



Autorità di Sistema Portuale  
del Mare Adriatico Orientale  
Porti di Trieste e Monfalcone

## PROGETTO AdSP n. 1951

*Estensione delle infrastrutture comuni per lo sviluppo del Punto Franco Nuovo nel porto di Trieste*


CUP: C94E21000460001

### Progetto di Fattibilità Tecnico Economica Fascicolo A – intervento PNC da autorizzare

GRUPPO DI PROGETTAZIONE:		
arch. Gerardo Nappa	AdSP MAO	Responsabile dell'integrazione e Coordinatore per la Sicurezza in fase di Progettazione
arch. Sofia Dal Piva	AdSP MAO	Progettazione generale
arch. Stefano Semenic	AdSP MAO	Progettazione generale
ing. Roberto Leoni	BITECNO S.r.l.	Sistema di trazione elettrica ferroviaria
ing. Saturno Minnucci	MINNUCCI ASSOCIATI S.r.l.	Impianti speciali e segnalamenti ferroviari
ing. Dario Fedrigo	ALPE ENGINEERING S.r.l.	Progettazione strutturale oo.cc. ferrovia e strade
ing. Andrea Guidolin p.i. Furio Benci	SQS S.r.l.	Progettazione della sicurezza
ing. Sara Agnoletto	HMR Ambiente S.r.l.	Progettazione MISP e cassa di colmata
p.i. Trivellato, dott. G. Malvasi, dott. S. Bartolomei	p.i. Antonio Trivellato d.i.	Modellazione rumore, atmosfera, vibrazioni
dott. Gabriele Cailotto ing. Anca Tamasan	NEXTECO S.r.l.	Studio di impatto ambientale e piano di monitoraggio ambientale
ing. Sebastiano Cristoforetti	CRISCON S.r.l.s.	Relazione di sostenibilità
ing. Tommaso Tassi	F&M Ingegneria S.p.A.	Progettazione degli edifici pubblici nel contesto dell'ex area "a caldo"
ing. Michele Titton	ITS s.r.l.	Connessione stradale alla GVT
RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO: ing. Paolo Crescenzi		


NOME FILE: 3STR_P_R_N-STR_2AT_001_02_01.docx	SCALA: ---
TITOLO ELABORATO: <b>REL. TECNICA OPERE CIVILI STRADALI</b>	ELABORATO: <b>3STR_P-R_N-STR_2AT_001_02_01</b>

Rev.	Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato
00	01/02/2023	Definitivo	D. Fedrigo	S.Dal Piva	G.Nappa
01	30/06/2023	Recepimento osservazioni CSLPPP	D. Fedrigo	S.Dal Piva	G.Nappa

	Estensione delle infrastrutture comuni per lo sviluppo del Punto Franco Nuovo nel porto di Trieste - CUP: C94E21000460001  Relazione tecnica opere civili stradali	Pag. 1 di 27
---	--	--------------


## Sommario

<b>1</b>	<b>GENERALITÀ</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>ASPETTI NORMATIVI</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>I MATERIALI</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>LE IPOTESI DI PROGETTO</b>	<b>9</b>
4.1	VITA NOMINALE E CLASSE D'USO	9
4.2	CARICHI APPLICATI	9
4.2.1	<i>Carichi permanenti verticali</i>	9
4.2.2	<i>Carichi variabili verticali</i>	9
4.2.3	<i>Carichi variabili orizzontali</i>	10
4.2.4	<i>Azione sismica</i>	10
<b>5</b>	<b>ASPETTI GEOLOGICI E GEOTECNICI</b>	<b>11</b>
<b>6</b>	<b>CRITERI PROGETTUALI</b>	<b>17</b>
6.1	CAVALCAFERROVIA	17
6.2	OPERE DI SOSTEGNO PER RAMPE	18
6.3	SOTTOPASSI ALLA GRANDE VIABILITÀ TRIESTINA	18
<b>7</b>	<b>LE OPERE D'ARTE</b>	<b>20</b>
7.1	SOVRAPPASSO LINEA FERROVIARIA IN INGRESSO AL TERMINAL	20
7.2	RAMPA SEMIDIRETTA IN USCITA SUD	21
7.3	RAMPA DIRETTA IN USCITA NORD	23
7.4	RAMPA INDIRETTA IN ENTRATA NORD	24
7.5	RAMPA DIRETTA IN USCITA SUD	26

	<p>Estensione delle infrastrutture comuni per lo sviluppo del Punto Franco Nuovo nel porto di Trieste - CUP: C94E21000460001</p> <p>Relazione tecnica opere civili stradali</p>	<p>Pag. 2 di 27</p>
---	---	---------------------

## Sommario figure

Figura 1-1: Planimetria dell'intervento.....	4
Figura 1-2: particolare sistema viario di progetto.....	4
Figura 5-1: planimetria delle indagini geognostiche.....	14
Figura 5-2: indagini geognostiche: planimetria di dettaglio nella zona di interesse .....	15
Figura 5-3: sezione stratigrafica tra SG014 e SG015.....	16
Figura 5-4: litologie lungo le verticali di indagine .....	16
Figura 6-1: vista della zona in esame.....	20
Figura 6-2: sezione longitudinale impalcato .....	21
Figura 6-3: planimetria con evidenziata la rampa semidiretta uscita Sud .....	21
Figura 6-4: particolare appoggio impalcato su spalla a terra.....	22
Figura 6-5: planimetria con evidenziata la rampa diretta uscita Nord .....	23
Figura 6-6: sezione tipo su scavalco rampa in uscita Sud.....	24
Figura 6-7: planimetria con evidenziata la rampa indiretta in entrata Nord .....	25
Figura 6-8: planimetria con evidenziata la rampa diretta uscita Sud.....	26

	Estensione delle infrastrutture comuni per lo sviluppo del Punto Franco Nuovo nel porto di Trieste - CUP: C94E21000460001  Relazione tecnica opere civili stradali	Pag. 3 di 27
---	--	--------------

## **1 GENERALITÀ**

La presente relazione riguarda i lavori per la realizzazione della nuova stazione ferroviaria di Servola, inquadrati all'interno del progetto di fattibilità tecnico economica per i "Lavori per l'estensione delle infrastrutture comuni per lo Sviluppo del Punto Franco Nuovo", da realizzarsi in comune di Trieste.

Il presente PFTE oggetto di autorizzazione, secondo procedura speciale ex art. 44 D.Lgs. 77.2021, relativo ai seguenti ambiti inseriti nel fascicolo A:

1. MISP,
2. Stazione ferroviaria commerciale Nuova Servola, Connessione alla GVT e altre opere viarie,
3. Edifici pubblici funzionali al Porto di Trieste,

è parte di un più ampio contesto che prevede opere progettuali anche per i seguenti ulteriori ambiti non oggetto di autorizzazione inseriti nel fascicolo B:

1. Cassa di Colmata,
2. Molo VIII,
3. Rampa Arvedi,
4. Opere ferroviarie su asset RFI.

Nel presente elaborato sono trattate anche queste ultime per contestualizzare le opere PNC nello sviluppo complessivo ed unitario del Punto Franco Nuovo all'interno del Sistema Portuale.

Oggetto del presente elaborato sono le sole opere civili necessarie alla realizzazione dell'infrastruttura stradale per la connessione con la Grande Viabilità Triestina (di seguito, per semplicità, indicata con l'acronimo GVT).

Il sistema viabile necessario per collegare le aree portuali con l'importante asse viario locale si sviluppa nella zona centrale rispetto l'intera area di intervento, andando ad interessare sia la zona subito a Nord della nuova stazione di Servola, che quella a Sud.

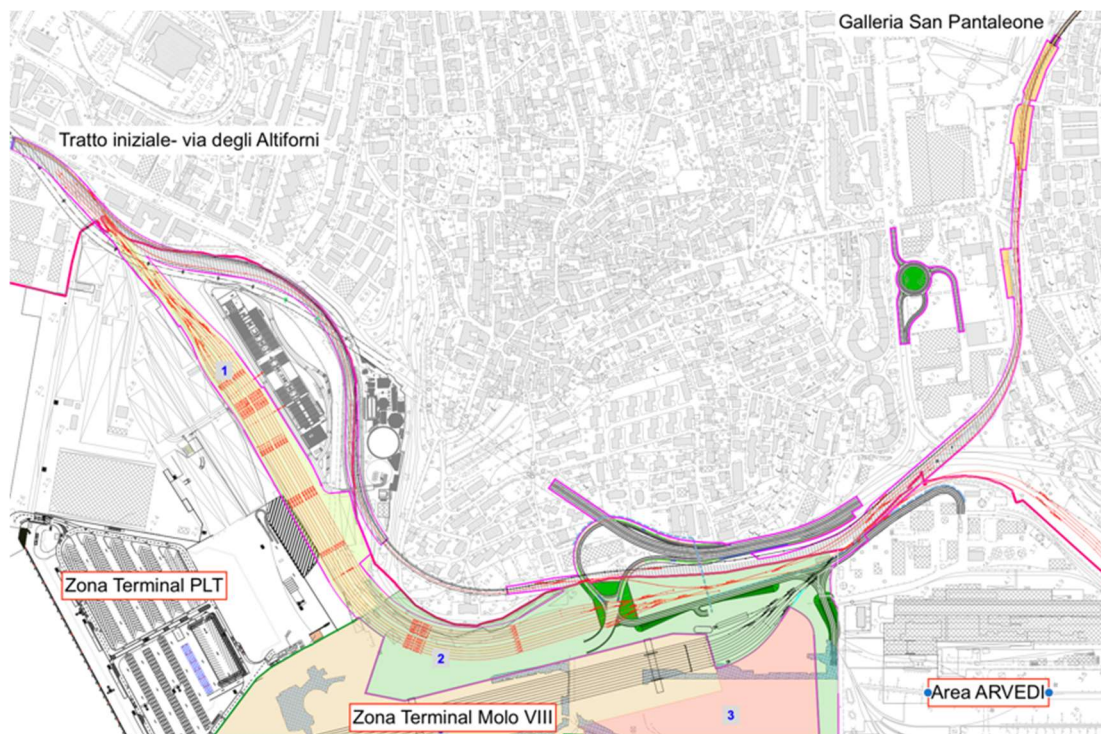


Figura 1-1: Planimetria dell'intervento

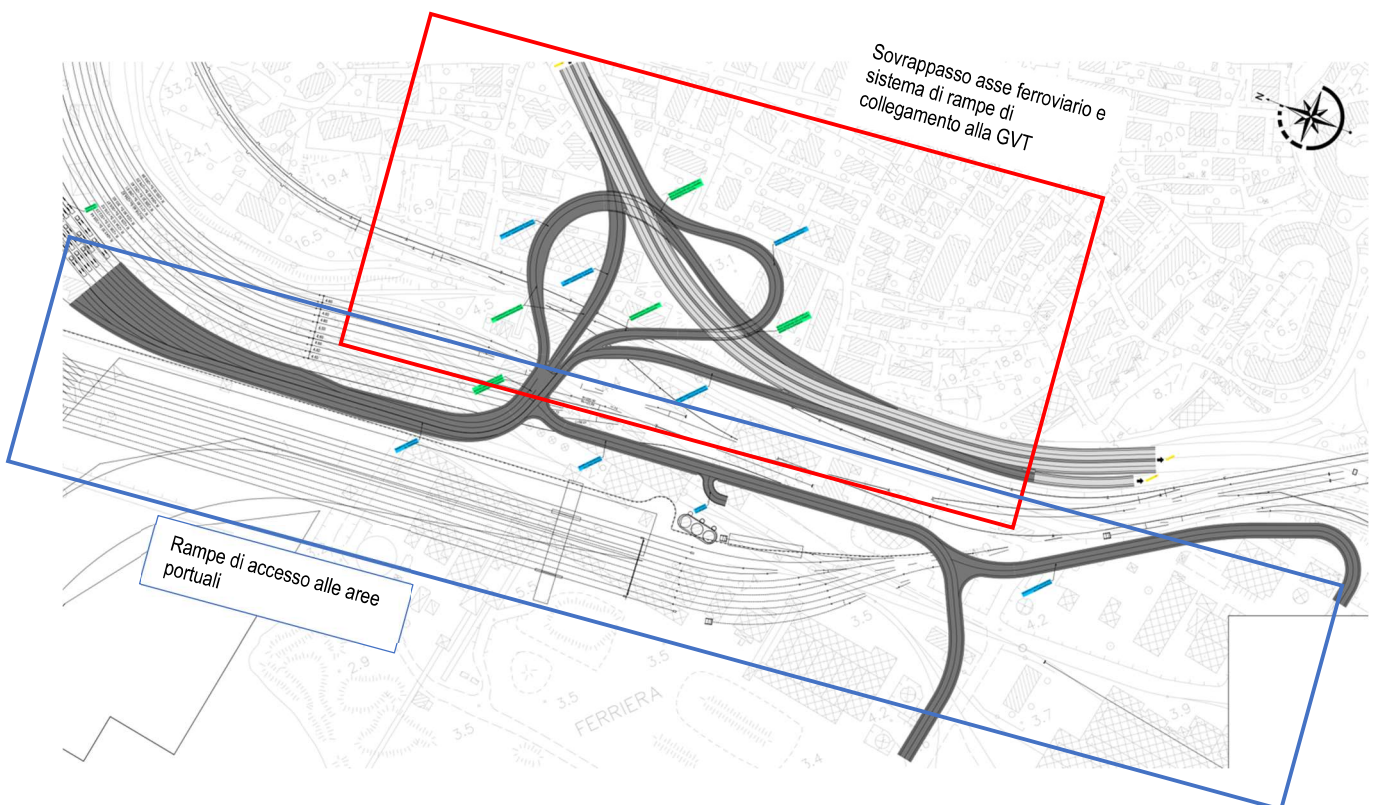




Figura 1-2: particolare sistema viario di progetto

	<p>Estensione delle infrastrutture comuni per lo sviluppo del Punto Franco Nuovo nel porto di Trieste - CUP: C94E21000460001</p> <p>Relazione tecnica opere civili stradali</p>	<p>Pag. 5 di 27</p>
---	---	---------------------

Il collegamento alla GVT (riquadro rosso nella figura precedente) avviene per tramite di 4 rampe indipendenti che si staccano dall'asse viario principale e convergono poi su un impalcato posto a cavallo del fascio di binari. Complessivamente si tratta di un insieme di cavalcavia, di varia dimensione ed orientamento, realizzati con impalcati ottenuti affiancando travi prefabbricate precomprese con soletta collaborante in c.a.; questi vanno in appoggio su muri continui fondati su pali, al fin di poter limitare gli interventi di scavo e gli ingombri delle opere strutturali nella zona interessata dal fascio ferroviario. Le porzioni di svincolo poste a Nord sono impostate anche su rilevati o trincee, delimitate da muri di sostegno in c.a. che seguono l'andamento planimetrico di ogni singola rampa.

Le rampe poste nella zona Sud (interna all'area portuale, riquadro blu nella figura precedente) sono in generale ottenute mediante rilevati contenuti tra muri di sostegno, la cui sommità sarà variabile in funzione del profilo stradale della rampa stessa. In corrispondenza dello svincolo per l'accesso all'area Arvedi l'asse stradale interseca l'asse dei binari diretti verso il Terminal del Molo VIII: per risolvere l'interferenza la strada si rialza e scavalca il corpo ferroviario con un cavalcavia costituito da muri (ortogonali in genere all'asse stradale) su pali e una serie di impalcati ricavati affiancando travi prefabbricate in c.a.p. con soletta collaborante in c.a..

Si riporta nei capitoli successivi una breve descrizione delle diverse sezioni strutturali considerate in progetto, nonché delle ipotesi alla base della progettazione strutturale.

	<p>Estensione delle infrastrutture comuni per lo sviluppo del Punto Franco Nuovo nel porto di Trieste - CUP: C94E21000460001</p> <p>Relazione tecnica opere civili stradali</p>	<p>Pag. 6 di 27</p>
---	---	---------------------

## **2 ASPETTI NORMATIVI**

Il progetto delle opere strutturali è redatto in conformità alle seguenti Leggi e Normative:


Legge 5 novembre 1971 n. 1086 – “Norme per la disciplina delle opere di 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. 17 gennaio 2018 - “Nuove norme tecniche per le costruzioni”.

Circolare n. 7 del 21.01.2019 - “Istruzioni per l’applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 17 gennaio 2018”.



	<p>Estensione delle infrastrutture comuni per lo sviluppo del Punto Franco Nuovo nel porto di Trieste - CUP: C94E21000460001</p> <p>Relazione tecnica opere civili stradali</p>	<p>Pag. 7 di 27</p>
---	---	---------------------

### **3 I MATERIALI**

Per la realizzazione delle opere in progetto si utilizzeranno i seguenti materiali:

#### **Calcestruzzo per pali:**

Si impiega un calcestruzzo di classe minima (resistenza cubica caratteristica a 28 gg.):

Rck  $\geq$  45 MPa (C35/45)

confezionato secondo le caratteristiche della **classe di esposizione XS3** come definita dalla Norma UNI EN 206/14 e UNI 11104/16, con **classe di consistenza S5**. Copriferro minimo 80 mm.

#### **Calcestruzzo per opere in elevazione (muri, colonne, solette, travi) gettate in opera:**

Si impiega un calcestruzzo di classe minima (resistenza cubica caratteristica a 28 gg.):

Rck  $\geq$  45 MPa (C35/45)

confezionato secondo le caratteristiche della **classe di esposizione XS1** come definita dalla Norma UNI EN 206/14 e UNI 11104/16, con **classe di consistenza S5**. Copriferro minimo 45 mm.

#### **Calcestruzzo per elementi prefabbricati (travi precomprese):**

Si impiega un calcestruzzo di classe minima (resistenza cubica caratteristica a 28 gg.):

Rck  $\geq$  55 MPa (C45/55)

confezionato secondo le caratteristiche della **classe di esposizione XS1** come definita dalla Norma UNI EN 206/14 e UNI 11104/16, con **classe di consistenza S5**. Copriferro minimo 40 mm.

#### **Malta per micropali:**

Si impiega una malta cementizia avente classe equivalente minima di resistenza (resistenza cubica caratteristica a 28 gg.):


Rck  $\geq$  30 MPa (C25/30)

La miscela sar  confezionata secondo le caratteristiche della **classe di esposizione XS3**, cos  come definita dalla Norma UNI EN 206/14 e UNI 11104/16. La miscela sar  in ogni caso additivata con antiritiro accelerante, tipo "Flowcable" o similare.

#### **Acciaio da c.a.:**

Per le armature in barra si impiega un acciaio ad aderenza migliorata del tipo B450C.



	Estensione delle infrastrutture comuni per lo sviluppo del Punto Franco Nuovo nel porto di Trieste - CUP: C94E21000460001  Relazione tecnica opere civili stradali	Pag. 8 di 27
---	--	--------------

### **Acciaio per carpenterie metalliche e piastrame:**

Si impiega un acciaio tipo:


#### **S355 J0**

conforme a quanto prescritto dal D.M. 17.01.2018 al p.to 4.2.1.1, zincato e verniciato con vernici idonee all'ambiente costiero. La classe di esecuzione delle strutture in carpenteria metallica è EXC4.

### **Acciaio per barre filettate e bulloni (collegamenti)**

Le barre filettate e i bulloni di serraggio utilizzati per i collegamenti tra elementi metallici hanno le seguenti caratteristiche minime di resistenza:

classe 8.8	per elementi principali	$f_{yb} \geq 640 \text{ N/mm}^2$
		$f_{tb} \geq 800 \text{ N/mm}^2$

	Estensione delle infrastrutture comuni per lo sviluppo del Punto Franco Nuovo nel porto di Trieste - CUP: C94E21000460001  Relazione tecnica opere civili stradali	Pag. 9 di 27
---	--	--------------

## **4 LE IPOTESI DI PROGETTO**

In sede di progetto sono state assunte le seguenti ipotesi di calcolo.

### **4.1 Vita nominale e classe d'uso**

La vita nominale assunta per tutte le opere è 100 anni.

La classe d'uso assunta è la IV.

Il periodo di riferimento che ne deriva è di 200 anni.

### **4.2 Carichi applicati**

La valutazione dei carichi applicati alle strutture è fondamentale per ottenere un ragionevole dimensionamento delle stesse. Tenuto conto del livello di progettazione, finalizzato alla definizione delle opere d'arte in modo che queste siano fattibili e realizzabili, sono state assunte delle semplificazioni nella definizione dei carichi, volte a uniformare il percorso progettuale senza scendere ad un livello di dettaglio proprio dei livelli progettuali successivi.

#### *4.2.1 Carichi permanenti verticali*


I carichi permanenti verticali sono valutati in funzione della geometria dei diversi elementi, tenendo conto del peso di volume dei materiali che li compongono.

- calcestruzzo armato  $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$
- acciaio  $\gamma = 78.5 \text{ kN/m}^3$
- terreno di riempimento  $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$

#### *4.2.2 Carichi variabili verticali*

I carichi variabili verticali sono valutati con riferimento alle indicazioni normative; in particolare:

- ➔ Sui rilevati l'effetto del carico ferroviario è stato assimilato ad un carico uniformemente distribuito di 50 kN/mq
- ➔ Sugli impalcati stradali l'effetto del carico stradale è stato assimilato ad un carico uniformemente distribuito di 20 kN/mq
- ➔ A ridosso delle opere che sostengono rilevati stradali si è considerato un sovraccarico variabile uniformemente distribuito di 20 kN/mq
- ➔ Nelle fasi costruttive delle opere di sostegno, va assunto un sovraccarico variabile applicato a monte delle stesse di almeno 10 kN/mq

	Estensione delle infrastrutture comuni per lo sviluppo del Punto Franco Nuovo nel porto di Trieste - CUP: C94E21000460001  Relazione tecnica opere civili stradali	Pag. 10 di 27
---	--	---------------

#### 4.2.3 *Carichi variabili orizzontali*


I carichi variabili orizzontali in esercizio sono valutati con riferimento alle indicazioni normative; in particolare sono state prese in considerazione le azioni date dal frenamento e dal vento.

#### 4.2.4 *Azione sismica*

L'azione sismica è valutata in funzione della vita di riferimento (=200 anni) e del comportamento dinamico delle opere.

In particolare per le opere di sostegno rigide è stato assunto il coefficiente di riduzione  $\beta_m$  tenendo conto della possibilità (o meno) dell'opera di poter maturare spostamenti permanenti; per le opere di sostegno flessibile (paratie) i coefficienti di riduzione  $\alpha$  e  $\beta$  sono assunti come generalmente unitari. Tali parametri sono strettamente correlati alla duttilità che la struttura deve poter fornire, e assumere valore unitario implica non accettare la formazione di plasticizzazioni, nella struttura e nel terreno.

Per le strutture dei cavalcavia (fondazioni, pile/spalle e impalcato) si è assunto un fattore di comportamento unitario ( $q=1$ ), anche in questo caso privilegiando il mantenimento in campo elastico delle strutture anche sotto l'azione di sismi intensi e con alto periodo di non ritorno.

	<p>Estensione delle infrastrutture comuni per lo sviluppo del Punto Franco Nuovo nel porto di Trieste - CUP: C94E21000460001</p> <p>Relazione tecnica opere civili stradali</p>	<p>Pag. 11 di 27</p>
---	---	----------------------

## **5 ASPETTI GEOLOGICI E GEOTECNICI**

L'area in esame è caratterizzata dalla presenza di un substrato litoide afferente alla Formazione del Flysch triestino la cui parte superiore si presenta alterata e degradata fino a perdere la propria struttura litoide. La formazione è un'alternanza di rocce clastiche originatesi in ambiente di sedimentazione marino e caratterizzate da due tipi litologici principali, marne e arenarie, a caratteristiche petrografiche e fisiche notevolmente diverse (Onofri R., 1982).

Le arenarie sono prevalentemente delle calcareniti, caratterizzate da una matrice carbonatica con frazione detritica costituita per lo più da granuli di calcite, quarzo, altri silicati e resti di microfossili. Sono rocce molto dure, compatte e rigide, il cui singolo provino di materiale è dotato di altissima resistenza meccanica. Le arenarie sono in genere nettamente stratificate con singoli strati di potenza variabile da centimetrica a pluri-decimetrica.


Le marne hanno composizione mineralogica simile alle arenarie ma si differenziano per una maggiore percentuale di carbonati a scapito degli altri componenti mineralogici, oltre alla ricchezza di resti organici. Le marne, sovente fratturate nel tipico assetto "a cubetti", subiscono facilmente una sorta di desquamazione in piccole scaglie, specialmente nei casi in cui la roccia è stata oggetto di intense deformazioni ad opera di stress tettonici.

I processi di degradazione delle porzioni superficiali del Flysch determinano una completa alterazione, disgregazione e disarticolazione della massa rocciosa, che diviene un terreno costituito da una matrice limosa-sabbiosa-argillosa inglobante corpi detritici di arenaria e, in percentuale minore, di scaglie di marna, identificato come complesso C1 (Onofri R., 1982).

Tali depositi, definiti come argille limoso-sabbiose talora ghiaiose, segnano il passaggio tra il basamento roccioso e i sovrastanti depositi fini marini, con spessori localmente molto variabili anche in aree poco estese. Il Flysch nei termini più superficiali presenta una fascia di alterazione che pur mantenendo la struttura lapidea si presenta parzialmente degradato e disarticolato. In genere, i litotipi marnosi ed arenacei assumono colorazioni giallo-ocracee. Lo spessore di questo livello, usualmente definito Flysch alterato, è molto variabile con potenze medie comprese tra 0.5 e 3.0 m, anche se si possono rivenire spessori maggiori.

Si riportano i cinque tipi principali di Flysch sulla base delle variazioni percentuali delle marne rispetto alle arenarie (Onofri R., 1982):

- Tipo T1 – Costituito prevalentemente da arenaria (in genere strati di spessore superiore a 30 cm) con interstratificati pacchetti di lamine di marna dello spessore globale di ordine centimetrico. La stratificazione è distinta e lo spessore del singolo strato è notevolmente costante.
- Tipo T2 – Costituito prevalentemente da arenaria (in genere strati di spessore inferiore a 30 cm) con interstratificati poco frequenti pacchetti di lamine di marna dello spessore globale di ordine centimetrico. La stratificazione è distinta e lo spessore del singolo strato è notevolmente costante.
- Tipo T3 – Costituito da circa il 50% da arenaria e circa il 50% da marna (spessori degli strati di arenaria e dei pacchetti di lamine di marna variabili generalmente da 1

	<p>Estensione delle infrastrutture comuni per lo sviluppo del Punto Franco Nuovo nel porto di Trieste - CUP: C94E21000460001</p> <p>Relazione tecnica opere civili stradali</p>	<p>Pag. 12 di 27</p>
---	---	----------------------

cm a circa 20 cm). La stratificazione è distinta e lo spessore del singolo strato è notevolmente costante.

- Tipo T4 – Costituito prevalentemente da marna i cui pacchetti possono avere uno spessore variabile da circa 10 cm a circa 50 cm; interstratificati rari strati di arenaria con spessore generalmente compreso tra circa 10 cm e circa 50 cm. La stratificazione è abbastanza distinta e lo spessore del singolo pacchetto, o strato, è piuttosto costante.
- Tipo T4 – Costituito prevalentemente da arenarie a buona consistenza litoide ma che ha subito notevoli processi deformativi (spessore degli strati non superiore a 10 cm circa). La stratificazione è talora poco distinta e con spessore poco costante.

Sovrastante il Flysch, laddove presenti, si rilevano sedimenti di origine marina, caratterizzati da argille limose o limi argillosi di colore grigio verde o grigio nero, con frazione organica e livelletti sabbiosi che spesso presentano resti conchigliari e/o torba. Si tratta di sedimenti marini e in parte continentali, caratterizzati essenzialmente da materiali fini, quali argille e limi, talora con sabbie di colore variabile dal grigio verde al grigio nero, per arrivare al marrone scuro-nero nel caso di intervalli torbosi o a composizione fortemente organica. I depositi grossolani, formati da sedimenti ghiaiosi poligenici, sono presenti principalmente lungo la costiera triestina o lungo le foci delle aste idriche che defluiscono a mare dai rilievi collinari triestini.

Sulla base delle indagini geognostiche e delle prospezioni geofisiche eseguito nel sito oggetto d'analisi, è stata riconosciuta la successione geolitologica e litostratigrafica ed identificato il modello di riferimento dell'area, come schematizzato nella "Indagini geognostiche a terra - Relazione tecnica":

#### 1. Terreni antropici di riporto

Terreni e materiali antropici di riporto, caratterizzati da ghiaia, clasti e ciottoli arenacei spigolosi, normalmente centimetrici, talora frammentati a residui lateritici e a scarti di lavorazione e di demolizione, in matrice limoso sabbiosa debolmente argillosa, di colore nocciola al marrone scuro, talora grigio.

#### 2. Complesso limoso argilloso, debolmente sabbioso


Sedimenti marini caratterizzati da termini limoso argillosi, debolmente sabbiosi, localmente torbosi, di colore variabile da grigio chiaro, a grigio scuro, a grigio verde, talora marrone, marrone-scuro o nero se in presenza di intervalli torbosi, talora con abbondante presenza di resti conchigliari; tale complesso mostra talora la presenza di strati caratterizzati da limo sabbioso argilloso, con sabbia fina.

#### 3. Flysch alterato marnoso arenaceo

Terreni di copertura, propri dei fenomeni di alterazione e di disgregazione dei termini più superficiali della sottostante formazione flyschoidale, caratterizzato da rari livelli arenacei centimetrici, molto alterati, di colore marrone ocraceo a grigio azzurro (Complesso C1).

#### 4. Flysch integro marnoso arenaceo

Litotipo caratterizzante il basamento roccioso flyschoidale integro marnoso arenaceo fratturato e disarticolato nei suoi termini più superficiali sia a causa dei processi di

	Estensione delle infrastrutture comuni per lo sviluppo del Punto Franco Nuovo nel porto di Trieste - CUP: C94E21000460001  Relazione tecnica opere civili stradali	Pag. 13 di 27
---	--	---------------

degradazione fisica, chimica e biologica, sia per probabili processi meccanici propri di stress tettonici; nel complesso si riconosce l'andamento della stratificazione, con presenza di strati arenacei di potenza centimetrica o pluri-centimetrica, di colore variabile da grigio azzurro a marrone ocreo, alternati a strati di marne di potenza centimetrica o decimetrica, finemente stratificate, con talora fessurazione "a cubetti", disarticolate (tipo T3 e T4).

#### 5. Flysch integro arenaceo marnoso

Litotipo caratterizzante il basamento roccioso flyschoido integro arenaceo marnoso con strati marnosi di colore grigio azzurro di potenza centimetrica, dal classico aspetto fogliettato, alternati a strati decimetrici o pluricentimetrici di arenaria compatti o debolmente fratturati, di colore grigio azzurro, talora con screziature giallo ocree e rare venature calcitiche (Tipo T2).

Nell'area in esame sono state eseguite, in diversi periodi temporali, diverse e numerose campagne di indagini, associate a diversi e specifici scopi. Di seguito, per mera semplicità espositiva, si fa riferimento solo all'ultima campagna, rimandando all'elaborato "1GNR\_P\_R\_C-GEO\_1GE\_002\_02\_00 Relazione sulle indagini" per maggiori dettagli.

Le ultime indagini geognostiche (n. 15 prove) sono state eseguite a carotaggio continuo con carotiere semplice o doppio di diametro 101 mm e rivestimento metallico provvisorio del foro di diametro 127 mm, spinti sino a profondità variabili da 5 a 29.5 m dal p.c., la cui posizione e numerazione è riportata nella figura seguente; l'elaborazione dei risultati, unitamente a quelli delle prove geofisiche, ha permesso di definire un modello geotecnico del sottosuolo.

La figura seguente riporta i sondaggi eseguiti (sigla SGxxx) e le prove geofisiche (sigla Txxx).



Figura 5-1: planimetria delle indagini geognostiche



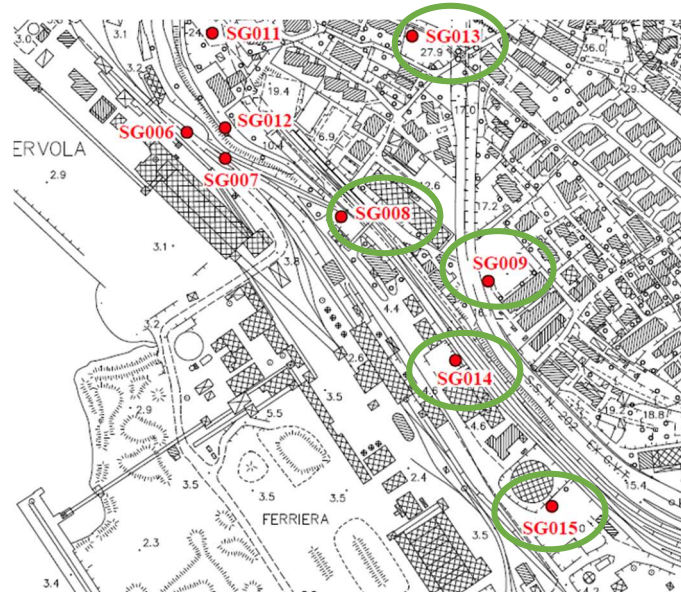


Figura 5-2: indagini geognostiche: planimetria di dettaglio nella zona di interesse

Il modello geotecnico che sintetizza l'intervento, a meno dei livelli stratigrafici che saranno variabili da zona a zona, è quello riportato nella tabella seguente.

LITOLOGIA	Peso di volume, $\gamma$ [kN/mc]	Angolo d'attrito efficace, $\phi'$ [°]	Coesione efficace, $c'$ [kPa]	Coesione non drenata, $c_u$ [kPa]	Modulo edometrico, $M$ [MPa]	Modulo elastico efficace, $E'$ [MPa]
Rilevati di nuova realizzazione	19.0÷20.0	36	5	-		50
Materiali antropici di riporto; Terreni eluvio - colluviali	18.0	24.5÷37.5	5	-		3.0**
Limo sabbioso argilloso; Limo argilloso	18.0÷19.0	23.7÷37.1	5	30	3.7*	5.0
Flysch marnoso arenaceo alterato (complesso C1)	18.5**	31**	5**	100**	-	20**
Flysch marnoso arenaceo integro (Tipo T3/T4)	23**	22**	40**	250**	-	350**
Flysch marnoso arenaceo integro (Tipo T2)	24**	28**	150**	-	-	800**

\*: valore conservativo

\*\* : parametri del modello geotecnico riportato nella relazione del progetto esecutivo dei "Lavori di realizzazione della Piattaforma Logistica in area portuale compresa tra lo scalo legnami e l'ex-italsider e conseguenti opere di collegamento": "RGT0022 relazione geotecnica r02" del 15.09.2015



Dall'analisi dei sondaggi eseguiti nella specifica zona di interesse (SG08, SG09, SG14, SG15 in particolare), si osserva che il substrato flyschoides si attesta ad una quota di poco inferiore al piano campagna attuale, e ciò sicuramente favorisce la stabilità nel tempo del comportamento geotecnico del sottosuolo.

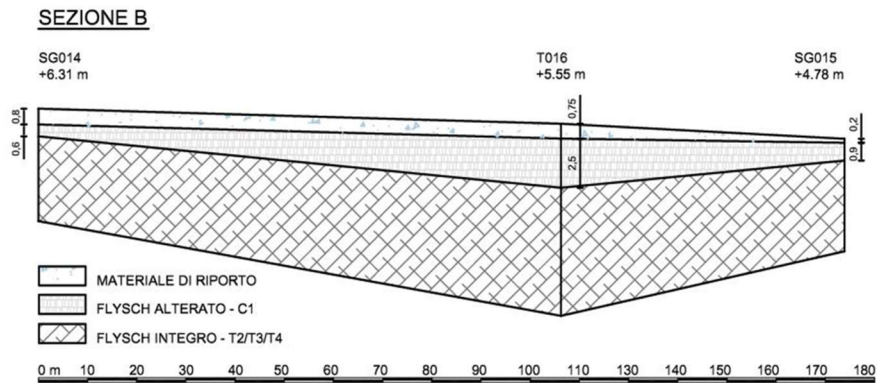


Figura 5-3: sezione stratigrafica tra SG014 e SG015

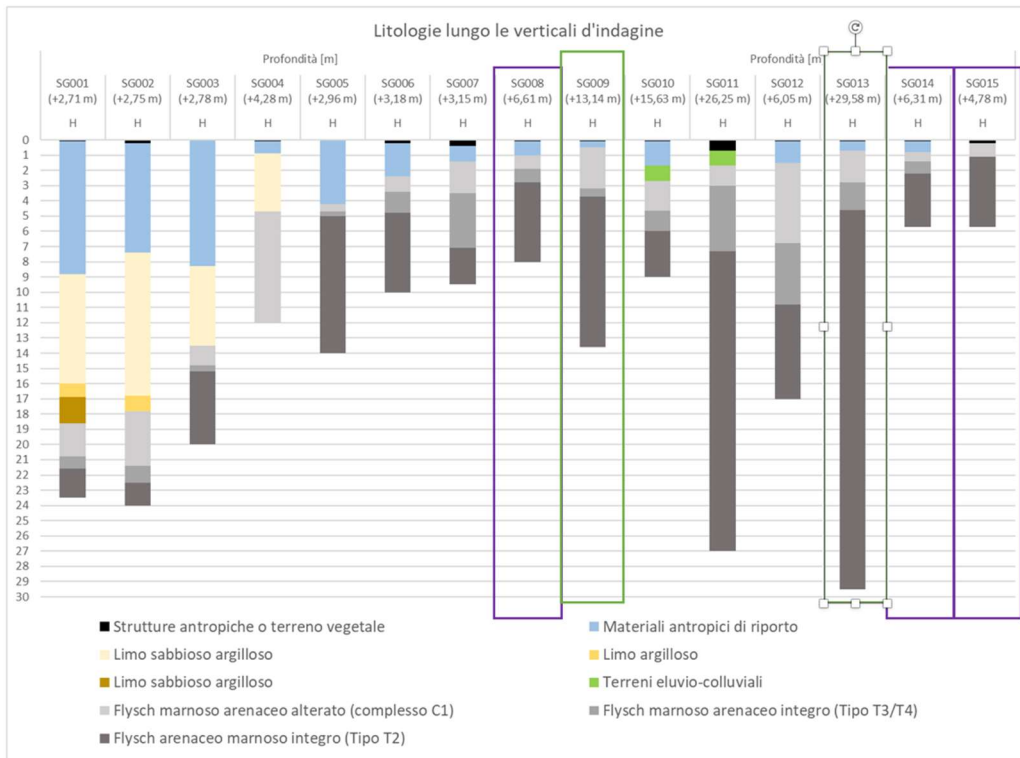



Figura 5-4: litologie lungo le verticali di indagine

	<p>Estensione delle infrastrutture comuni per lo sviluppo del Punto Franco Nuovo nel porto di Trieste - CUP: C94E21000460001</p> <p>Relazione tecnica opere civili stradali</p>	<p>Pag. 17 di 27</p>
---	---	----------------------

## **6 CRITERI PROGETTUALI**

L'iter progettuale che ha portato alle soluzioni proposte deriva dal rispondere ad una serie di richieste di partenza:

- a) Ridurre al minimo l'interferenza tra le strutture dell'opera viaria con l'infrastruttura ferroviaria;
- b) Ridurre al minimo l'interferenza tra le strutture dell'opera viaria con la sede stradale esistente (GVT);
- c) Ridurre al minimo i volumi di scavo;
- d) Adottare soluzioni che limitino le manutenzioni nel tempo;
- e) Adottare soluzioni per permettano tempi rapidi di esecuzione.

In particolare l'ultimo punto è correlato al fatto che la connessione alla GVT sarà una delle prime attività da svolgere, per permettere un agevole accesso alle aree portuali per tutti i mezzi di trasporto coinvolti nella realizzazione delle successive parti di opera. Al contempo le interferenze con la ferrovia e la GVT esistenti dovranno essere minimizzate, tenuto conto dell'importante ruolo di connessione che esse svolgono.

### **6.1 Cavalcaferrovia**


Le opere in esame sono destinate a scavalcare i binari (singoli o in fasci): trattasi in particolare del gruppo di impalcati che sovrappassano il fascio principale ferroviario, e lo scavalco della linea diretta al terminal del molo VIII.

Dal punto di vista strutturale le soluzioni vagliate sono state:

- A) Strutture di impalcato in c.a. o c.a.p. gettato in opera (soletta monolitica);
- B) Strutture di impalcato in travi prefabbricate in c.a. o c.a.p e soletta collaborante;
- C) Strutture di impalcato in acciaio

Le medesime sono state considerate nel caso di struttura a travata continua, e struttura semplice con "n" travi disposte a singolo appoggio.

Per le fondazioni si è sempre considerato un sistema su pali, che garantisce piccoli volumi di scavo e adeguata resistenza alle azioni orizzontali o flessionali (per il carico verticale, la presenza dello strato flyschoide a piccola profondità permette di non avere significative criticità).

	<p>Estensione delle infrastrutture comuni per lo sviluppo del Punto Franco Nuovo nel porto di Trieste - CUP: C94E21000460001</p> <p>Relazione tecnica opere civili stradali</p>	<p>Pag. 18 di 27</p>
---	---	----------------------

Tra le soluzioni considerate si è rinunciato, per il caso specifico, alla soluzione con soletta monolitica, per i tempi necessari per la sua esecuzione, e per il fatto che richiede, per la sua costruzione, di dispositivi temporanei di sostegno dei casseri che possono interferire con le lavorazioni dell'infrastruttura ferroviaria.

L'utilizzo di strutture in acciaio è stata anch'essa trascurata, in quanto materiale potenzialmente più sensibile agli aspetti ambientali.

La soluzione a trave continua non è stata adottata in quanto più sensibile alle fasi costruttive, e potenzialmente quindi più limitante rispetto l'obiettivo di realizzare rapidamente l'opera. Soluzioni di prefabbricazione dell'impalcato fuori opera e collocazione in sito per mezzo di autogrù sono state scartate in quanto finché non sarà realizzato lo svincolo in progetto è molto difficoltoso far arrivare, nell'area, mezzi di dimensioni e pesi significativi.

## 6.2 Opere di sostegno per rampe


Le opere in esame sono destinate a sostenere il terreno del rilevato stradale, laddove si debba realizzare un tratto di strada in rilevato rispetto il circostante piano campagna. Per la significativa variabilità plano-altimetrica del tracciato si è preferito non proporre soluzioni con elementi in terra armata (che avrebbero richiesto sempre un cordolo di sommità a sezione variabile per poter seguire correttamente l'andamento altimetrico dei cigli) o terra rinforzata (per il maggior ingombro in pianta e per motivi manutentivi). La presenza di un substrato sostanzialmente resistente (il livello flyshoide si trova a pochi metri di profondità) ha fatto propendere per l'uso di muri di sostegno rigidi a mensola, con fondazione superficiale.

Le sezioni considerate sono tipologiche e uniformate per accelerare le fasi costruttive; in virtù della variabilità in altezza le dimensioni potranno essere ottimizzate in fase di progettazione esecutiva, coerentemente con la definizione di dettaglio della cantierizzazione dell'intervento.

## 6.3 Sottopassi alla Grande Viabilità Triestina

Il tracciato della Grande Viabilità Triestina (GVT) è interessato da 2 attraversamenti in sottopasso. Per poterli realizzare si sono considerate le seguenti opzioni costruttive:

- a) Interruzione completa del traffico, scavo a cielo aperto in trincea, realizzazione di muri di sostegno rigidi in c.a., successivo rinterro e costruzione dell'impalcato di scavalco;
- b) Interruzione parziale del traffico (per singola carreggiata p.e.), realizzazione delle opere di sostegno laterali con paratie, scavo e costruzione dell'impalcato; riapertura del traffico e riposizione delle attività sulla carreggiata opposta;
- c) Interruzione parziale e temporanea del traffico (per singola carreggiata p.e.), realizzazione delle opere di sostegno laterali con paratie, predisposizione dell'impalcato

	Estensione delle infrastrutture comuni per lo sviluppo del Punto Franco Nuovo nel porto di Trieste - CUP: C94E21000460001  Relazione tecnica opere civili stradali	Pag. 19 di 27
---	--	---------------

(p.e. in acciaio) in area contermina, movimentazione in notturna ed installazione dell'impalcato a carreggiata chiusa, riapertura del traffico, riproposizione delle lavorazioni sulla carreggiata opposta, e scavo conclusivo a traffico aperto.

Tra queste, si è valutato più conveniente progettare una struttura con opere di sostegno costituite da una paratia in pali secanti, che segue l'andamento planimetrico del tracciato. Questi potranno essere realizzati per fasi, con limitati disagi al traffico. Successivamente, sempre per fasi anche di limitata estensione, si realizzerà l'impalcato in c.a. gettato in opera: i limitati spazi a disposizione ai lati dell'area di lavoro, ed in particolare la difficoltà a raggiungere queste aree, rende difficile pensare di assemblare e movimentare un intero impalcato. Una volta terminati gli impalcati, e resi solidali alle pareti, si potrà procedere allo scavo al di sotto di questi senza interferire, se non minimamente, con il traffico veicolare autostradale.

La tecnica realizzazione di pali secanti in c.a. è applicabile per i terreni presenti: la parte superficiale è rappresentata dal rilevato autostradale, e subito sotto è presente il flysch (da alterato a integro), che per esperienze pregresse in aree limitrofe (oltre 800 pali trivellati e circa 600m di pali secanti nella vicina Piattaforma Logistica, nonché numerose decine di pali per il marginamento dell'area della ferriera, tutt'ora in corso) è ancora lavorabile con normali attrezzature di scavo.

Considerati gli spazi a disposizione, e fatto proprio un principio di "continuità tecnologica", i tratti in trincea delle rampe sono, almeno laddove il salto di quota lo giustifica, realizzati con pareti in pali secanti, che di fatto proseguono dal sottopasso a/da cui la trincea si collega.

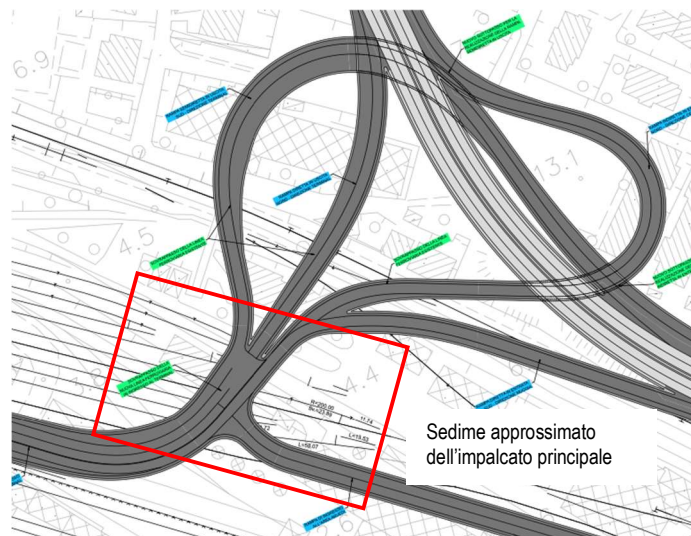


## **7 LE OPERE D'ARTE**

Si descrivono brevemente le principali opere d'arte previste lungo l'asse stradale di progetto.

### **7.1 Sovrappasso linea ferroviaria in ingresso al Terminal**

La zona in esame è quella baricentrica rispetto l'intera infrastruttura: sull'impalcato convergono le rampe che provengono dalla GVT, e le rampe che portano alle diverse aree portuali.



*Figura 7-1: vista della zona in esame*

L'impalcato è ottenuto affiancando tra loro delle travi prefabbricate in c.a.p. collegate tra loro dalla soletta collaborante in c.a.; la luce massima da superare è di 27m circa, con larghezza dell'impalcato strutturale che varia da un minimo di circa 14.2m ad un massimo di 69.0m (lato terminal). Le travi hanno sezione a doppio T, con altezza di 1.20m e interasse medio di 1.0m, mentre la soletta ha spessore minimo di 0.20m. Le elevazioni sono costituite da muri in c.a., con spessore di 1.20, sulla cui sommità saranno posizionate le estremità delle travi; le fondazioni sono su pali, in modo da poter assorbire in modo adeguato sia i carichi verticali che quelli orizzontali, senza dover creare troppo ampi elementi di collegamento (solette), che potrebbero interferire con le strutture ferroviarie (elettrificazione, binari). L'altezza minima sotto impalcato, rispetto il piano del ferro, è di 7.15m.



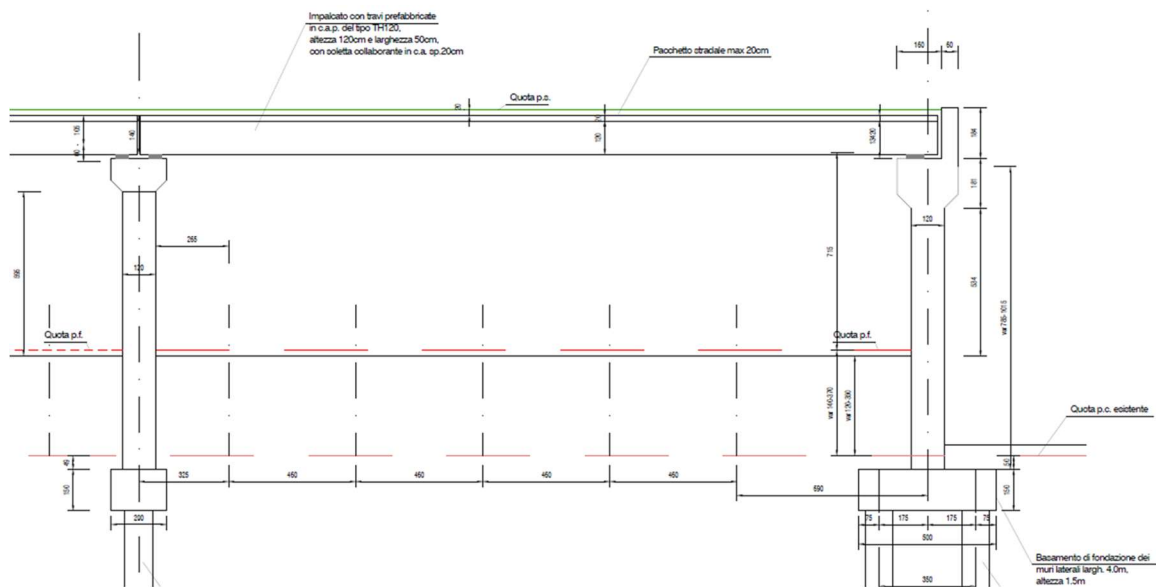


Figura 7-2: sezione longitudinale impalcato

## 7.2 Rampa semidiretta in uscita Sud

Trattasi della rampa che permette l'ingresso in area portuale del traffico proveniente dalla carreggiata Nord della GVT: il primo tratto della rampa (partendo dal lato Terminal) è costituito da un cavalcavia con impalcato in travi prefabbricate in c.a.p. e soletta collaborante in c.a.: ogni singola campata ha pianta sostanzialmente quadrangolare, con lati a 2 a 2 paralleli, che circoscrive il sedime della strada. La strada prosegue poi in trincea per sottopassare la GVT, e quindi risale (in rilevato) fino a raccordarsi con la carreggiata della viabilità esistente.

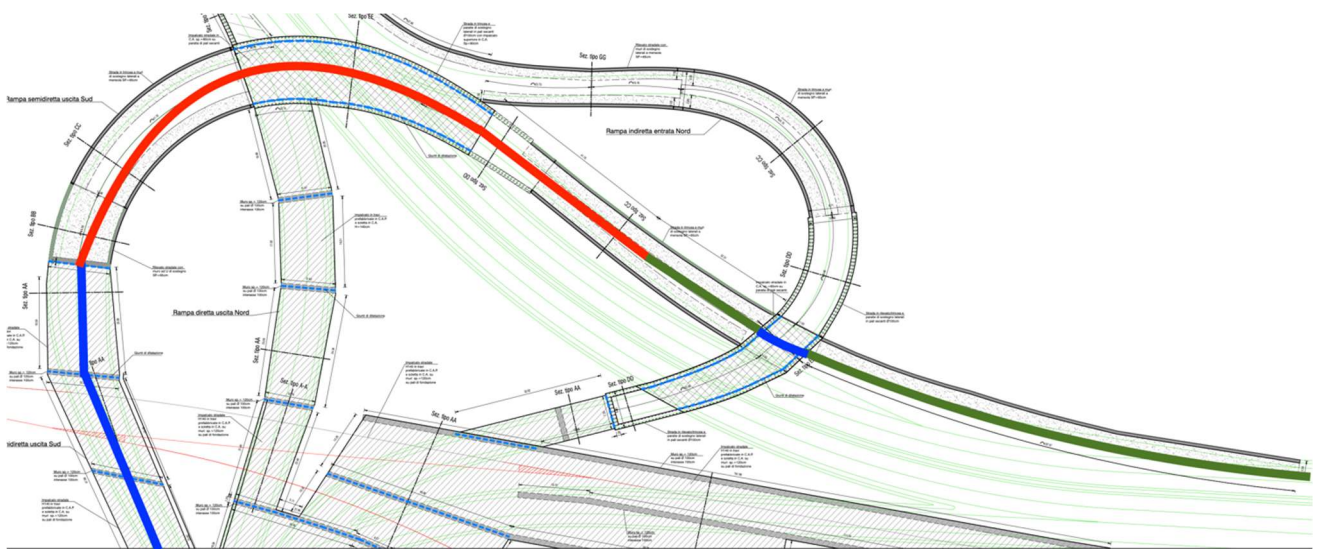


Figura 7-3: planimetria con evidenziata la rampa semidiretta uscita Sud





Nella figura precedente sono stati evidenziati in blu i tratti di rampa su impalcato, che si rende necessario per scavalcare i binari piuttosto che le zone in cui, seppure a Nord rispetto al sedime ferroviario attuale, la quota del p.c. è significativamente inferiore rispetto quella della strada di progetto. Un ulteriore impalcato sarà necessario per sovrappassare la nuova rampa in uscita in direzione centro Trieste.

Gli orizzontamenti sono ottenuti con travi prefabbricate in c.a.p. con soletta in c.a.: le travi hanno sezione a T rovescia, interasse medio di 1.0m, mentre lo spessore della soletta è pari a 0.20m. La luce massima (misurata lungo l'asse stradale) è di 24m circa. Le elevazioni sono costituite da muri in c.a. spessi 1.20m, fondati su una cortina di pali affiancati di diametro 1.0m e interasse 1.0m. L'altezza minima dell'impalcato rispetto il piano del ferro è di 7.0m. Lo scavalco della rampa in uscita è infine ottenuto con un solettone monolitico di spessore 0.60m, poggiante sulla sottostante cortina di pali secanti.

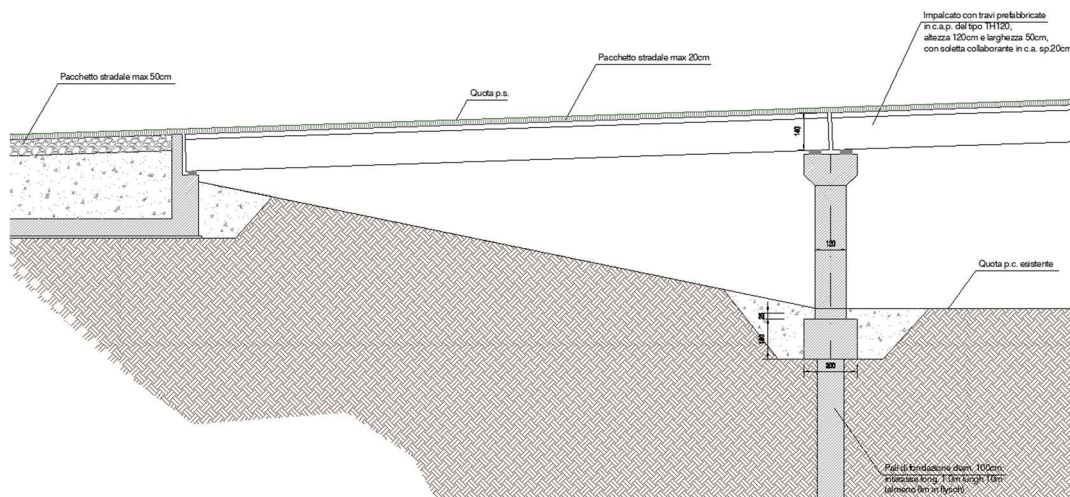


Figura 7-4: particolare appoggio impalcato su spalla a terra

In rosso sono invece indicati i tratti in trincea, compreso il sottopasso alla GVT: in queste zone il terreno è sostenuto da muri di sostegno a mensola, salvo che nel tratto in sottopasso. Questo è previsto con elevazioni costituite da una cortina di pali secanti (diam. 1.0m, interasse 80cm), e impalcato con solettone monolitico di spessore 80cm. Dal punto di vista costruttivo, considerate anche le difficoltà operative per raggiungere l'area, si prevede che il sottopasso sia realizzato in 2 fasi separate, con chiusura alternata del traffico di una delle due carreggiate. Durante l'interruzione dell'esercizio potranno realizzarsi i pali (con duplice funzione di sostegno del terreno in fase temporanea e finale, e supporto dell'impalcato in fase finale), eseguire lo scavo all'interno degli stessi, e successivamente (o prima) costruire l'impalcato stradale. A lavori completati sarà possibile re-indirizzare il traffico su questa carreggiata, interromperlo sull'altra, e ripetere le lavorazioni. La cortina di pali secanti proseguirà (direzione Muggia) anche oltre il tratto in sottopasso, per garantire la stabilità del muro di sostegno esistente nella fase di completamento della trincea (lato Est).

In verde infine sono identificati i tratti in rilevato: questo è ottenuto, in generale, andando a realizzare un muro di sostegno sul lato Nord, addossando il materiale di riempimento contro il muro dell'esistente viabilità.



### 7.3 Rampa diretta in uscita Nord

Trattasi della rampa che permette l'ingresso in area portuale del traffico proveniente dalla carreggiata Sud della GVT. La rampa è costituita da un unico cavalcavia, con impalcati in travi prefabbricate in c.a.p. e soletta collaborante in c.a.: ogni singola campata ha pianta sostanzialmente quadrangolare, con lati a 2 a 2 paralleli, che circoscrive il sedime della strada. Fa eccezione l'ultimo tratto, che scavalca la rampa in uscita Sud, in cui l'impalcato è costituito da una soletta in c.a. monolitica.

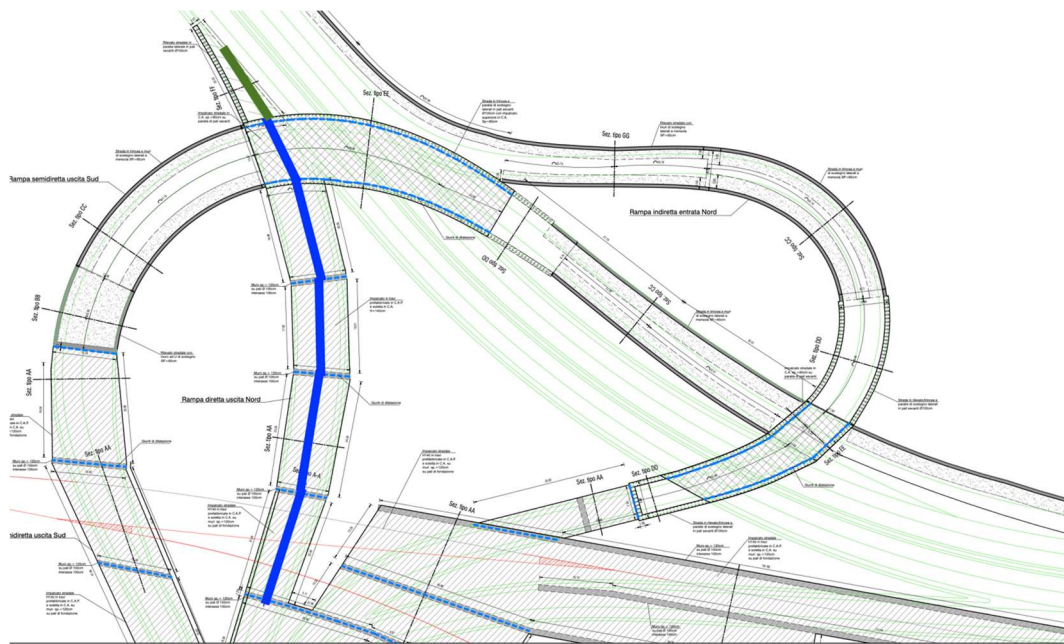


Figura 7-5: planimetria con evidenziata la rampa diretta uscita Nord

Nella figura precedente sono stati evidenziati in blu i tratti di rampa su impalcato, che, come nel precedente caso, si rende necessario per scavalcare i binari piuttosto che le zone in cui, seppure a Nord rispetto al sedime ferroviario attuale, la quota del p.c. è significativamente inferiore rispetto quella della strada di progetto. L'ultima campata risulta invece necessaria per sovrappassare la nuova rampa in uscita in direzione Sud. Gli orizzontamenti sono ottenuti con travi prefabbricate in c.a.p. con soletta in c.a.: le travi hanno sezione a T rovescia, interasse medio di 1.0m, mentre lo spessore della soletta è pari a 0.20m. Le elevazioni sono costituite da muri in c.a. spessi 1.20m, fondati su una cortina di pali affiancati di diametro 1.0m e interasse 1.0m. La luce massima delle campate, misurata lungo l'asse stradale, è di 24m circa. Lo scavalco della rampa in uscita è invece ottenuto con un solettone monolitico di spessore 0.80m, poggiante sulla sottostante cortina di pali secanti.

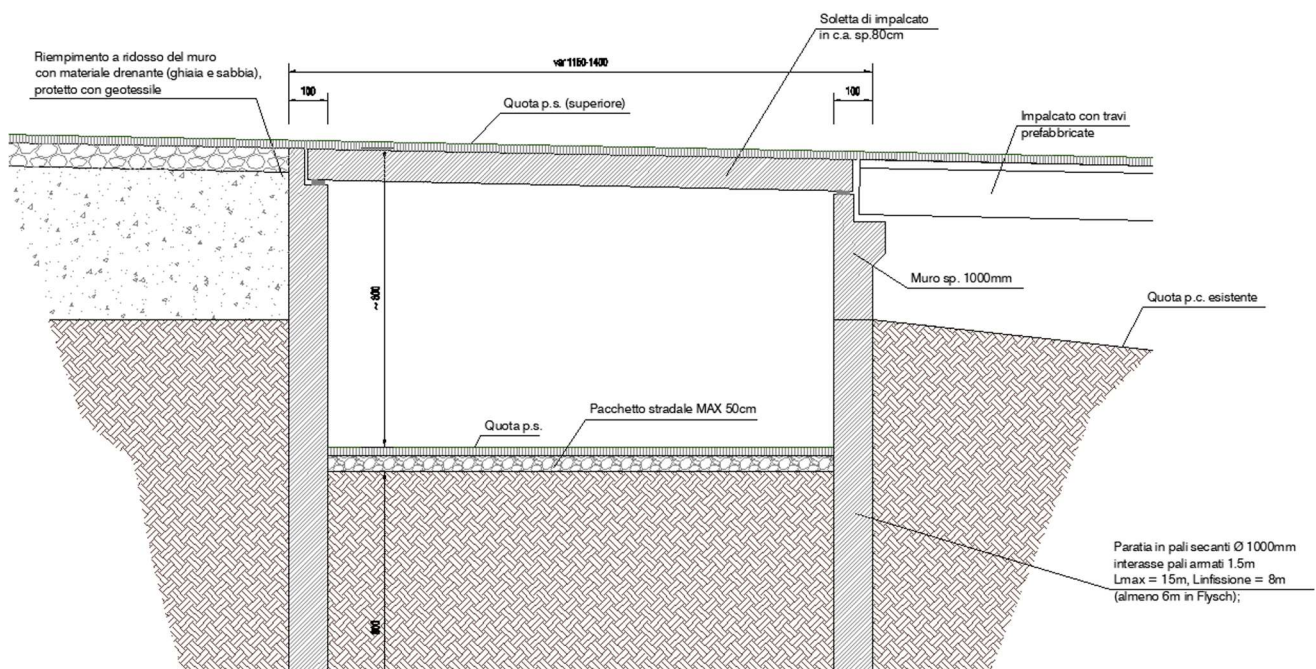


Figura 7-6: sezione tipo su scavalco rampa in uscita Sud

In verde è identificato l'ultimo tratto, in rilevato: questo è ottenuto andando a realizzare un muro di sostegno sul lato Ovest, e addossando il materiale di riempimento contro il muro dell'esistente viabilità.

## 7.4 Rampa indiretta in entrata Nord

Trattasi della rampa che dall'area portuale dirige il traffico veicolare in uscita verso Nord (direzione Trieste centro): il primo tratto della rampa è costituito da un cavalcavia con impalcato in travi prefabbricate in c.a.p. e soletta collaborante in c.a.: ogni singola campata ha pianta sostanzialmente quadrangolare, con lati a 2 a 2 paralleli, che circoscrive il sedime della strada. Successivamente la rampa sottopassa la GVT per poi recuperare la quota altimetrica e raccordarsi, a Nord, con la carreggiata della GVT diretta verso Trieste centro.



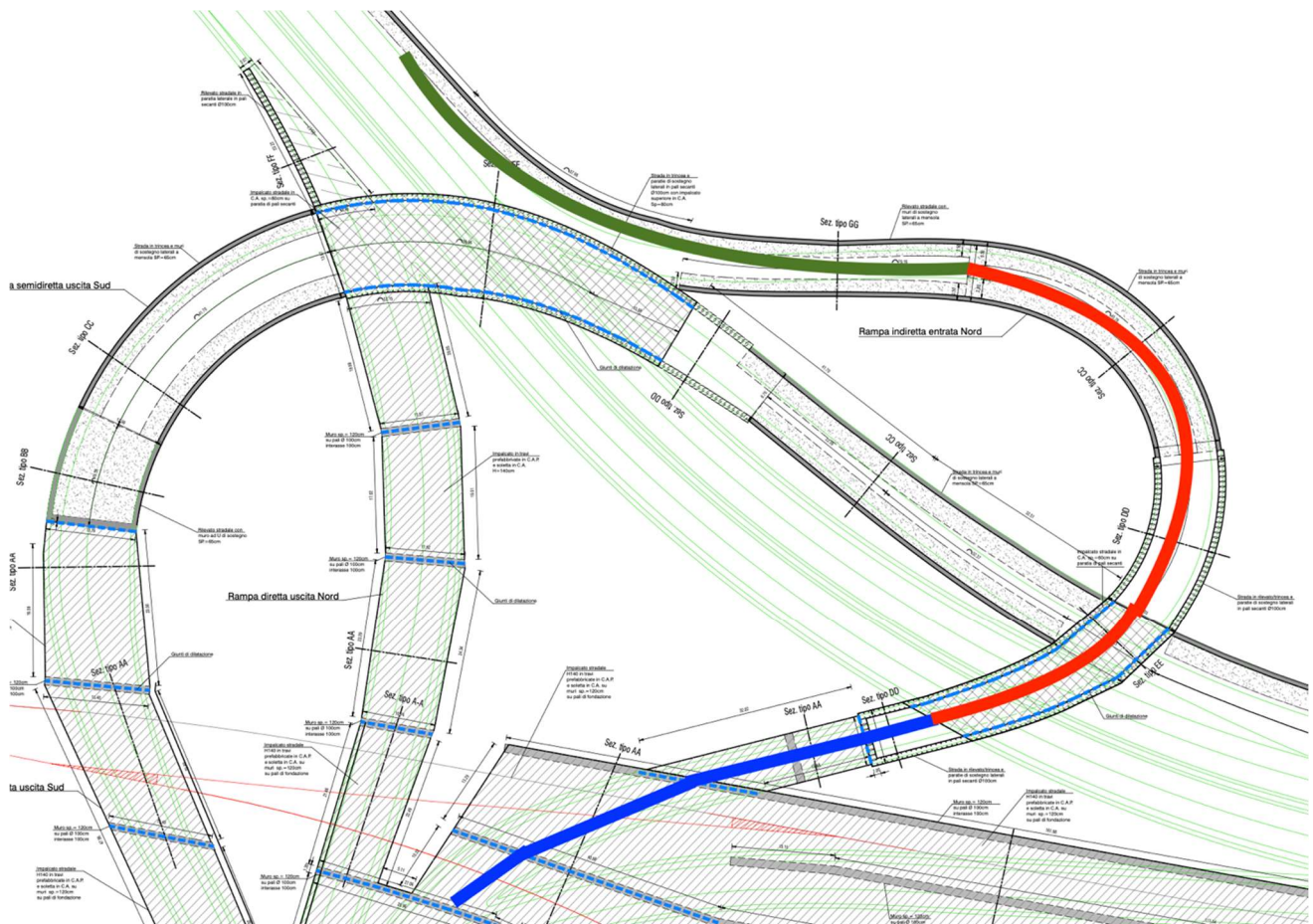


Figura 7-7: planimetria con evidenziata la rampa indiretta in entrata Nord

Nella figura precedente sono stati evidenziati in blu i tratti di rampa su impalcato, che si rende necessario, come evidenziato anche nei casi precedenti, per scavalcare i binari piuttosto che le zone in cui, seppure a Nord rispetto il sedime ferroviario attuale, la quota del p.c. è significativamente inferiore rispetto quella della strada di progetto. Gli orizzontamenti sono ottenuti con travi prefabbricate in c.a.p. con soletta in c.a.: le travi hanno sezione a T rovescia, interasse medio di 1.0m, mentre lo spessore della soletta è pari a 0.20m. Le elevazioni sono costituite da muri in c.a. spessi 1.20m, fondati su una cortina di pali affiancati di diametro 1.0m e interasse 1.0m.

In rosso è invece indicato il tratto in trincea, compreso il sottopasso alla GVT: in questa zona il terreno è sostenuto da muri di sostegno a mensola, salvo che nel tratto in sottopasso. Questo è previsto con elevazioni costituite da una cortina di pali secanti (diam. 1.0m, interasse 80cm), e impalcato con solettone monolitico di spessore 60cm. Dal punto di vista costruttivo, considerate anche le difficoltà operative per raggiungere l'area, si prevede (come per la rampa in uscita Nord) che il sottopasso sia realizzato in 2 fasi separate, con chiusura alternata del traffico di una delle due carreggiate. Durante l'interruzione dell'esercizio potranno realizzarsi i pali (con duplice funzione di sostegno del terreno in fase temporanea e finale, e supporto dell'impalcato in fase finale), eseguire lo scavo all'interno degli stessi, e successivamente costruire l'impalcato stradale. A lavori completati sarà possibile re-indirizzare il traffico su questa carreggiata, interromperlo



sull'altra, e ripetere le lavorazioni. La cortina di pali secanti proseguirà (direzione Nord) anche oltre il tratto in sottopasso, per fungere da supporto per la rampa in ingresso Sud che scavalca la zona in trincea.

In verde sono infine identificati i tratti in rilevato: questo è ottenuto, inizialmente, andando a realizzare una coppia di muri di sostegno a mensola, che corrono paralleli e sostengono il rilevato stradale. Nel tratto finale sarà presente invece un solo muro di sostegno, sul lato Nord, mentre sul lato Sud il materiale di riempimento sarà addossato al muro dell'esistente viabilità.

## 7.5 Rampa diretta in uscita Sud

Trattasi della rampa che dall'area portuale dirige il traffico veicolare in uscita verso Sud (direzione Muggia). La sede stradale della rampa corre quasi parallela alla sottostante linea ferroviaria: è quindi necessario realizzare una galleria artificiale che permetta lo scavalco dei binari.

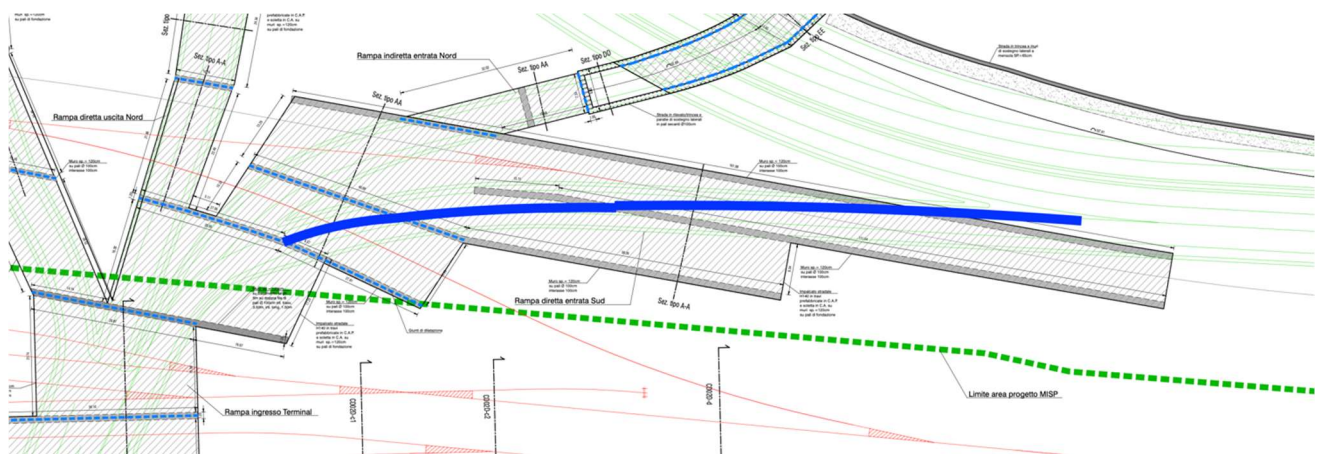


Figura 7-8: planimetria con evidenziata la rampa diretta uscita Sud

Nella figura precedente è stata evidenziata in blu la rampa, tutta posta al di sopra della galleria artificiale. Gli impalcati sono realizzati con travi prefabbricate in c.a.p. e soletta in c.a.: le travi hanno sezione a T rovescia, interasse medio di 1.0m, mentre lo spessore della soletta è pari a 0.20m. Le elevazioni sono costituite da muri in c.a. spessi 1.20m, fondati su una cortina di pali affiancati di diametro 1.0m e interasse 1.0m.