fronte ed al contorno dovranno essere valutati in dettaglio dal preposto al fronte in funzione del contesto geomeccanico locale.

Dopo ogni sfondo, verranno messe in opera le centine e uno strato di spritz-beton fibrorinforzato di spessore 20 cm al contorno dello scavo + 3 cm di regolarizzazione.

Il tampone di spritz-beton fibrorinforzato al fronte di fine campo, propedeutico all'esecuzione dell'intervento di consolidamento, dovrà possedere uno spessore  $> 15$  cm circa.

I getti delle murette e dell'arco rovescio in c.a. verranno eseguiti ad una distanza massima di 1 diametro dal fronte; per ultimo verrà eseguito il getto della calotta in c.a. ad una distanza massima di 3 diametri dal fronte, previa posa in opera dell'impermeabilizzazione, prevista anche in arco rovescio

## 6.18 Durabilità calcestruzzo dei rivestimenti

Per garantire la durabilità delle strutture in calcestruzzo armato ordinario, esposte all'azione dell'ambiente, si devono adottare i provvedimenti atti a limitare gli effetti di degrado indotti dall'attacco chimico, fisico e derivante dalla corrosione delle armature e dai cicli di gelo e disgelo. Al fine di ottenere la prestazione richiesta in funzione delle condizioni ambientali, nonché per la definizione della relativa classe, si fa riferimento alle indicazioni contenute nelle Linee Guida sul calcestruzzo strutturale edite dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici ovvero alle norme UNI EN 206:2021 ed UNI 11104:2016.

Per le opere descritte nella presente relazione si adotta quanto segue:

Calotta e piedritti: CLASSE DI ESPOSIZIONE XC4, XA3\*

Arco rovescio, murette e nicchie: CLASSE DI ESPOSIZIONE XC4, XA3\*

Per arco rovescio e murette è stata considerata – come per calotta e piedritti – una classe di esposizione XC4 per l'intero sviluppo della galleria.

\*La classe di esposizione XA3 è prevista per tutte le sezioni che attraversino eventuali zone con presenza di lenti evaporitiche.

## 6.19 Prescrizioni di fermo fronte

Qualora le operazioni di scavo vengano interrotte per un tempo di circa 24 ore è necessario porre in opera uno strato di spritz-beton fibrorinforzato di 15 cm al fronte, con lo scopo di evitare che il materiale al contatto con l'atmosfera subisca deterioramenti.

Se il fermo delle lavorazioni sarà maggiore di 48 ore (festività o interruzioni di vario genere) il ciclo delle lavorazioni dovrà necessariamente terminare, per le sezioni tipo che lo prevedono, con il consolidamento del fronte appena eseguito (eventualmente incrementato se necessario), nonché con il rivestimento di prima fase a ridosso del fronte stesso, la sagomatura a forma concava del fronte con spritz-beton armato di spessore  $\geq 20$  cm, ferme restando tutte le altre prescrizione di progetto riguardo le distanze massime di arco rovescio, murette e rivestimento definitivo.

## 6.20 Sistema di impermeabilizzazione

Il progetto prevede sostanzialmente tre tipologie di impermeabilizzazione in estradosso ai rivestimenti definitivi, come di seguito illustrato.

### 6.20.1 Sistema di impermeabilizzazione e drenaggio Tipo 1

Per la tratta scavata in roccia nelle Arenarie della Val Sabbia fino allo sbocco lato Lavenone, è prevista l'adozione di un sistema di impermeabilizzazione e drenaggio TIPO 1, che si estende in calotta e murette e permette il drenaggio al contorno essendo dotato di appositi tubi sulle murette e sotto l'arco rovescio. Tale sistema di impermeabilizzazione e drenaggio, è sostanzialmente caratterizzato dai seguenti apprestamenti:

- posa del pacchetto di impermeabilizzazione dotato di teli in tessuto non tessuto in propilene e teli in PVC (spessore 2 mm) sull'arco di calotta e murette fino alla quota del piano di scavo;
- posa del waterstop tra getto dell'arco rovescio e getto della calotta;
- posa del cordolino idroespansivo su tutte le riprese di getto sulle riprese di getto tra campi successivi;
- presenza di tubi microfessurati  $\Phi 160$  mm in estradosso dei rivestimenti definitivi, posti alla quota sommitale delle murette;
- convogliamento delle acque drenate, mediante tubi  $\Phi 160$  mm (ogni 25 m) e pozzetti di ispezione (ogni 200 m), agli appositi tubi  $\Phi 300$  mm di smaltimento e raccolta acque drenate, posti al di sotto dell'arco rovescio.

Come si evince dalla descrizione sopra riportata e dai relativi schemi, il sistema Tipo 1 consente il drenaggio delle eventuali acque di filtrazione presenti all'interno dell'ammasso roccioso.

NOTA BENE: La verifica della tenuta delle saldature tra i teli in PFO andrà effettuata mediante test di pressione del vano risultante nel doppio cordone di termofusione.

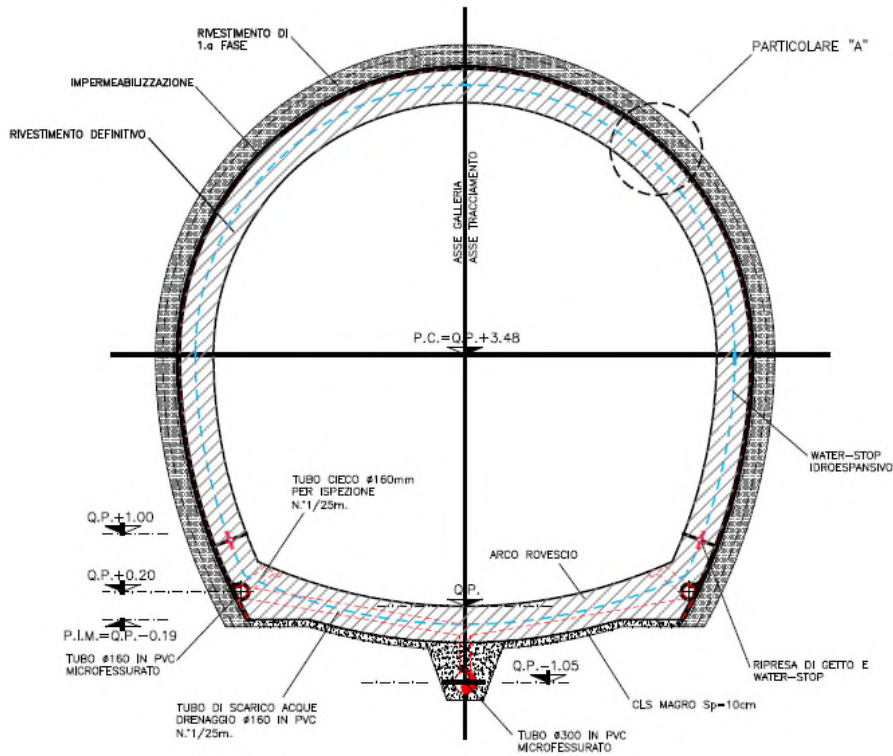


Figura 73 – Impermeabilizzazione e drenaggio Tipo 1 (senza pozzetto di ispezione)

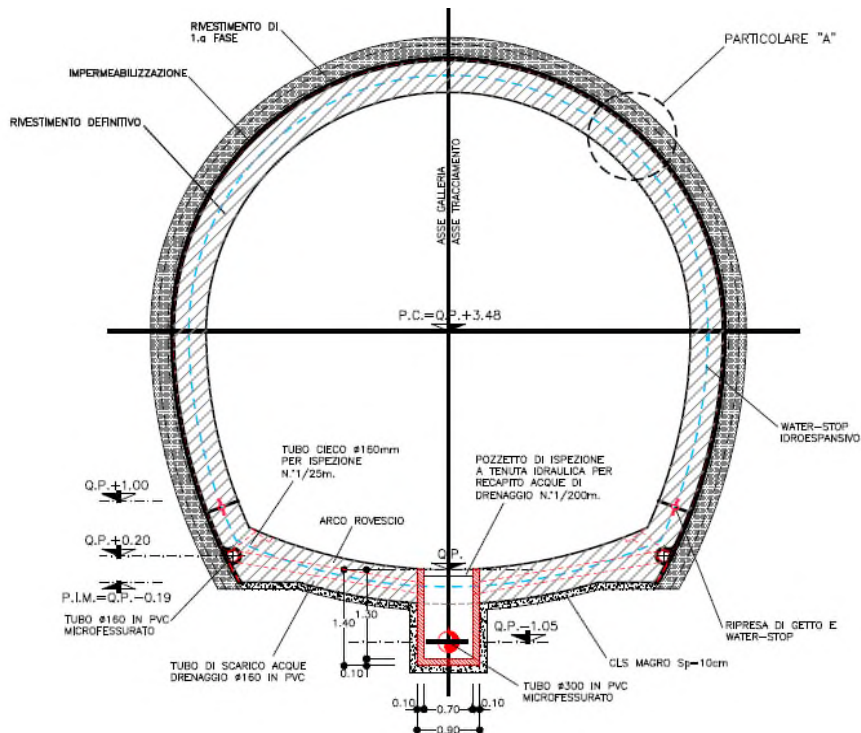


Figura 74 – Impermeabilizzazione e drenaggio Tipo 1 (con pozzetto di ispezione)



## 6.20.2 Sistema di impermeabilizzazione e drenaggio Tipo 2

Nella Formazione rocciosa del San Giovanni Bianco, caratterizzata dalla presenza all'interno dell'ammasso di acque aggressive (vista la possibile presenza di gessi ed anidriti), il progetto prevede l'adozione del sistema di impermeabilizzazione Tipo 2 full-round cioè con teli disposti in calotta murette ed arco rovescio, in modo da impedire il contatto delle acque di falda con i rivestimenti definitivi. Sono presenti, comunque, tubazioni di drenaggio sulle murette ed al di sotto dell'arco rovescio allo scopo di contenere le pressioni idrauliche sui rivestimenti. Tale sistema di impermeabilizzazione e drenaggio, è sostanzialmente caratterizzato dai seguenti apprestamenti:

- posa del pacchetto di impermeabilizzazione dotato di teli in tessuto non tessuto in propilene e teli in PVC (spessore 2 mm) sull'arco di calotta, murette e in arco rovescio;
- posa del waterstop tra getto dell'arco rovescio e getto della calotta;
- posa del cordolino idroespansivo su tutte le riprese di getto sulle riprese di getto tra campi successivi;
- presenza di tubi microfessurati  $\Phi 160$  mm in estradosso dei rivestimenti definitivi, posti alla quota sommitale delle murette;
- Convogliamento delle acque drenate, mediante tubi  $\Phi 160$  mm (ogni 25 m) e pozzetti di ispezione (ogni 200 m), agli appositi tubi  $\Phi 300$  mm di smaltimento e raccolta acque drenate, posti al di sotto dell'arco rovescio.

NOTA BENE: La verifica della tenuta delle saldature tra i teli in PFO andrà effettuata mediante test di pressione del vano risultante nel doppio cordone di termofusione.

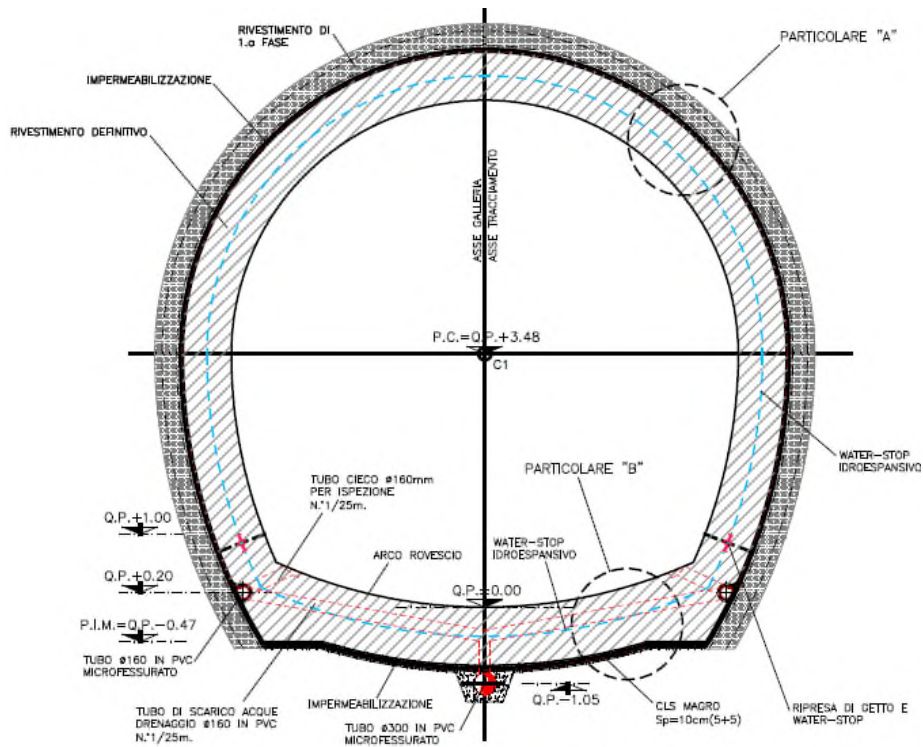


Figura 75 – Impermeabilizzazione e drenaggio Tipo 2 (senza pozzetto di ispezione)

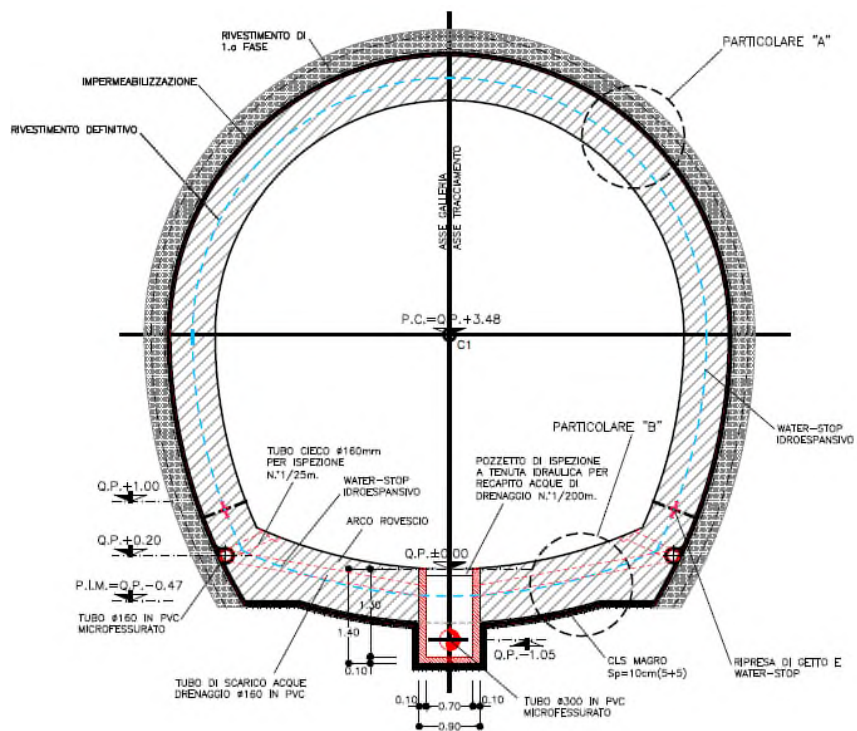


Figura 76 – Impermeabilizzazione e drenaggio Tipo 2 (con pozzetto di ispezione)

### 6.20.3 Sistema di impermeabilizzazione e drenaggio Tipo 3

Tale sistema d'impermeabilizzazione presenta pari caratteristiche del Tipo 2 con l'unica differenza di non essere dotato di tubi di drenaggio sulle murette ed al di sotto dell'arco rovescio. Il suo utilizzo è previsto in tutto il tratto in detrito lato Idro, per impedire il drenaggio che comporterebbe l'ingresso di ingenti quantitativi di acqua proveniente dall'adiacente lago e conseguenti fenomeni di trasporto solido deleteri per la stabilità del fronte e del contorno e quindi assolutamente da evitarsi.

Tale tipologia di impermeabilizzazione sarà prolungata cautelativamente per 50 m oltre il passaggio tra il detrito e la formazione di San Giovanni Bianco, per evitare l'istaurarsi nel corso della vita media dell'opera di fenomeni di filtrazione e conseguente dissoluzione dell'ammasso al contorno del cavo, indotti dal drenaggio della galleria. Tali fenomeni potrebbero determinare anomalie di carico dell'ammasso sui rivestimenti, come rilevato nell'adiacente galleria "degli Agricoltori".

Tale sistema di impermeabilizzazione e drenaggio, è sostanzialmente caratterizzato dai seguenti apprestamenti:

- posa del pacchetto di impermeabilizzazione dotato di teli in tessuto non tessuto in propilene e teli in PVC (spessore 2 mm) sull'arco di calotta, murette e in arco rovescio;
- posa del waterstop tra getto dell'arco rovescio e getto della calotta;
- posa del cordolino idroespansivo su tutte le riprese di getto sulle riprese di getto tra campi successivi.

**NOTA BENE:** La verifica della tenuta delle saldature tra i teli in PFO andrà effettuata mediante test di pressione del vano risultante nel doppio cordone di termofusione.

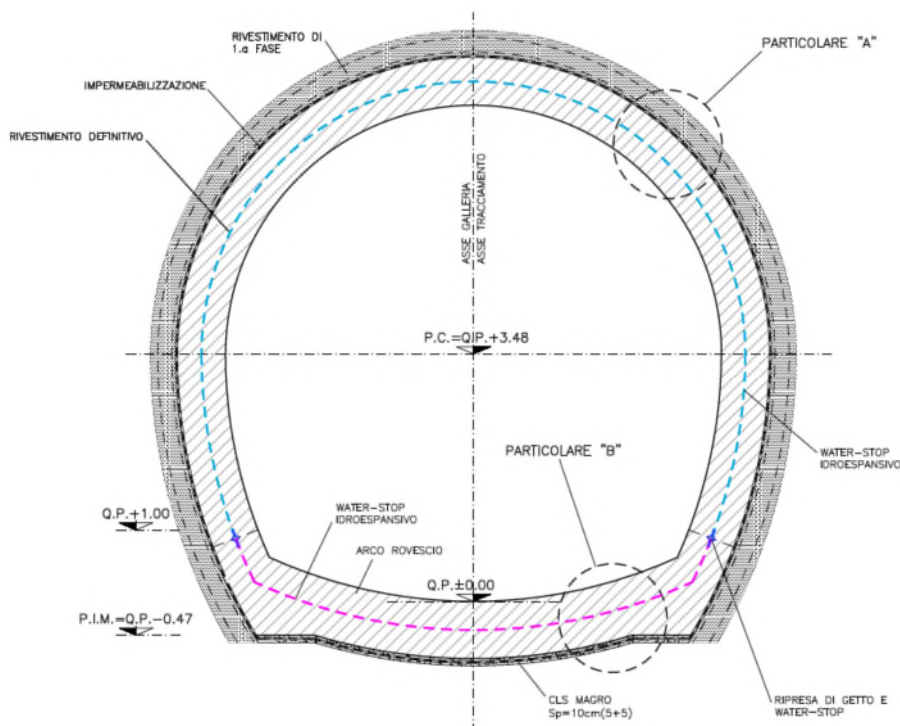


Figura 77 – Impermeabilizzazione e drenaggio Tipo 3

## 7 SCAVO ALL'INTERNO DEL DETRITO LATO IDRO: DIMENSIONAMENTO DELL'INTERVENTO DI COMPARTIMENTAZIONE

### 7.1 Descrizione degli interventi

Dato che i primi 160m circa di galleria lato Idro sono scavati in detrito ad una quota più bassa rispetto al pelo libero del lago d'Idro, che alimenta costantemente la falda, è stato necessario valutare accuratamente la permeabilità del materiale scavato (vedi relazione di caratterizzazione geologica e geotecnica) per dimensionare correttamente gli interventi di consolidamento ed impermeabilizzazione al contorno del cavo, al fronte ed al di sotto del piano di scavo. Tali interventi sono necessari al fine di evitare l'instaurarsi di moti di filtrazione, che potrebbero comportare un crescente trasporto solido, fino al conseguente collasso della cavità.

#### Interventi di consolidamento ed impermeabilizzazione al contorno del cavo

Gli interventi di consolidamento ed impermeabilizzazione al contorno del cavo sono costituiti da una doppia coronella di jet-grouting con colonne  $\varnothing 800$  L = 16 m, sovrapposizione 8 m. Le geometrie sono studiate al fine di garantire un'adeguata sovrapposizione (vedi scavi e consolidamenti delle sezioni tipo C1, C1P e camerone convergente).

Qualora, per incontrollabili fenomeni di filtrazione, le colonne di jet fossero soggette a significativi effetti di dilavamento e/o deviazione, sarà da prevedersi un propedeutico intervento d'impermeabilizzazione al contorno mediante iniezioni cementizie + chimiche, le cui geometrie verranno definite in corso d'opera.

#### Tamponi d'impermeabilizzazione e consolidamento al fronte e al fondo dello scavo

Per garantire assieme la riduzione della permeabilità ed il consolidamento dei depositi detritici verranno eseguiti interventi mediante iniezioni selettive in pressione di miscele cementizie (funzione strutturale) + miscele chimiche (funzione impermeabilizzante).

In particolare, al fronte di scavo per ogni campo d'avanzamento di L = 8 m verranno realizzati mediante perforazioni attrezzate con tubi in PVC valvolati (3 vlv/m) L = 12 m, sovrapposizione 4 m, dei tamponi d'impermeabilizzazione e consolidamento di lunghezza L = 4 m davanti al fronte di fine campo. Nei tratti compresi tra due tamponi al fronte (L = 4 m), che risultano essere isolati dall'apporto di falda verrà eseguito esclusivamente un consolidamento strutturale con iniezioni cementizie.

Il tampone d'impermeabilizzazione e consolidamento del fondo dello scavo prevede geometrie tali da garantire il trattamento di una fascia di almeno 3 m al di sotto del piano di scavo (vedi scavi e consolidamenti delle sezioni tipo C1P e camerone convergente)

Le perforazioni sottofalda dovranno essere eseguite con l'ausilio del sistema preventer.

### 7.2 Specifiche tecniche e procedure operative di iniezione

#### Perforazione, tubi valvolati e uso del preventer

La perforazione sarà eseguita a rotazione o rotopercolazione, con l'impiego di fluidi, sostenendo il terreno per mezzo di tubi provvisori in acciaio, con diametro complessivo del foro 90-100 mm, allo scopo di evitare

detensionamenti del terreno stesso ovvero franamenti del foro. Essa sarà eseguita con utensili adatti ad ottenere il diametro del foro previsto ed a consentire la regolarità delle successive operazioni di posa in opera dei tubi valvolati.

In caso di perforazioni da eseguire al di sotto del livello di falda, queste saranno condotte utilizzando un dispositivo che consenta di gestire l'acqua di spurgo in fase di perforazione ed impedisca la fuoriuscita d'acqua prima dell'inserimento del tubo valvolato. In questa situazione sul fronte di perforazione si fisserà preventivamente, in corrispondenza di ciascun foro da eseguire, un tubo di attesa di diametro superiore, su cui si collegherà un "blow-out preventer" atto a controllare il fluido di spurgo della perforazione in modo da evitare l'innesco di fenomeni di sifonamento e tale da permettere la chiusura rapida del foro.

Al termine della perforazione, (tramite il preventer in caso di suo utilizzo), sarà posato in opera il tubo valvolato in PVC ad alta resistenza (a manchettes). Le manichette saranno esterne allo spessore del tubo e tenute in posizione mediante anelli in PVC termosaldati in due punti al tubo valvolato.

Lo spazio anulare tra la parete del foro e il tubo in PVC sarà riempito utilizzando una specifica miscela plastica (miscela di guaina) avente caratteristiche tali da permettere l'apertura delle valvole anche qualche settimana dopo la sua formazione.

La miscela di guaina sarà iniettata attraverso la valvola più profonda, verificandone il refluentoi a boccaforo. Il tubo valvolato sarà poi immediatamente lavato per assicurarne il successivo utilizzo per le iniezioni. Nel caso di utilizzo del preventer, questo sarà infine rimosso.

### Caratteristiche delle miscele

Nel corso della realizzazione degli interventi progettati dovranno essere utilizzate le seguenti miscele.

#### A) Miscela di guaina per la posa del tubo valvolato

- o Acqua 100 kg pari a 844 lt/mc di miscela
- o Cemento R32,5 50 kg pari a 422 kg/mc di miscela
- o Bentonite 5 kg pari a 42 kg/mc di miscela

#### Caratteristiche della miscela:

- o Massa volumica 1280÷1320 kg/mc
- o Viscosità Marsh > 50"
- o Stabilità (bleeding) 99% dopo 3 ore
- o Resistenza < 2 MPa

#### B) Miscela cementizia fine per l'iniezione per permeazione del terreno

- o Acqua 100 kg (868 lt/mc di miscela)
- o Cemento Portland 52,5 40 kg (348 kg/mc di miscela)
- o Bentonite (tipo Bentosund Y) 4 kg (35 kg/mc di miscela)
- o Additivo disperdente inorganico (tipo Lampserse HB) 0,3÷0,5 lt (2,6÷4,3 Lt/mc di miscela)

#### Caratteristiche della miscela

- o Massa volumica 1220÷1270 kg/mc
- o Viscosità Marsh 35÷40"
- o Stabilità (bleeding) 99% dopo 3 ore

- o Stabilità alla filtropressa < 90 cc dopo 30' a 7 atm

**C) Miscela silicatica per l'iniezione per permeazione del terreno**

- o Acqua 400-500 l/mc
- o Silicato di sodio 350-450 kg/mc
- o Microcarbonato 200-300 kg/mc
- o Reagente inorganico 150-300 kg/mc

Caratteristiche della miscela

- o Massa volumica 1250-1350 kg/mc
- o Viscosità iniziale Baroid 5÷7 cP
- o Tempo di gelificazione 45÷60 min

I componenti utilizzati per il confezionamento della miscela non devono essere inquinanti e il prodotto di reazione che si ottiene deve essere stabile nel tempo.

La miscela dovrà essere in grado di permeare sabbie anche molto fini, caratterizzate da coefficienti di permeabilità di  $10^{-3}$  cm/s.

Si prevede di utilizzare, ad integrazione della miscela cementizia, una miscela chimica inorganica avente caratteristiche di elevatissima penetrabilità ed alta resistenza, adatta pertanto a migliorare le caratteristiche meccaniche del terreno da consolidare e a ridurre la permeabilità dello stesso, per effetto della sua capacità di permeare omogeneamente i meati anche delle frazioni più fini del terreno.

La Direzione Lavori avrà la facoltà di apportare eventuali correzioni a quanto previsto in funzione delle risposte che verranno dai trattamenti iniziali e dalle prime prove di controllo.

Sulle miscele dovranno essere effettuati controlli sistematici per la verifica delle loro caratteristiche peculiari, tra cui le prove su candela per la miscela silicatica.

Per ulteriori dettagli in merito alle specifiche tecniche e procedure operative di iniezione non indicate nella presente trattazione, si rimanda al Capitolato allegato al progetto.

## 7.2.1 Modalità di esecuzione

Le iniezioni, del tipo ripetuto e selettivo (IRS), saranno eseguite per permeazione secondo il sistema a volume controllato, con limitazione delle portate e rispetto delle pressioni di rifiuto.

Per ciascuna valvola viene determinato il volume teorico di terreno da trattare  $V_t$ , funzione del raggio di azione scelto per la definizione della maglia dei fori e dell'interasse tra le valvole pari a 0.33 m; a partire da  $V_t$ , sulla base delle percentuali di miscela cementizia e silicatica decise per il trattamento, vengono calcolati i volumi di miscela da iniettare per ciascuna passata:  $V_c$  per le miscele cementizie e  $V_s$  per la miscela silicatica.

La quantità prefissata sarà iniettata nella valvola di competenza a partire da quella più profonda, con una portata istantanea dell'iniettore non superiore a 9 lt/min (pari a 540 lt/h). L'iniezione sarà condotta comunque senza superare la pressione di rifiuto, prefissata inizialmente, oltre la quale l'iniezione stessa rischierebbe di provocare la rottura del terreno con conseguente rifluimento della miscela verso zone non interessanti ai fini del trattamento e disattendendo l'obiettivo di omogeneità dello stesso, essenziale ai fini dell'abbattimento della

permeabilità del terreno. All'avvicinarsi della pressione al valore di rifiuto, la portata  $Q$  dell'iniettore verrà ridotta gradualmente, così da rispettare il parametro limite. Nel caso in cui  $Q$  scenda fino a circa 3 lt/min (180 lt/ora), il terreno è da ritenersi saturo, e pertanto l'iniezione verrà arrestata (rifiuto per saturazione).

Per permettere l'apertura della guaina, i primi colpi di iniezione di ogni passata potranno essere eseguiti ad alta pressione, aumentando la portata.

Al termine dell'iniezione completa di un foro, relativa ad una passata, il foro dovrà essere lavato accuratamente per permettere l'esecuzione delle passate successive. La cementazione finale del foro avverrà solo dopo autorizzazione da parte della D.L.

I parametri operativi dell'iniezione (portata, pressione, quantitativi complessivi) saranno registrati tramite un sistema automatico di registrazione e controllo.

## 7.3 Controlli in corso d'opera

Di seguito vengono indicati i controlli sulle miscele di iniezione che dovranno essere eseguite in cantiere, dove sarà attrezzato uno spazio adibito a laboratorio.

L'attrezzatura che dovrà corredare il laboratorio di cantiere dovrà essere la seguente:

- o bilancia elettronica con la precisione di 1 gr;
- o bilancia Baroid standard;
- o cono di Marsh;
- o contenitori cilindrici in vetro da 1 lt per la misura della decantazione (almeno 3);
- o viscosimetro rotativo a 300 e a 600 giri/minuto;
- o filtropressa standard Baroid;
- o termometro;
- o attrezzatura varia per il confezionamento dei provini da sottoporre a schiacciamento a libera espansione (cubetti o cilindretti).

### Controlli sulle miscele a base di cemento

Le prove di caratterizzazione della miscela cementizia comprendono i seguenti test (API RP 13B Standard Procedure for Field Testing Drilling Fluids):

- o misura della densità della miscela (peso di volume);
- o misura della viscosità della miscela col cono di Marsh e con il viscosimetro rotativo tipo Rheometer;
- o misura della separazione (bleeding test);
- o prova di pressofiltrazione;
- o prova sperimentale di iniezione della miscela in candele costituite da ghiaino standard;
- o prove di compressione monoassiale semplice con determinazione del modulo elastico, su campioni di miscela e su campioni di candela iniettata, maturati 28 giorni (ASTM D 2166).

### Controlli sulle miscele silicatiche

Le prove di caratterizzazione della miscela cementizia comprendono i seguenti test (API RP 13B Standard Procedure for Field Testing Drilling Fluids):

- o misura della densità della miscela (peso di volume);
- o misura della viscosità della miscela con il viscosimetro rotativo tipo Rheometer al momento del confezionamento e durante l'evoluzione successiva, per determinazione del tempo di iniettabilità;
- o prova sperimentale di iniezione della miscela in candele costituite da sabbia standard;
- o prove di compressione monoassiale semplice con determinazione del modulo elastico, su campioni di candela iniettata, maturati 28 giorni (ASTM D 2166).

Per ulteriori dettagli in merito ai controlli in corso d'opera non indicate nella presente trattazione, si rimanda al Capitolato allegato al progetto.



## 8 LINEE GUIDA PER L'APPLICAZIONE DELLE SEZIONI TIPO

In corso d'opera potrà essere verificata l'adeguatezza delle sezioni tipo definite sulla base dei rilievi geostrutturali e del comportamento deformativo del cavo (convergenze), in rapporto alle lavorazioni condotte secondo le fasi e cadenze prestabilite nel progetto.

Gli elementi raccolti in fase di scavo permetteranno infatti di:

- confermare la sezione tipo prevista in una determinata tratta e riportata sull'elaborato "Profilo geomeccanico" di progetto;
- individuare una diversa sezione tipo, tra quelle previste in progetto, qualora le condizioni realmente riscontrate risultino difformi da quelle ipotizzate per la tratta in esame.

I criteri di valutazione nell'ambito dell'applicazione delle sezioni tipo sono essenzialmente legati alla caratterizzazione dell'ammasso al fronte mediante rilievi geomeccanici ed alla valutazione della risposta deformativa del cavo mediante misure di convergenza.

Nell'elaborato "Profilo geomeccanico" facente parte della documentazione del presente progetto esecutivo, sono riportate le percentuali di applicazione delle sezioni tipologiche per ogni tratta presente lungo lo sviluppo della galleria.

L'applicazione delle suddette sezioni tipologiche avverrà attraverso la verifica in corso d'opera delle caratteristiche geomeccaniche del fronte (rilievi geomeccanici del fronte) e del comportamento deformativo del cavo (misure di convergenza) con riferimento ai seguenti casi:

- se i valori di GSI,  $\sigma_c$  e convergenza determinati risultano compresi entro i range indicati si procede con la sezione tipo prevista (in maggior percentuale), con riferimento alla situazione media degli interventi previsti;
- se i valori di GSI,  $\sigma_c$  e convergenza determinati risultano inferiori o superiori ai range indicati si procede applicando la sezione tipo rispettivamente più "leggera" o più "pesante" prevista in progetto (in minor percentuale).