

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

ELABORATI GENERALI

RELAZIONE TECNICA GENERALE

CODICE PROGETTO

PROGETTO LIV. PROG. N. PROG.

COMI21 D 1810

NOME FILE

T00EG00GENRE02_B

CODICE ELAB. T00EG00GENRE02

REVISIONE

B

SCALA:

-

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. Giraudò

E. Giraudò

VERIFICATO

A. Rodino

A. Rodino

APPROVATO

INDICE	Pag.
1. INTRODUZIONE	1
2. NORMATIVE DI RIFERIMENTO	2
3. VERIFICHE STRADALI – LINEE GUIDA	4
3.1 Verifica del diagramma di velocità.....	5
3.2 Verifiche geometriche.....	7
3.3 Verifiche di un corretto coordinamento plano-altimetrico	9
3.4 Analisi delle condizioni di visibilità garantite dal tracciato in progetto	9
4. ANALISI DEL TRACCIATO	11
4.1 Ubicazione geografica	11
4.2 Il tracciato definito nella sede della Progettazione Preliminare.....	12
4.3 Fondamenti per la rettifica della soluzione preliminare	15
5. IL PROGETTO ATTUALE	17
5.1 Il tracciato plano altimetrico adottato	17
5.2 La sede stradale – sezione tipo piattaforma	24
5.3 Tratto a cielo aperto Sud	26
5.3.1 Fasi realizzative della zona a Sud.....	29
5.4 La galleria Naturale.....	45
5.4.1 Galleria naturale – Sezione tipo	46
5.4.2 Galleria naturale – Piazzole di sosta e cunicolo di sicurezza	46
5.4.3 Imbocco Sud	50
5.4.4 Imbocco Nord	53
5.5 Tratto a cielo aperto Nord	59
5.5.1 Fasi realizzative della zona a nord.....	61
5.6 Ponte sul Fiume Oglio	63

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.

Nell'ambito del predetto incarico era stato definito, nel Progetto Preliminare, il tracciato della Variante stradale "Lavori di Costruzione della Variante est di Edolo - II lotto", scelto tra diverse soluzioni analizzate.

Come verrà evidenziato nel seguito la realizzazione della Variante in oggetto presenta significative criticità dovute a particolari situazioni ambientali.

L'analisi di dettaglio delle criticità, effettuata nella presente sede progettuale, ha permesso di definire le modalità realizzative che si ritengono migliori per la loro mitigazione.

Il progetto dell'infrastruttura è stato eseguito nel completo rispetto del quadro normativo attuale di riferimento ed è stato basato sui nuovi rilievi topografici di dettaglio e su una nuova campagna di indagini geognostiche che ha permesso di sviluppare il modello geologico e geotecnico di riferimento.

In ultimo si evidenzia che nella stesura del progetto si è tenuto conto degli esiti della Conferenza dei servizi conclusasi con esito positivo sulla base degli atti progettuali precedenti.

2. Normative di riferimento

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

- 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. Verifiche stradali – linee guida

Nella redazione del Progetto Definitivo si è riposta la massima cura nella definizione di una infrastruttura efficiente sotto tutti gli aspetti, tra i quali grande attenzione viene data all'aspetto della sicurezza.

Il concetto di sicurezza stradale deve essere interpretato, non solo come garanzia di protezione degli utenti nel caso di incidenti, ma come un sistema in grado, da un lato, di ridurre la probabilità dell'evento incidentale (sicurezza intrinseca dell'infrastruttura) e, dall'altro lato, di minimizzare i danni ai veicoli ed agli utenti della strada nel caso del verificarsi dell'evento. Secondo quest'ottica è indispensabile considerare, in fase di progetto, le caratteristiche e le reciproche interazioni tra i componenti del sistema complesso formato da strada, guidatore, veicolo e ambiente per garantire, in fase di esercizio, sia la sicurezza attiva sia la sicurezza passiva dell'utente dell'infrastruttura stradale realizzata.

Un'elevata sicurezza attiva è basata principalmente su una corretta e sufficientemente vasta percezione del tracciato in rapporto alle velocità di percorrenza.

Ciò significa che, definito l'intervallo delle velocità di progetto, verranno eseguiti:

- dimensionamenti e verifiche degli elementi plano-altimetrici del tracciato;
- verifiche di un corretto coordinamento plano-altimetrico;
- verifiche relative ai diagrammi di velocità e alla corretta composizione plano-altimetrica dell'asse nel rispetto delle distanze di visibilità.

Si mette in evidenza che tali dimensionamenti/verifiche sono stati condotti mediante l'ausilio del software "Civil 3d" (Autodesk), software dedicato al progetto delle infrastrutture civili.

Nel seguito vengono presentati i criteri di progetto e di verifica principali del tracciato stradale, rimandando per gli specifici risultati relativi al tracciato progettato alla specifica Relazione (P00PS00TRARE01).

È subito da evidenziare che il tracciato in esame prevede la presenza predominante di tratti in sotterraneo: ciò impone, il divieto di sorpasso, che è stato esteso anche ai brevi tratti antecedenti l'ingresso/uscita dalla galleria.

3.1 Verifica del diagramma di velocità

La verifica della correttezza della progettazione comporta la redazione del diagramma di velocità per ogni senso di circolazione.

Ad ogni tipo di strada sono associati un limite inferiore ed uno superiore per le velocità di progetto degli elementi planoaltimetrici che compongono il suo asse.

Il diagramma delle velocità è la rappresentazione grafica dell'andamento della velocità di progetto in funzione della progressiva dell'asse stradale. Si costruisce, sulla base del solo tracciato planimetrico, calcolando per ogni elemento di esso l'andamento della velocità di progetto, che deve essere contenuta nei limiti di cui sopra.

Il modello semplificato di variazione della velocità lungo il tracciato, che di seguito si presenta, si basa sulle seguenti ipotesi:

- in rettilineo, sugli archi di cerchio con raggio non inferiore a $R_{2,5}$, e nelle clotoidi, la velocità di progetto tende al limite superiore dell'intervallo; gli spazi di accelerazione conseguenti all'uscita da una curva circolare, e quelli di decelerazione per l'ingresso a detta curva, ricadono soltanto negli elementi considerati (rettilineo, curve ampie con $R > R_{2,5}$ e clotoidi);
- la velocità è costante lungo tutto lo sviluppo delle curve con raggio inferiore a $R_{2,5}$, e si determina mediante abachi;
- i valori dell'accelerazione e della decelerazione restano determinati in 0.8 m/s^2 ;
- si assume che le pendenze longitudinali non influenzino la velocità di progetto.

Una volta ottenuto il diagramma di velocità e verificato che le condizioni sulle distanze di transizione D_T , siano soddisfatte, occorre assicurarsi che il tracciato possa essere ritenuto omogeneo per entrambi i sensi di circolazione.

A questo scopo devono essere soddisfatte le seguenti condizioni:

- per $V_{pmax} \geq 100$ km/h (autostrade, strade extraurbane principali e secondarie) nel passaggio da tratti caratterizzati dalla V_{pmax} a curve a velocità inferiore, la differenza di velocità di progetto non deve superare 10 km/h. Inoltre, fra due curve successive tale differenza, comunque mai superiore a 20 km/h, è consigliabile che non superi i 15 km/h;
- per gli altri tipi di strade ($V_{pmax} \leq 80$ km/h) nel passaggio da tratti caratterizzati dalla V_{pmax} a curve a velocità inferiore, la differenza di velocità non deve superare 5 km/h. Inoltre, fra due curve successive tale differenza, comunque mai superiore a 20 km/h, è consigliabile che non superi i 10 km/h;
- poiché si tratta di una verifica globale sulle scelte puntuali dei vari elementi di un tracciato, nel caso le condizioni sopra esposte non siano verificate, anche solo in singole parti, occorrerà riprendere la geometria di interi tratti.

Si mette in evidenza che la scelta della soluzione in rotatoria per i due innesti sulla S.S. 42 ha condizionato fortemente la redazione/costruzione e la successiva verifica del diagramma di velocità dell'asse principale: si è assunto in prossimità dei suddetti "elementi stradali" una velocità di progetto V_p pari a 20 km/h, valore che risulta pertanto ampiamente inferiore ai valori limite prescritti dalla Normativa Vigente per il tipo di piattaforma stradale adottata per la direttrice principale (sezione tipo classificata come C1: $V_{p,min} = 60$ km/h; $V_{p,max} = 100$ km/h).

Come noto il tracciato in progetto si stacca dalla circolazione rotatoria (Sud), caposaldo iniziale dell'arteria. La velocità di progetto che si assume in uscita dall'anello giratorio è di 20 km/h. Tale velocità rimane costante fino all'uscita dalla curva di raggio m 35.

La velocità incrementa con accelerazione $a=0,8$ m/s², come indicato al paragrafo 5.4 del D.M. 5/11/2001, fino a raggiungere il valore massimo dell'intervallo della velocità di progetto della strada, 100 km/h.

La distanza coperta da tale manovra di accelerazione è pari a 463 m e rappresenta la zona di influenza dell'intersezione. All'interno di essa non sono effettuabili le verifiche di cui al paragrafo 5.4.2 (relative a D1) e 5.4.4 (relative alle differenze di velocità) del D.M. 5/11/2001.

Situazione identica in direzione del caposaldo finale del tracciato, ove la velocità si mantiene pari a 100 km/h fino all'inizio della zona di influenza dell'intersezione con circolazione rotatoria (Nord), che vincola la velocità di progetto finale al valore pari a 20 km/h. Assunto il valore della decelerazione $a = -0,8$ m/s², come indicato al paragrafo 5.4 del DM 5/11/2001, la distanza di transizione DT che permette di decelerare da V_{pmax} a 100 km/h è sempre pari a 463 m.

3.2 Verifiche geometriche

Si riportano di seguito i criteri adottati per le verifiche condotte sui parametri geometrici del tracciato mediante l'ausilio del software, che permette di verificare.

Rettifili

La lunghezza del rettifilo viene confrontata con la lunghezza minima, funzione di V_p , dedotta dalla tabella presente in §5.2.2 del D.M. 05/11/2001.

Nel caso in cui il rettifilo sia preceduto e seguito da curve percorse in sensi opposti e qualora risulti verificata la condizione:

$$L \leq (A1+A2)/12.5$$

con $A1$, $A2$ i parametri delle clotoidi precedente e successiva al rettifilo, non viene eseguito il controllo sullo sviluppo minimo del rettifilo.

La lunghezza del rettifilo viene inoltre confrontata con la lunghezza massima, funzione di V_p , prevista dalla norma:

$$L_{max}=22 \cdot V_p$$

Inoltre vengono effettuati i controlli sul rapporto tra la lunghezza del rettifilo e i raggi delle curve precedente e seguente (R_{prec} e R_{succ}), utilizzando, secondo norma (§5.2.2), i seguenti valori minimi del raggio:

- $R_{min} = L$ per $L < 300$ m;
- $R_{min} = 400$ m per $L \geq 300$ m.

Curve Circolari

Il raggio viene confrontato con il valore minimo (R_{min}) previsto dal D.M. 05/11/2001 (abachi nelle figure 5.2.4a e 5.2.4b del D.M.); lo sviluppo viene confrontato con lo sviluppo minimo corrispondente ad un tempo di percorrenza di 2.5 s alla velocità di progetto V_p ; la pendenza trasversale viene confrontata con i valori previsti negli abachi delle figure 5.2.4a e 5.2.4b del D.M.

Nel caso la curva sia preceduta o seguita da una clotoide di flesso o da una clotoide di continuità, il raggio viene confrontato con i valori determinati dalle linee che separano la zona buona, la zona accettabile e la zona da evitare nell'abaco di figura 5.2.2a del D.M. con il seguente criterio:

- per i tipi di strada $A1_{ext}$, $A2_{ext}$, $A1_{urb}$, $A2_{urb}$, $B1$, $B2$ i valori R_{minp} , R_{maxp} (raggi minimo e massimo valutati in base al raggio della curva precedente) e i valori R_{mins} , R_{maxs} (raggi minimo e massimo valutati in base al raggio della curva successiva) vengono stabiliti utilizzando i limiti tra zona buona e zona accettabile del suddetto abaco;
- per gli altri tipi di strada i valori di R_{minp} , R_{maxp} , R_{mins} , R_{maxs} vengono determinati

riferendosi al limite tra zona accettabile e zona da evitare.

In mancanza di una clotoide di continuità o di flesso prima, o dopo la curva in esame, le verifiche descritte non vengono condotte.

Clotoide semplice

Per le verifiche di una *clotoide semplice* (clotoide tra rettilo e curva) vengono riportate le verifiche previste sui valori minimi e massimo del parametro della clotoide previsti dal D.M. 05/11/2001 in §5.2.5 (limitazione del contraccolpo, sovrappendenza longitudinale delle linee di estremità della carreggiata, criteri ottici). I valori minimi vengono valutati con riferimento alla velocità di progetto desunta dal diagramma di velocità (V_p).

Inoltre viene verificato che il rapporto tra il parametro della clotoide e il parametro della clotoide in uscita (A/A_u) o il rapporto tra il parametro della clotoide e il parametro della clotoide in entrata (A/A_e), a seconda dei casi, sia congruente con i rispettivi i valori limite (rispettivamente $2/3$ e $3/2$), così come previsto in figura 5.2.5c del D.M.

Si sottolinea che la verifica del contraccolpo è stata eseguita con la formula esatta (§12-45), anziché con quella semplificata (“più cautelativa” per curve di raggio inferiore o al più uguale a 630 m).

Clotoide di flesso

Il parametro della clotoide viene confrontato con i valori minimi e con il valore massimo previsti dal D.M. 05/11/2001 in §5.2.5 (limitazione del contraccolpo, sovrappendenza longitudinale delle linee di estremità della carreggiata, criteri ottici).

Inoltre viene controllato il rapporto tra i parametri delle clotoidi formanti flesso ($A1/A2$), e il rapporto tra il parametro della clotoide e quello della clotoide in entrata (A/A_e) o quello della clotoide in uscita (A/A_u), a seconda dei casi. Tali rapporti devono risultare compresi tra $2/3$ e $3/2$, come previsto in figura 5.2.5c del D.M.

Clotoide di continuità

Vengono effettuati i confronti tra il parametro di scala della clotoide e i valori minimi e massimo previsti dal D.M. 05/11/2001 in §5.2.5 (limitazione del contraccolpo, sovrappendenza longitudinale delle linee di estremità della carreggiata, criteri ottici).

Inoltre vengono riportati i controlli sui rapporti tra il parametro della clotoide di continuità e i parametri della clotoide precedente (A/A_{prec}) e successiva (A/A_{suc}), che devono risultare compresi tra $2/3$ e $3/2$, come previsto in figura 5.2.5c del D.M..

3.3 Verifiche di un corretto coordinamento plano-altimetrico

Un corretto coordinamento plano-altimetrico consente di garantire una percezione chiara delle caratteristiche del tracciato stradale evitando brusche variazioni delle linee che lo definiscono nel quadro prospettico. La progettazione del tracciato in oggetto è stata eseguita facendo riferimento ai principi basilari di corretta percezione della strada.

Analizzando nel dettaglio l'andamento plano-altimetrico è possibile osservare che si è cercato sempre di posizionare i raccordi verticali in corrispondenza a tratti planimetrici con sviluppo in rettilineo anche se non sempre è stato possibile rispettare tale criterio a causa dei forti condizionamenti imposti sul tracciato dall'orografia del territorio e dalle connessioni da assicurare con la viabilità locale esistente.

3.4 Analisi delle condizioni di visibilità garantite dal tracciato in progetto

Le distanze di visibilità da verificare dipendono dal tipo di strada in progetto e dall'elemento di tracciato considerato. Indipendentemente però dal tipo di strada e dall'ambito (extraurbano o urbano), lungo tutto il tracciato deve essere assicurata la distanza di visibilità per l'arresto in condizioni ordinarie o con tempi di reazione maggiorati.

Nelle strade extraurbane a unica carreggiata con doppio senso di marcia la distanza di visibilità per il sorpasso deve essere garantita per una conveniente percentuale di tracciato, in relazione al flusso di traffico smaltibile con il livello di servizio assegnato, in misura comunque non inferiore al 20%.

Nei tratti di carenza di visibilità per il sorpasso, tale manovra deve essere interdetta con l'apposita segnaletica.

In presenza di più corsie per senso di marcia nonché in corrispondenza di punti singolari (intersezioni, deviazioni ecc.) occorre assicurare la distanza di visibilità per la manovra di cambiamento di corsia.

Ai fini delle verifiche delle visuali libere, la posizione del conducente deve essere sempre considerata al centro della corsia da lui impegnata, con l'altezza del suo occhio a 1.10 m dal piano viabile. Nella valutazione della distanza di visibilità per l'arresto, l'ostacolo va collocato a 0.10 m dal piano viabile e sempre lungo l'asse della corsia del conducente. Nel caso della distanza di visibilità per il sorpasso, l'ostacolo mobile va collocato nella corsia opposta, con altezza pari a 1.10 m. Nel caso della manovra di cambiamento di corsia, deve venir verificata la possibilità di vedere il limite più lontano della corsia adiacente a quella impegnata dal conducente.

Si sottolinea che il tracciato in progetto prevede la presenza predominante di tratti in sotterraneo: ciò impone, comunque, il divieto di sorpasso, anche in quei tratti (rettilinei o

no) lungo i quali è garantita la visuale libera. Pertanto, viene condotta la sola verifica della *distanza di visibilità / visuale libera per l'arresto*.

Il software utilizzato per suddetta verifica ha permesso di calcolare e di rappresentare in un diagramma le distanze di visuale libera e di visibilità previste dalla normativa, effettuando cautelativamente un'analisi della visibilità bidimensionale (analisi plano-altimetrica). A tal proposito si evidenzia che gli ostacoli sono stati simulati mediante "muri verticali di altezza indefinita" i cui paramenti interni risultano essere coincidenti con i limiti esterni delle banchine.

Si riporta nel grafico successivo la verifica di visibilità per il tracciato in questione, dove:

Progr.= progressiva, valutata lungo il tracciato;

V_p (km/h) = velocità di progetto desunta dal diagramma di velocità;

$D_{a,sx}$ (m) = distanza di visibilità per l'arresto calcolata in funzione di V_p , i_{sx} e del tipo di strada;

$D_{a,dx}$ (m) = distanza di visibilità per l'arresto calcolata in funzione di V_p , i_{dx} e del tipo di strada;

$D_{va,sx}$ (m) = distanza di visuale libera per l'arresto valutata lungo l'asse della corsia sinistra (per chi procede con verso opposto a quello del tracciato);

$D_{va,sx} > D_{a,sx}$ = verifica della sussistenza di una visuale libera per l'arresto maggiore della distanza di visibilità = OK/NO;

$D_{va,dx}$ (m) = distanza di visuale libera per l'arresto valutata lungo l'asse della corsia destra (per chi procede con verso concorde a quello del tracciato);

$D_{va,dx} > D_{a,dx}$ = OK/NO.

4. Analisi del tracciato

4.1 Ubicazione geografica

L'opera è geograficamente collocata nell'Alta Valle Camonica, ed interessa in particolare il settore sud-occidentale del Comune di Edolo, in provincia di Brescia. L'Alta Valle Camonica è attraversata dal Fiume Oglio ed è incuneata tra i massicci alpini dell'Adamello-Presanella ed Ortles-Cevedale.

Come già evidenziato nella Progettazione Preliminare, la S.S. 42 collega il comprensorio dell'Alta Valle a Bergamo in direzione SW ed a Bolzano in direzione NE e costituisce quindi l'asse portante della viabilità nella zona, che risulta densamente urbanizzata con insediamenti sia artigianali che legati al settore primario ed al turismo.

Essa si sviluppa nel fondo valle ed è stata interessata in passato da interventi di riqualificazione, al cui parziale completamento è rivolto il presente progetto.

L'abitato di Edolo è attraversato, inoltre, dalla S.S. 39 che lo collega in direzione ovest con il Passo dell'Aprica.

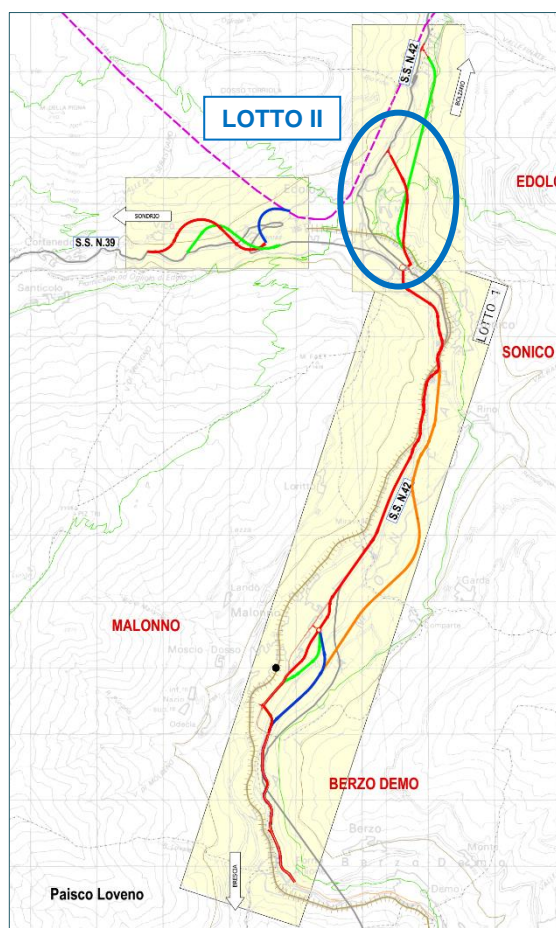


Figura 1 – Schema planimetrico tracciati analizzati con il Progetto Preliminare

4.2 Il tracciato definito nella sede della Progettazione Preliminare

La soluzione selezionata in sede di Progetto Preliminare, tra le diverse alternative analizzate, presentava un tracciato caratterizzato da una sezione Tipo "C2" che aveva inizio, lato Sud, con una nuova rotatoria che modificava quella esistente al fine di connettere nel miglior modo possibile la nuova Variante stradale mantenendo tutte le connessioni alle diverse viabilità locali esistenti.

Si immetteva quindi, per un breve tratto, sulla sede della strada comunale Via Valeriana, passando in affiancamento alla centrale ENEL.

Dopo un tratto di galleria artificiale, alla progressiva di circa 240 m ovvero, appena oltrepassate le aree ove sono presenti gli impianti e i manufatti della centrale ENEL, aveva inizio la galleria naturale che, con una lunghezza di circa 1487 m, bypassava il nucleo urbano di Edolo.

Allo sbocco della galleria era previsto un breve tratto di galleria artificiale ed il tracciato terminava, mediante uno svincolo a rotatoria per l'innesto sulla S.S. 42, in sponda destra del Fiume Oglio per l'attraversamento del quale veniva previsto un ponte ad arco (estradosato con arco a spinta eliminata) con unica campata lungo circa 60 m.

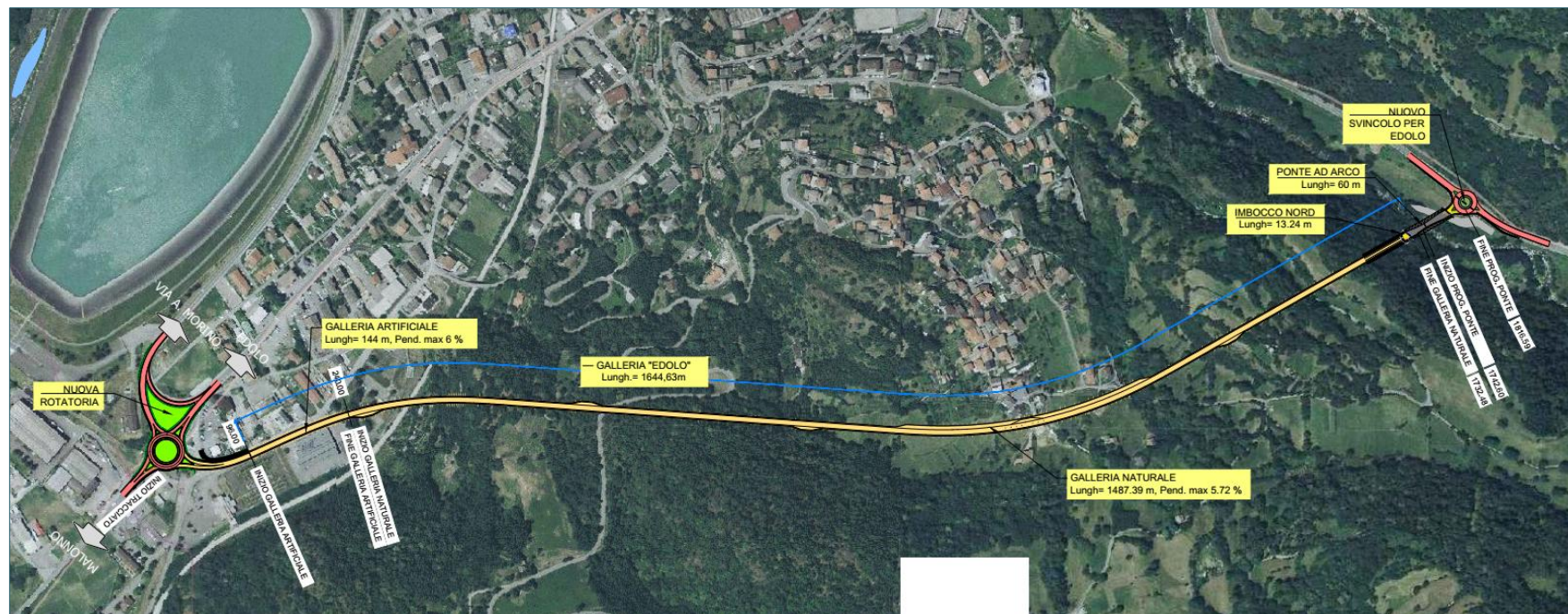


Figura 2 – Schema planimetrico tracciato individuato in sede di Progetto Preliminare

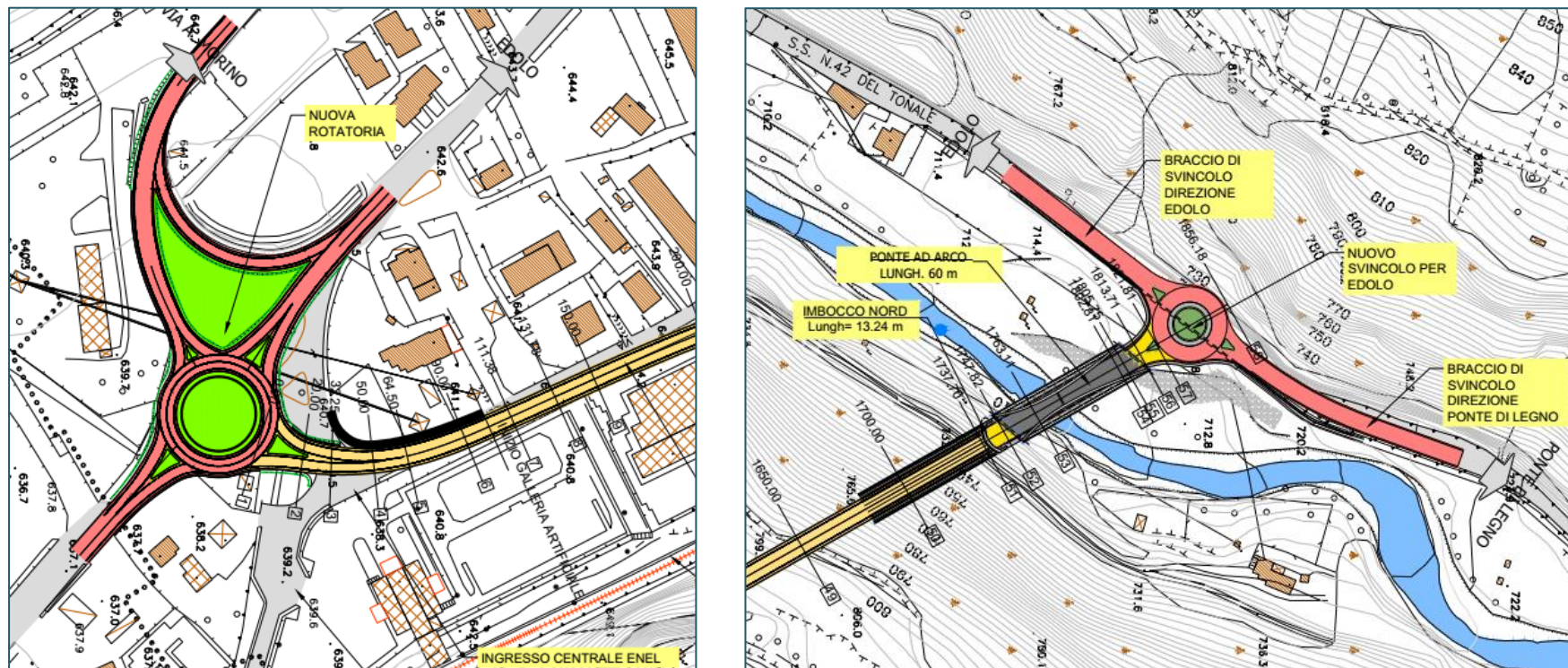


Figura 3 – Schema planimetrico delle rotatorie da Progetto Preliminare

4.3 Fondamenti per la rettifica della soluzione preliminare

Come anticipato è innanzitutto da evidenziare che nella Progettazione Preliminare, con riferimento alle “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade (DM 5/11/2001)”, veniva adottata una piattaforma stradale relativa ad una strada extraurbana secondaria di Tipo “C2”. Attualmente, come richiesto dalla Committenza, è stata ritenuta necessaria e migliorativa l’adozione delle caratteristiche progettuali caratteristiche di una strada extraurbana di Tipo “C1”.

Nella presente fase progettuale, inoltre, si è altresì posto l’attenzione sulla necessità, conforme al quadro normativo attuale, ed alle raccomandazioni di ANAS, di prevedere tra gli sbocchi della galleria e le sezioni di arresto sulle rotatorie un adeguato tratto a cielo aperto che era eccessivamente ridotto nella soluzione individuata nel Progetto Preliminare.

In particolare, per la connessione a Nord della nuova variante alla S.S. 42, nella soluzione individuata nel Progetto Preliminare, tale tratto era eccessivamente ridotto essendo pari a 68.77 m. Si è pertanto individuata una nuova collocazione della rotatoria più a Ovest e questo ha permesso di portare tale distanza a 106.7 m.

Da evidenziare che la nuova topografia ha permesso di accertare una discrepanza presente nel Progetto preliminare sulle quote del terreno nella zona della rotatoria nord che presentano quote significativamente maggiori rispetto a quanto originariamente ipotizzato.

In conseguenza di ciò la pendenza longitudinale della galleria è stata leggermente aumentata portandola dal 5,72% al 6,05%.

Per quanto riguarda la tratta a sud della nuova variante si evidenzia quanto segue:

La soluzione del progetto preliminare richiedeva necessariamente l’interruzione della viabilità interna alla Centrale ENEL e l’accesso al fabbricato di deposito/autorimessa, era previsto solamente da Nord (accesso esistente).

Successivamente a confronti con i tecnici di ENEL è stato richiesto di mantenere la viabilità interna alla Centrale e altresì l’accesso diretto alla galleria di accesso alla Centrale elettrica in caverna.

Nella definizione del profilo longitudinale della Variante si è dovuto tener conto anche dell’esistenza delle gallerie/condotte delle centrali di ENEL/Edison, presenti nel tratto esaminato.

Quanto sopra ha comportato la rivisitazione del Progetto con ricollocazione della rotatoria di inizio della Variante più a Sud e lasciando invariata la rotatoria ovoidale esistente.

Questo ha consentito di anticipare significativamente l’imbocco della galleria artificiale consentendo, nella sistemazione definitiva, di ripristinare completamente la viabilità

interna alla Centrale ENEL e altresì di Via Valeriana aspetto questo ultimo estremamente migliorativo rispetto alla soluzione prospettata nel Progetto Preliminare.

L'allungamento complessivo del tratto in sotterraneo ha richiesto, per Norma, di prevedere una nuova Piazzola di emergenza che verrà realizzata nel lungo tratto in artificiale.

La nuova soluzione ha inoltre richiesto l'adozione per la prima curva in sotterraneo di un allargamento e pertanto si è dovuto adottare per il primo tratto della galleria naturale una sezione con profilo interno maggiorato.

Vista la dimensione del profilo della sezione della galleria del primo tratto (per la presenza dell'allargamento in curva nonché del cunicolo di emergenza) ed il nuovo profilo longitudinale, la copertura al di sotto della Linea ferroviaria (FerrovieNord S.p.A.) è risultata eccessivamente ridotta per la realizzazione in soluzione naturale e, pertanto, per il superamento di tale interferenza si è dovuto adottare una soluzione in galleria artificiale.

Per quanto riguarda la galleria naturale si evidenzia anzitutto che l'adozione di una piattaforma stradale tipo C1 ha conseguentemente determinato una maggiorazione della sagoma interna rispetto a quella prevista dal progetto preliminare.

Il cunicolo di sicurezza, presente al di sotto della pavimentazione stradale, è provvisto di due recapiti finali di uscita in prossimità sia dell'imbocco Sud (Prima Piazzola di sosta) e sia per quello Nord.

Nella progettazione preliminare il cunicolo era previsto interrotto a una distanza di circa 300 m dall'imbocco nord e quindi in tale tratto la galleria naturale era prevista senza cunicolo. Nella presente progettazione esso è stato esteso per tutta la lunghezza della galleria fino all'imbocco nord.

5. Il Progetto attuale

5.1 Il tracciato piano altimetrico adottato

Nella Progettazione Preliminare, con riferimento alle “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade (DM 5/11/2001)”, come già evidenziato, veniva adottata una piattaforma stradale relativa ad una strada extraurbana secondaria di Tipo “C2”.

Attualmente, come già evidenziato, è stata ritenuta necessaria e migliorativa l’adozione delle caratteristiche progettuali di una strada extraurbana di Tipo “C1”.

Nel seguito per ogni tratta si riporta una descrizione dei vincoli ambientali presenti e delle criticità costruttive, descrivendo sinteticamente le soluzioni adottate.

Per i dettagli tecnici si rimanda agli elaborati di progetto.

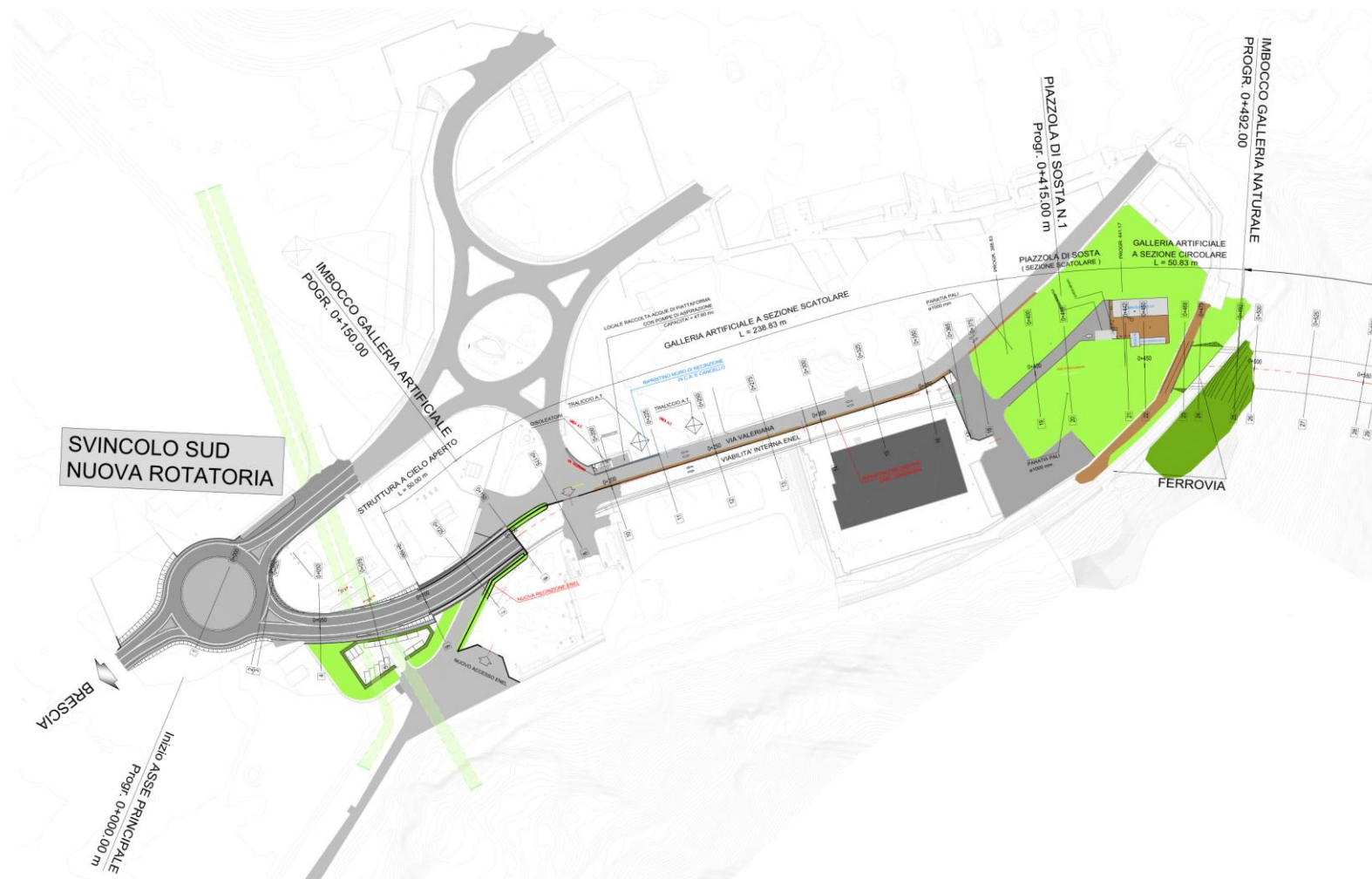


Figura 4 – Schema planimetrico tracciato - Tratto Sud

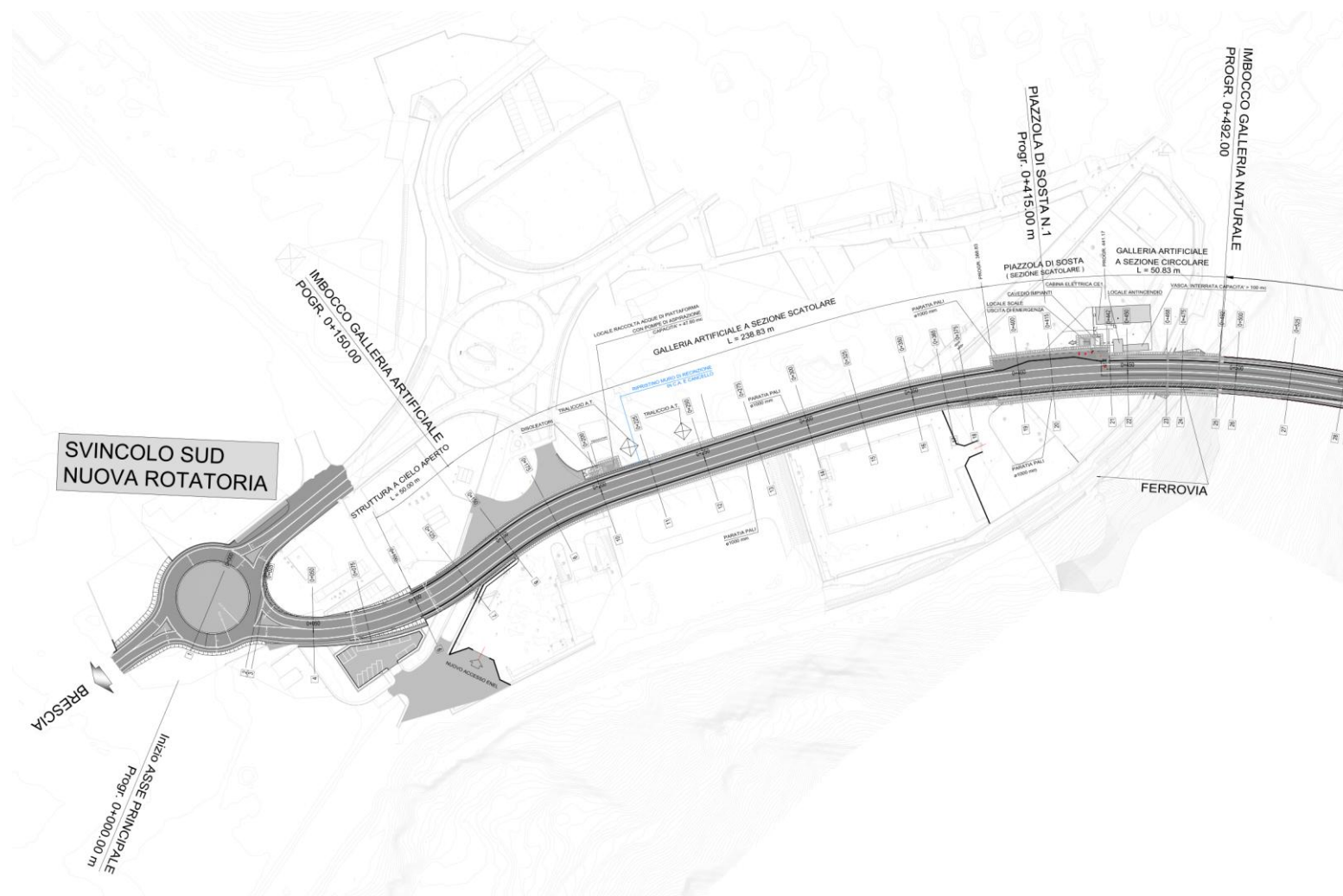


Figura 5 – Schema planimetrico a piano strada - Tratto Sud

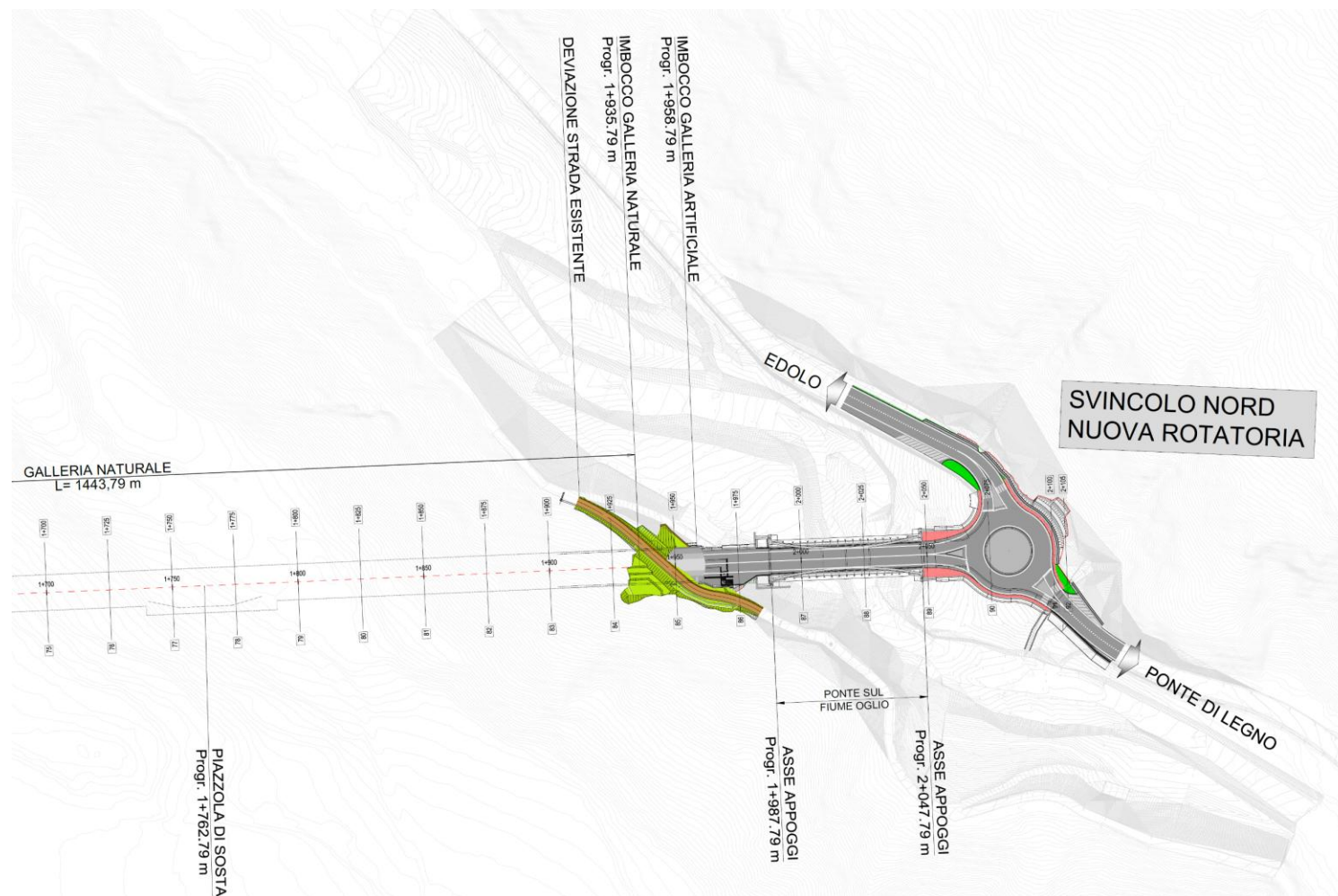


Figura 6 – Schema planimetrico tracciato - Tratto Nord

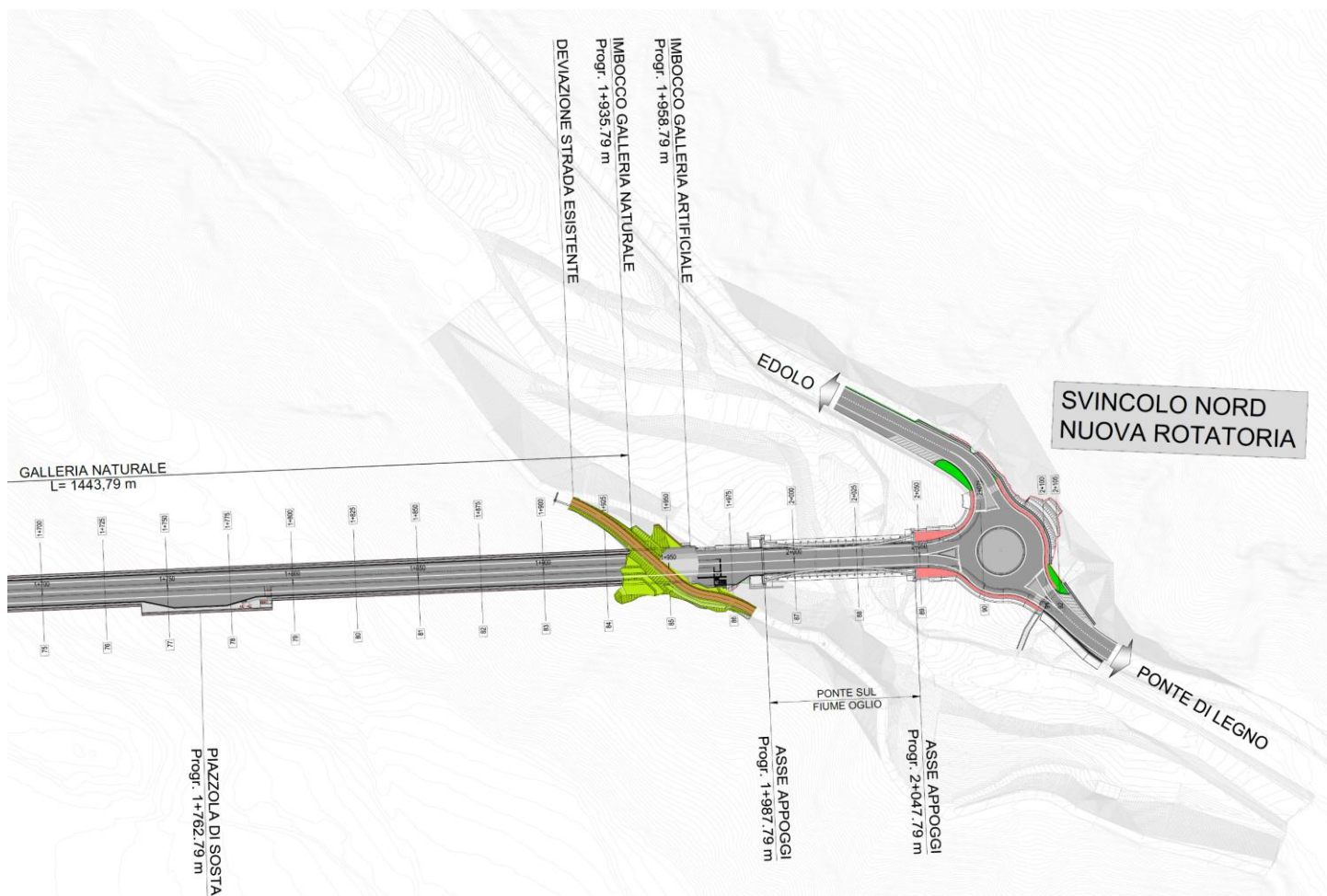


Figura 7 – Schema planimetrico a piano strada - Tratto Nord

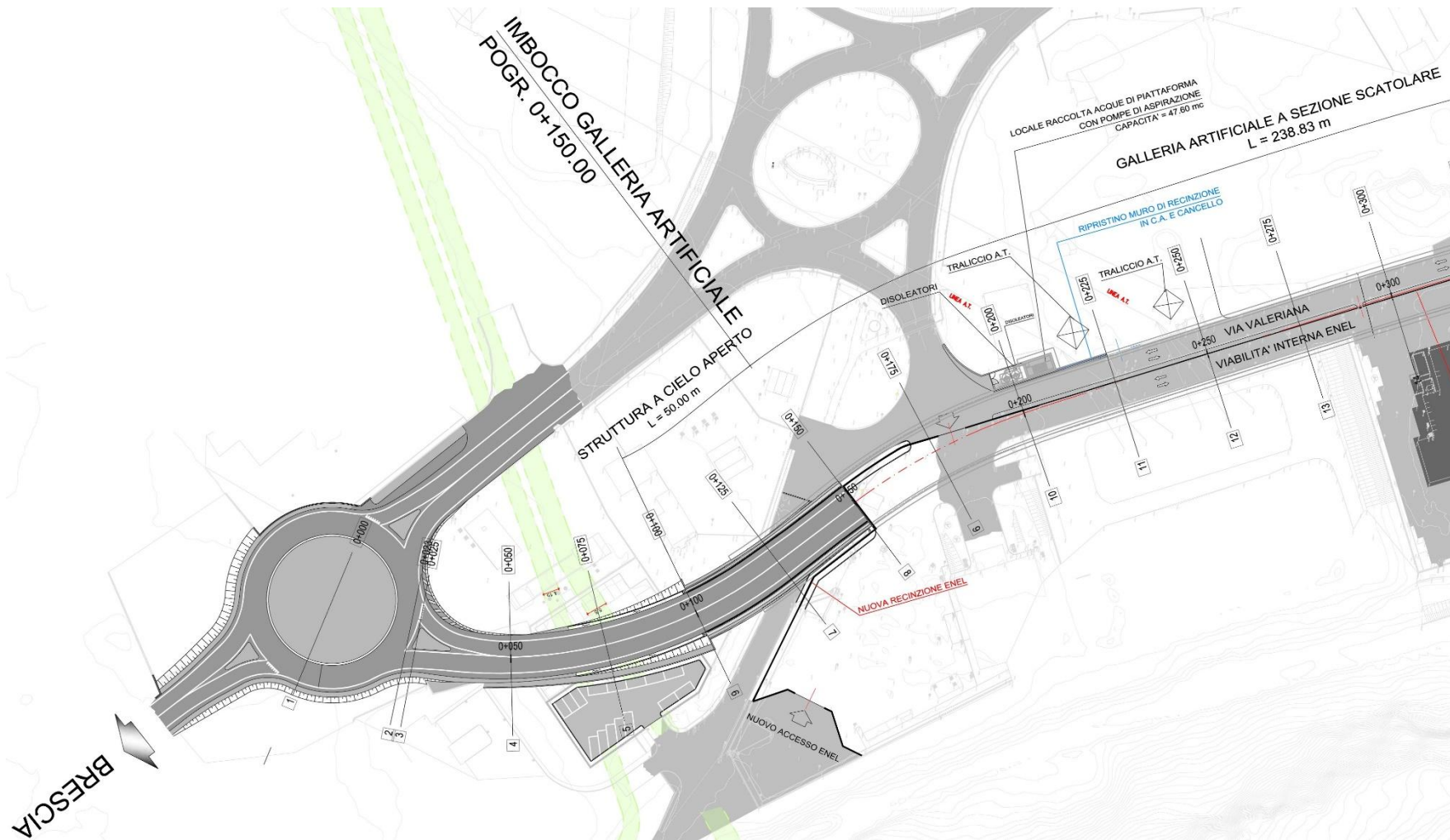


Figura 8 – Schema planimetrico Rotatoria Sud

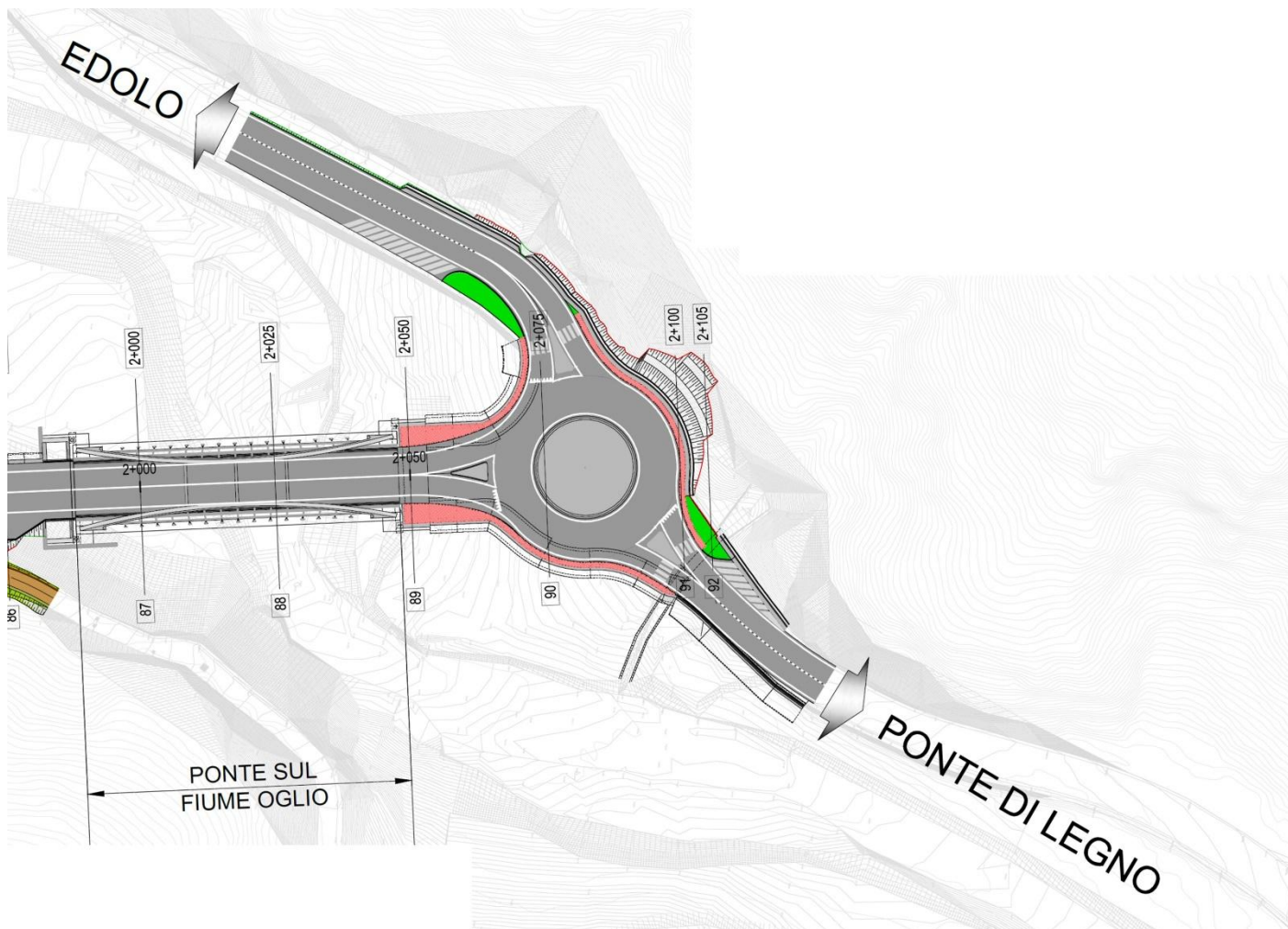
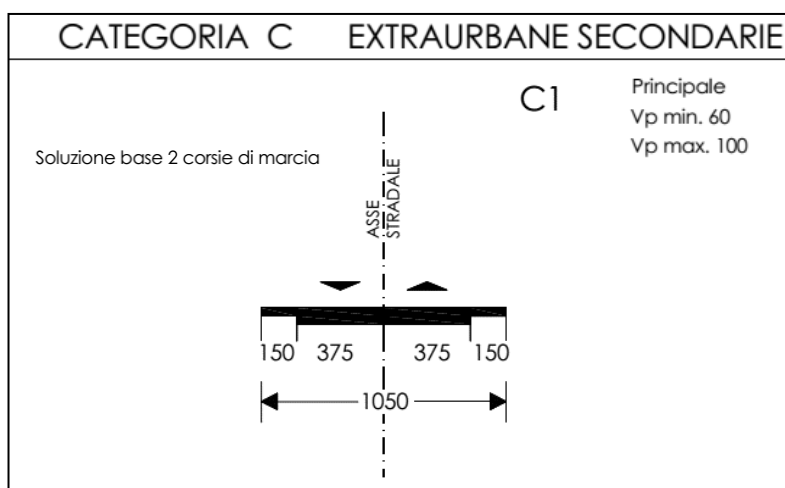


Figura 9 – Schema planimetrico Rotatoria Nord

5.2 La sede stradale – sezione tipo piattaforma

Il D.M. 05/11/2001 “*Norme funzionali e geometriche per le costruzioni delle strade*”, detto decreto Nesi-Lunardi, viene applicato a tutte le nuove realizzazioni e per l’adeguamento dei tronchi stradali esistenti.

In accordo a quanto appena premesso, si adotta per la diretrice principale una piattaforma stradale la cui sezione tipo viene classificata come **Tipo C1**.



Tale tipologia di sede stradale presenta le seguenti caratteristiche:

N. carreggiate	1
Larghezza complessiva carreggiata	10.5
N. corsie di marcia	2
Larghezza singola corsia	3.75
N. banchine laterali	2
Larghezza banchina	1.5
Velocità di progetto minima	60
Velocità di progetto massima	100
Raggio di curvatura planimetrico minimo (R_{min})	118
Raggio planimetrico limite pendenza 2.50% ($R_{2.5}$)	2187
Raggio planimetrico limite in "contropendenza" (R')	5250
Pendenza trasversale massima	7
Pendenza trasversale minima	2.5
Pendenza longitudinale massima	7
Raggio minimo dei raccordi concavi ($V_p = 100$ Km/h)	4.200
Raggio minimo dei raccordi convessi ($V_p = 100$ Km/h)	8.100

Relativamente ai tratti in galleria sono inoltre rispettate le prescrizioni previste dalle “Linee guida A.N.A.S. per la progettazione della sicurezza nelle gallerie stradali” edizione 2009; in particolare si è limitata la pendenza longitudinale a valori inferiori o uguali 6.0%.

I requisiti geometrici plano-altimetrici minimi richiesti dalle Norme sono:

- raggio planimetrico minimo $R_{min} = 118$ m (associato alla $V_{pmin}=60$ Km/h e ad una pendenza trasversale del 7.00% in condizioni di equilibrio dinamico in curva);
- raggio planimetrico massimo $R_{max} = 2187$ m (associato alla $V_{pmax}=100$ Km/h e ad una pendenza trasversale del 2.50% in condizioni di equilibrio dinamico in curva);
- pendenza longitudinale massima del 7%;
- raggi dei raccordi verticali, sia concavi sia convessi, tali da garantire le condizioni di sicurezza ottica, dinamica e psicofisiologica.

Inoltre, ai fini di garantire una soluzione sicura, confortevole per gli utenti e soddisfacente dal punto di vista ottico, le Norme prevedono di adottare per la planimetria e l’altimetria soluzioni coordinate e compatibili con le velocità di progetto desunte dal relativo *diagramma di velocità*, velocità comunque contenute nei limiti di cui sopra.

Relativamente al pacchetto sovrastrutturale, si distingue tra:

Tratti all’aperto (spessore complessivo di 38 cm):

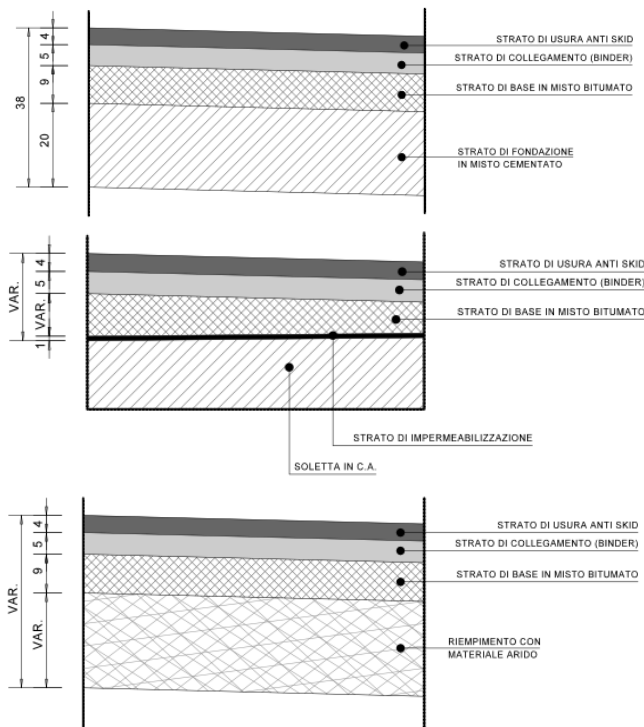
- manto d’usura anti-skid (sp=4 cm);
- strato di collegamento - binder (sp=5 cm);
- base in misto bitumato (sp=9 cm);
- fondazione in misto cementato (sp=20 cm);

Tratti su ponte (spessore complessivo variabile):

- manto d’usura anti-skid (sp=4 cm);
- strato di collegamento - binder (sp=5 cm);
- base in misto bitumato (sp=var);

Tratti in galleria (spessore complessivo di 18 cm):

- manto d’usura anti-skid (sp=4 cm);
- strato di collegamento - binder (sp=5 cm);
- base in misto bitumato (sp=9 cm).



5.3 Tratto a cielo aperto Sud

Nella presente fase progettuale, oltre alla completa messa a norma dell'intero tratto della Variante stradale e delle connessioni con le preesistenti viabilità, si è posta l'attenzione sulla necessità, nel rispetto del quadro normativo e sulla base delle raccomandazioni di ANAS, di prevedere, tra gli sbocchi della galleria e le sezioni di arresto sulle rotatorie, un adeguato tratto a cielo aperto.

Il tracciato previsto dalla Progettazione preliminare, nella parte a sud, oltre a non rispettare un adeguato tratto a cielo aperto dallo sbocco della galleria artificiale alla rotatoria di inizio variante, richiedeva, per la sua realizzazione, l'interruzione della viabilità interna alla Centrale ENEL e l'accesso al fabbricato di deposito/autorimessa.

Quanto sopra ha comportato la rivisitazione completa del Progetto con ricollocazione della rotatoria di inizio della Variante più a Sud e lasciando invariata la rotatoria ovoidale esistente.

Questo ha consentito di anticipare significativamente l'imbocco della galleria artificiale consentendo, nella sistemazione definitiva, di ripristinare completamente la viabilità interna alla Centrale ENEL.

L'allungamento complessivo del tratto in sotterraneo ha richiesto, per Norma, di prevedere una nuova Piazzola di emergenza che verrà realizzata nel lungo tratto in artificiale; questa necessariamente è stata posta all'esterno della curva. Le successive piazzole poste lungo lo sviluppo della galleria naturale sono quindi state rimodulate modificandone le progressive originarie.

La nuova soluzione ha inoltre richiesto l'adozione per la prima curva in sotterraneo di un allargamento e pertanto si è dovuto adottare per il primo tratto della galleria naturale una sezione con profilo interno maggiorato.

Vista la dimensione del profilo della sezione della galleria del primo tratto (per la presenza dell'allargamento in curva nonché del cunicolo di emergenza) ed il nuovo profilo longitudinale, la copertura al di sotto della Linea ferroviaria (FerrovieNord S.p.A.) è risultato eccessivamente ridotto per la realizzazione in soluzione naturale e, pertanto, per il superamento di tale interferenza si è dovuto adottare una soluzione in galleria artificiale con fasi estremamente complesse che verranno descritte nel seguito.

Nella definizione del profilo longitudinale della Variante si è altresì dovuto tener conto dell'esistenza delle gallerie/condotte delle centrali di Edolo/Edison, presenti nel tratto esaminato trasmesse da ENEL.

Conseguentemente sono state modificate le tipologie delle opere necessarie alla realizzazione della galleria artificiale.

Per tutto quanto sopra il nuovo progetto prevede:

- adozione dalla sezione di imbocco della galleria artificiale a Progr. 0+150 km fino alla Progr. 0+441,17 km, di una nuova sezione di tipo scatolare e non più circolare. Questa potrà essere realizzata sempre con paratie laterali di pali di grande diametro come nel progetto precedente. Da notare che la sezione si è dovuta allargare per le note problematiche stradali dalla Progr. 0+364,83 km.
- Nel tratto successivo (tra le Progr. 0+388,83 Progr. 0+441,17) è prevista la realizzazione della piazzola di sosta con uscita di emergenza che viene posta in sinistra (esterno curva). Anche in tale tratto si è dovuto adottare una sezione scatolare. Per la realizzazione delle paratie laterali, vista la larghezza significativa dello scavo e necessità di carattere cantieristico, come descritto nel seguito, non potranno essere adottati in questo tratto puntoni di contrasto, ma tiranti attivi a trefoli (la cui adozione è possibile per la lontananza di edifici e manufatti).
- Riubicazione di tutte le piazzole di sosta della galleria naturale.
- Successivamente alla piazzola di sosta, dalla Progr. 0+441,17, viene previsto invece un tratto di galleria artificiale a sezione circolare, necessario poi per la realizzazione della sezione di attacco della galleria naturale.

Come anticipato, il superamento della linea ferroviaria non può più essere realizzato in soluzione di galleria naturale ma bensì artificiale, con una metodologia piuttosto complessa anche per limitare l'interruzione di traffico ad un periodo accettabile, come descritto nel seguito.

Per far questo, devono essere realizzate due paratie frontali: una prima a valle del rilevato ferroviario Progr. 0+468,43 ed un a monte come paratia di attacco della galleria naturale Progr. 0+492,00.

Le modalità realizzative, sinteticamente, possono essere così descritte:

- realizzazione delle paratie e scavo del tratto di galleria artificiale dalla Progr. 0+388,83 (inizio Piazzola di sosta) e la Progr. 0+468,43 (Paratia frontale a sostegno del rilevato ferroviario). La paratia frontale è completa di trattamenti jet-grouting per ridurre l'effetto drenante dello scavo e per limitare possibili conseguenti subsidenze del rilevato ferroviario;
- realizzazione di una rampa di accesso alla galleria dall'area di cantiere adiacente;
- terminato lo scavo potrà già essere realizzata parte della platea di fondazione sia per il tratto della piazzola che per il successivo tratto che sarà realizzato con sezione circolare, fino alla Progr. 0+468,43;
- Seguirà lo smantellamento della sede ferroviaria con l'esecuzione delle paratie laterali

e della seconda paratia frontale di attacco della galleria naturale;

- Scavo con realizzazione di tiranti sulla paratia di imbocco, realizzazione della Dima e dei consolidamenti del primo campo della naturale;
- Realizzazione del tratto della galleria artificiale circolare fino a oltrepassare la ferrovia (Progr. 0+492,00) fino sotto la Dima realizzata al fronte;
- Seguirà posa impermeabilizzazione e riempimento con cls alleggerito, fino alla quota utile per la realizzazione della massicciata ferroviaria;
- Realizzazione massicciata ferroviaria, sistemazione definitiva terreni a monte e a valle, con recinzioni e ripristino muro di sostegno originario. Ripristino traffico ferroviario.
- Inizierà successivamente lo scavo della galleria. Per ridurre le tempistiche generali di realizzazione della Variante contemporaneamente alle fasi sopra sinteticamente descritte, verrà realizzato il tratto della galleria artificiale tra la Progr. 0+150,00 e la Progr. 277.50. Questo consentirà di utilizzare l'attuale sede della Via Valeriana per lo smarino e il trasporto di materiale per la realizzazione del tratto di galleria naturale da realizzare dall'imbocco Sud e sia per il ripristino della viabilità interna della Centrale ENEL.

5.3.1 Fasi realizzative della zona a Sud

Nel seguito vengono riportate le previste fasi realizzative, rimandando per approfondimenti agli elaborati progettuali.

Tratto Sud - Imbocco galleria naturale
FASE 1-2 (Da Progr. 388.83 a Paratia imbocco Galleria Naturale Progr. 492,00)
Installazione di cantiere presso imbocco Sud della galleria naturale (area compresa tra Via Valeriana, Linea ferroviaria e proprietà ENEL) con temporanea perimetrazione dell'accesso secondario Nord all'autorimessa della Centrale ENEL
Bonifica Bellica (su intero tratto da rotatoria Sud a Imbocco galleria naturale)
Rimozione/ricollocazione traliccio ENEL interferente
Realizzazione Pali di grande diametro $\varnothing 1000$ mm e colonne in jet-grouting tra la Progr. 388.83 a Progr. 468.43
Realizzazione trattamenti colonnari integrativi con jet-grouting tra la Progr. 441.17 e la Progr. 468.43
Realizzazione micropali della prima paratia frontale (Progr. 468.43)
Realizzazione trattamenti colonnari jet-grouting a tergo prima paratia frontale (Progr. 468.43)
Realizzazione tampone di fondo colonne in jet-grouting tra le paratie laterali (Progr. 388.83 a Progr. 468.43)
Realizzazione dei cordoli di testa pali tra la Progr. 388.83 e la Progr. 441.17
Scavo di ribasso con realizzazione di tiranti delle paratie laterali dalla Progr. 398.83 alla Progr. 468.43 e della paratia frontale, operando con accesso dalla galleria artificiale.
Realizzazione della platea di fondazione previa posa di impermeabilizzazione operando da Sud nel tratto della Piazzola di sosta e del locale scale di emergenza (Progr. 398.83 e Progr. 441.17), nonché del successivo tratto di galleria artificiale circolare tra la Progr. 441,17 e Progr. 465,43 (a 3.00 m da paratia frontale)
Realizzazione rampa provvisoria per accesso al fondo scavo da area di cantiere, posta a tergo paratia lato Ovest
Previa interruzione del traffico ferroviario e preparazione area di cantiere, realizzazione Pali di grande diametro $\varnothing 1000$ mm e colonne in jet-grouting tra la Progr. 468.43 e la Progr. 492.00 (tratto con contrasto tra le paratie laterali con puntoni metallici)

Realizzazione trattamenti colonnari integrativi con jet-grouting a tergo delle paratie laterali tra la Progr. 468.43 e la Progr. 492.00
Realizzazione micropali paratia frontale di imbocco della galleria naturale (Progr. 492.00)
Realizzazione trattamenti colonnari jet-grouting a tergo paratia frontale di imbocco (Progr. 492.00)
Scavo di ribasso con realizzazione di tiranti per la paratia frontale (completo fino alla Progr. 492,00)
Trattamenti di consolidamento e presostegno dalla paratia frontale, per primo campo della galleria naturale, realizzazione della Dima di imbocco
Realizzazione, previa posa di impermeabilizzazione, del tratto di galleria artificiale circolare dalla Progr. 441,17 a Progr. 465,43
Realizzazione, previa posa di impermeabilizzazione, del tratto di galleria artificiale circolare dalla Progr. 465,43 a Progr. 490.00 (sotto Dima)
Ritombamento del tratto di galleria artificiale tra la Progr. 441,17 e Progr. 492,00 (paratia frontale), ripristino linea ferroviaria e sistemazione definitiva terreni a monte di essa
Istallazione cantiere per inizio scavo della Galleria Naturale

Galleria Naturale - Da imbocco Sud

FASE GN1 Scavo Galleria naturale (da Progr. 0+492 a Progr. 0+891,29)

Avanzamento realizzazione della galleria naturale come da progetto fino alla progressiva 891,29 m (consolidamenti, scavi, impermeabilizzazioni, rivestimenti di prima fase e definitivi, sia per sezione corrente e sia per sezioni allargate per piazzole

Tratto Sud - Da rotatoria a imbocco galleria naturale

FASE 3-4 (Da Progr. 115.00 a Progr. 202.50)

Installazione di cantiere.

Ricollocazione provvisoria della recinzione Ovest della Centrale ENEL (da Progr. 115.00 a Progr. 202.50) e nuovo accesso definitivo da Via Mù

Realizzazione Pali di grande diametro $\varnothing 1000$ mm e colonne in jet-grouting. delle paratie laterali (Da Progr. 115.00 a Progr. 202.50)

Realizzazione tampone di fondo colonne in jet-grouting tra le paratie laterali
Realizzazione dei cordoli di testa pali
Scavo e realizzazione della platea di fondazione previa posa di impermeabilizzazione fino alla Progr. 196.95 (avanzando in direzione Nord)
Armatura e getto delle pareti laterali e del solettone di copertura in c.a. della galleria artificiale scatolare, dalla Progr. 150.00 alla Progr. 196.95
Armatura e getto delle pareti laterali in c.a. da Progr. 115.00 a Progr. 150.00 (Tratto a cielo aperto)
Realizzazione nuova recinzione della Centrale ENEL, ripristino accesso alla Centrale ENEL su Via Valeriana con sistemazione definitiva delle aree interne. Sistemazione provvisoria di Via Valeriana e Via Mù e degli accessi carrai privati

FASE 5-6 (Da Progr. 202.50 a Progr. 305.00 - Galleria artificiale fino a Progr. 297.50) Tratto interferenza con Tralicci TERNA e area impianti della Centrale ENEL)
Installazione di cantiere. Realizzazione recinzione provvisoria Ovest della Centrale ENEL
Realizzazione Pali di grande diametro $\varnothing 1000$ mm e colonne in jet-grouting. delle paratie laterali e vasca raccolta acque
Realizzazione tampone di fondo colonne in jet-grouting tra le paratie laterali
Realizzazione dei cordoli di testa pali e posa dei puntoni trasversali fino a Progr. 305.00
Scavo e realizzazione della platea di fondazione previa posa di impermeabilizzazione operando da Sud fino a Progr. 297.50
Armatura e getto delle pareti laterali e del solettone di copertura in c.a. operando sia da Sud e sia da Nord fino a Progr. 297.50
Posa impermeabilizzazione superiore e ritombamento della galleria. Successiva realizzazione della nuova e definitiva recinzione della Centrale ENEL con sistemazione definitiva delle aree interne. Sistemazione provvisoria di Via Valeriana e degli accessi carrai privati.
Sistemazione definitiva di Via Valeriana (intero tratto) previo ripristino sottoservizi

FASE 7 (Rotatoria Sud e tratto Variante fino a progr. 0+100,00)

Presa in possesso proprietà interferenti alla realizzazione della rotatoria iniziale (Sud) e della viabilità e installazione cantiere
Realizzazione rotatoria e viabilità connessa
Realizzazione della sistemazione superficiale definitiva (viabilità, recinzioni, percorsi pedonali, aree verdi, ecc.)
Smantellamento cantiere e realizzazione delle sistemazioni definitive in tutta l'area interessata dai lavori
Realizzazione impianti di illuminazione tratte a cielo aperto e limitrofe di competenza del progetto

FASE 8-9 (Da Progr. 305.00 a Progr. 388.83 - Galleria artificiale già realizzata in fase precedente fino a Progr. 297.50)

Modifica e ricollocazione della recinzione Ovest della Centrale ENEL (Da Progr. 277.50 a Progr. 388.83)
Realizzazione Pali di grande diametro $\varnothing 1000$ mm e colonne in jet-grouting delle paratie laterali da Progr. 305.00 a Progr. 388.83
Realizzazione tampone di fondo colonne in jet-grouting tra le paratie laterali.
Realizzazione dei cordoli di testa pali, posa dei puntoni trasversali e realizzazione rampa di accesso alla trincea (da Progr. 305.00 a Progr. 388.83) con getto di platea provvisoria di contrasto
Armatura e getto delle pareti laterali e del solettone di copertura in c.a. da Progr. 297.50 a Progr. 388.83
Posa impermeabilizzazione superiore e ritombamento della galleria. Successiva realizzazione della nuova e definitiva recinzione della Centrale ENEL con sistemazione definitiva delle aree interne. Sistemazione provvisoria di Via Valeriana e degli accessi carrai privati e realizzazione di accesso provvisorio all'autorimessa ENEL da Via Valeriana

FASE 10 (Da Progr. 388.83 a Progr. 441.17 - Piazzola di sosta)

Rimozione rampa provvisoria e realizzazione tiranti tratto piazzola di sosta tra (da Progr. Progr. 388.83 e Progr. 398.83)

Scavo e realizzazione della platea di fondazione della galleria artificiale scatolare, previa posa di impermeabilizzazione (compreso tratto Piazzola di sosta tra Progr.388.83 e Progr. 398.83)

Realizzazione della galleria artificiale scatolare, previa posa di impermeabilizzazione (tratto Piazzola di sosta tra Progr.388.83 e Progr. 441,17)

Posa impermeabilizzazione superiore e ritombamento della galleria. Successiva sistemazione provvisoria area di cantiere

Realizzazione cabine elettriche, vasca antincendio e manufatti per impianti strutture minori

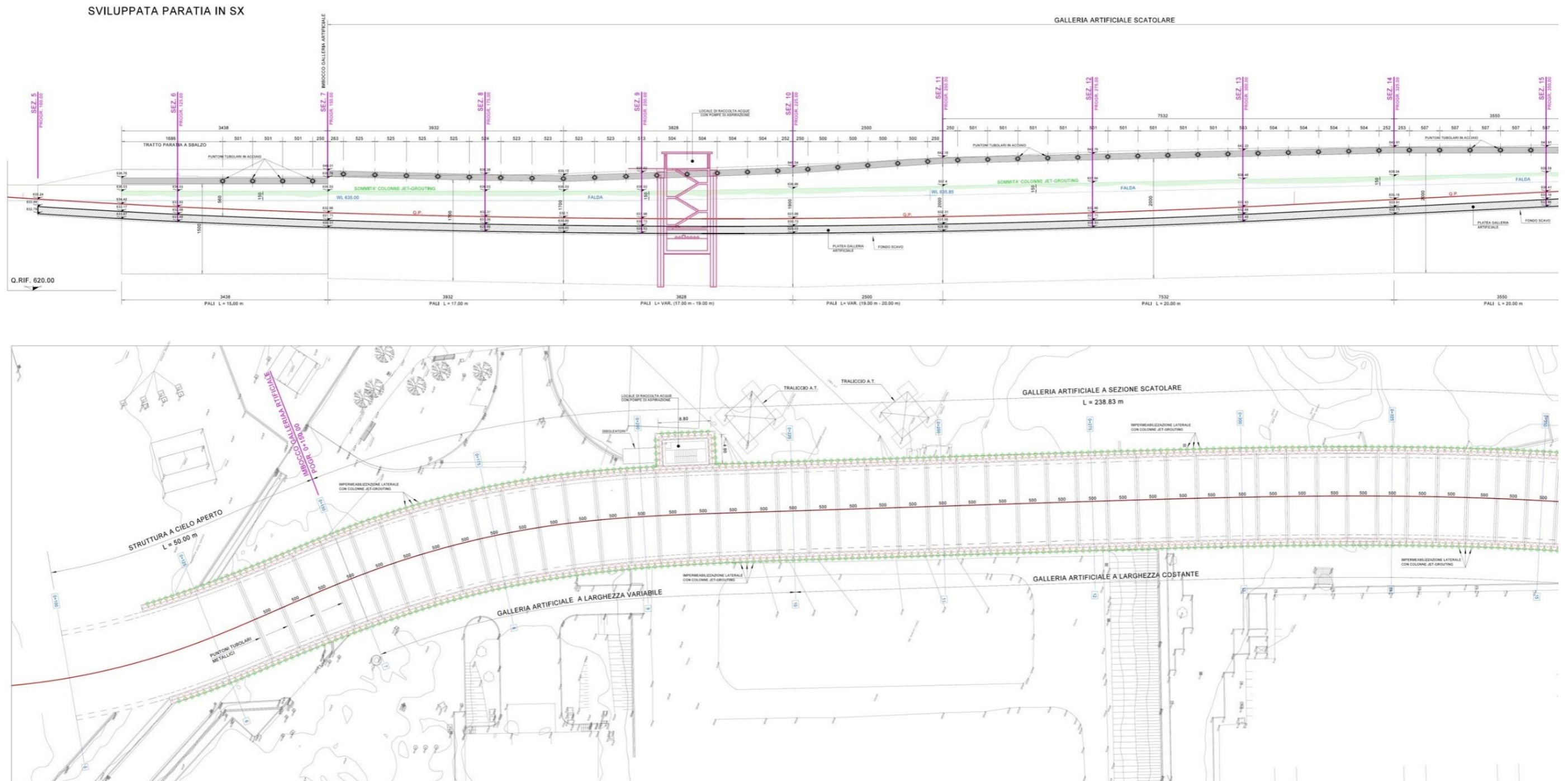


Figura 10 – Galleria Artificiale Sud e tratto a cielo aperto – Planimetria e Sezione longitudinale – (1 di 2)

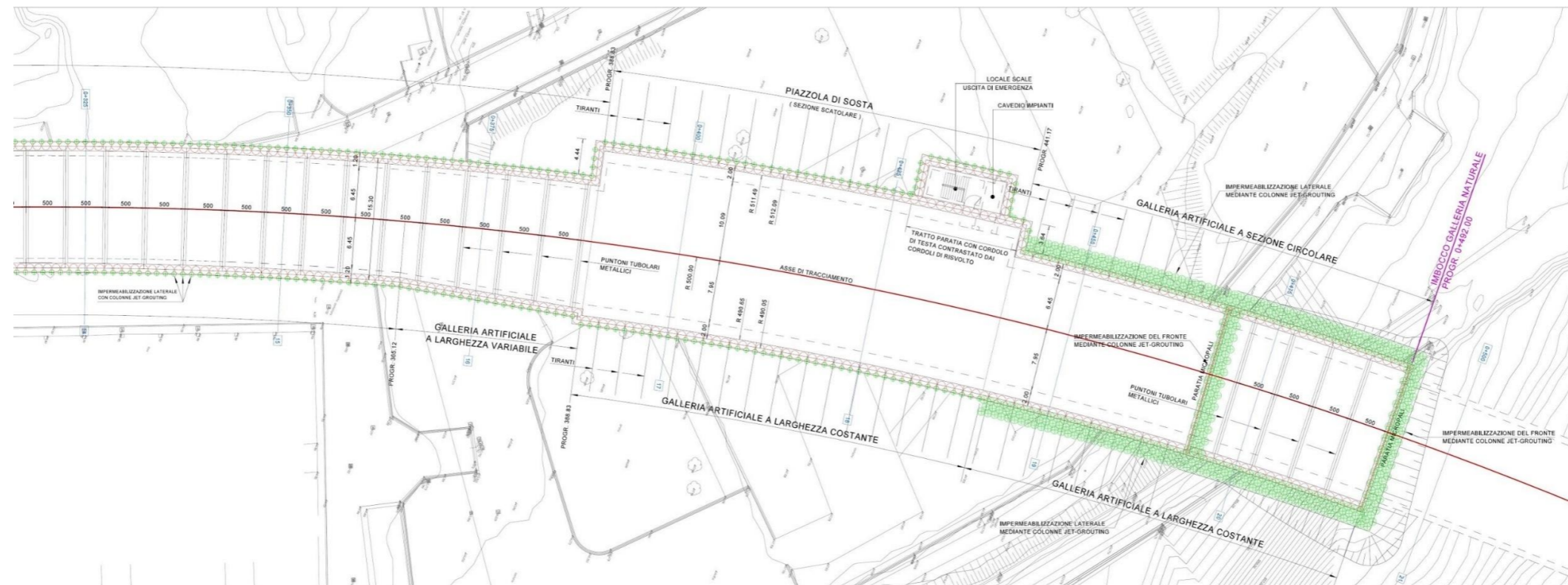
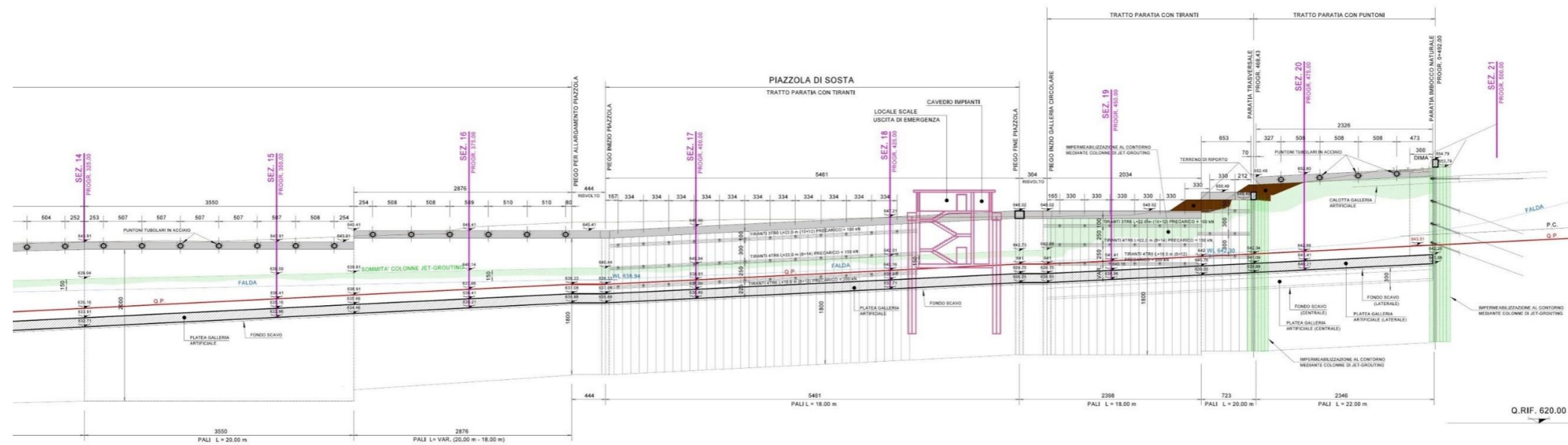
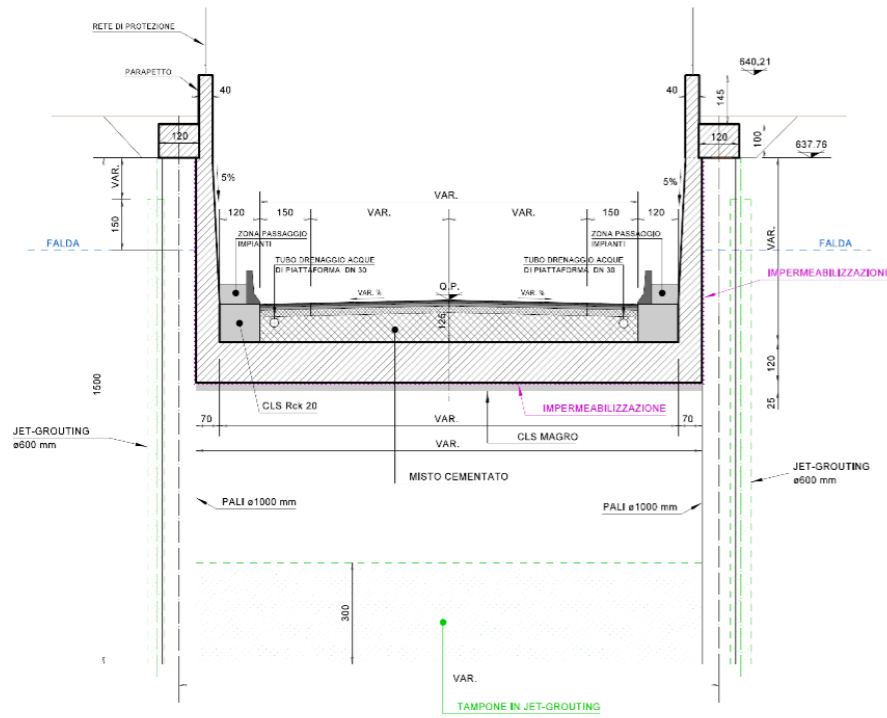
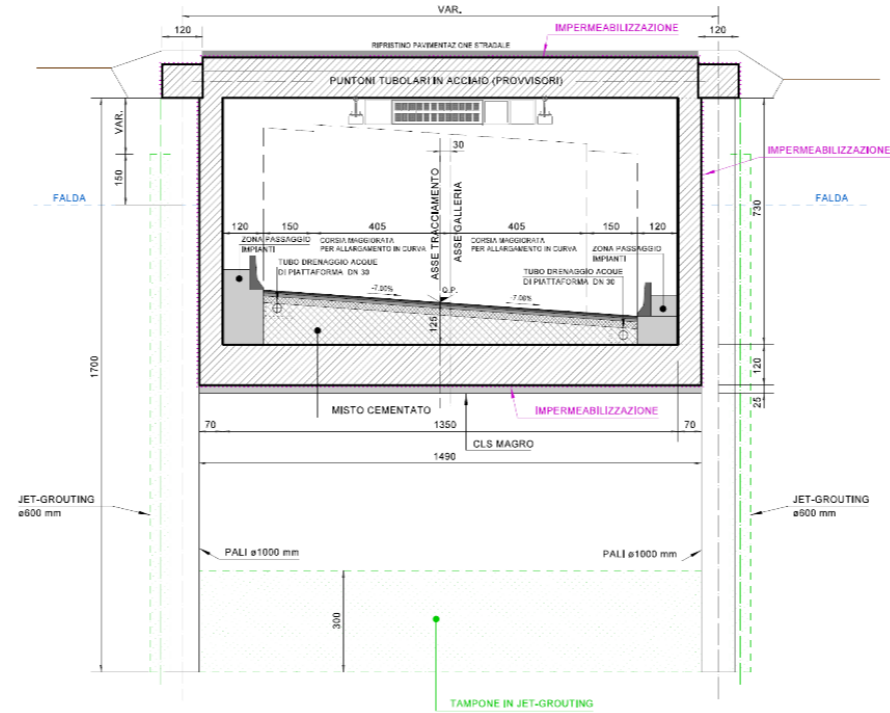


Figura 11 – Galleria Artificiale Sud e tratto a cielo aperto – Planimetria e Sezione longitudinale – (2 di 2)

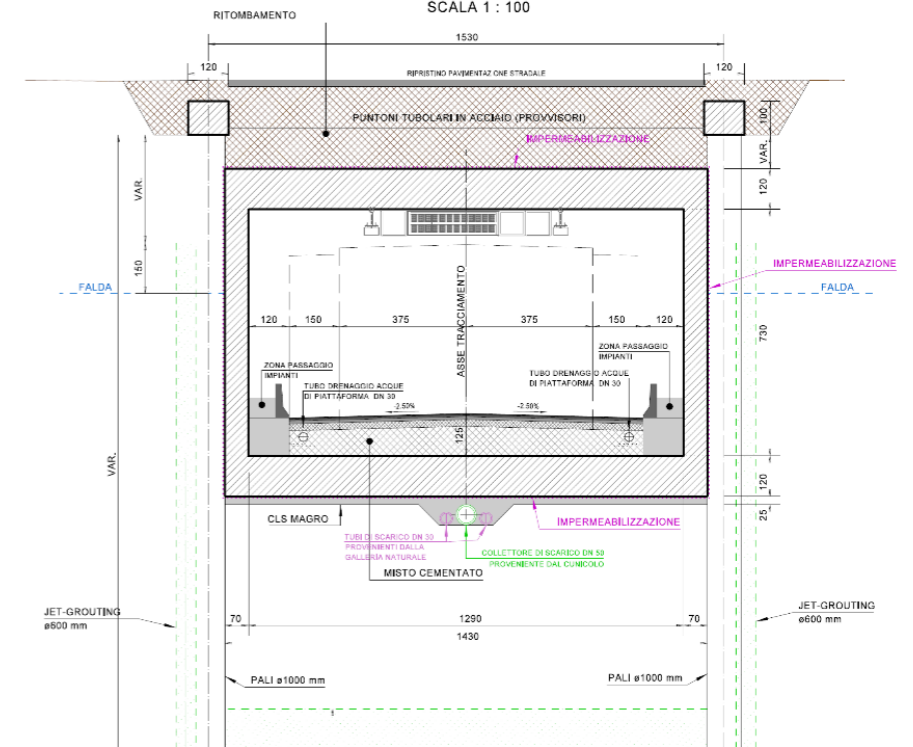
SEZIONE TIPO STRUTTURA A CIELO APERTO
 (PROG. 100.00 - 150.00)
 SCALA 1 : 100



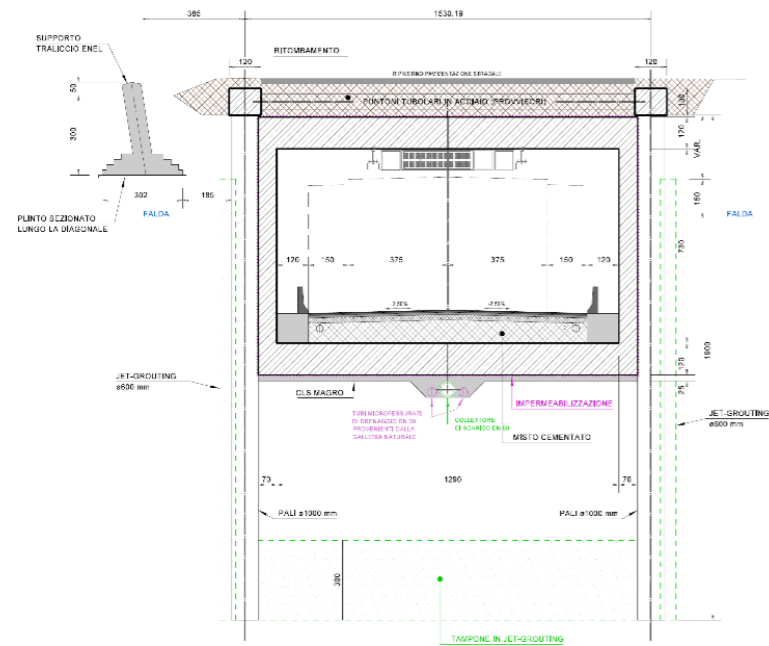
SEZIONE TIPO ARTIFICIALE SCATOLARE
 TRATTO A LARGHEZZA VARIABILE
 (PROG. 150.00 - 225.00 e PROG. 365.12 - 388.83)
 SCALA 1 : 100



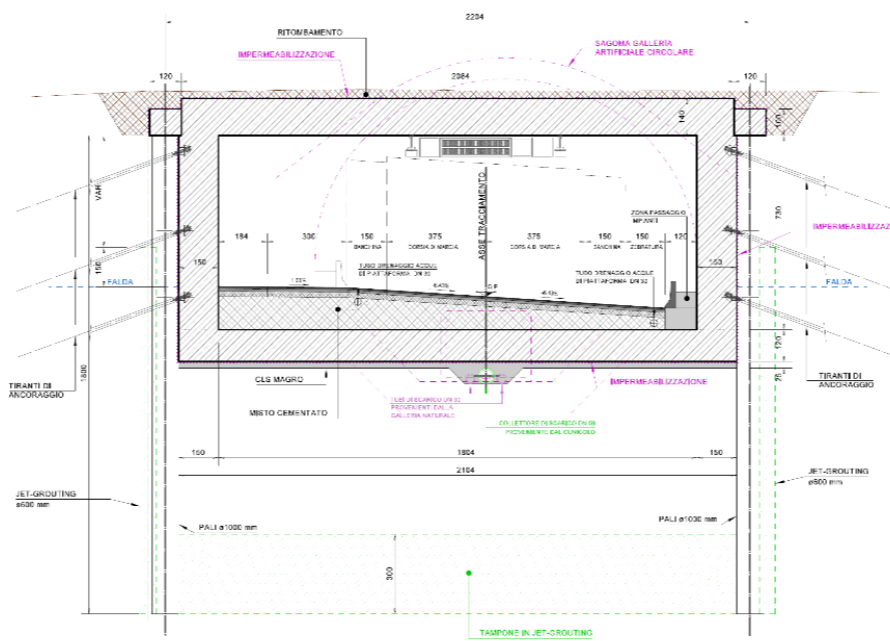
SEZIONE TIPO ARTIFICIALE SCATOLARE
 TRATTO A LARGHEZZA COSTANTE
 (PROG. 225.00 - 365.12)
 SCALA 1 : 100



SEZIONI 9A e 10A IN CORRISPONDENZA DEI TRALICCI ENEL
 SCALA 1 : 100



SEZIONE TIPO ARTIFICIALE SCATOLARE
 TRATTO CON PIAZZOLA DI SOSTA
 SCALA 1 : 100



SEZIONE TIPO ARTIFICIALE CIRCOLARE
 SCALA 1 : 100

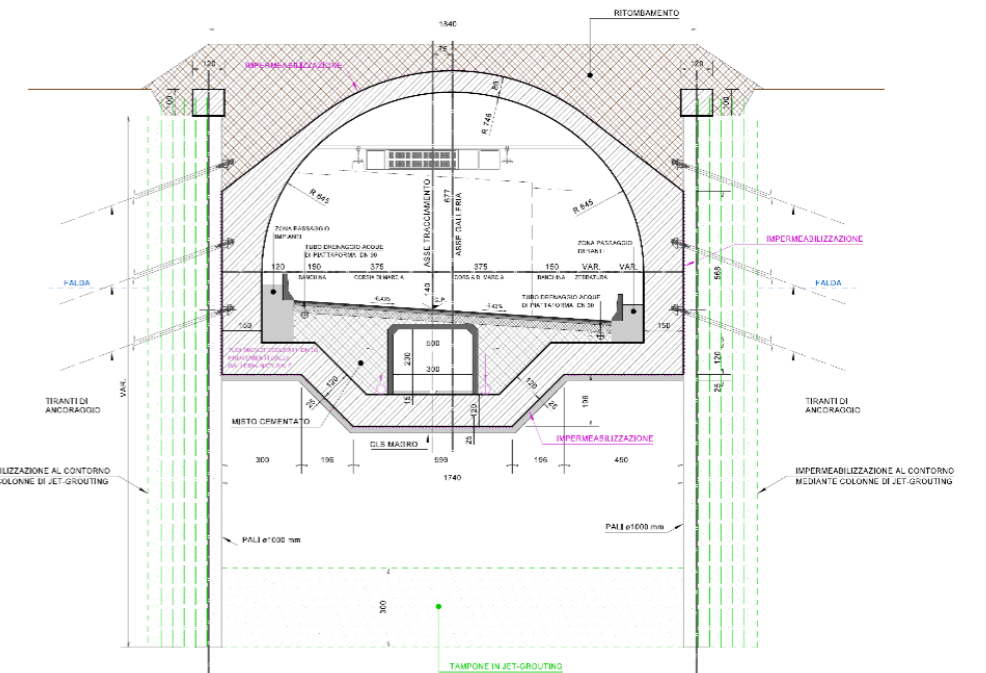
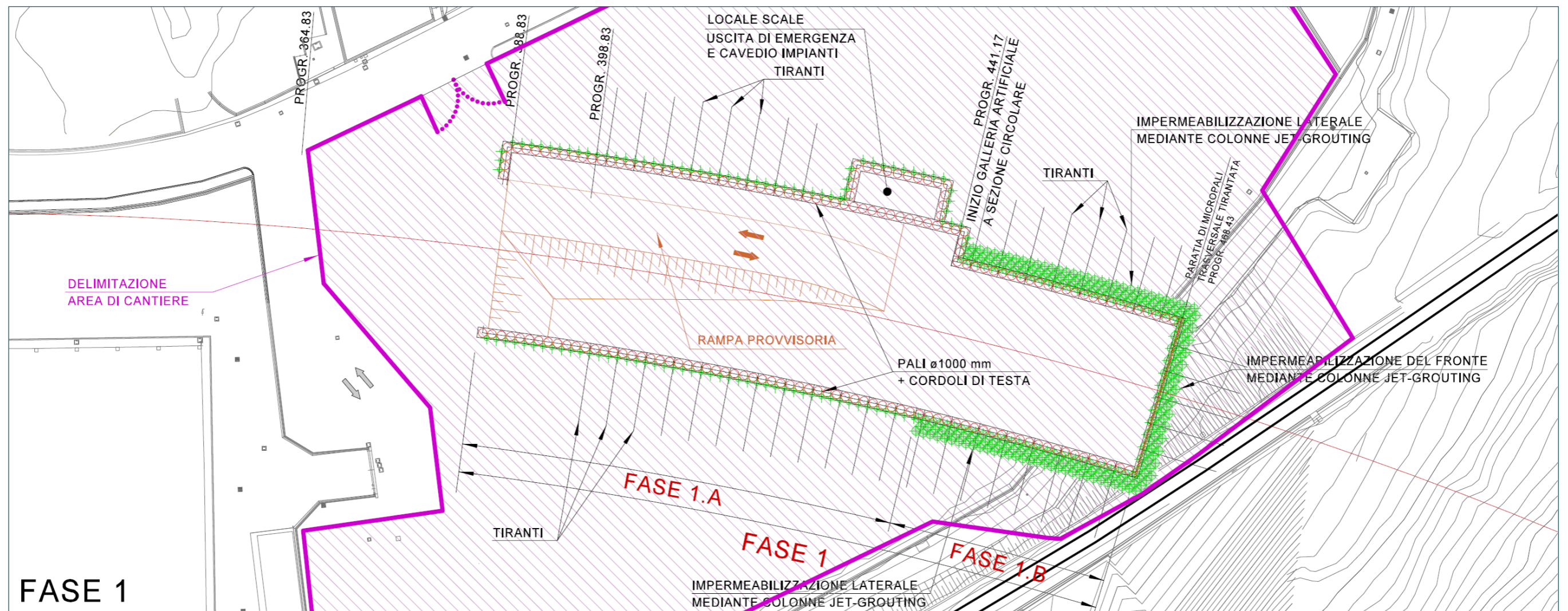
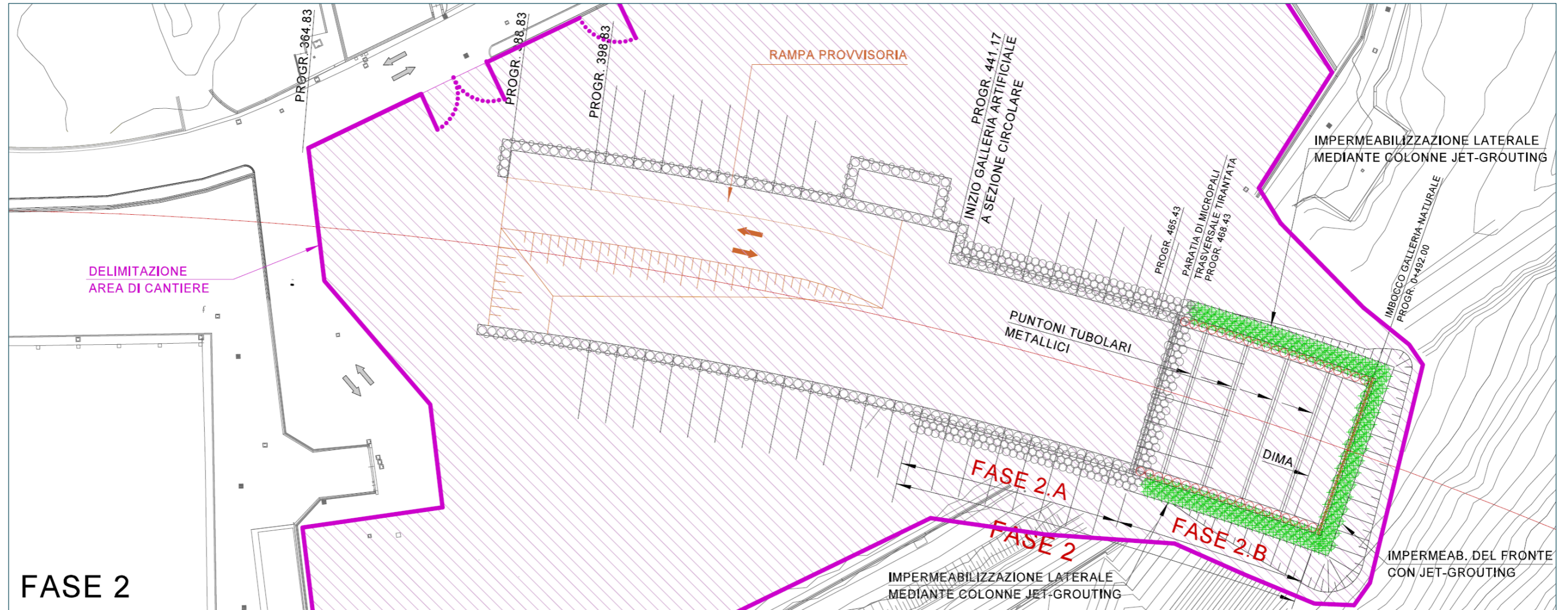
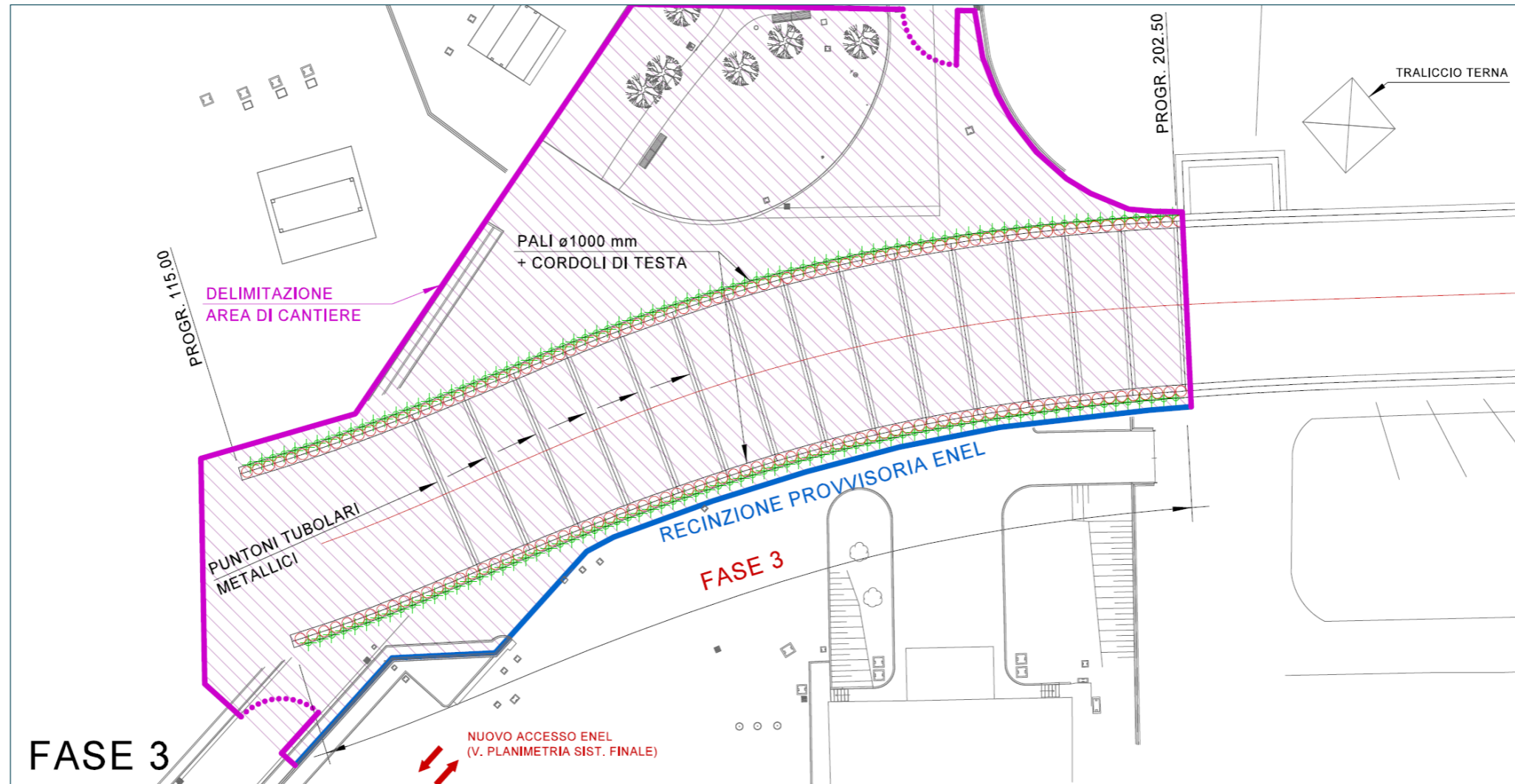


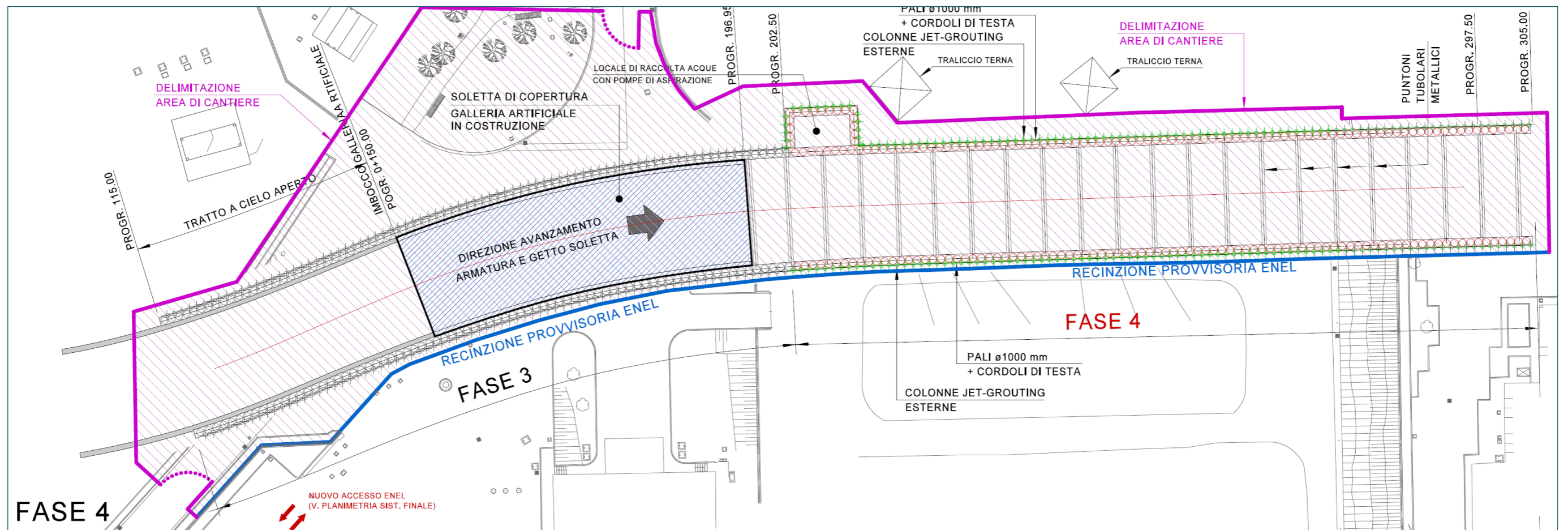
Figura 12 – Galleria Artificiale Sud e tratto a cielo aperto – Sezioni trasversali tipologiche

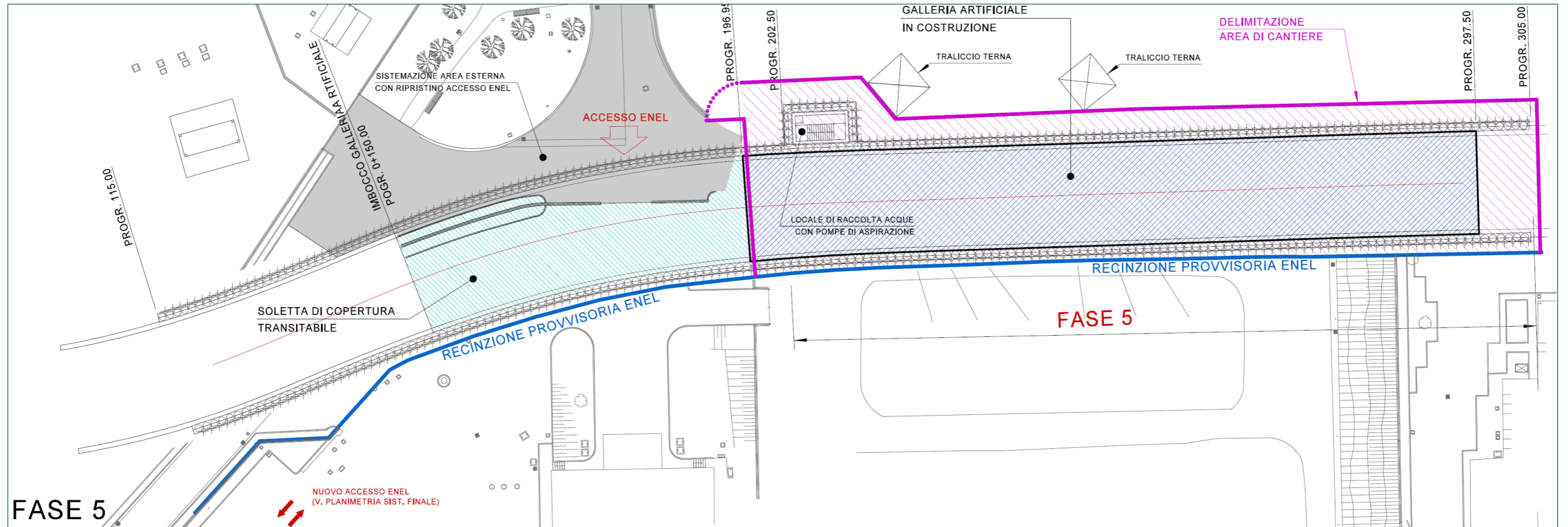
Figura 13 – Galleria Artificiale Sud e tratto a cielo aperto – Fasi realizzative

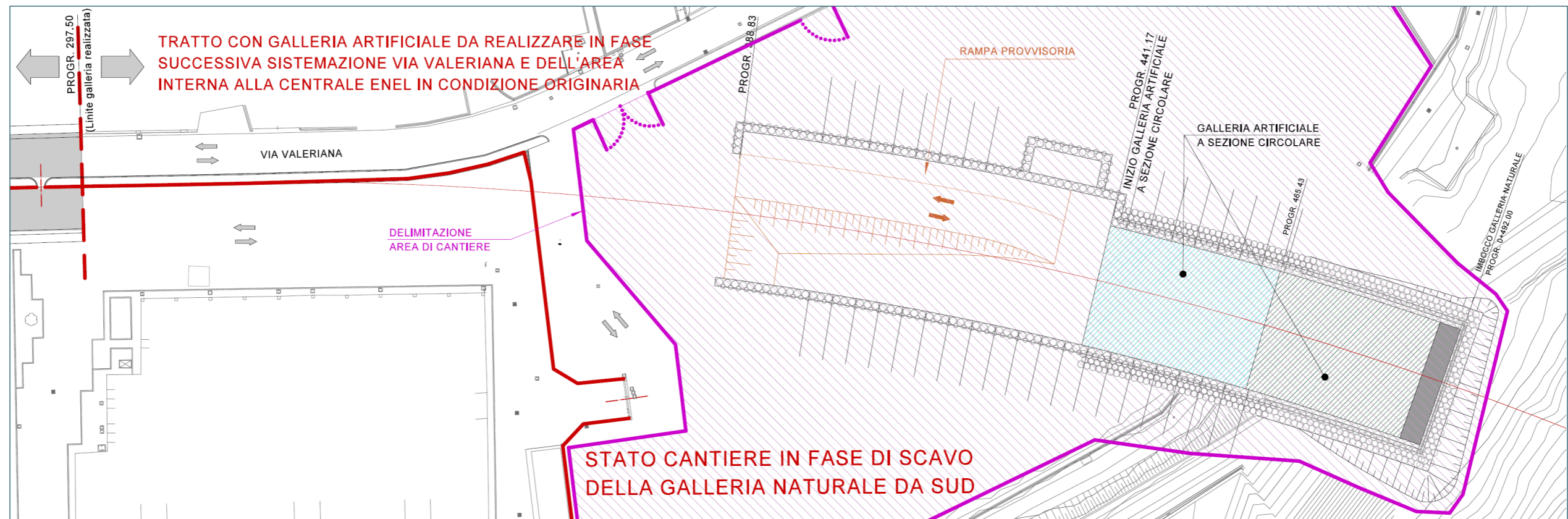
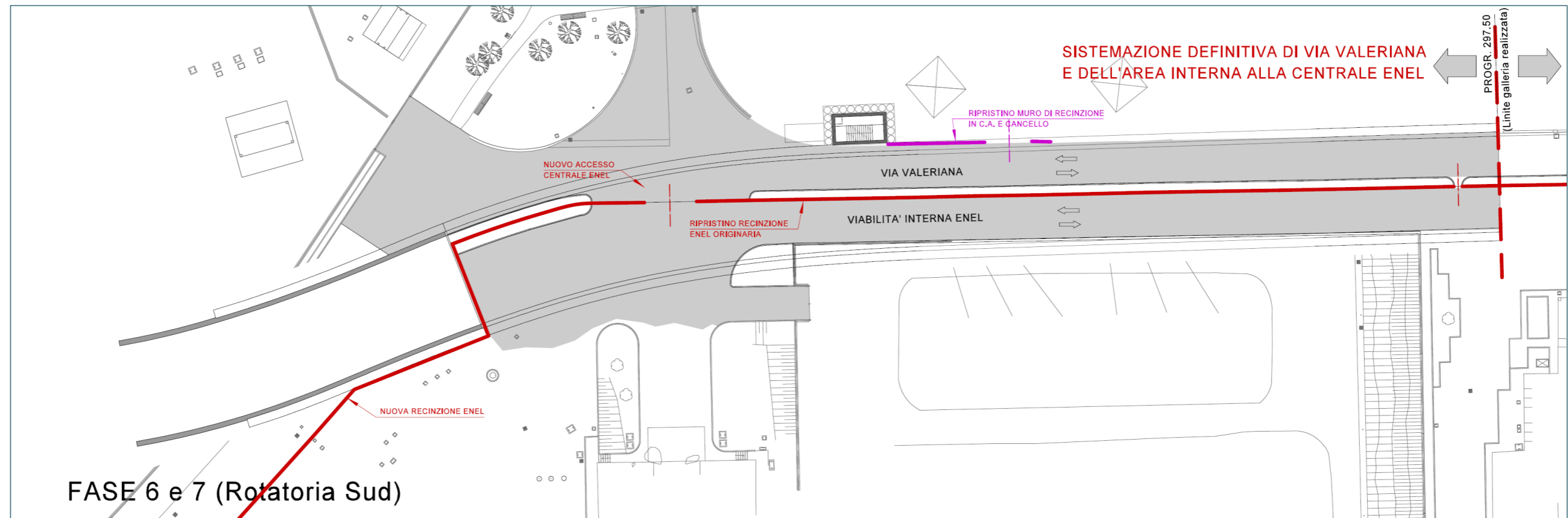


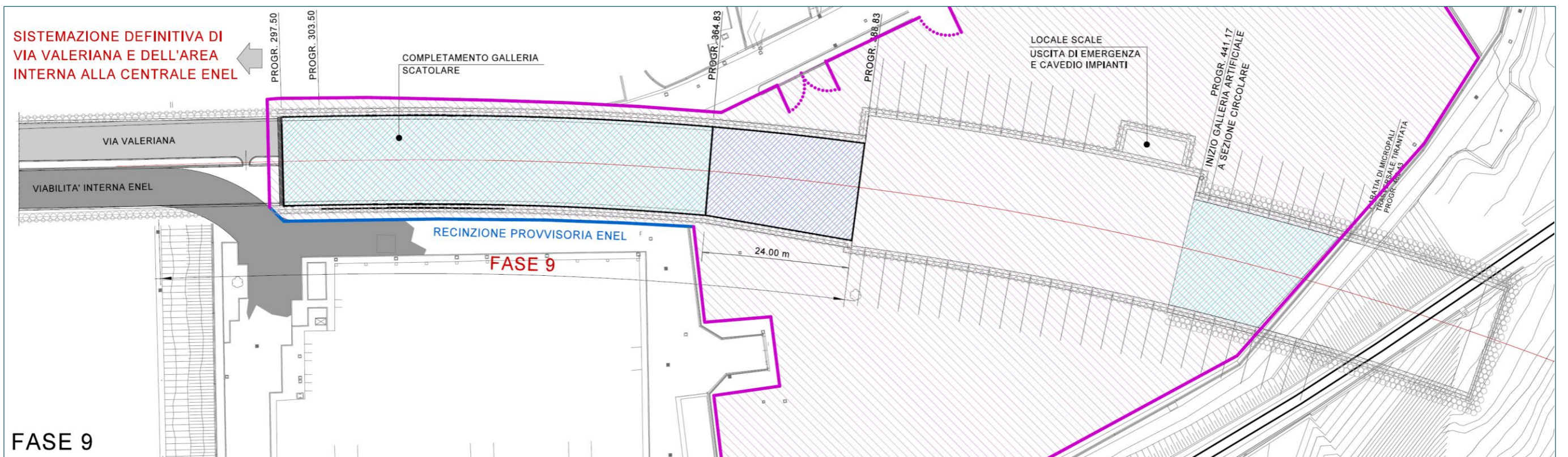
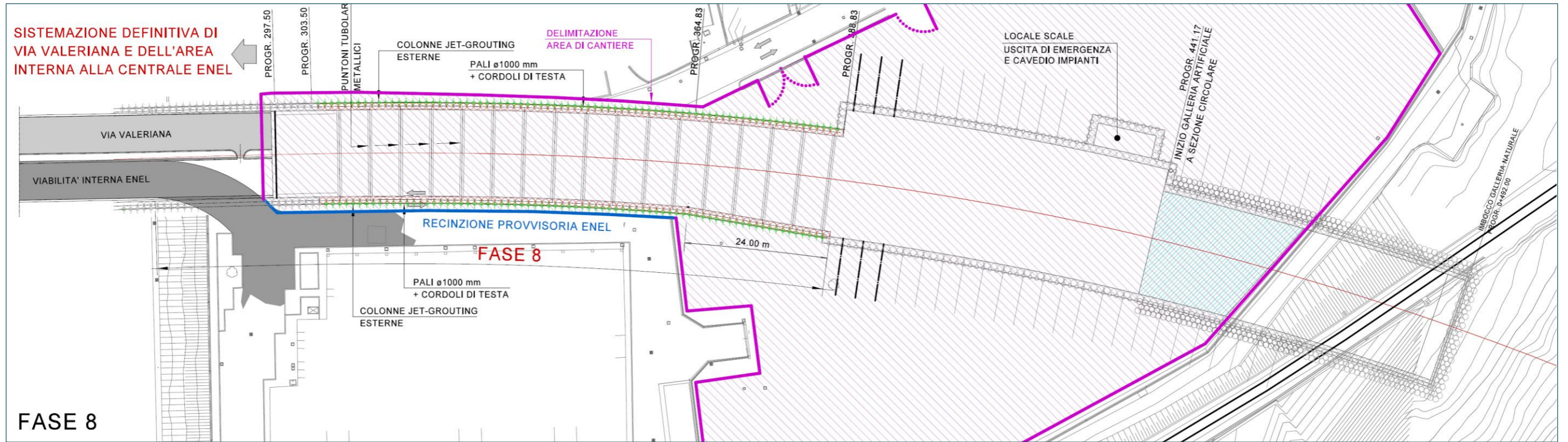


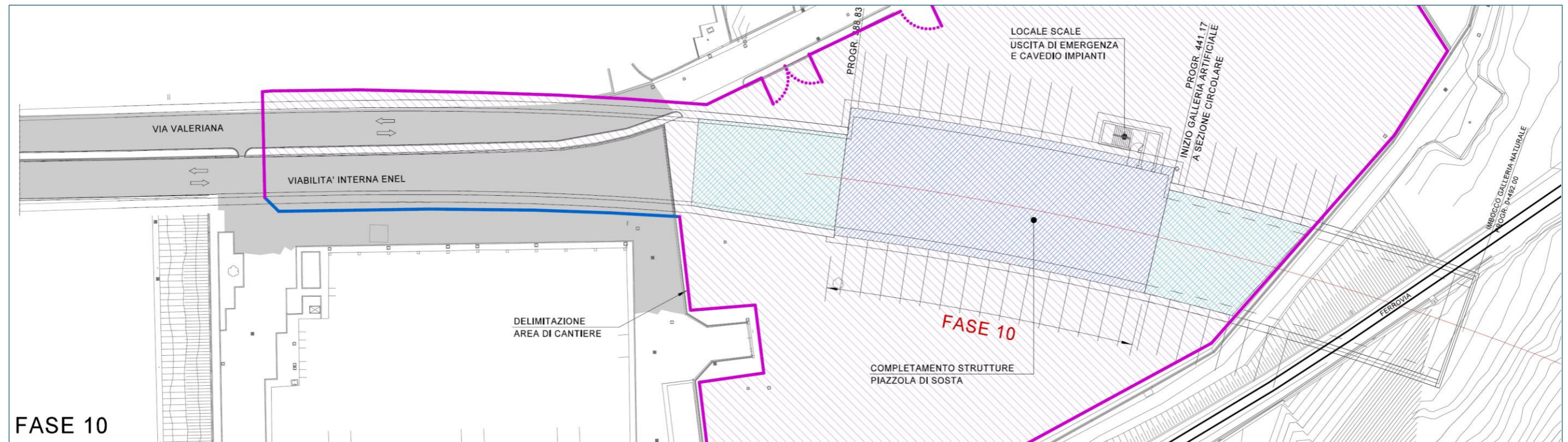












5.4 La galleria Naturale

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.

Il tratto in naturale si estende tra la progressiva km 0+492,00 (imbocco SUD) e la progressiva 1+935,79 (imbocco NORD), per una lunghezza complessiva pari a 1.443,79 m.

Come è meglio evidenziato nel paragrafo successivo relativo alla rotatoria Nord, la pendenza longitudinale massima della galleria è stata leggermente aumentata, portandola dal 5,72% al 6,05%.

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 di un cunicolo di sicurezza, collocato al di sotto della carreggiata, con le vie di fuga (di ingresso al cunicolo) ubicate ogni 300 m in corrispondenza delle piazzole di sosta.

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 (rispetto ai 12.0 m previsti per la sezione corrente).

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 è prevista leggermente allargata rispetto a quella corrente tipo, per la necessità di soddisfare le verifiche di visibilità in curva.

Il cunicolo è provvisto di due recapiti finali di uscita in prossimità sia dell'imbocco Sud (Prima Piazzola di sosta) e sia per quello Nord.

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.

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.

Dall'imbocco Sud in direzione Nord, dopo il tratto iniziale di interferenza con la Linea ferroviaria, 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. 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.

5.4.1 Galleria naturale – Sezione 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).

5.4.2 Galleria naturale – Piazzole di sosta e 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 ogni 300 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.

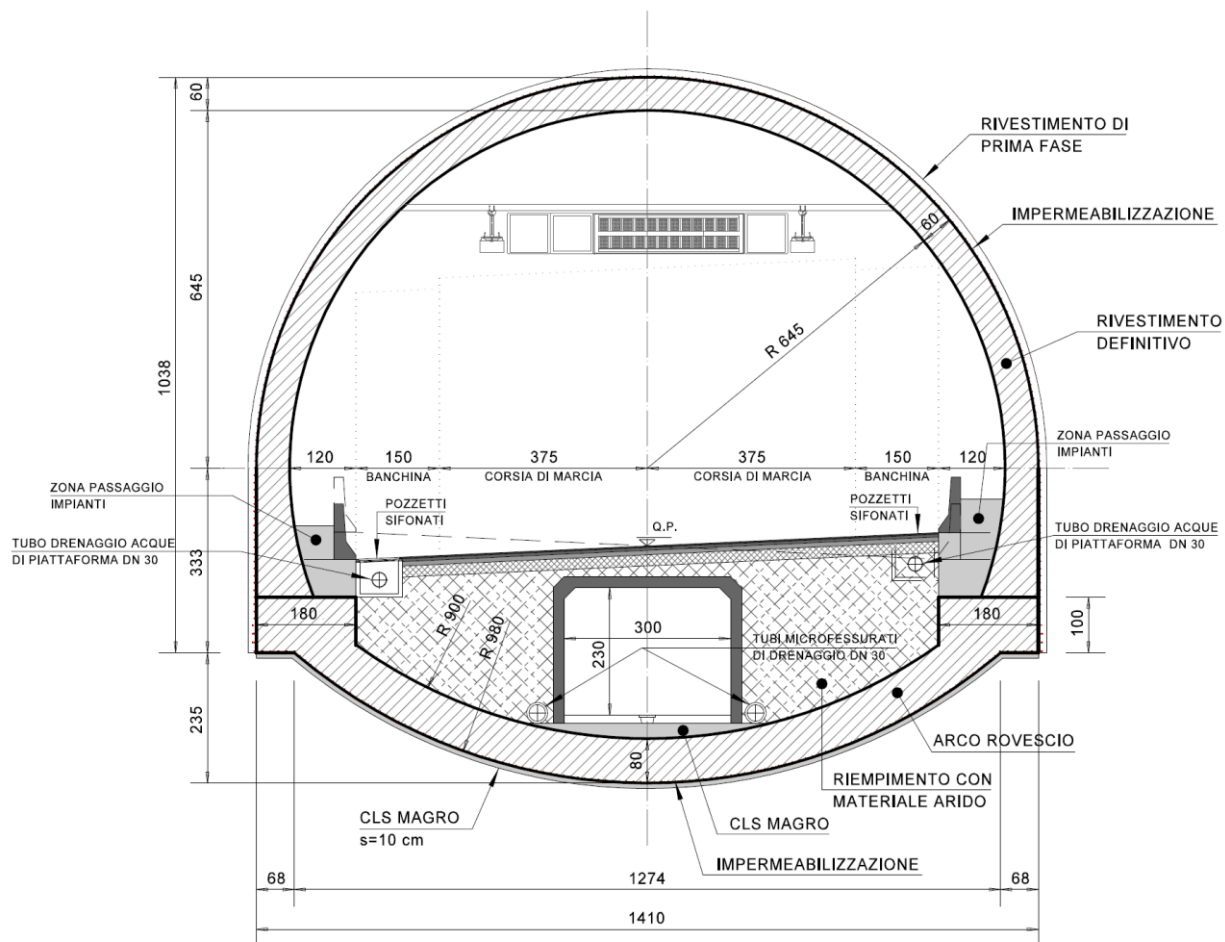


Figura 14 – Galleria naturale – Sezione corrente tipo

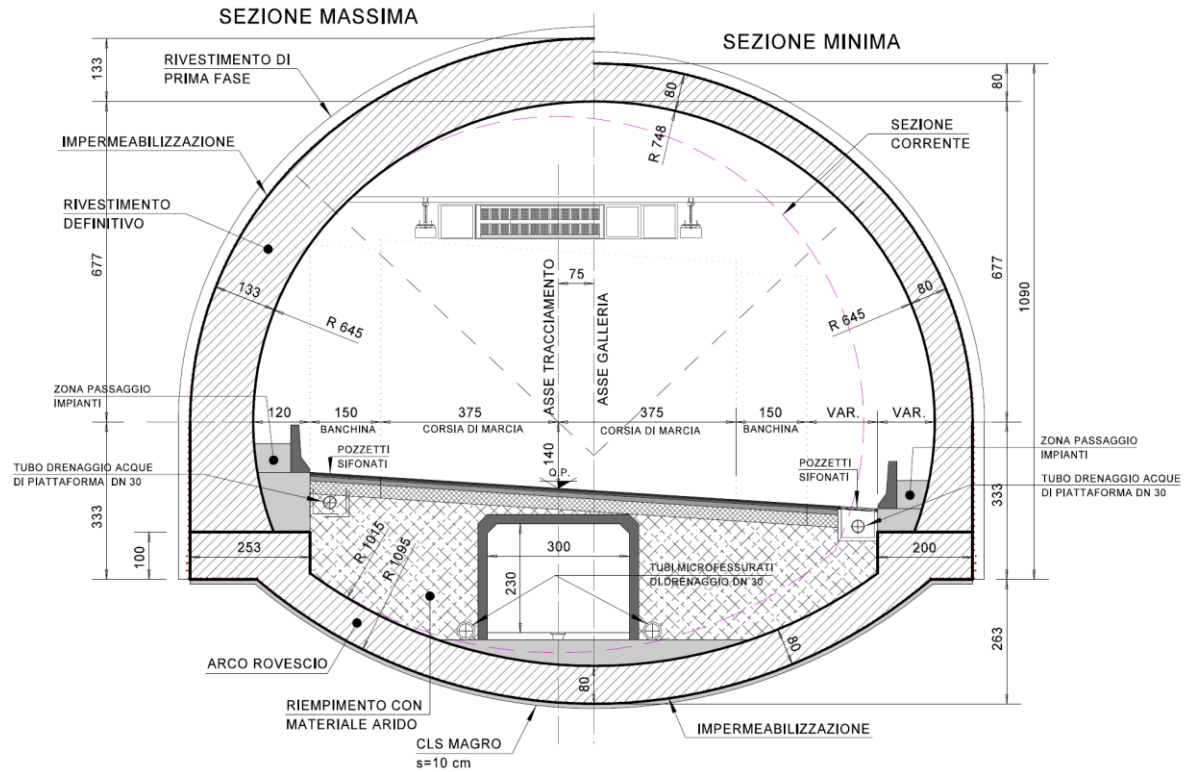


Figura 15 – Galleria naturale - Sezione tipo tratto iniziale con allargamento in curva

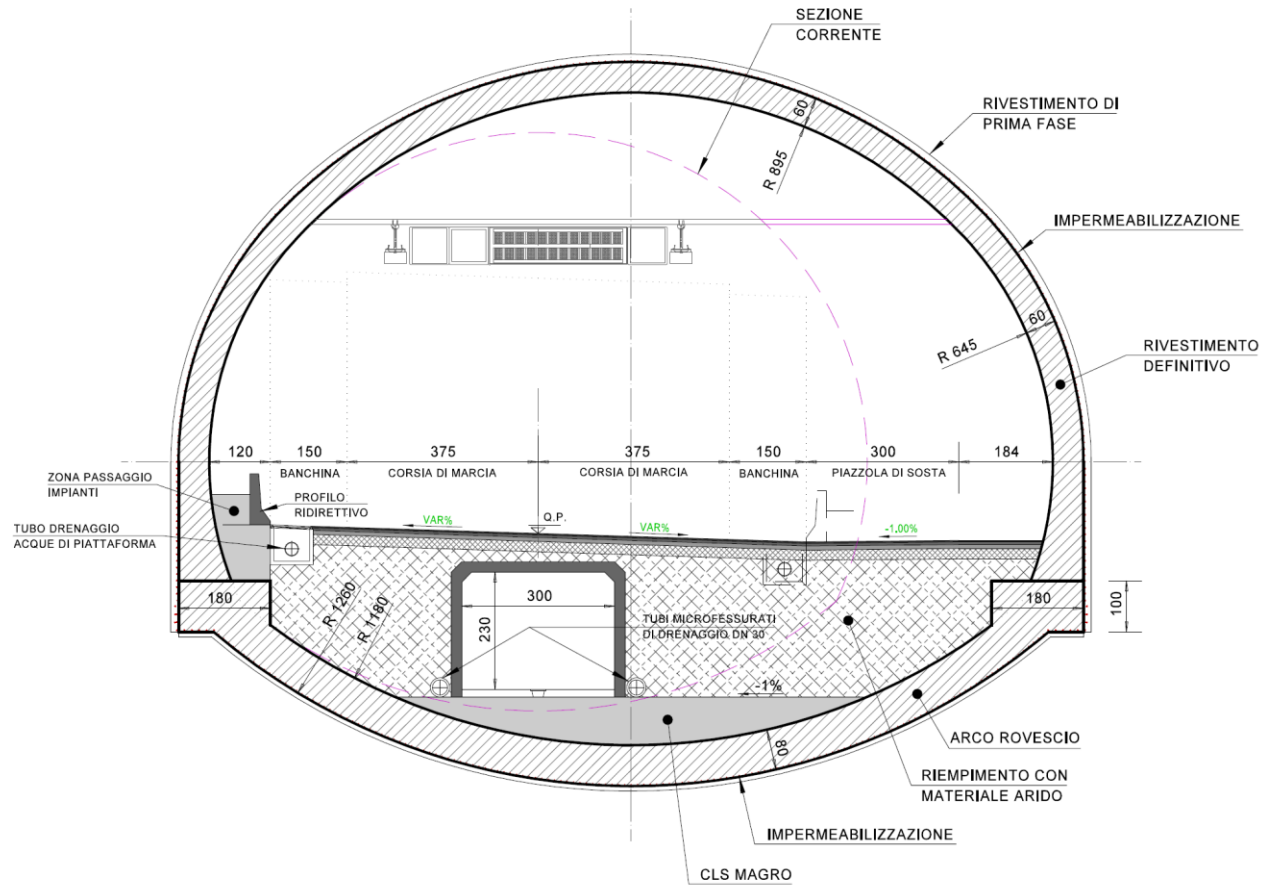


Figura 16 – Galleria naturale - Sezione tipo con piazzola di sosta

5.4.3 Imbocco Sud

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.

Come anticipato il superamento della linea ferroviaria non può più essere realizzato in soluzione di galleria naturale ma bensì artificiale, con una metodologia piuttosto complessa anche per limitare l'interruzione di traffico ad un periodo accettabile, come descritto nel seguito.

Per far questo, devono essere realizzate due paratie frontali: una prima a valle del rilevato ferroviario Progr. 0+468,43 ed un a monte come paratia di attacco della galleria naturale Progr. 0+492,00.

Le modalità realizzative, sinteticamente, possono essere così descritte:

- realizzazione delle paratie e scavo del tratto di galleria artificiale dalla Progr. 0+388,83 (inizio Piazzola di sosta) e la Progr. 0+468,43 (Paratia frontale a sostegno del rilevato ferroviario). La paratia frontale è completa di trattamenti jet-grouting per ridurre l'effetto drenante dello scavo e per limitare possibili conseguenti subsidenze del rilevato ferroviario;
- realizzazione di una rampa di accesso alla galleria dall'area di cantiere adiacente;
- terminato lo scavo potrà già essere realizzata parte della platea di fondazione sia per il tratto della piazzola che per il successivo tratto che sarà realizzato con sezione circolare, fino alla Progr. 0+468,43;
- Seguirà lo smantellamento della sede ferroviaria con l'esecuzione delle paratie laterali e della seconda paratia frontale di attacco della galleria naturale;
- Scavo con realizzazione di tiranti sulla paratia di imbocco, realizzazione della Dima e dei consolidamenti del primo campo della naturale;
- Realizzazione del tratto della galleria artificiale circolare fino a oltrepassare la ferrovia (Progr. 0+492,00) fino sotto la Dima realizzata al fronte;
- Seguirà posa impermeabilizzazione e riempimento con cls alleggerito, fino alla quota utile per la realizzazione della massicciata ferroviaria;
- Realizzazione massicciata ferroviaria, sistemazione definitiva terreni a monte e a valle, con recinzioni e ripristino muro di sostegno originario. Ripristino traffico ferroviario.
- Inizierà successivamente lo scavo della galleria. Per ridurre le tempistiche generali di realizzazione della Variante contemporaneamente alle fasi sopra sinteticamente

descritte, verrà realizzato il tratto della galleria artificiale tra la Progr. 0+150,00 e la Progr. 277.50. Questo consentirà di utilizzare l'attuale sede della Via Valeriana per lo smarino e il trasporto di materiale per la realizzazione del tratto di galleria naturale da realizzare dall'imbocco Sud e sia per il ripristino della viabilità interna della Centrale ENEL.

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 per un tratto delle paratie laterali, 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 verifichino afflussi di acqua da monte dove è stata accertata la presenza di una coltre detritica ed eluvio-colluviale di notevole potenza.

Tali interventi di impermeabilizzazione, abbinati anche a interventi di consolidamento, sono previsti anche in avanzamento al fronte della paratia berlinese.

Per la realizzazione della galleria naturale, nel tratto iniziale, e comunque fino a quando il fronte di scavo non si presenterà interamente posizionato nel basamento roccioso di buona qualità, sono stati previsti "campi di avanzamento" degli scavi con adozione di massicci interventi di consolidamento al fronte e di presostegno mediante infilaggi metallici.

Per approfondimenti tecnici si rimanda agli elaborati progettuali.



Figura 18 – Galleria naturale – Stralcio planimetrico imbocco Sud

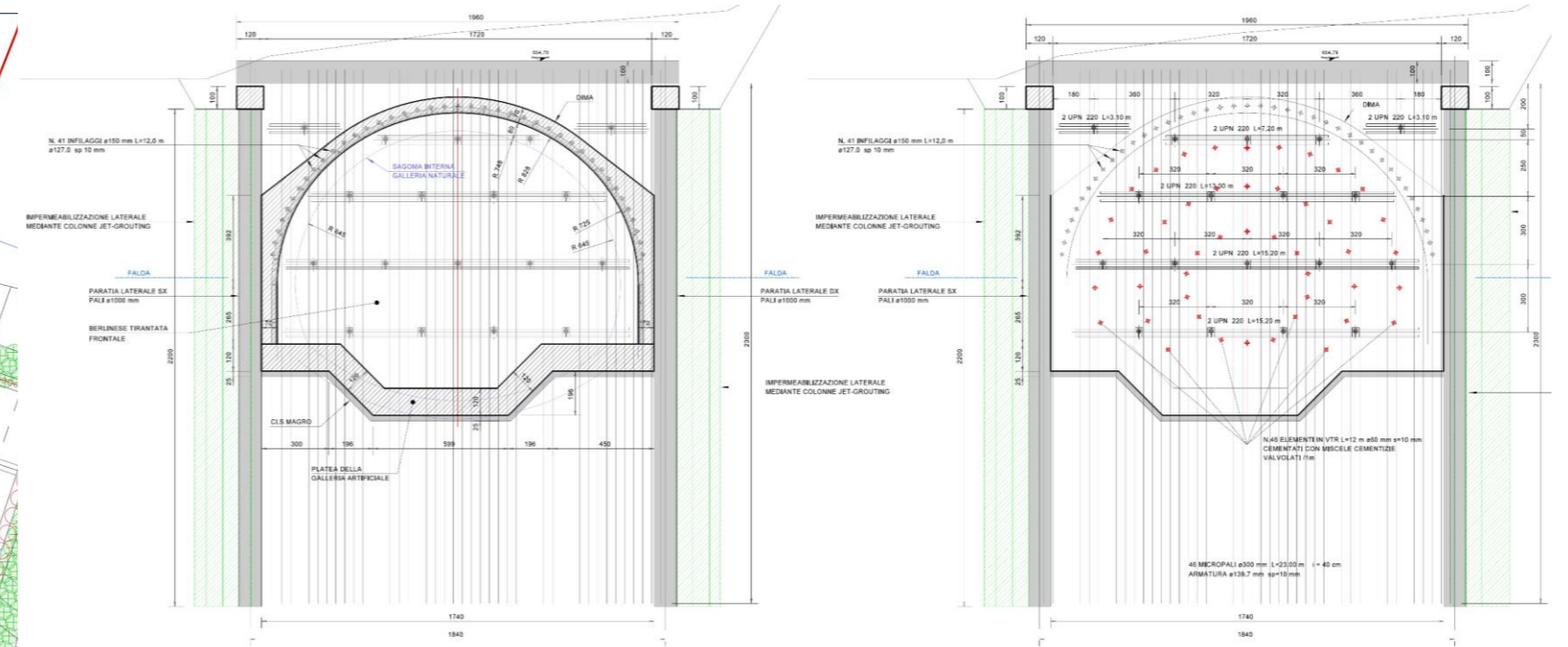
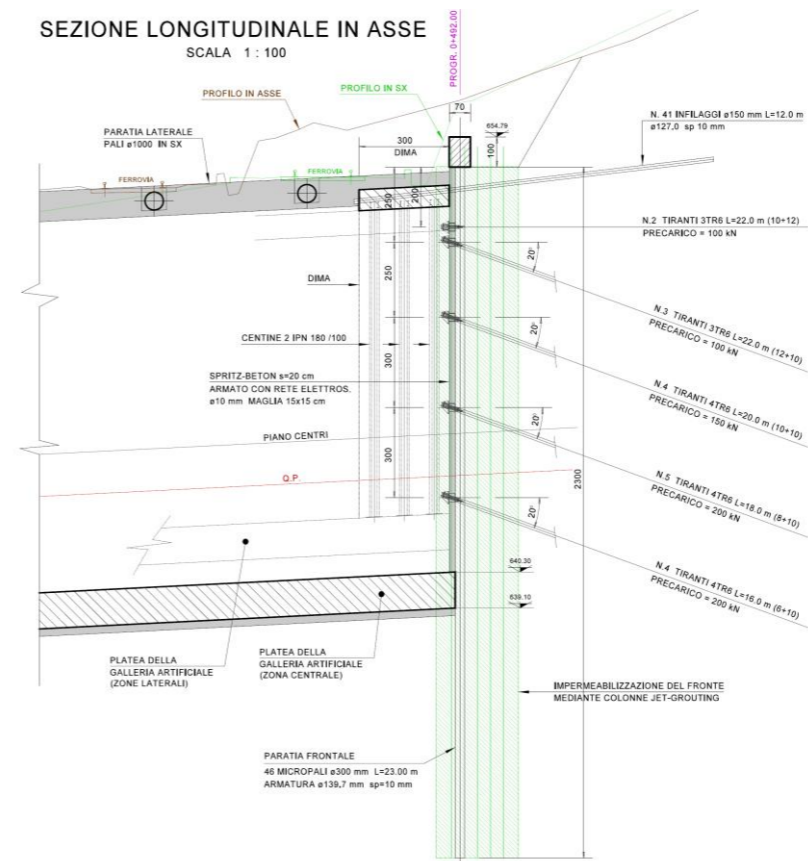


Figura 17 – Galleria naturale imbocco lato Sud paratia di imbocco



5.4.4 **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.

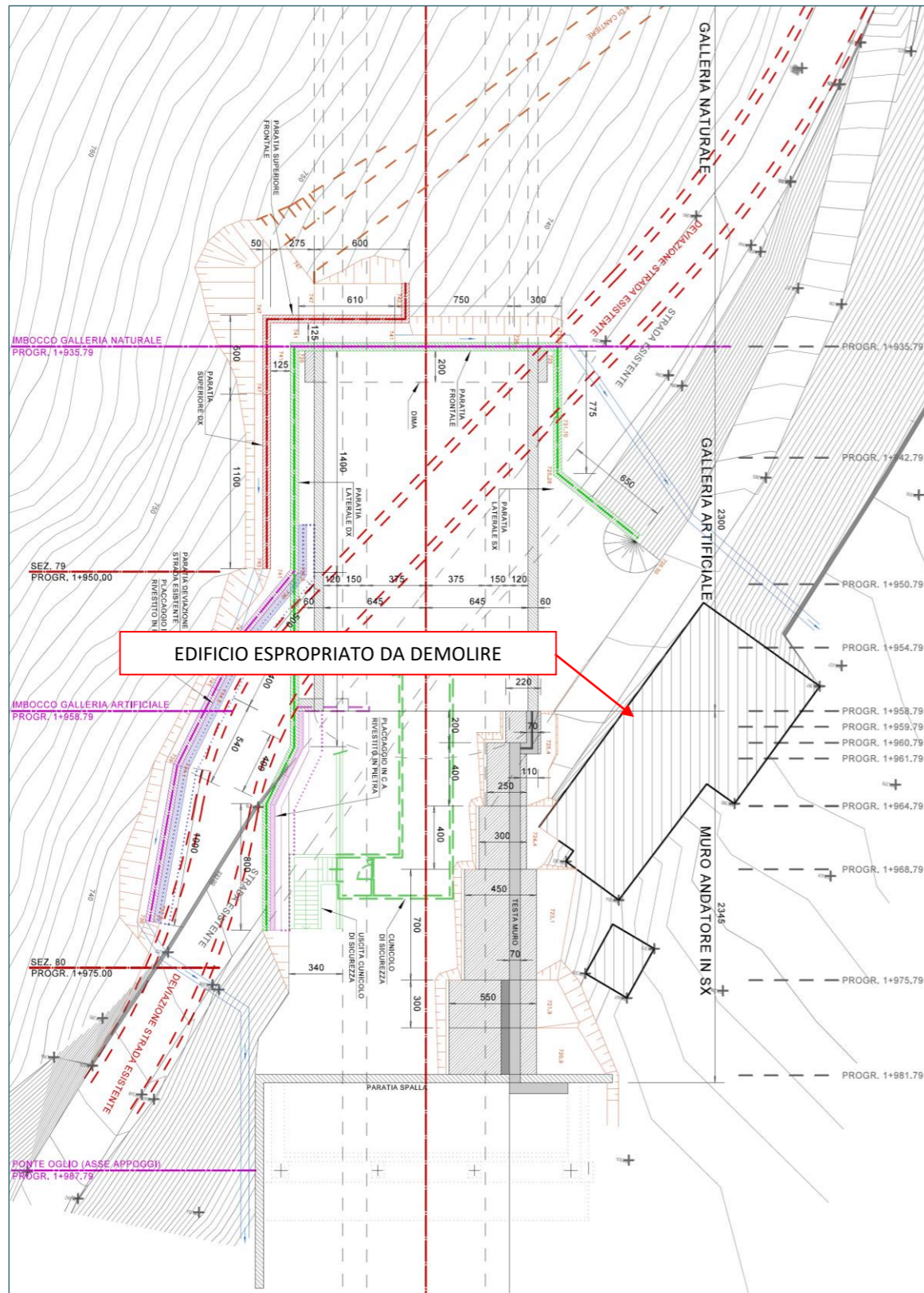


Figura 20 – Galleria naturale Imbocco – Paratie berlinesi – Pianta

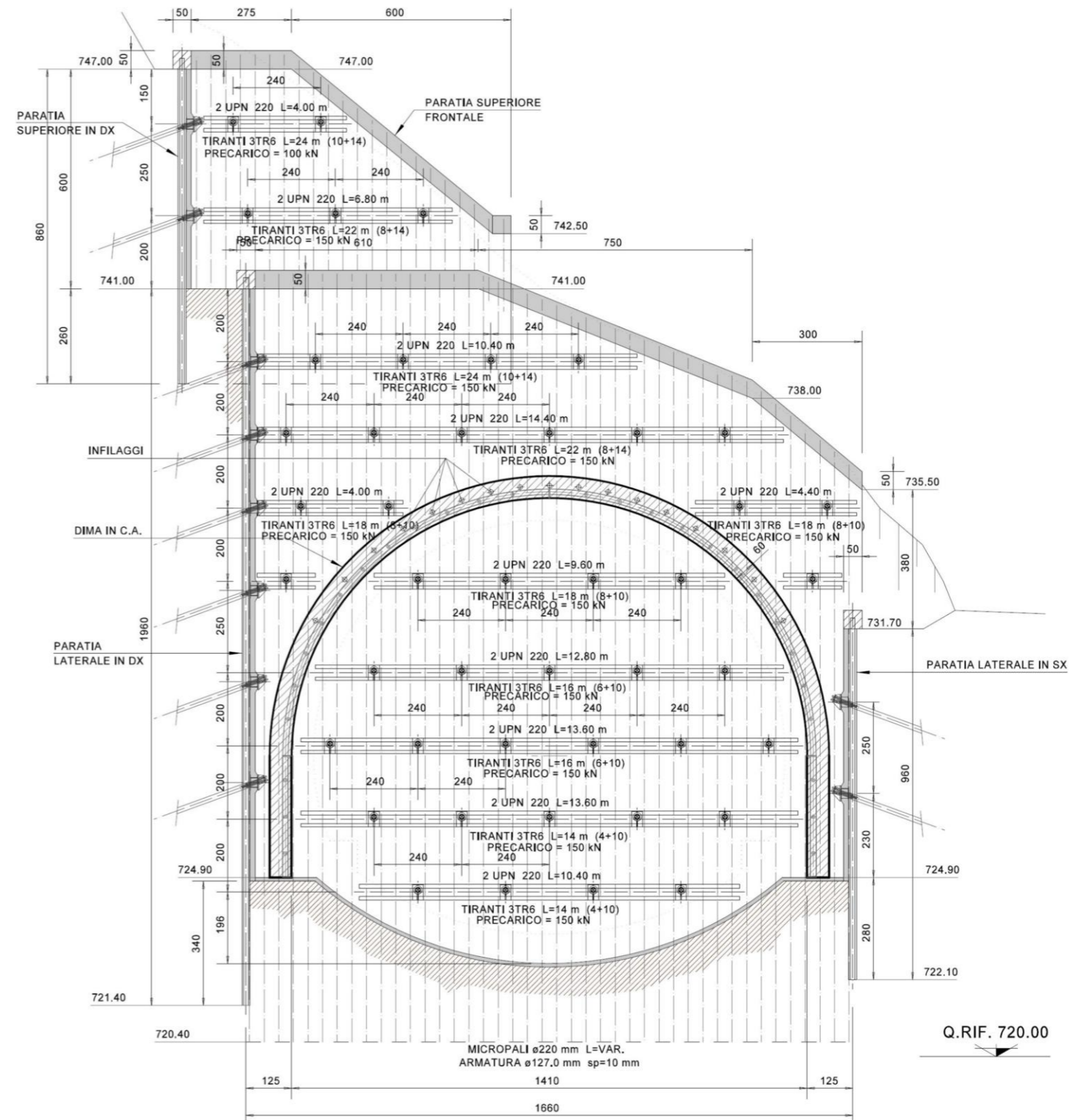


Figura 19 – Galleria naturale Imbocco – Paratie berlinesi –
 - Prospetto galleria frontale

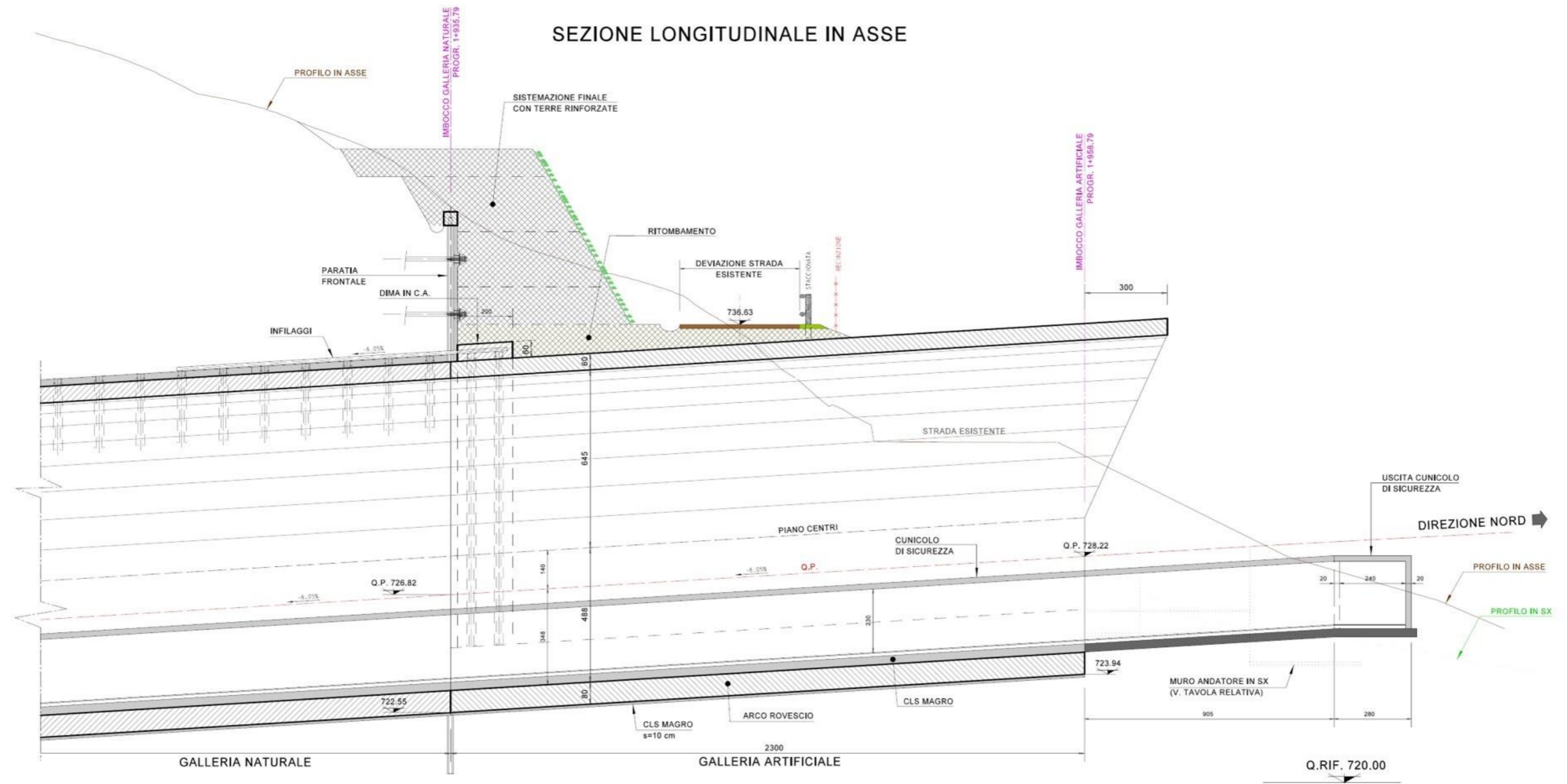


Figura 22 – Galleria naturale Imbocco – Paratie berlinesi – Sistemazione finale - Profilo in asse galleria

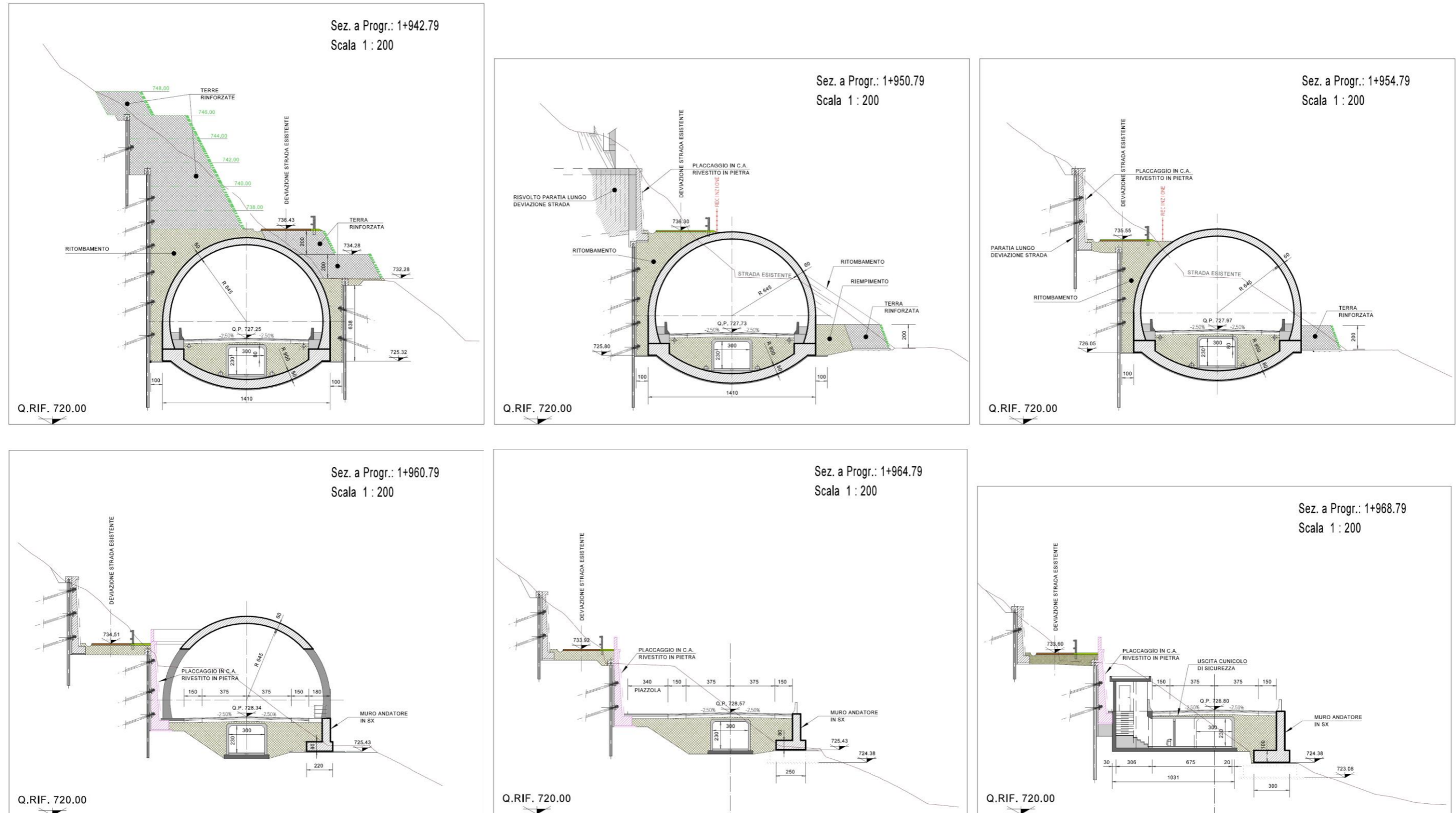


Figura 23 – Galleria naturale Imbocco – Paratie berlinesi – Sezioni trasversali

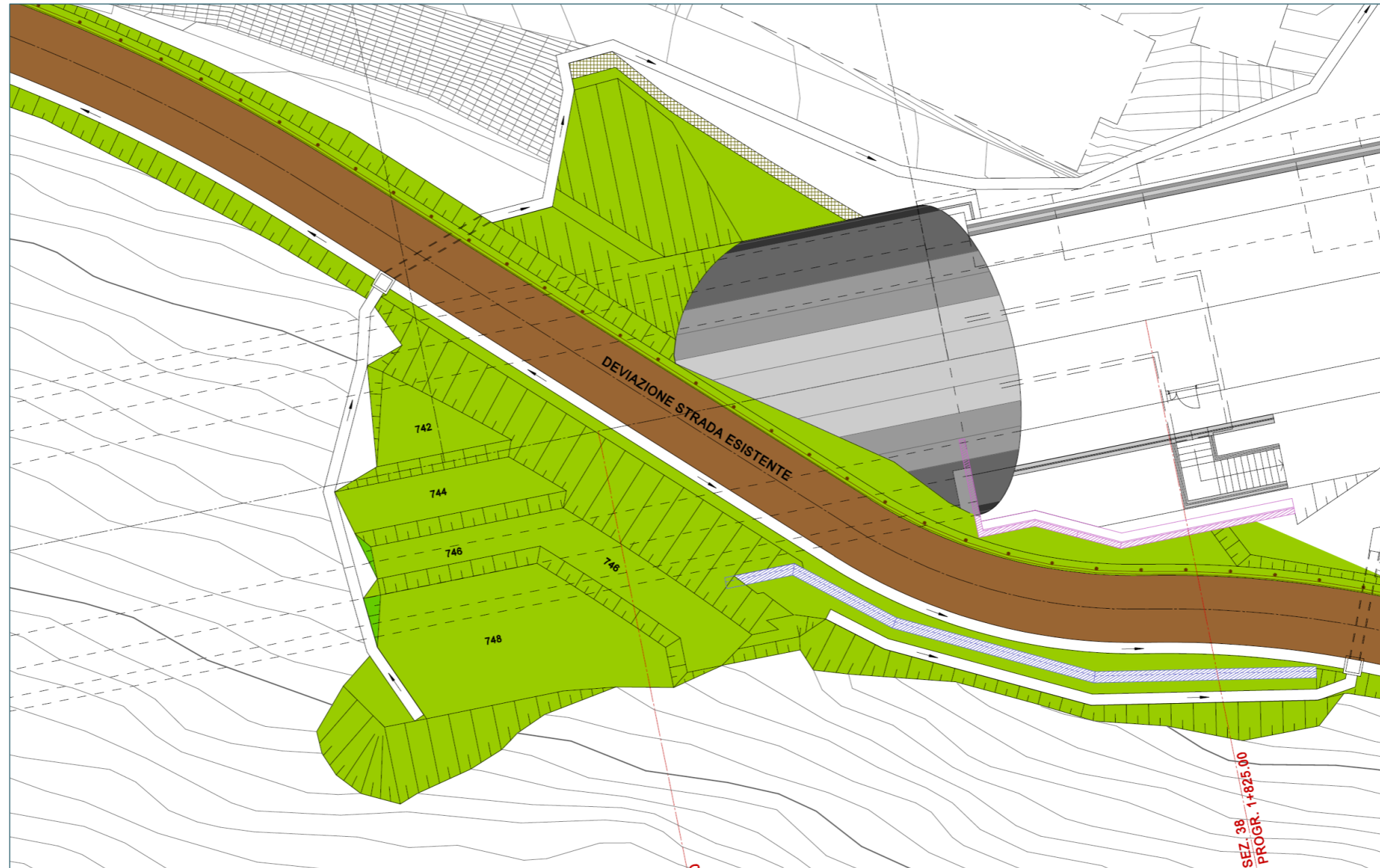


Figura 24 – Galleria naturale uscita lato Nord del Cunicolo di sicurezza

5.5 Tratto a cielo aperto Nord

Come già evidenziato per il primo tratto della variante dalla Rotatoria Sud, nella presente fase progettuale, si è posta l'attenzione sulla necessità di prevedere tra gli imbocchi della galleria e le sezioni di arresto sulle rotatorie un adeguato tratto a cielo aperto.

Nella soluzione individuata nel Progetto Preliminare, tale tratto era eccessivamente ridotto essendo pari a 68.77 m. Si è pertanto individuata una nuova collocazione della rotatoria più a Ovest e questo ha permesso di portare tale distanza a 106.7 m.

Al fine di definire la posizione ottimale della rotatoria e della conseguente posizione del ponte sul Fiume Oglio e dell'imbocco della galleria naturale, sono state studiate diverse configurazioni plano-altimetriche tenendo conto di tutti i vincoli esistenti derivanti dalla particolare morfologia dell'area.

Il tracciato è stato comunque mantenuto al di fuori dell'attigua zona Parco (Parco Adamello).

Da evidenziare che la nuova topografia ha permesso di accertare una discrepanza presente nel precedente Progetto preliminare sulle quote del terreno nella zona dello sbocco Nord della galleria e della zona della rotatoria che presentano quote significativamente maggiori rispetto a quanto originariamente ipotizzato. Tale evenienza è stata aggravata anche dalla necessità di collocazione della rotatoria posta lungo l'attuale S.S. 42 più a Nord-Ovest e pertanto a quote leggermente superiori. In conseguenza di ciò la pendenza longitudinale della galleria è stata leggermente aumentata.

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.

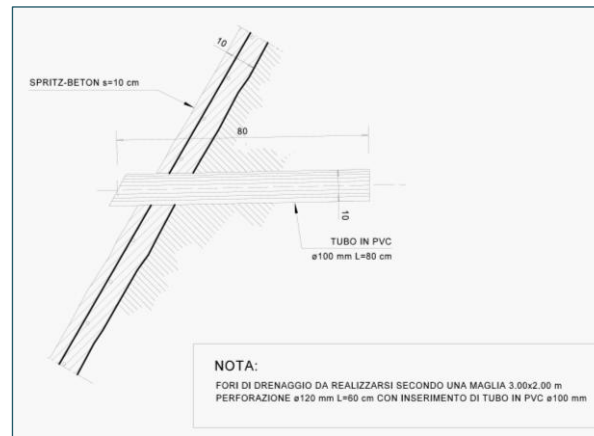
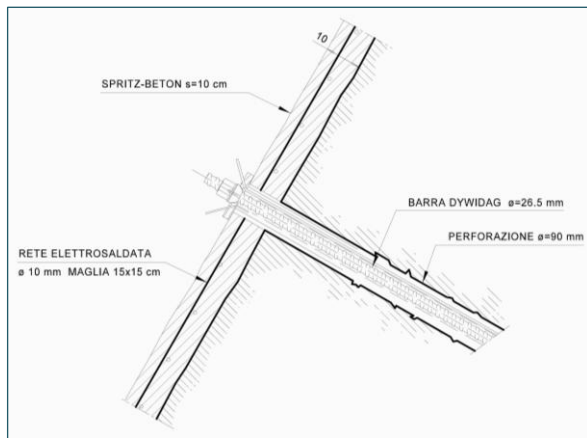
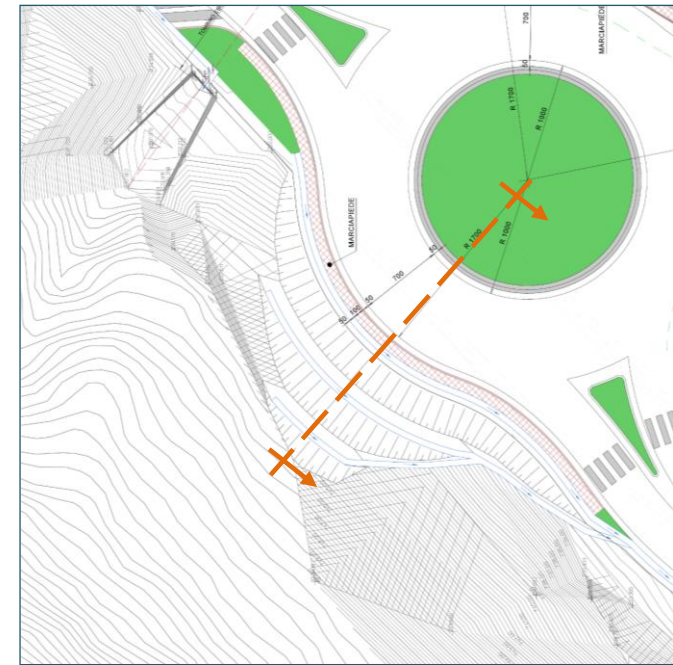
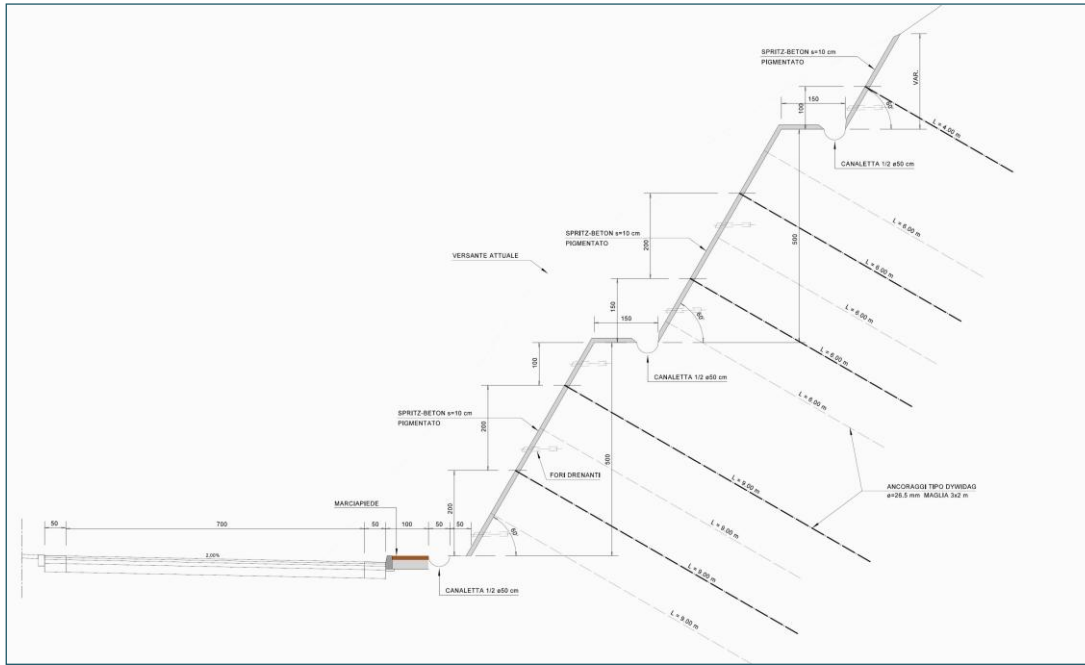


Figura 25 – Riprofilatura del versante per la realizzazione della Rotatoria Nord

5.5.1 Fasi realizzative della zona a nord

MACROFASE 1 - LAVORI IN SPONDA DX

- Realizzazione rampa provvisoria di accesso al cantiere dalla S.S. 42
- Costruzione Spalla Dx del ponte
 - scavo e realizzazione dei pali di fondazione
 - armatura e getto fondazione
 - armatura e getto elevazione
- Costruzione Muro andatore Nord 2
 - scavo e realizzazione dei pali di fondazione
 - armatura e getto fondazione
 - armatura e getto elevazione
- Costruzione Muro andatore Nord 1
 - scavo, armatura e getto fondazione
 - armatura e getto elevazione
- Riempimento a tergo dell'area compresa tra la spalla e i muri andatori fino a ridosso del muro esistente a margine della S.S. 42
- Realizzazione pavimentazione stradale per la parte di rotatoria a valle della S.S. 42 fino alla spalla del ponte

MACROFASE 2 - LAVORI IN SPONDA SX

- Realizzazione guado provvisorio
- Realizzazione paratia tipo berlinese spalla Sx del ponte
- Costruzione Spalla Sx del ponte
 - scavo e realizzazione dei pali di fondazione
 - armatura e getto fondazione
 - armatura e getto elevazione
- Costruzione Muro andatore in sx
 - scavo, armatura e getto fondazione
 - armatura e getto elevazione
- Riempimento a tergo spalla e muro andatore in sx

MACROFASE 3 – ASSEMBLAGGIO E VARO DELL'IMPALCATO

- Assemblaggio in opera della totalità degli elementi metallici costituenti l'impalcato, compresi gli archi ed i pendini
- Posa in opera degli apparecchi di appoggio sui baggioli delle spalle
- Sollevamento e varo dell'intera struttura metallica dell'impalcato precedentemente assemblata

MACROFASE 4 – COMPLETAMENTO IMPALCATO

- Posa in opera delle lastre prefabbricate tralicciate di intradosso
- Posa dell'armatura della soletta, dei giunti, delle tubazioni per servizi, delle caditoie e getto della soletta
- Posa delle barriere laterali tipo New-Jersey, dei parapetti e delle lamiere di finitura laterale
- Realizzazione della pavimentazione stradale

MACROFASE 5 – LAVORI DI SISTEMAZIONE E RIPRISTINO

- Realizzazione delle nuove arginature lungo il Fiume Oglio con rimozione del guado provvisorio
- Sistemazioni superficiali e ripristini delle aree occupate durante i lavori
- Rimozione della rampa provvisoria di accesso dalla S.S. 42
- Deviazione provvisoria del transito stradale sulla parte sud della rotatoria già realizzata
- Realizzazione degli sbancamenti e riprofilature del versante a monte della rotatoria
- Completamento della rotatoria di svincolo sulla S.S. 42.

5.6 Ponte sul Fiume Oglio

Per quanto riguarda la tipologia del ponte sul Fiume Oglio, è stata mantenuta quella prevista dal progetto preliminare ad “arco a spinta eliminata”.

Il ponte in progetto è costituito da una campata unica, ad asse rettilineo, in semplice appoggio avente luce di calcolo (distanza tra gli appoggi) pari a 60.00 m.

La sezione trasversale tipo presenta una larghezza complessiva di 19.50 m, di cui 10.50 m di carreggiata utile e due marciapiedi laterali di larghezza 4.50 m ciascuno, all'interno dei quali trovano alloggio le predisposizioni per il passaggio dei servizi a rete.

L'impalcato è formato da una struttura metallica costituita da un graticcio di travi longitudinali e trasversi in acciaio, e getto al di sopra di questi di una soletta in c.a. connessa mediante pioli tipo "Nelson" saldati alle piattabande superiori delle travi e dei trasversi.

Alle piattabande inferiori delle travi in acciaio sono collegati controventi così da costituire, insieme alle travi ed alla soletta, un "cassoncino torsiorigido".

La soletta dell'impalcato, dello spessore complessivo di 25 cm, sarà realizzata mediante la posa di predalles prefabbricate tralicciate, dello spessore di 5 cm, da utilizzare come cassero a perdere, e da un getto integrativo in opera di 20 cm.

La tipologia strutturale è quella di un ponte di tipo “arco a spinta eliminata”; l'impalcato è sorretto mediante tiranti ("pendini") di sospensione a due archi superiori in acciaio ad andamento circolare.

Tali archi saranno connessi alla base alle travi longitudinali laterali che consentiranno, fungendo da tiranti, di assorbire le spinte degli archi con conseguente annullamento delle spinte sulle spalle.

Gli appoggi dell'impalcato saranno realizzati mediante adeguati apparecchi di appoggio, disposti su "baggioli" ricavati sull'elevazione delle spalle.

Per maggiori dettagli in merito si rimanda alla visione degli elaborati grafici di progetto.

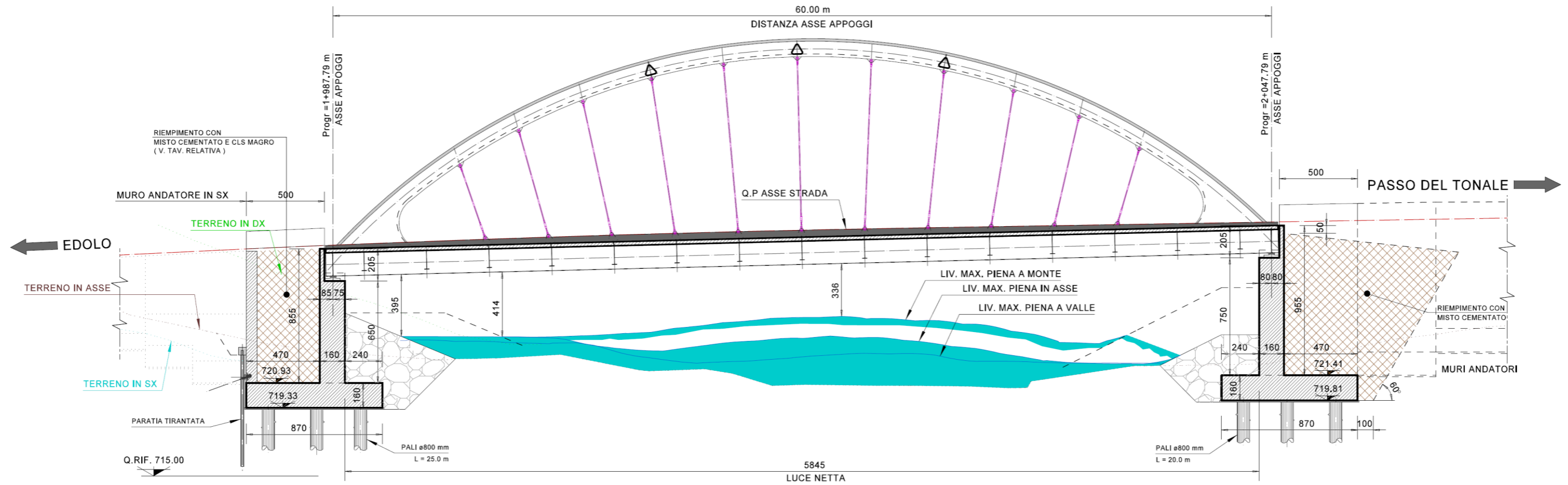


Figura 26 – Ponte sul Fiume Oglio – Sezione longitudinale

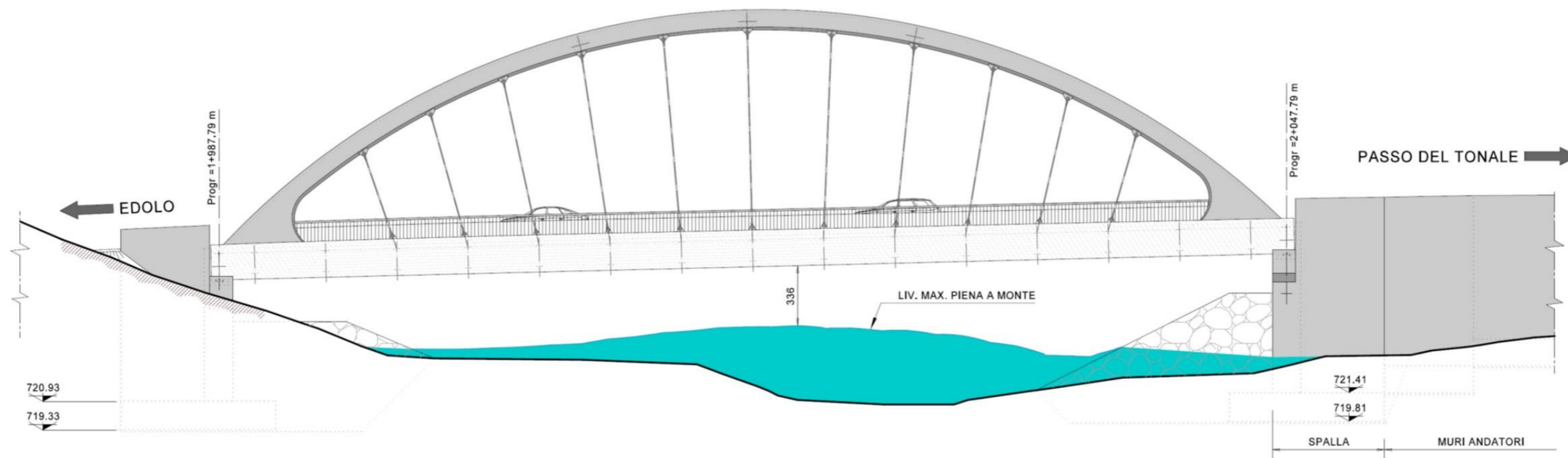


Figura 27 – Ponte sul Fiume Oglio – Prospetto Ovest

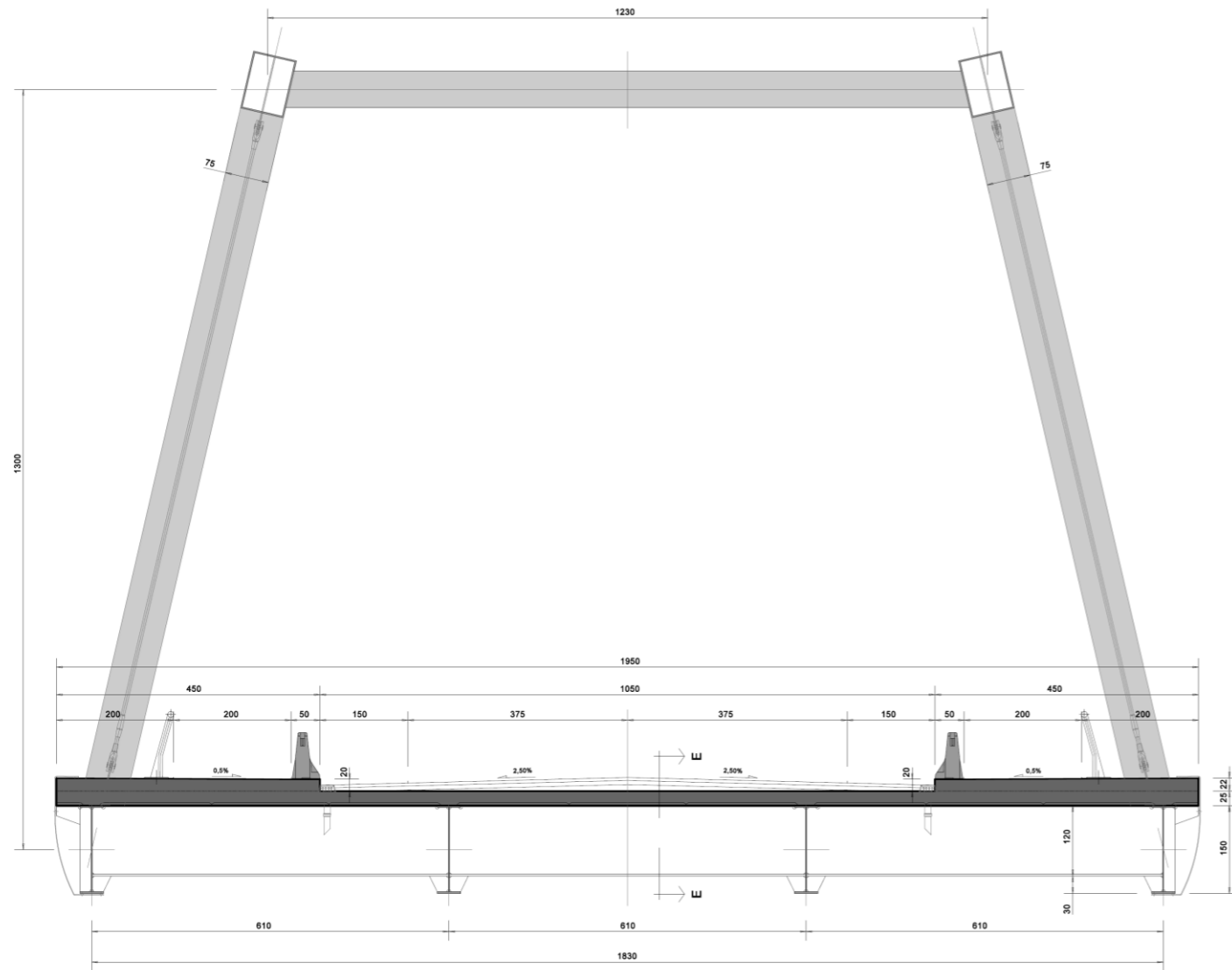


Figura 28 – Ponte sul Fiume Oglio – Sezione trasversale in asse

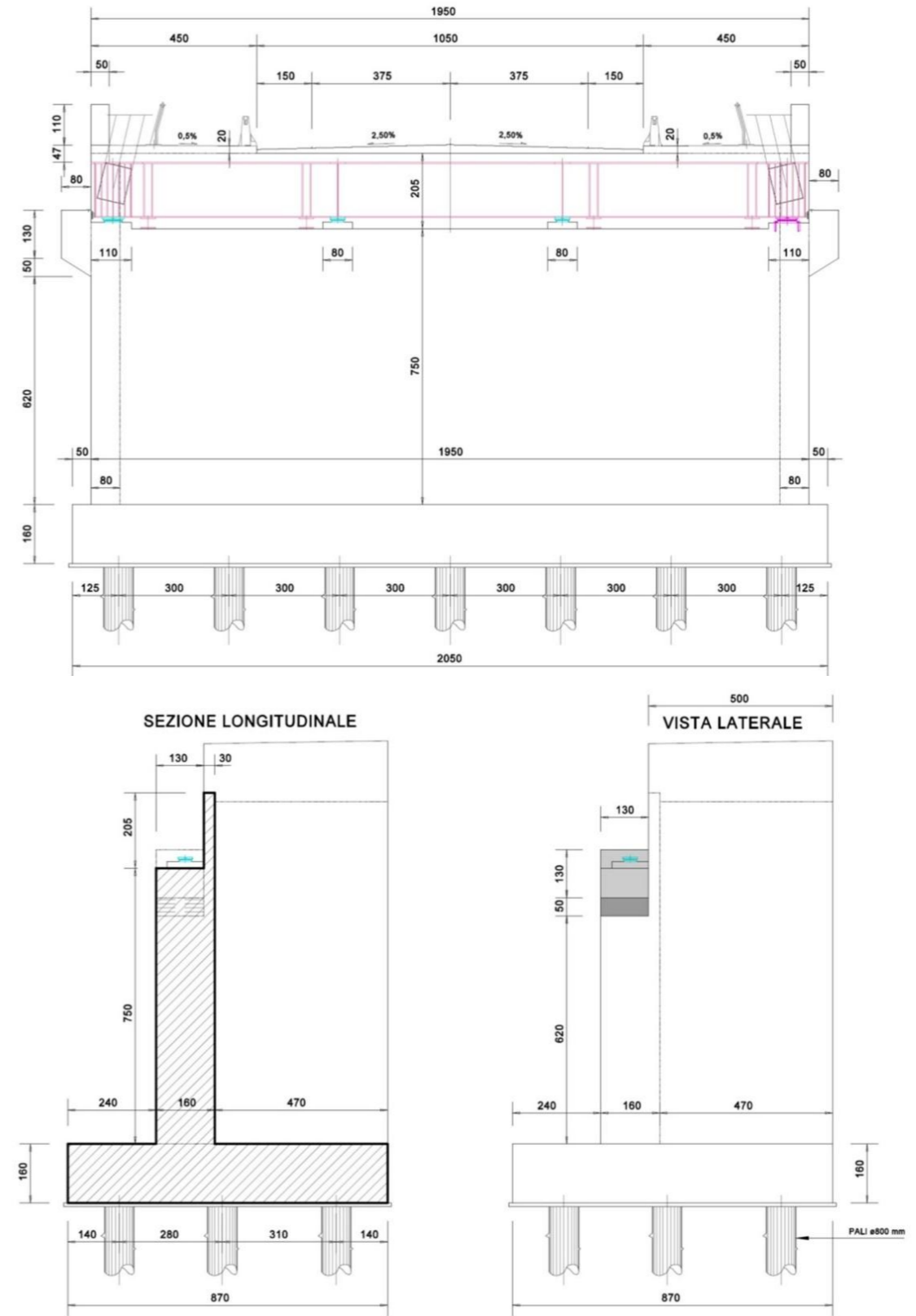


Figura 29 – Ponte sul Fiume Oglio – Carpenteria spalla tipo

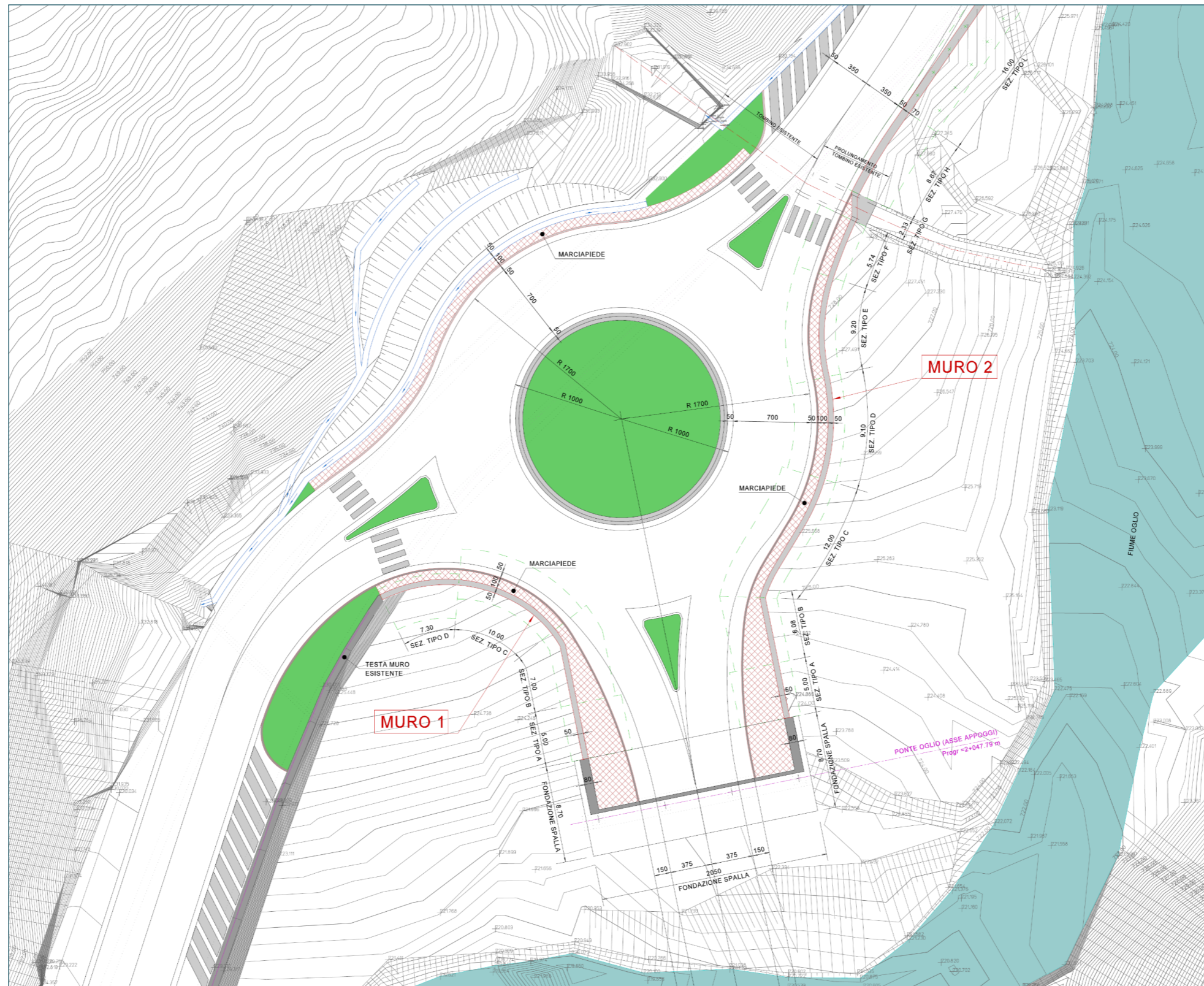


Figura 30 – Ponte sul Fiume Oglio – Muri andatori – Pianta

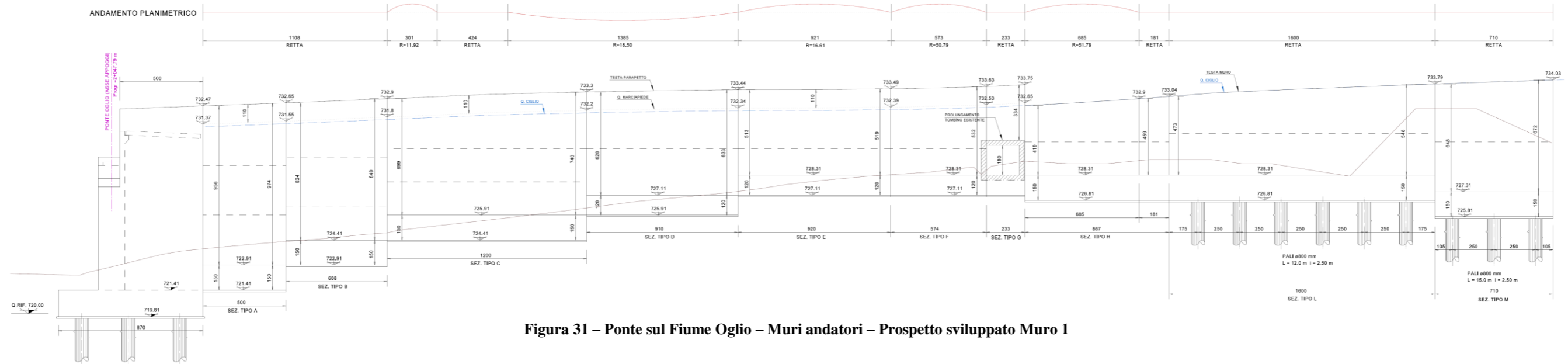


Figura 31 – Ponte sul Fiume Oglio – Muri andatori – Prospetto sviluppato Muro 1

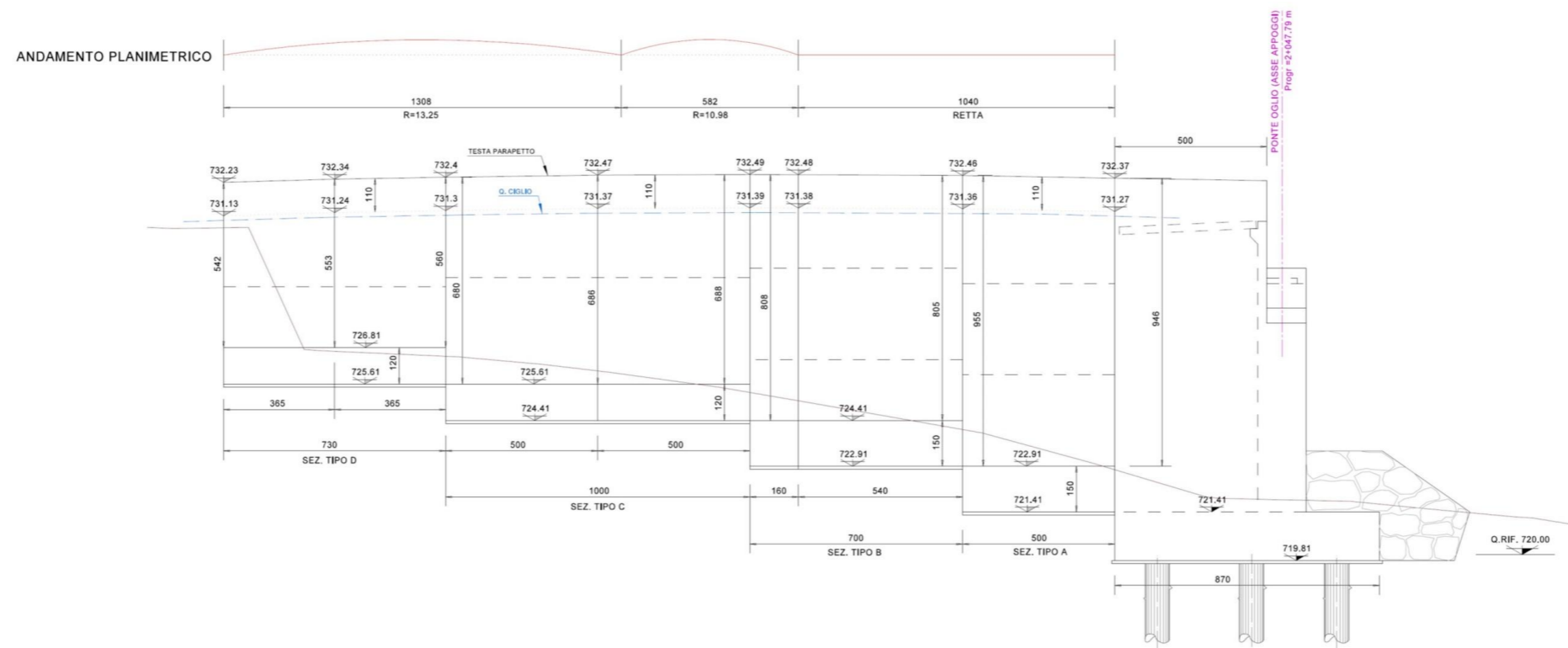


Figura 32 – Ponte sul Fiume Oglio – Muri andatori – Prospetto sviluppato Muro 2