

S.S. 42 "DEL TONALE E DELLA MENDOLA"
VARIANTE EST DI EDOLO

PROGETTO DEFINITIVO



CESI
Shaping a Better Energy Future
Mandante

TECHINT
Engineering & Construction
Mandataria

IGEAG
ENGINEERING S.p.A.
SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA
Mandante

VISTO: IL RESPONSABILE
DEL PROCEDIMENTO

RESPONSABILE
DELL'INTEGRAZIONE DELLE
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

PROGETTISTA SPECIALISTA

IL COORDINATORE DELLA
SICUREZZA IN FASE DI
PROGETTAZIONE

Ing. Giancarlo LUONGO

Ing. Alessandro RODINO

Ing. Alessandro RODINO

Dott. Domenico TRIMBOLI

OPERE IN SOTTERRANEO
GALLERIA NATURALE
RELAZIONE TECNICO DESCRITTIVA

CODICE PROGETTO

NOME FILE

T01EG00OSTRE01_B

REVISIONE

SCALA:

PROGETTO LIV. PROG. N. PROG.

COMI21 D 1810

CODICE ELAB. T01EG00OSTRE01

B

-

C

B

A

REV.

REVISIONE A SEGUITO ISTRUTTORIA ANAS
E PER RICHIESTA MODIFICA TRACCIATO

EMISSIONE

DESCRIZIONE

Agosto 2021

Maggio 2021

DATA

M. Barale

M. Barale

REDATTO

E. Giraud

E. Giraud

VERIFICATO

A. Rodino

A. Rodino

APPROVATO

INDICE	Pag.
1. INTRODUZIONE	1
2. NORMATIVE DI RIFERIMENTO	2
3. ARTIFICIALE LATO SUD	4
4. LA GALLERIA NATURALE	12
4.1 Galleria naturale – Sezioni tipo.....	14
4.2 Imbocco Sud – Interferenza con la linea ferroviaria.....	21
4.3 Imbocco Nord	24
5. GALLERIA NATURALE MODALITÀ REALIZZATIVE	29
6. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	43

1. Introduzione

Il presente Progetto Definitivo viene redatto dal Raggruppamento Temporaneo d'Imprese (RTI) costituito tra la Società Mandataria Techint Compagnia Tecnica Internazionale S.p.A. e le Società Mandanti CESI S.p.A. – IGEAS Engineering S.r.l. nell'ambito dell'Accordo Quadro DG 27/17 "Lotto n.2: coordinamento territoriale ANAS 3 (Lombardia, Piemonte, Valle d'Aosta, Liguria) – Codice CIG:72686041C6 e del relativo Contratto Attuativo riguardante la redazione della Progettazione Definitiva ed Esecutiva dei "Lavori di Ammodernamento della SS. 42 del Tonale e della Mendola. Variante est di Edolo – LOTTO II".

L'intervento in oggetto è stato incluso fra le opere infrastrutturali connesse e di contesto, con finanziamenti già completamente disponibili per la loro realizzazione, dal Decreto-legge 7 dicembre 2020, pubblicato in GURI Serie Generale n.26 del 1 febbraio 2021 (c.d. Decreto Olimpiadi Milano-Cortina 2026), dal titolo "Identificazione delle opere infrastrutturali da realizzare al fine di garantire la sostenibilità delle Olimpiadi invernali Milano-Cortina 2026".

La precedente fase progettuale, avente come oggetto la redazione dello Studio di Prefattibilità Ambientale ed il Progetto Preliminare dei "Lavori di adeguamento in sede del tratto Berzo Demo – Edolo della S.S. 42 "del Tonale e della Mendola" e per la costruzione della variante est di Edolo con collegamento in lato sud sulla S.S. 39 del Passo dell'Aprica", è stata redatta da altro RTI su incarico della Provincia di Brescia.

Oggetto della presente relazione è la descrizione dettagliata delle opere che compongono l'intera tratta della galleria "Edolo" ricadente fra le progressive km 0+150.00 e km 1+958.79, inclusi i portali di imbocco e le gallerie artificiali.

Vengono fornite inoltre indicazioni sulle modalità costruttive da adottarsi, in particolare sulle tipologie di scavo di avanzamento e sugli interventi di consolidamento in relazione alla galleria naturale compresa tra le progressive km 0+492.00 (imbocco naturale sud) e km 1+935.79 (imbocco naturale nord).

Per quanto riguarda la caratterizzazione geologico-geotecnica delle formazioni interessate dalle opere, e la conseguente definizione dei relativi parametri geotecnici, si rimanda agli elaborati a carattere Geologico e Geotecnico facenti parte della documentazione progettuale; allo stesso modo si rinvia alle Relazioni di Calcolo appositamente dedicate per le analisi e verifiche geotecniche e strutturali relative alle opere di sostegno provvisori di prima fase e per quelle relative alle strutture definitive.

Per eventuali maggiori dettagli in merito all'ubicazione delle opere ed alle relative caratteristiche geometriche si rimanda alla visione degli elaborati grafici di progetto.

2. Normative di riferimento

Il quadro normativo principale di riferimento per la progettazione stradale e per il progetto delle strutture è il seguente:

- Legge 5 novembre 1971, n. 1086 "Norme tecniche per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, ed a struttura metallica";
- Legge 2 febbraio 1974, n. 64 "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche";
- D.M. Infrastrutture Trasporti 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle «Norme Tecniche per le Costruzioni»";
- Circ. Min. Infrastr. Trasp. 21 gennaio 2019, n. 7 "Istruzioni per l'applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al D.M. 17/01/2018";
- D.M. 05/11/01 n. 6792 – “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade”;
- D.M. 22/04/04 – Modifica del decreto 5 novembre 2001 n. 6792 recante “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade”;
- D.Lgs. 30/04/92 n. 285 e successive modificazioni - “Nuovo codice della strada”;
- D.P.R. 16/12/1992 n.495 e ss.mm.ii. “Regolamento di esecuzione e di attuazione del Nuovo Codice della Strada”;
- D.M. LL.PP. 19/04/06 – “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali”;
- Regolamento di Regione Lombardia 24/4/2006 n. 7 – “Norme tecniche per la costruzione delle strade”;
- D.G.R. 27/09/2006 n. 8/3219 della Regione Lombardia – “Elementi tecnici puntuali inerenti ai criteri per la determinazione delle caratteristiche funzionali e geometriche per la costruzione dei nuovi tronchi viari e per l’ammodernamento ed il potenziamento dei tronchi viari esistenti ex art.4, r.r. 24/04/2006, n.7”;
- Circolare LL.PP. n. 7938/99 “Sicurezza della circolazione nelle gallerie stradali con particolare riferimento ai veicoli che trasportano merci pericolose”;
- D.M. n. 223 del 18.02.1992 e ss.mm.ii. (D.M. 03.06.1998, D.M. 11.06.1999 e D.M. 21.06.2004) “Regolamento recante istruzioni tecniche per la progettazione, l’omologazione e l’impiego delle barriere stradali di sicurezza”.
- D.M. Infrastrutture Trasporti 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle «Norme Tecniche per le Costruzioni»";
- Circ. Min. Infrastr. Trasp. 21 gennaio 2019, n. 7 "Istruzioni per l'applicazione delle

«Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al D.M. 17/01/2018”;

- Regolamento (UE) n. 305/2011 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 9/03/2011 "Condizioni armonizzate per la commercializzazione dei prodotti da costruzione”;
- Legge 5 novembre 1971, n. 1086 - Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato normale e precompresso ed a struttura metallica;
- Circolare Ministero dei Lavori pubblici 14 febbraio 1974, n.11951 – Applicazione delle norme sul cemento armato;
- Legge 5 febbraio 1974, n. 64 - Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche;
- Eurocodici UNI EN 1990:2006; UNI EN 1991; UNI EN 1992; UNI EN 1993; UNI EN 1994; UNI EN 1997; UNI EN 1998;
- Calcestruzzo - specificazione, prestazione, produzione e conformità (UNI EN 206-1:2006);
- UNI EN 1992-1-1:2005 - EC 2: Progettazione delle strutture di calcestruzzo;
- Direttiva 2004/54/CE 29.04.04 del Parlamento Europeo e del Consiglio relativa ai requisiti minimi di sicurezza per le gallerie della rete stradale transeuropea;
- D.M. LL.PP. 05.06.01 – “Sicurezza nelle gallerie stradali”;
- “Linee guida A.N.A.S. per la progettazione della sicurezza nelle gallerie stradali” - edizione 2009.

3. Artificiale lato SUD

La galleria artificiale in oggetto, della lunghezza complessiva di 342.00 m, si sviluppa dalla progressiva km 0+150 (imbocco sud) alla progressiva km 0+492.00 (imbocco galleria naturale) ed è costituita dai seguenti tratti caratteristici:

Tratto 1:

da progr. 0+150.00 a progr. 0+225.00: sezione scatolare di larghezza variabile (la larghezza è variabile in funzione dei necessari allargamenti in curva della sede stradale).

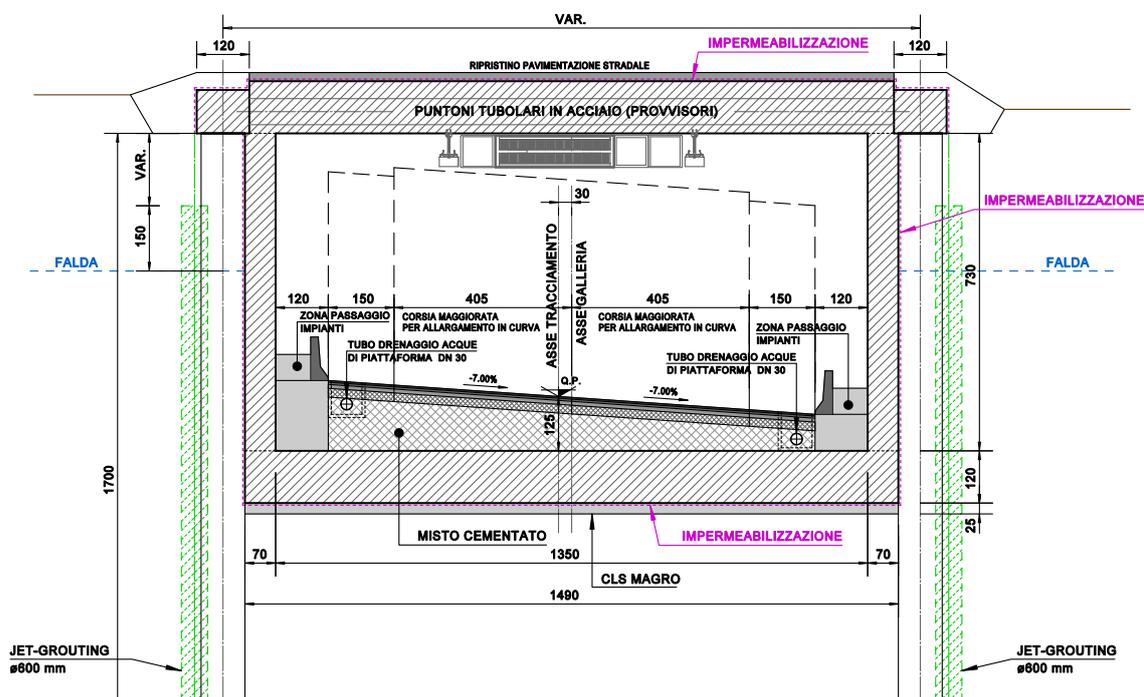


Figura 1 – Galleria Artificiale SUD – Sezione Scatolare tipo di larghezza variabile

Per il sostegno degli scavi, necessari alla costruzione della struttura definitiva, si prevede il ricorso a paratie di pali $\varnothing 1000$ mm in c.a. posti ad interasse di 1.10 m. La stabilità delle suddette paratie viene garantita da puntoni tubolari in acciaio posti in corrispondenza dei cordoli correnti in testa ai pali.

Al fine di realizzare uno schermo impermeabile per evitare dannosi reflussi di acqua all'interno dell'area di scavo è prevista inoltre la realizzazione di colonne $\varnothing 600$ mm di terreno consolidato mediante la tecnica jet-grouting interposte tra i pali in c.a..

Tratto 2:

da progr. 0+225.00 a progr. 0+365.12: sezione scatolare di larghezza costante.

Nel tratto in questione il tracciato stradale è ad andamento rettilineo per cui non sono necessari allargamenti. La sezione tipo è del tutto analoga alla precedente, ma con sede stradale di larghezza costante pari a 10.50 m.

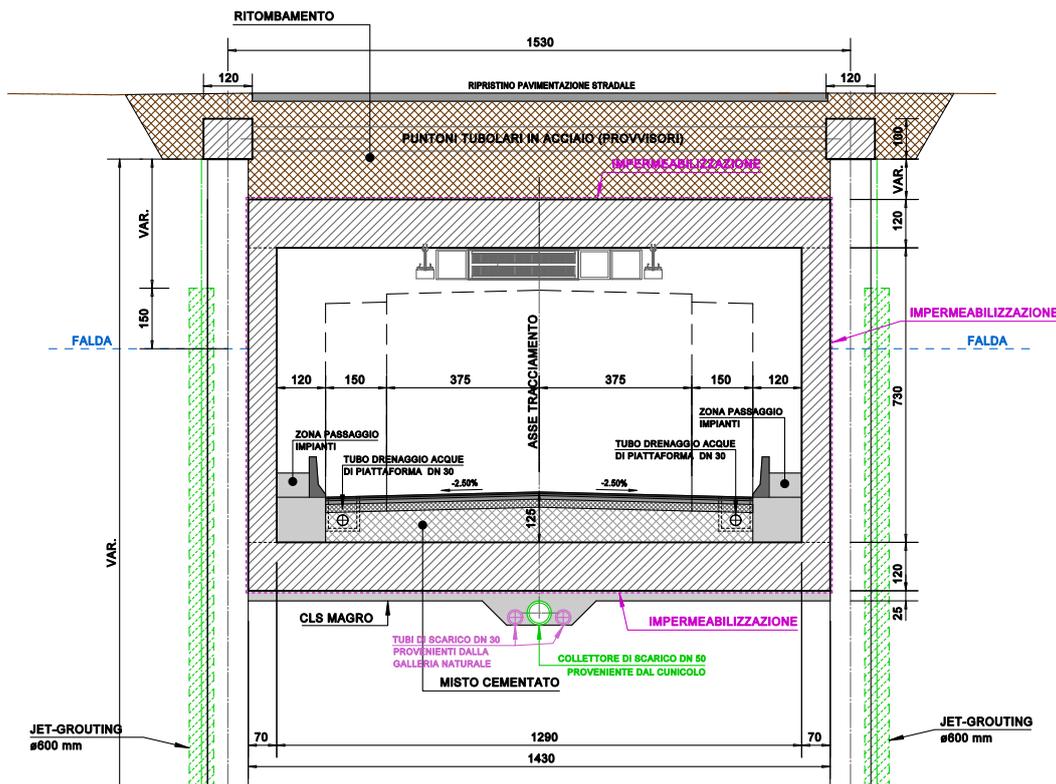


Figura 2 – Galleria Artificiale SUD – Sezione Scatolare tipo di larghezza costante

Tratto 3:

da progr. 0+365.12 a progr. 0+388.83: sezione scatolare di larghezza variabile (la larghezza è variabile al fine di garantire le necessarie condizioni di visibilità in curva). In tale tratto la sezione tipo è del tutto analoga a quella di larghezza variabile precedentemente descritta.

Tratto 4: (piazzola sosta di emergenza)

da progr. 0+388.83 a progr. 0+441.17: sezione scatolare di larghezza costante totale netta interna pari a 18.04 m.

In tale tratto è prevista la realizzazione della prima piazzola di sosta di emergenza.

La larghezza complessiva deriva dalla necessità di realizzare, oltre alla piazzola di sosta, anche un allargamento interno curva per soddisfare le verifiche di visibilità.

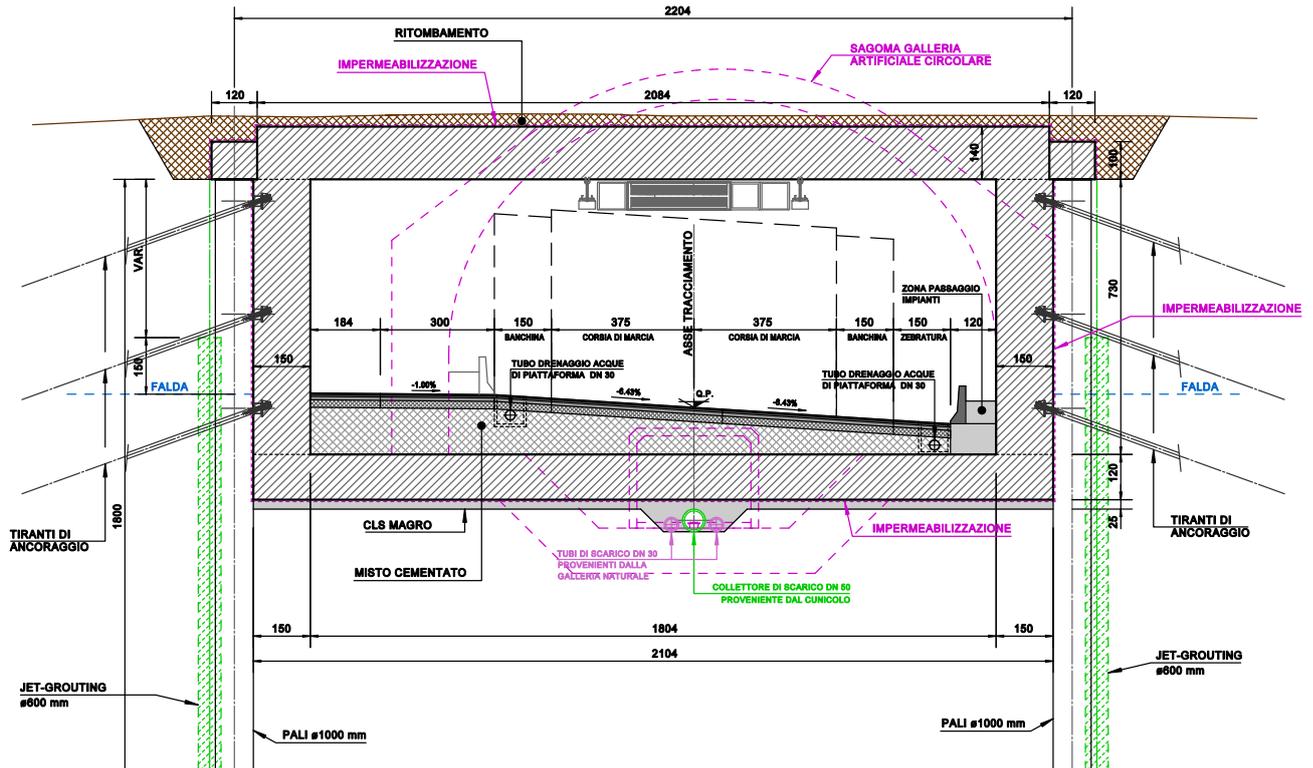


Figura 3 – Galleria Artificiale SUD – Sezione Piazzola di sosta

Per il sostegno delle paratie laterali, in luogo dei puntoni in testa, che presenterebbero lunghezze eccessive, si prevede il ricorso tiranti di ancoraggio.

Tratto 5:

da progr. 0+441.17 a progr. 0+468.43: tratto galleria a sezione circolare.

In questo tratto la galleria presenta una sezione circolare di larghezza maggiorata rispetto alla galleria naturale per garantire le necessarie condizioni di visibilità in curva. La sagoma interna è quindi costituita da una policentrica con raggi rispettivamente pari a 6.45 m ai fianchi e 7.48 m in calotta.

In tale tratto è prevista anche la presenza del cunicolo di emergenza posto al di sotto della pavimentazione stradale e pertanto la platea di fondazione viene opportunamente sagomata per fare posto al suddetto cunicolo.

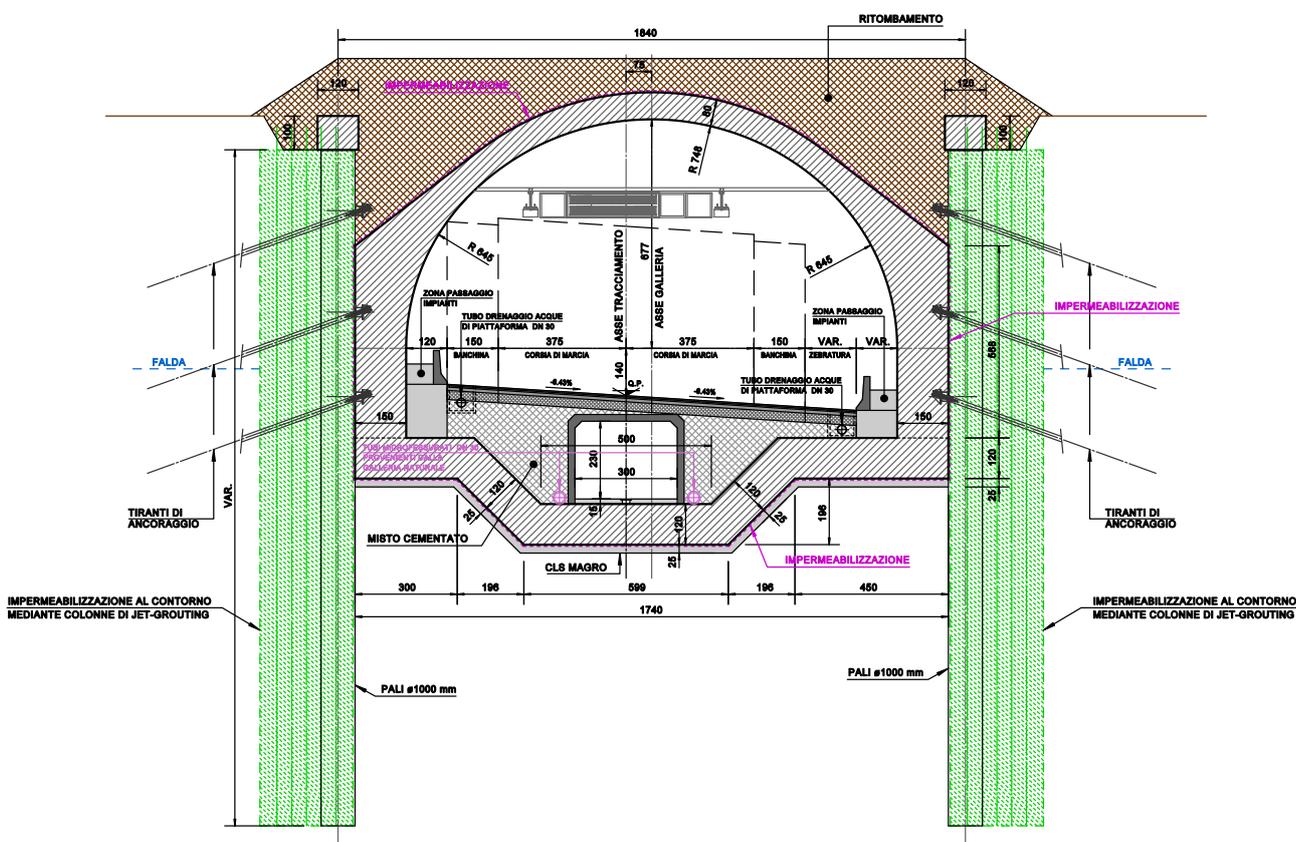


Figura 4 – Galleria Artificiale SUD – Sezione tipo circolare

Per il sostegno delle paratie laterali, anche in questo tratto sono previsti tiranti di ancoraggio, in luogo dei puntoni in testa che interferirebbero con il getto della calotta della galleria.

Tratto 6:

da progr. 0+468.43a progr. 0+492.00: tratto sottoattraversamento della ferrovia.

Il tratto in oggetto è quello corrispondente al sottopassaggio della linea ferroviaria.

La galleria artificiale presenta ancora le stesse caratteristiche geometriche del tratto precedente (sezione policentrica allargata).

E' previsto nuovamente il ricorso ai puntoni metallici trasversali in testa che non interferiscono più con la calotta della galleria e consentono di velocizzare le operazioni di scavo.

Essendo presente la linea ferroviaria, che sarà ovviamente interrotta durante i lavori per essere poi ripristinata al termine, si prevede un ritombamento della calotta mediante un getto di calcestruzzo alleggerito che consente di ripartire meglio i carichi dei treni.

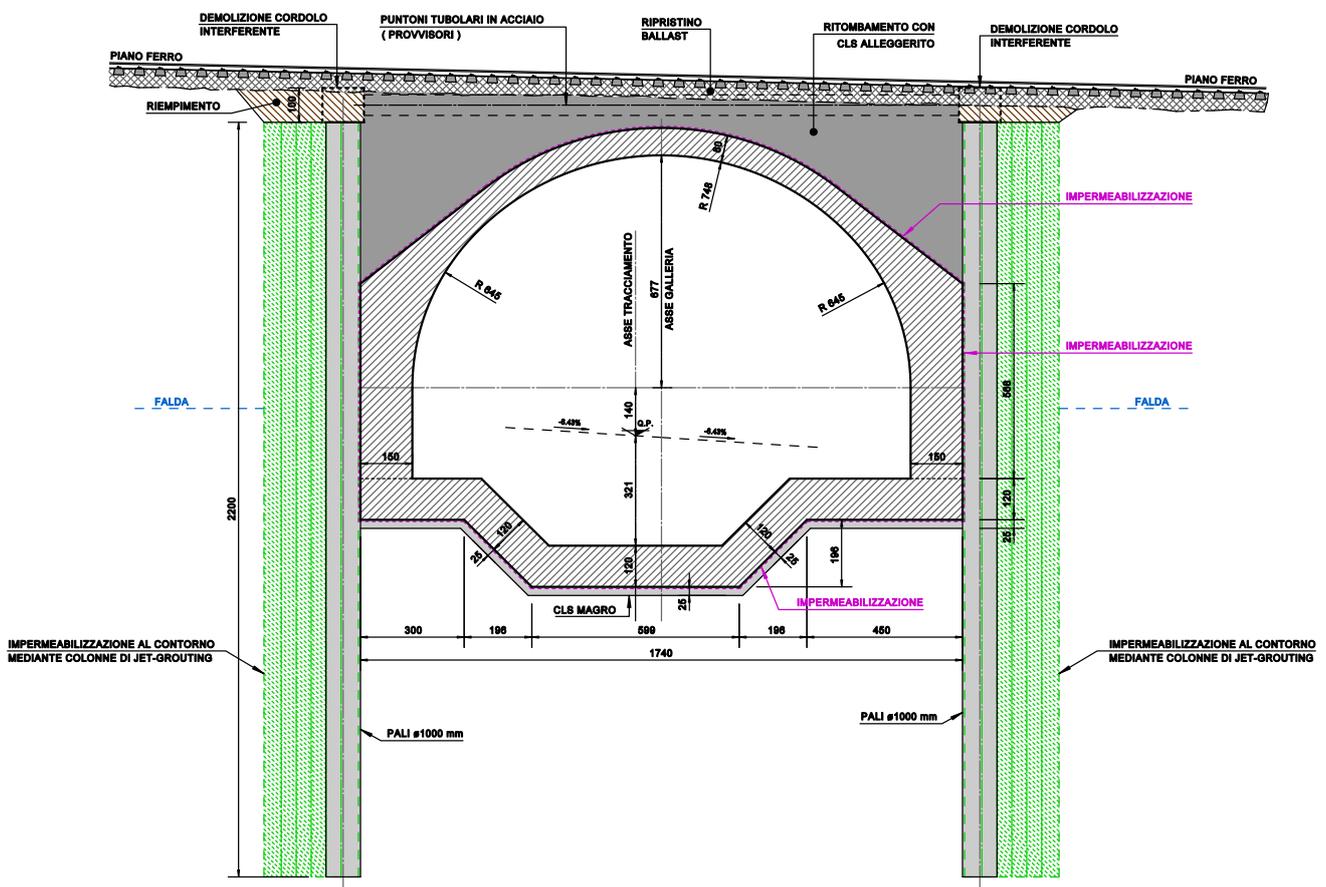


Figura 5 – Galleria Artificiale SUD – Sezione sottoattraversamento ferrovia

Per un tratto iniziale della nuova variante stradale, dalla progressiva km 0+100 alla progressiva km 0+150, della lunghezza di 50.0 m, il progetto prevede una soluzione "a cielo aperto" costituita da una platea di fondazione e pareti laterali in c.a. come rappresentato nella figura seguente.

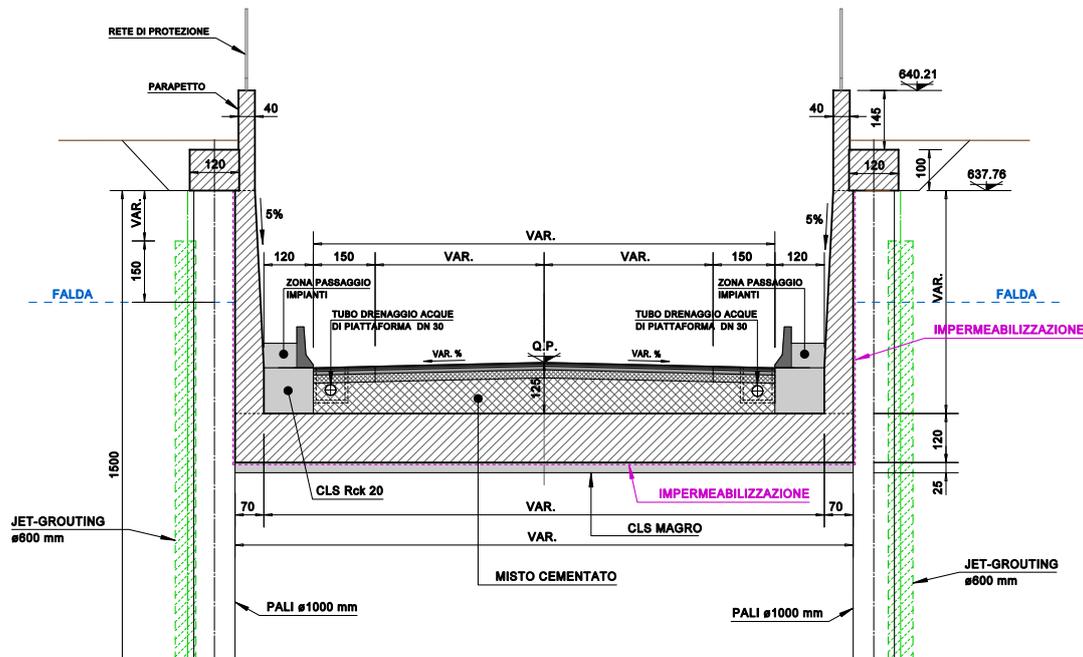


Figura 6 – Galleria Artificiale SUD – Sezione tratto a cielo aperto

In tale tratto, ove le altezze di scavo sono maggiori (per i primi 20.00 m dall'imbocco della galleria artificiale), per la stabilità delle paratie laterali si adotteranno ancora in puntoni trasversali di contrasto in testa.

Nel tratto precedente, della lunghezza di 30.00 m, ove le altezze di scavo sono minori e non sarebbe possibile adottare i puntoni trasversali che impedirebbero il transito dei mezzi di cantiere, le paratie laterali saranno realizzate "a sbalzo" con adeguato immersionamento al di sotto del piano di fondo scavo.

Alla progressiva km 0+492.00 è ubicato l'imbocco della galleria naturale.

Per il sostegno del fronte di attacco della galleria naturale si prevede la realizzazione di una paratia tipo "berlinese" costituita da micropali $\phi 300$ mm posti ad interasse 40 cm ed armati con profilati tubolari metallici $\phi 139.7$ mm $s=10$ mm.

I micropali in oggetto saranno realizzati mediante perforazioni a rotazione o rotopercolazione. Durante le operazioni di perforazione potrà eventualmente essere impiegato un rivestimento metallico provvisorio per consentire il sostegno delle pareti di scavo qualora necessario. A perforazione ultimata sarà posata all'interno l'armatura e sarà effettuata l'iniezione della miscela cementizia a bassa pressione fino a refluitamento in superficie.

La stabilità della paratia è ottenuta ponendo in opera, durante le varie fasi di scavo, tiranti attivi a trefoli disposti ad interasse di 3.20 m, su 4 livelli sovrapposti, mediante la posa di travi di ripartizione costituite da 2 UPN 220 mm.

Al termine degli scavi saranno realizzate le perforazioni di consolidamento del fronte e sarà realizzata la prima serie di infilaggi previsti a consolidamento e sostegno della calotta per il primo avanzamento dello scavo della galleria naturale e sarà infine gettata la dima di attacco in c.a. inglobante i suddetti infilaggi.

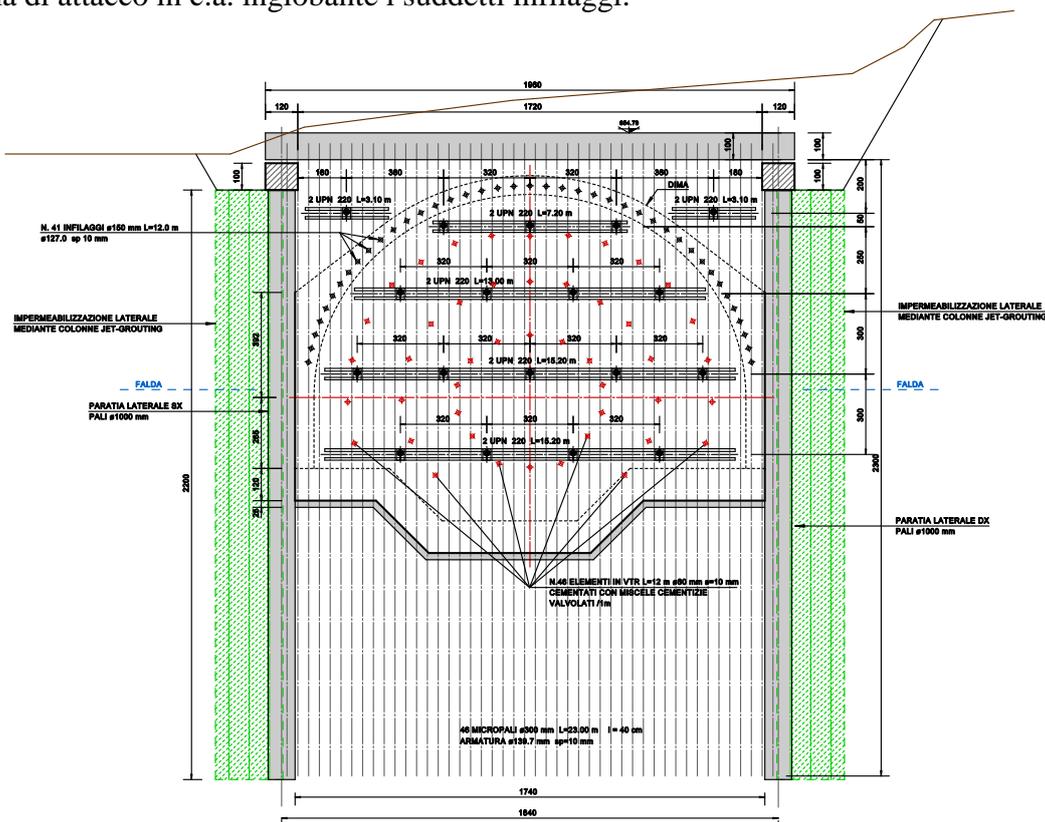


Figura 7 – Prospetto paratia di imbocco della galleria naturale

Analoga paratia trasversale tipo "berlinese" è inoltre prevista alla progr. 0+468.43, immediatamente a valle della linea ferroviaria.

Tale paratia ha la funzione di sostegno degli scavi durante le precedenti fasi di costruzione della galleria artificiale fino a tale progressiva e quindi prima della fase di sottoattraversamento della ferrovia.

Tale paratia è costituita, analogamente a quella di imbocco della galleria naturale, da micropali $\varnothing 300$ mm posti ad interasse 40 cm ed armati con profilati tubolari metallici $\varnothing 139.7$ mm s=10 mm.

La stabilità della paratia è ottenuta ponendo in opera, durante le varie fasi di scavo, tiranti attivi a trefoli disposti ad interasse di 3.20 m, su 4 livelli sovrapposti, mediante la posa di travi di ripartizione costituite da 2 UPN 220 mm.

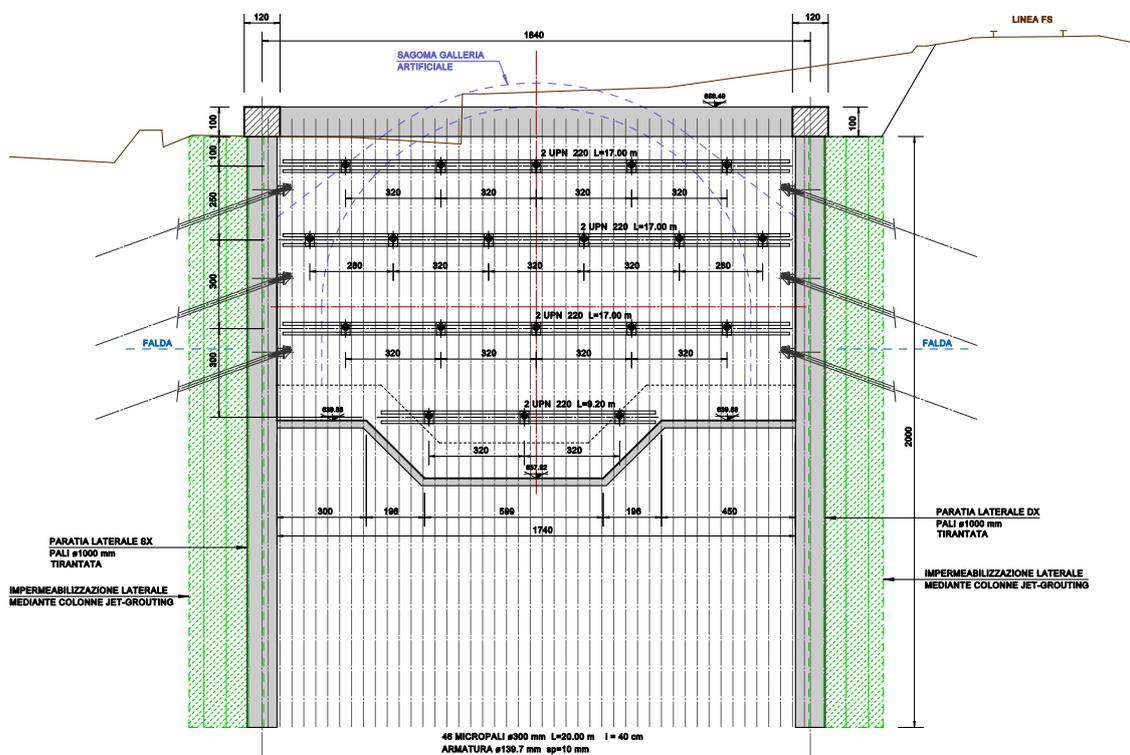


Figura 8 –Paratia trasversale a valle della ferrovia

Per eventuali maggiori dettagli in merito all'ubicazione delle opere ed alle relative caratteristiche geometriche si rimanda alla visione degli elaborati grafici di progetto.

4. La galleria Naturale

La galleria presenta profilo interno monocentrico con volta cilindrica circolare impostata su piedritti lievemente curvi sul lato di intradosso e verticali sul lato contro terra.

Il raggio interno della circonferenza di calotta è pari a 6.45 m.

Fa eccezione un breve tratto iniziale che si estende dalla progr. 0+492 (imbocco sud) alla progr. 0+556, della lunghezza di circa 64,0 m, ove la sezione della galleria é prevista leggermente allargata rispetto a quella corrente tipo, per la necessità di soddisfare le verifiche di visibilità in curva.

Relativamente al tracciato in galleria si è ricercato un andamento plano-altimetrico che non richiedesse, per quanto possibile, allargamenti in curva, sempre problematici in sotterraneo.

La galleria naturale presenta una lunghezza complessiva di 1443.79 m la pendenza longitudinale della galleria è 6,05%.

Dall’imbocco Sud in direzione Nord le coperture aumentano rapidamente fino a raggiungere un massimo di circa 130 m in corrispondenza della dorsale, per poi decrescere altrettanto rapidamente verso l’imbocco Nord.

È previsto che la realizzazione della galleria avvenga operando dai due imbocchi Sud e Nord, per lunghezze pari rispettivamente a 699.29 m e 744.50 m (sezione di connessione prevista al termine della Piazzola n. 4 che viene pertanto realizzata operando dall’imbocco Sud).

Da evidenziare che è previsto che l’inizio della galleria naturale da Nord verrà iniziato successivamente alla realizzazione del ponte sul Fiume Oglio, per difficoltà di accesso all’imbocco.

Il metodo di scavo previsto è quello “tradizionale”, con abbattimento mediante esplosivo e/o mezzi meccanici; lo scavo è previsto a piena sezione fino al piano di base delle murette con successivo scavo di ribasso per la realizzazione dell’arco rovescio.

I due imbocchi risultano essere ubicati alle seguenti coordinate geografiche:

	latitudine	longitudine
Imbocco SUD	46.174°	10.342°
Imbocco NORD	46.188°	10.341°

Per l'opera in oggetto si definiscono i seguenti parametri di classificazione:

- Zona sismica: 3 (Ai sensi della DGR 11/07/2014 n. X/2129);
- Tipo di costruzione: 2 (costruzioni con livelli di prestazione ordinari);
- Vita nominale: $V_N \geq 50$ anni
- Classe d'uso: IV
- Coefficiente d'uso: $C_u = 2,0$
- Periodo di riferimento per le azioni sismiche: $V_R = V_N \cdot C_u = 100$ anni

La tratta in sotterraneo in oggetto ricade interamente nell'ambito del territorio del Comune di Edolo e risulta suddivisa come indicato nella tabella seguente:

GALLERIA "EDOLO"			
<i>Tipologia</i>	<i>Tratto (Prog. km)</i>		<i>Lunghezza [m]</i>
Galleria artificiale lato SUD	0+150,00	0+492,00	342,00
Galleria Naturale	0+492,00	1+935,79	1.443,79
Galleria artificiale lato NORD	1+935,79	1+958,79	23,00
Lunghezza Totale :			1.808,79

4.1 Galleria naturale – Sezioni tipo

La galleria naturale presenta profilo interno monocentrico con volta cilindrica: il passaggio dalla sezione tipo “C2” alla “C1” (secondo il D.M. 05/11/2001 la piattaforma rimane invariata rispetto all’esterno) determina l’aumento del raggio del profilo di calotta da 6,00 m a 6,45 m.

Al fine di creare lo spazio necessario al cunicolo di sicurezza è stata prevista una sezione con arco rovescio ribassato, che si è prolungata anche negli ultimi 300 m prima dell’imbocco Nord per la realizzazione del cunicolo di sicurezza fino all’imbocco Nord dove è stata prevista un’uscita (contrariamente al Progetto Preliminare dove negli ultimi 300 m non era previsto il cunicolo di sicurezza).

Trattandosi di galleria a unica canna con doppio senso di Marcia, di lunghezza superiore a 1000 m, in ottemperanza alle norme di sicurezza vigenti, la galleria è stata dotata lungo l’intero sviluppo di n. 6 piazzole di sosta di emergenza ad interdistanza di 300 m dalle quali si accede al cunicolo di sicurezza che corre sotto la piattaforma stradale.

Al fine di creare lo spazio per l’allocazione del cunicolo di sicurezza, è stata prevista una sezione con arco rovescio ribassato, avente raggio interno pari a 9.00 m.

Il cunicolo è provvisto di due recapiti finali di uscita in prossimità sia dell’imbocco Sud e sia per quello Nord.

Le piazzole di sosta presentano, come da norma, una lunghezza pari a 45 m; la sezione “allargata” presenta un’estensione complessiva di 52.0 m per consentire la realizzazione dei collegamenti al cunicolo di sicurezza posto al di sotto della piattaforma stradale.

Il cunicolo si estende pertanto anche verso Nord fino allo sbocco della galleria, e non è interrotto come indicato nel Progetto preliminare, a una distanza di circa 300 m dall’imbocco.

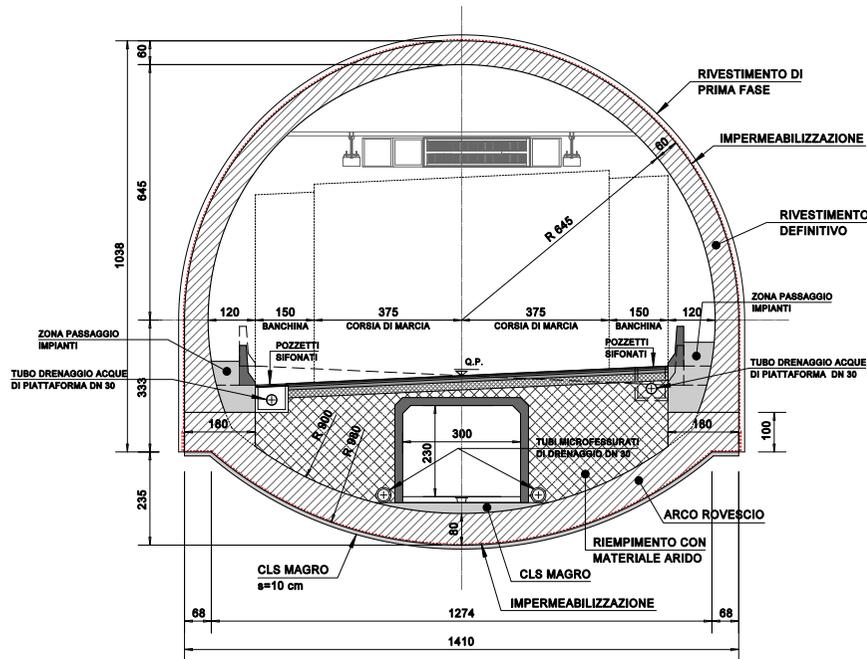


Figura 9 – Sezione corrente tipo

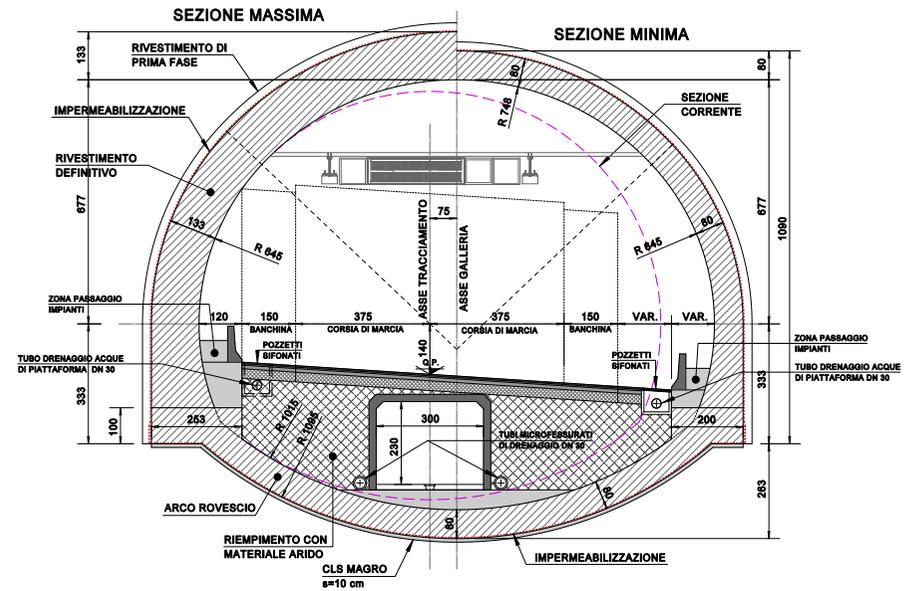


Figura 10 – Sezione allargata da progr. 0+492,00 a progr. 0+555,76

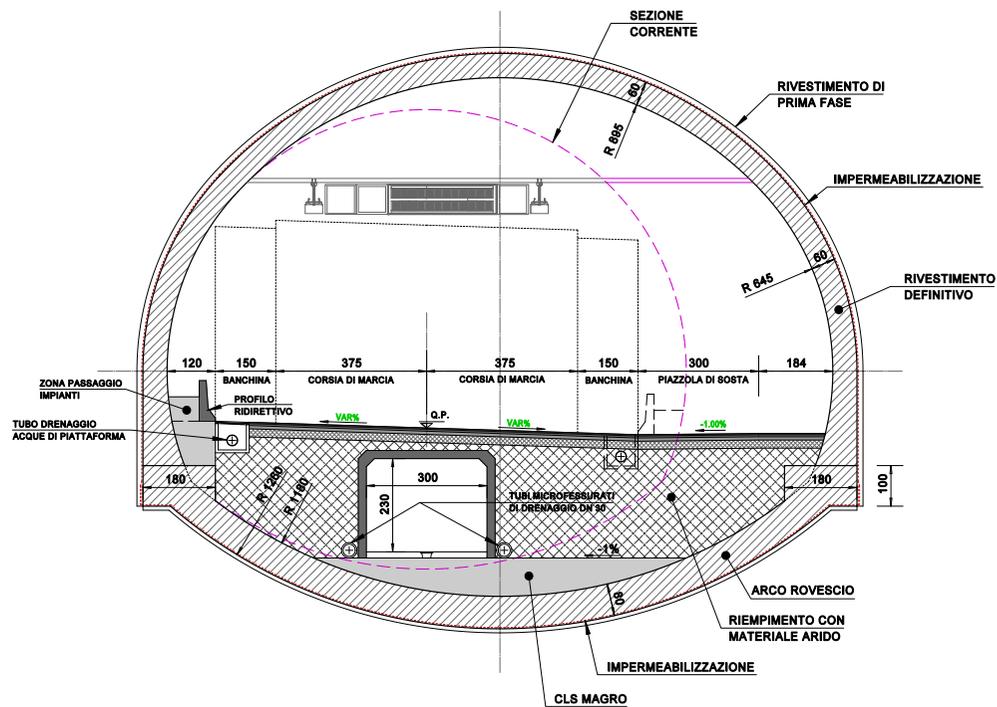


Figura 11 – Sezione tipo piazzola di sosta

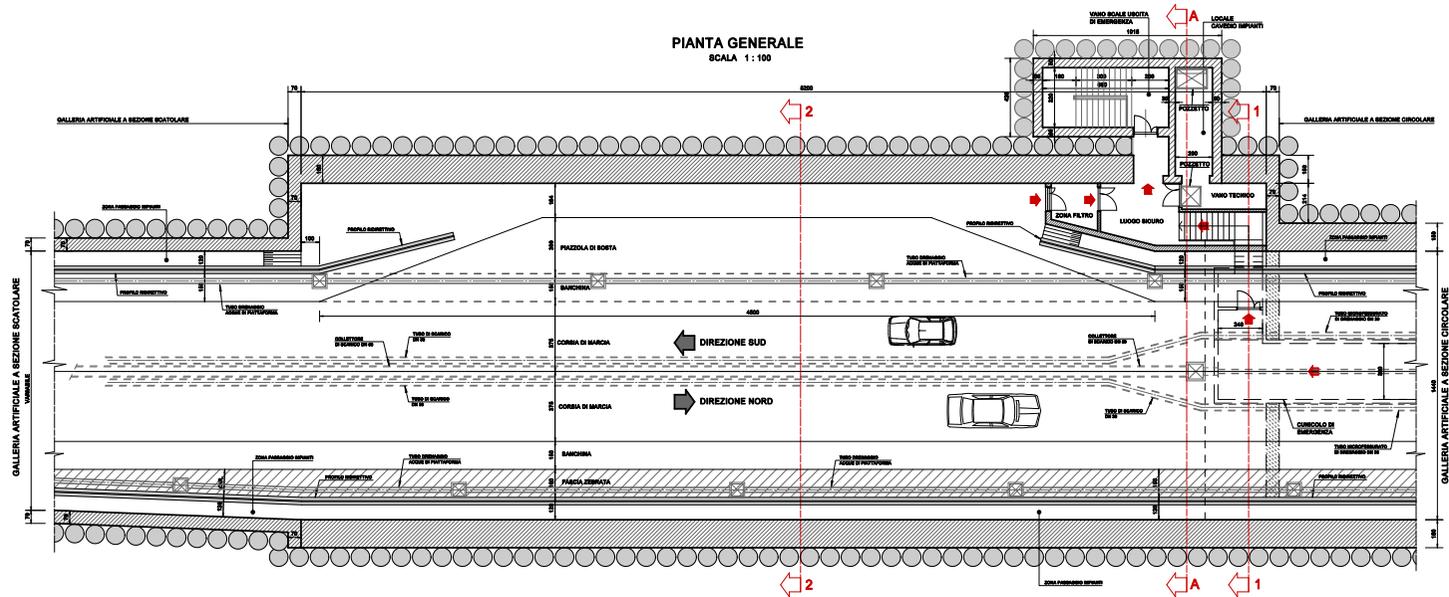


Figura 12 – Piazzola di sosta n.1

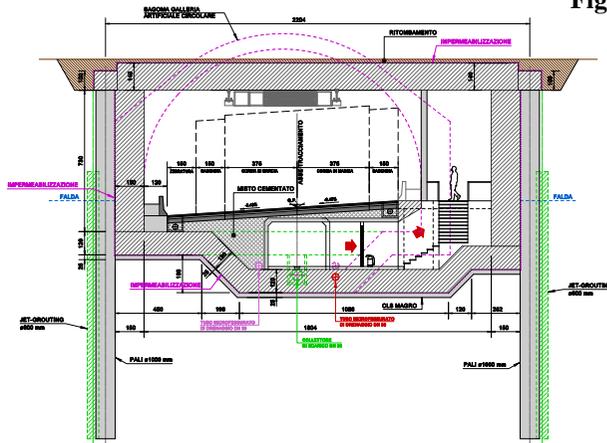


Figura 13 – Piazzola di sosta n.1 – Sez. 1-1

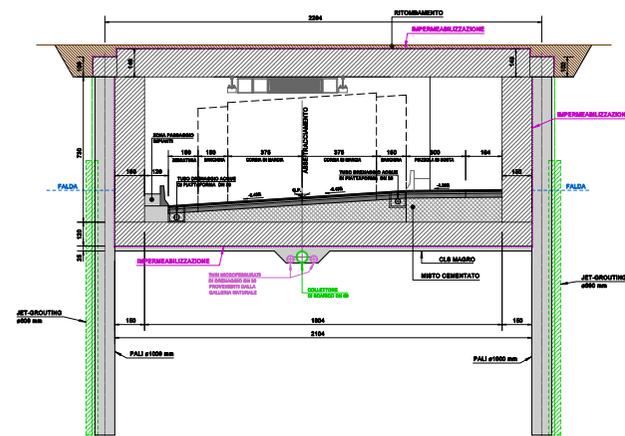


Figura 14 – Piazzola di sosta n.1 – Sez. 2-2

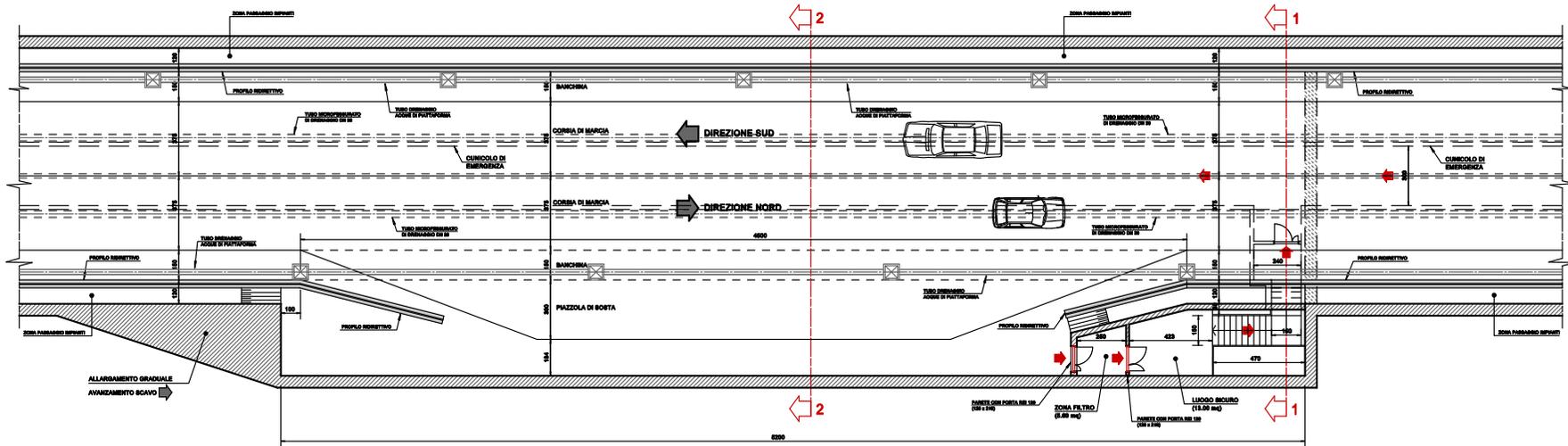


Figura 15 – Galleria naturale - Piazzola di sosta Tipo

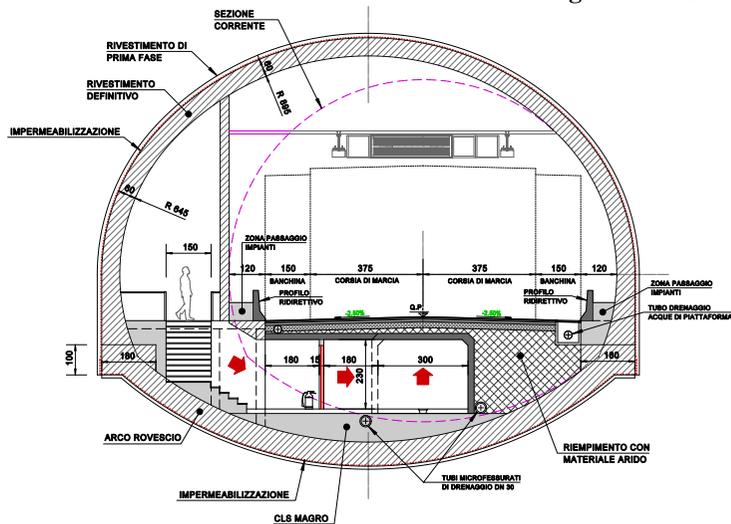


Figura 16 –Piazzola di sosta Tipo – Sez. 1-1

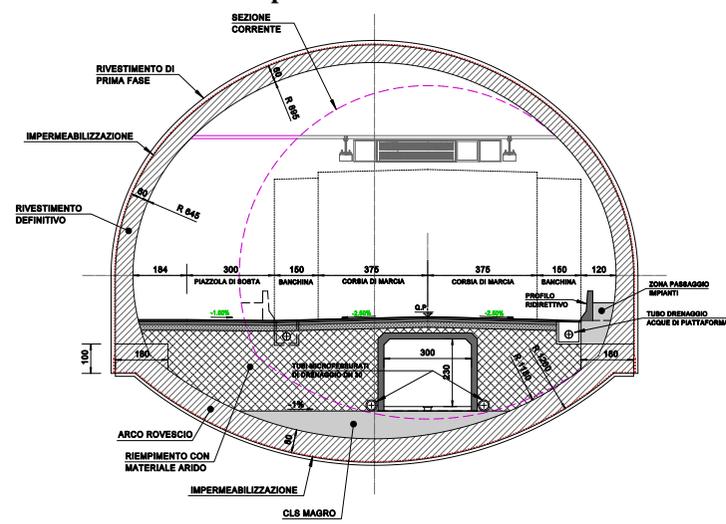


Figura 17 –Piazzola di sosta Tipo – Sez. 2-2

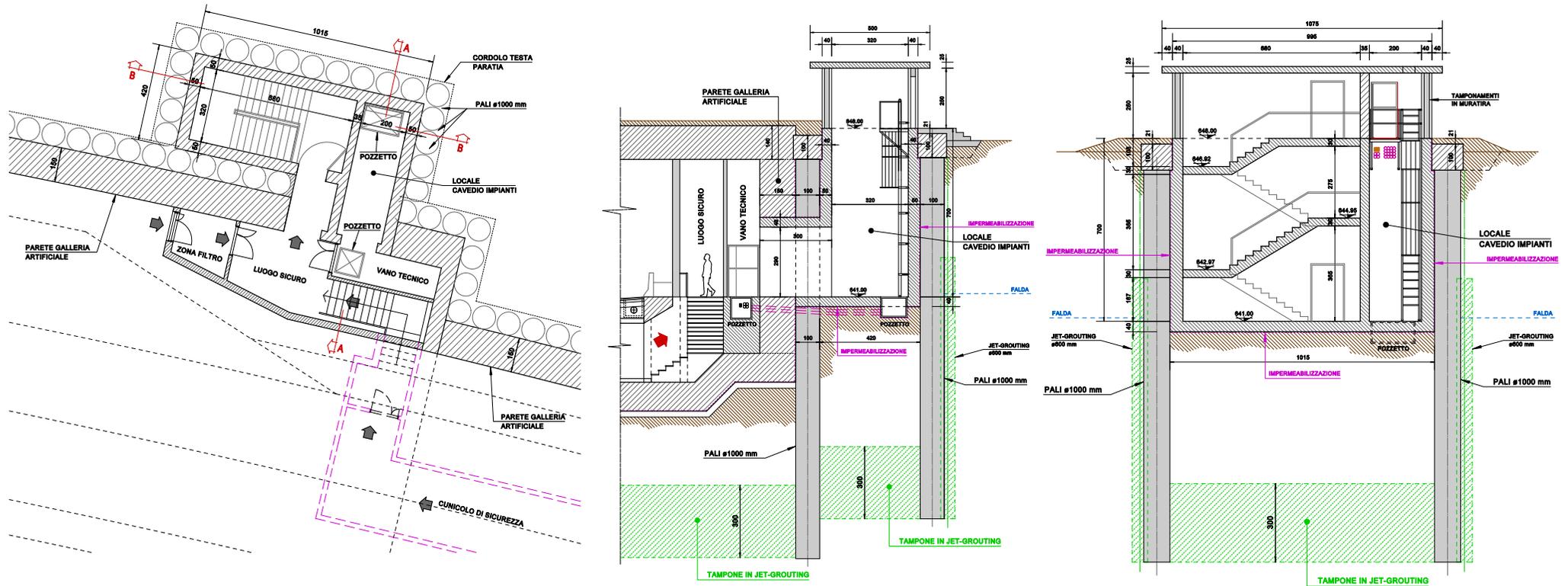


Figura 18 – Cunicolo di emergenza - uscita lato Sud

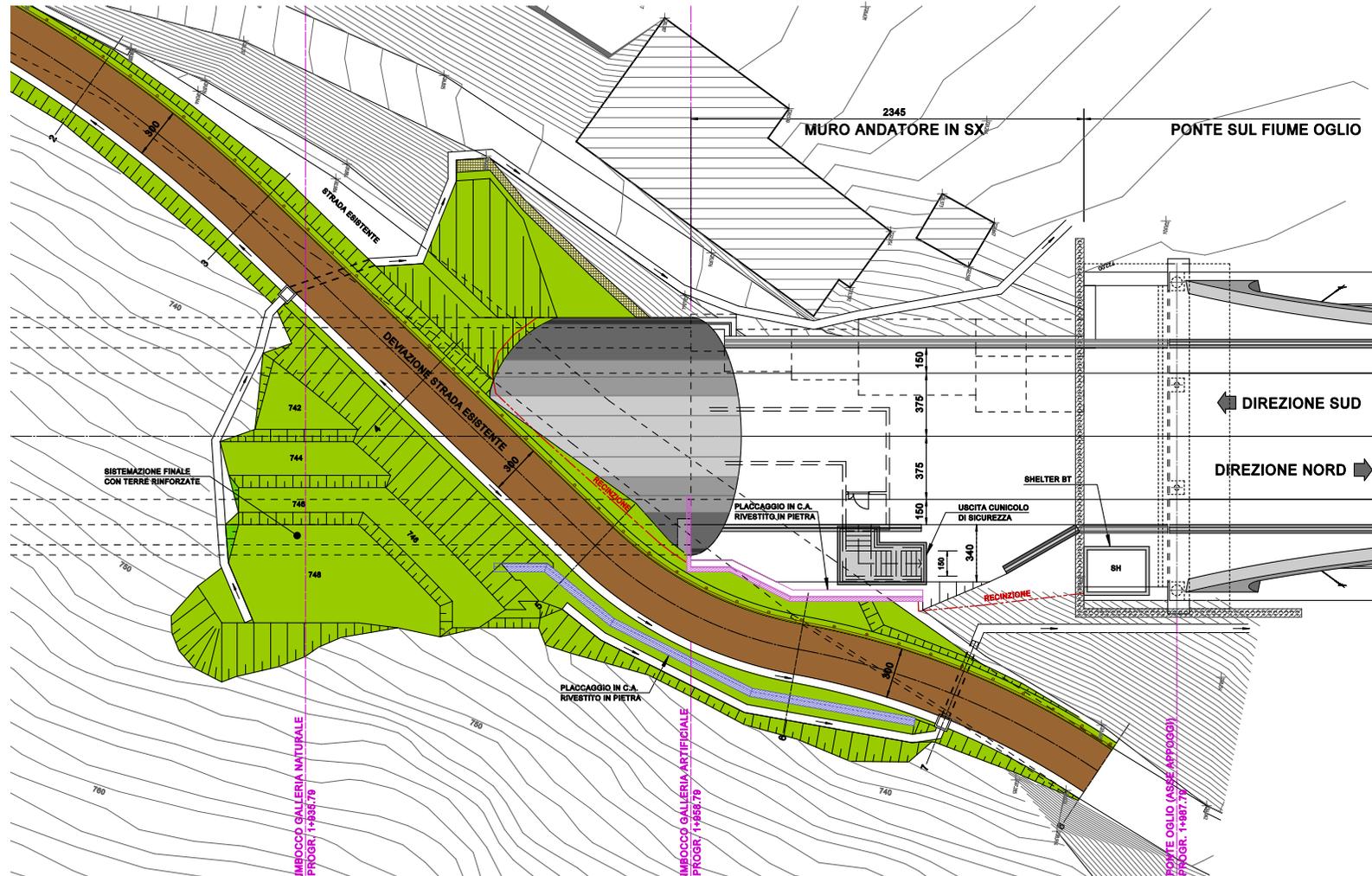


Figura 19 – Cunicolo di emergenza - uscita lato Nord

4.2 Imbocco Sud – Interferenza con la linea ferroviaria

Altimetricamente il tratto tra la rotatoria Sud e l'imbocco della galleria naturale, per il completo rispetto dei dettami della normativa stradale, è stato riprogettato tenendo altresì conto dei risultati degli studi geologico-geotecnici effettuati sulla base della nuova campagna geognostica.

L'imbocco della galleria naturale è previsto alla progr. 0+492.00, immediatamente a monte della linea ferroviaria (FERROVIENORD S.p.A.).

Per consentire l'esecuzione dei lavori propedeutici all'attraversamento della ferrovia è prevista la realizzazione di una paratia tirantata immediatamente a valle della ferrovia che consentirà di mantenere in esercizio la linea ferroviaria il più a lungo possibile fino all'inizio dei lavori di attraversamento vero e proprio.

Al fine di mantenere costantemente sotto controllo la stabilità e sicurezza della linea ferroviaria prima dell'inizio dei lavori di sottoattraversamento, è prevista l'installazione di un sistema di monitoraggio tipo RDS (Railway Deformation System) con misurazioni in continuo con teodolite robotizzato.

L'attraversamento della ferrovia sarà poi eseguito a cielo aperto con interruzione del transito ferroviario.

Per quanto sopra, per la realizzazione del tratto stradale antistante l'imbocco della galleria naturale, è stata adottata una soluzione con galleria artificiale realizzata con ausilio di paratie laterali con pali di grande diametro contrastati in testa con puntoni.

Per la presenza della falda a quota elevata, si è previsto dietro alle palificate l'effettuazione di colonne di terreno consolidato (jet-grouting). A tergo della paratia berlinese frontale di attacco della galleria naturale e di quella immediatamente a valle della ferrovia, oltre che per il tratto delle paratie laterali presenti tra queste due, è stata prevista la preventiva creazione di uno schermo a bassa permeabilità con tre file di colonne compenstrate di jet-grouting. Questo per ridurre il rischio che si verificano afflussi di acqua da monte dove è stata accertata la presenza di una coltre detritica ed eluvio-colluviale di notevole potenza.

Come detto, è prevista la posa di un sistema di monitoraggio per il controllo nei cedimenti del binario ferroviario e per il controllo delle deformazioni del terreno limitrofo in adiacenza alla galleria. Tale sistema completa quello previsto per il monitoraggio nelle fasi di realizzazione della galleria artificiale.

Per approfondimenti tecnici si rimanda agli elaborati progettuali.

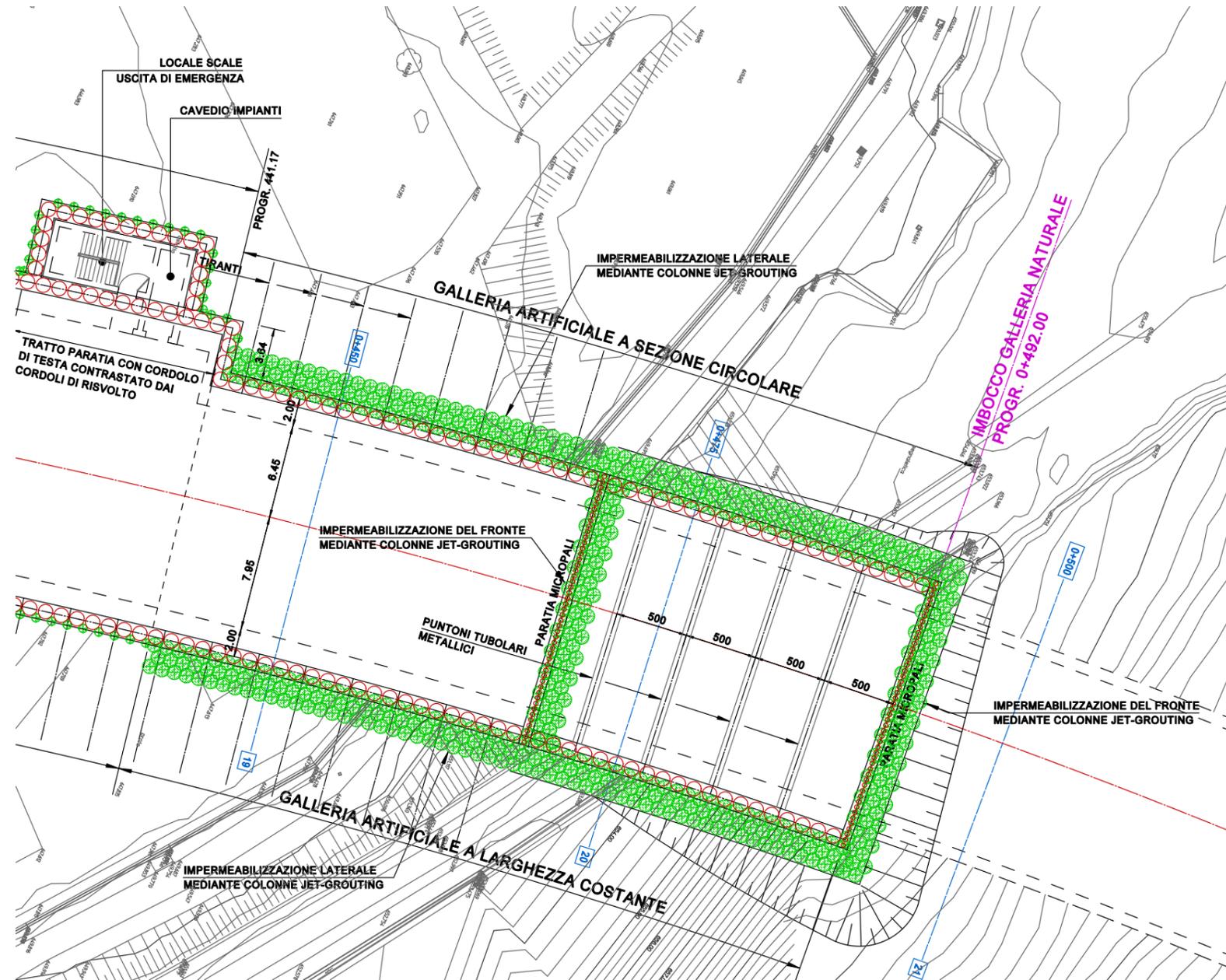


Figura 21 - Imbocco Sud - Stralcio planimetria

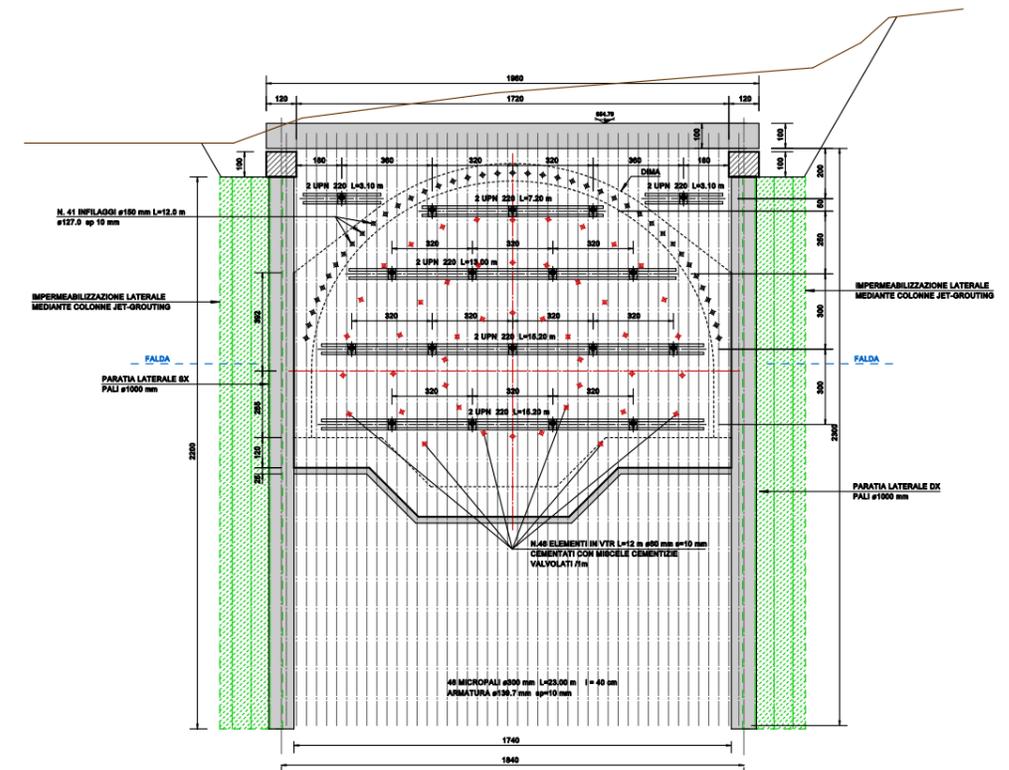
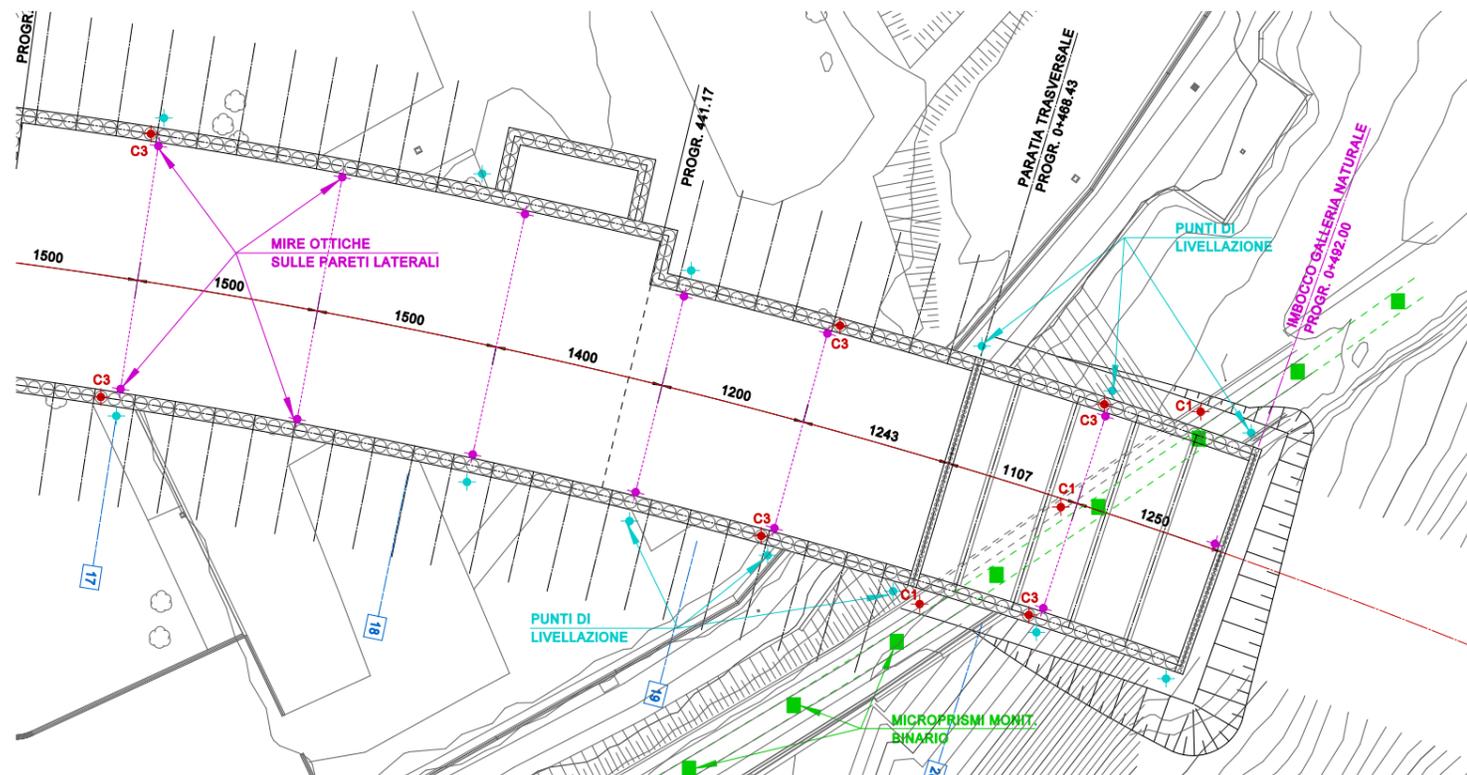


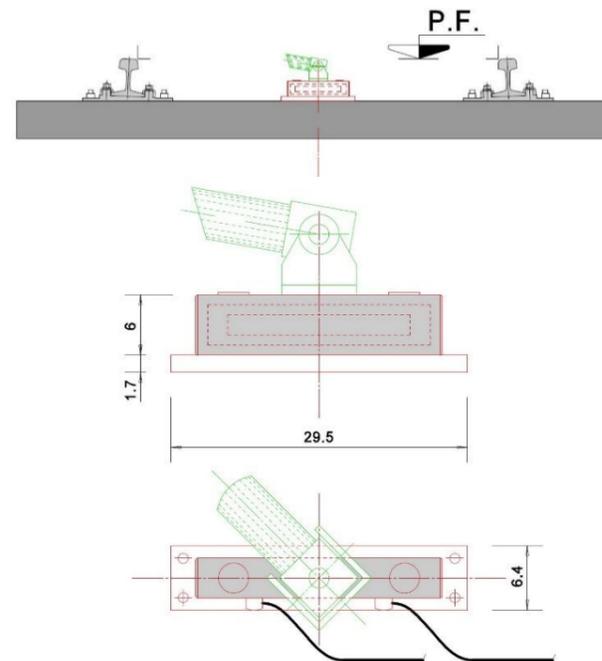
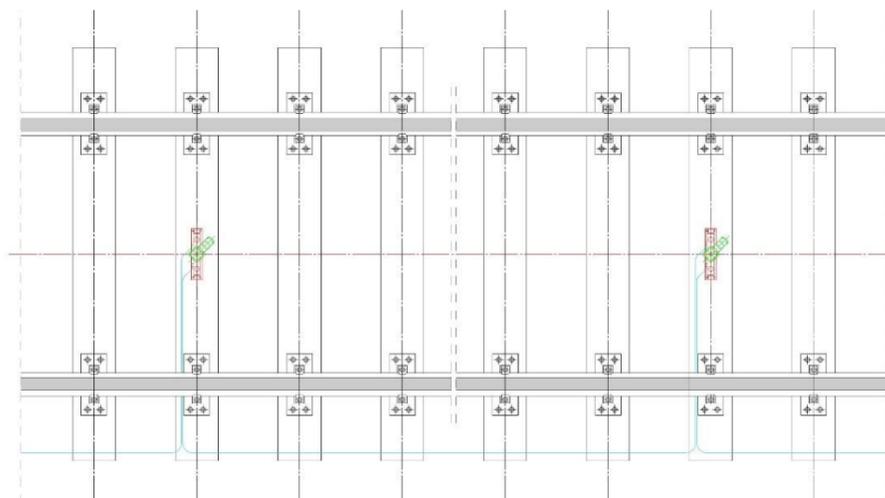
Figura 20 - imbocco Sud - Prospetto paratia di imbocco



LEGENDA

-  COLONNA INCLINOMETRICA L=25 m
-  COLONNA INCLINOMETRICA L=20 m
-  COLONNA INCLINOMETRICA L=20 m ALL'INTERNO DEI PALI
-  CELLE DI CARICO SUI TIRANTI
-  MISURE DI CONVERGENZA CON MIRE OTTICHE SULLE PARETI LATERALI INTERASSE CIRCA 15.0 m
-  PUNTI DI LIVELLAZIONE SUPERFICIALE
-  MONITORAGGIO BINARI CON SISTEMA TIPO "RDS" ABBINATO A MICROPRISMI

PARTICOLARE SISTEMA TIPO "RDS"



PARTICOLARE MICROPRISMI MONITORAGGIO PER BINARIO

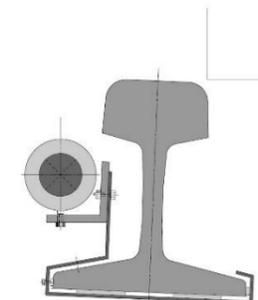


Figura 22 – Sottoattraversamento Linea Ferroviaria – Monitoraggio

4.3 Imbocco Nord

Lo sbocco della galleria interessa un versante di forte acclività dove è stata accertata la locale presenza di un accumulo di materiale detritico e colluviale di notevole potenza che ha reso necessaria l'adozione di paratie tipo berlinese di significativa altezza. La situazione ambientale è altresì aggravata dalla condizione di spiccata parietalità del fronte di attacco della galleria naturale.

Il tratto di galleria artificiale presenta un'estensione estremamente ridotta ed il portale presenta la conformazione a "becco di flauto rovescio".

Si segnala che gli scavi preparatori interferiscono con una strada rurale il cui transito dovrà necessariamente essere interrotto durante i lavori. Tale viabilità sarà poi ripristinata ed il versante sarà ripristinato anche con ausilio di massicci in terra rinforzata e opere di ingegneria naturalistica.

La galleria artificiale in oggetto, della lunghezza complessiva di 23.00 m, si sviluppa dalla progressiva km 1+935,79 alla progressiva km 1+958,79 e presenta una sezione avente raggio netto interno pari a 6.45 m.

Per il sostegno delle pareti di scavo si prevede la realizzazione di paratie tipo "berlinese" costituite da micropali $\varnothing 220$ mm posti ad interasse 40 cm ed armati con profilati tubolari metallici $\varnothing 127.0$ mm s=10 mm.

I micropali in oggetto saranno realizzati mediante perforazioni a rotazione o rotopercolazione. Durante le operazioni di perforazione potrà eventualmente essere impiegato un rivestimento metallico provvisorio per consentire il sostegno delle pareti di scavo qualora necessario. A perforazione ultimata sarà posata all'interno l'armatura e sarà effettuata l'iniezione della miscela cementizia a bassa pressione fino a rifluimento in superficie.

La stabilità delle paratie è ottenuta ponendo in opera, durante le varie fasi di scavo, tiranti attivi a trefoli disposti ad interasse di 2.40 m, su livelli sovrapposti, mediante la posa di travi di ripartizione costituite da 2 UPN 220 mm.

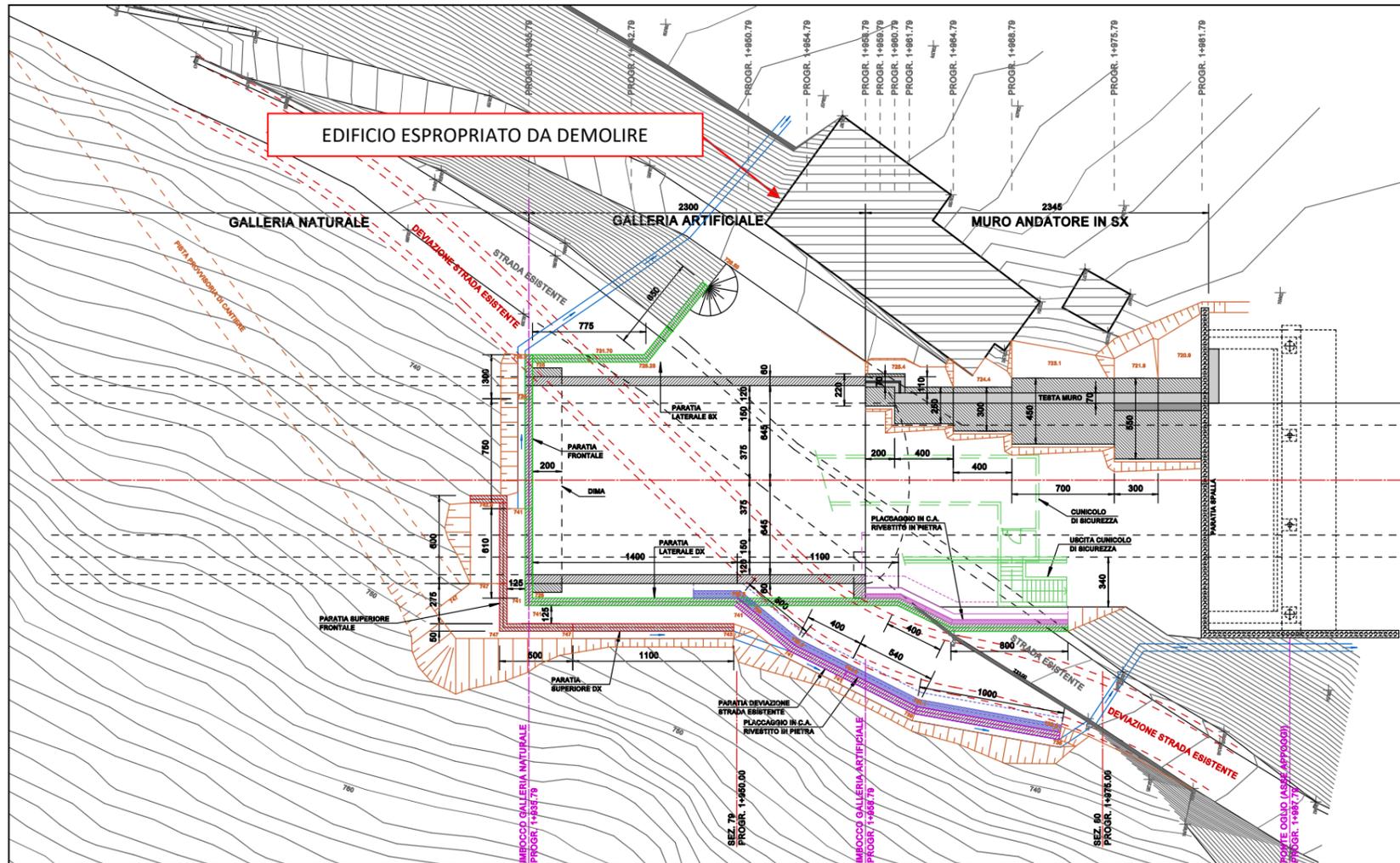


Figura 23 – Galleria naturale Imbocco – Paratie berlinesi – Pianta

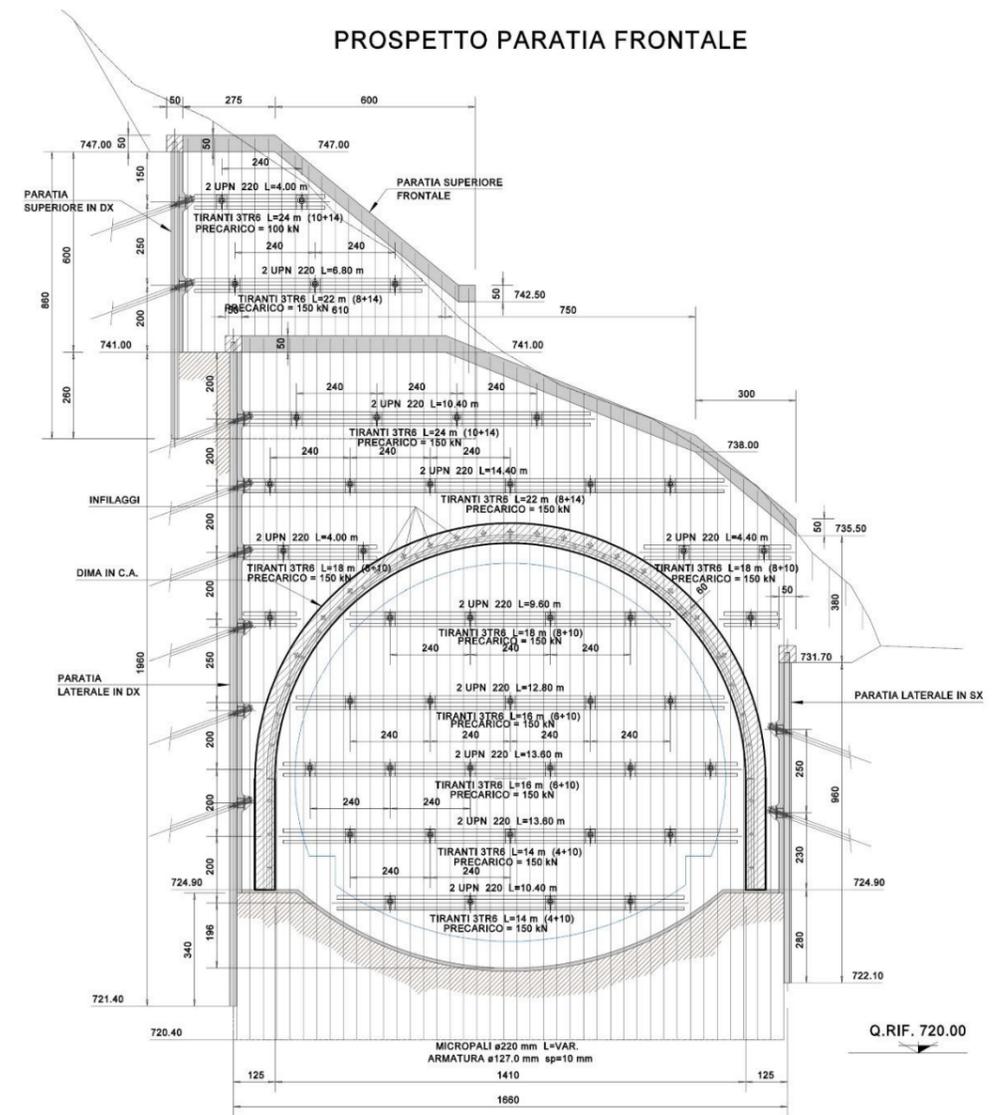


Figura 24 – Galleria naturale Imbocco – Paratie berlinesi –
 - Prospetto galleria frontale

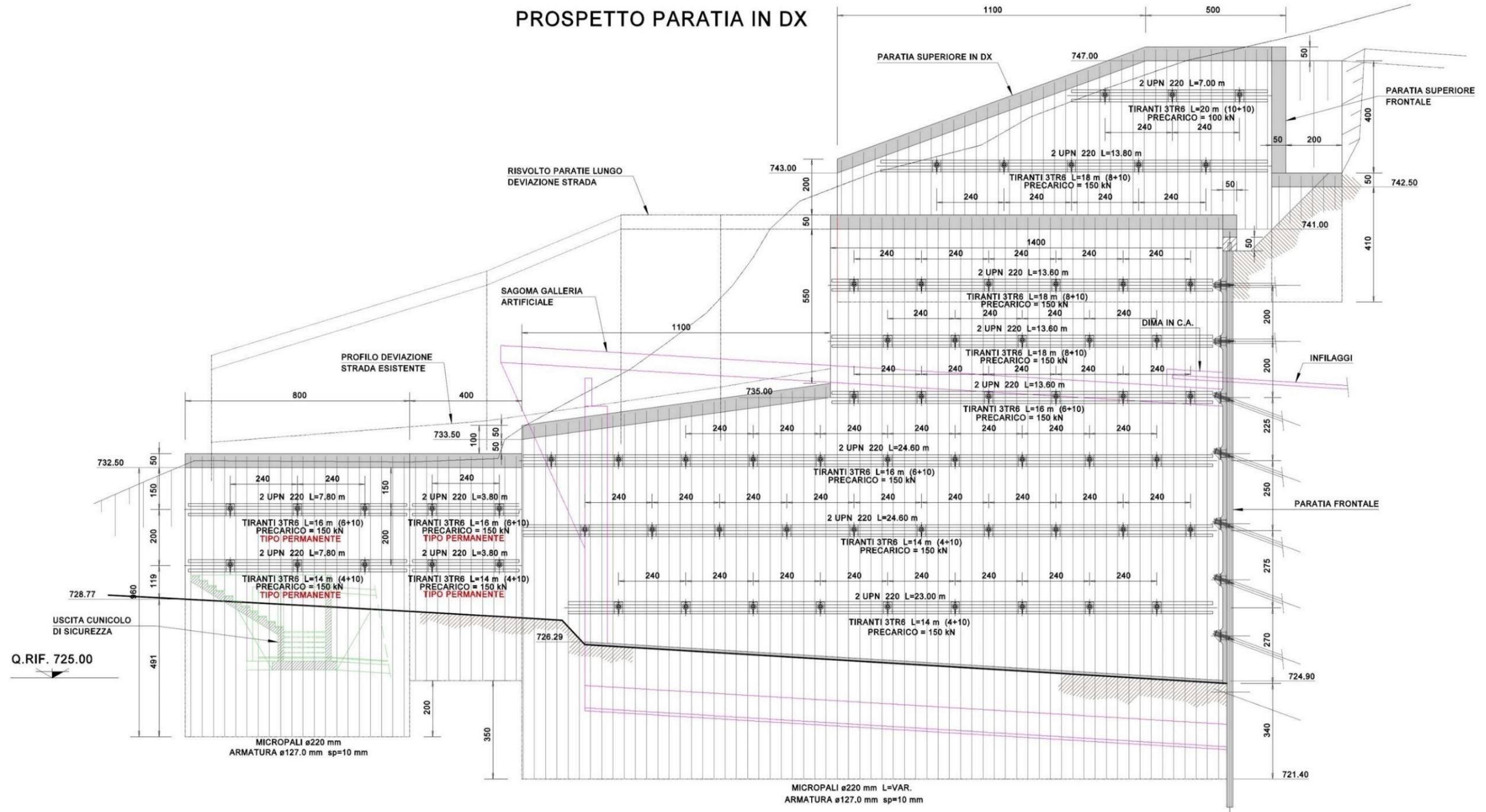


Figura 25 – Galleria naturale Imbocco – Paratie berlinesi – Prospetto paratia in destra

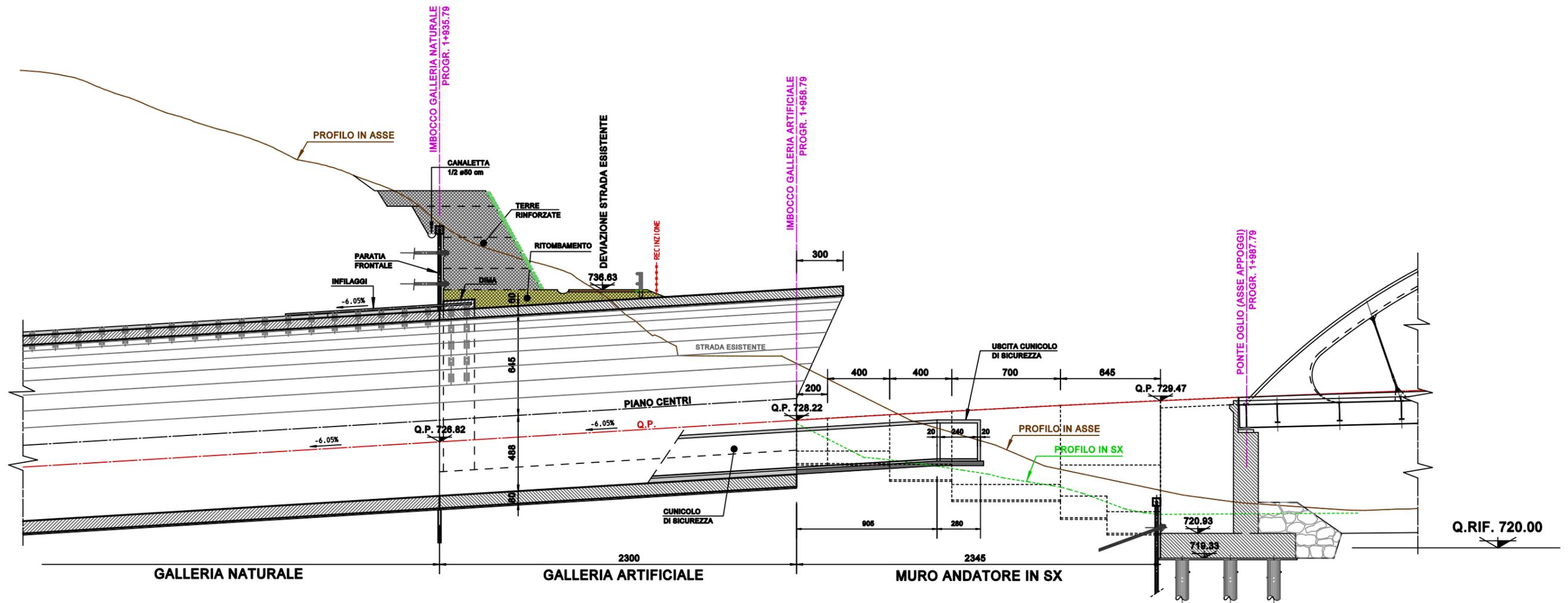


Figura 26 – Galleria naturale Imbocco – Sistemazione finale – Sezione in asse galleria

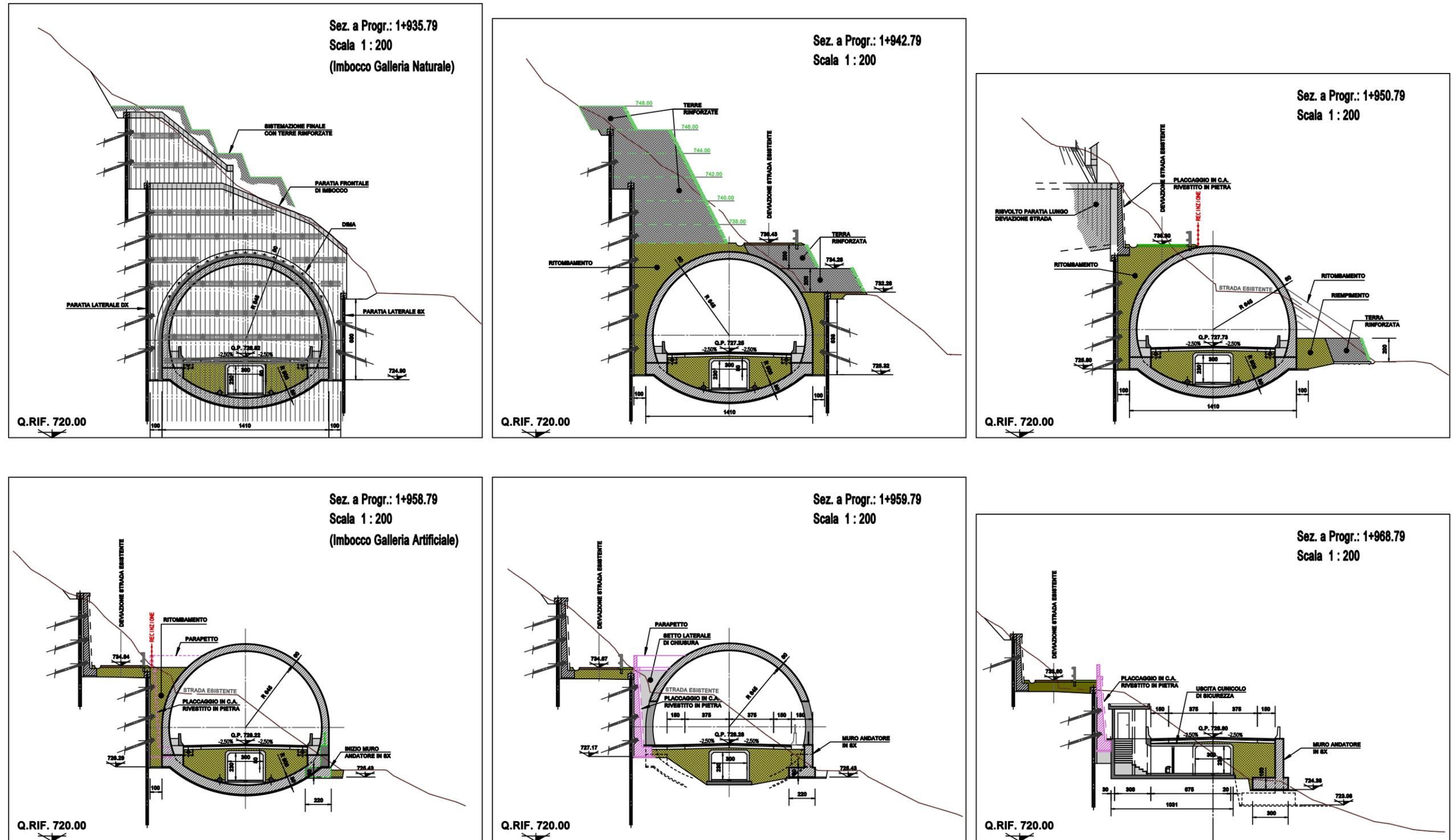


Figura 27 – Imbocco Nord – Sezioni trasversali

5. Galleria naturale modalità realizzative

La tratta di galleria naturale, della lunghezza complessiva pari a 1443.79 m, si sviluppa dalla progressiva km 0+492.00 alla progressiva km 1+935,79.

I terreni attraversati appartengono alla serie degli Scisti di Edolo su cui si sovrappongono depositi quaternari morenici e alluvionali.

Si tratta di micascisti e scisti quarzoso-feldspatici con livelli micacei e quarziti intercalate; si tratta di rocce fittamente scistose e foliate con giaciture inclinate di 50-60°; possono riscontrarsi passaggi a metagranitoidi, gneiss e paragneiss a struttura meno scistosa e più granulata.

Lungo l'asse della galleria i terreni metamorfici attraversati presentano caratteri di deformazione fragile; essi risultano attraversati da alcune faglie per buona parte a carattere distensivo, alle quali possono collegarsi faglie secondarie coniugate. Nell'intorno di tali faglie è possibile rinvenire più o meno ampie fasce di tettonizzazione della formazione rocciosa.

Gli ammassi metamorfici attraversati presentano inoltre caratteri variabili circa le condizioni geosturali: essi possono configurarsi quali rocce lapidee abbastanza compatte con fratture e giunti a grande spaziatura, e rocce lapidee poco o scarsamente compatte in quanto interessate per alcuni tratti a fenomeni di tettonizzazione, per cui si presentano cataclase, milonitizzate, nonché fortemente alterate con evidente scadimento delle caratteristiche meccaniche.

Sotto il profilo idrogeologico i terreni attraversati dalla galleria sono caratterizzati da permeabilità bassa in relazione alla presenza di fratture chiuse, per cui essi non risultano sede di falda idrica.

Un diffuso stillicidio può riscontrarsi in corrispondenza di giunti aperti e con riempimenti ed una più o meno abbondante circolazione idrica frazionata e localizzata può riscontrarsi nell'attraversamento di piani di faglia con fasce milonitizzate e cataclase, dove possono verificarsi venute d'acqua improvvise che tenderanno comunque a ridursi nel tempo; le linee strutturali attraversate sono sempre secondarie e i quantitativi idrici eventualmente riscontrati sono in genere modesti.

Da un punto di vista geotecnico - geomeccanico, la tratta in naturale della galleria si sviluppa per la sua quasi totalità nell'ambito della formazione rocciosa costituita dagli scisti di Edolo.

Fa eccezione un breve tratto iniziale in corrispondenza dell'imbocco sud, che attraversa la linea ferroviaria. Tale tratto é caratterizzato da basse coperture che diventano poi decisamente maggiori subito oltrepassata la ferrovia.

Tale tratto é caratterizzato dalla presenza di una coltre detritica di versante costituita prevalentemente da ghiaia e blocchi. Il contatto con il substrato roccioso presenta un andamento incerto, comunque a salire di quota fino quasi ad emergere in superficie oltrepassata la ferrovia.

Lungo lo sviluppo della galleria nell'ambito della formazione rocciosa, come rappresentato sul profilo geologico-geomeccanico, si evidenzia la probabile presenza di zone di faglia tra le progressive 0+740 ÷ 0+768, e 1+483 ÷ 1+518 circa.

Alla luce di quanto sopra, lungo il profilo longitudinale della galleria si sono individuate le seguenti tratte principali caratterizzate da comportamento omogeneo in relazione alla litologia attraversata, allo stato di competenza delle formazioni rocciose interessate, nonché alle condizioni di copertura e, quindi, allo stato tensionale geostatico:

Tratta	Condizione Tipo
0+492 - 0+512	Bassa copertura (5÷10 m) - coltri detritiche
0+512 - 0+536	Bassa copertura (10÷30 m) - roccia alterata e fratturata
0+536 - 0+556	Discreta copertura (30÷40 m) - roccia poco competente
0+556 - 0+740	Buona copertura (40÷95 m) - roccia competente
0+740 - 0+768	Alta copertura (95÷100 m) - zona di faglia
0+768 - 1+483	Alta copertura (75÷100 m) - roccia molto competente
1+483 - 1+518	Alta copertura (100 m) - zona di faglia
1+518 - 1+827	Alta copertura (100÷120 m) - roccia molto competente
1+827 - 1+873	Buona copertura (40÷70 m) - roccia competente
1+873 - 1+936	Discreta copertura (10÷40 m) - roccia competente

Nel seguito vengono illustrate le differenti tipologie di sezioni di avanzamento con i relativi interventi da adottare durante la realizzazione della galleria per garantire la stabilità del cavo a breve e a lungo termine.

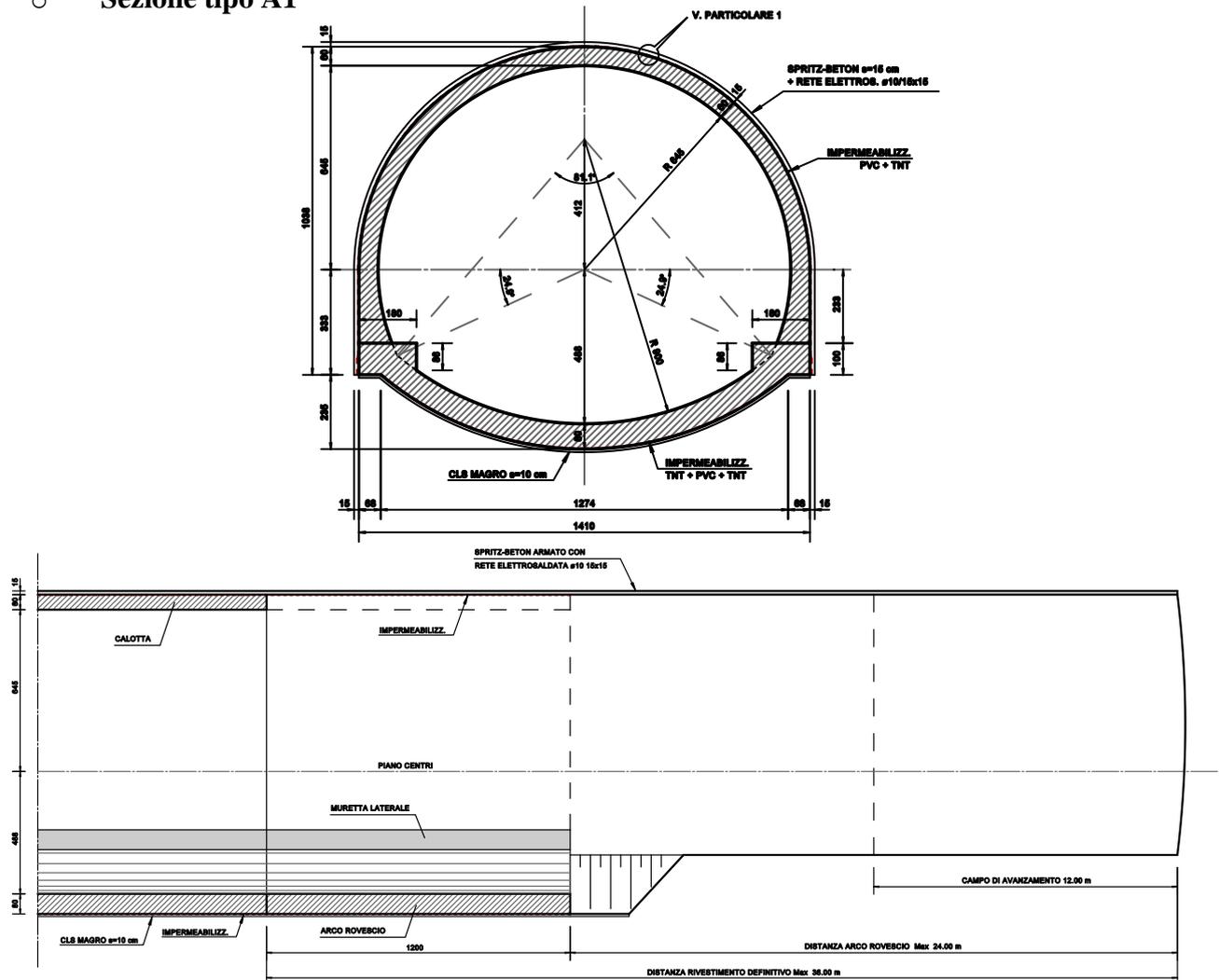
Gli interventi di presostegno/preconsolidamento sono stati differenziati in funzione delle differenti condizioni geomorfologiche e litologiche e delle situazioni geologico-geomeccaniche attese lungo il tracciato, in accordo con le indicazioni provenienti dall'analisi del comportamento deformativo.

I campi di applicazione delle diverse tipologie di avanzamento, riassunti nel prospetto seguente, sono stati definiti in termini percentuali, stante l'impossibilità, nella attuale sede progettuale, di prevedere con esattezza quelle che saranno le reali caratteristiche geomeccaniche che si incontreranno durante lo scavo dei vari tratti.

Progr.	Sez. Tipo
0+492 - 0+512	B _{1a} (100%)
0+512 - 0+536	B _{1b} (100%)
0+536 - 0+556	B ₂ (100%)
0+556 - 0+740	A ₃ (80%) A ₄ (20%)
0+740 - 0+768	A ₄ (85%) A ₃ (15%)
0+768 - 1+483	A ₃ (85%) A ₂ (15%)
1+483 - 1+518	A ₄ (85%) A ₃ (15%)
1+518 - 1+827	A ₃ (75%) A ₂ (15%) A ₁ (10%)
1+827 - 1+873	A ₃ (85%) A ₂ (15%)
1+873 - 1+936	A ₃ (85%) A ₄ (15%)

In fase costruttiva, in accordo al "metodo osservazionale" adottato, il programma di monitoraggio previsto consentirà di effettuare in ogni tratto la puntuale scelta definitiva nell'ambito delle sezioni di intervento previste in progetto. Qualora localmente si evidenziassero comportamenti dell'ammasso roccioso anomali potrà essere effettuata una doverosa ritaratura dei modelli e la rielaborazione delle analisi per la corretta definizione e dimensionamento di ogni intervento che si ritenesse necessario. Si potranno così apportare eventuali affinamenti al programma esecutivo che si rendessero necessari per la realizzazione di un'infrastruttura in condizioni di piena sicurezza, conferendo altresì alle opere un elevato grado qualitativo e ridotti futuri costi manutentivi.

○ Sezione tipo A1



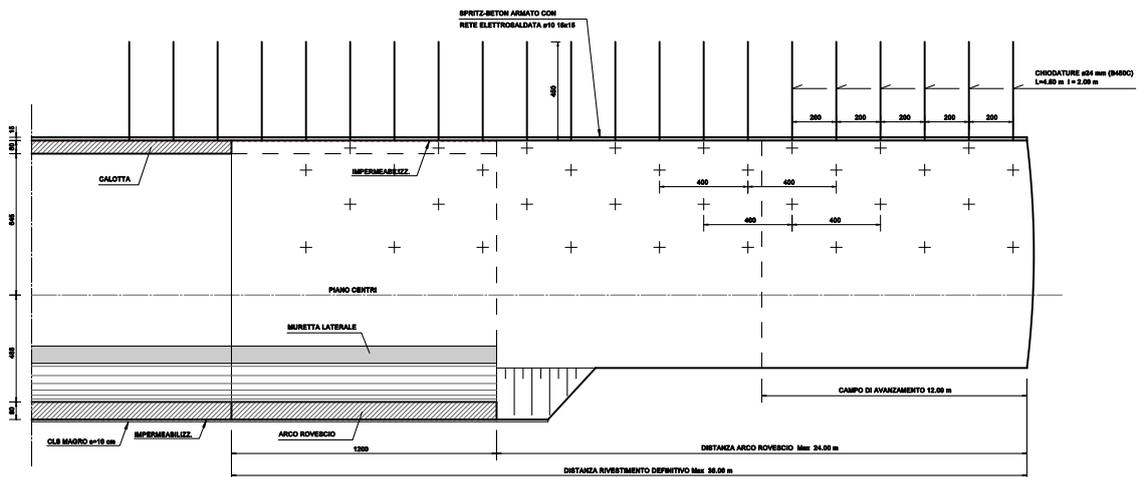
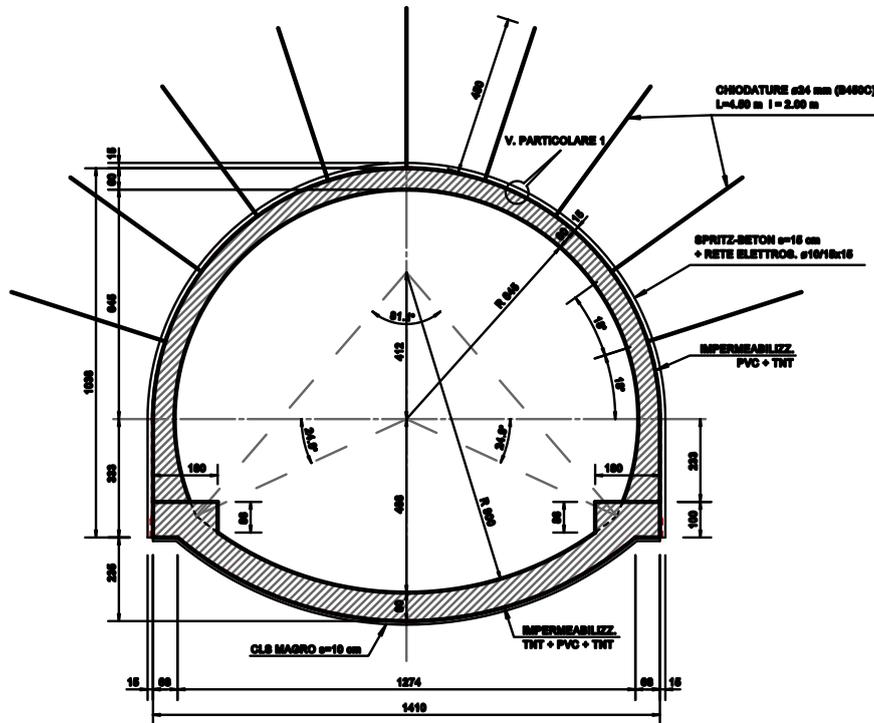
FASI REALIZZATIVE

- Fase 1:** scavo area di calotta e piedritti per singoli sfondi di 1.5 ÷ 2.0 m
- Fase 2:** al termine di ogni singolo sfondo immediata messa in opera del rivestimento di prima fase, costituito da uno strato di spritz-beton dello spessore di 15 cm, armato con doppia rete elettrosaldata ø10 /15x15
- Fase 3:** scavo area arco rovescio per singoli sfondi di 1.5 ÷ 2.0 m

Ripetizione delle fasi 1,2 e 3 per l'intero campo di avanzamento
Il campo di avanzamento avrà lunghezza massima di 12.00 m, sagomando il fronte a forma concava.

- Fase 4:** posa impermeabilizzazione dell'arco rovescio
- Fase 5:** posa armatura arco rovescio e murette
- Fase 6:** getto arco rovescio e murette
- Fase 7:** posa impermeabilizzazione della calotta
- Fase 8:** posa armatura rivestimento definitivo e getto

○ Sezione tipo A2



FASI REALIZZATIVE

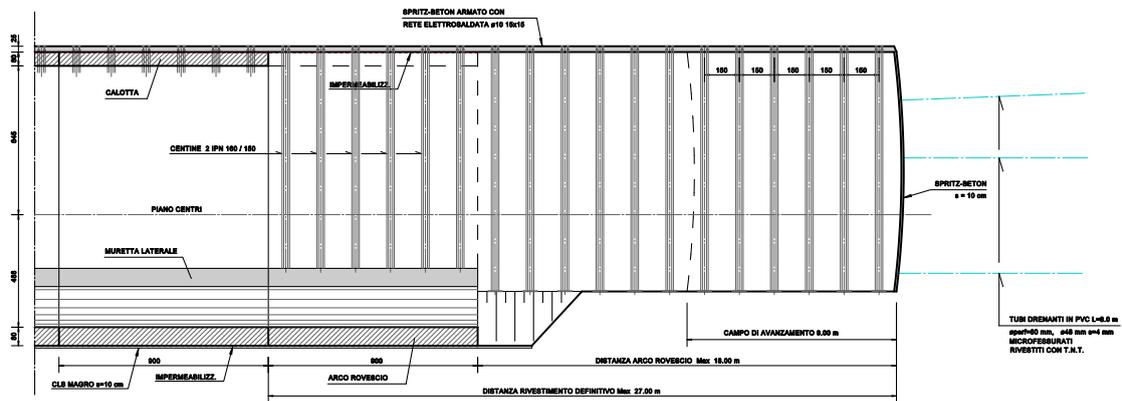
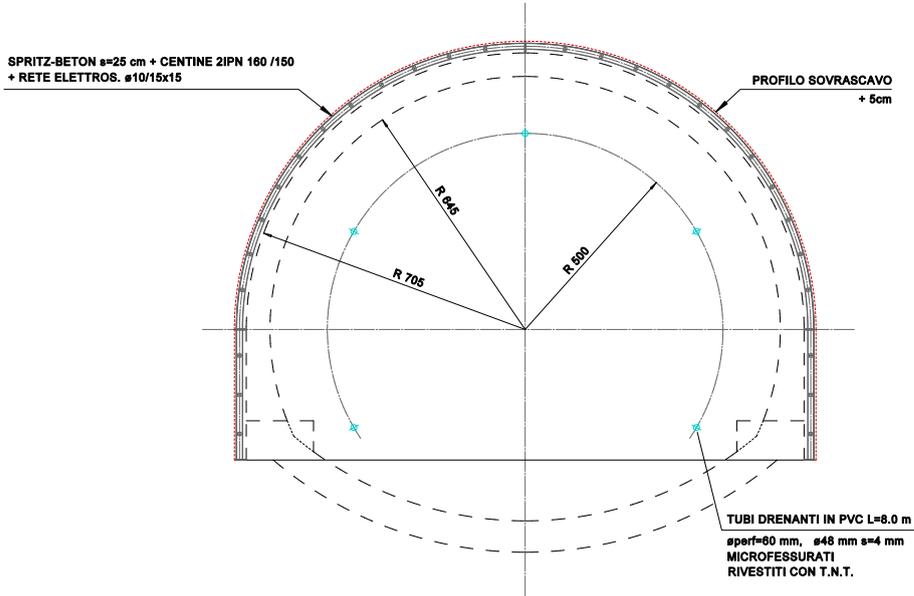
- Fase 1:** scavo area di calotta e piedritti per singoli sfondi di $1.5 \div 2.0$ m
- Fase 2:** al termine di ogni singolo sfondo messa in opera di chiodature radiali, costituite da barre in acciaio $\varnothing 24$ mm diposte a quinconce secondo una maglia 2.0×2.0 m e successiva messa in opera del rivestimento di prima fase, costituito da uno strato di spritz-beton dello spessore di 15 cm, armato con doppia rete elettrosaldata $\varnothing 10 / 15 \times 15$
- Fase 3:** scavo area arco rovescio per singoli sfondi di $1.5 \div 2.0$ m

Ripetizione delle fasi 1,2 e 3 per l'intero campo di avanzamento

Il campo di avanzamento avrà lunghezza massima di 12.00 m, sagomando il fronte a forma concava.

- Fase 4:** posa impermeabilizzazione dell'arco rovescio
- Fase 5:** posa armatura arco rovescio e murette
- Fase 6:** getto arco rovescio e murette
- Fase 7:** posa impermeabilizzazione della calotta
- Fase 8:** posa armatura rivestimento definitivo e getto

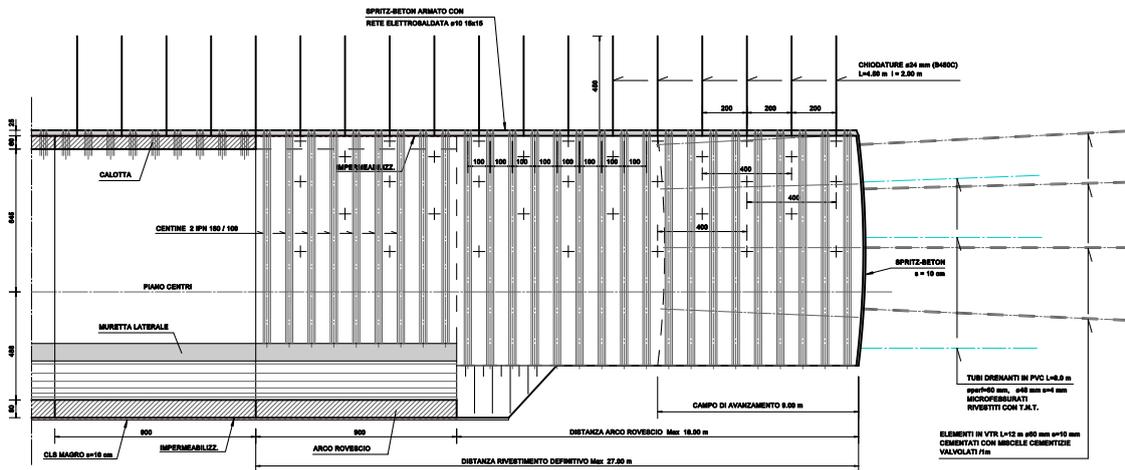
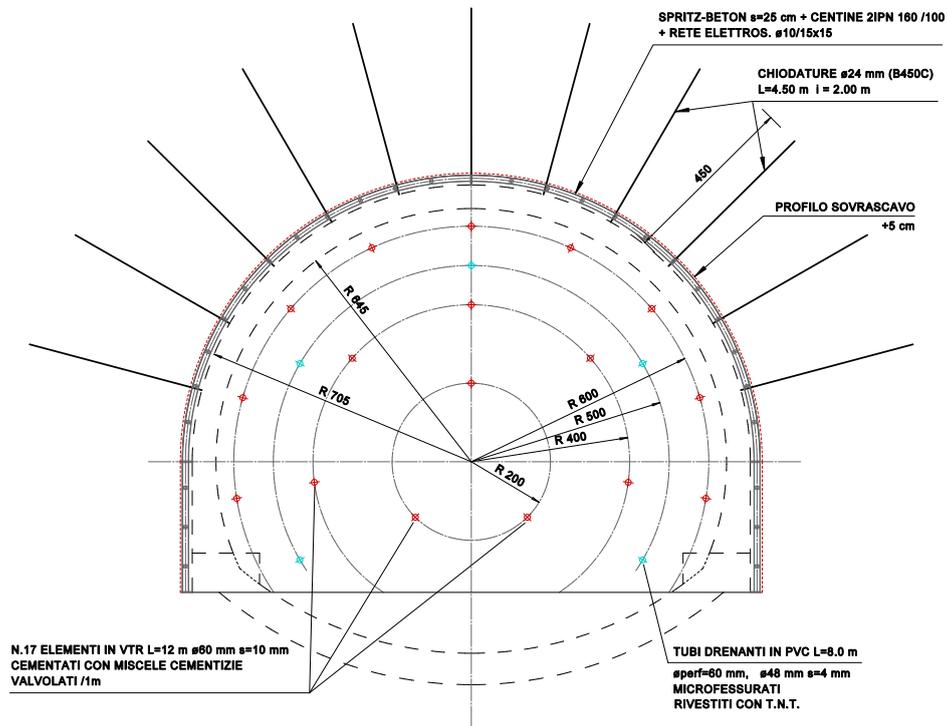
○ **Sezione tipo A3**



FASI REALIZZATIVE

- Fase 1:** scavo area di calotta e piedritti per singoli sfondi di 1.5 ÷ 2.0 m
- Fase 2:** al termine di ogni singolo sfondo immediata messa in opera del rivestimento di prima fase, costituito da doppie centine IPN 160 ad interasse di 1.50 m, inglobate in uno strato di spritz-beton dello spessore di 25 cm armato con rete elettrosaldata $\varnothing 10 / 15 \times 15$.
Solo per la sezione allargata per la presenza della piazzola di sosta é previsto un rivestimento in spritz-beton dello spessore di 30 cm con doppie centine IPN 180 ad interasse di 1.50 m
- Fase 3:** scavo area arco rovescio per singoli sfondi di 1.5 ÷ 2.0 m
- Ripetizione delle fasi 1,2 e 3 per l'intero campo di avanzamento
Il campo di avanzamento avrà lunghezza massima di 9.00 m, sagomando il fronte a forma concava con esecuzione di 10 cm di spritz-beton sul fronte ogni fine campo e l'esecuzione di n. 5 fori drenanti al fronte, con inserimento di tubi in PVC microfessurati $\varnothing 48$ mm L=8.0 m (il numero e la necessità dei dreni potranno essere adeguati in corso d'opera in relazione alla locale situazione geo-idrologica)
- Fase 4:** posa impermeabilizzazione dell'arco rovescio
- Fase 5:** posa armatura arco rovescio e murette
- Fase 6:** getto arco rovescio e murette
- Fase 7:** posa impermeabilizzazione della calotta
- Fase 8:** posa armatura rivestimento definitivo e getto

○ Sezione tipo A4



FASI REALIZZATIVE

Fase 1: esecuzione di preconsolidamento al fronte mediante la realizzazione di n.17 elementi in VTR $\varnothing 60$ mm (n.21 per la sezione allargata con piazzola di sosta), della lunghezza di 12.0 m e l'esecuzione di n. 5 fori drenanti al fronte, con inserimento di tubi in PVC microfessurati $\varnothing 48$ mm L=8.0 m (il numero e la necessità dei dreni potranno essere adeguati in corso d'opera in relazione alla locale situazione geo-idrologica)

Fase 2: scavo area di calotta e piedritti per singoli sfondi di 1.0 ÷ 1.5 m

Fase 3: al termine di ogni singolo sfondo messa in opera di chiodature radiali, costituite da barre in acciaio $\varnothing 24$ mm diposte a quinconce secondo una maglia 1.8x2.0 m e successiva messa in opera del rivestimento di prima fase, costituito da doppie centine IPN 160 ad interasse di 1.00 m, inglobate in uno strato di spritz-beton dello spessore di 25 cm armato con rete elettrosaldato $\varnothing 10 / 15 \times 15$.

Per le sezioni senza cunicolo e per quelle allargate con piazzola di sosta é previsto un rivestimento in spritz-beton dello spessore di 30 cm con doppie centine IPN 180 ad interasse di 1.00 m

Fase 4: scavo area arco rovescio per singoli sfondi di 1.0 ÷ 1.5 m

Ripetizione delle fasi 2,3 e 4 per l'intero campo di avanzamento

Il campo di avanzamento avrà lunghezza massima di 9.00 m, sagomando il fronte a forma concava con esecuzione di 10 cm di spritz-beton sul fronte ogni fine campo

Fase 5: posa impermeabilizzazione dell'arco rovescio

Fase 6: posa armatura arco rovescio e murette

Fase 7: getto arco rovescio e murette

Fase 8: posa impermeabilizzazione della calotta

Fase 9: posa armatura rivestimento definitivo e getto

FASI REALIZZATIVE

Fase 1: esecuzione di preconsolidamento al fronte mediante la realizzazione di n.46 elementi in VTR $\phi 60$ mm (n. 17 per la sezione Sez. tipo B1b), della lunghezza di 12.0 m e l'esecuzione di n. 5 fori drenanti al fronte, con inserimento di tubi in PVC microfessurati $\phi 48$ mm L=8.0 m (il numero e la necessità dei dreni potranno essere adeguati in corso d'opera in relazione alla locale situazione geo-idrologica)

Fase 2: esecuzione di preconsolidamento dell'arco di calotta mediante la realizzazione di n. 41 infilaggi $\phi 150$ mm della lunghezza di 12.0 m armati con tubi in acciaio $\phi 127.0$ mm sp = 10 mm

Fase 3: scavo area di calotta e piedritti per singoli sfondi di 1.0 ÷ 1.5 m

Fase 4: al termine di ogni singolo sfondo messa in opera del rivestimento di prima fase, costituito da doppie centine IPN 160 ad interasse di 1.00 m, inglobate in uno strato di spritz-beton dello spessore di 25 cm armato con rete elettrosaldata $\phi 10 / 15 \times 15$.

Fase 5: scavo area arco rovescio per singoli sfondi di 1.0 ÷ 1.5 m

Ripetizione delle fasi 3,4 e 5 per l'intero campo di avanzamento

Il campo di avanzamento avrà lunghezza massima di 8.00 m, sagomando il fronte a forma concava con esecuzione di 10 cm di spritz-beton sul fronte ogni fine campo

Fase 6: posa impermeabilizzazione dell'arco rovescio

Fase 7: posa armatura arco rovescio e murette

Fase 8: getto arco rovescio e murette

Fase 9: posa impermeabilizzazione della calotta

Fase 10: posa armatura rivestimento definitivo e getto

FASI REALIZZATIVE

- Fase 1:** esecuzione di preconsolidamento al fronte mediante la realizzazione di n.17 elementi in VTR $\varnothing 60$ mm, della lunghezza di 12.0 m e l'esecuzione di n. 5 fori drenanti al fronte, con inserimento di tubi in PVC microfessurati $\varnothing 48$ mm L=8.0 m (il numero e la necessità dei dreni potranno essere adeguati in corso d'opera in relazione alla locale situazione geo-idrologica)
- Fase 2:** scavo area di calotta e piedritti per singoli sfondi di $1.0 \div 1.5$ m
- Fase 3:** al termine di ogni singolo sfondo messa in opera di chiodature radiali, costituite da barre in acciaio $\varnothing 24$ mm diposte a quinconce secondo una maglia 1.8×2.0 m e successiva messa in opera del rivestimento di prima fase, costituito da doppie centine IPN 160 ad interasse di 1.00 m, inglobate in uno strato di spritz-beton dello spessore di 25 cm armato con rete elettrosaldata $\varnothing 10 / 15 \times 15$.
- Fase 4:** scavo area arco rovescio per singoli sfondi di $1.0 \div 1.5$ m
- Fase 5:**
- Fase 6:** Ripetizione delle fasi 2,3 e 4 per l'intero campo di avanzamento
Il campo di avanzamento avrà lunghezza massima di 8.00 m, sagomando il fronte a forma concava con esecuzione di 10 cm di spritz-beton sul fronte ogni fine campo
- posa impermeabilizzazione dell'arco rovescio
posa armatura arco rovescio e murette
- Fase 7:** getto arco rovescio e murette
- Fase 8:** posa impermeabilizzazione della calotta
- Fase 9:** posa armatura rivestimento definitivo e getto

6. Considerazioni conclusive

Nella fase conoscitiva si sono acquisiti gli elementi geologici e geotecnici necessari alla ricostruzione di un profilo geologico di previsione ed alla caratterizzazione dei terreni interessati dagli scavi, in termini di parametri di resistenza e di deformabilità. Tali dati sono stati indispensabili al fine di analizzare gli equilibri naturali preesistenti e la loro evoluzione a seguito dello scavo, operando correttamente nella successiva fase di diagnosi.

Per una descrizione dettagliata delle indagini geotecniche eseguite e delle interpretazioni condotte si rimanda alla visione della documentazione a carattere geologico e geotecnico ed al relativo profilo geomeccanico.

In fase esecutiva potrà essere valutata la necessità e la possibilità di integrare le indagini effettuate operando sia dalla superficie che in sottoterraneo.

Vista la complessità della situazione geologia, idrogeologica, geomeccanica ed ambientale, nonché in relazione alla obiettivamente non facile quantificazione delle deformazioni indotte dallo scavo della galleria aggravata anche dalla presenza della linea ferroviaria da sottopassare, è da evidenziare l'importanza del "Metodo osservazionale" adottato.

In fase costruttiva un adeguato programma di monitoraggio consentirà di effettuare in ogni tratto la puntuale scelta definitiva nell'ambito delle sezioni di intervento previste in progetto. Qualora localmente si evidenziassero comportamenti dell'ammasso roccioso anomali potrà essere effettuata una doverosa ritaratura dei modelli e la rielaborazione delle analisi per la corretta definizione e dimensionamento di ogni intervento che si ritenesse necessario.

Il sistema di monitoraggio e il programma delle osservazioni, con riferimento ai valori di "soglia di attenzione", e di "soglia di allarme", permetterà di effettuare in corso d'opera un'analisi dei fenomeni in atto (back-analysis).

Le misurazioni effettuate permetteranno una eventuale ritaratura delle soluzioni progettuali previste individuando tutti quegli interventi e variazioni al programma esecutivo che permettano la realizzazione dell'opera in sicurezza, conferendo altresì alle opere un elevato grado qualitativo e ridotti futuri costi manutentivi.