



## 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: 2FER_P_R_N-STR_2AT_001_02_02_revisione	SCALA: ---
TITOLO ELABORATO: <b>RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI FERROVIA</b>	ELABORATO: 2FER_P_R_N-STR_2AT_001_02_02 <b>REVISIONE</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 CSLLPP	D.Fedrigo	S.Dal Piva	G.Nappa
02	01/02/2024	Recepimento prescrizioni VIA	D.Fedrigo	S.Dal Piva	G.Nappa



## Sommario


<b>1</b>	<b>GENERALITÀ</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>ASPETTI NORMATIVI</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>I MATERIALI</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>LE IPOTESI DI PROGETTO</b>	<b>8</b>
4.1	VITA NOMINALE E CLASSE D'USO	8
4.2	CARICHI APPLICATI	8
4.2.1	<i>Carichi permanenti verticali</i>	8
4.2.2	<i>Carichi variabili verticali</i>	8
4.2.3	<i>Carichi variabili orizzontali</i>	9
4.2.4	<i>Azione sismica</i>	9
<b>5</b>	<b>ASPETTI GEOLOGICI E GEOTECNICI</b>	<b>10</b>
<b>6</b>	<b>LE OPERE D'ARTE</b>	<b>16</b>
6.1	ZONA NORD	16
6.1.1	<i>Scelte progettuali</i>	19
6.2	ZONA CENTRALE	21
6.2.1	<i>Scelte progettuali</i>	24
6.3	ZONA SUD-EST	24
6.3.1	<i>Scelte progettuali</i>	28
6.4	ZONA NORD-LINEA BASSA	29

## Sommario figure

Figura 1-1: Planimetria dell'intervento.....	4
Figura 2: planimetria generale delle indagini (2022).....	13
Figura 3: sezione stratigrafiche semplificate.....	14



Figura 6-1: planimetria generale, con individuata la "Zona Nord" .....	16
Figura 6-2: zona Nord, parte iniziale .....	17
Figura 6-3: Zona Nord – Particolare della zona destinata a parcheggio (tratto CD04).....	18
Figura 6-4: sezione tipo in corrispondenza del tratto CD02B.....	18
Figura 6-5: Sezione in corrispondenza della corsia di accesso al parcheggio (CD04) .....	19
Figura 6-6: planimetria generale, con evidenziata la Zona Centrale .....	22
Figura 6-7: Zona Centrale – in evidenza il tratto interessato alla paratia .....	23
Figura 6-8: pianta pali secanti della paratia.....	23
Figura 6-9: Sezione tipo nel tratto CD02D-a (paratia) .....	23
Figura 6-10: planimetria generale, con evidenziata la Sud-Est .....	25
Figura 6-11: estratto dalla sezione tipo Opera CD06-f e CD02F-a1, con evidenziati i muri di sostegno.....	25
Figura 6-12: planimetria generale: particolare dei sottopassi da ampliare (tratti CD06-a', CD06-a'') .....	26
Figura 6-13: sezione tipo tratti CD06-b' e CD02F-b, subito a S-E rispetto via Rio Primario .....	27
Figura 6-14: sezione tipo tratto CD06-c: tratto in trincea lungo l'asta di manovra .....	27
Figura 6-15: cavalcavia esistente, e sez. long. della nuova opera .....	28
Figura 6-16: planimetria generale, con evidenziata la zona interessata dal rialzo della c.d. "linea bassa" .....	29
Figura 6-17: planimetria di dettaglio della zona interessata dal tratto CD01B (impalcato ferroviario).....	30
Figura 6-18: Sezioni tipo per tratto CD01B e CD03 .....	31
Figura 6-19: planimetria di dettaglio del tratto CD02C.....	31
Figura 6-20: sezione tipo in rilevato (tratto CD02C) .....	32

	Estensione delle infrastrutture comuni per lo sviluppo del Punto Franco Nuovo nel porto di Trieste - CUP: C94E21000460001  Relazione tecnica opere civili ferroviarie	Pag. 3 di 33
---	---	--------------

## **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 e 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 ferroviaria.

La struttura ferroviaria considerata si sviluppa lungo un asse prevalente Nord-Sud; a nord il punto iniziale è posto, approssimativamente, all'inizio di via degli Altiforni, mentre a Sud-Sud/Est l'intervento termina in corrispondenza dell'imbocco della galleria San Pantaleone.

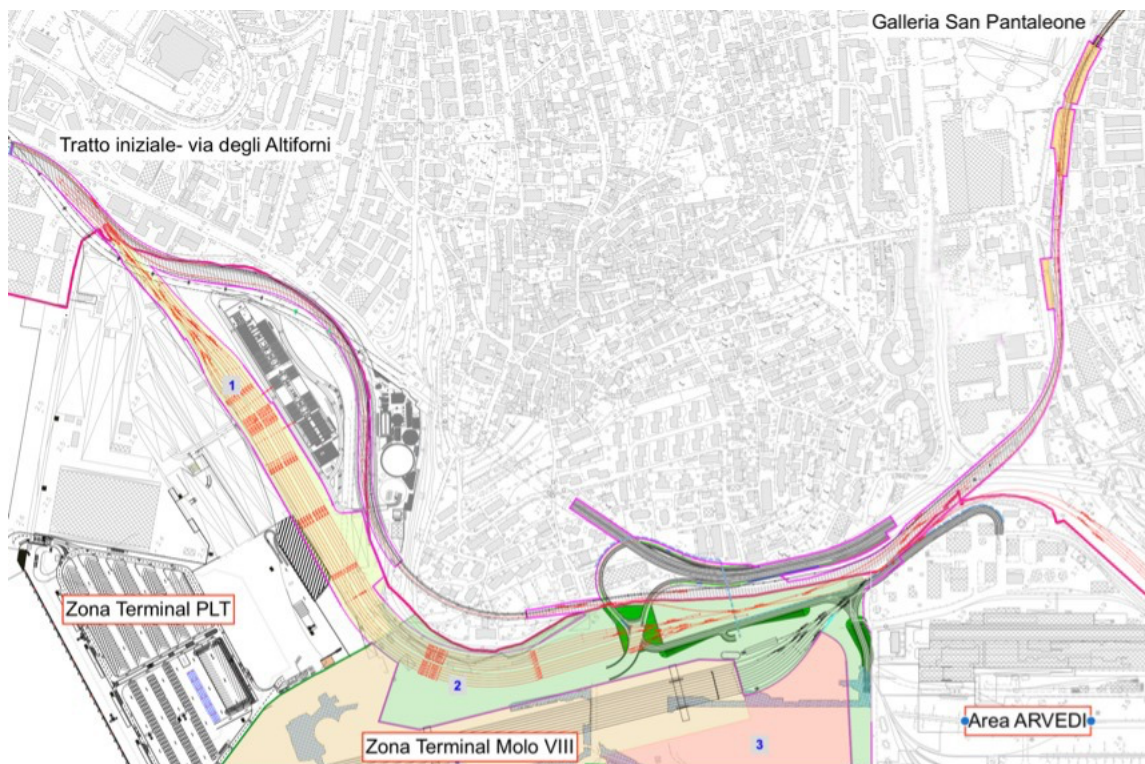


Figura 1-1: Planimetria dell'intervento

Nel complesso il sistema strutturale è costituito prevalentemente da opere di sostegno, funzionali alla formazione del rilevato ferroviario su cui sarà posto l'armamento. Localmente sono previsti degli impalcati, laddove vi è la necessità di recuperare e rendere disponibili i volumi sottostanti il fascio di binari.

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



## **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".



### **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.):

$$R_{ck} \geq 45 \text{ MPa} \quad (\text{C35/45})$$

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.):

$$R_{ck} \geq 45 \text{ MPa} \quad (\text{C35/45})$$

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.):

$$R_{ck} \geq 55 \text{ MPa} \quad (\text{C45/55})$$

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.):

$$R_{ck} \geq 30 \text{ MPa} \quad (\text{C25/30})$$

La miscela sarà confezionata secondo le caratteristiche della **classe di esposizione XS3**, così come definita dalla Norma UNI EN 206/14 e UNI 11104/16. La miscela sarà 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.

### **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

$f_{yb} \geq 640 \text{ N/mm}^2$

$f_{tb} \geq 800 \text{ N/mm}^2$





## **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 l'effetto del carico ferroviario è stato stimato e semplificato in 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

	Estensione delle infrastrutture comuni per lo sviluppo del Punto Franco Nuovo nel porto di Trieste - CUP: C94E21000460001  Relazione tecnica opere civili ferroviarie	Pag. 9 di 33
---	---	--------------

- Nelle fasi costruttive delle opere di sostegno, va assunto un sovraccarico variabile applicato a monte delle stesse di almeno 10 kN/mq

#### 4.2.3 Carichi variabili orizzontali

I carichi variabili orizzontali sono valutati con riferimento alle indicazioni normative; in particolare sono state prese in considerazione le azioni date dal movimento dei treni sui binari (frenamento, accelerazione, serpeggio, azione centrifuga).

#### 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.



## **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



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 T5 – 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 superficiale 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



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 ocraceo, 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 flyschoide 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 ocracee 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 agli elaborati "1GNR\_P\_R\_C-GEO\_1GE\_001\_02\_01 Relazione geologica" e "1GNR\_P\_R\_C-GEO\_1GE\_002\_02\_00 Relazione sulle indagini" per maggiori dettagli.

Le recenti 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 2: planimetria generale delle indagini (2022)

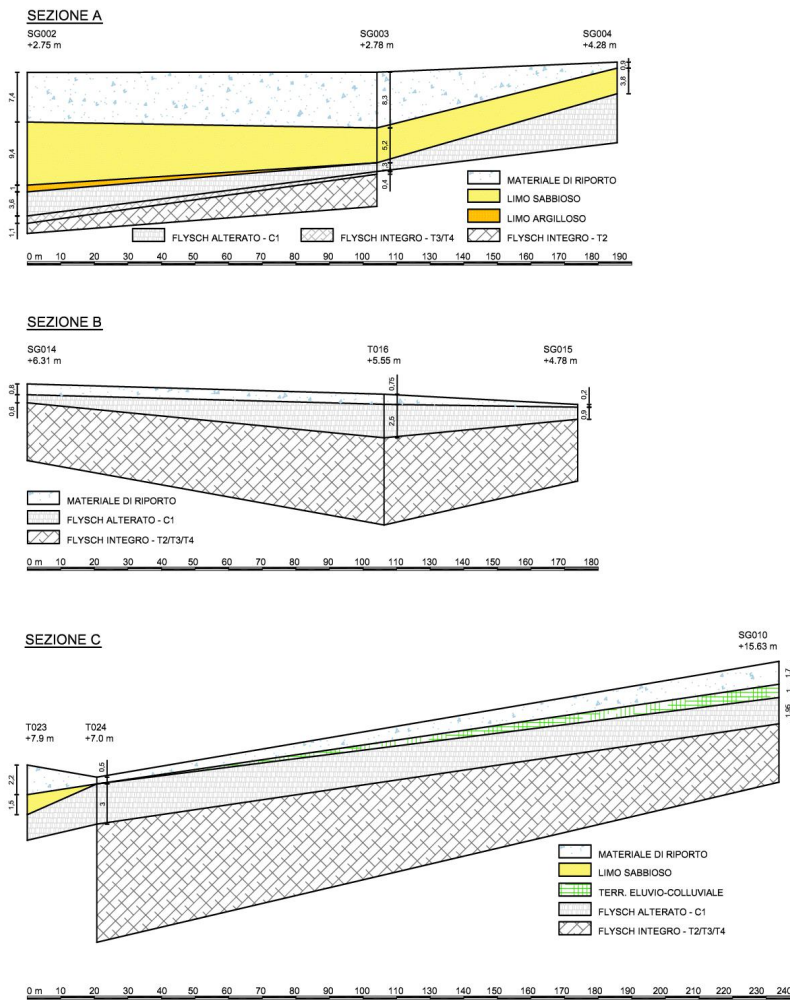


Figura 3: sezione stratigrafiche semplificate

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, $\varphi'$ [°]	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





## 6 LE OPERE D'ARTE

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

### 6.1 Zona Nord

La zona Nord si estende dall'inizio di via degli Altiforni fino all'intersezione del fascio ferroviario con la collina di Servola.

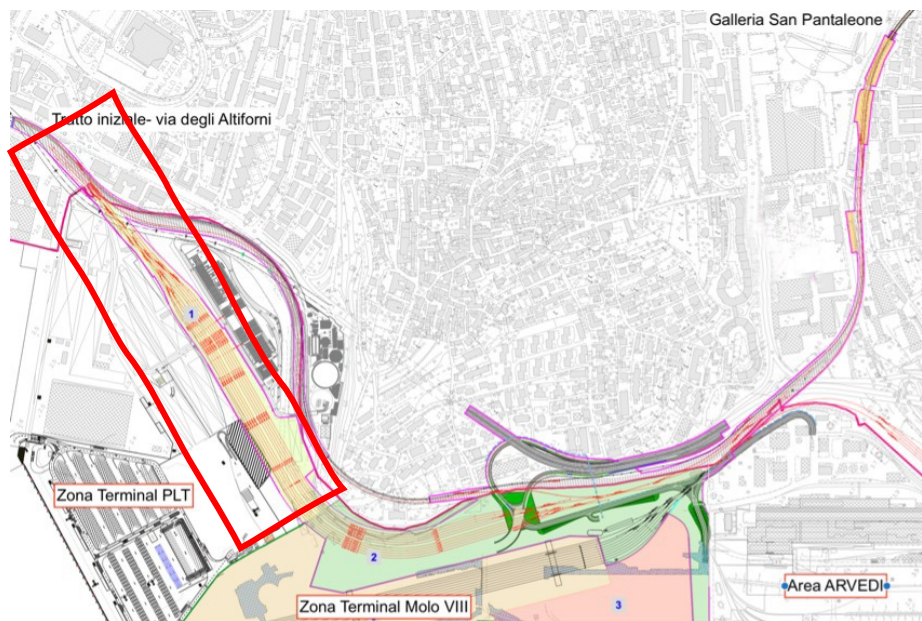


Figura 6-1: planimetria generale, con individuata la "Zona Nord"

Le opere d'arte previste sono suddivise per i singoli tratti lungo cui si sviluppano; partendo da Nord verso Sud, il rilevato ferroviario è sostenuto inizialmente da un muro di sostegno sul lato Est (tratto CD02A), mentre si addossa al rilevato esistente sul lato opposto. In questa prima zona è necessario ricalibrare la viabilità stradale (via degli Altiforni) che risulterà affiancata al rilevato. Il muro si erge rispetto il piano stradale per circa 5.6m, ed è interrotto in corrispondenza dell'intersezione con la viabilità stradale. In questa zona viene sostituito da un semplice impalcato in c.a. (struttura in soletta piena, tratto CD01-A), di luce netta 8.0m, che andrà in appoggio sui due muri che sostengono il rilevato ferroviario. L'altezza minima sotto impalcato è pari a 4.35m.

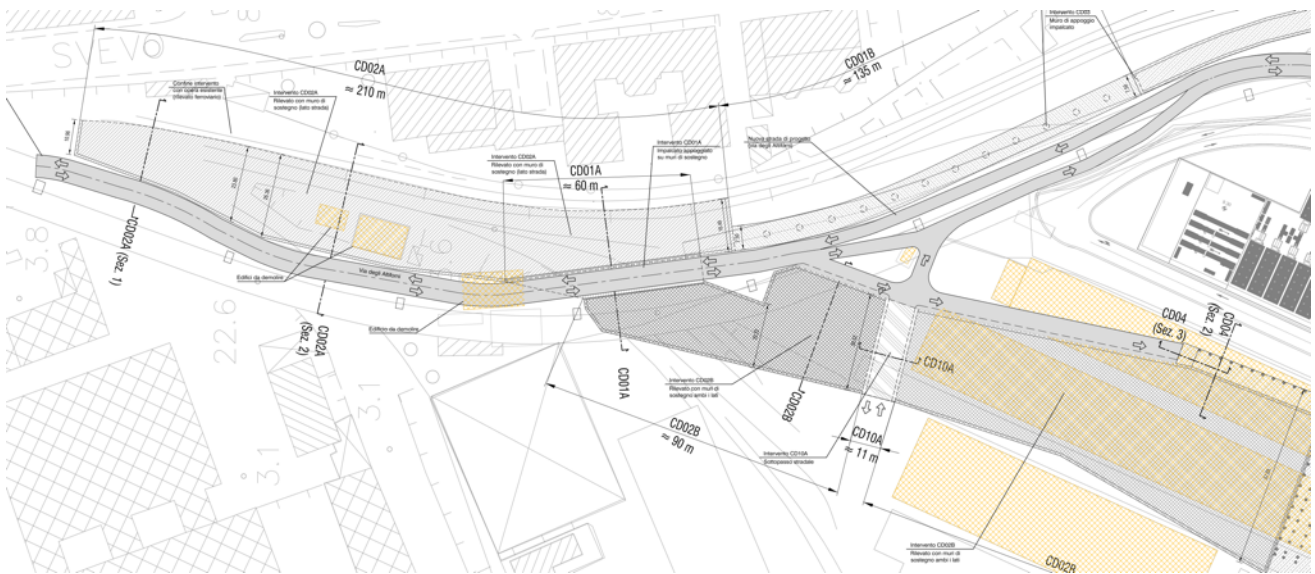


Figura 6-2: zona Nord, parte iniziale

Successivamente il fascio torna a posarsi su un rilevato (tratto CD02B), sostenuto da muri (alti mediamente da 4.2 a 5.15m dal p.c.), disposti planimetricamente in modo da evitare le interferenze con le pile del viadotto della Grande Viabilità Triestina, e da garantire i dovuti spazi a lato dei binari più esterni. Il rilevato si interrompe (per poi continuare subito dopo) in corrispondenza del sedime dell'attuale linea ferroviaria che collega il Terminal della Piattaforma Logistica alla rete RFI. Questa interruzione permette il mantenimento in esercizio della linea ferroviaria in questione durante l'esecuzione dei lavori: una volta dismissibile, si procederà a realizzare una copertura del passaggio (con soletta piena in c.a. di spessore 0.6m) e la conseguente realizzazione di un sottopasso (tratto CD10A), ora stradale, che collegherà via degli Altiforni con l'area del Terminal.

Proseguendo verso Sud, il rilevato termina dopo circa 130m: da questo punto il fascio di binari sarà sostenuto da un impalcato in c.a. continuo (o meglio continuo a tratti, essendo presente dei giunti di dilatazione ogni 50cm circa), poggiato su una maglia di colonne circolari  $\Phi 80\text{cm}$  di lati  $3.5 \times 4.6/6.8\text{m}$  (tratto CD04). Queste sono fondate direttamente a terra mediante un palo coassiale, che raggiunge il sottostante strato flyschoid. Lo spazio così ricavato sarà destinato a parcheggio: verranno ricavate delle corsie di scorrimento e manovra, e una serie di stalli a  $90^\circ$  rispetto le prime. Il parcheggio sarà collegato alla viabilità esistente tramite una corsia di accesso sul lato Nord, e a due punti (uno di ingresso, ed uno di uscita) sul lato Sud.

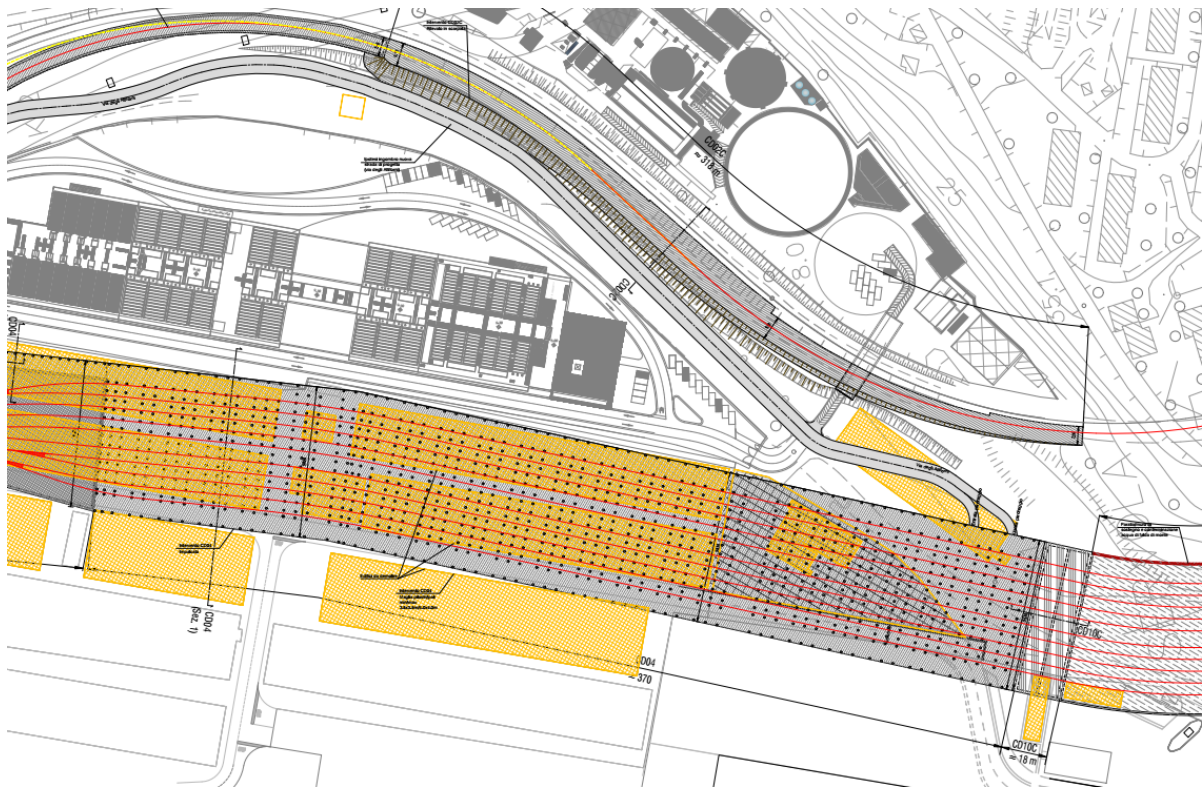


Figura 6-3: Zona Nord – Particolare della zona destinata a parcheggio (tratto CD04).

Particolare attenzione sarà rivolta agli aspetti idraulici: i muri di sostegno saranno dotati di una maglia distribuita di fori di drenaggio, capaci di allontanare le acque eventualmente presenti nel volume. Inoltre, per evitare modifiche al flusso delle acque meteoriche, saranno inseriti alla base dei rilevati, delle tubazioni  $\Phi 200\text{mm}$  in grado di dare continuità tra il lato Est e quello Ovest, ed evitare così ristagni su una delle due zone in caso di forti precipitazioni.

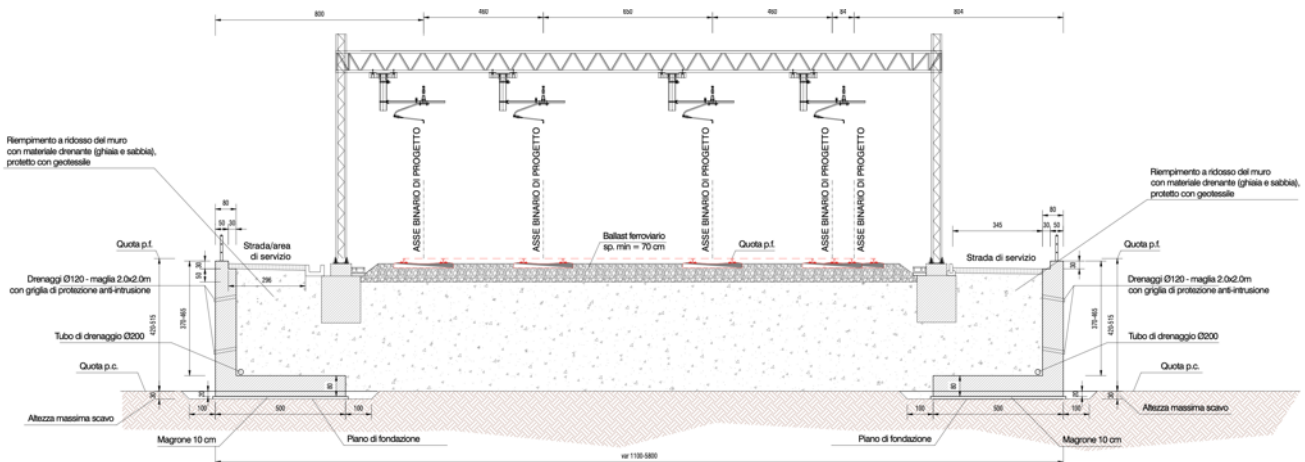


Figura 6-4: sezione tipo in corrispondenza del tratto CD02B



Il parcheggio stesso, essendo posto a quota generalmente inferiore al piano campana circostante, sarà protetto contro l'ingresso di flussi d'acqua. A Ovest lo spazio tra le colonne è tamponato con elementi in laterizio alleggerito, mentre sul lato opposto si realizza un muretto in c.a. alto 0.5m dal p.c., sufficiente ad evitare l'ingresso di acqua nel parcheggio.

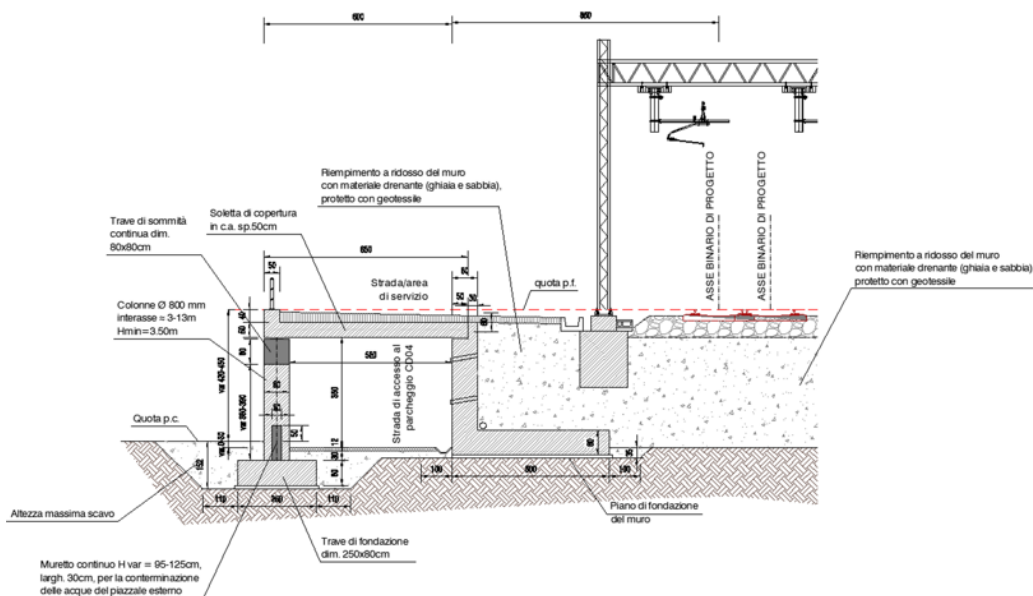



Figura 6-5: Sezione in corrispondenza della corsia di accesso al parcheggio (CD04)

Al termine di questa zona, sul lato Sud, ed in continuità con l'area di parcheggio (che si estende per circa 370m con una larghezza di 60cm circa), è posizionato un vascone interrato (tratto CD10C). Questo è un elemento strutturale in c.a., monolitico, che interessa l'intera larghezza del rilevato, e che funge da volume di accumulo per l'acqua di falda captata dai dreni posti a monte della paratia di conterminazione della collina di Servola, presente nella zona successiva.

### 6.1.1 Scelte progettuali

L'iter progettuale che ha portato alla soluzione proposta deriva dal rispondere ad una serie di richieste di partenza, tra le quali:

- Ridurre al minimo l'ingombro dell'area impegnata dal rilevato ferroviario, per dare maggiori spazi a servizio del Terminal.
- Ridurre al minimo i volumi di scavo, stante il possibile rischio di incorrere in materiale non idoneo al riutilizzo,
- Adottare soluzioni che limitino le manutenzioni nel tempo.
- Adottare soluzioni "robuste" rispetto l'uso a cui saranno sottoposte.


	<p>Estensione delle infrastrutture comuni per lo sviluppo del Punto Franco Nuovo nel porto di Trieste - CUP: C94E21000460001</p> <p>Relazione tecnica opere civili ferroviarie</p>	<p>Pag. 20 di 33</p>
---	--	----------------------

Per permettere la realizzazione del rilevato in terra le tecniche utilizzabili e vagliate come opzioni sono state:

- i) Opera di sostegno a mensola in c.a. e fondazioni superficiali
- ii) Opera di sostegno a mensola in c.a. e fondazioni profonde
- iii) Opera di sostegno in terra rinforzata
- iv) Opera di sostegno in terra armata
- v) Struttura pensile (impalcato)

In termini qualitativi i pro e contro si possono esprimere in forma matriciale:

Tipo	Requisiti			
	Minimo ingombro	Minimo scavo	Minima manutenzione	Interferenze con elementi esterni
Mensola in c.a. + fond. superficiale	Si ottiene il minimo ingombro possibile (muri verticali)	È necessario scavare localmente per l'imposta della soletta di fondazione (rimozione materiale superficiale)	Pulizia periodica dei paramenti.	Nessuna o poco significative.
Mensola in c.a. + fond. profonda	Si ottiene il minimo ingombro possibile (muri verticali)	È necessario scavare localmente per l'imposta della soletta di collegamento (rimozione materiale superficiale) e per la realizzazione dei pali	Pulizia periodica dei paramenti.	Nessuna o poco significative.
Terra rinforzata	Non si ottiene il minimo ingombro possibile (paramento esterno inclinato)	È necessario scavare localmente per l'imposta dello strato di base (rimozione materiale superficiale)	Sfalcio vegetazione almeno semestrale.	Interferenza dei materiali di rinforzo con i plinti dell'impianto di trazione. Interferenza con i muri d'ala dei sottopassi.
Terra armata	Si ottiene il minimo ingombro possibile (paramento verticale)	È necessario scavare localmente per l'imposta dello strato di base (rimozione materiale superficiale)	Pulizia periodica dei paramenti.	Interferenza dei materiali di rinforzo con i plinti dell'impianto di trazione. Gestione nel L.T. della durabilità dei piatti di ancoraggio (correnti vaganti).
Impalcato	Si ottiene il minimo ingombro possibile (paramento verticale)	È necessario scavare localmente per la realizzazione dei pali e degli elementi di collegamento	Pulizia periodica dell'impalcato, controllo dei dispositivi meccanici (giunti, appoggi), elevata superficie esposta all'ambiente.	Possibili interferenze con sottoservizi e canalizzazioni interrate.

	<p>Estensione delle infrastrutture comuni per lo sviluppo del Punto Franco Nuovo nel porto di Trieste - CUP: C94E21000460001</p> <p>Relazione tecnica opere civili ferroviarie</p>	<p>Pag. 21 di 33</p>
---	--	----------------------

Le soluzioni in terra armata e terra rinforzata appaiono non ottimali rispetto i requisiti prestazionali richiesti, e presentano, rispetto la soluzione del muro a mensola in c.a., possibili problemi di interferenza con gli elementi dell'infrastruttura ferroviaria. La soluzione con impalcato presenta un costo per unità di superficie molto maggiore rispetto quella di un rilevato in terra, e maggiori oneri manutentivi.

Per questo motivo la soluzione tecnica adottata, ove possibile, è proprio quella di opere di sostegno rigide in c.a., con fondazione superficiale (per motivi di costo rispetto quelle profonde) ove possibile. Tale scelta permette comunque anche di conseguire un elevato livello di robustezza del sistema strutturale in particolare legati agli effetti di urti (dal piano viabile sottostante, stante la tipologia di mezzi che transita in ambito portuale) o agli effetti di convogli in svio.

Aspetto rilevante è il passaggio dalla zona in rilevato (tratto CD02B) a quella su impalcato (p.e. CD04) su pali. Al fine di ridurre i possibili cedimenti relativi tra le 2 zone si dovranno attuare una serie di strategie (drenaggi verticali, precarica, realizzazione di rinterri con funzione di transizione, monitoraggi,..) atti ad assicurarsi che il cedimento attendibile a lungo termine sia compatibile con le richieste funzionali dell'infrastruttura ferroviaria.

D'altra parte, per la zona CD04 (tratto in cui si prevede di ricavare un'area a parcheggio al di sotto del fascio ferroviario) la scelta di adottare delle fondazioni su pali (in alternativa a platea) è legata a ridurre al minimo i volumi di scavo ed assorbire i forti carichi trasmessi dalle singole colonne (il cui interesse è vincolato agli spazi funzionali dell'area a parcheggio).

## **6.2 Zona Centrale**

La zona Centrale interessa la tratta che si estende dalla collina di Servola fino all'area interessata dagli scambi che portano al nuovo Terminale del molo VIII. È la zona in cui termina lo stazionamento dei convogli ed inizia, sul lato Sud-Est, l'asta di manovra diretta verso la galleria di San Pantaleone.

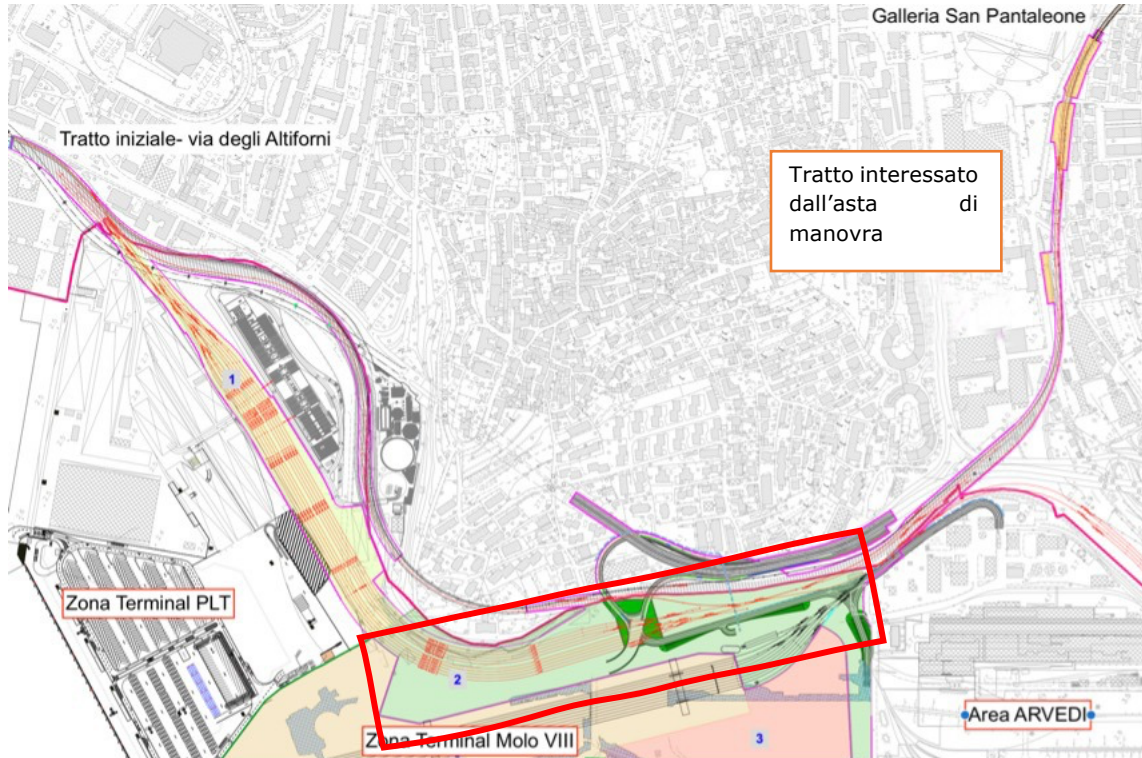


Figura 6-6: planimetria generale, con evidenziata la Zona Centrale

Partendo dal tratto CD10C, il rilevato si sviluppa in curva, andando a interessare il piede della collina di Servola, che dovrà essere scavata e rimossa, e al contempo sostenuta da una specifica opera. Trattasi di una paratia in pali secanti di diametro 0.9m, ad altezza variabile fino ad un massimo di 13.5m (lunghezza del palo di 24m), stabilizzati nella zona più sollecitata da una fila di tiranti passivi in barra autoperforante lunghi 12m, che si vanno ad ammorsare nel flysch integro.







Sul lato opposto, verso Sud, il rilevato è sostenuto da un muro di sostegno a mensola, con altezza massima rispetto il p.c. di 3.9m (tratto CD02D-a); lo stesso muro, procedendo verso Sud-Est, viene "sostituito" da quello che sostiene la rampa stradale di discesa verso il terminal (tratto CD02D-b1), che parte quindi da un'altezza minima di 3.9m, fino a raggiungere quota di 11m circa rispetto il p.c. in corrispondenza dell'impalcato stradale di scavalco.

Sul lato Nord, invece, da questa zona in avanti verso Sud-Est, per circa 430m, non sono previste opere d'arte (ai fini ferroviari almeno), in quanto il rilevato andrà a fermarsi al più contro il rialzo su cui insiste la linea ferroviaria esistente (stazione di Servola).

Proseguendo lungo il lato Sud-Est è presente il muro di sostegno, che da un'altezza massima di circa 13m scende verso un minimo di 1.0m (rispetto il p.c.), seguendo il profilo della rampa stradale (braccio denominato "rampa di ingresso all'area Arvedi"), per poi rialzarsi fino a un massimo di 8.0m circa in corrispondenza dello scavalco del gruppo di binari indirizzato verso il Terminal Molo VIII.

### *6.2.1 Scelte progettuali*

Le opere previste in questo tratto sono sostanzialmente solo opere di sostegno, la cui scelta tipologica deriva dalle considerazioni descritte in precedenza. La significativa variabilità dell'altezza dei manufatti, assieme al presente livello progettuale, ha portato a definire delle sezioni tipo "uniformi" anche per tratti estesi, che potranno essere oggetto di specifica e puntuale ottimizzazione in sede di progetto esecutivo, fermo restando l'obiettivo di rispondere ai principi sovra esposti.

## **6.3 Zona Sud-Est**

La zona Sud-Est prosegue fino a raggiungere la galleria di San Pantaleone, ed è interessata principalmente dalla nuova asta di manovra.

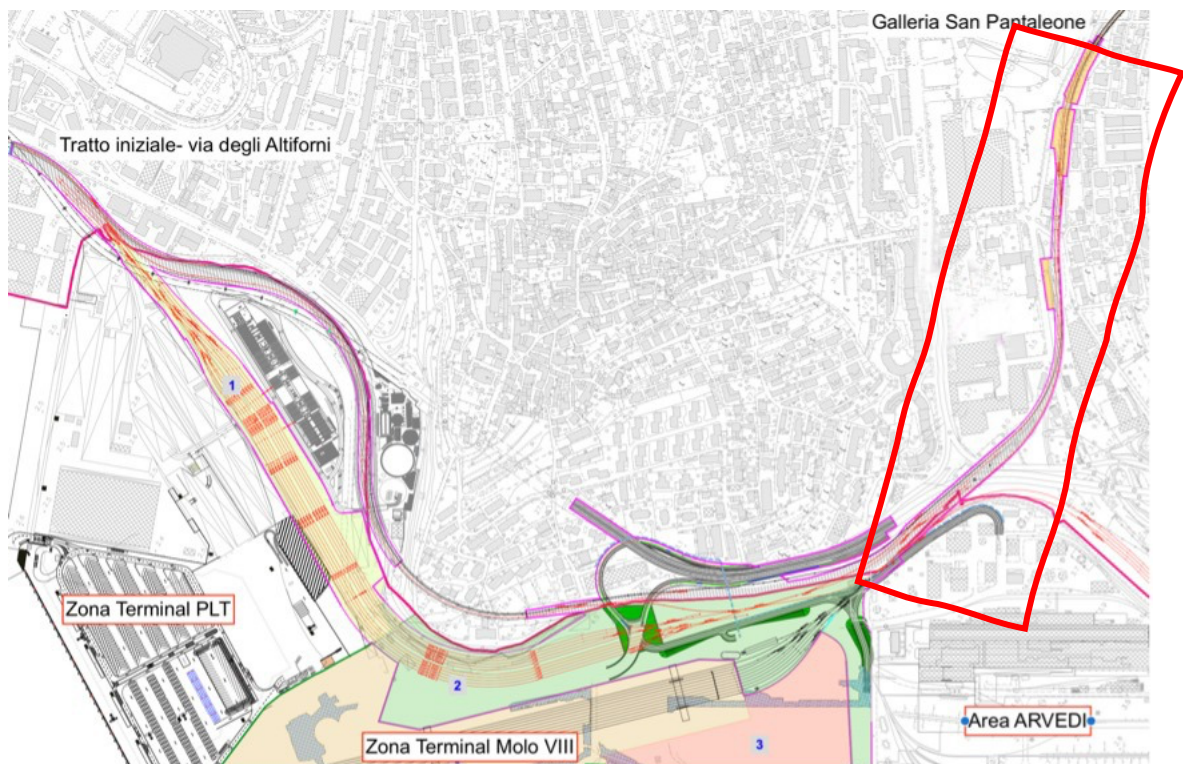


Figura 6-10: planimetria generale, con evidenziata la Sud-Est

Nella zona degli scambi ferroviari (che dirimono il flusso tra la nuova stazione di Servola, il molo VIII, l'asta di manovra, e San Sabba) è prevista la realizzazione di un gruppo di muri di sostegno, di sezione limitata ma che si estendono complessivamente per circa 270m verso Est. Sono posti nel mezzo del gruppo di binari, e hanno la funzione di sostenere i binari posti a quota altimetrica diversa: l'altezza massima è di circa 3.0m, con spessore di 0.5m.

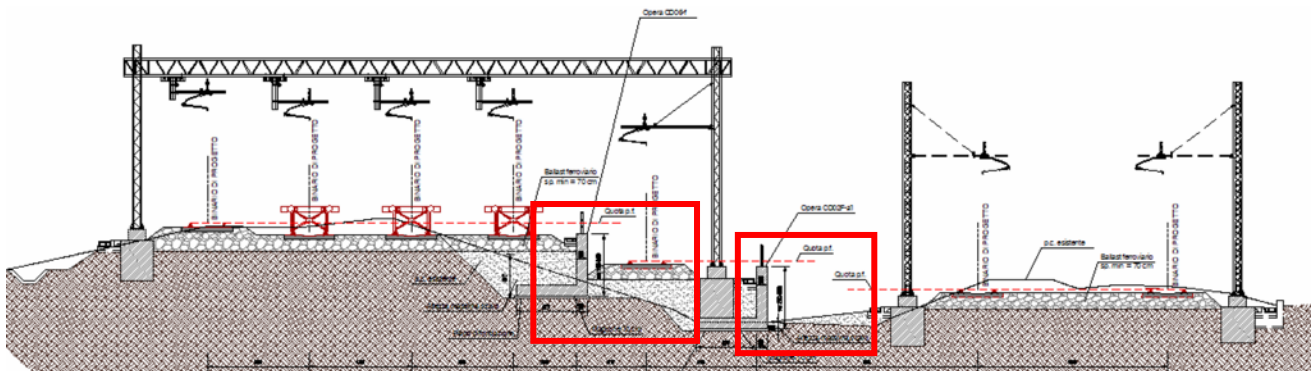


Figura 6-11: estratto dalla sezione tipo Opera CD06-f e CD02F-a1, con evidenziati i muri di sostegno

Proseguendo verso Est i binari si diramano, e restano da sostenere solo quelli della vera e propria asta di manovra; il tratto è interessato da 3 sottopassi esistenti, che saranno ampliati verso Sud, mantenendoli quindi in esercizio. La struttura è costituita da uno scatolare in c.a. monolitico, con dimensioni interne di 6.0x3.0m circa, e spessore delle sezioni di 0.8m. In questo



tratto il rilevato stradale, se non sostenuto dai sottopassi, si amplia verso Sud in semplice scarpata.

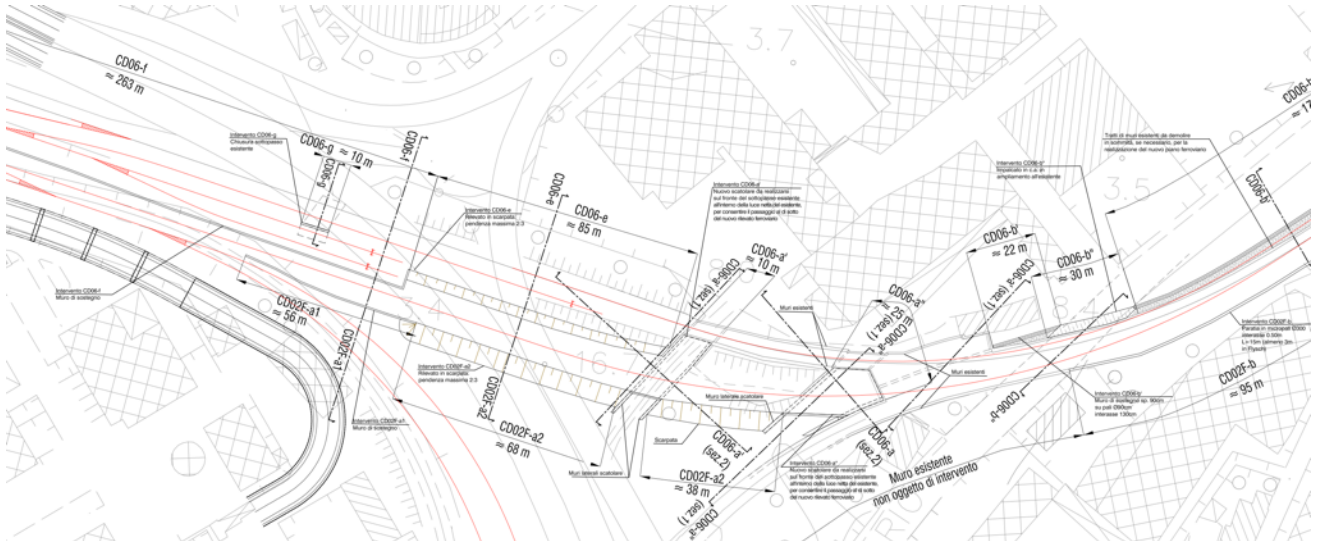


Figura 6-12: planimetria generale: particolare dei sottopassi da ampliare (tratti CD06-a', CD06-a'')

Il sottopasso esistente di via Rio Primario (tratto CD06-b'') va allungato sul lato Est, a causa dello spostamento della linea rispetto la posizione attuale: l'ampliamento, che raggiunge una estensione massima di circa 2.0m, è sostenuto da dei nuovi muri in c.a. allineati a quelli esistenti, e fondati su pali.

Il tratto successivo, fino alla galleria, è allo stato attuale in leggero rilevato inizialmente, e successivamente in trincea, correndo in posizione sostanzialmente parallela a via Rio Primario prima, e a via Miani poi. In questa zona si ha un generale allargamento della sezione verso Nord, con conseguente realizzazione di muri di sostegno per la parte in rilevato, e di una paratia in pali secanti nel tratto in trincea; solo nel tratto iniziale, prima dell'intersezione col sottopasso di via San Sabba, è prevista la realizzazione di una paratia in micropali sul lato Sud, a sostegno di un piazzale esistente, già attualmente rialzato rispetto il piano ferroviario, ma a cui si andrà a togliere parte della scarpata stabilizzante di sostegno.



SEZIONE TIPO TRATTO CD06-b' e CD02F-b  
Scala 1:100

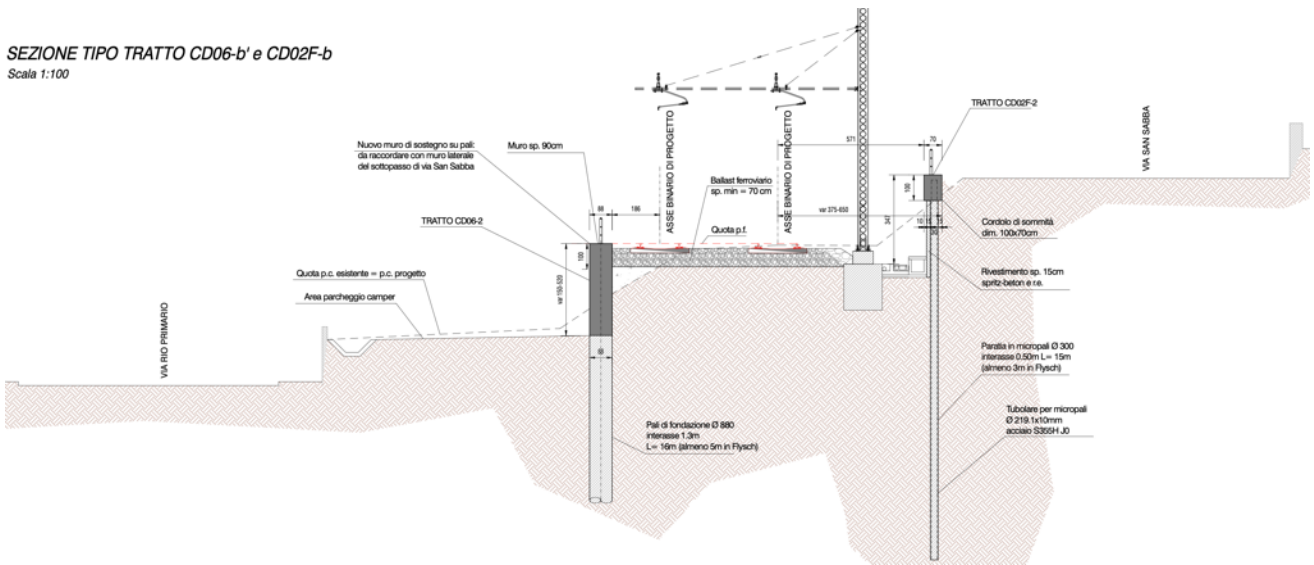


Figura 6-13: sezione tipo tratti CD06-b' e CD02F-b, subito a S-E rispetto via Rio Primario

SEZIONE TIPO TRATTO CD06-c (Sez. 2)

Scala 1:100

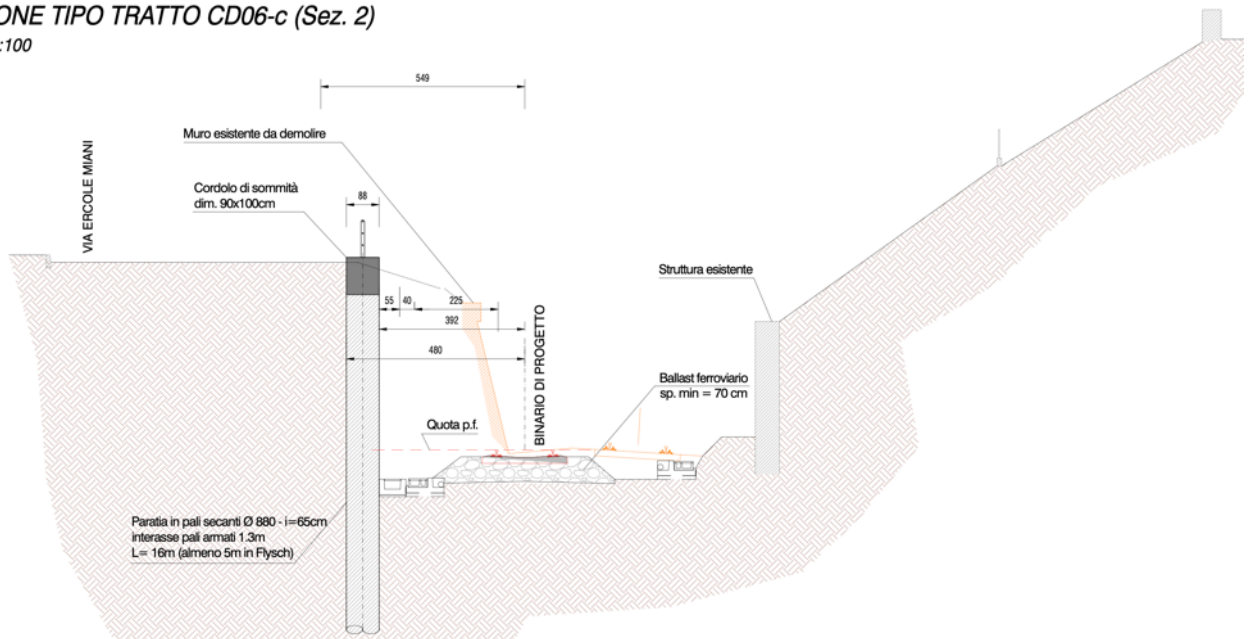


Figura 6-14: sezione tipo tratto CD06-c: tratto in trincea lungo l'asta di manovra

L'allargamento verso Nord nel tratto in rilevato interessa i primi 173m dal sottopasso di via Puschi: qui si prevede la costruzione di un muro di sostegno su pali allineati, con comportamento a mensola, con altezza variabile rispetto al p.c. fino a un massimo di 5.2m.

Nel tratto in trincea l'opera di sostegno è costituita da una paratia in pali secanti, di diametro 880mm e interasse 650mm, con altezza massima di circa 6.0m rispetto il piano ferroviario. In questo tratto è presente un cavalcavia ad arco, che collega via Miani con, appunto, via Puschi.





Nel tratto terminale di intervento è prevista la realizzazione di un nuovo ponte: in questo caso la tipologia costruttiva è fortemente correlata ai vincoli imposti dalle condizioni al contorno. Va infatti garantita un'altezza minima rispetto il piano del ferro, senza rialzare eccessivamente il piano viabile (che deve raccordarsi con la viabilità e le intersezioni esistenti su lato Sud). Per questo motivo la soluzione è quella di un impalcato in acciaio a via inferiore, che permette di limitare gli spessori strutturali e rispondere ai vincoli esterni.

## 6.4 Zona Nord-linea bassa

Nella zona Nord, in corrispondenza del tratto denominato CD01A, la linea ferroviaria si divide: il gruppo principale di binari si indirizza verso la nuova stazione di Servola, mentre un binario prosegue quasi parallelo all'attuale linea alta. Questo binario svolge il compito di "riprendere" l'attuale linea bassa (che serve il Terminal PLT) e portarla in quota.

Quindi, a meno di un primo tratto (verso Nord) in cui il binario si deve raccordare tenendo conto dei nuovi spazi, nella parte terminale lo stesso è sovrapposto alla linea attuale (bassa), ma a quota diversa.

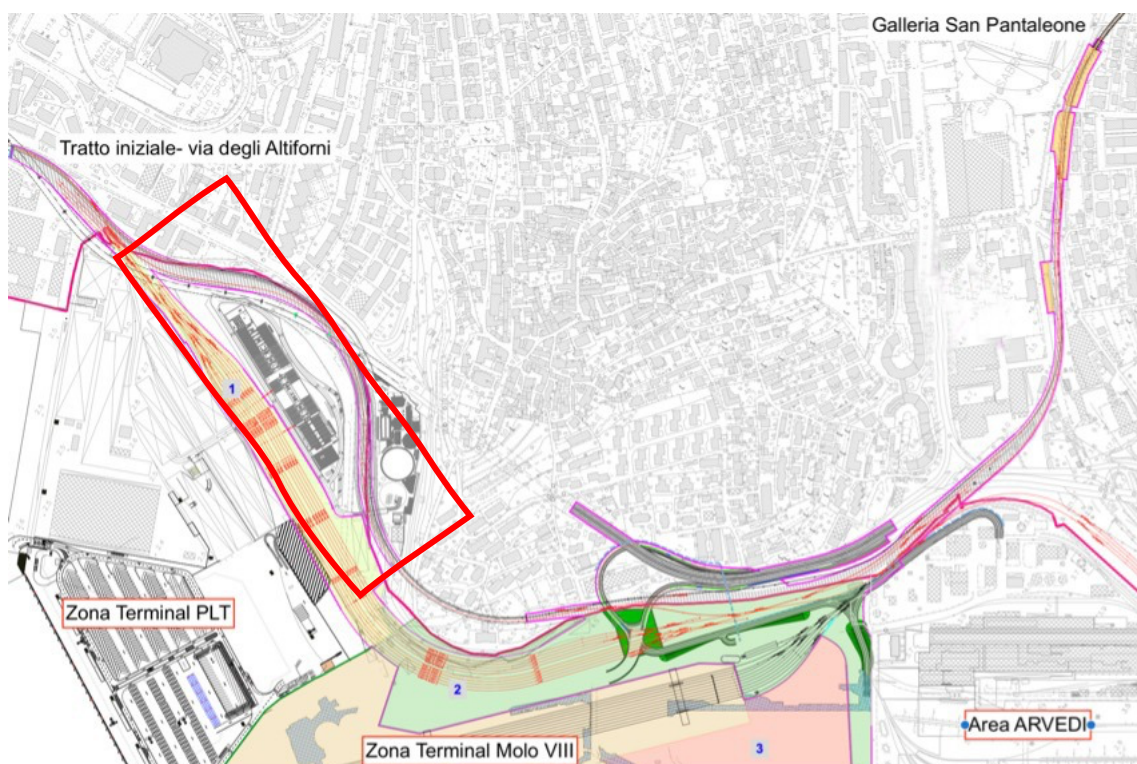


Figura 6-16: planimetria generale, con evidenziata la zona interessata dal rialzo della c.d. "linea bassa"

Partendo da Nord, il primo tratto di questa linea interessa il rilevato ferroviario rientrante nel tratto CD02-A, descritto brevemente nel precedente §6.1. Staccandosi dal rilevato il binario



va a correre su un impalcato in c.a. costituito da pile a sezione circolare (diam. 2.0m), poste ad interasse di 10m circa (tratto CD01B), ciascuna fondata su un gruppo di pali. L'impalcato è in c.a., a soletta piena, con spessore medio di 80cm, direttamente poggiato sulla pila centrale, che in sommità si allarga per permettere un corretto appoggio. Lo sviluppo complessivo del tratto è di 135m, sufficiente a superare la zona di minor disponibilità planimetrica per la viabilità esistente (via degli Altiforni), che con una struttura rialzata rispetto il terreno ha così a disposizione maggiori spazi per la carreggiata e le opere correlate.

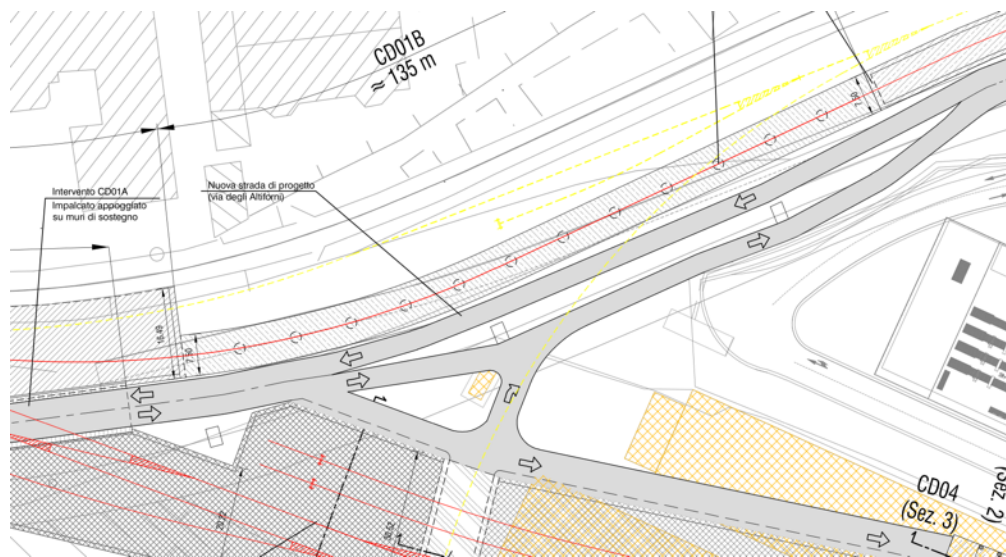


Figura 6-17: planimetria di dettaglio della zona interessata dal tratto CD01B (impalcato ferroviario)

Nel momento in cui la linea ferroviaria si allontana dalla sede stradale prevista, è possibile sostituire l'impalcato con un semplice rilevato sostenuto da muri in c.a. collegati alla base da una soletta continua (sezione ad U, tratto CD03). Questo manufatto si sviluppa per 210m circa, ha larghezza di 7.5m ed altezza variabile fino a un massimo di 5.8m dal p.c.; muri e soletta inferiore sono in c.a., con spessore di 0.8m.

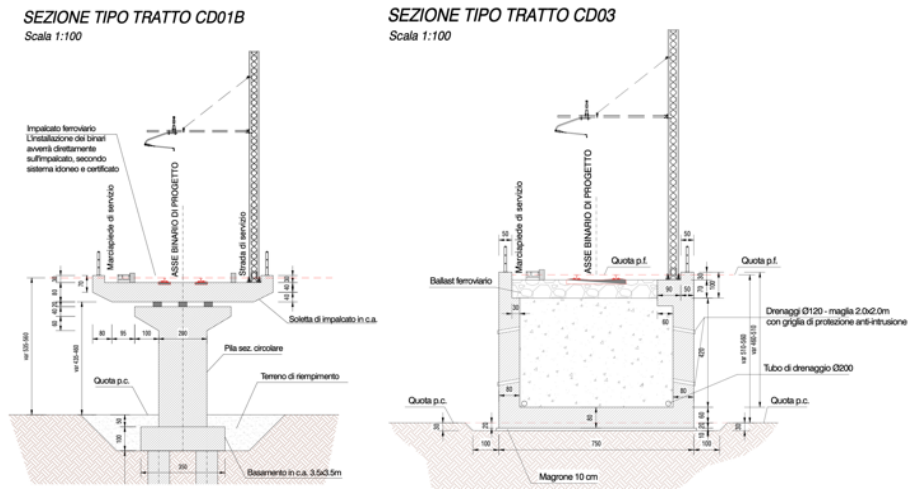


Figura 6-18: Sezioni tipo per tratto CD01B e CD03

La sezione ad U è di per sé autoequilibrata, e pertanto permette la realizzazione dell'opera in prossimità della linea esistente, nel tratto in cui questa corre sopra il ponte ad arco. Nel momento in cui la linea alta esistente va a poggiarsi su rilevato è possibile sfruttare la medesima modalità di formazione del supporto anche per la nuova linea. L'ultimo tratto (CD02C) quindi, che si estende per circa 320m circa, è in semplice rilevato, con quota che va via via riducendosi (rispetto il piano esistente) in quanto ci si va a riportare sul sedime plano-altimetrico della linea attuale.

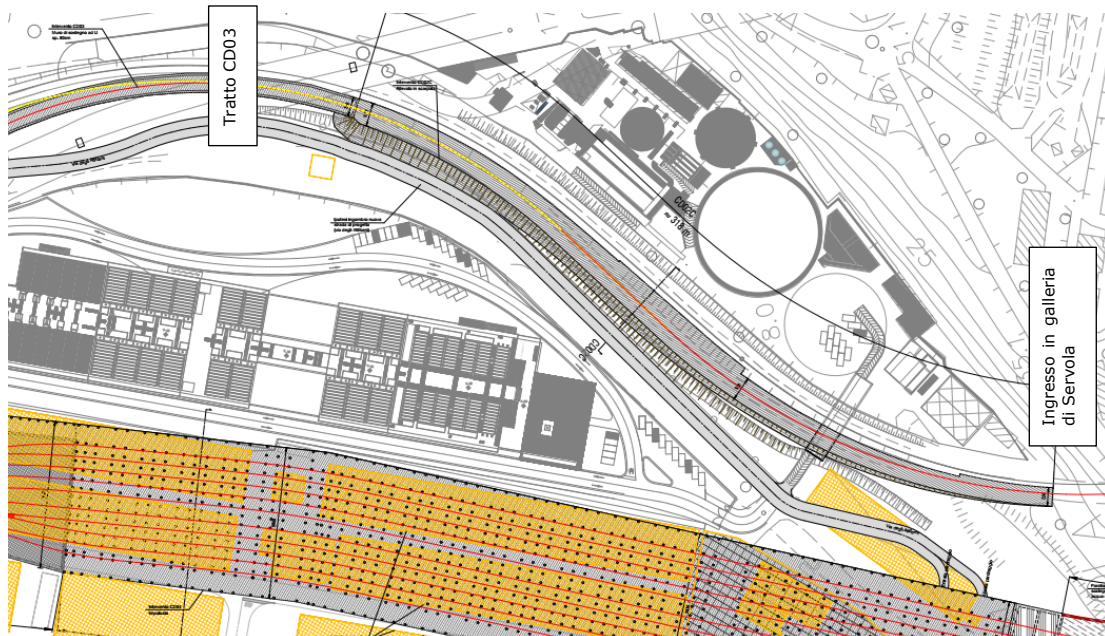


Figura 6-19: planimetria di dettaglio del tratto CD02C





SEZIONE TIPO TRATTO CD02C  
Scala 1:100

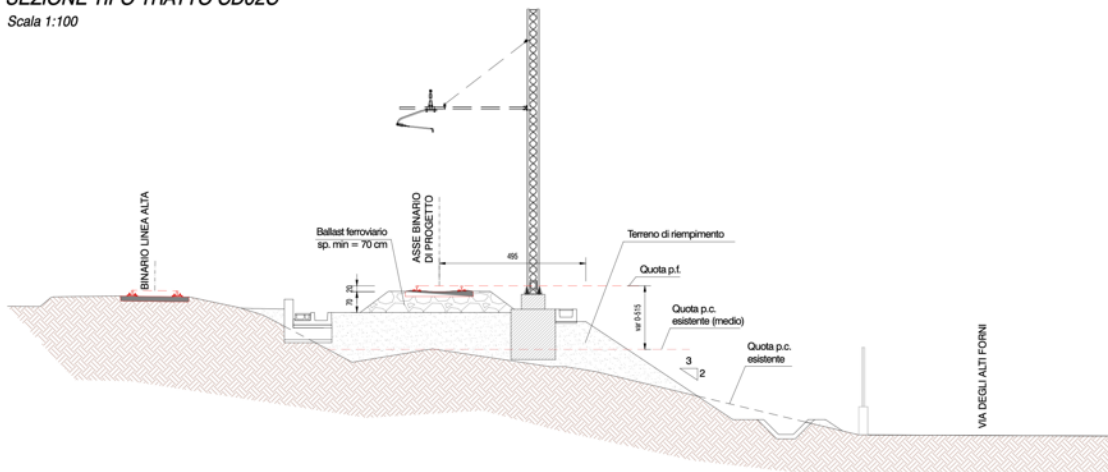


Figura 6-20: sezione tipo in rilevato (tratto CD02C)