

RTI Progettisti:

SYSTRA

SOTECNI
SYSTRA GROUP

architecna
engineering

AEGIS
CANTARELLI + PARTNERS

STUDIO MATTIOLI
Ambiente - Ingegneria - Energia

cooperativa archeologia

PROGETTO DEFINITIVO DELLA SECONDA LINEA TRANVIARIA DI BOLOGNA (TRATTO NORD LINEA VERDE)

ELABORATI GENERALI INQUADRAMENTO DELL'OPERA Relazione Tecnica Generale

COMUNE DI BOLOGNA
SETTORE MOBILITA' SOSTENIBILE E INFRASTRUTTURE

IL DIRETTORE DEL SETTORE
ING. CLETO CARLINI

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO
ING. GIANCARLO SGUBBI

IL DIRETTORE DELL'ESECUZIONE DEL CONTRATTO
ING. MIRKA RIVOLA

SEGRETERIA TECNICA

ing. Barbara Baraldi
arch. Virginia Borrello
ing. Giulio Cimbali
geom. Agnese Fero
ing. Stefania Guadagnini
geom. Luciano Notte
ing. Lisa Ombra
ing. Marco Pesare

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

RESPONSABILE DI COMMESSA
ING. PAOLO MARCHETTI

COORDINATORE TECNICO
ING. ALESSANDRO PIAZZA

SISTEMA TRANVIARIO
ING. SANTI CAMINITI

ARCHITETTURA E INSERIMENTO URBANISTICO
ARCH. SEBASTIANO FULCI DE SARNO

OPERE A VERDE
ARCH. NICOLA CANTARELLI

OPERE STRUTTURALI
ING. STEFANO TORTELLA

SEGNALAMENTO E TELECOMUNICAZIONI
ING. ANGELA TORTORELLA

AMBIENTE
PROF. MATTEO MATTIOLI

SICUREZZA
ARCH. SERGIO MOSCHEO

ARCHEOLOGIA
DOTT. CRISTINA BIGAZZI

BIM MANAGER
GEOM. MIRKO CASAROLI

RESP. INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE
ING. SANTI CAMINITI

IMPIANTI TECNOLOGICI
ING. SIMONE VILLA

STUDI TRASPORTISTICI
ING. ANDREA SPINOSA

VIABILITA' INTERFERENTE E SOTTOSERVIZI
ING. PIETRO CAMINITI

IDRAULICA E IDROLOGIA
ING. ANDREA BENVENUTI

DEPOSITO
ING. GIORGIO COLETTI

ARMAMENTO
ING. MAURIZIO FALZEA

GEOLOGIA E GEOTECNICA
DOTT. GEOL. ANTONIO PAONE

TRAZIONE ELETTRICA
ING. DOMENICO D'APOLLONIO

IMPIANTI MECCANICI
ING. SALVATORE GIUA

COMMESSA	FASE	LOTTO	WBS	DISCIPLINA	TIPO	NUMERO	REV.	SCALA	NOME FILE
B381	C	D	X00	EGG	XXX	RG 01	A	-	B381C-D-X00-EGG-XXX-RG-01-A

REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
A	Ago. 2023	EMISSIONE	RTP	FULCI	S. CAMINITI
B					
C					
D					

Sommario

1. PREMESSA	7
1.1 ITER AMMINISTRATIVO.....	7
1.2 PROGETTAZIONE ESECUTIVA	9
2. INQUADRAMENTO	10
2.1 IL POTENZIAMENTO DELLA RETE URBANA DI BOLOGNA PREVISTO NEL PUMS.....	11
2.2 IL TRASPORTO PUBBLICO	13
2.3 LA RETE “SU FERRO”	13
2.3.1 LA NUOVA LINEA ROSSA	13
3. SECONDA LINEA TRAVIARIA (LINEA VERDE) – TRATTO NORD	17
3.1 IL CORRIDOIO DI PROGETTO	20
4. IL SISTEMA “TRAM”	40
4.1 CARATTERISTICHE DELL’ESERCIZIO DELLA LINEA	42
4.1.1 Assunzioni iniziali	42
4.1.2 Risultati della simulazione	45
5. DIFFERENZE SIGNIFICATIVE RISPETTO AL PFTE APPROVATO	46
5.1 TRACCIATO	46
5.2 SISTEMAZIONI URBANE	48
5.2.1 Capolinea sud – via dei Mille.....	48
5.2.2 via dell’Indipendenza – via Matteotti – via Ferrarese.....	48
5.2.3 Piazza dell’Unità.....	48
5.2.4 capolinea Nord - corticella.....	50

5.3	PARCHEGGIO VIA BASSANELLI	51
5.4	ALIMENTAZIONE ELETTRICA	52
6.	OTTEMPERANZA ALLE PRESCRIZIONI DEL DECRETO DI SCREENING	53
7.	INSERIMENTO URBANISTICO	54
7.1	PREMESSA.....	54
7.2	LINEE GUIDA PER LA PROGETTAZIONE DELLE SISTEMAZIONI URBANISTICHE	54
7.3	MANUFATTI LUNGO LINEA	55
7.3.1	<i>Banchine di fermata</i>	55
7.3.2	<i>Banchina centrale</i>	55
7.3.3	<i>Banchina laterale</i>	56
7.3.4	<i>Finiture di fermate</i>	57
7.3.5	<i>La pensilina</i>	58
7.4	PAVIMENTAZIONI.....	61
7.4.1	<i>Pavimentazione carrabile - Sampietrini</i>	62
7.4.2	<i>Pavimentazione carrabile - BASOLE</i>	63
7.4.3	<i>Sede traNviaria - Inerbita</i>	64
7.4.4	<i>CIGLI STRADALI E AIUOLE - ELEMENTI IN GRANITO CHIARO o cls</i>	64
7.5	SISTEMA VERDE	65
7.6	PARCHEGGI	70
8.	ANALISI TRASPORTISTICA	76
8.1	LA DOMANDA GIORNALIERA E ORARIA SULLA LINEA DEL TRAM	76
8.2	EFFETTI SULLA MOBILITÀ PRIVATA	79

8.3	DIMENSIONAMENTO DEL PARCO	80
9.	GEOLOGIA E GEOTECNICA	82
10.	IDRAULICA E IDROLOGIA	85
10.1	COMPATIBILITA' IDRAULICA DELLE LINEE TRANVIARIE	86
10.1.1	<i>Compatibilità idraulica dell'AREA RICOVERO MEZZI</i>	<i>87</i>
10.1.2	<i>Compatibilità idraulica del Nuovo ponte sul Canale navile</i>	<i>88</i>
10.1.3	<i>Compatibilità idraulica dei sottopassi e sotto stazioni elettriche ...</i>	<i>89</i>
10.1.4	<i>Compatibilità idraulica dei Nuovi Parcheggi</i>	<i>89</i>
10.2	DRENAGGIO DI PIATTAFORMA.....	90
11.	SISMICA	93
11.1	INQUADRAMENTO SISMICO	93
11.2	STRATEGIA PROGETTUALE	93
11.3	ACCELERAZIONI ORIZZONTALI DA NORMATIVA	93
11.4	DETERMINAZIONE DELLA CATEGORIA DI SUOLO	95
11.5	STABILITÀ DEL SITO NEI CONFRONTI DEI FENOMENI DI LIQUEFAZIONE.....	96
12.	ARCHEOLOGIA.....	98
13.	AMBIENTE.....	104
13.1	LINEE GUIDA DI APPLICAZIONE DEI CRITERI AMBIENTALI MINIMI.....	105
13.2	CANTIERIZZAZIONE	106
13.3	ANALISI DEGLI STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE TERRITORIALE, AMBIENTALE E DI SETTORE.....	106

13.4	L'AMBIENTE: RICOSTRUZIONE DELLO STATO ATTUALE, DELLE PROBLEMATICHE E DELLE MISURE DI CONTENIMENTO DEGLI IMPATTI	107
13.4.1	<i>Mobilità e traffico</i>	108
13.4.2	<i>Atmosfera</i>	108
13.4.3	<i>Rumore</i>	109
13.4.4	<i>Vibrazioni</i>	111
13.4.5	<i>Acque superficiali e sotterranee</i>	112
13.4.6	<i>Suolo e sottosuolo</i>	115
13.4.7	<i>Paesaggio e patrimonio storico/culturale</i>	118
13.4.8	<i>Ecosistemi, vegetazione e flora, fauna</i>	118
13.4.9	<i>Energia ed Elettromagnetismo</i>	120
13.4.10	<i>Sistema insediativo, condizioni socio-economiche e salute pubblica</i> 122	
13.4.11	<i>Impatti ambientali e misure di mitigazione</i>	122
	14. INTERFERENZE SOTTOSERVIZI	132
	15. IMPIANTI ELETTROFERROVIARI	135
15.1	ALIMENTAZIONE ELETTRICA	135
15.2	SISTEMA DI ALIMENTAZIONE DELLA TRAZIONE ELETTRICA	136
15.3	DISTRIBUZIONE BT	137
15.4	SISTEMA COMPLESSIVO DI MESSA A TERRA	137
15.5	MISURE DI CAMPO ELETTRICO ESTERNO	138
15.6	LINEA DI CONTATTO	139
15.7	CIRCUITO DI RITORNO E CIRCUITO DI TERRA	140

15.8	SISTEMA DI SEGNALAMENTO, LOCALIZZAZIONE E PRIORITÀ SEMAFORICA	140
15.9	TELECOMUNICAZIONI	141
15.10	SISTEMA DI TELECOMANDO/TELECONTROLLO	148
16.	IMPIANTI CIVILI	149
16.1	IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE DI LINEA	149
16.2	IMPIANTI ELETTRICI DI LINEA	151
16.3	IMPIANTI MECCANICI.....	152
17.	CANTIERIZZAZIONE	153
17.1	MICROCANTIERI	157
18.	STRUTTURE.....	163
18.1	SOTTOVIA VIA MAZZA.....	163
18.2	SOTTOATTRAVERSAMENTO FERROVIA.....	167
18.3	SOTTOATTRAVERSAMENTO TANGENZIALE	177
18.4	NUOVO PONTE SU CANALE NAVILE.....	180
18.5	SCATOLARE CAPOLINEA STAZIONE CORTICELLA (cAPOLINEA NORD) 182	
19.	ARMAMENTO TRANVIARIO	186
19.1	SEZIONE TIPO L0	189
19.2	SEZIONI TIPO L2 E L3.....	189
19.3	SEZIONE TIPO LP “LIVELLO PERMEABILE”	191
20.	RICOVERO MEZZI VIA SHAKESPEARE	193
20.1	FUNZIONI INTERNE	195

20.2	EDIFICI ED AREE FUNZIONALI	195
20.2.1	<i>Rimessa tram</i>	195
20.2.2	<i>Edificio tecnico di servizio</i>	195

1. PREMESSA

Il progetto della tratta nord della Seconda linea tranviaria della città di Bologna (linea Verde), si inquadra come secondo passo per la realizzazione della nuova rete a servizio del capoluogo Emiliano, che trova le sue motivazioni nel “Piano Urbano della Mobilità Sostenibile” (PUMS) della Città Metropolitana di Bologna, adottato nel novembre 2018 e definitivamente approvato il 29-12-2019, divenendone un primo fondamentale elemento attuativo.

La redazione del Piano Urbano della Mobilità Sostenibile metropolitano di Bologna nasce dalla necessità di offrire soluzioni innovative alle criticità del sistema della mobilità del territorio e rispondenti a una duplice e complementare esigenza di carattere etico e normativo: ridurre le emissioni di gas climalteranti e l’incidentalità stradale, assicurando un efficientamento dei sistemi di mobilità sostenibili e agevolando la progressiva decarbonizzazione del parco veicolare e la transizione verso l’elettrico.

La crescente attenzione dell’opinione pubblica verso il tema della sostenibilità ha posto l’obbligo di proporre un nuovo paradigma di mobilità fondato sul miglioramento dei servizi di trasporto pubblico collettivo e sulla loro integrazione con reti più estese e più sicure dedicate alla mobilità ciclabile e pedonale, nell’ottica di assicurare una diffusa coesione territoriale ed un’effettiva inclusione sociale.

Al tempo stesso i limiti fissati dalla normativa vigente in materia di riduzione delle emissioni inquinanti da traffico hanno sancito la necessità di introdurre politiche di mobilità e misure concrete che recepiscano gli obiettivi indicati per il conseguimento di tali ambiziosi obiettivi, declinandoli non solo al Comune di Bologna ma all’intero territorio metropolitano.

1.1 ITER AMMINISTRATIVO

La seconda linea tranviaria (Linea Verde) della città di Bologna compie il primo passo verso la sua realizzazione con la firma, in data 27 aprile 2020 dell’atto, siglato tra Il Comune di Bologna e l’RTP di progettazione costituita da SYSTRA S.A. (mandataria) con

SYSTRA-SOTECNI S.p.A., ARCHITECNA ENGINEERING s.r.l., STUDIO MATTIOLI s.r.l., AEGIS s.r.l. di CANTARELLI & PARTNERS, COOPERATIVA ARCHEOLOGIA (mandanti), per l'“INTEGRAZIONE DEL CONTRATTO D'APPALTO REP. N. 212699/2018 RELATIVO AL SERVIZIO DI PROGETTAZIONE DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA DELLA PRIMA LINEA TRANVIARIA DI BOLOGNA (LINEA ROSSA)”, con il quale il “*Il Comune di Bologna, in esecuzione della determinazione dirigenziale Repertorio DD/2019/8812 (DD/PRO/2019/9558, P.G. n. 563132/2019) esecutiva dal 17/12/2019, affida le ulteriori prestazioni relative al servizio di progettazione, consistenti nella progettazione di fattibilità tecnica ed economica per la realizzazione della diramazione verso Corticella della Linea Rossa*”

La prima fase della progettazione si è conclusa nel Gennaio 2021 con la consegna da parte dell'RTP incaricata della documentazione utile al Comune di Bologna per poter partecipare alla gara, indetta dal Ministero delle Infrastrutture (MIT) con scadenza 15-01-2021, per il reperimento dei fondi necessari per la realizzazione della linea.

A questa prima consegna è seguita una fase, lunga ca. 6 mesi, di verifica da parte della stazione Appaltante di quanto consegnato, e contemporaneamente una attività di divulgazione e dibattito pubblico sulla nuova infrastruttura tranviaria, in modo da procedere ad una larga condivisione delle scelte fatte nelle prime fasi progettuali.

Il risultato è stato una seconda versione aggiornata del PFTE che è stata dalla RTP ufficialmente consegnata al Comune di Bologna nel febbraio 2022, per avviare la procedura di Screening Ambientale per l'assoggettabilità a V.I.A. dell'opera, conclusasi con la Determina della Regione Emilia e Romagna, Num. 6531 del 27/03/2023, nella quale è stato determinato di *escludere dalla ulteriore procedura di V.I.A., ai sensi dell'art. 11, comma 1, della legge regionale 20 aprile 2018, n. 4, il progetto “seconda linea tranviaria di Bologna (Tratto Nord Linea Verde - Direttrice Corticella-Castel Maggiore)”, localizzato nei comuni di Bologna e Castelmaggiore (BO) proposto dal Comune di Bologna, per le valutazioni espresse in narrativa, a condizione che vengano rispettate le 26 condizioni ambientali di riportate nella relazione finale allegata alla delibera.*

In data 27 luglio 2023, con successive determinazioni dirigenziali P.G. n. 286635/2023 (n. proposta DD/PRO/2023/5304, Rep. n. DD/2023/6179) esecutiva dal 21/04/2023, e P.G. n. 340750/2023 (n. proposta DD/PRO/2023/7724 Rep. n. DD/2023/7150) esecutiva dal 12/05/2023, è stata approvata la modifica contrattuale ex art. 106 co. 1 lett. b) del D.Lgs 50/2016 e ss.mm.ii. relativa al servizio di progettazione definitiva dell'intervento PNRR Investimento 4.2. denominato "realizzazione della seconda linea tranviaria di Bologna (tratto nord direttrice Corticella-Castel Maggiore Linea Verde), in ottemperanza alle specifiche richieste contenute nella succitata delibera di approvazione della procedura di screening ambientale.

1.2 PROGETTAZIONE ESECUTIVA

Per quanto attiene la successiva fase di progettazione esecutiva e la realizzazione dei lavori, si dovrà tenere conto delle indicazioni che emergeranno dalla Conferenza dei Servizi che verrà attivata sul progetto definitivo consegnato.

Il progetto esecutivo verrà redatto, nei tempi fissati dall'Amministrazione, secondo le indicazioni del DPR 207/2010, "Sezione IV - Progetto esecutivo - Art. 33. Documenti componenti il progetto esecutivo".

I tempi per la realizzazione dell'opera saranno fissati nel Cronoprogramma delle attività che verrà sviluppato nella progettazione esecutiva senza trascurare i vincoli temporali dettati dal P.N.R.R. con i cui fondi l'opera verrà realizzata.

2. INQUADRAMENTO

La Città metropolitana di Bologna ha una popolazione di poco più di 1 milione di abitanti. Al centro del suo territorio, sviluppato sulla traccia della via Emilia che lo attraversa trasversalmente, è collocata la città di Bologna, con una popolazione di ca. 400.000 abitanti, fulcro di tutte le principali infrastrutture e arterie di traffico di rilievo regionale e nazionale: dalla città di Bologna si diramano infatti i più importanti assi autostradali e ferroviari del nord, facendo del capoluogo emiliano uno dei principali nodi di mobilità nazionale.

Su Bologna convergono le autostrade A1 e A14 (in direzione est-ovest), mentre lungo la direttrice nord-sud il territorio è interessato dalla A13 e dal proseguimento della A1. La città è inoltre considerata uno dei nodi ferroviari più importanti del settentrione. Infine, con centro in Bologna, si sviluppa in maniera radiale e in otto direzioni differenti una rete su ferro che rappresenta l'ossatura del Servizio Ferroviario Metropolitano.

Anche la rete delle strade statali e provinciali gravita su Bologna, ma si sviluppa prevalentemente nel territorio di Pianura, creando una rete a maglie quadrate parallela alla via Emilia.

Il capoluogo di Regione svolge chiaramente un ruolo guida per l'intero territorio regionale e nazionale e sul suo territorio converge anche il grosso della mobilità privata su gomma dell'area; pertanto interesse di tutte le amministrazioni susseguitesi a Bologna è sempre stato lo sviluppo di maggiori e migliori "connessioni", non solo da e verso la zona centrale della città, (anche se è il bisogno prioritario) ma anche da e verso i servizi (ad esempio quelli ospedalieri) e i centri attrattori presenti nel territorio urbano e metropolitano, il potenziamento del SFM (aumentando la frequenza e la capienza dei treni ed introducendo l'unico titolo di viaggio) e miglioramento della connessione alle fermate e quindi dell'intermodalità, il potenziamento e valorizzazione dei grandi poli logistici bolognesi.

2.1 IL POTENZIAMENTO DELLA RETE URBANA DI BOLOGNA PREVISTO NEL PUMS

Il primo fondamentale aspetto che il PUMS Metropolitano di Bologna affronta riguarda la definizione di una nuova rete portante del Trasporto Pubblico Metropolitano in grado di superare i limiti dell'attuale sistema e di offrire un'alternativa competitiva all'uso dell'auto privata, anche per spostamenti non sistematici ed estesa al territorio metropolitano, in grado di garantire maggiore attrattività e una sistematica connessione durante tutto l'arco della giornata con i servizi di eccellenza e i nodi della grande rete. Coerentemente alle strategie individuate dal PUMS occorre quindi sviluppare il tema del potenziamento della rete portante del trasporto pubblico urbano di Bologna, superando i limiti di capacità dell'offerta attuale, al fine di soddisfare i consistenti incrementi di domanda attesi da trasferimento modale. In quest'ottica, si procederà al passaggio dal sistema su gomma/filoviario attuale ad un sistema di livello superiore per capacità, velocità e qualità sia reale che percepita.

La programmazione vigente ha già definito, con il progetto PIMBO, un'evoluzione della rete delle autolinee portanti esistente verso una nuova e più estesa rete filoviaria che, integrandosi con il sistema "Crealis" tra Bologna e San Lazzaro attualmente in fase di collaudo, intende garantire non tanto una maggiore capacità del servizio, quanto benefici ambientali diretti ed una maggiore integrazione con la rete SFM.

Tuttavia, considerando la tempistica per l'implementazione del progetto PIMBO, e l'obiettivo della elettrificazione completa della rete urbana e della crescita della sua capacità, la proposta contenuta nel PUMS è quella di una progressiva transizione verso la tecnologia tranviaria per la componente della rete portante metropolitana interna alla città Bologna.

Riconosciuta l'esigenza di una progressiva transizione verso la tecnologia tranviaria, il PUMS ha definito un assetto "a regime" che prevede 4 linee interconnesse tra loro (Figura 1), da svilupparsi in un orizzonte temporale superiore a quello del Piano (quindi oltre il 2030):

- Linea Tram Rossa: Terminal Borgo Panigale – CAAB;
- Linea Tram Gialla: Casteldebole – Rastignano;
- Linea Tram Verde: Dep. Due Madonne – Corticella;
- Linea Tram Blu: Casalecchio – San Lazzaro (attuazione prevista oltre lo Scenario PUMS - 2030).

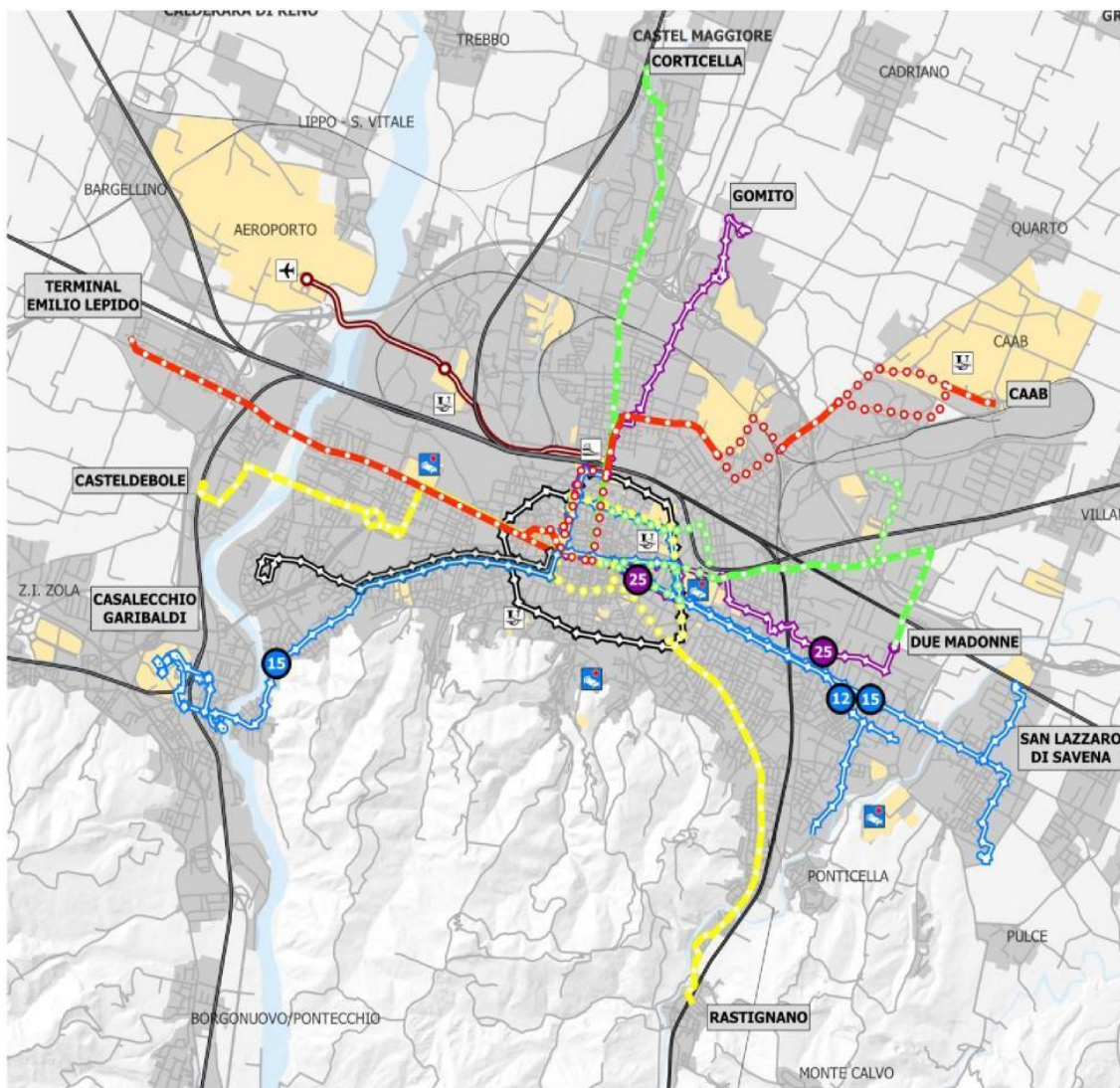


Figura 2.1 - Assetto a regime della rete tranviaria (oltre lo Scenario PUMS - 2030)

Il primo passo verso la realizzazione della rete tranviaria della città di Bologna è stato fatto con la progettazione e inizio attività realizzative della “Linea Rossa” nella sua

configurazione originaria dal Capolinea di Borgo Panigale, nella zona ovest della città, ai due capolinea “Michelino” e “Facoltà di Agraria” collocati rispettivamente nella zona nord-est ed est della città.

2.2 IL TRASPORTO PUBBLICO

Il trasporto collettivo metropolitano comprende il Servizio Ferroviario Metropolitano ed il servizio di trasporto collettivo suburbano ed extraurbano su gomma.

Complessivamente la rete totale (gomma e ferro) si estende per oltre 3.000 km. ed è percorsa da circa 3.110 corse al giorno (2.700 TPL su gomma e 410 su ferro).

Attualmente il servizio è garantito sia da bus tradizionali che da vetture filoviarie che soddisfano circa la metà degli spostamenti giornalieri e hanno frequenze nelle ore di punta anche molto elevate. Nonostante ciò, nelle ore di punta e di maggiore congestione complessiva, alcune linee soffrono più di altre un sovraffollamento dei mezzi, con effetti non solo sulla qualità del servizio, ma anche sulla sua regolarità ed efficienza, creando anche fenomeni di accodamento.

2.3 LA RETE “SU FERRO”

Gli obiettivi della politica locale per quanto riguarda la mobilità dell’area di Bologna sono sempre stati rivolti ad offrire sistemi di trasporto che rispondessero di volta in volta alle esigenze economiche, sociali e ambientali della comunità e garantissero un’elevata mobilità e integrazione tra i vari mezzi di trasporto.

Non stupisce quindi che l’interesse di Bologna per i sistemi di trasporto su ferro sia sempre stata presente nella programmazione comunale: prova ne sono sia lo sviluppo di una precedente rete tranviaria sia il tentativo ormai ventennale di iniziare il percorso di sviluppo di una nuova forte rete di trasporto pubblico su rotaia.

2.3.1 LA NUOVA LINEA ROSSA

Come sopra riportato, e descritto nel PUMS della città Metropolitana di Bologna, nel tentativo di migliorare la mobilità cittadina e ridurre gli impatti sul clima, il primo passo

verso la realizzazione della nuova rete di trasporto pubblico di massa su ferro è rappresentato dalla realizzazione della prima linea tranviaria di Bologna (Linea Rossa).

La linea attraversa da ovest ad est tutta la città, mettendo in comunicazione i poli attrattori più importanti della città: Quartiere Borgo Panigale-Reno, Ospedale Maggiore, Stazione Centrale Ferroviaria, Distretto “Fiera”, Zona Pilastro, IL CAAB, F.I.CO.

Nel dettaglio il tracciato trae origine dal capolinea ovest situato a Borgo Panigale dove è previsto anche un importante nodo di interscambio tra sistemi modali differenti (tram, Bus extraurbani e auto private), e si sviluppa lungo l’asse delle vie Marco Emilio Lepido, Emilia Ponente e Saffi fino al centro storico di Bologna; da qui prosegue verso nord in direzione della Stazione Bologna Centrale FS, del “Fiera District”, della via San Donato e della zona Pilastro, per giungere all’altro capolinea est nei pressi del Polo Funzionale CAAB e della facoltà di Agraria.

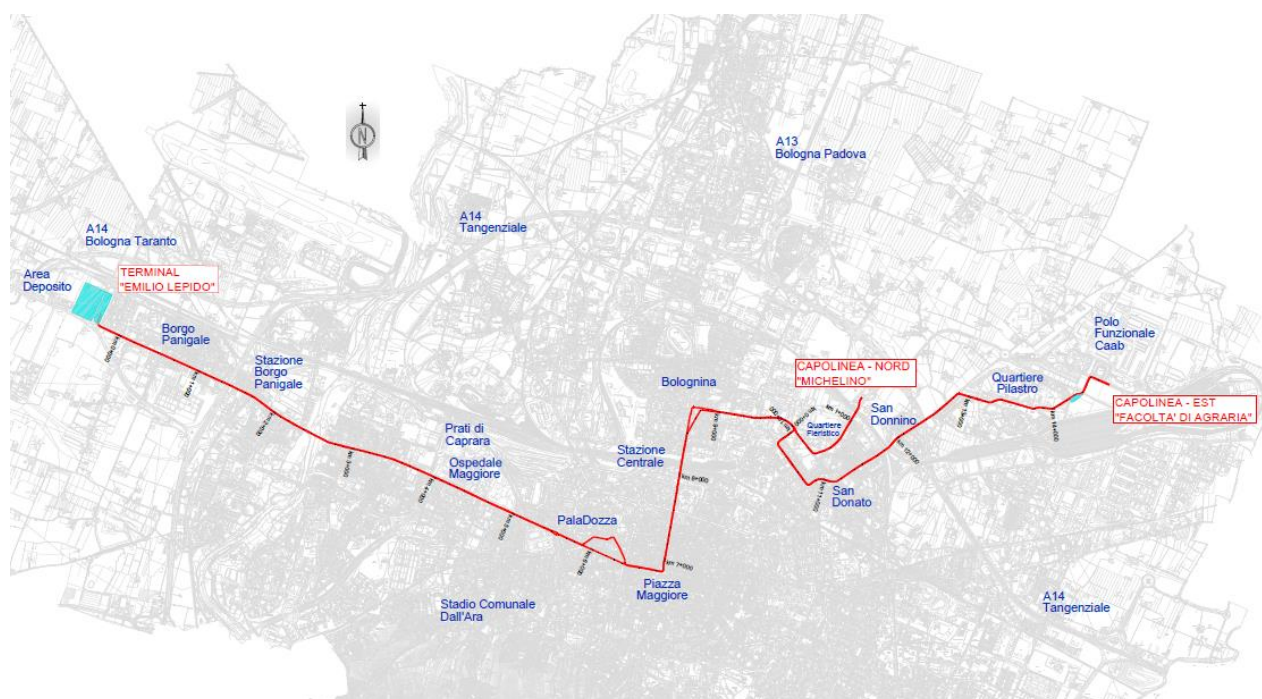


Figura 2.2 – Planimetria generale Linea 1

Lungo il tracciato che unisce i due capolinea sono collocate 29 fermate, ad un interasse medio di ca. 450/500 m.

La linea si completa con una diramazione, lunga circa 1,3 km che collega il centro fieristico con il Terminal Michelino, dove è ubicato un secondo nodo di interscambio tra mezzi privati, linee di trasporto pubblico extraurbane e il nuovo servizio tranviario.

Oltre al suddetto capolinea, lungo la diramazione è ubicata una fermata lungo viale della Fiera, in corrispondenza dell'ingresso pedonale del centro fieristico.

Per quasi tutto il suo sviluppo il tram procede lungo una sede riservata, con l'obiettivo di ridurre tutte le interferenze con le altre componenti della mobilità urbana, sia pubbliche che private: tale caratteristica è ottenuta sopraelevando di massimo 7 cm la sede tranviaria rispetto alla sede stradale limitrofa, in modo da rendere la sede comunque sormontabile qualora una situazione di emergenza ne richiedesse il transito per un mezzo di soccorso.



Figura 2.3 – Sede tranviaria rialzata rispetto alla sede stradale

La sede tranviaria avrà una larghezza in rettilineo pari a 6.00 m con un interasse tra i binari (sempre in rettilineo) di 3.00 m.

Tale valore, così come la distanza tra la rotaia più esterna e il limite della sede, potrà variare nei tratti in curva: i valori di interbinario e di franco laterale saranno tanto maggiori quanto minori saranno i valori delle curve planimetriche del tracciato.

Alla fine del tratto di attraversamento del centro lungo l'asse sud - nord, all'intersezione tra via Mazza e via Matteotti, in corrispondenza di piazza Unità, il tracciato devia verso est: proprio in questo incrocio è collocata la diramazione tranviaria (oggetto del presente appalto) che procedendo lungo via Corticella, arriva dopo poco più di 5 km al nuovo capolinea collocato nel quartiere Corticella.

3. SECONDA LINEA TRAVIARIA (LINEA VERDE) – TRATTO NORD

Il tracciato della Linea Verde, dal capolinea su Via dei Mille al capolinea Nord di Corticella, lungo poco più di 6.70 km, e si sviluppa quasi interamente sull'asse sud-nord costituito da via Indipendenza, via Matteotti, via Corticella, via Bentini, per poi deviare leggermente e percorrere via S. Anna, via Byron e via Shakespeare per il tratto finale.

Lungo il tracciato, oltre ai suddetti capolinea, sono collocate 15 fermate, di cui 3 in comune con la realizzanda Linea Rossa

Va segnalato che la tratta oggetto del seguente progetto si configura come la tratta nord di una linea più lunga (la seconda linea della rete Bolognese) che avrà origine a nord presso il Capolinea Corticella, e terminerà a sud presso il Comune di Casalecchio di Reno. La tratta nord è quindi configurata come prima tratta funzionale della più lunga Seconda linea tranviaria di Bologna

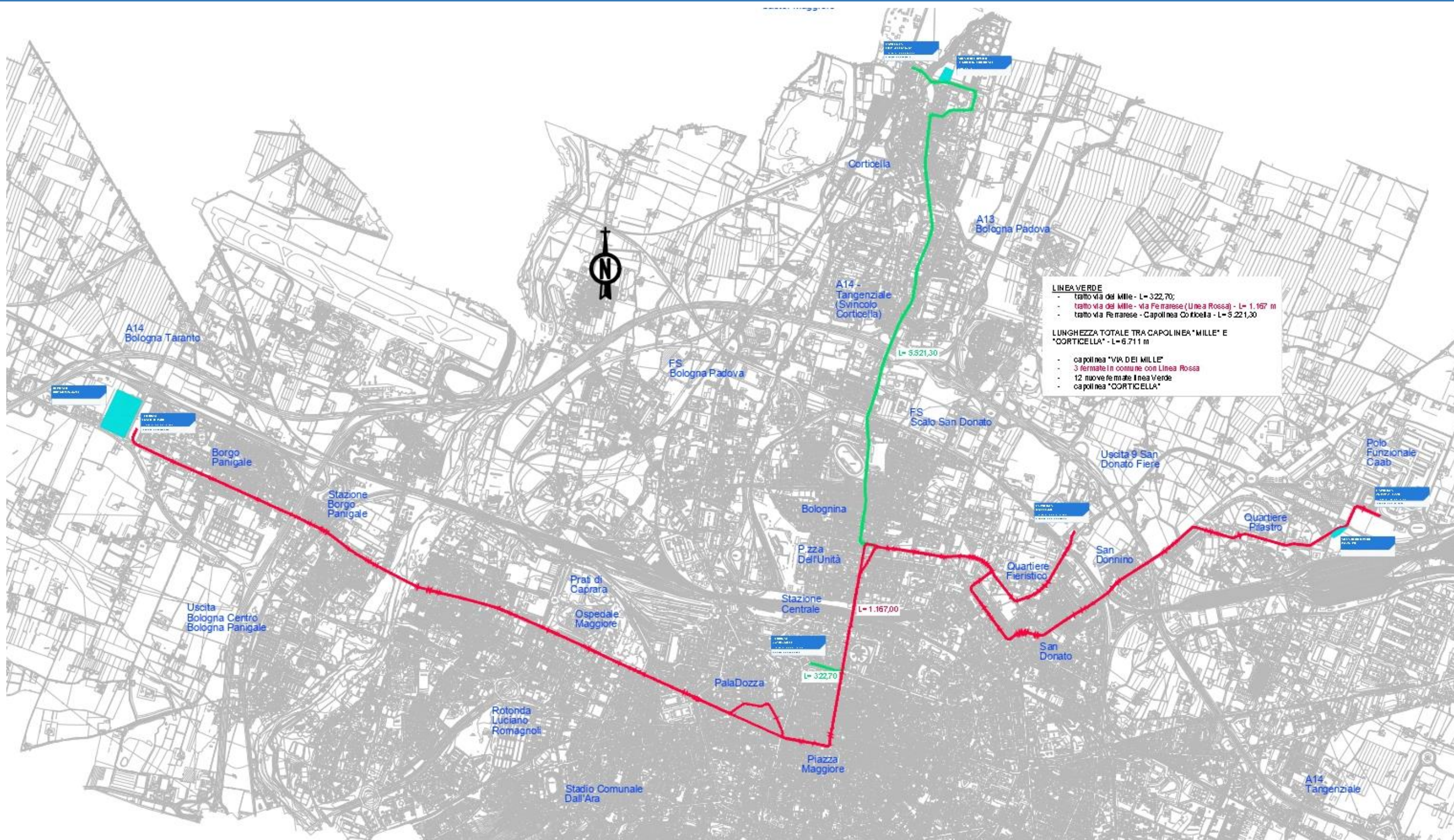


Figura 3.1 – Planimetria generale Linea Rossa + Tratta nord Linea Verde

Entrando nel dettaglio, i primi 320 m ca. si sviluppano lungo via dei Mille, da Piazza dei Martiri fino all'intersezione con via Indipendenza, e sono di nuova realizzazione.

All'intersezione con quest'ultima importante arteria, una doppia comunicazione semplice (una per ogni binario) permette alla linea Verde di "confluire" sulla Linea Rossa: in sostanza le vetture destinate al servizio della Verde percorreranno in entrambe le direzioni i binari della linea Rossa.

Questa configurazione viene mantenuta fino a P.zza dell'Unità (per uno sviluppo di ca. 1,17 km.,) raggiunta la quale il tracciato piega prima sulla sinistra per poi imboccare a nord via Corticella e svilupparsi nel quadrante nord della città di Bologna fino al capolinea di Corticella per ulteriori 5,22 km.

All'intersezione tra via Bentini e via S. Anna, il tracciato devia verso Est per percorrere quest'ultima strada fino all'intersezione con via Byron: qui svolta sulla sinistra verso nord fino all'intersezione con via Shakespeare.

Il tratto adesso descritto, compreso tra le fermate Gorky e Shakespeare, per una lunghezza di ca. 900 m, non presenta linea di contatto per la circolazione dei mezzi tranviari (tratta Catenary free): tale soluzione, resa possibile dalle caratteristiche delle nuove vetture che circoleranno sulla rete Bolognese dotate di sistemi a batterie, permetterà di eliminare linea e soprattutto pali di sostegno lungo in tratto di viabilità esistente lungo la quale in tram circolerà in promiscuo con le vetture private.

Nel tratto finale di via Shakespeare, all'intersezione con via Bentini, è prevista la realizzazione di una nuova rotatoria che permetterà anche l'accesso al nuovo polo di interscambio modale collocato a nord di via Shakespeare, nell'area interclusa tra la viabilità a sud, il centro sportivo a est e il canale Navile a ovest.

In tale area è prevista la realizzazione di un parcheggio multipiano fuori terra per i mezzi privati su gomma, un capolinea a raso per i mezzi pubblici extraurbani che provengono da nord dall'area di Castel maggiore, e sul lato destro, un area di ricovero notturno per i mezzi tranviari, equivalente a quanto previsto per l'area ricovero "Pilastro" della linea

Rossa, con 4 binari per permettere di attestare la sera le prime vetture che inizieranno il servizio nelle prime ore della giornata successiva.

Infine, il tracciato termina con l'attraversamento del canale Navile grazie alla realizzazione di un nuovo ponte collocato a sud di quello esistente, lungo 59 m e ad esclusivo utilizzo delle vetture tranviarie: attraverso questa nuova infrastruttura la linea raggiungerà in nuovo capolinea nord "Corticella", collocato in corrispondenza del piazzale della omonima stazione ferroviaria SFM.

Lungo il tracciato da Piazza dell'Unità al Capolinea Corticella sono ubicate 12 fermate, ad un interasse medio di 500 m, tranne che nel tratto di attraversamento dello svincolo della tangenziale di Bologna lungo via Corticella che rende impossibile la collocazione di fermate nel rispetto della distanza sopra riportata.

Come ultima annotazione, va ricordato che il capolinea di via dei Mille diventerà, quando la seconda linea sarà completata con il suo ramo sud, una semplice fermata intermedia dell'itinerario più lungo che collegherà il capolinea nord di Corticella/Castel Maggiore con il futuro capolinea da posizionare nel quadrante sud-ovest della città, punto terminale della seconda linea.

3.1 IL CORRIDOIO DI PROGETTO

Come sopra sinteticamente rappresentato, la linea Verde, complessivamente lunga poco più di 6,7 km., è divisibile in tre macro-tratte: i primi 320 m ca. lungo via dei Mille, la tratta comune con la Linea Rossa (ca. 1,2 km.) e il tratto di nuova infrastruttura da Piazza dell'Unità al capolinea nord, lunga poco più di 5,2 km.

Come rappresentato nell'immagine sotto riportata, il capolinea sud (denominato "Terminal via dei Mille") sarà costituito da una fermata a banchine laterali collocata sul lato sud-ovest della strada.

Essa sarà preceduta da una comunicazione "a croce" che permetterà lo svolgimento del servizio di attestamento e ripartenza delle vetture che arrivano da nord o che verso Corticella dovranno dirigersi.

La sede transitabile dalle vetture su gomma verrà spostata sul limite nord della strada, senza precludere il mantenimento delle fermate del Crealis già oggi realizzate, che garantiranno anzi un punto di interscambio modale tra i due sistemi di trasporto di massa. La sede tranviaria sarà con finitura drenante, tranne che in corrispondenza delle intersezioni stradali o passi carrabili per i quali è previsto un armamento con finitura carrabile.

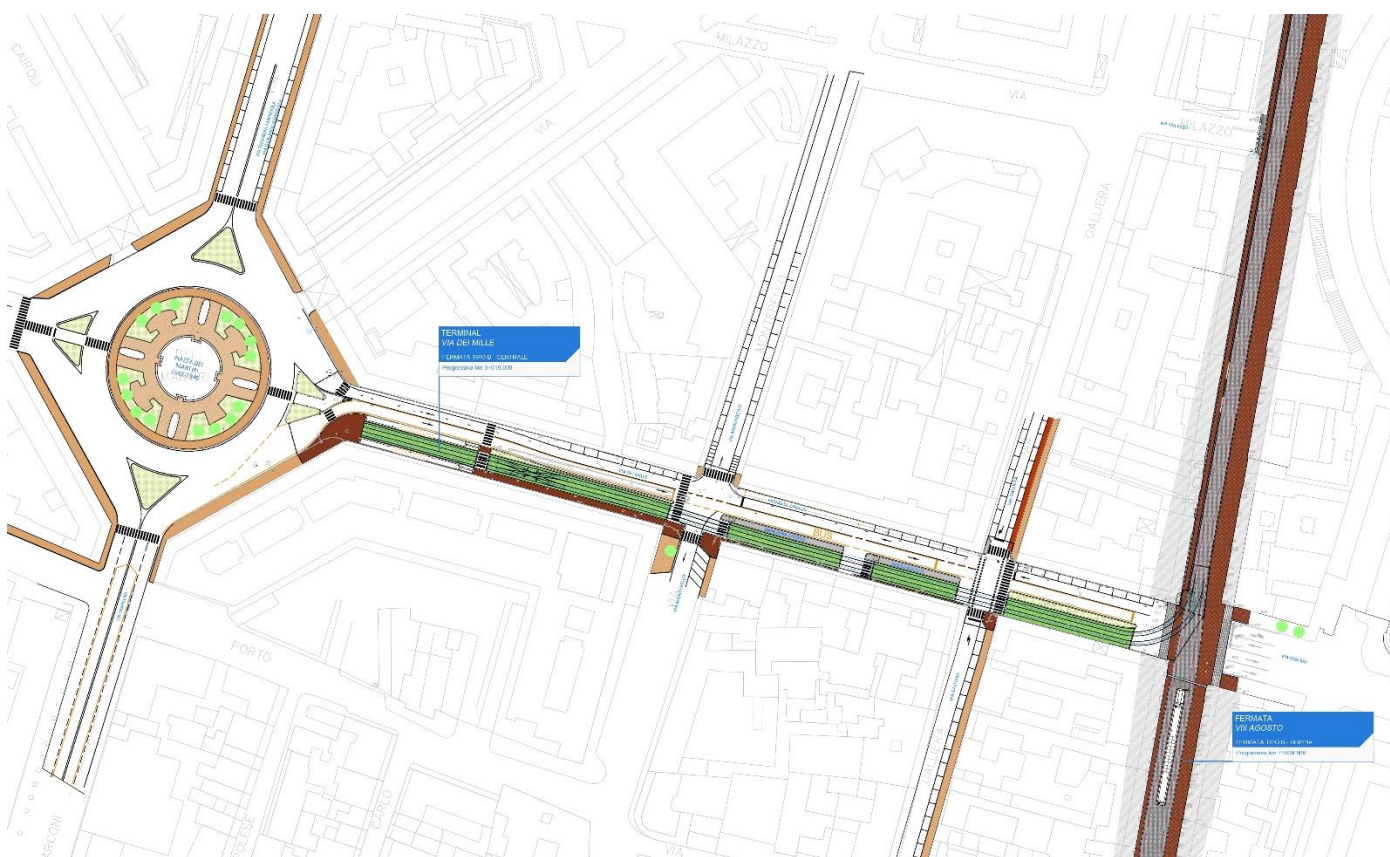


Figura 3.2 – “Terminal Via dei Mille”

Tralasciando la descrizione della tratta in comune della linea Rossa, che a livello di linea Verde sarà solo considerata per la gestione della linea da un punto di vista di esercizio, lo studio progettuale nella presente relazione descritta riguarda la tratta sud-nord da P.zza dell'Unità al capolinea nord "Corticella".

L'inserimento della linea nella sua diramazione nord non sarà sempre omogeneo per l'intero sviluppo del tracciato: lungo il primo tratto compreso tra P.zza dell'Unità e via Bartolomeo Passarotti, in prossimità dell'ippodromo di Arcoveggio, la linea si colloca sul lato ovest della sezione stradale, in sostituzione della attuale corsia riservata destinata al transito verso nord dei mezzi pubblici su gomma.

Il traffico privato, come oggi, sarà garantito solo per chi dalla parte nord si dirige verso il centro città.

Superata via Passarotti la sezione stradale si allarga, e permette lo spostamento della sede tranviaria riservata al centro del corridoio infrastrutturale, con la previsione di una carreggiata per parte destinata alla circolazione dei mezzi privati in entrambi i sensi di marcia.

A seconda degli ambiti attraversati le corsie saranno delimitate lateralmente o da stalli di parcheggio o da corsie unidirezionali destinate alla movimentazione ciclabile longitudinale.

Con questa configurazione si arriva fino a via Giuriolo, poco prima dello svincolo esistente con la Tangenziale di Bologna che sovrappassa via Corticella.

Questo nodo infrastrutturale merita un approfondimento perché oggetto non solo delle modifiche legate al tram ma anche ai futuri lavori di ammodernamento dello svincolo suddetto.

Il progetto del nuovo Passante prevede infatti il rifacimento dello svincolo, seppur nel mantenimento della configurazione attuale con la doppia rotatoria su via Corticella.



Figura 3.3 –Svincolo esistente Tangenziale di Bologna su via Corticella

Il progetto del Passante prevede un leggero disassamento delle rotatorie e la ridefinizione dei rami di ingresso e uscita, nonché l'adeguamento del sottovia esistente in modo da poter ricavare una carreggiata con due corsie per senso di marcia nel tratto di collegamento tra le due rotatorie.

In questa configurazione andrà inserita la tranvia.

L'idea di partenza è stata di inserire l'infrastruttura sempre in posizione centrale tagliando al centro le due rotatorie. Tuttavia, man mano che si approfondiva lo studio, ci si è resi conto che questo avrebbe comportato soggezioni sia al traffico privato interessato dalla presenza dello svincolo, sia al tram che avrebbe dovuto inserirsi in un ambito già altamente congestionato.

La conclusione è stata allora quella di prevedere la realizzazione di un sottopasso ad esclusivo utilizzo del tram: la rampa di ingresso inizia subito dopo l'intersezione con via Giuruolo e finisce poco prima della rotatoria sud, per una lunghezza di ca. 150 m..

Da qui inizia il sottopasso vero e proprio che è lungo poco più di 353 m, sottopassa le rotatorie, il tratto di collegamento tra le due collocandosi sotto al sottopasso stradale esistente oggetto di futuro allargamento.

Superata la seconda rotatoria, una rampa di uscita lunga ca. 169 m permette alla linea tranviaria di riacquistare quota e raggiungere il piano stradale esistente poco prima dell'intersezione con via della Croce.



Figura 3.4 –Sottoattraversamento Passante Tangenziale di Bologna

Sezione in corrispondenza
del sottopasso Passante esistente

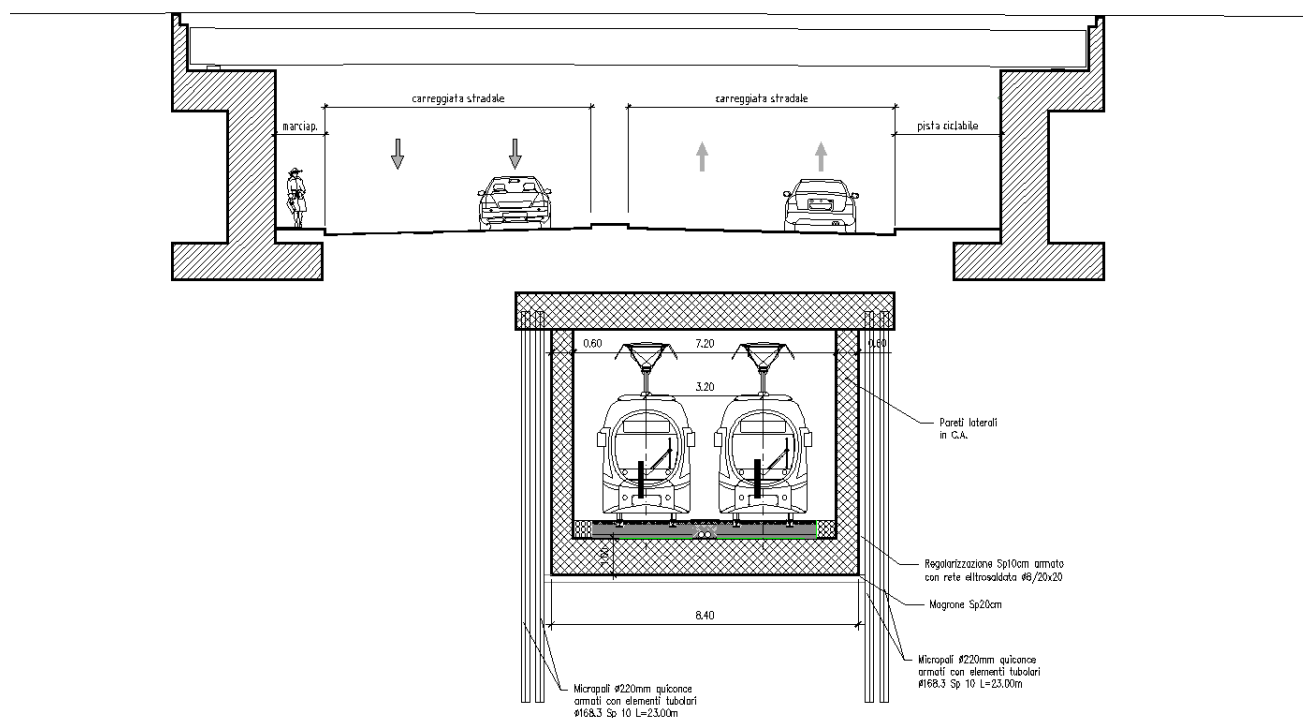


Figura 3.5 –Sezione sottopasso tranviario svincolo Passante

Superata la zona di svincolo, la linea sempre al centro della sezione stradale, raggiunge l'intersezione tra via Corticella e via Stendhal, dove è prevista la riprofilatura della rotonda esistente che verrà attraversata dai binari della linea.

Da qui la tranvia devia sulla sinistra per continuare su via Corticella, collocata sul lato occidentale della sezione stradale; la sezione di progetto è completata da una corsia per il traffico privato che corre parallelamente al tram sul lato destro, e due corsie monodirezionali destinate alla circolazione delle biciclette nelle due direzioni.

In questa configurazione la linea procede verso nord per ca. 1 km, fino all'intersezione tra via Corticella, via Bentini e via Lipparini.

Proseguendo su via Bentini, collocata sempre sul lato sinistro, con la viabilità privata direzione nord che le corre parallela sulla destra, la tranvia arriva fino all'intersezione con via S. Anna: qui il tracciato devia sulla destra per percorrere via S. Anna prima e via Byron dopo, fino all'intersezione con via Shakespeare.

Lungo questo tratto, tuttavia, la ridotta dimensione della sezione stradale esistente e il livello estremamente locale delle suddette viabilità, hanno consigliato l'adozione di una carreggiata a doppio senso di marcia promiscua per il transito congiunto di tranvia e mezzi privati: i binari vengono collocati al centro delle esistenti corsie stradali.

Da un punto di vista circolatorio, chi prima arriva tra veicolo tranviario e mezzo privato su gomma occupa il tratto di strada e procede lungo l'itinerario: il mezzo che lo segue, sia esso autovettura o tram, si accoda e segue la marcia del precedente, senza preferenziazione alcuna da parte del mezzo tranviario.

All'intersezione con via Shakespeare il tram si colloca lungo il marciapiede meridionale della strada con la traslazione verso nord della viabilità che oggi permette il collegamento da e per le aree abitative a nord della città di Bologna.

Alle estremità di questo tratto di viabilità, in corrispondenza delle intersezioni con la strada di accesso al depuratore sul lato est e con via Bentini sul lato ovest, è prevista la realizzazione di due nuove rotatorie che permettono ai mezzi su gomma, sia pubblici che privati, di raggiungere il nuovo nodo di interscambio collocato a nord di via Shakespeare, i fabbricati collocati a sud di via Shakespeare, e il centro sportivo collocato sul lato nord. Verso la fine di via Shakespeare, quasi in prossimità di via Bentini, è collocata alla pk. 5+076, la nuova fermata "Shakespeare": la fermata è importante sia perché di collegamento con il nuovo nodo di interscambio collocato a nord, sia perché limite settentrionale della tratta senza linea di contatto prevista tra la fermata "Gorki" su via Bentini e la suddetta fermata, per un tratto di lunghezza pari a ca. 925 m.

Superata via Bentini, la linea attraversa il Canale Navile mediante un nuovo ponte, collocato a sud dell'esistente, lungo 58 m.

SEZIONE TRASVERSALE
scala 1:50

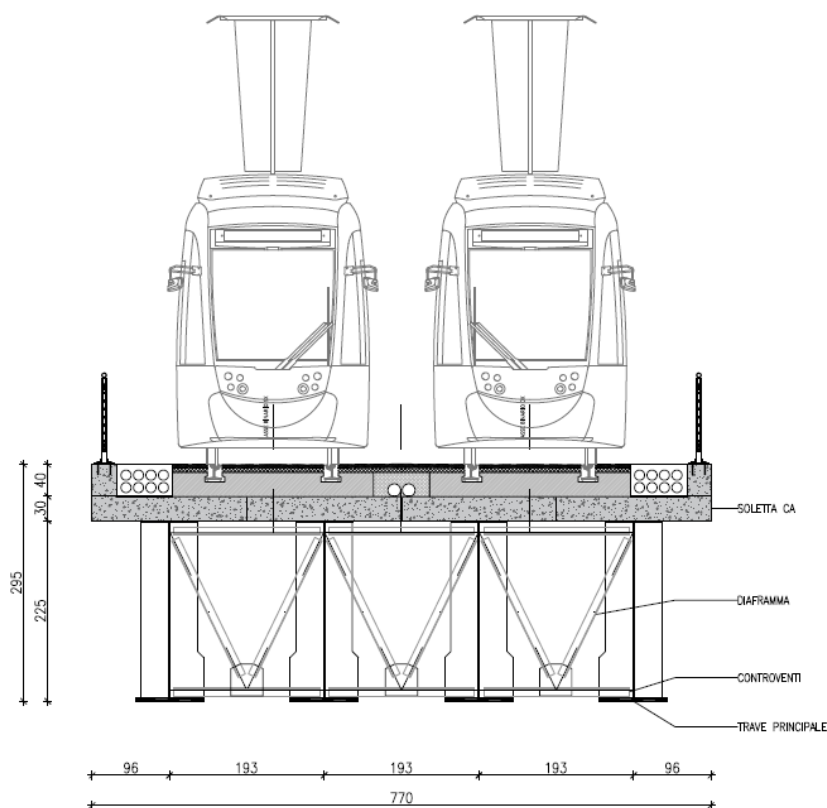


Figura 3.6 – Sezione trasversale Nuovo Ponte sul Navile

Terminato il nuovo ponte, una struttura ad “U” in c.a. della lunghezza pari a ca. 145 m, di altezza variabile, massima pari a 3.50 m, permette di arrivare alla fine della linea in corrispondenza del piazzale esistente antistante la Stazione ferroviaria SFM di Corticella, che dà in nome al Terminal nord della linea Verde.

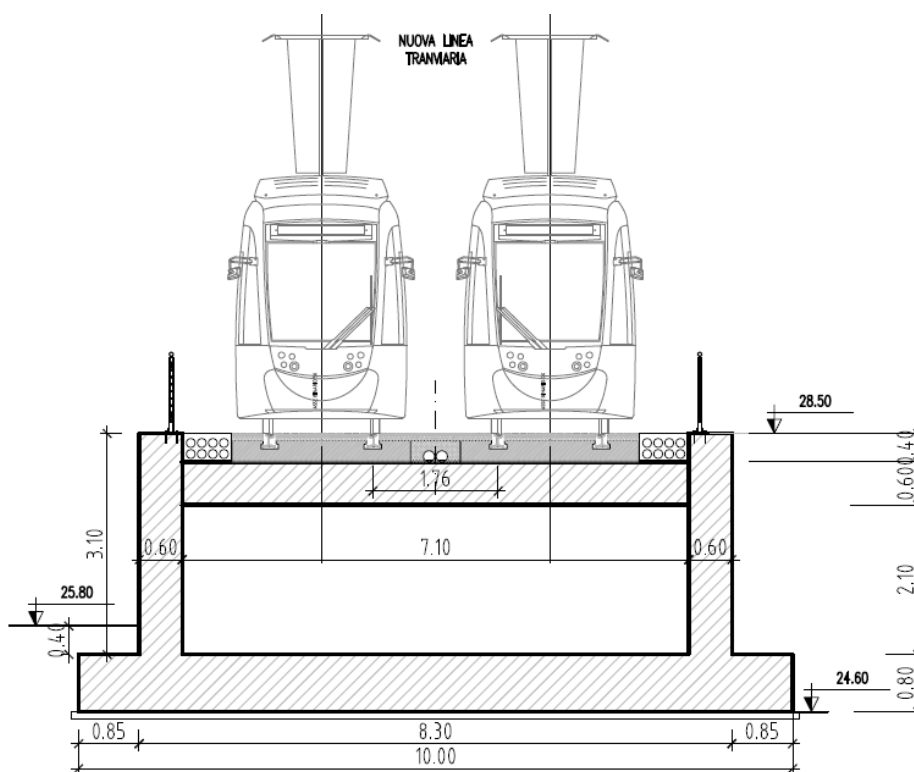


Figura 3.7 –Sezione trasversale muro ad “U” terminale della linea

Come per il “Terminal via dei Mille”, anche il capo linea nord, denominato “Corticella SFM” presenta una struttura a binari paralleli e banchine laterali, ed è preceduto da una comunicazione doppia che permette una adeguata gestione del servizio in arrivo e ripartenza delle vetture tranviarie.

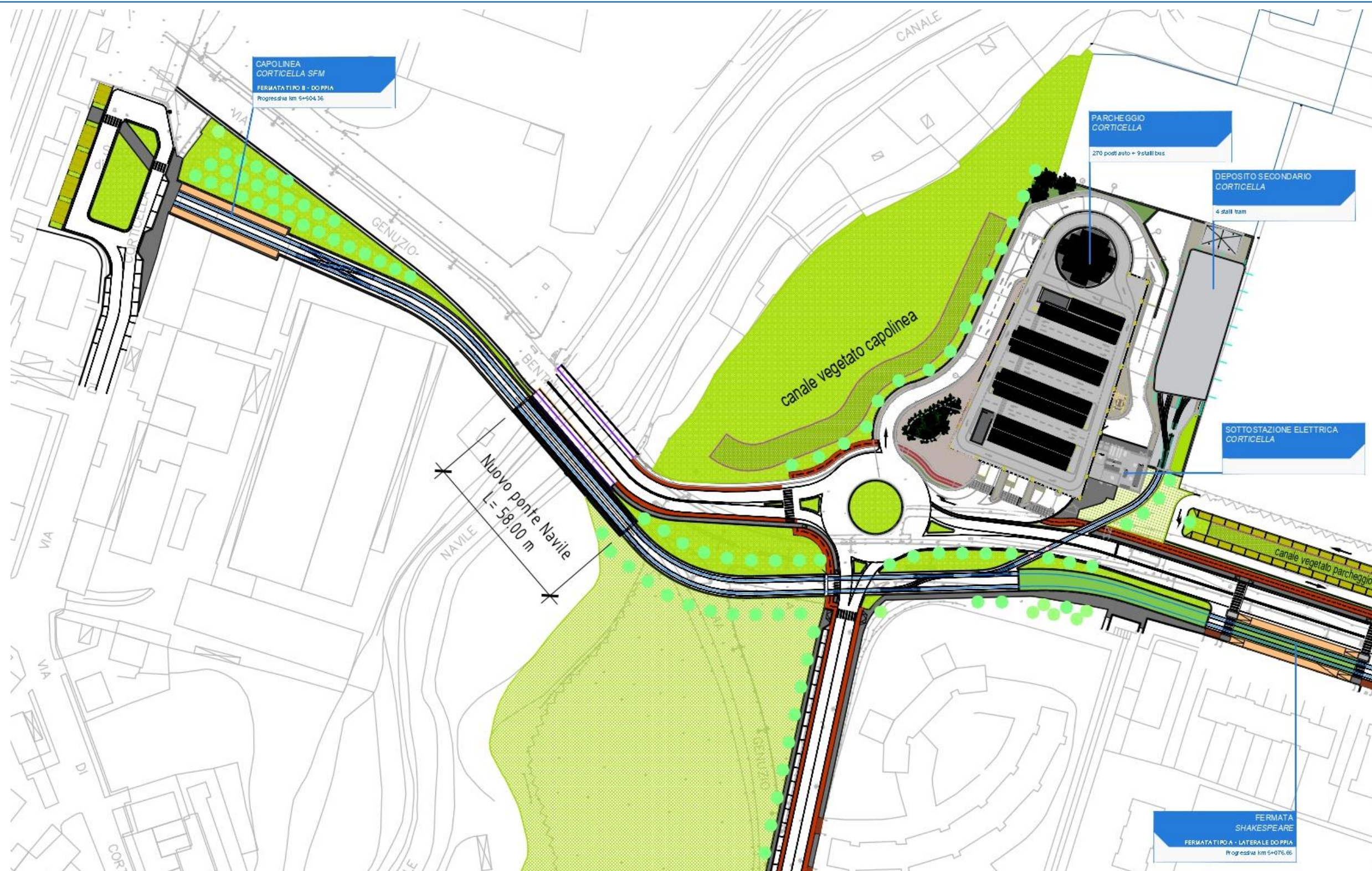


Figura 3.8 –Stralcio planimetrico tratta terminale, Capolinea Corticella e nodo di interscambio

In prossimità del capolinea nord è collocato il nuovo nodo di interscambio tra mezzi Bus extraurbani, auto private e tram.

Come evidenziato nello stralcio planimetrico sopra riportato che fotografa gli interventi in tutta l'area nord, nell'area compresa tra il limite occidentale del centro sportivo, la via Shakespeare e il Canale Navile, in un'area complessivamente pari a ca. 11.200 mq, trovano collocazione il nuovo terminal per la sosta dei Bus extraurbani, un parcheggio multipiano fuori terra per la sosta delle vetture private, una area di ricovero mezzi tranviari (quattro binari per altrettanti stalli necessari per iniziare il servizio la mattina) e la sottostazione elettrica necessaria per l'alimentazione dell'area, della tranvia, con un locale per la resa di MT da parte di Hera e un ulteriore locale destinato alla collocazione degli apparati necessari per alimentare elettricamente il capolinea dei Bus extraurbani.

Il collegamento tra i binari di linea e la rimessa sarà garantito da un ronchino a singolo binario che, provenendo dal Capolinea, dopo una comunicazione semplice tra i due binari di corsa collocata dopo l'intersezione con Via Bentini, si diramerà dal binario direzione nord per connettersi, attraverso un sistema di scambi semplici $R=25\text{ m}$, ai quattro binari di ricovero di progetto.

A completare l'area un piccolo ricovero per le vetture tranviarie con un locale di servizio per le prime attività di manutenzione sulle vetture in ricovero.



Figura 3.9 –Capolinea Bus extraurbani e Rimessa mezzi tranviari

Oltre alle opere sopra descritte, strettamente connesse alla realizzazione della nuova sede tranviaria, l'intervento prevede come altra opera infrastrutturale di primaria importanza la realizzazione di un sottovia stradale collocato lungo l'asse costituito da via Ferrarese/via Mazza/Piazza dell'Unità/Via Bolognese.

Si tratta di un sottovia ad esclusivo utilizzo dei mezzi su gomma, monodirezionale con due corsie di marcia.

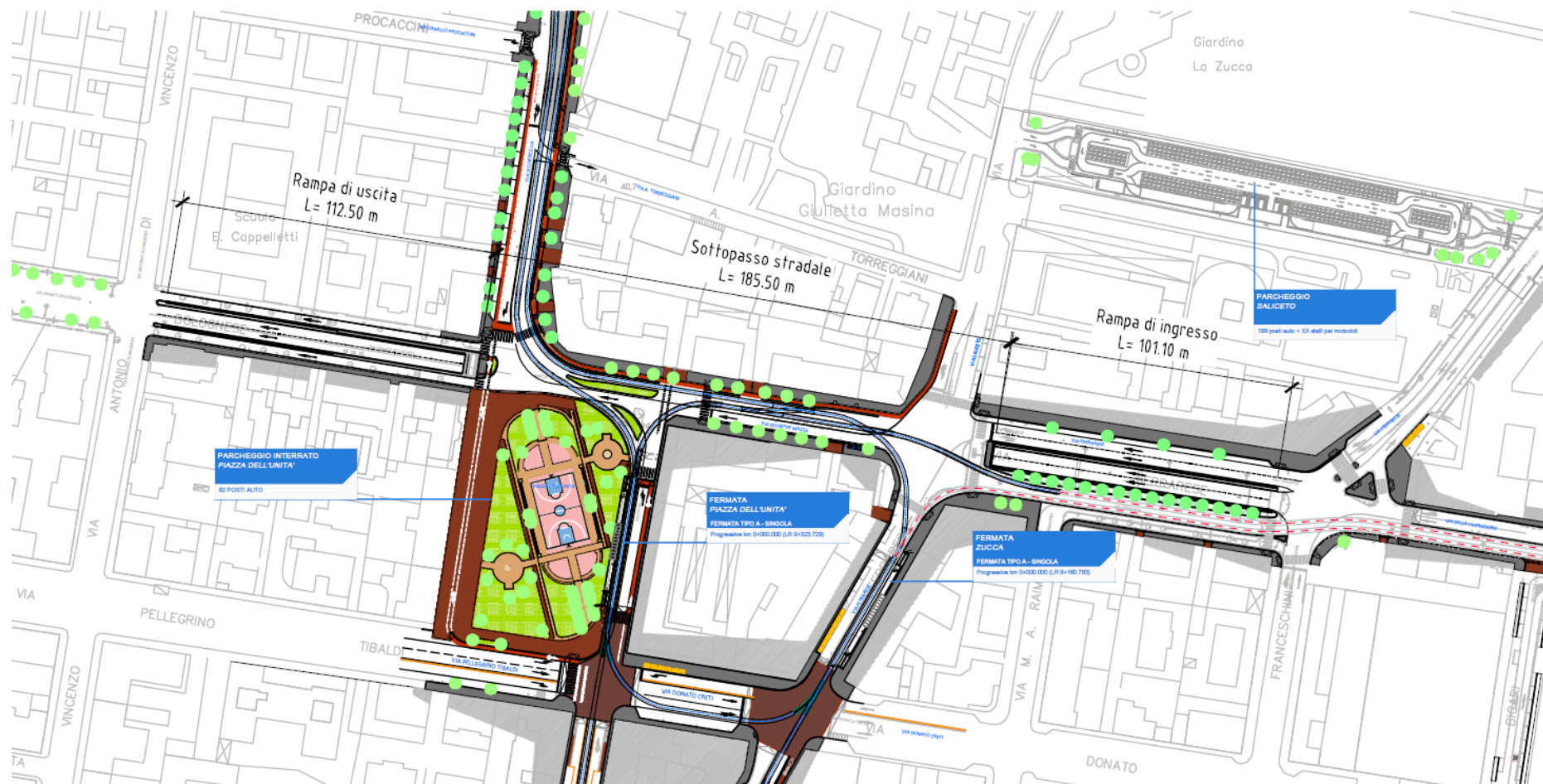


Figura 3.10 –Sottopasso via Ferrarese/via Mazza/via Bolognese – Stralcio planimetrico

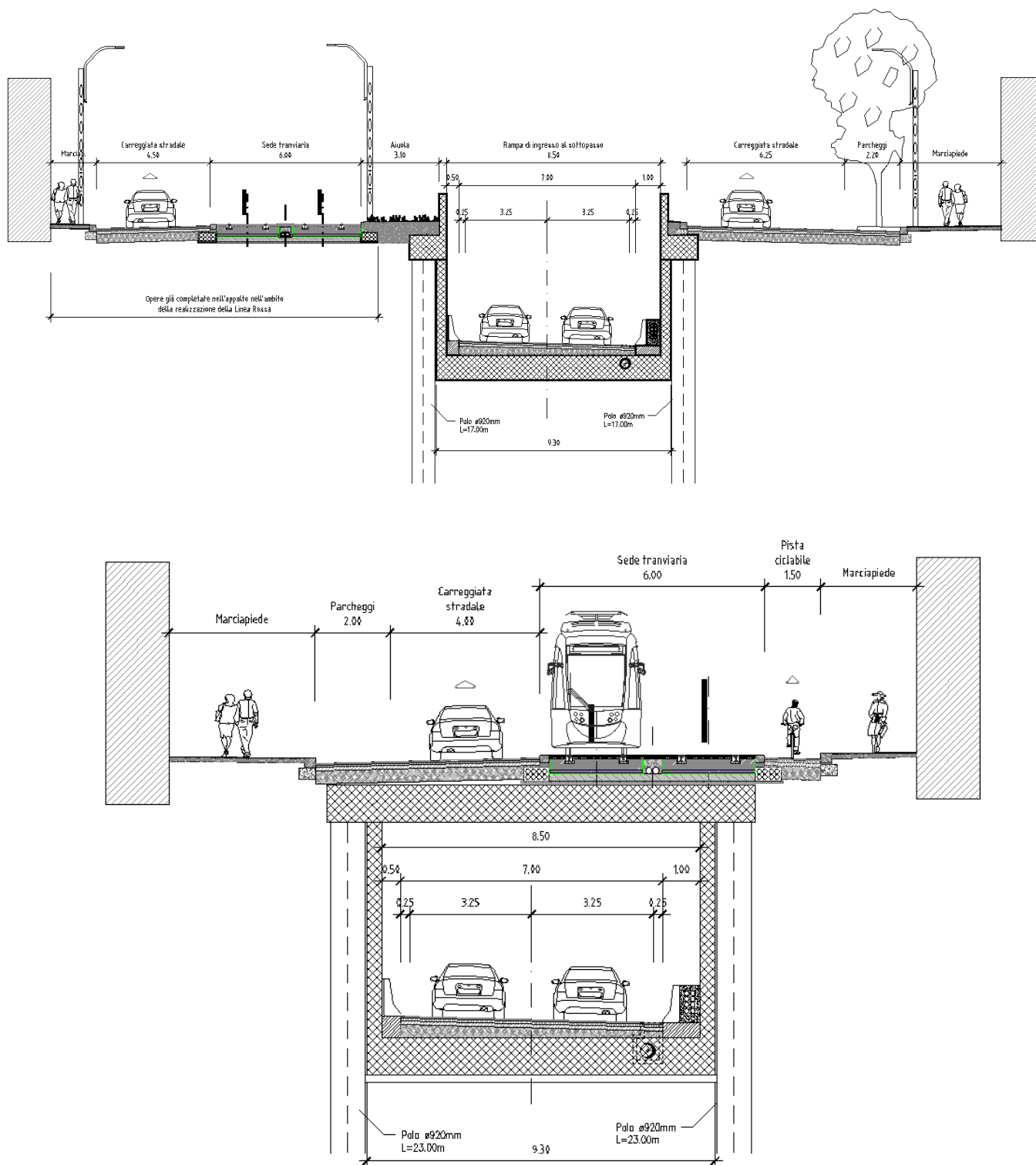


Figura 3.11 –Sottopasso via Ferrarese/via Mazza/via Bolognese – Sezioni trasversali

La soluzione studiata prevede la realizzazione di una rampa monodirezionali su via della Ferrarese, parallela alla sede tranviaria, per raccogliere i flussi delle auto provenienti da est e dirette verso ovest su via Bolognese.

Poco prima dell'intersezione con l'asse via Ferrarese – via Saliceto, il piano stradale della rampa raggiunge una quota per cui è possibile prevedere la realizzazione di un tratto di scatolare chiuso che termina poco dopo la confluenza di via Corticella su Piazza dell'Unità (L= 185,50 m); una seconda su via Bolognese, nel tratto ovest dell'asse, permettere alla viabilità di riprendere quota e tornare al piano campagna attuale prima dell'intersezione con via Di Vincenzo.

Quest'ultima rampa è posizionata al centro della sezione stradale con due corsie monodirezionali ai lati della trincea per garantire il transito delle vetture in direzione ovest.

Con la realizzazione del suddetto sottovia stradale, portando sottoterra il traffico veicolare di attraversamento del quartiere Bolognina secondo l'asse est-ovest, si eliminano le interferenze con la circolazione delle vetture tranviarie, in un area particolarmente sensibile dove le due linee, Rossa e Verde, si separano venendo da sud, o confluiscono venendo rispettivamente da est e da nord, con una frequenza per direzione che potrebbe raggiungere anche il passaggio di una vettura ogni 2,5 minuti per direzione di marcia.

Oltre ai suddetti sottopassi tranviario e stradale previsti rispettivamente lungo via Corticella e nel quartiere Bolognina, lungo il nuovo tracciato di progetto, procedendo verso Corticella, sono ubicate alcune opere d'arte di una certa rilevanza di cui di seguito di riporta una breve descrizione rimandando ai relativi elaborati progettuali.

n°	Identificazione	Breve nota descrittiva
2	Parcheggio via Saliceto	Realizzazione nuovo parcheggio multipiano fuori terra nell'area già oggi destinata a parcheggio compresa tra via Saliceto e via Ferrarese
3	Parcheggio Via Sario Bassanelli	Spazio di sosta costituito da n. 211 stalli dei quali n. 10 riservati a disabili
4	SSE.11	Sottostazione elettrica fuori terra collocata su via Stendhal
5	Sottoattraversamento Ferrovia	Realizzazione del nuovo sotto-attraversamento lungo via Corticella, in sostituzione dell'attuale sottovia

Per quasi tutto il suo sviluppo il tram procede lungo una sede riservata, con l'obiettivo di ridurre tutte le interferenze con le altre componenti della mobilità urbana, sia pubbliche che private: tale caratteristica è ottenuta sopraelevando di massimo 7 cm la sede tranviaria rispetto alla sede stradale limitrofa, in modo da rendere la sede sormontabile qualora una situazione di emergenza ne richiedesse il transito per un mezzo di soccorso. La sede tranviaria avrà una larghezza in rettilo pari a 6.20 m con un interasse tra i binari (sempre in rettilo) di 3.20 m.

Tale valore, così come la distanza tra la rotaia più esterna e il limite della sede, potrà variare nei tratti in curva: i valori di interbinario e di franco laterale saranno tanto maggiori quanto minori saranno i valori delle curve planimetriche del tracciato.

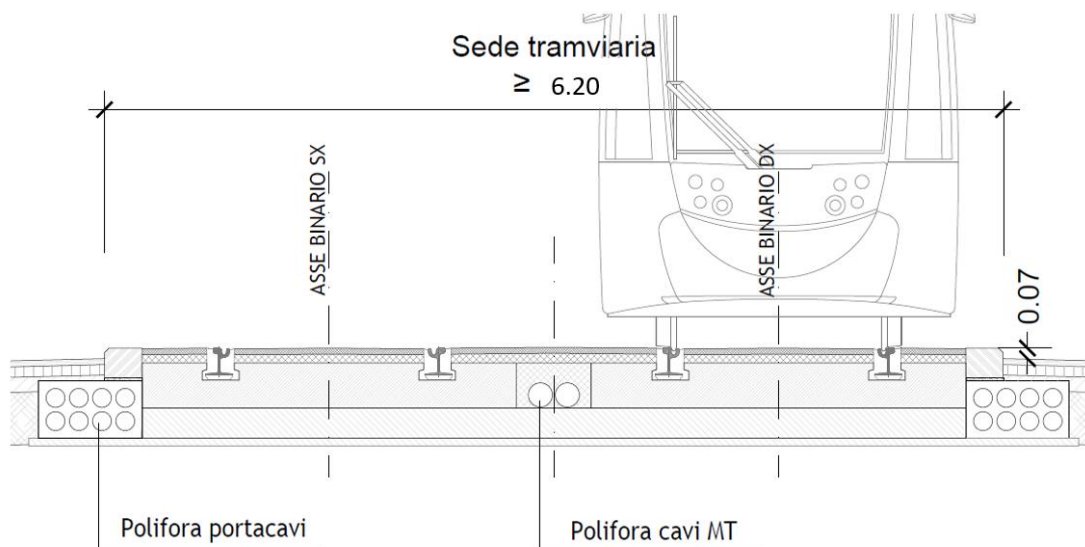


Figura 3.12 – Sede tramviaria riservata

Parallelamente alla nuova sede tramviaria, ad esclusione delle tratte in cui i mezzi su gomma e le vetture tranviarie procedono sulla stessa sede promiscua (via S. Anna – via Byron), è sempre posizionata almeno una corsia di marcia destinata al transito su gomma. La larghezza di tale corsia avrà sempre una dimensione tale da garantire il passaggio dei mezzi pesanti.

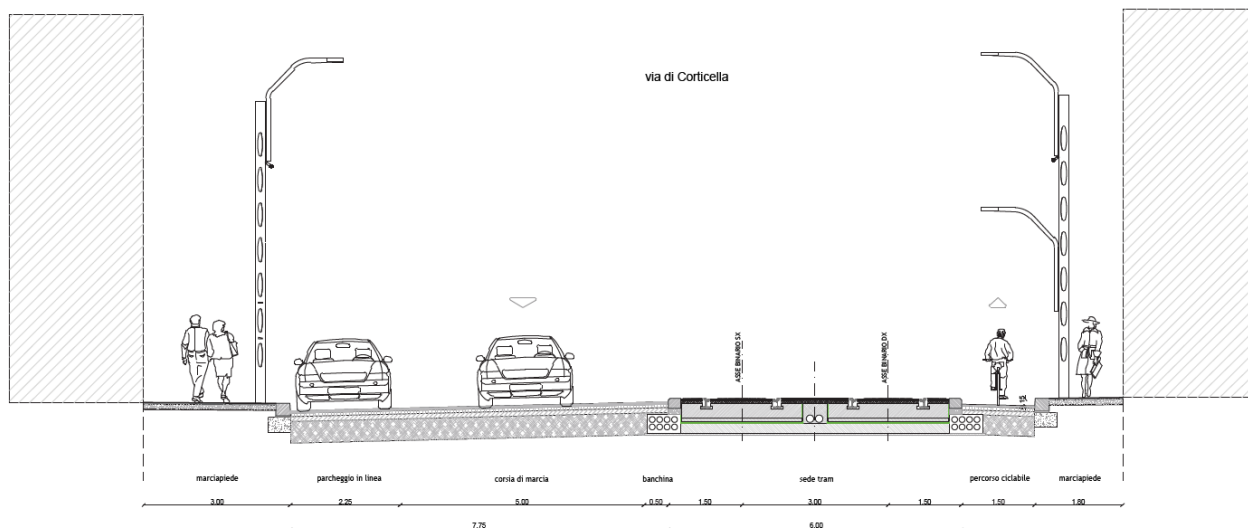


Figura 3.13 – Sezione tipologica con una sola corsia stradale laterale

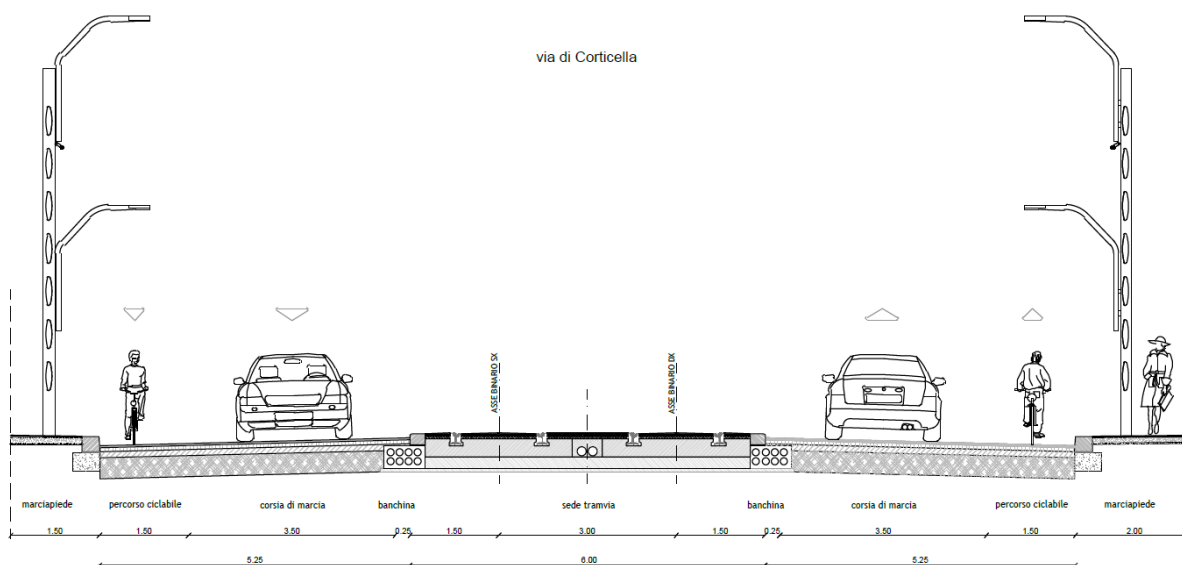


Figura 3.14 – Sezione tipologica con due corsie stradali laterali (una per senso di marcia)

Il posizionamento della nuova sede tranviaria lungo le viabilità esistenti ha comportato un ridisegno complessivo dell'intera sezione, talvolta a discapito dello spazio destinato al traffico privato.

Inoltre, laddove lo spazio a disposizione lo ha reso possibile, sono state previste corsie monodirezionali laterali della larghezza di 1,50 m per la circolazione longitudinale delle biciclette: gli eventuali stalli di parcheggio preseti lungo l'itinerario di intervento sono stati collocati tra le suddette corsie e i marciapiedi laterali.

Dal punto di vista "geometrico", il tracciato presenta un andamento pressoché rettilineo, a meno di un paio di curve a 90° nella parte settentrionale del tracciato dove si è reso necessario l'inserimento di curve con raggio planimetrico ridotto, in ogni caso mai inferiore a 25 m tranne che per la curva all'intersezione tra via Bentini e S. Anna dove si è reso necessaria l'adozione di una curva con valore pari a 22 m.

Altimetricamente invece la linea è "appoggiata" al piano campagna esistente, per tenere conto del fatto che il tram si sviluppa lungo arterie su cui affacciano altre viabilità trasversali, passi carrabili e numerosi fabbricati esistenti.

Tuttavia, in corrispondenza del nuovo sottopasso che elimina l'interferenza con lo svincolo con la Tangenziale di Bologna, e nel tratto finale in cui la tranvia parallelamente a via Bentini raggiunge il capolinea Nord, la linea tranviaria salirà a scenderà a seconda dell'opera d'arte prevista.

4. IL SISTEMA “TRAM”

Il tracciato proposto per la realizzazione della nuova linea tranviaria si sviluppa lungo arterie di primaria importanza per la mobilità pubblica e privata della parte settentrionale della città di Bologna.

In questo ambito complesso e fortemente antropizzato è stata inserita la nuova infrastruttura con l’obiettivo di creare un sistema di trasporto pubblico forte, talvolta anche a discapito di quello privato, che si integri da un punto di vista trasportistico, con quanto previsto per la prima linea tranviaria della città, la linea Rossa, di cui la qui descritta tratta nord della linea Verde può essere considerata come parte integrante e di completamento, almeno per la prima fase, fino a quando cioè non si procederà alla realizzazione della sua naturale estensione verso la parte sud-est della città.

Perché una linea tranviaria possa fare da catalizzatore per gli spostamenti dei cittadini interessati dal suo passaggio, è fondamentale creare un sistema che annulli o riduca il più possibile le interferenze con le altre componenti della mobilità urbana, servizio pubblico su gomma e traffico privato.

Oggi lungo l’itinerario di progetto sono presenti alcuni tratti di corsie preferenziali destinate al solo passaggio dei mezzi pubblici, così come lunghe tratte risultano essere servite da un sistema di bus urbani ed extraurbani efficace e da sempre percepito come forte elemento di mobilità urbana.

Ebbene, come già proposto per la linea Rossa e riconfermato per questa nuova linea, per sfruttare al massimo le potenzialità della nuova infrastruttura su ferro, si è optato, laddove le caratteristiche dimensionali delle strade attraversate lo permettano, per l’eliminazione di ogni forma di “concorrenza” al tram da parte degli altri sistemi di trasporto pubblico. Ciò significa che il progetto prevedrà un riassetto complessivo di tutte le linee di trasporto pubblico che attualmente transitano lungo i 6 km del percorso di progetto, con l’eliminazione delle linee “parallele” al tram (ad esempio la linea bus 27 che percorre l’asse via Bentini - via Corticella dall’estremità nord fino al centro della città) e

l'interruzione delle linee trasversali, che creeranno un sistema “a pettine” per portare i passeggeri alle fermate del tram.

Per garantire un elevato numero di passeggeri, aumentare le prestazioni del servizio, garantire un adeguato valore di velocità commerciale e limitare i possibili perditempo lungo il tragitto da un capolinea ad un altro, si è optato per far correre il tram lungo una sede completamente riservata, dove i veicoli si muovono liberamente senza rischio di casuali rallentamenti legati alla presenza di altro mezzo di trasporto pubblico o privato; come precedentemente descritto, solo nel tratto via S. Anna – via Byron, lungo l'itinerario di progetto, il tram sarà costretto a percorrere una sede promiscua con il traffico privato.



Figura 4.1 – Esempio di linea tranviaria in sede totalmente riservata

È altresì chiaro che l'inserimento della nuova infrastruttura lungo le viabilità attuali comporterà una ridistribuzione funzionale complessiva del settore attraversato: ciò potrà avere come conseguenza la riduzione o l'eliminazione delle corsie di marcia destinate al

traffico privato, l'eliminazione di stalli di parcheggio, l'impedimento di alcune manovre interferenti con il tram, la chiusura di alcune viabilità.

In tale direzione i progettisti hanno fatto scelte, rappresentate negli elaborati di progetto, che andranno ulteriormente approfondite e discusse con i rappresentanti del Comune, nell'ottica di addivenire ad una soluzione condivisa, che non stravolga lo status quo, ma al tempo stesso non penalizzi il livello di servizio della nuova infrastruttura tramviaria.

Sarà quindi necessaria una verifica puntuale degli assetti circolatori degli ambiti circostanti l'intero tracciato della linea tranviaria, trovando i dovuti equilibri che garantiscano funzionalità al sistema complessivo della mobilità e accessibilità alle diverse componenti dello stesso.

4.1 CARATTERISTICHE DELL'ESERCIZIO DELLA LINEA

Di seguito vengono brevemente riportati gli input e i risultati dello studio dell'esercizio tranviario descritti in maniera più dettagliata ed esaustiva nell'apposita relazione tecnica allegata al progetto.

4.1.1 ASSUNZIONI INIZIALI

Tempo di arresto in fermata

Il tempo di arresto nelle fermate è stato calcolato utilizzando la previsione dei saliti e discesi durante il servizio diurno.

Per ogni direzione, alle fermate con meno di 100 saliti e discesi, è stato assegnato un tempo di permanenza "ridotto", pari a 20 secondi; alle fermate con un numero compreso tra 100 a 1.000 saliti e discesi è stato assegnato un tempo di permanenza "medio" di 30 secondi; alle fermate con più di 1.000 saliti e discesi è stato assegnato un tempo di sosta "prolungato" pari a 40 secondi.

Perturbazione agli incroci semaforizzati

Le vetture operanti lungo la linea di progetto attraversano diversi incroci, che vengono utilizzati anche dagli utenti della strada.

Il sistema di referenziazione proposto, già in vigore nella città di Bologna per il transito dei mezzi pubblici e già esteso (almeno come previsione progettuale) anche alla linea Rossa, assegna alle vetture tranviarie la priorità rispetto agli altri utenti della strada.

Tuttavia, considerando la congestione e la complessità di alcune intersezioni, la lunghezza minima delle fasi semaforiche e il tempo necessario per liberare l'incrocio, è stato stimato che in alcuni casi il tram dovrà fermarsi: il tempo di attesa è stato stimato in 10 secondi.

Cadenzamento del servizio

In base alle esperienze pregresse per linee di analoghe caratteristiche, ai dati della domanda, alla lunghezza delle vetture ipotizzata e alla presenza di un tratto comune con la linea Rossa (da P.zza dell'Unità a via Indipendenza fino all'incrocio con via dei Mille) lungo il quale i due servizi andranno combinati senza creare perturbazioni reciproche, è stato stimato un cadenzamento pari a 5 minuti per direzione di marcia per tutto il tratto compreso tra il capolinea sud di via dei Mille e quello nord di Corticella.

Una volta raggiunti i due capolinea i tram invertiranno il verso di percorrenza e torneranno indietro: il tempo d'inversione sarà pari a quello necessario per la manovra con cui il tram cambierà binario più i 90 secondi considerati perché il conducente cambi cabina.

L'esercizio della nuova linea è stato studiato in maniera coordinata alla rete formata dagli impianti della Linea Rossa e della tratta Nord della Linea Verde. I servizi sono tre come rappresentato nella figura seguente: due sulla Linea Rossa e uno sulla Linea Verde.



Figura 2 – Rete dei servizi sulla rete integrata Linea Rossa e Linea Verde – tratto Nord

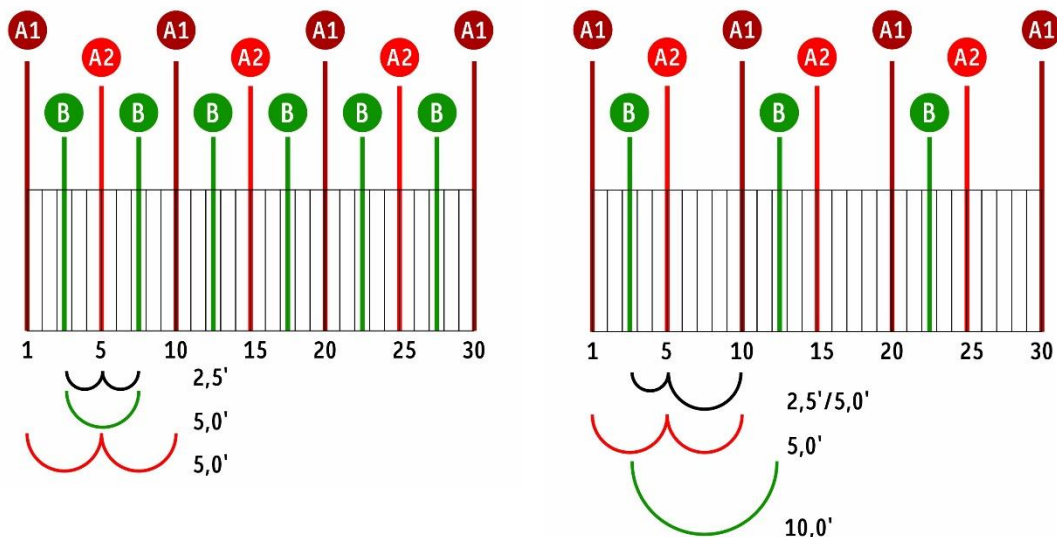


Figura 3 – Intertempi cumulati su via Indipendenza: a destra, in ora di punta si hanno passaggi ogni 10' su ciascuna delle linee A1 e A2 per un servizio integrato a 5'; il servizio della linea B è a 5'

che porta l'intertempo minimo su via Indipendenza a 2,5'. In fascia di morbida il servizio A1/A2 resa invariato mentre la B scende a 10', con intertempo cumulato alternato 2,5'/5,0'.

4.1.2 RISULTATI DELLA SIMULAZIONE

Il tempo di giro è calcolato come la somma dei seguenti contributi:

- Tempo di marcia tesa da simulazione;
- Tempi di sosta alle fermate;
- Perditempo agli incroci semaforizzati;
- Tempi di inversione ai terminali;
- Allungamento di regolarità in linea ed ai capolinea.

La tabella seguente dettaglia i parametri dell'esercizio per tutte le tre linee della rete tranviaria di Bologna.

Parametro	Unità	Linea A1	Linea A2	Linea B	Totale
Lunghezza totale di esercizio	m	15.707	11.714	6.712	34.335
Numero di fermate	N.	29	24	15	45
Tempo lordo di viaggio tra i due terminali	minuti	63,90	47,40	28,38	
Velocità commerciale	km/h	14,75	14,83	14,62	
Tempo minimo di sosta al capolinea	minuti	3,0	3,0	3,0	
Allungamento di regolarità ai capolinea	minuti	1,5	1,5	1,5	
Tempo di giro	minuti	132,3	99,3	61,3	

Tabella 1 – Tabella riassuntiva dei risultati della simulazione

Per tutti gli approfondimenti legati all'esercizio della linea si faccia riferimento allo specifico elaborato "B381C-D-X00-STM-XXX-RT-02-A – Modello di esercizio e parco rotabili".

5. DIFFERENZE SIGNIFICATIVE RISPETTO AL PFTE APPROVATO

Lo scopo del presente paragrafo è di rappresentare tutte le modifiche significative che sono state apportate nel progetto Definitivo rispetto a quanto proposto nel progetto preliminare, anche in coerenza a quanto richiesto nella Delibera Regionale di chiusura dell'iter di Assoggettabilità a V.I.A.

5.1 TRACCIATO

Trascurando i normali affinamenti di tracciato legati al passaggio tra il PFTE e la progettazione definitiva, il tracciato della linea e le fermate lungo esso collocate sono state riconfermate nel passaggio tra PFTE e PD: l'unica sostanziale differenza è nel tratto terminale della linea che, come sopra descritto, non termina più nel comune di Castel Maggiore ma in corrispondenza del piazzale.

La modifica ha riguardato anche la posizione del ponte sul Canale Navile e del nodo di interscambio.

Per visualizzare le modifiche, di seguito si allega la planimetria dell'area del PFTE da confrontare con la figura 3.8 sopra riportato.

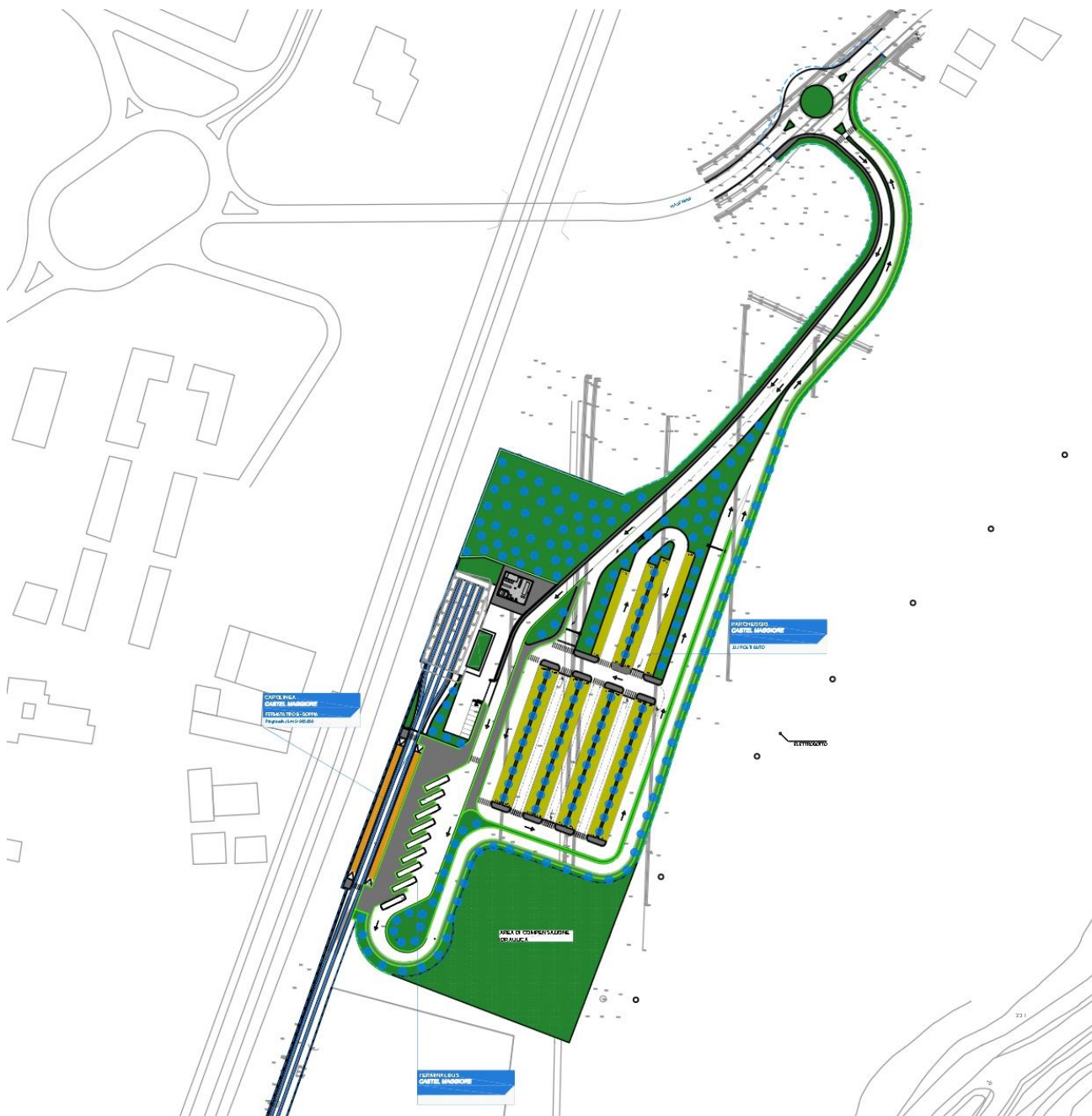


Figura 5.1 – Stralcio planimetrico tratta terminale, Capolinea Castel Maggiore e nodo di interscambio (PFTE)

5.2 SISTEMAZIONI URBANE

5.2.1 CAPOLINEA SUD – VIA DEI MILLE

Il **PFTE approvato** prevedeva l'attestazione del capolinea di via dei Mille con banchina centrale, poste sul lato sud della strada, in adiacenza al portico esistente.

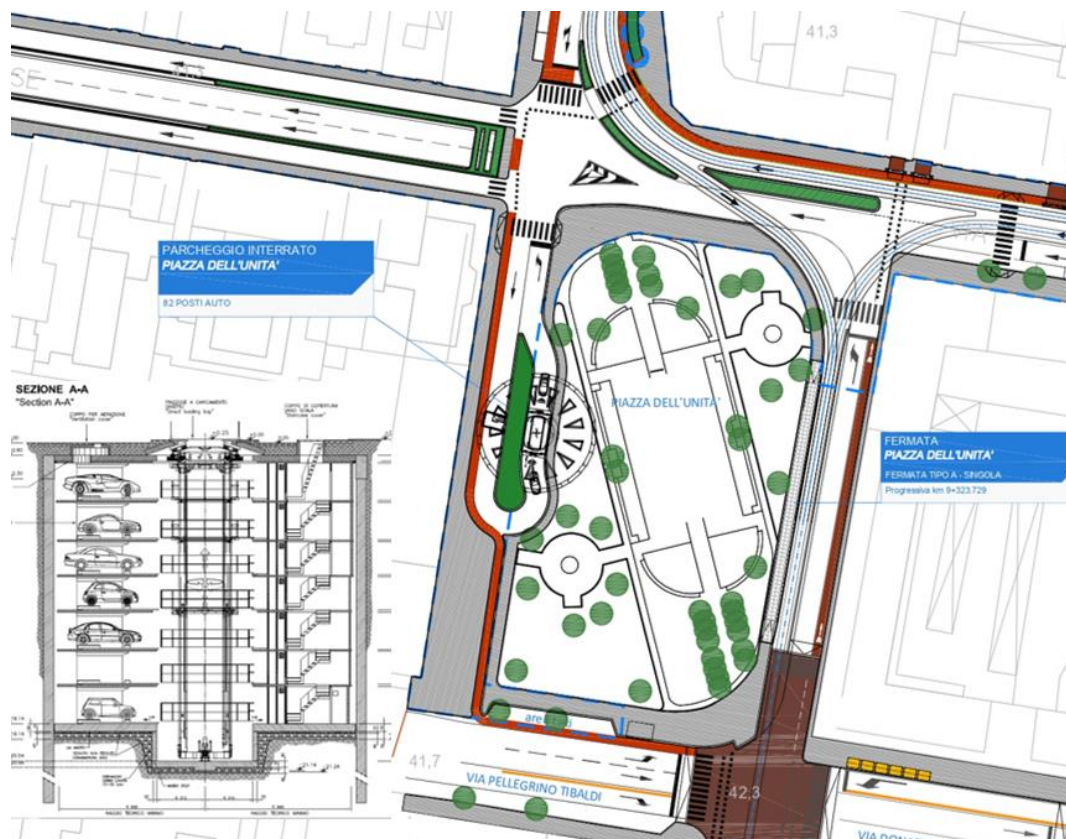
Il **Progetto Definitivo** prevede, invece, la realizzazione del capolinea con due banchine laterali al fine di minimizzare le interferenze con i notevoli sottoservizi presenti nell'area d'intervento. La giacitura tramviaria viene, di conseguenza, spostata verso nord di 2,5 metri circa per il tratto posto tra Piazza dei Martiri e via Montebello, garantendo – così – un maggiore distacco tra l'infrastruttura ed il portico esistente.

5.2.2 VIA DELL'INDIPENDENZA – VIA MATTEOTTI – VIA FERRARESE

Il Progetto definitivo integra nelle sue previsioni gli aggiornamenti apportati in sede di progettazione esecutiva della Linea Rossa per tutto il tratto in sovrapposizione.

5.2.3 PIAZZA DELL'UNITÀ

Il **PFTE approvato** prevedeva, sul lato occidentale della piazza, la realizzazione di un parcheggio interrato automatico da 80 posti auto (ridotti poi a ca. 40 per ottemperare a specifica richiesta formulata durante l'iter di Screening Ambientale) con accesso da via Mazza ed uscita su via Creti.



Il **Progetto Definitivo** prevede, invece, l'eliminazione della nuova struttura dalla piazza e la realizzazione di un parcheggio multipiano per 185 posti auto tra le vie Saliceto e Ferrarese, inserito tra la sede Tper ed il parco della Zucca, nell'area oggi occupata da un parcheggio pubblico a raso (avente una capienza di 95 posti auto).

Il nuovo parcheggio, che rimane arretrato dai fronti di via Saliceto e via Ferrarese al fine di mantenere le importanti alberature oggi presenti nell'area, manterrà ingressi e uscite su entrambi i fronti secondo lo schema viario attuale.

In merito all'area precedentemente occupata dal parcheggio interrato previsto in PFTE, il progetto definitivo prevede, infine, la sistemazione pedonale dell'area ad ovest della piazza mediante la realizzazione di una pavimentazione lapidea (cubetti di porfido) senza soluzione di continuità tra il fronte degli edifici ed il bordo delle aiuole esistenti. Ancor più, per garantire la continuità pedonale est-ovest attraverso la piazza si è reso necessario

allargare alcuni percorsi esistenti, arretrando i cigli delle aiuole ed utilizzando la stessa tipologia di pavimentazione esistente (cubetti di porfido).

5.2.4 CAPOLINEA NORD - CORTICELLA

Il **PFTE approvato** prevedeva che la linea tramviaria raggiungesse il territorio di Castelmaggiore, immettendosi nell'area ferroviaria in prossimità della stazione di Corticella ed attestandosi in un grande parcheggio d'interscambio accessibile da via G. Di Vittorio.

In prossimità di tale parcheggio era prevista la realizzazione del capolinea Nord e di un deposito secondario per il rimessaggio delle vetture tramviarie. Nell'ambito delle suddette previsioni era prevista, inoltre, la modifica del tracciato di via Bentini (tra il ponte sul Navile – che veniva allargato verso nord – ed il sottopasso ferroviario) con l'acquisizione di aree private a nord della stessa e l'eliminazione della rampa di scale che oggi connette il marciapiede del sottopasso con il soprastante piazzale di stazione (vedi figura 5.1).

Il **Progetto Definitivo** prevede, invece, che la linea si attesti direttamente in corrispondenza del piazzale posto a est della stazione di Corticella, con il nuovo capolinea Nord, mentre il deposito secondario viene previsto nell'area libera a nord di via Shakespeare (in corrispondenza dell'intersezione con via Bentini). L'interscambio auto/bus/tram viene invece spostato all'interno di un nuovo parcheggio multipiano posto sempre nella suddetta area ma appena ad ovest del deposito secondario.

Il **Progetto Definitivo** prevede, ancora, la sistemazione urbanistica del piazzale di stazione, con la realizzazione di un percorso viario ad anello (che garantisce l'accesso ai parcheggi oggi presenti ed alle aree ferroviarie, nonché la realizzazione di alcuni nuovi stalli per interscambio rapido o per taxi). All'interno dell'anello si prevede la realizzazione di una grande area verde dotata di percorso pedonale per la connessione tra il capolinea e la stazione SFM.

Si prevede, infine, il mantenimento dell'attuale assetto della via Bentini (tra il ponte sul Navile ed il sottopasso) l'acquisizione di aree a sud della stessa (nell'ambito dell'area del Pastificio Corticella) finalizzata al passaggio dell'infrastruttura tramviaria e la realizzazione di un nuovo ponte (a sud di quello esistente) dedicato esclusivamente alla tramvia.

5.3 PARCHEGGIO VIA BASSANELLI

Il PFTE approvato prevedeva la realizzazione di un parcheggio in via Bassanelli (201 posti), in area adiacente all'Ippodromo, prioritariamente destinato al recupero della capacità di parcheggio del quartiere.

Tra gli interventi era prevista anche la sistemazione dell'area antistante il parcheggio, su Largo Alfio Pappalardo, con la razionalizzazione degli stalli e la collocazione di nuove alberature.

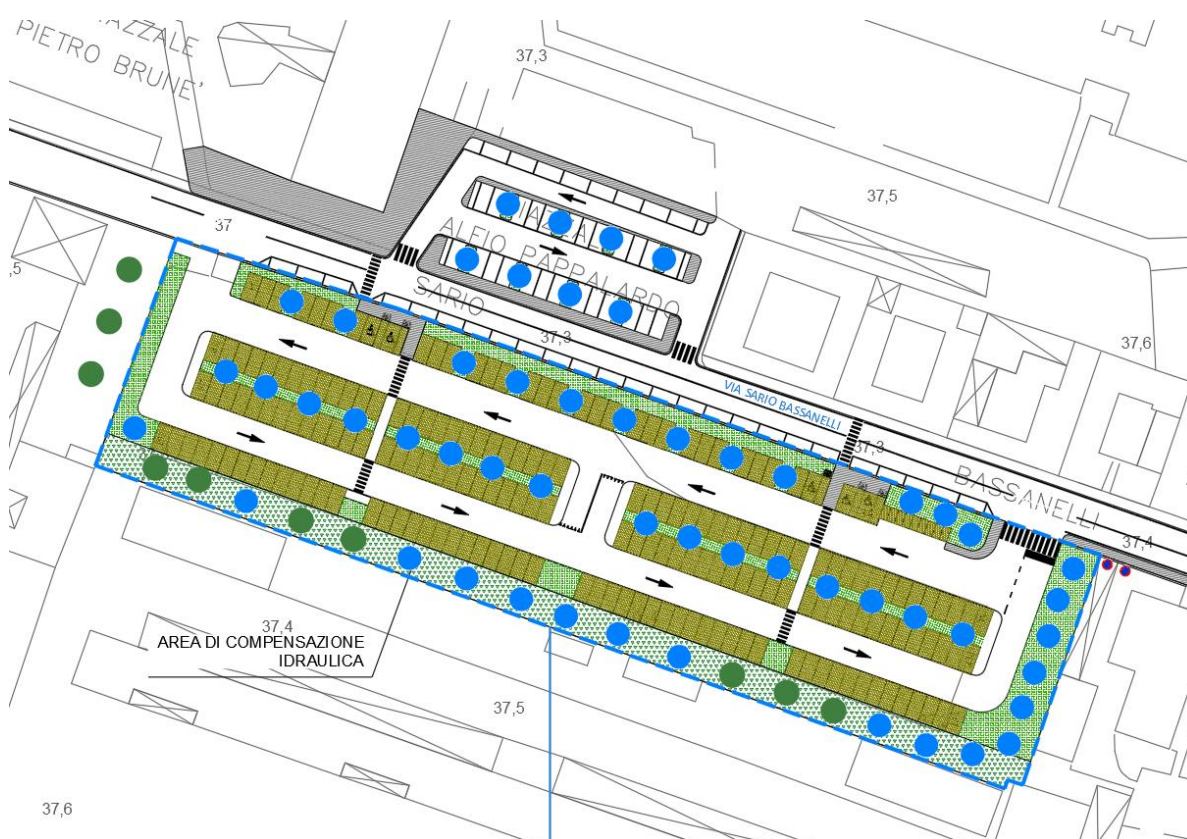


Figura 5.2 – Parcheggio via Bassanelli e Largo Pappalardo (PFTE)

Il **Progetto Definitivo** ha riconfermato la realizzazione del parcheggio lato Ippodromo, apportando le normali modifiche legate al passaggio di livello di progettazione, ma non prevede la sistemazione di largo Pappalardo in quanto ritenuta non migliorativa della situazione esistente: a fronte, infatti, della collocazione di poche unità di alberature, si perdeva capacità di parcheggio in un'area privata che non avrebbe goduto degli ipotizzati benefici descritti.

5.4 ALIMENTAZIONE ELETTRICA

Il **PFTE approvato** prevedeva la realizzazione di 3 SSE per l'alimentazione della Linea: una all'intersezione tra via Saliceto e via Corticella; la seconda in corrispondenza dell'area di un distributore di carburante dismesso, lungo via Corticella quasi all'intersezione con via Lipparini; la terza in corrispondenza del capolinea nord di Castel Maggiore.

Inoltre, la linea era prevista tutta alimentata da linea di contatto aerea.

Il **Progetto Definitivo** prevede invece la realizzazione di due SSE: la prima (denominata SSE11) collocata in via Stendhal, quasi all'incrocio con via Corticella, in un'area oggi occupata dal parcheggio (momentaneamente in disuso) di una attività commerciale; la seconda in corrispondenza del nuovo nodo di interscambio presso il capolinea di Corticella.

Infine, come sopra specificato, è stata aggiunta una tratta "Catenary Free", lunga poco più di 900 m, tra le fermate Gorki e Shakespeare.

6. OTTEMPERANZA ALLE PRESCRIZIONI DEL DECRETO DI SCREENING

Come scritto nell'apposito paragrafo precedente sull'iter approvativo del progetto, il PFTE ha avuto parere positivo per quanto attiene la Assoggettabilità a Valutazione di Impatto Ambientale, a condizione di recepire nel progetto definitivo alcune prescrizioni contenute nella delibera di approvazione.

Il documento *"B381C-D-X00-EGG-XXX-RT-02-A - Relazione di ottemperanza alle prescrizioni del Decreto di Screening"* contiene le suddette richieste e le azioni intraprese nel Progetto Definitivo.

7. INSERIMENTO URBANISTICO

7.1 PREMESSA

Il progetto dell'infrastruttura tramviaria coinvolge il tessuto urbano di Bologna per circa 6,7 km, attraversandone l'abitato dal Centro Storico (via dei Mille) all'estrema periferia nord (Corticella, al confine tra i comuni di Bologna e Castel Maggiore) sovrapponendosi per circa 1,2 km al tracciato principale della linea Rossa nella tratta corrispondente a via dell'Indipendenza, via Matteotti, via Ferrarese, via Mazza e piazza dell'Unità.

Come può immaginarsi, il tracciato attraversa tessuti profondamente diversi, cercando di integrarsi in essi mediante il corretto posizionamento dell'asse infrastrutturale all'interno delle strade, il miglioramento della sezione stradale stessa mediante l'allargamento dei marciapiedi, la previsione di corsie ciclabili o ciclopeditoni, il potenziamento delle alberature e del verde stradale nonché dell'arredo urbano.

7.2 LINEE GUIDA PER LA PROGETTAZIONE DELLE SISTEMAZIONI URBANISTICHE

La progettazione delle sistemazioni urbanistiche è stata effettuata, come già fatto precedentemente per il resto della linea Rossa di cui la linea oggetto della relazione ne rappresenta la diramazione settentrionale, sulla base delle seguenti linee guida:

- Minimizzazione dell'impatto della sede tramviaria sulla circolazione primaria e secondaria;
- Minimizzazione dell'impatto della nuova infrastruttura sul patrimonio arboreo esistente;
- Minimizzazione dell'impatto sui sistemi di sosta esistenti;
- Adattamento delle tecnologie tramviarie e delle finiture al contesto ambientale e in special modo, a quello del centro storico;
- Rispetto del tipo edilizio "portico" in riferimento al suo valore storico-urbanistico per la città di Bologna;
- Integrazione della tranvia con i sistemi di mobilità attiva (pedonale e ciclabile);
- Abbattimento delle barriere architettoniche.

Dall'applicazione delle suddette linee guida ne è nata la necessità di adattare il tracciato stesso alle diverse forme urbane attraversate, cercando il miglior compromesso possibile tra l'optimum trasportistico e il valore aggiunto dato dalla strada come luogo di relazione sociale caratteristico delle comunità italiane.

7.3 MANUFATTI LUNGO LINEA

7.3.1 BANCHINE DI FERMATA

Lungo il tracciato sono riscontrabili due tipologie di fermata – centrale e laterale – che si adattano di volta in volta alle sistemazioni urbanistiche di linea in modo da integrarsi, al meglio, con il contesto urbano toccato.

7.3.2 BANCHINA CENTRALE

La fermata con banchina centrale nella alternativa di tracciato scelta viene prevista in:

- piazza XX Settembre (n° 1 fermata – già prevista nel progetto della linea a Rossa)
- Matteotti – Alta Velocità (n°1 fermata - già prevista nel progetto della linea a Rossa)
- Poliziano (n° 1 fermata)
- Ippodromo (n° 1 fermata)
- Bassanelli (n° 1 fermata)
- Saliceto (n° 1 fermata)
- Della Croce Coperta (n° 1 fermata)
- Papini (n° 1 fermata)
- Fiammelli (n° 1 fermata)
- Lipparini (n° 1 fermata)
- Bentini (n° 1 fermata)
- Gorki (n° 1 fermata)

La banchina presenta una larghezza di 3,5 m ed una lunghezza di 35 m (in analogia con quanto già previsto nel progetto esecutivo della Linea Rossa - i cui lavori sono in corso di

esecuzione), cui si aggiungono le due rampe di testa aventi, ognuna, uno sviluppo di 5 m ed un fronte di attacco di 2,9 m; essa presenta il doppio accosto per permettere la fermata di una vettura per ogni lato in contemporanea.

Rispetto a quanto sopra riportato si evidenzia che per esigenze di compatibilità con la sezione stradale in cui ci si inserisce, le fermate Poliziano e Ippodromo presenteranno una minore larghezza (pari a 3 metri) mantenendo altresì la medesima lunghezza di banchina.

7.3.3 BANCHINA LATERALE

Le fermate con banchine laterali contrapposte nella soluzione prescelta sono previste in:

- Via dei Mille (n° 1 fermata doppia)
- Zucca (n° 1 fermata singola - già prevista nel progetto della linea Rossa)
- Piazza dell'Unità (n° 1 fermata singola - già prevista nel progetto della linea Rossa)
- Sant'Anna/Byron (n° 1 fermata doppia)
- Shakespeare (n° 1 fermata doppia)
- Capolinea nord Corticella (n° 1 fermata doppia)

La singola banchina presenta una larghezza di 2,5 m ed una lunghezza di 35 m, cui si aggiungono le due rampe di testa aventi, ognuna, uno sviluppo di 5 metri.

Si evidenzia che le banchine del capolinea di Via dei Mille avranno una lunghezza di 37 metri e saranno dotate di rampe solo all'estremità est; di contro, sull'estremità ovest, sarà la pavimentazione del marciapiede a raccordarsi fino a raggiungere, con pendenze inferiori o uguali al 5%, il piano di banchina.

Le banchine della fermata Sant'Anna/Byron, invece, presentano una larghezza pari a 2,25 m (inferiore ai 2,5 m standard) al fine di garantire il passaggio di mezzi gommati in promiscuo sulla sede tramviaria (garantendo anche il passaggio di due autobus in contemporanea in direzioni opposte).

Le banchine del capolinea nord Corticella, infine, presentano una lunghezza di 41 metri ed una larghezza di 2,5 metri ciascuna; esse saranno collegate direttamente ed in piano con il marciapiede perimetrale del piazzale della Stazione SFM.

7.3.4 FINITURE DI FERMATE

La pavimentazione prevista è in granito "Crescentone" con lastre tagliate a filo sega e poste a correre per la dimensione maggiore della banchina; i cigli saranno dello stesso granito con lavorazione a bocciarda per massimizzare la visibilità dei salti di quota; i sistemi di orientamento LOGES saranno, invece, in pietra artificiale con colorazione a contrasto chiaro/scuro rispetto alla pavimentazione di banchina.

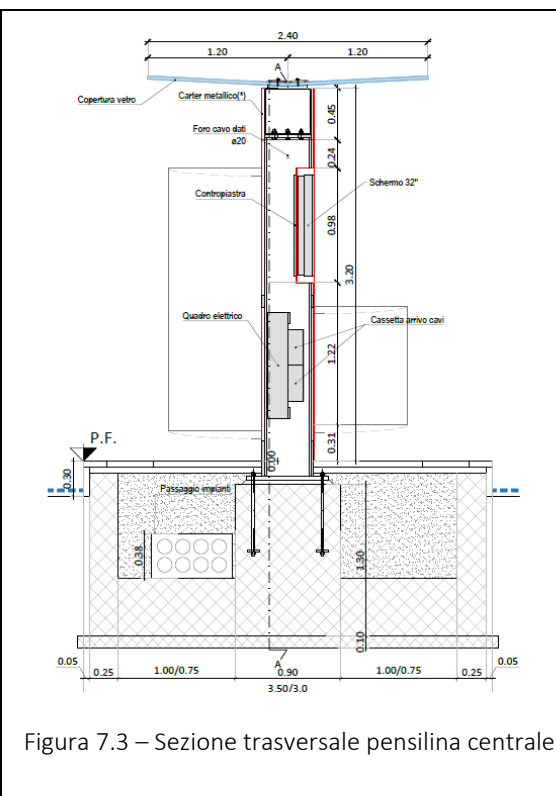
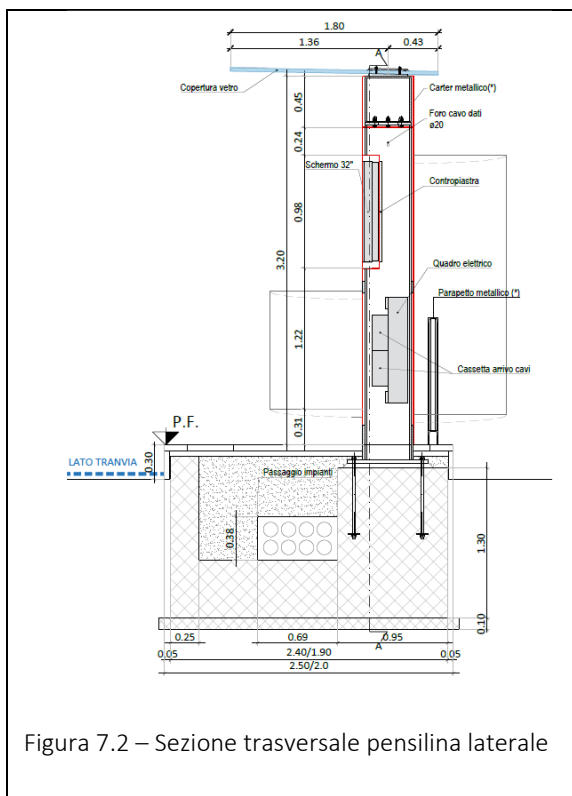
Gli elementi di granito potranno avere dimensioni differenti e spessori mai inferiori a 6 cm. Avranno inoltre la superficie superiore lavorata a punta mezzana (se non diversamente prescritto), con spigoli vivi rifilati a scalpello per una larghezza di 2 cm; quella laterale lavorata a scalpello limitatamente ad una fascia di 2 cm di altezza ed a semplice sbazzatura per la parte rimanente, in modo tale comunque che tra i bordi delle superfici di marcia dei due masselli adiacenti possa crearsi un giunto di larghezza non superiore ad 1 cm. Le facce laterali dovranno risultare a squadro per una altezza non inferiore alla metà dello spessore dei masselli; nella parte inferiore potranno invece presentare sottosquadri di valore non superiore a 2,5 cm.

Sul bordo delle banchine, lato strada carrabile, invece, si prevede l'installazione di una ringhiera metallica preverniciata dello stesso colore delle pensiline e degli elementi informativi.

Sul bordo delle banchine, lato binario, si prevede l'installazione di segnapasso da incasso a luce radente in modo da aumentare la segnalazione visiva del dislivello.

Su tale lato, inoltre, viene prevista l'installazione di un profilo in gomma di sacrificio fissato al cordolo di bordo banchina.

Particolare attenzione è stata data all'integrazione, nell'ambito del disegno della pavimentazione, degli elementi di segnalazione "Loges" in calcestruzzo vibrocompresso.



La struttura a telaio metallico delle pensiline è identica per entrambe le tipologie di fermata (centrale e laterale), mentre la copertura in vetro, ancorata all'estradosso del traverso, è simmetrica per quelle centrali, con larghezza complessiva di 2,4m e asimmetrica per quelle laterali con larghezza complessiva 1,8m.



Figura 7.4 – Render pensilina laterale

Il telaio metallico è realizzato da un traverso superiore a profilo tubolare di luce netta 11m incastrato ai montanti laterali di sezione rettangolare 45x90cm, con lato lungo orientato secondo la direzione dei binari.

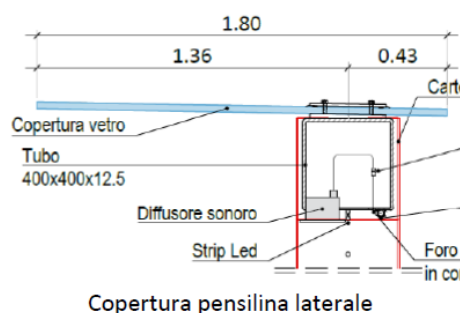
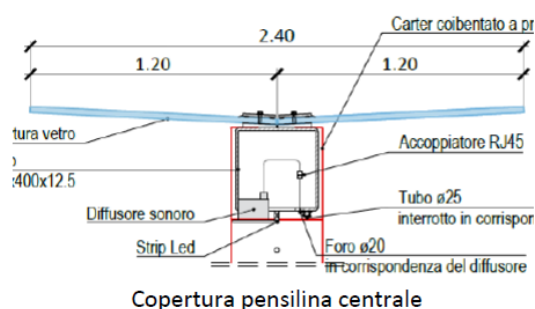
I montanti sono realizzati dall'accoppiamento di due 2 profili UPN ancorati alla fondazione da tirafondi e collegati al traverso con un giunto bullonato.

All'interno dei montanti sono allocati gli allestimenti impiantistici che nel progetto definitivo erano collocati sulla banchina in due totem esterni.

Questa soluzione, che concentra gli allestimenti nella struttura delle pensiline, garantisce più spazio libero sulla banchina a favore della migliore fruizione anche da parte dei disabili, oltre che un migliore inserimento architettonico delle fermate nel contesto urbano.

Le fondazioni sono di tipo diretto a plinti collegati tra loro da due cordoli che assolvono anche la funzione di sostegno laterale della banchina.

La copertura è prevista in lastre di vetro stratificato temperato di spessore 12mm + 12mm + intercalare plastico SG di spessore 1,52mm.



7.4 PAVIMENTAZIONI

Il progetto delle pavimentazioni è stato studiato in modo da integrare, al massimo, i nuovi interventi nel contesto esistente, viepiù cercando, ove possibile, di riqualificare gli ambiti attraversati dall'infrastruttura tramviaria.

Il progetto prevede il rifacimento delle pavimentazioni sia della sede stradale impegnata che dei marciapiedi relativi, abbracciando anche aree di parcheggio, spiazzi, piazze e aree pedonali.

La tabella che segue sintetizza i materiali previsti lungo l'intero intervento.

Pavimentazione carrabile 1	Conglomerato bituminoso
Pavimentazione carrabile 2	Basole in granito
Pavimentazione carrabile 3	Sampietrini
Sede tramviaria 1	Conglomerato bituminoso colorato chiaro
Sede tramviaria 2	Inerbita
Pavimentazione pedonale 1	Conglomerato bituminoso

Pavimentazione pedonale 2	Sampietrini (integrazioni pavimentazioni p.za dell'Unità)
Sedi ciclabili	Conglomerato bituminoso colorato in pasta con aggiunta di ossidi di ferro

Sede tranviaria

La nuova sede tranviaria avrà per lo più una finitura realizzata con uno strato di conglomerato bituminoso di tipo chiaro, mediante l'utilizzo di bitumi a basso tenore di asfalteni o resine sintetiche che assumono una colorazione ambrata molto chiara. Potranno essere utilizzate soluzioni con tappeti di usura semiflessibili.

La tecnica del tappeto semiflessibile consiste nella stesa di un conglomerato bituminoso fortemente poroso (con una percentuale di vuoti compresa tra il 25 e il 30%) e nella successiva saturazione dello strato con una malta cementizia fluida, fibrorinforzata, di colore chiaro.

Sede pedonale

Nella finitura dei marciapiedi verrà utilizzato uno strato di finitura in conglomerato bituminoso di spessore 3 cm.

Sedi ciclabili

Per la realizzazione dei percorsi ciclabili le pavimentazioni in conglomerato bituminoso dovranno essere colorate in pasta mediante l'aggiunta di ossidi di ferro e posate con uno spessore di 3 cm.

7.4.1 PAVIMENTAZIONE CARRABILE - SAMPIETRINI

Nell'ambito del progetto, in corrispondenza dell'innesto su via dell'Indipendenza si mantiene l'utilizzo di pavimentazioni in cubetti di porfido già previsto nel progetto esecutivo della Linea Rossa; il materiale da utilizzare andrà scelto nell'ambito dei quattro tipi di cubetti di normale produzione; la scelta del tipo sarà effettuata considerando:

- Intensità e natura del traffico;

- Destinazione e collocazione ambientale;
- Motivazioni architettoniche.

In linea generale le dimensioni dei cubetti da impiegare in un pavimento sono direttamente proporzionali all'intensità del traffico. La pavimentazione in cubetti di porfido dovrà poggiare su un sottofondo predisposto alle giuste quote e con le necessarie pendenze per lo smaltimento delle acque meteoriche.

La quota del sottofondo dovrà essere sagomata uniformemente a:

- cm. 8/10 per il cubetto 4/6;
- cm. 11/13 per il cubetto 6/8;
- cm. 13/15 per il cubetto 8/10;
- cm. 15/17 per il cubetto 10/12;

rispetto alla pavimentazione finita.

7.4.2 PAVIMENTAZIONE CARRABILE - BASOLE

Nell'ambito del progetto, in corrispondenza dell'innesto su via dell'Indipendenza si mantiene l'utilizzo di pavimentazioni in basole di Granito già previsto nel progetto esecutivo della Linea Rossa; il materiale da utilizzare proverrà dal recupero degli elementi oggi esistenti da svellere con eventuale integrazione delle quantità mancanti; la scelta del tipo sarà effettuata considerando:

- Intensità e natura del traffico;
- Destinazione e collocazione ambientale;
- Motivazioni architettoniche.

In linea generale le dimensioni delle basole da impiegare in un pavimento sono direttamente proporzionali all'intensità del traffico. La pavimentazione dovrà poggiare su un sottofondo predisposto alle giuste quote e con le necessarie pendenze per lo smaltimento delle acque meteoriche.

7.4.3 SEDE TRANVIARIA - INERBITA

In particolari zone del progetto (via dei Mille e via Shakespeare) è previsto l'inerbimento della sede tramviaria; l'inerbimento dovrà essere effettuato mediante la preparazione e concimazione di un idoneo strato di terreno, la piantumazione del manto erboso (con essenze resistenti ed autoctone) mediante idrosemina e tutte le opere occorrenti per la cura del manto stesso fino all'attecchimento; dovranno essere altresì realizzati idonei impianti di irrigazione automatica volti ad attenuare i costi di cura e manutenzione del manto erboso.

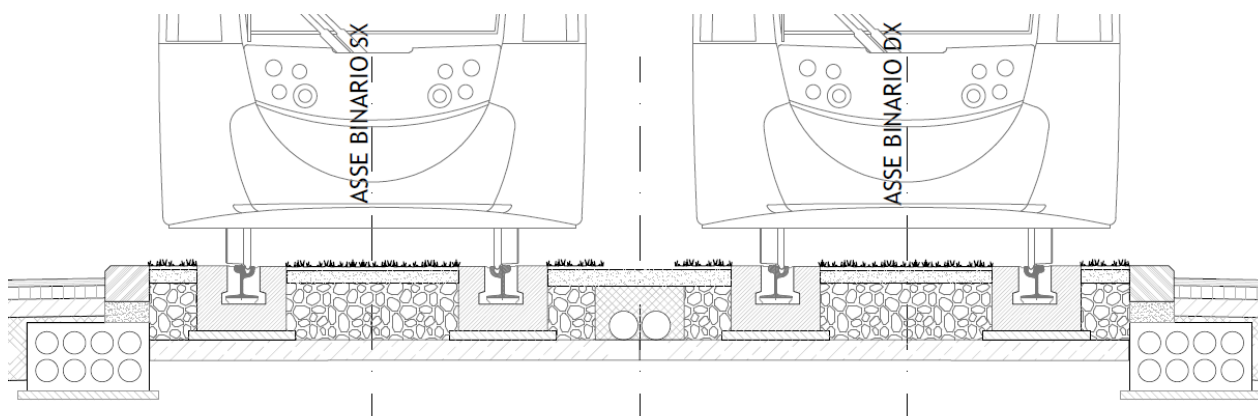


Figura 7.5 – Sede tranviaria inerbita

7.4.4 CIGLI STRADALI E AIUOLE - ELEMENTI IN GRANITO CHIARO O CLS

Gli elementi saranno di lunghezza variabile minimo un metro, come da tabella seguente.

Cigli stradali	Elementi in granito chiaro 30x25 cm (con eventuale recupero e riutilizzo del materiale proveniente dalla fase di demolizione)
Ciglio di separazione tra piste ciclabili e sede tramviaria	Elementi in cls prefabbricato sezione 50x25 cm
Cigli aiuole spartitraffico o in sede tramviaria	Elementi in granito chiaro 30x25 cm (con eventuale recupero e riutilizzo del materiale proveniente dalla fase di demolizione)
Cigli aiuole alberate su marciapiede	Elementi in granito chiaro 15x25 (con eventuale recupero e riutilizzo del materiale proveniente dalla fase di demolizione) a raso con pavimentazione pedonale
Cigli aiuole alberate in sede stradale	Elementi in cls prefabbricato 15x25 posti a raso con la pavimentazione stradale
Passi carrai a livello marciapiede	Voltatesta 50x50x25 in granito; Basola di raccordo verticale 52x100x(8 – 10) cm Liste laterali in granito 30x100x8 cm con canaletta di scolo Pavimentazione in Sanpietrini

Gli elementi saranno in granito retti o curvi a spacco, lavorati alla punta, sulla testa e costa, compreso il rinfiacco e il sottofondo di calcestruzzo a q.li 2 di cemento R325 per mc, spessore 10 cm e la sigillatura dei giunti con boiacca di puro cemento.

7.5 SISTEMA VERDE

Nella concezione del progetto definitivo, inerente al prolungamento della linea Rossa verso Corticella, si è mantenuta la scelta strategica, già presente nel progetto della linea Rossa, di preservare, esaltare ed aumentare il valore storico ed estetico delle alberature presenti lungo il nuovo tracciato.

Per preservazione non si intende solo il mero mantenimento delle piante dove erano e come erano ma, in una visione più ampia, il loro inquadramento in un contesto che tiene conto:

- dello stato di fatto;
- del processo che ha portato alla configurazione attuale;
- del cambiamento che la nuova configurazione dei viali necessariamente impone;
- della migliore configurazione possibile in funzione anche del corretto mantenimento delle alberature e delle aree verdi.

Per esaltazione si intende, nella scelta delle essenze delle nuove alberature e delle altre opere a verde, che non solo siano le stesse o simili alle alberature già esistenti ma che possano apportare i seguenti valori positivi:

- Tipi di alberature che garantiscano una rapida crescita in modo che già dopo 3 o 4 anni si comincino a “leggere” come alberi adulti;
- Specie che apportino un loro valore estetico importante per la variazione dei colori delle chiome, per la capacità di ombreggiare dove serve ecc.;
- Specie che siano facili da mantenere e immuni dalle malattie più aggressive;

Per aumento del valore storico ed estetico si intende non solo la sostituzione o l’aumento numerico delle alberature ma anche:

- Conoscere l’impianto originale dei viali e delle piazze di Bologna per capire come si è andata a costituire la situazione attuale;
- Capire le nuove esigenze che la ridefinizione degli spazi ha portato e scegliere una configurazione delle alberature che sia la migliore per il futuro della città e dei suoi cittadini.

Si descrivono sinteticamente le opere a verde previste.

Nelle aree terminali in prossimità del capolinea, localizzate in aree ad oggi agricole, sono stati previsti interventi di incremento della fitomassa arborea:

- bosco urbano 1 (a sud di Via Bentini): 250 nuovi alberi e 107 arbusti, per una superficie boscata di 8739 mq;
- bosco urbano 2 (a nord di Via Bentini) 88 nuove alberi e 39 arbusti, per una superficie boscata di 3122 mq;

quali interventi volti all'integrazione della tranvia con il tessuto esistente, alla ricucitura dei tessuti della frangia urbana e al rafforzamento delle connessioni fra le diverse componenti ecologiche, naturali e paesaggistiche.

Nella complessiva riqualificazione urbanistica dell'ambiente stradale sono stati previsti nuovi parcheggi pubblici in sede propria nei quali saranno presenti aree verdi ad ombreggiamento dei parcheggi, in un'ottica di miglioramento del microclima urbano.

In corrispondenza degli assi stradali la ridefinizione delle dimensioni della carreggiata per garantire il transito dei tram e la localizzazione di fermate dedicate, la realizzazione di nuove piste ciclabili, percorsi pedonali e stalli di sosta ha determinato:

- riprogettazione delle alberate viarie;
- l'inserimento di nuove aree verdi a servizio della mobilità (aiuole stradali e rotatorie).
- Potenziamento di parchi e giardini esistenti: Giardino 3 ottobre 2013, porzione su via di Corticella del Parco dei Giardini Via dell'Arcoveggio, Parco su via del Tuscolano e Parcheggio di Via Piero Gobetti (porzione del parco Trilogia Navile).

Il totale dei nuovi impianti considerando boschi urbani, alberature viarie, parchi e giardini è di 890 alberi.

Il progetto immaginato, nella soluzione prescelta prevede al contempo lungo lo sviluppo del tracciato l'abbattimento di alcune specie arboree.

Questa scelta deriva da una serie di fattori che vanno dall'interferenza con la sede o con i sottoservizi modificati, al fine di mantenere il flusso viario teorizzato nello studio trasportistico, fino alla realizzazione dei capolinea, dei manufatti e del deposito ausiliario.

A compensazione, ovvero laddove non è stato possibile mantenere le alberature esistenti, in collaborazione con il Comune di Bologna sono state individuate alcune aree verdi da valutare come oggetto di riqualificazione, all'interno delle quali potranno anche essere ripiantate alcune delle alberature espianate nelle aree limitrofe. Le suddette aree sono l'area a parcheggio di via Gobetti e il parco su Via del Tuscolano.

Di seguito si allega una tabella riepilogativa del progetto inerente le alberature, con indicato lo stato di fatto, la situazione di progetto e la differenza con quanto oggi riscontrato sul territorio.

TRAMVIA DI BOLOGNA – LINEA VERDE			
ALBERATURE – Confronto stato attuale e di progetto			
	Alberi abbattuti	Alberi di nuovo impianto	Delta
In linea	201	384	183
Parcheggio via Bassanelli	5	34	29
Parcheggio via Byron	0	15	15
Parcheggio di Via Gobetti	0	41	41
Parco di via del Tuscolano	0	78	78
Sommano	206	552	+346
Boschi urbani a nord e sud di Via Bentini	0	338	338
Sommano	206	890	+684
	Abbattuti	Nuovi	Rapporti
Rapporto alberi abbattuti/nuovi su viali e parchi	206	552	1:2,7
Rapporto alberi abbattuti/nuovi compresi boschi urbani	206	890	1:4,3

Dall'analisi della tabella sopra riportata si evince un significativo incremento dei nuovi impianti rispetto agli abbattimenti; questa soluzione progettuale consente di compensare ampiamente le perdite, ben oltre le richieste minime del Regolamento del

verde pubblico e privato comunale, sotto riportato. Il bilancio è ampiamente soddisfatto, sia considerando solo le alberature in parchi e viali e, a maggior ragione, comprendendo anche i boschi urbani.

La scelta progettuale del verde verrà realizzata, infatti, in conformità alle linee guide inserite nel “Regolamento Comunale del Verde Pubblico e Privato”, seguendo pertanto l’iter che conduce all’analisi su scala via via più dettagliata dell’intervento, a partire dall’inquadramento territoriale (analisi del contesto urbano, delle valenze ambientali, delle connessioni con il sistema del verde pubblico e privato, dei possibili collegamenti tra il verde esistente e di progetto), passando dalla valutazione della migliore disposizione spaziale delle diverse componenti, per giungere infine alla scelta della tipologia di verde più idonea per singola situazione ambientale.

Nello specifico si farà riferimento agli art.16 e 18 del suddetto Regolamento (Abbattimento per motivi edilizi), che recitano quanto segue *“2. Gli alberi abbattuti devono essere sostituiti nel rapporto 1:2 nel lotto sul quale si realizza l’intervento con alberature della stessa classe di grandezza per almeno uno dei due esemplari sostitutivi e la possibilità di utilizzare specie delle classi di grandezza inferiori per la seconda sostituzione. 8. Nel caso di inottemperanza alle prescrizioni relative ai reimpianti di cui al presente articolo, l’area di pertinenza nella quale insisteva l’alberatura abbattuta rimane inedificabile a tutti gli effetti.”*.

Per quanto concerne le aree destinate a parcheggio pubblico, la realizzazione del verde terrà conto di quanto definito all’interno dell’art.21 (Scelta delle specie vegetali per i reimpianti, progetti edilizi, parcheggi e alberature stradali.), che richiede di garantire negli spazi destinati a parcheggio a raso, la dotazione di alberature che a maturazione consentano un’ampia copertura dell’area di sosta con buone capacità di assorbimento di inquinanti gassosi e di trattenimento di polveri sottili.

La soluzione progettuale più indicata e idonea ad un corretto sviluppo delle alberature è data dalla realizzazione di fasce verdi continue, permeabili e alberate, della larghezza minima di m 2 e ortogonali agli stalli.

Per i parcheggi a pettine le aiuole vanno realizzate della larghezza minima di m 2, lunghe quanto lo stallo o minimo di m 2,50 nel caso sia prevista la realizzazione di posti moto di fronte alle aiuole; per i parcheggi a spina l'aiuola singola dovrà avere larghezza minima di m 2 e lunghezza di m 2,50. Qualora sussistano in un'unica area parcheggi pubblici e parcheggi privati contigui, vanno adottate soluzioni tecniche per differenziarli inequivocabilmente attraverso l'impiego, per esempio, di specie botaniche diverse o di materiali edilizi diversi.

Anche per quanto riguarda gli alberi nelle strade, i singoli esemplari dovranno avere alla base spazi permeabili di sufficiente ampiezza, con un minimo di m 2x2.

7.6 PARCHEGGI

La gestione degli spazi di sosta si inserisce nel quadro normativo descritto dal Regolamento Urbanistico Edilizio, nel quale si prevede che la loro predisposizione garantisca la sicurezza e il confort degli utenti al fine di rendere il parcheggio un luogo di facile uso e frequentazione.

A tal proposito, nella progettazione del tracciato tranviario è stata tenuta in considerazione l'importanza di integrare i percorsi pedonali, ciclabili e carrabili così da garantire uno scambio intermodale efficace.

Si è perciò pensato alla ricollocazione degli spazi di sosta in aree specifiche per favorire l'accesso alle fermate tranviarie a discapito dei metri quadri di parcheggi che sono stati necessariamente eliminati per consentire la realizzazione del percorso della tranvia.

Inoltre, secondo quanto riportato dal Piano Urbano di Mobilità Sostenibile (PUMS), per compensare gli spazi sottratti all'auto privata a favore dello sviluppo di progetti di mobilità sostenibile, potranno essere incrementati sistemi che incentivano il cittadino all'utilizzo di mezzi a basso impatto ambientale, quali:

- contributi per abbonamenti sosta
- sconto su abbonamenti per trasporto pubblico per chi è obbligato o decide di rinunciare al contrassegno per la sosta su strada e/o per l'accesso ZTL

Per tutelare la sosta residenziale, è necessario indirizzare pendolari e visitatori verso i parcheggi di interscambio attraverso meccanismi incentivanti da un punto di vista economico, come l'integrazione tariffaria per favorire il park & ride.

Nel PUMS, le strategie riportate per la gestione della sosta veicolare prevedono:

- riorganizzazione del sistema della sosta e della tariffazione
- individuazione e realizzazione di nuove aree di sosta valutata alla luce delle reali esigenze di mobilità;
- previsione di politiche di tariffazione agevolata per l'utilizzo dei parcheggi di interscambio con il trasporto pubblico;
- introduzione di misure per favorire la rotazione della sosta attraverso una maggiore differenziazione delle tariffe massima e minima.

Nella definizione degli spazi adibiti alla sosta, vengono tenuti in conto gli standard normativi in fatto di numero di alberature e orientamento per un'adeguata ombreggiatura.

In linea generale, nello sviluppo progettuale si è cercato, ove possibile di mantenere le fasce di sosta oggi presenti lungo le strade attraversate.

Laddove questo, principalmente per un motivo legato alla dimensione della sezione a disposizione, non sia risultato possibile, sono state individuate delle aree da destinare a zone di sosta regolamentata.

Il primo è previsto, invece, all'interno di un'area oggi già adibita a parcheggio pubblico e posta tra le vie Saliceto e Ferrarese, destinato al recupero della capacità di sosta del quartiere con una capacità di circa 199 posti auto (incremento rispetto al parcheggio esistente di 103 posti auto).

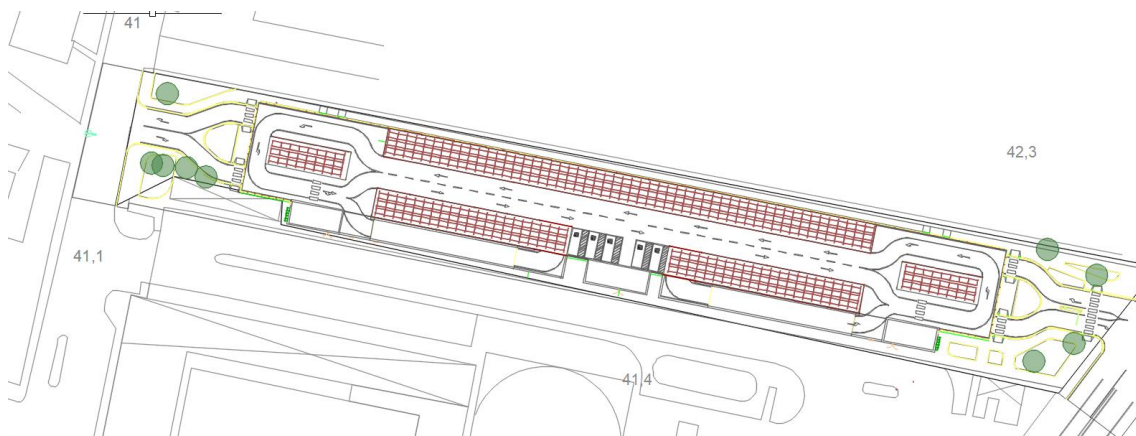


Figura 7.6 – Parcheggio Saliceto

Il secondo di questi parcheggi è previsto in prossimità della fermata Bassanelli (211 posti), nell'area libera oggi pertinenza dell'Ippodromo; esso è prioritariamente destinato al recupero della capacità di parcheggio del quartiere.

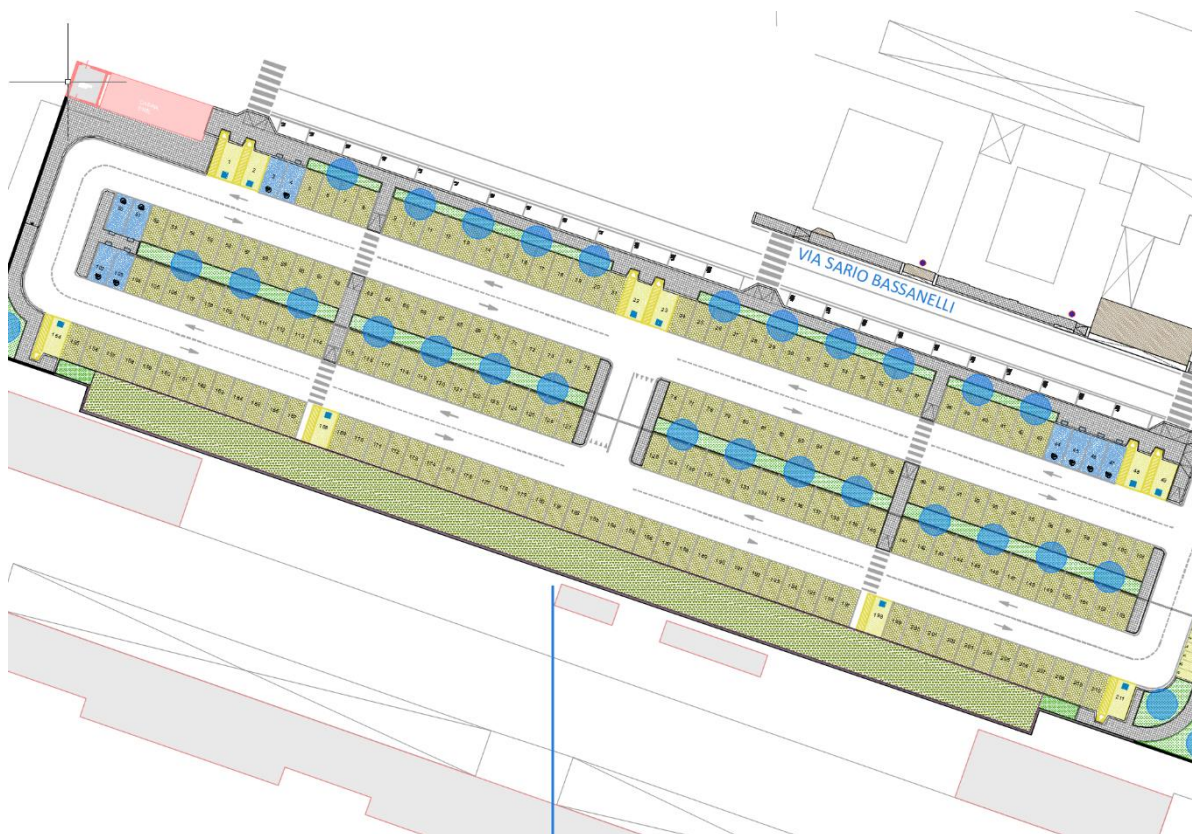


Figura 7.7 – Parcheggio via Bassanelli

Il terzo è previsto, invece, in corrispondenza della fermata Shakespeare mediante la realizzazione di un parcheggio multipiano (al cui piano terra verranno altresì attestati i capilinea delle linee interurbane su gomma) all'interno di un'area oggi libera. La capacità di sosta di tale parcheggio è pari a 270 posti auto.

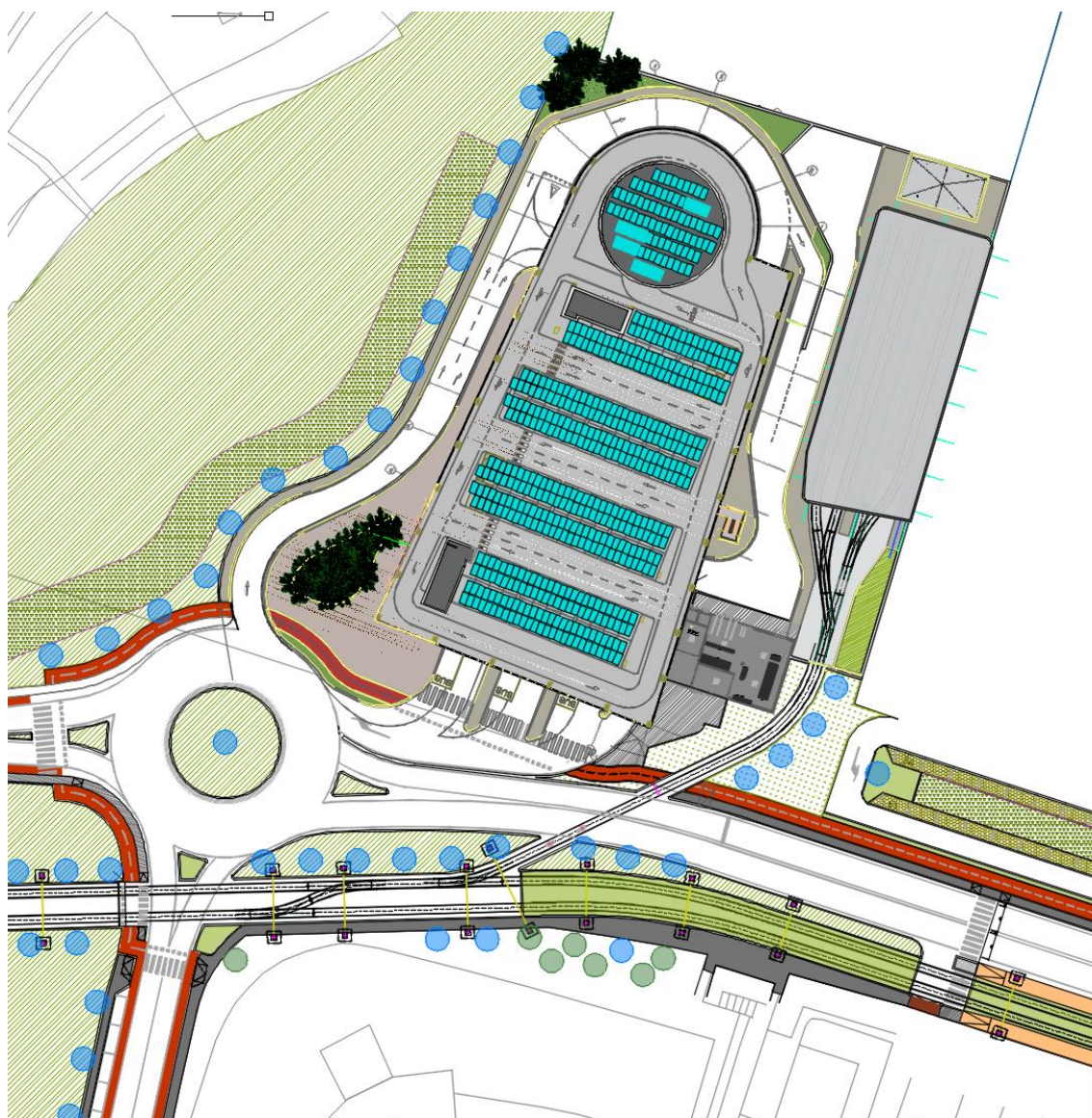


Figura 7.8 – Capolinea “Corticella”

Sempre nella zona nord, in corrispondenza del parcheggio esistente lungo il lato settentrionale di via Shakespeare, è stata allargata la fascia destinata a parcheggio,

passando dagli attuali 110 posti ai complessivi 167 previsti in progetto (con un aumento di 57 unità).



Figura 7.9 – Ampliamento area di parcheggio su via Shakespeare

Si fa presente, tuttavia, che nelle successive fasi di progettazione si valuterà con i competenti uffici del Comune, la possibilità di destinare ulteriori aree di proprietà comunale alla sosta, anche se non immediatamente collocate lungo l'itinerario di progetto.

Di seguito una tabella riepilogativa della sosta attuale e della sosta di progetto così come ipotizzata lungo le strade interessate dal passaggio della tranvia; nella stessa tabella sono riportati anche i dati di capacità delle aree di parcheggio previste nel progetto della linea tramviaria.

TRAMVIA DI BOLOGNA – LINEA VERDE				
PARCHEGGI – Confronto stato attuale e di progetto				
	SDF	Progetto	Δ	Totale
Quartiere Porto Saragozza				
<i>Percorso su Via dei Mille</i>	19	24	+5	
Totale Quartiere Porto Saragozza	19	24	+5	24
Quartiere Navile				
<i>Percorso su via Giacomo Matteotti</i>				
Da Via Dè Carracci a via Jacopo della Quercia	3	2	-1	
<i>Percorso su via Ferrarese</i>				
Da Via Saliceto a Via Franceschini	102	40	-62	
Area di parcheggio Saliceto	96	199	+103	
<i>Percorso su via Mazza</i>				
Da Via Ferrarese a Via Corticella	20	0	-20	
<i>Percorso su via di Corticella</i>				
Da via Mazza a Via Mitelli	45	35	-10	
Da via Mitelli a via Passarotti	24	16	-8	
Da via Passarotti a via Bassanelli	119	0	-119	
Area di parcheggio Bassanelli	0	211	+211	
Da via Bassanelli a via di Saliceto	33	0	-33	
Area di parcheggio via Proni	140	116	-24	
Da via di Saliceto a via Lipparini	3	0	-3	
Da via Lipparini a Passaggio A. Marescalchi	87	58	-14	
<i>Percorso su via Genuzio Bentini</i>				
Da via Pettazzoni a via Sant'Anna	97	16	-81	
<i>Percorso su via Sant'Anna</i>				
Da via Bentini a via Byron	0	0	0	
<i>Percorso su via Byron</i>				
Da via Sant'Anna a via Shakespeare	0	0	0	
<i>Percorso su via Shakespeare</i>				
Da via Byron a via Bentini	0	0	0	
Area parcheggio Centro Sportivo	110	167	+57	
Parcheggio d'interscambio Corticella	0	270	+270	
<i>Piazzale Corticella SFM</i>	15	22	+7	
Totale quartiere Navile	894	1152	+258	1138
Totale intervento	913	1176	+263	1176

8. ANALISI TRASPORTISTICA

Come esposto nei precedenti paragrafi, il tratto nord della seconda linea tranviaria di Bologna è strettamente interconnessa con la Linea Rossa sia da un punto di vista infrastrutturale che di servizio.

8.1 LA DOMANDA GIORNALIERA E ORARIA SULLA LINEA DEL TRAM

La realizzazione della nuova linea tranviaria comporta un incremento di utenza di 32.226 passeggeri giorno rispetto alla domanda servita dalla sola linea Rossa presente nello scenario di Riferimento, con uno spostamento medio a bordo pari a oltre 3,7 km (oltre il 50% dell'estesa dell'intera linea) e un tempo medio a bordo nell'ordine dei 10 minuti.

È stato stimato che, su base annua, i passeggeri del sistema tranviario composto dall'insieme della Linea Rossa e della Linea Verde verso Corticella siano pari a circa 40 milioni, corrispondenti a oltre 137.000 passeggeri nel giorno medio feriale.

Per ciò che concerne l'insieme della rete di trasporto pubblico con riferimento alle linee maggiormente rilevanti si ottengono i seguenti risultati relativi all'intera giornata.

Tabella 8.1: Indicatori trasportistici per le principali linee del TPL. Scenario di Riferimento e di Progetto, passeggeri per giorno feriale. (1) TPGV, trasporto pubblico a guida vincolata

Linea	Scenario di Riferimento		Scenario di Progetto	
	Saliti	Pax km	Saliti	Pax km
11	26.239	106.126	26.509	104.314
13	33.616	155.011	33.642	154.675
14	52.861	187.556	52.425	181.441
19	7.335	24.238	7.462	23.670
20	18.945	47.536	21.617	53.043
21	4.624	12.139	4.594	11.791
25	3.617	7.467	2.468	4.517
27	11.166	29.219	11.087	28.966
32	6.610	13.545	6.491	13.353
33	5.748	10.605	5.472	10.029
35	9.038	23.145	9.029	23.333
36	13.703	41.755	14.179	42.842
Crealis/TPGV ⁽¹⁾	40.516	143.161	41.022	146.087
Linea Rossa	107.867	452.084	107.554	459.151
Linea Verde	-	-	30.226	113.526
Totale	341.885	1.253.587	373.778	1.370.738

Legenda colori

Linea filoviaria

Linea tranviaria

Al fine di verificare se l'intervento di progetto in esame consente di perseguire in maniera efficace gli obiettivi che il PUMS si propone, in particolar modo per ciò che concerne lo share modale, è stato necessario effettuare delle analisi puntuali per valutare l'impatto della nuova linea tranviaria sulla mobilità privata.

Per valutare correttamente gli effetti della realizzazione della rete tranviaria bisogna tenere in conto che sia le evoluzioni sociodemografiche previste sia le nuove urbanizzazioni comporteranno, per l'orizzonte temporale di analisi, un incremento della domanda di mobilità.

In questo contesto, grazie al potenziamento dei servizi di TPL e alla realizzazione della Linea Rossa del tram si osserva, già nello Scenario di Riferimento, un aumento di spostamenti giornalieri sui mezzi pubblici rispetto alla situazione attuale del 8% (considerando il contributo del Park & Ride) e conseguentemente una generale diminuzione della mobilità sui mezzi privati.

È opportuno specificare che eventuali fenomeni di sovraffollamento della Linea Rossa conseguenti allo shift modale da auto a trasporto pubblico favoriti dall'attivazione della città 30 potranno essere gestiti attraverso maggiore supporto di corse bus in cooperazione sullo stesso percorso.

Si nota infine che, con l'introduzione della nuova linea tranviaria, si prosegue nel processo di diversione modale della domanda dai mezzi privati verso il trasporto pubblico (+11% rispetto alla situazione attuale), con un incremento di passeggeri e dei pax*km sulle principali linee del TPL urbano di Bologna rispettivamente pari al 10% e al 9%.

Considerando che, nella configurazione in cui è presente la sola Linea Rossa, i passeggeri anno risultano pari a 31,3 milioni, se ne può dedurre che il contributo all'utenza tranviaria fornito dalla nuova linea ammonta a circa 8,7 milioni di passeggeri/anno (+28%) e oltre 30mila passeggeri/giorno.

Dai flussogrammi di rete si evince che, sulla Linea Verde tra Piazza Martiri e Corticella, il carico massimo si attesta a circa 26.000 passeggeri/giorno, con un picco nell'ora di punta in direzione centro città pari a circa 1.800 pax/h all'altezza di Piazza dell'Unità

Nella successiva tabella, invece, i carichi giornalieri sulla tranvia sono rappresentati per tratte omogenee, viene esposto sia il carico teorico medio relativo ai soli servizi che si originano o si attestano dalla/alla stazione di Corticella.

Tabella 8.2: Carichi teorici medi sulla Linea Verde (pax/gg e pax/h)

Tratta omogenea	Pax/giorno	Pax/h
Martiri-Unità	17.083	2.083
Unità-Tangenziale	23.548	2.942
Tangenziale-Corticella	12.847	1.681

8.2 EFFETTI SULLA MOBILITÀ PRIVATA

In generale, è possibile osservare una riduzione delle percorrenze veicolari nell'ordine dei 70.000 veic*km per quanto al giorno ferialo medio che, utilizzando un coefficiente di espansione giorno-anno pari a 290, rappresenta una riduzione di oltre 20 milioni di veic*km ogni anno. Tale valore, sebbene percentualmente contenuto rispetto alla scala dell'intera Città metropolitana (-0,3%), è ancora più rilevante se considerato che si ottiene su una porzione di rete piuttosto contenuta nelle più immediate vicinanze della futura linea tranviaria.

Nel complesso, quindi, la nuova offerta tranviaria e l'ulteriore riorganizzazione della rete del TPL su gomma genera un impatto positivo sulla riduzione della mobilità privata per effetto della ripartizione modale della domanda.

Tale effetto è molto evidente proprio sull'asse di penetrazione da Nord (via Bentini, via di Corticella) fino al quartiere della Bolognina.

La riduzione degli spostamenti stimata nell'arco dell'intera giornata sulle infrastrutture stradali è combinazione dell'effetto di riduzione del numero di automobili e del cambio di itinerario di una parte degli utenti. Questi i valori stimati di riduzione del flusso:

- Via Bentini – Via di Corticella: circa-3.500 veicoli/gg
- Tangenziale Nord versante occidentale: circa 1.000 veicoli/gg
- Via De Gasperi –Via Togliatti: circa 700 veicoli/gg

Degli incrementi di flusso si riscontrano solamente nelle altre viabilità di penetrazione da nord che vengono utilizzate da utenti che trovano maggior difficoltà ad accedere al centro città attraverso l'asse di via di Corticella.

Come ulteriore elemento di valutazione degli impatti generati sulla viabilità privata dal nuovo servizio tranviario, possiamo utilizzare le classi di criticità individuate attraverso il rapporto flusso/capacità dell'arco. In Tabella 8.3 si riporta il confronto tra i chilometri di rete stradale che ricadono in ciascuna classe per lo scenario di riferimento e quello di progetto.

Tabella 8.3: Analisi della rete stradale in funzione del rapporto Flusso/Capacità

Rapporto Flusso/Capacità	Scenario di Riferimento (km)	Scenario di Progetto (km)	Var. %
$\leq 0,6$	7.507	7.507	---
Compreso tra 0,6 e 0,9	264	265	+0,3%
$\geq 0,9$	111	109	-2,4%

Anche questo indicatore ci dice che la rete stradale, a valle della realizzazione del progetto, consentirà un migliore deflusso dei veicoli. Deflusso che registrerà i maggiori benefici proprio negli orari di punta della giornata.

8.3 DIMENSIONAMENTO DEL PARCO

Sulla scorta dei risultati della simulazione di marcia tesa, degli allungamenti di regolarità e dei tempi di inversione ai capolinea si trovano i seguenti tempi di giro:

- Linea A1 (Rossa): 132,3 minuti;
- Linea A2 (Rossa): 99,3 minuti;
- Linea B (Verde): 61,3 minuti

A questi tempi, sul modello di esercizio che, in ora di punta, vede un intertempo di 10,0' per le linee A1 e A2 e 5,0' per la linea B, corrisponde un fabbisogno di rotabili in linea pari a:

- Linea A1 (Rossa): 13 unità;
- Linea A2 (Rossa): 10 unità;
- Linea B (Verde): 12 unità;

A questi si aggiungono un minimo di 5 scorte (tra calde per fuori linea imprevisti e fredde per manutenzione programmata) per un totale di 40 vetture.

Tabella 8.4: Sintesi parametri di esercizio per il dimensionamento del parco

<i>Parametro</i>	<i>Unità</i>	<i>Linea A1</i>	<i>Linea A2</i>	<i>Linea B</i>	<i>Totale</i>
Lunghezza totale di esercizio	m	15.707	11.714	6.914	34.335
Numero di fermate	N.	29	24	16	45
Tempo lordo di viaggio tra i due terminali	minuti	63,90	47,40	28,38	
Velocità commerciale	km/h	14,75	14,83	14,62	
Tempo minimo di sosta al capolinea	minuti	3,0	3,0	3,0	
Allungamento di regolarità ai capolinea	minuti	1,5	1,5	1,5	
Tempo di giro	minuti	132,3	99,3	61,3	
Intertempo di progetto (per direzione)	minuti	10,0	10,0	5,0	
Rotabili in linea	N.	13	10	12	35
Rotabili di riserva (calda e fredda)	N.	2	1	2	5
Parco totale	N.	15	11	14	40

9. GEOLOGIA E GEOTECNICA

L'analisi delle indagini in sito di riferimento, messe a disposizione dalla committenza e costituite da dati geognostici scaturiti da sondaggi meccanici a carotaggio continuo spinte a varie profondità, ha permesso una preliminare ricostruzione litostratigrafica del sottosuolo oggetto di intervento.

Da un punto di vista stratigrafico, tenendo conto della inevitabile eterogeneità delle caratteristiche litologiche dei terreni presenti nell'intera area è possibile distinguere diverse facies che si succedono in modo non sequenziale nel sottosuolo, con rapporti stratigrafici fortemente eteropici e conseguenti repentine variazioni e cambi di facies sia in senso orizzontale che verticale.

La reale geometria delle diverse unità è accertata solo in corrispondenza delle verticali di indagine: sono quindi da tener conto possibili variazioni locali, trattandosi di estrapolazioni su base sedimentologica derivate dalle indagini considerate.

Le facies così individuate sono di seguito elencate:

- **RIPORTO**

Depositi antropici di natura limoso-sabbiosa che presentano localmente inclusi di varia natura, caratterizzati da eterogeneità degli spessori e delle caratteristiche di consistenza.

- **UNITÀ A –Facies limoso-argillosa**

Limo argilloso e argilla limosa di colore grigio verdastro con presenza di calcinelli e bioclasti. Localmente si rinvencono corpi lenticolari costituenti la Facies B e C.

- **UNITÀ B – Facies sabbiosa-limosa**

Sabbia fine e media talvolta debolmente limosa di color marrone. Questa unità si rinviene in corpi lenticolari distribuiti nelle Facies A e C.

- **UNITÀ C – Facies ghiaiosa**

Ghiaia da fine a medio-grossolana in matrice sabbioso limosa. Localmente si rinvencono corpi lenticolari costituenti la Facies A e B.

Da un punto di vista geotecnico le caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni sono state estrapolate dalle prove in sito realizzate, e di seguito riportate in forma tabellare:

RIPORTO	
Terreni limoso-sabbiosi con inclusi	
Grado di addensamento	Da poco a moderatamente addensato
Peso di volume secco (γ_d)	16-18 kN/m ³
Angolo di attrito mobilizzabile (ϕ)	28°-30°
Coesione mobilizzabile (c)	0 kPa

UNITÀ A	
Limo Argillosi	
Grado di addensamento	-
Peso di volume secco (γ_d)	19-20 kN/m ³
Angolo di attrito mobilizzabile (ϕ)	24°-27°
Coesione mobilizzabile (c)	5-10 kPa

UNITÀ B	
Terreni sabbioso-limosi	
Grado di addensamento	Medio-elevato
Peso di volume secco (γ_d)	18-20 kN/m ³
Angolo di attrito mobilizzabile (ϕ)	27°-30°
Coesione mobilizzabile (c)	0-5 kPa

UNITÀ C	
Terreni ghiaiosi in matrice sabbiosa	
Grado di addensamento	elevato
Peso di volume secco (γ_d)	19-21 kN/m ³
Angolo di attrito mobilizzabile (ϕ)	35°-32°
Coesione mobilizzabile (c)	0 kPa

Per il dettaglio della caratterizzazione geologica e geotecnica dell'area di intervento si rimanda agli elaborati specifici previsti nel PD.

10. IDRAULICA E IDROLOGIA

La nuova infrastruttura lineare ricade in aree a pericolosità da alluvione P2 ai sensi del P.G.R.A. dell'Autorità di Distretto del Fiume Po'.

Pertanto, stante il contesto di pericolosità in cui si inserisce la nuova linea tranviaria, deve essere condotta un'analisi idrologico ed idraulica per valutare la compatibilità idraulica dell'infrastruttura.

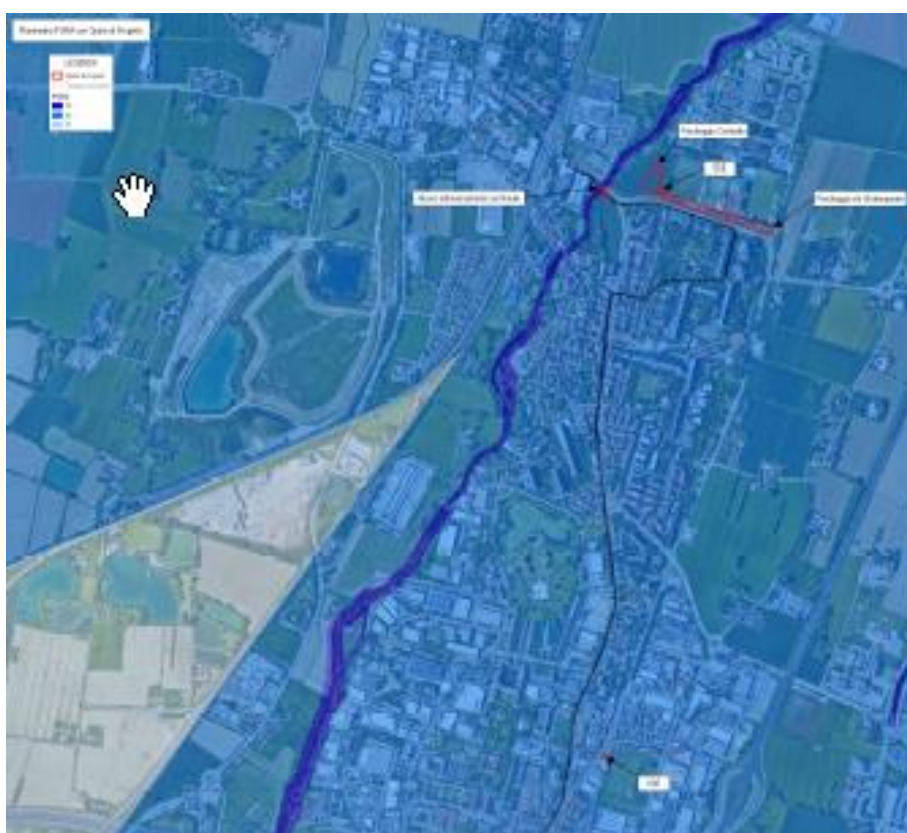


Figura 10.1 – Sovrapposizione Linea verde e PGRA



Figura 10.2 – Sovrapposizione Linea Verde e PGRA

10.1 COMPATIBILITA' IDRAULICA DELLE LINEE TRANVIARIE

La compatibilità nella linea tranviaria in progetto è stata valutata sulla base di studi idrologici ed idraulici riguardanti sia il reticolo principale (Navile e Savena Abbandonato) sia il reticolo di bonifica afferente al Consorzio del Reno (scolo Bondanello e scolo Carzè). La modellistica idraulica utilizzata in entrambi i casi è di tipo 2D cimentata sulla base delle condizioni a contorno definite nel PSAI.

Per la verifica delle condizioni di pericolosità locale sono stati implementati modelli 2D per la stima degli effetti di fenomeni meteorologici eccezionali (TR 200 anni), fenomeni di flash flood e per un evento estremo (evento alluvionale Emilia-Romagna del 16/05/2023) in modo da accertare l'assenza di incrementi di rischio anche in questi scenari.

Tale approccio nasce dall'esigenza di rendere l'infrastruttura in progetto resiliente ai cambiamenti climatici in corso, definendo già in fase progettuale le strategie per l'adattamento a scenari estremi (es. criteri per la progettazione dei sottopassi).

10.1.1 COMPATIBILITA' IDRAULICA DELL'AREA RICOVERO MEZZI

In base alle modellistiche bidimensionali implementate con focus sull'area del terminal bus e area di ricovero mezzi è stata definita una quota di messa in sicurezza tale da escludere fenomeni di allagamenti e/o ristagno per gli eventi di progetto, così da non aggravare il rischio idraulico. Al fine di garantire l'invarianza idraulica nel contesto fisico d'intervento anche a seguito della maggiore impermeabilizzazione dei suoli prodotta dalle opere in progetto, si individua un'area di compenso di adeguata capacità e funzionalità idraulica in modo da recuperare i volumi previsti e laminare le portate allo scarico in modo da rispettare il valore indice di 10 l/s per ettaro.

La progettazione dell'area per l'invarianza idraulica è stata fatta secondo i criteri S.U.D.S. con escavazione del piano campagna sopra il livello di falda, in modo da non interferire con l'acquifero sottostante.

Le acque meteoriche temporaneamente accumulate nel canale vegetato, sono recapitate con cadente naturale nel Canale Navile la cui restituzione nel corso d'acqua superficiale è prevista mediante manufatto di controllo.

Nella sezione di sbocco dello scarico nel Canale Navile è stato previsto un rivestimento in scogliera realizzata con massi naturali secondo tecniche di ingegneria naturalistica per prevenire fenomeni di erosione localizzata sulla sponda fluviale nel rispetto delle prescrizioni del RD 523/1904.

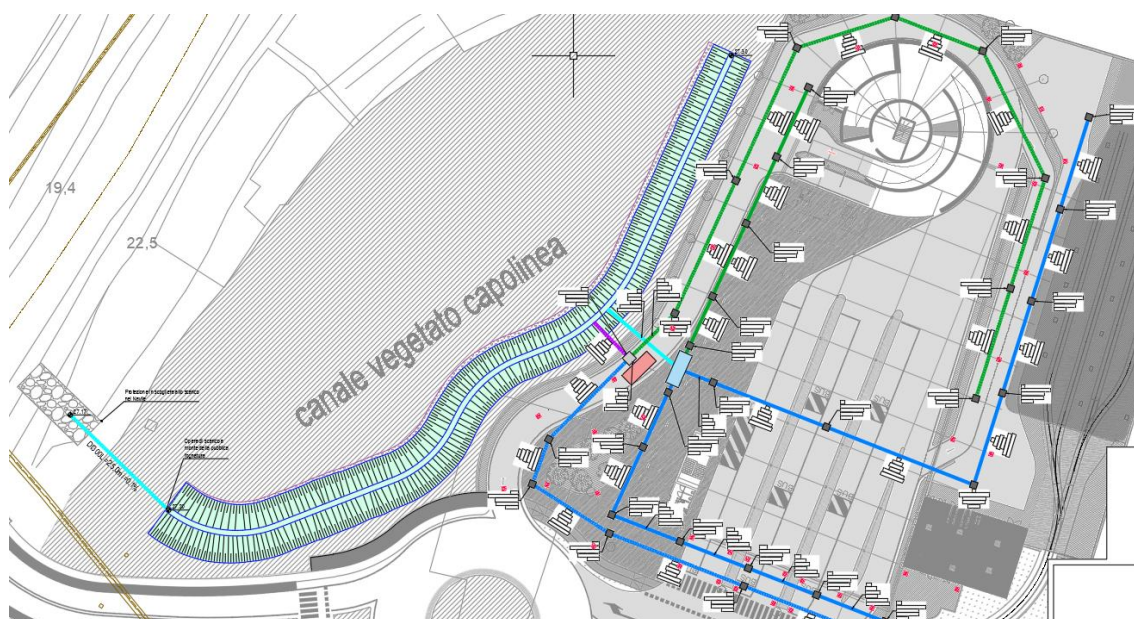


Figura 10.3 – Area per l'invarianza idraulica

10.1.2 COMPATIBILITA' IDRAULICA DEL NUOVO PONTE SUL CANALE NAVILE

La compatibilità idraulica del nuovo ponte tranviario è stata valutata ai sensi del RD 523/1904 e delle NTC 2018.

A tal fine sono state condotte indagini idrologiche ed idrauliche sul canale Navile per accertare il livello di piena duecentennale, mutuando le sollecitazioni idrologiche direttamente dalla pianificazione di bacino vigente (PSAI Navile Savena Abbandonato).

Il nuovo impalcato dovrà garantire un franco idraulico, definito come la distanza fra la quota liquida di progetto immediatamente a monte del ponte e l'intradosso delle strutture, non inferiore a 1,50 m.

Non sono presenti pile in alveo e le spalle del ponte sono state previste esternamente alla sezione idraulica in modo da non interferire con la piena con TR 200 anni sia in fase di esercizio sia in fase di cantiere dove le escavazioni non interesseranno l'alveo attivo in nessuna fase. Non sono pertanto previsti scavi localizzati in prossimità delle spalle.

10.1.3 COMPATIBILITA' IDRAULICA DEI SOTTOPASSI E SOTTO STAZIONI ELETTRICHE

Per la progettazione idraulica dei sottopassi e delle sottostazioni elettriche sono stati condotti studi bidimensionali per definire il massimo battente idraulico atteso a fronte di eventi meteorici eccezionali (TR 200), eventi storici estremi (evento alluvionale del 16 Maggio 2023) e fenomeni di flash flood.

Sulla base di tali condizioni a contorno sono stati definiti gli interventi a presidio del sottopasso tranviario del passante autostradale e stradale di Via Ferrarese.

Gli interventi per la gestione del rischio alluvione dei sottopassi prevedono interventi disconnessione idraulica (rialzo di piattaforma tranviaria rispetto alla piattaforma stradale, muretti di contenimento a tenuta idraulica, canalette di guardia delle rampe), sistemi di drenaggio delle rampe dimensionato su orizzonte duecentennale (TR 200 anni) e vasche volano interrate (una per ciascun sottopasso) per garantire comunque allo scarico nella fognatura di Hera Spa il rispetto del valore indice di 10 l/s ha.

Tale approccio conservativo nasce dall'esigenza di rendere l'infrastruttura in progetto resiliente ai cambiamenti climatici in corso, senza aggravare le condizioni di rischio preesistenti.

10.1.4 COMPATIBILITA' IDRAULICA DEI NUOVI PARCHEGGI

A corredo del progetto tranviario, come opere accessorie, è prevista la realizzazione di nuovi parcheggi con pavimentazioni permeabili e la riorganizzazione funzionale di parcheggi esistenti.

Nella prima tipologia di parcheggi rientrano il parcheggio Bassanelli, il parcheggio di via Shakespeare nelle due stecche all'estremità est ed ovest; in tali casi, al fine di aumentare la resilienza del territorio ai cambiamenti climatici, la progettazione del sistema di drenaggio urbano ha seguito gli indirizzi di cui all'art 53 del R.E.C di Bologna prevedendo come sistema di trattamento delle acque meteoriche di prima pioggia e volano idraulico, canali vegetati e vasche con trincee infiltranti in modo da rispettare allo scarico il valore

soglia di 10/s per ettaro e recuperare 25 mc/ha per il trattamento in continuo delle prime piogge sfruttando la capacità di autodepurazione del sistema vegetale.

Nella seconda tipologia di parcheggi, ove la riorganizzazione funzionale non modifica la permeabilità dei suoli, si prevede di riprogettare la rete di drenaggio con recapito intermedio in sistemi di drenaggio sostenibili dimensionati, ai sensi dell'art 53 del R.E.C di Bologna, in modo da rispettare allo scarico il valore soglia di 50l/s.

10.2 DRENAGGIO DI PIATTAFORMA

L'intera linea (tracciato e sistemazioni urbane), le opere d'arte presenti e, in genere, tutte le costruzioni asservite alla tramvia sono state oggetto di valutazione preliminari relative allo smaltimento delle acque meteoriche.

Il principio progettuale base è realizzare, e dimensionare, una efficiente sistema di raccolta dell'acqua meteorica, una sua canalizzazione e quindi un successivo convogliamento nella rete di smaltimento comunale.

La rete di smaltimento delle acque meteoriche attua la raccolta e lo smaltimento a gravità delle acque meteoriche. L'utilizzo di impianti di tipo elettromeccanico, per la gestione delle acque raccolte, sarà attuato solo in alcuni punti singolari della linea dove sono realizzati sistemi di aggettamento con vasche di raccolta (stazioni di sollevamento).

La sede tranviaria, realizzata su una platea in calcestruzzo, non risulta in grado di smaltire, per filtrazione nel terreno sottostante, le acque di pioggia.

Pertanto, l'acqua che si deposita lungo la sede tranviaria verrà drenata attraverso delle griglie trasversali conformi alla norma UNI EN 1433 che raccolgono le acque superficiali e quelle convogliate dalle gole delle rotaie, scaricandole nei collettori fognari.

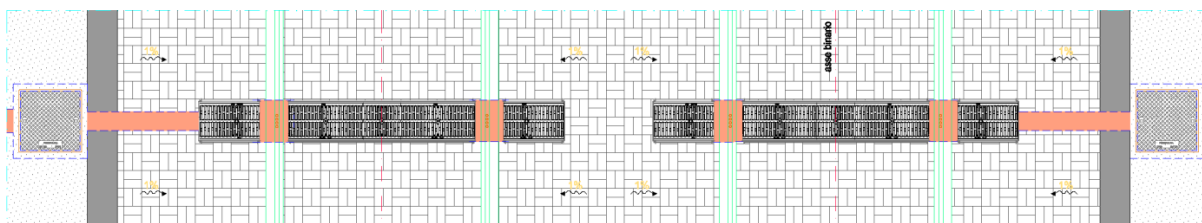


Figura 10.4 – Posizionamento delle canaline trasversali per il drenaggio della sede tranviaria

Il passo delle stesce sarà definito dallo specifico studio idraulico che prevederà, in linea di massima:

- canalette di drenaggio ogni 25-30 m, a cui si aggiunge il drenaggio della gola delle rotaie, ottenuta con apposite asole nella gola della rotaia da effettuarsi al massimo ogni 200 m circa;
- canalette in ogni punto basso del profilo longitudinale del tracciato, con drenaggio della gola delle rotaie, nel caso di pavimentazione in asfalto o masselli autobloccanti.

Per consentire di allontanare l'acqua raccolta dalla gola della rotaia vengono realizzati quattro fori del diametro di 16 mm/cad all'interno della gola che sono messi in comunicazione con la canaletta di drenaggio.



I canali di raccolta proposti vengono realizzati in calcestruzzo polimerico (elevata durabilità) e appositamente prodotti per il drenaggio delle sedi tranviarie.

I canali presentano una conformazione e lunghezza tale da potersi inserire perfettamente nell'interbinario e, allo stesso tempo, sono provvisti di apposito profilo sagomato per raccogliere l'acqua che si raccoglie nella gola della rotaia.

A completamento del sistema di drenaggio della sede tranviaria, vi sono le griglie in ghisa (carrabili) dotate di apposito dispositivo di protezione e chiusura, che garantiscono una facile manutenzione.

In questa fase di progetto di fattibilità tecnico-economica sono stati redatti degli elaborati tipologici relativi ai drenaggi di sede e alle opere di smaltimento acque meteoriche correlate al tracciato.

Nelle successive fasi di progettazione sarà necessario tenere conto, per il corretto e preciso dimensionamento delle opere idrauliche da realizzarsi lungo il tracciato e nelle opere puntuali correlate alla linea (SSE, sottopassi, ponti), dell'analisi statistica dei dati di pioggia relativi a stazioni pluviografiche nei dintorni del territorio attraversato.

11. SISMICA

11.1 INQUADRAMENTO SISMICO

L'inquadramento sismico dell'area di interesse è stato redatto in accordo alle prescrizioni fornite dalle NTC2018. Nel seguito verrà descritto brevemente il quadro sismologico dell'area, definendo successivamente l'azione sismica di progetto.

L'area oggetto di studio, ricadente nel comune di Bologna, è situata nelle zone 912 e 913 del modello di zonazione ZS9 del territorio italiano, per le quali la cui magnitudo max risulta pari a 6.14 (vedi Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia INGV - "Redazione della Mappa di Pericolosità Sismica- Rapporto Conclusivo" (Aprile 2004).

11.2 STRATEGIA PROGETTUALE

La strategia progettuale, d'intesa con la Committente è riportata nei paragrafi successivi.

- Vita Nominale pari a $V_N = 50$ anni
- Classe d'Uso IV coefficiente d'uso $C_U = 2.0$.
- Vita utile di riferimento: $V_R = (V_N)/(C_U) = 100$ anni

11.3 ACCELERAZIONI ORIZZONTALI DA NORMATIVA

Le accelerazioni orizzontali massime convenzionali su suolo di categoria A, riferite ai Comuni interessati dal presente progetto, sono riportate nelle tabelle contenute nel presente paragrafo, insieme ai principali parametri di interesse necessari per la definizione dell'azione sismica.

Nelle tabelle con T_R (in anni) e a_g (in g) si indica rispettivamente il tempo di ritorno e l'accelerazione di picco su suolo di categoria A.

In fase progettuale, fissato il periodo di riferimento V_R (vedi § 2.4 delle NTC DM 14 Gennaio 2008) e stabilita la probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} (funzione dello stato limite considerato, Tabella 1), è possibile stimare il periodo di ritorno dell'azione sismica T_R attraverso l'espressione:

$$T_R = - \frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$$

Stati limite di esercizio (P_{VR})	Stati limite ultimi (P_{VR})
SLO - Stato limite di operatività (81%)	SLV- Stato limite di salvaguardia (10%)
SLD - Stato limite di danno (63%)	SLD – Stato limite di prevenzione del collasso (5%)

Tabella 1 -Definizione degli stati limite secondo le Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni e relative probabilità di superamento PVR.

Qualora la pericolosità sismica su reticolo di riferimento non contempli il periodo di ritorno corrispondente al VR e alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR fissate in progetto, il valore del generico parametro p (a_g , F_o , T^*c) ad esso corrispondente potrà essere ricavato per interpolazione, a partire dai dati relativi ai TR previsti nella pericolosità sismica, utilizzando l'espressione seguente:

$$\log(p) = \log(p_1) + \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \times \log\left(\frac{T_R}{T_{R1}}\right) \times \left[\log\left(\frac{T_{R2}}{T_{R1}}\right)\right]^{-1}$$

nella quale:

- i. p è il valore del parametro di interesse corrispondente al periodo di ritorno T_R desiderato;
- ii. T_{R1} , T_{R2} sono i periodi di ritorno più prossimi a T_R per i quali si dispone dei valori p_1 e p_2 del generico parametro p .

I valori dei parametri a_g , F_o , T^*c relativi alla pericolosità sismica su reticolo di riferimento sono forniti nelle tabelle riportate nell'ALLEGATO B delle NTC.

Si riportano di seguito le tabelle con i valori dei parametri a_g , F_o e T^*c , in funzione del periodo di ritorno T_R . I valori dei parametri a_g , F_o , T^*c sono stimati come media pesata dei valori assunti dai parametri nei 4 vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento, utilizzando come pesi gli inversi delle distanze tra il punto in questione e i 4 vertici sopraccitati.

Via Dei Mille					Da pk 0+000 a pk 1+500				
STATI LIMITE	TR [anni]	a_g [g]	F_o	T^*_c [s]	STATI LIMITE	TR [anni]	a_g [g]	F_o	T^*_c [s]
SLO	60	0.072	2.480	0.275	SLO	60	0.070	2.485	0.275
SLD	101	0.089	2.472	0.285	SLD	101	0.087	2.476	0.285
SLV	949	0.210	2.428	0.315	SLV	949	0.212	2.438	0.307
SLC	1950	0.262	2.452	0.322	SLC	1950	0.269	2.436	0.312
Periodo di riferimento per l'azione sismica	100				Periodo di riferimento per l'azione sismica	100			

Da pk 1+500 a pk 3+000					Da pk 3+000 a pk 6+144				
STATI LIMITE	TR [anni]	a_g [g]	F_o	T^*_c [s]	STATI LIMITE	TR [anni]	a_g [g]	F_o	T^*_c [s]
SLO	60	0.070	2.486	0.275	SLO	61	0.069	2.487	0.275
SLD	101	0.087	2.477	0.285	SLD	103	0.086	2.477	0.285
SLV	949	0.213	2.438	0.304	SLV	968	0.215	2.437	0.301
SLC	1950	0.271	2.431	0.310	SLC	1989	0.273	2.423	0.307
Periodo di riferimento per l'azione sismica	100				Periodo di riferimento per l'azione sismica	100			

11.4 DETERMINAZIONE DELLA CATEGORIA DI SUOLO

Sulla base dei dati geognostici disponibili (prove SPT in corso di sondaggio), di seguito si riporta il quadro riassuntivo dei risultati conseguiti per la determinazione delle categorie di sottosuolo in corrispondenza delle aree interessate dal tracciato di progetto.

Progressive tracciato		V _{seq}	Categoria di suolo
da pk	a pk		
Via Dei Mille		259	C
0+000	1+500	264	C
1+500	3+000	307	C
3+000	6+144	289	C

Nel seguito la definizione per la categoria riscontrata lungo il tracciato secondo le Norme Tecniche 2018:

Categoria C – “Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.”

11.5 STABILITÀ DEL SITO NEI CONFRONTI DEI FENOMENI DI LIQUEFAZIONE

La suscettibilità di un deposito alla liquefazione è esprimibile attraverso la definizione di un coefficiente di sicurezza F_s , espresso come rapporto

$$F_s = \frac{CRR}{CSR} \cdot MSF$$

dove CRR rappresenta la resistenza normalizzata del terreno, CSR è la tensione indotta dal terremoto e MSF è un fattore di scala che può essere valutato mediante abachi in funzione della magnitudo.

Quando $F_s > 1$ la liquefazione è da escludere, viceversa se $F_s < 1$ vi è la possibilità che occorranno fenomeni di liquefazione.

Applicando la metodologia empirica proposta da Boulanger e Idriss (2014) che fornisce una valutazione “integrale” degli effetti della liquefazione, la valutazione della suscettibilità a liquefazione effettuata per la verticale d’indagine ha permesso il calcolo del fattore di sicurezza (FSL) in funzione della resistenza dei livelli liquefacibili, espressa

tramite i valori di NSPT scaturiti dalle prove penetrometriche dinamiche ed utilizzando i valori più cautelativi in favore di sicurezza.

La profondità massima analizzata è di 20 m da p.c. come previsto da normativa. È stata considerata una Magnitudo attesa al sito di $M_w=6.1$ e una accelerazione massima attesa in superficie $a_g=0.21$ g, calcolata tramite approccio semplificato da normativa di riferimento.

Il calcolo di FSL, effettuato ai sensi dell'OPCM 3274/2003 con metodologia prevista nelle NTC/2018, fornisce, per la verticale d'indagine considerata, fattori di sicurezza alla liquefazione (FSL) superiori all'unità.

<i>Progressive tracciato</i>		Profondità (m)	N _{SPT}	F _s
<i>Da pk</i>	<i>A pk</i>			
Via Dei Mille		0 – 6,0	15	1,4
		6,0 – 20,0	27	1,7
0+000	1+500	0 – 3,0	28	3,0
		3,0 – 10,0	21	1,6
		10,0 – 15,0	17	1,1
		15,0 – 20,0	24	1,3
1+500	3+000	0 – 3,0	31	3,3
		3,0 – 10,0	27	2,0
		10,0 – 15,0	22	1,4
		15,0 – 20,0	28	1,6
3+000	6+144	0 – 3,0	11	1,2
		3,0 – 10,0	15	1,1
		10,0 – 15,0	21	1,3
		15,0 – 20,0	26	1,4

12. ARCHEOLOGIA

Parte integrante degli elaborati di carattere generale redatti nell'ambito del Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica della Tratta nord per Corticella della seconda linea tranviaria di Bologna, è rappresentata dallo Studio preventivo di valutazione dell'impatto archeologico (V.I.A.R.C.H.), redatto a norma¹ e finalizzato a calibrare i livelli di fattibilità degli interventi con l'obiettivo primario di evitare o minimizzare l'interferenza con le presenze di interesse archeologico.

Tale procedura ha lo scopo di raccogliere le informazioni significative ai fini della caratterizzazione archeologica dell'area oggetto di intervento, prima dell'apertura dei cantieri, con l'intento di non arrecare danni al patrimonio antico, di non intralciare e rallentare il regolare svolgimento dei lavori nella fase esecutiva e, soprattutto, di fornire gli strumenti conoscitivi necessari alla Soprintendenza competente² per la formulazione delle prescrizioni operative e metodologiche più appropriate alla tutela del bene archeologico.

È stata così prodotta una schedatura di dettaglio per ciascun sito individuato mediante lo spoglio bibliografico, archivistico, l'analisi della cartografia storica, del materiale fotografico e delle ricognizioni di superficie, cui ha fatto seguito la restituzione grafica della distribuzione delle evidenze riscontrate su una carta delle presenze archeologiche.

È seguita poi una fase interpretativa: incrociando i dati elaborati nel corso della fase conoscitiva, si è formulata una valutazione del rischio archeologico con specifico riferimento alle peculiarità dell'opera progettuale

¹ La procedura di "verifica preventiva dell'interesse archeologico", comunemente conosciuta come "archeologia preventiva", introdotta nel nostro ordinamento dalla legge 109 del 25 Giugno 2005, di cui all'art. 25 del d.lgs. 50/2016 (ex artt. 95-96 del d.lgs. 163/2006), presenta i suoi riflessi sulla progettazione dei lavori pubblici, sia quelli comuni che le grandi infrastrutture sottoposti all'applicazione dello stesso Codice dei Contratti Pubblici.

² Funzionario SABAP-BO di riferimento Dott.ssa V. Manzelli

Sulla base della valutazione del potenziale archeologico è stata definita una scala di rischio suddivisa in tre gradi:

- **ALTO** – *e/o rischio certo* per interferenza diretta con emergenze archeologiche o con aree di accertata rilevanza storico-archeologica; (colore rosso sulla cartografia tematica)
- **MEDIO** – *rischio probabile* poiché si tratta di areali prossimi ad evidenze archeologiche o che presentano analogie con contesti simili per condizioni geomorfologiche, storico-culturali (colore arancione sulla carta tematica);
- **BASSO** - *rischio basso o non facilmente determinabile* se nell'area di progetto sono state effettuate indagini dirette e/o indirette e non sono emersi elementi riconducibili a preesistenze archeologiche, fattore che non esclude a priori l'assenza di rischio (colore giallo sulla carta tematica).

Per quel che concerne nel dettaglio l'area di intervento, lo spoglio bibliografico ed archivistico, ha permesso di individuare un contenuto numero di siti archeologici utile a ricostruire le diverse forme di occupazione del territorio nelle varie fasi storiche, dall'età pre-protostorica all'età moderna.

In generale, si può considerare che un numero limitato di rinvenimenti archeologici, in quest'area alla periferia nord di Bologna, potrebbe essere conseguenza del fatto che il processo di espansione edilizia documentato a partire dagli anni '50 del Novecento, è avvenuto in un momento in cui la "sensibilità" nei confronti del patrimonio archeologico e del suo potenziale riguardava principalmente le aree urbane e meno quelle periferiche. Poco consistenti le tracce riferibili ad epoca preromana, poste a quote comprese tra i m 6 e 9 di profondità circa dal p.c.l., solo sporadicamente raggiunte nel corso di interventi di urbanizzazione o infrastrutturali (numericamente più consistenti), ma prevalentemente nel corso di scavi per lottizzazioni o grandi imprese.

La maggior parte dei rinvenimenti si riferisce al periodo romano (quota compresa tra m 4 e 5 di profondità circa dal p.c.l.): attraverso la disamina dei siti schedati e mediante il confronto con aree morfologicamente simili è stato possibile ricostruire l'assetto di quest'area suburbana, caratterizzata da una forma di insediamento sparso formatosi in relazione alla centuriazione e in cui le aree cimiteriali si distribuiscono in prossimità dei principali assi stradali.

La disamina della cartografia storica e l'indagine bibliografica hanno permesso di accertare una continuità insediativa in epoca medievale e post medievale, come si evince dalla persistenza di alcune direttrici stradali NS (via di Corticella, via dell'Arcoveggio, via di Saliceto e via Ferrarese), dallo sviluppo a partire dall' XI secolo circa del Borgo di Corticella e dalla presenza del canale Navile, veicolo di collegamento e commercio verso il nord.

In generale si rileva che tutto il tracciato della nuova diramazione si snoda in un comparto che nel *PSC di Bologna – Tavola dei Vincoli, Testimonianze storiche e archeologiche* è inquadrato in un'area a potenziale basso, seppur prossima alle aree a medio potenziale identificate nel quartiere fieristico ad est e nell'area del Navile – via Gobetti ad ovest.

Un'altra area a medio potenziale si inquadra a NE del settore di intervento, per la presenza di evidenti sopravvivenze di stampo centuriale (nel PTCP l'area indicata rientra nella zona di tutela degli assi della centuriazione romana di cui il più prossimo supposto è lungo la direttrice via del Tuscolano/via Saliceto).

In seguito all'indagine condotta sono stati ascritte ad una fascia di rischio alto/certo tutte le infrastrutture di nuova realizzazione: il sottopasso di Via Ferrarese, il sotto-attraversamento ferroviario, il sotto-attraversamento di via di Corticella in corrispondenza del Passante, il Ponte sul Navile.

Si ascrive un rischio medio a tutta la linea che si snoda su via di Corticella, via Bentini, via Sant'Anna, via Byron, via Shakespeare e all'ultimo tratto che arriva fino al deposito di Corticella.

Si ritiene che si possa attribuire un rischio archeologico basso all'intervento di ampliamento del sottopasso esistente in corrispondenza della Stazione SFM di Corticella, poiché in parte da realizzarsi in corrispondenza di terreni di riporto e poiché si prevede di mantenere la quota attuale.

In seguito alla Redazione della VIARCH la Direzione Scientifica, al fine di esprimere una valutazione più completa sugli effettivi impatti dell'opera su eventuali stratigrafie archeologiche antiche sepolte, ha prescritto l'esecuzione di indagini archeologiche preliminari.

In particolare, con nota prot. n. 2704 del 04/02/2022, sono state richieste differenti forme di attuazione:

- carotaggi a prelievo continuo al fine di campionare la stratigrafia del terreno nelle aree interessate da scavo profondo;
- carotaggi nelle aree del tracciato che risultano in interferenza diretta o di prossimità con aree o siti archeologici;
- sondaggi archeologici nelle aree in cui sia previsto scavo profondo fino a m 2 da condurre fino alle quote da progetto.

Le aree in cui sulla base del Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica erano previsti scavi profondi, possono essere così sintetizzate:

1. Sottopasso Via Ferrarese - via Bolognesi;
2. Parcheggio interrato Piazza dell'Unità;
3. Adeguamento del sotto-attraversamento della ferrovia;
4. Sottostazione fuori terra via di Saliceto;
5. Sotto-attraversamento via di Corticella/Passante autostrada;
6. Sottostazione interrata Fermata Lipparini;
7. Allargamento Ponte Navile;
8. Adeguamento Stazione di Corticella;

9. Sottopasso pedonale Stazione di Corticella;
10. Sottostazione fuori terra capolinea.

In seguito a sopralluoghi mirati nelle aree in cui da progetto sono previsti scavi profondi, è stata avanzata una prima proposta di indagini preliminari, approvata dalla DS con nota prot. 15370 del 14/06/2022.

Il successivo studio funzionale alla redazione della progettazione definitiva ha determinato alcune modifiche progettuali sostanziali che comportano la necessità di rivedere e integrare la proposta di indagini preliminari, sempre tenendo conto delle indicazioni fornite dalla DS con nota prot. n. 2704 del 04/02/2022.

Le aree da sottoporre a verifica archeologica poiché oggetto di scavo, sulla base del Progetto definitivo, vengono così rimodulate:

1. Sottopasso lungo l'asse via Ferrarese/via Mazza/via Bolognese (dimensioni: m 400 x 9.5 x 9h massima);
2. Parcheggio interrato Piazza dell'Unità (dimensioni 342 area x 19h) – variante progettuale rispetto alla Viarch;
3. Adeguamento del sotto-attraversamento della ferrovia (dimensioni: 19 x 25 x 2.00h dal piano di campagna);
4. Sotto-attraversamento via di Corticella/Passante autostrada (dimensioni: m 670 x 9 x 9h massima);
5. Sottostazione elettrica fuori terra su via Stendhal (dimensioni: 15 x 11x 1.70h);
6. Sottostazione fuori terra capolinea/deposito via Shakespeare (dimensioni: m 15x 15 x 1.70h).
7. Nuovo Ponte sul Navile (pali fino a m 25 dal piano di calpestio);

Rispetto alla precedente formulazione, nel progetto definitivo restano invariati gli interventi e dunque la proposta di indagine per i punti da 1,2,3; sono stati, invece, eliminati la Sottostazione fuori terra di via Saliceto (n.4), la Sottostazione interrata di Via

Lipparini (n. 6), l'adeguamento della Stazione di Corticella e il rispettivo sottopasso pedonale (nn. 8-9); e con la generale modifica del capolinea/deposito, si prevede la realizzazione di una SSE fuori terra in corrispondenza del nuovo deposito in via Shakespeare.

Si precisa, inoltre, che resta invariato il progetto di indagini relativo al Sotto-attraversamento di via Corticella in corrispondenza del Passante e che il progetto definitivo prevede la realizzazione di un nuovo Ponte sul Canale Navile da collocarsi a sud dell'esistente.

In sintesi, la nuova proposta di indagini preliminari da sottoporre dunque nuovamente all'approvazione della competente Soprintendenza prevede l'esecuzione di:

1. Sottopasso Via Ferrarese - via Bolognesi

- n. 8 carotaggi fino a m 10 profondità (codice LV1-LV8)
- n. 3 carotaggi fino a m 20 profondità (codice LV9-LV11)

2. Parcheggio interrato Piazza dell'Unità

- n. 3 carotaggi fino a m 20 profondità (codice LV12-LV14)

3. Adeguamento sotto-attraversamento della ferrovia

- n. 4 carotaggi fino a m 10 profondità (codice LV15-LV18)

4. Sotto-attraversamento via di Corticella/Passante autostrada

- n. 15 carotaggi fino a m 10 profondità (codice LV19-LV33)

5. Sottostazione fuori terra su via Stendhal

- n. 1 saggio di m 10 x 3 x 2h (codice Saggio 1 – via Stendhal)

6. Sottostazione fuori terra capolinea/deposito via Shakespeare

- n. 1 saggio di m 10 x 3 x 2h (codice Saggio 2– via Shakespeare)

7. Allargamento Ponte Navile

- n. 2 carotaggi fino a m 10 profondità (codice LV34-LV35)

13. AMBIENTE

Nell'ambito del progetto definitivo della presente linea è stato redatto lo studio di fattibilità ambientale dell'intervento proposto.

Tale studio descrive l'inquadramento del territorio interessato dal progetto, unitamente all'esito delle indagini ambientali eseguite, la descrizione delle soluzioni prescelte sotto il profilo localizzativo e funzionale, nonché eventuali problematiche riscontrate. L'analisi ha previsto un primo inquadramento delle problematiche ambientali, attraverso la verifica preliminare di compatibilità rispetto gli scenari programmatici e agli strumenti per la tutela delle risorse naturali e paesistico-territoriali.

Lo studio è stato articolato nelle seguenti parti:

- Principali caratteristiche dell'intervento: fornisce l'inquadramento delle aree interessate dal progetto, le principali caratteristiche dell'intervento in progetto, le alternative di tracciato e le prime indicazioni in merito alla cantierizzazione;
- Analisi degli strumenti di pianificazione urbanistica, ambientale e di settore: fornisce gli elementi conoscitivi delle relazioni tra l'opera in progetto e gli strumenti di pianificazione/programmazione territoriale e settoriale, verificandone la conformità;
- Ambiente: ricostruzione dello stato attuale, delle problematiche ambientali e delle misure di contenimento degli impatti: descrive l'inquadramento del territorio e dell'ambiente interessati dall'opera, le componenti ed i fattori ambientali interessati ed evidenzia le relazioni con l'opera in progetto;
- Allegati grafici esplicativi.

Inoltre, per quanto riguarda l'area del nuovo nodo di interscambio è stato redatto specifico studio preliminare ambientale per la procedura verifica di assoggettabilità (screening) alla Valutazione di Impatto Ambientale (V.I.A.), da attuarsi in accordo con gli Enti preposti.

13.1 LINEE GUIDA DI APPLICAZIONE DEI CRITERI AMBIENTALI MINIMI

Il **GPP** (Green Public Procurement) è definito dalla Commissione europea come “l’approccio in base al quale le Amministrazioni Pubbliche integrano i criteri ambientali in tutte le fasi del processo di acquisto, incoraggiando la diffusione di tecnologie ambientali e lo sviluppo di prodotti validi sotto il profilo ambientale, attraverso la ricerca e la scelta dei risultati e delle soluzioni che hanno il minore impatto possibile sull’ambiente lungo l’intero ciclo di vita”.

I **Criteri Ambientali Minimi (CAM)** sono i requisiti ambientali volti a indirizzare gli enti pubblici verso una razionalizzazione dei consumi e degli acquisti e forniscono delle “considerazioni ambientali”, collegate alle diverse fasi delle procedure di gara volte a qualificare dal punto di vista della riduzione dell’impatto ambientale gli affidamenti e le forniture lungo l’intero ciclo di vita del servizio/prodotto. La loro applicazione sistematica ed omogenea consente di diffondere le tecnologie ambientali e i prodotti ambientalmente preferibili e produce un effetto leva sul mercato, inducendo gli operatori economici meno virtuosi ad adeguarsi alle nuove richieste della pubblica amministrazione.

Il progetto definitivo è stato sviluppato in conformità ai CAM vigenti:

- Affidamento di servizi di progettazione e affidamento di lavori per interventi edilizi, approvati con DM 23 giugno 2022 n. 256, GURI n. 183 del 8 agosto 2022 ed in vigore dal 4 dicembre 2022;
- Criteri ambientali minimi per l'affidamento del servizio di progettazione di parchi giochi, la fornitura e la posa in opera di prodotti per l'arredo urbano e di arredi per gli esterni e l'affidamento del servizio di manutenzione ordinaria e straordinaria di prodotti per arredo urbano e di arredi per esterni, adottati con DM 7 febbraio 2023, pubblicato nella G.U. n. 69 del 22 marzo 2022 ed in vigore il 20 luglio 2023;
- Acquisizione di sorgenti luminose per illuminazione pubblica, l’acquisizione di apparecchi per illuminazione pubblica, l’affidamento del servizio di progettazione

di impianti per illuminazione pubblica (approvato con DM 27 settembre 2017, in G.U. n 244 del 18 ottobre 2017);

- Servizio di gestione del verde pubblico e fornitura prodotti per la cura del verde (approvato con DM n. 63 del 10 marzo 2020, in G.U. n.90 del 4 aprile 2020).

13.2 CANTIERIZZAZIONE

Nell'ambito del progetto della cantierizzazione sono state individuate le fasi esecutive dell'opera tenendo conto dei seguenti aspetti:

- attenzione agli inconvenienti riguardanti la penalizzazione del traffico esistente, in base al quale nella successiva fase progettuale dovrà essere redatto un apposito calendario dei lavori da rendere noto ai cittadini, per consentire la pianificazione del traffico gommato;
- individuazione delle aree di cantiere definita sulla base delle esigenze legate alle varie tipologie di opere, dell'esame dei collegamenti con la viabilità esistente e dell'accesso all'area logistica;
- utilizzo per la realizzazione dell'opera della sola viabilità esistente, escludendo l'apertura di nuove piste.

13.3 ANALISI DEGLI STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE TERRITORIALE, AMBIENTALE E DI SETTORE

È stata analizzata la coerenza con i seguenti strumenti pianificatori di rilevanza regionale e locale:

- Piano Territoriale Regionale (PTR) dell'Emilia-Romagna
- Piano Territoriale Paesistico Regionale (PTPR) dell'Emilia-Romagna;
- Piano di Gestione del Rischio Alluvioni - Regione Emilia-Romagna (PGRA) e Piano Stralcio Assetto Idrogeologico (PSAI);
- Piano Aria Integrato Regionale (PAIR);

- Piano Energetico Regionale (PER) E Piano d'Azione per L'energia Sostenibile (PAES);
- Piano Territoriale Metropolitano (PTM);
- Piano Urbano della Mobilità Sostenibile (PUMS) della Città Metropolitana di Bologna;
- Piano Urbanistico Generale (PUG);
- Piano Generale del Traffico Urbano (PGTU) del Comune di Bologna.

13.4 L'AMBIENTE: RICOSTRUZIONE DELLO STATO ATTUALE, DELLE PROBLEMATICHE E DELLE MISURE DI CONTENIMENTO DEGLI IMPATTI

È stata effettuata l'analisi della qualità ambientale con riferimento alle componenti dell'ambiente potenzialmente interessate dalla realizzazione degli interventi in progetto. Sono stati inoltre descritti, in via preliminare, i prevedibili effetti ambientali legati alla realizzazione del progetto e le misure previste per evitare, ridurre e compensare dal punto di vista ambientale gli eventuali effetti negativi indotti dal progetto sull'ambiente.

Le componenti analizzate sono state le seguenti:

- Mobilità e traffico;
- Atmosfera;
- Rumore;
- Vibrazioni;
- Acque superficiali e sotterranee;
- Suolo e sottosuolo;
- Paesaggio e patrimonio storico/culturale;
- Ecosistemi, vegetazione e flora, fauna;
- Energia ed elettromagnetismo;
- Sistema insediativo, condizioni socio-economiche e salute pubblica.

13.4.1 MOBILITÀ E TRAFFICO

In merito alla componente mobilità e traffico è stato redatto apposito studio trasportistico per il progetto in esame, a cui si rimanda per maggiori approfondimenti.

13.4.2 ATMOSFERA

Le simulazioni effettuate hanno evidenziato come in generale l'entrata in esercizio di una nuova linea tramviaria comporti un'attrazione per chi attualmente si sposta con il proprio mezzo privato, con una conseguente diminuzione dei livelli di traffico sia nelle strade immediatamente adiacenti che nella complessiva rete viaria metropolitana. A tale diminuzione dei volumi di traffico è generalmente legata una parallela diminuzione delle emissioni di inquinanti: negli studi effettuati, i fattori di emissione dello stato di fatto sono stati mantenuti invariati anche per gli scenari futuri (scenario di riferimento e scenario di progetto), operando quindi a favore di sicurezza.

L'analisi si è articolata su un inquadramento normativo preliminare, sulla definizione degli inquinanti caratteristici del traffico stradale e sul calcolo delle concentrazioni e delle emissioni nell'area di progetto, noto lo scenario meteorologico locale e lo stato attuale della qualità dell'aria.

La stima della dispersione in atmosfera degli inquinanti, dovuta a traffico veicolare in condizioni di esercizio, è stata effettuata attraverso la simulazione con il modello di dispersione atmosferica CALINE4 (implementato nel software MMSCaline), per lo stato attuale e per lo stato di progetto.

Come risultato di tutte le modellazioni effettuate non si evidenziano criticità in merito alla componente atmosfera, in quanto l'esercizio del tram non comporterà un aggravio del quadro emissivo delle aree interessate dal suo passaggio.

Inoltre, le valutazioni ambientali effettuate in fase di Screening sono state via via approfondite e aggiornate in accordo con gli Enti.

In particolare, come richiesto con la Determina di Screening n. 6531 del 27/03/2023, è stato effettuato un ulteriore approfondimento di dettaglio per l'area del sottopasso di via

Mazza (il precedente era stato effettuato nel corso della fase di Screening). Al fine di considerare l'effetto del fronte degli edifici sulla dispersione degli inquinanti (effetto "street canyon"), le viabilità sono state impostate nella modalità "in avvallamento". Rispetto ai calcoli effettuati sulle concentrazioni dei singoli inquinanti è possibile stabilire un incremento locale pari a circa il 3%, dovuto all'effetto del sottopasso nell'area immediatamente ad esso contigua. Tale esiguo incremento non comporta ulteriori significative pressioni rispetto a quanto già analizzato per l'area vasta.

13.4.3 RUMORE

La "Legge quadro sull'inquinamento acustico" n. 447 del 26/10/1995 ha precisato l'orientamento normativo. Il DPCM 14/11/97 fissa i limiti massimi accettabili nelle diverse aree territoriali e definisce, al contempo la suddivisione dei territori comunali in relazione alla destinazione d'uso e l'individuazione dei valori limiti ammissibili di rumorosità per ciascuna area, riprendendo in parte le classificazioni già introdotte dal DPCM 01.03.1991. Il DPCM 14/11/97 stabilisce inoltre per l'ambiente esterno valori limite assoluti di immissione (tab.3.2), i cui valori si differenziano a seconda della classe di destinazione d'uso del territorio, mentre, per gli ambienti abitativi sono stabiliti dei anche limiti differenziali.

Con Deliberazione del Consiglio Comunale OdG 336/15 (PG 328998/15) è stata approvata la variante alla Classificazione acustica del territorio comunale, con le relative Norme tecniche di attuazione, elaborata secondo i criteri stabiliti dalla Regione Emilia-Romagna con DGR n. 2053/2001, recante "Criteri e condizioni per la classificazione del territorio". Per la caratterizzazione del clima acustico dell'area di studio è stata effettuata una campagna di monitoraggio acustico costituita da n. 6 misure della durata di 24 ore, condotte presso ricettori ritenuti significativi lungo lo sviluppo del tracciato.

Per l'esecuzione della campagna di rilievo del rumore è stata utilizzata una strumentazione conforme agli standard prescritti dall'articolo 2 del Decreto del Ministero

dell'Ambiente 16 marzo 1998 "Tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento acustico".

A supporto delle valutazioni derivanti dalla fase di rilievo è stato utilizzato il software di calcolo SoundPlan® 8.2: partendo dal database reso disponibile dal Comune di Bologna comprensivo di edifici, strade, punti quotati, aree verdi ecc..., si è proceduto all'implementazione con i dati di traffico stradale derivante dallo studio trasportistico.

Dalle simulazioni sviluppate si evince che nello scenario di progetto, ovvero con il passaggio della linea tranviaria e senza l'introduzione di nuove viabilità alternative, si assiste ad un miglioramento dei valori di pressione acustica su tutti i recettori individuati al netto della tolleranza modellistica (+/-0,5 dB), fatti salvo quelli ubicati in prossimità di viabilità lungo le quali è previsto un incremento del traffico stradale (es. via Ferrarese, via Barbieri, via Gobetti, ecc.).

In merito alla variazione positiva del clima acustico in facciata ad alcuni ricettori da riferirsi al traffico veicolare privato e pubblico saranno adottate specifiche mitigazioni acustiche, consistenti in variazioni di tracciato del trasporto pubblico e frequenze, riduzione della velocità dei mezzi, utilizzo di asfalto fono assorbente e la realizzazione di barriere acustiche fono assorbenti.

Per le aree nelle quali la variazione positiva acustica si presuppone legata anche al passaggio della tramvia si potranno valutare opportuni accorgimenti quali:

- lubrificazione del sistema rotaia/ruota mediante l'utilizzo di grasso biodegradabile per ridurre lo stridio;
- utilizzo di sistema di "armamento massivo" con utilizzo di materassino antivibrante da posare sotto la soletta di cemento su cui sono appoggiate le rotaie;
- utilizzo di una gomma per il rivestimento dei binari, efficace anche contro le vibrazioni;
- modifica del profilo delle ruote;
- riduzione della velocità della tramvia.

Infine, nei casi in cui gli sforzi effettuati per contenere i livelli sonori non risultino sufficienti, si può ipotizzare il ricorso ad interventi puntuali di mitigazione del rumore, quali ad esempio il raddoppio degli infissi e/o l'installazione di finestre fonoisolanti/silenti, atti a non conseguire la variazione acustica positiva evidenziata.

13.4.4 VIBRAZIONI

Lo studio dell'impatto vibrazionale è stato basato su una tecnica di quantificazione delle vibrazioni e della loro percezione da parte dell'uomo che deriva dall'applicazione delle norme tecniche italiane UNI 9614 (Valutazione del disturbo alle persone), nonché degli effetti delle vibrazioni su manufatti edili che deriva dall'applicazione della UNI 9916 (Valutazione del danno alle strutture edilizie).

Le norme identificano quattro soglie per la valutazione del discomfort in ambienti di vita e due per i danni di soglia ai manufatti edili.

Nell'area urbana di Bologna che sarà interessata dalla realizzazione della linea tranviaria Corticella non esistono attualmente fonti di vibrazioni specifiche di livello potenzialmente confrontabile con l'emissione propria dei convogli tranviari; tuttavia, su diverse strade è presente un sostenuto traffico veicolare, con transito di mezzi pesanti, a fronte di una pavimentazione caratterizzata da discontinuità.

Pertanto, la situazione ambientale, dal punto di vista vibrazionale, è caratterizzata dai tipici livelli di accelerazione che è possibile riscontrare in qualunque realtà urbana, in presenza di pavimentazione non perfettamente livellata.

Al fine di valutare "a campione" i valori dei livelli delle vibrazioni presenti nella situazione "ante-operam", è stata condotta in data 22 novembre 2018 una campagna di rilevamento presso il punto PM01, Via Giacomo Matteotti, di fronte al Teatro Testoni Ragazzi - la Baracca (30 min.).

La valutazione non ha evidenziato livelli vibrazionali significativi, grazie sia alla sostanziale assenza di sorgenti di vibrazioni ed alla natura poco propagativa delle

pavimentazioni, siano esse in pietra o asfalto, dotate di un cassonetto in materiale granulare compattato caratterizzato da ottime capacità di smorzamento delle vibrazioni. Si è poi proceduto ad analizzare i livelli di vibrazione previsionali con l'ausilio di dati di letteratura tecnica, ovvero campagne di rilievo sperimentale da cui è stato possibile definire uno spettro tipico di emissione dei convogli tranviari, che dà luogo, su armamento non antivibrante, ad un livello di emissione del singolo binario pari a 73.5 dB a 5m di distanza dall'asse.

Si è valutato come tale livello di emissione possa essere causa di problemi in caso di recettori posti a breve distanza dalla linea: è stata quindi valutata l'attenuazione ottenibile mediante l'inserimento del sistema di armamento antivibrante, previsto in punti sensibili della linea, cui è stata aggiunto l'effetto dell'attenuazione dovuta alla distanza dal binario, ovvero dalla dissipazione dovuta al terreno percorso.

I risultati ottenuti hanno mostrato il rispetto dei valori limite proposti dalla normativa tecnica volontaria e nello specifico UNI 9916:2014 "Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici" e la UNI 9614:2017 "Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo".

13.4.5 ACQUE SUPERFICIALI E SOTTERRANEE

13.4.5.1 Acque superficiali

L'area di studio rientra tra i 47 bacini idrografici individuabili sul territorio regionale, tributari del Fiume Po o del mare Adriatico, drenanti areali imbriferi di almeno 10 km².

Di essi, 22 si immettono nel fiume Po e interessano essenzialmente le province di Piacenza, Parma, Reggio Emilia e Modena, mentre i restanti 25, riferibili sostanzialmente alle province di Bologna, Ferrara e alle province della Romagna, sfociano direttamente in Adriatico.

La Direttiva Quadro per le Acque 2000/60/CE, recepita in Italia dal Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 recante "Norme in materia ambientali" ha come obiettivi la tutela e il miglioramento della qualità ambientale attraverso la progressione verso condizioni più

soddisfacenti, la protezione degli ecosistemi acquatici e l'utilizzo accorto e razionale della risorsa idrica promuovendone un utilizzo sostenibile, prevenendone l'ulteriore deterioramento, proteggendo migliorando lo stato degli ecosistemi acquatici e delle zone umide associate.

Il Decreto Monitoraggio DM 260/10 individua due tipologie di monitoraggio con obiettivi differenti, Sorveglianza e Operativo, che prevedono attività e frequenze diverse, sessennale il primo e triennale il secondo.

Il nuovo sistema di monitoraggio pianificato ai sensi della direttiva è stato approvato con Delibera di Giunta Regione Emilia-Romagna n. 350/2010 e costituisce parte integrante del Piano di Gestione 2010-2015. La metodologia applicata per le acque superficiali fluviali ha condotto all'individuazione, sul territorio regionale, di 18 tipi di aste naturali e di 4 tipi di aste artificiali.

Nell'Area Metropolitana di Bologna nel biennio 2014-2015 sono state monitorate n. 37 stazioni di prelievo, tutte ricadenti nel Bacino Reno ad eccezione della stazione sul Torrente Dardagna che invece si colloca nel Bacino Panaro. Nel 2016 sono state monitorate n. 30 stazioni di prelievo, tutte ricadenti nel Bacino Reno.

Le stazioni sottoposte a monitoraggio di Sorveglianza sono state n. 6 nel biennio 2014-2015 e n. 3 nel 2016, tutte le altre invece sono state sottoposte a monitoraggio Operativo. Per tutte le stazioni è previsto un profilo analitico di base che è stato implementato e integrato di volta in volta a seconda della tipologia di pressioni e impatti presenti sul corpo idrico.

Osservando l'andamento complessivo dell'area metropolitana in generale il Fosforo totale è, dei tre parametri, quello che ha la percentuale più alta nel livello 1 per l'anno 2016 e l'azoto nitrico per il biennio 2014-2015, l'azoto ammoniacale pur avendo una buona percentuale nei livelli 1 e 2 ne ha una molto alta in livello 5.

Al fine di valutare lo Stato Chimico e dello Stato Ecologico dei corpi idrici sono state inoltre ricercate rispettivamente le sostanze dell'elenco delle priorità elencate nella Tabella 1/A – “Standard di qualità nella colonna d'acqua per le sostanze dell'elenco di priorità”

dell'Allegato 1 del D.M. 260/10 e gli inquinanti specifici presenti nella Tabella 1/B dell'Allegato 1 del D.M. 260/10 allo Stato Ecologico.

13.4.5.2 Acque sotterranee

Nel contesto ambientale dell'Emilia-Romagna tutta la pianura contiene corpi idrici sotterranei significativi e come tale è da monitorare, ma ai corpi stessi si riconosce diversa importanza gerarchica.

Gli approfondimenti relativi al modello concettuale dell'acquifero regionale hanno portato alla definizione dei corpi idrici significativi (complessi idrogeologici) il cui elenco è riportato nella Tabella che segue e la cui distribuzione in pianta è riportata nella Tabella che segue.

L'area oggetto di intervento si inserisce all'interno del complesso idrogeologico delle conoidi alluvionali appenniniche, tra le conoidi maggiori e intermedie.

Nelle aree di ricarica sono previste dal PTA una serie di limitazioni alle attività antropiche, finalizzate alla tutela qualitativa e quantitativa delle risorse idriche sotterranee, nelle zone di pianura, in riferimento all'utilizzo idropotabile e, nel caso dei fontanili, in riferimento al loro valore ecologico-ambientale. Queste limitazioni riguardano nello specifico le attività agrozootecniche (spandimento sui suoli agricoli di effluenti zootecnici, fertilizzanti, fanghi e fitofarmaci), le attività estrattive, attività di smaltimento rifiuti, attività industriali, estensione e tipologia di opere di urbanizzazione e di infrastrutturazione tecnologica e viaria.

Le aree interessate dal tracciato in oggetto si collocano parzialmente all'interno del Settore B di ricarica della falda e marginalmente nel Settore A.

La direttiva europea 2000/60/CE prevede il monitoraggio dei corpi idrici per la definizione sia dello stato quantitativo sia di quello chimico, attraverso due apposite reti di monitoraggio:

- rete per la definizione dello stato quantitativo: effettuato per fornire una stima affidabile delle risorse idriche disponibili e valutarne la tendenza nel tempo, al fine

di verificare se la variabilità della ricarica e il regime dei prelievi risultano sostenibili sul lungo periodo;

- rete per la definizione dello stato chimico: per la definizione dello stato chimico è articolato nei seguenti programmi:
 - monitoraggio di sorveglianza;
 - monitoraggio operativo

In diversi casi le stazioni di monitoraggio appartengono ad entrambe le reti.

Complessivamente si evidenzia che il 79% dei corpi idrici è in stato “buono”, pari a 115 corpi idrici rispetto i 145 totali. Si tratta di corpi idrici collinari e montani, di fondovalle, freatici e profondi di pianura alluvionale.

Questi ultimi rappresentano ca. il 70% della superficie totale di pianura. Il resto dei corpi idrici, il 21% pari a numero 30 del totale, è in stato quantitativo “scarso”, cioè a rischio di non raggiungere gli obiettivi fissati dalla normativa.

Lo stato chimico dei corpi idrici sotterranei è stato desunto a partire dallo stato chimico calcolato per ciascuna stazione di monitoraggio. Complessivamente si evidenzia che il 68% dei corpi idrici è in stato di “buono”, pari complessivamente a 99 rispetto i 145 totali. Si tratta di corpi idrici collinari e montani, di fondovalle e profondi di pianura alluvionale. Il resto dei corpi idrici, il 32% pari a 46 del totale, è in stato chimico “scarso”, che contribuisce a mettere a rischio di non raggiungere gli obiettivi di qualità nazionali ed europei. Si tratta di 36 corpi idrici di conoide alluvionale appenninica, 8 montani e 2 freatici di pianura. Questi ultimi, che sono a diretto contatto con tutte le attività antropiche svolte in pianura, evidenziano come principali sostanze che non permettono di raggiungere lo stato di “buono” i nitrati e i fitofarmaci, mentre non risulta al momento critica la presenza di organoalogenati.

13.4.6 SUOLO E SOTTOSUOLO

13.4.6.1 Inquadramento geomorfologico, geologico, idrogeologico e sismico

Dal punto di vista morfologico, nell'ambito del comune di Bologna, si distinguono un sistema collinare ed un sistema di pianura. L'individuazione dei due sistemi, caratterizzati da una evoluzione strutturale indipendente, è legata all'esistenza, in corrispondenza del settore pedecollinare, del lineamento tettonico ad andamento NW-SE correlabile alla struttura di thrust nota in letteratura con la denominazione Sovrascorrimento Frontale Pedeappennico o PTF.

Gli elementi geomorfologici riscontrabili in corrispondenza del tracciato in progetto sono essenzialmente ascrivibili ad ambienti di deposizione alluvionale quali ambiente di conoide, di piana alluvionale e, localmente, di terrazzo alluvionale.

La media e la bassa pianura si collocano a Nord del settore individuato e procedendo in direzione Sud-Nord si assiste ad un progressivo aumento dei litotipi a granulometria fine. Le quote variano da 80-90 m s.l.m. m a ridosso del margine appenninico a 32 m s.l.m. m in prossimità del confine settentrionale del territorio comunale.

Dal punto di vista dell'assetto geologico regionale, la formazione della pianura bolognese, nella quale è situato il territorio in esame, è legata all'evoluzione tettonica-sedimentaria del bacino padano.

La pianura bolognese è quindi compresa tra il sistema tettonico del "sovrascorrimento pedeappenninico" ed il fianco meridionale delle pieghe della Dorsale Ferrarese.

Lo schema di riferimento della successione geologico-stratigrafica per la pianura bolognese è costituito dalla successione di tre diverse sequenze deposizionali:

- Supersistema del Pliocene medio-superiore: costituisce la base dei gruppi acquiferi del bolognese (età da 3,6 a 2,2 milioni di anni)
- Supersistema del Quaternario marino: caratterizzato dalla presenza di 4 complessi acquiferi, depositatisi nel periodo compreso tra 2,2 e 0,65 milioni di anni;
- Supersistema Emiliano-Romagnolo, che rappresenta la successione quaternaria continentale.

I terreni affioranti nei pressi dell'area in progetto sono raggruppati nel Supersistema Emiliano Romagnolo e sono inserite nel Subsistema di Ravenna (AES8) come facies di limi sabbiosi.

Per quanto riguarda l'inquadramento idrogeologico, gli acquiferi nell'area di pianura bolognese assumono un ruolo di primaria importanza nell'ambito della gestione delle risorse idriche sotterranee, alimentando i tre principali centri di approvvigionamento idrico comunale.

Come evidenziato da ARPA nel progetto di rilievo della subsidenza in Emilia-Romagna realizzato per la Regione e la Provincia di Bologna, l'elemento primario è stato l'aggiornamento delle conoscenze sul fenomeno della subsidenza da un punto di vista geometrico, su un'area di indagine che comprende l'intera pianura regionale, circa 11.000 km².

13.4.6.2 Modello geologico e caratterizzazione meccanica dei terreni

Da un punto di vista stratigrafico, tenendo conto della inevitabile eterogeneità delle caratteristiche litologiche dei terreni presenti nell'intera area è possibile distinguere diverse facies che si succedono in modo non sequenziale nel sottosuolo, con rapporti stratigrafici fortemente eteropici e conseguenti repentine variazioni e cambi di facies sia in senso orizzontale che verticale.

Tale assetto stratigrafico con l'indicazione della distribuzione delle diverse unità geologiche in profondità è rappresentato nella sezione litostratigrafica allegata alla relazione geologica. La reale geometria delle diverse unità è accertata solo in corrispondenza delle verticali d'indagine prese in esame, mentre per le altre distribuzioni, trattandosi di estrapolazioni su base sedimentologica in funzione delle indagini, sono da tener conto possibili variazioni locali.

13.4.6.3 Esame interferenze siti contaminati con le aree di studio

La Regione Emilia-Romagna con DGR n. 1106 dell'11 luglio 2016 ha istituito l'Anagrafe regionale dei Siti da Bonificare.

Da quanto esaminato, si evince che il tracciato non interferisce direttamente con nessun sito contaminato e/o bonificato.

13.4.6.4 Consumo di suolo

Per il progetto di cui trattasi il consumo di suolo si avrà in corrispondenza dell'area del capolinea nord Corticella, per la quale è prevista una perdita di suolo non urbanizzato pari a ca. 12.000 m². La restante parte del tracciato si sviluppa infatti all'interno del tessuto cittadino già urbanizzato.

13.4.7 PAESAGGIO E PATRIMONIO STORICO/CULTURALE

Lo studio della componente Paesaggio è stato svolto definendo due principali livelli di analisi, specificatamente riconducibili ai seguenti aspetti principali:

- inquadramento del contesto paesaggistico di ambito vasto in cui il progetto si inserisce;
- caratterizzazione paesaggistica e percettiva dell'area di riferimento del progetto.

L'analisi dei caratteri paesaggistici dei contesti in cui si inserisce l'opera di progetto, porta a delineare una vera molteplicità di paesaggi. Ciò è dovuto principalmente alla natura stessa dell'intervento, trattandosi questo di un'opera di carattere infrastrutturale, a sviluppo prevalentemente lineare, la cui funzione è quella di connettere trame e tessuti urbani con caratteri molto distanti tra loro e che si differenziano anche in maniera sostanziale.

13.4.8 ECOSISTEMI, VEGETAZIONE E FLORA, FAUNA

La rete ecologica è un sistema polivalente di nodi e corridoi. I nodi sono rappresentati da elementi ecosistemici tendenzialmente areali dotati di dimensioni e struttura ecologica tali da svolgere la funzione di "serbatoi di biodiversità". I corridoi sono rappresentati da elementi ecosistemici sostanzialmente lineari di collegamento tra i nodi che, innervando tutto il territorio comunale, favoriscono la tutela, la conservazione e l'incremento della biodiversità floro-faunistica. In particolare, i corridoi svolgono funzioni di rifugio e

sostentamento della fauna, fornendo vie di transito e agendo come captatori di nuove specie.

La rete ecologica è composta da:

- una rete ecologica principale;
- una rete ecologica secondaria;
- una rete ecologica urbana.

Vegetazione

Lo studio della copertura vegetale del territorio interessato dal tracciato ha fotografato la situazione, fornendo dati e informazioni particolarmente utili per l'analisi della componente. Il verde a carattere più naturale si concentra in collina e lungo le fasce fluviali, mentre l'ambito urbano e periurbano si contraddistingue per il prevalere di un verde ornamentale che va dalle più estese zone alberate dei parchi pubblici e privati ai giardinetti intorno alle abitazioni, con ambiti di eccellenza attestati in alcuni settori della parte meridionale della città.

A Bologna il verde pubblico comprende oggi più di 750 aree, per una superficie complessiva di oltre 1.000 ettari. Si tratta di un patrimonio quantitativamente cospicuo, se rapportato a quello di molte altre città italiane, che tuttavia offre poche aree di eccellenza e risponde solo in parte, in termini di qualità e caratterizzazione degli spazi, alle molteplici esigenze di Bologna e che, senza dimenticare l'antica funzione pubblica assolta da luoghi celebri come i Prati di Caprara, la Montagnola e San Michele in Bosco nei due-tre secoli precedenti, ha cominciato a comporsi nel corso dell'Ottocento. Oltre a quello dei Prati di Caprara, in corrispondenza delle aree di intervento, emergono con particolare rilevanza i complessi sistemi del canale Navile e della canaletta Ghisiliera. Gli "inserti verdi" costituiscono forse gli elementi più innovativi e determinanti nel nuovo disegno del sistema del verde della città di Bologna. Si configurano come un insieme di spazi verdi di diversa natura connessi a direttrici naturali, storiche e testimoniali di rilievo, tra le quali spiccano i più noti corsi d'acqua naturali e artificiali che attraversano la città per poi spingersi verso la pianura.

Fauna

La presenza di animali all'interno delle città è nota a tutti, almeno per quanto riguarda le specie più comuni, quali piccioni, merli, storni, cornacchie, ratti, topi, ecc.. Meno diffusa è la conoscenza sull'effettiva ricchezza della fauna che frequenta giardini pubblici, parchi urbani e tratti cittadini di fiumi. Dal punto di vista biogeografico, il territorio della Provincia di Bologna è collocato all'interno della regione del Paleartico occidentale, in un'area di transizione tra la sottoregione europea e quella mediterranea. Nel suo complesso la fauna rientra in quella tipica dell'Europa centrale e atlantica, con alcune specie che sottolineano la posizione di transizione

La Regione Emilia-Romagna ha approvato nel luglio 2006, la L.R. n. 15 "Disposizioni per la tutela della fauna minore in Emilia-Romagna", per salvaguardare specie considerate essenziali nella composizione degli habitat naturali e seminaturali. In generale, gli animali che riescono ad adattarsi agli ambienti urbani sono quelli che possono definirsi "generalisti" per quanto riguarda l'alimentazione, dotati di flessibilità nelle scelte come il luogo per nidificare e che sono molto tolleranti al disturbo derivante da attività umane. Esempi largamente conosciuti da tutti sono, ad esempio, il Piccione (*Columba livia*), il Passero d'Italia (*Passer italiae*), il Ratto nero (*Rattus rattus*), il Surmolotto (*Rattus norvegicus*) o il Topolino delle case (*Mus domesticus*). Si tratta di specie che grazie alle caratteristiche dell'ambiente urbano (diventato più caldo e luminoso con conseguenti modificazioni della foto e termoperiodo che favoriscono l'attività riproduttiva) e dei suoi cittadini (che offrono in modo più o meno volontario grandi quantità di cibo) sono caratterizzati da continui ed elevati incrementi numerici.

13.4.9 ENERGIA ED ELETTROMAGNETISMO

Per la componente campi elettromagnetici, a valle dello studio di impatto effettuato, si può affermare che gli impianti necessari al funzionamento della nuova linea tranviaria non produrranno effetti legati a fenomeni elettromagnetici particolarmente significativi.

Le nuove SSE del progetto in esame presentano condizioni favorevoli, poiché distanti da altri edifici, principalmente collocate in aree (aree verdi, area nodo interscambio) dove non si prevede permanenza di persone superiore alle 4 ore giornaliere e sono alimentate in cavo interrato realizzato nel pieno rispetto della normativa vigente, quindi senza impatti significati.

Le DPA, calcolate nella condizione più critica con entrambi i trasformatori di trazione in funzione (situazione che si verificherà solo in caso di fuori servizio di una SSE limitrofa), sono contenute in massimo 4 metri ed investono aree dove non è prevista la presenza continuativa di persone.

Sulla base dei risultati delle simulazioni di campo magnetico delle SSE, è possibile notare che: in prossimità di aree adiacenti alla sottostazione, sul medesimo piano della stessa, vi sono dei livelli di induzione magnetica superiori a $3\mu\text{T}$; le aree sono contenute entro i 4 metri dal bordo cabina. In via cautelativa si può quindi stimare la DPA a 4 metri dal confine della cabina; le aree interessate non prevedono la presenza continuativa di persone superiore alle 4 ore giornaliere.

I livelli di campo elettrico e magnetico si attestano su valori inferiori ai limiti massimi imposti dal D.P.C.M. 8 luglio 2003 "Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti" (G.U. n. 200 del 29 agosto 2003). Sulla base dei risultati delle simulazioni effettuate, si osserva che le curve isolivello di induzione magnetica a $100\mu\text{T}$ sono tutte contenute all'interno delle cabine.

Per la componente energia si avranno effetti positivi legati alla riduzione dei consumi di energia dei vettori.

13.4.10 SISTEMA INSEDIATIVO, CONDIZIONI SOCIO-ECONOMICHE E SALUTE PUBBLICA

Per quanto riguarda gli impatti relativi a sistema insediativo, condizioni socio economiche e salute pubblica, si rimanda a quelli previsti e descritti nei paragrafi relativi alla componente mobilità e traffico, rumore e atmosfera in quanto hanno una valenza anche per tale componente.

Come già detto, infatti, gli interventi in progetto sono finalizzati alle esigenze di snellimento dei flussi di traffico cittadino, oltre che alla riduzione dell'inquinamento atmosferico e di rumore nei confronti della comunità che abita e frequenta tali aree e ad aspetti legati alla sicurezza stradale soprattutto nei confronti degli utenti della mobilità dolce (pedoni, ciclisti, ecc.).

Sulla base di ciò, si può evincere che gli interventi in progetto determineranno un effetto globale positivo sulla componente, andando in sintesi a:

- migliorare l'accessibilità dei cittadini in particolare verso e dai poli attrattori (es. centro storico, stazione centrale, ecc.);
- ridurre sensibilmente i fattori di rischio (inquinamento atmosferico, rumore, incidenti, ecc.);
- contribuire al riequilibrio modale della mobilità;
- produrre un effetto propulsore della qualità urbana e della vivibilità delle aree interessate dal progetto ai fini della loro attrattività.

Per gli interventi di mitigazione e compensazione relativi a sistema insediativo, condizioni socio economiche e salute pubblica, si rimanda a quelli previsti e descritti nei paragrafi relativi alla componente mobilità e traffico, rumore e atmosfera in quanto hanno una valenza anche per tale componente.

13.4.11 IMPATTI AMBIENTALI E MISURE DI MITIGAZIONE

Gli impatti che si prevede di avere con la realizzazione dell'intervento in progetto e le relative misure di mitigazione sono riassunti nella tabella che segue:

Matrice ambientale	Impatti previsti	Valutazione impatto	Mitigazioni	Valutazione impatto
Traffico e mobilità	Fase di cantiere: <ul style="list-style-type: none"> • Interferenze temporanee con attuale sistema sulla mobilità in fase di cantiere 	Irrilevante	Fase di cantiere: <ul style="list-style-type: none"> • Garantire accesso passi carrai • Garantire accesso mezzi emergenza • Garantire viabilità trasversale al tracciato • Realizzazione itinerari alternativi per traffico pubblico • Movimentazione mezzi pesanti al di fuori degli orari di punta • Apposita segnaletica orizzontale e verticale • Predisposizione di campagna di informazione 	Assente
	Fase di esercizio: Impatti positivi legati a: <ul style="list-style-type: none"> • migliorare l'accessibilità dei cittadini in particolare verso e dai poli attrattori (es. centro storico, stazione centrale, ecc.); • ridurre sensibilmente i fattori di rischio (inquinamento atmosferico, rumore, incidenti, ecc.); • contribuire al riequilibrio modale della mobilità; 	Significativo positivo	Fase di esercizio:	Significativo positivo

Matrice ambientale	Impatti previsti	Valutazione impatto	Mitigazioni	Valutazione impatto
	<ul style="list-style-type: none"> • produrre un effetto propulsore della qualità urbana e della vivibilità delle aree interessate dal progetto ai fini della loro attrattività 			
Atmosfera	Fase di cantiere: <ul style="list-style-type: none"> • Formazione di emissioni diffuse • Traffico dei mezzi di cantiere e scarichi macchine operatrici 	Irrilevante	Fase di cantiere: <ul style="list-style-type: none"> • bagnature superfici transito interne al cantiere • bagnatura dei cumuli • impianti lavaggio ruote • bassa velocità transito mezzi di cantiere • copertura dei cassoni dei mezzi • eventuale spazzolatura ad umido aree prossime all'ingresso dei cantieri • spegnimento mezzi d'opera in sosta • studio della disposizione temporale delle attività 	Assente
	Fase di esercizio: Impatti positivi legati a: <ul style="list-style-type: none"> • riduzione congestione di traffico; • riduzione transito di mezzi del trasporto pubblico su gomma; • riduzione del consumo di carburanti da fonti fossili 	Significativo positivo	Fase di esercizio:	Significativo positivo
Rumore	Fase di cantiere: <ul style="list-style-type: none"> • rumorosità delle attività di cantiere 	Trascurabile	Fase di cantiere: <ul style="list-style-type: none"> • utilizzo di barriere mobili fonoassorbenti • uso di macchinari omologati e con buona manutenzione 	Assente

Matrice ambientale	Impatti previsti	Valutazione impatto	Mitigazioni	Valutazione impatto
			<ul style="list-style-type: none"> • studio della disposizione temporale delle attività • scelta e stato degli pneumatici • opportuna manutenzione delle attrezzature; • evitare uso prolungato del clacson • sollevamento materiali in luogo del loro trascinamento • evitare frenate ed accelerazioni brusche • esecuzione delle attività maggiormente impattanti in orari più consoni e non contemporaneamente • ricercare mezzi e metodologie alternativi per eseguire le stesse lavorazioni 	
	<p>Fase di esercizio:</p> <ul style="list-style-type: none"> • inserimento della tramvia <p>Impatti positivi legati a:</p> <ul style="list-style-type: none"> • riduzione congestione di traffico; • riduzione del consumo di carburanti da fonti fossili 		<p>Fase di esercizio:</p> <ul style="list-style-type: none"> • realizzazione asfalto fonoassorbente su alcune tratte stradali • lubrificazione del sistema rotaia/ruota mediante l'utilizzo di grasso biodegradabile per ridurre lo stridio; • utilizzo di sistema di "armamento massivo" con utilizzo di materassino antivibrante da posare sotto la soletta di cemento su cui sono appoggiate le rotaie; • utilizzo di una gomma per il rivestimento dei binari, efficace anche contro le vibrazioni; • modifica del profilo delle ruote; 	Significativo positivo

Matrice ambientale	Impatti previsti	Valutazione impatto	Mitigazioni	Valutazione impatto
			<ul style="list-style-type: none"> riduzione della velocità della tramvia 	
Vibrazioni	e di cantiere: <ul style="list-style-type: none"> potenziali vibrazioni emesse dai macchinari impiegati nelle lavorazioni 	Irrilevante	e di cantiere: <ul style="list-style-type: none"> effettuare controlli preventivi e in corso d'opera adottare regole di buon comportamento eventuale interruzione delle attività maggiormente impattanti/esecuzione in orari più consoni e non contemporaneamente ricercare mezzi e metodologie alternativi per eseguire le stesse lavorazioni. 	Assente
	Fase di esercizio: <ul style="list-style-type: none"> potenziali vibrazioni durante il passaggio dei tram (contatto ruota-rotaia) 	Trascurabile	Fase di esercizio: <ul style="list-style-type: none"> utilizzo di sistemi di armamento aventi caratteristiche di isolamento vibrazionale differenziate mediante l'inserimento di materassini elastomerici di spessore adeguato, in funzione della distanza dei binari dagli edifici 	Irrilevante
Acque superficiali	Fase di cantiere: <ul style="list-style-type: none"> produzione acque di lavorazioni e dilavamento consumi idrici in corrispondenza delle aree di cantiere fisso lavorazioni in prossimità di ambienti acquatici generazione di polveri che trasportate dal vento possono ricadere all'interno di corsi d'acqua 	Irrilevante	Fase di cantiere: <ul style="list-style-type: none"> bagnature superfici transito interne al cantiere bagnatura dei cumuli impianti lavaggio ruote bassa velocità transito mezzi di cantiere copertura dei mezzi adibiti al trasporto materiali pulverulenti 	Assente

Matrice ambientale	Impatti previsti	Valutazione impatto	Mitigazioni	Valutazione impatto
	<ul style="list-style-type: none"> eventuali sversamenti accidentali 		<ul style="list-style-type: none"> eventuale spazzolatura ad umido aree prossime all'ingresso dei cantieri opportuni sistemi di gestione delle acque di cantiere 	
	<p>Fase di esercizio:</p> <ul style="list-style-type: none"> interferenze con aree a pericolosità P2 incremento del rischio idraulico interferenze con reticolo idraulico invarianza idraulica a seguito di impermeabilizzazione di suolo/aree verdi dilavamento acque meteoriche eventuali sversamenti accidentali su aree non pavimentate 	Significativo negativo	<p>Fase di esercizio:</p> <ul style="list-style-type: none"> realizzazione di aree di compensazione per invarianza idraulica – canali vegetati rinaturalizzazione aree mantenimento fasce di pertinenza fluviale opportuni sistemi di raccolta, trattamento e smaltimento delle acque di dilavamento sistemi drenaggio urbano sostenibile nei parcheggi raccolta e sollevamento delle acque meteoriche in modo da gestire gli eventi meteorici ordinari in condizioni di sicurezza per realizzazione sottopassi idonee procedure operative per prevenire/gestire eventuali sversamenti accidentali su aree non pavimentate 	Irrelevante
Acque sotterranee	<p>Fase di cantiere:</p> <ul style="list-style-type: none"> eventuali interferenze con la falda idrica sotterranea eventuali sversamenti accidentali 	Irrelevante	<p>Fase di cantiere:</p> <ul style="list-style-type: none"> predisposizione di idonei sistemi di aggottamento e scarico delle acque idonee procedure operative per prevenire/gestire eventuali sversamenti accidentali su aree non pavimentate 	Assente

Matrice ambientale	Impatti previsti	Valutazione impatto	Mitigazioni	Valutazione impatto
	Fase di esercizio: <ul style="list-style-type: none"> eventuali interferenze con la falda idrica sotterranea eventuali sversamenti accidentali su aree non pavimentate 	Irrilevante	Fase di esercizio: <ul style="list-style-type: none"> predisposizione di eventuali opere di mitigazione (sistemi di continuità di falda) da attuarsi mediante sistemi “passivi” e/o “attivi”; idonee procedure operative per prevenire/gestire eventuali sversamenti accidentali su aree non pavimentate 	Assente
Suolo e sottosuolo	Fase di cantiere: <ul style="list-style-type: none"> modificazione dei suoli coinvolti nella realizzazione dei cantieri (es. scotico, compattazione, spostamento e movimentazione, ecc.) produzione e gestione dei materiali di risulta (incluso il trasporto degli stessi) produzione e gestione di terre e rocce da scavo eventuali sversamenti accidentali su aree non pavimentate eventuale percolazione di sostanze pericolose derivanti dai mezzi di cantiere 	Irrilevante	Fase di cantiere: <ul style="list-style-type: none"> minimizzazione dell'uso di risorse non rinnovabili (es. terreno vegetale, terre rocce da scavo, ecc.) ottimizzazione gestione aree di stoccaggio piazzole di sosta mezzi pavimentate verifica stato dei mezzi e manutenzione ottimizzazione gestione traffico e viabilità esecuzione trasporti principalmente in orario diurno tenendo conto della presenza di zone sensibili idonee procedure operative per prevenire/gestire eventuali sversamenti accidentali su aree non pavimentate 	Assente
	Fase di esercizio: <ul style="list-style-type: none"> consumo di suolo eventuali sversamenti accidentali su aree non pavimentate 	Significativo negativo	Fase di esercizio: <ul style="list-style-type: none"> gli interventi mitigativi previsti hanno come obiettivo generale la riduzione al minimo dell'impatto generato dalle 	Trascurabile

Matrice ambientale	Impatti previsti	Valutazione impatto	Mitigazioni	Valutazione impatto
			opere di progetto (es. inerbimento della sede tramviaria in alcune aree e aree di sosta inerbite) • realizzazione di opere a verde • idonee procedure operative per prevenire/gestire eventuali sversamenti accidentali su aree non pavimentate	
Paesaggio e patrimonio storico/culturale	Fase di cantiere:	Assente	Fase di cantiere:	Assente
	Fase di esercizio • frammentazione dei sistemi paesaggistici presenti, riduzione dei caratteri del paesaggio circostante l'infrastruttura • impatti di natura acustico-vibrazionale • impatti di natura visiva	Trascurabile	Fase di esercizio • realizzazione di opere a verde; • interventi mitigativi indicati per la componente rumore e vibrazioni (utilizzo di sistemi di armamento differenziati) • concept architettonico delle pensiline che si integra negli elementi tipologici della città (es. porticato)	Irrilevante
Ecosistemi, Vegetazione, Flora – fauna	Fase di cantiere: • scottico e taglio di vegetazione erbacea, arbustiva ed arborea • produzione ed emissione di polveri • disturbo fauna	Irrilevante	Fase di cantiere: • bagnature superfici transito interne al cantiere • bagnatura dei cumuli • impianti lavaggio ruote • bassa velocità transito mezzi di cantiere • eventuale spazzolatura ad umido aree prossime all'ingresso dei cantieri	Assente

Matrice ambientale	Impatti previsti	Valutazione impatto	Mitigazioni	Valutazione impatto
	Fase di esercizio: <ul style="list-style-type: none"> • frammentazione degli ecosistemi presenti • modificazione permeabilità faunistica • riduzione funzionalità ecologica • eventuali collisioni durante attraversamenti 	Trascurabile	Fase di esercizio: <ul style="list-style-type: none"> • realizzazione di opere a verde 	Significativo positivo
Sistema insediativo, condizioni socio-economiche e salute pubblica	Vedi componente mobilità e traffico, rumore e atmosfera. Impatti positivi: <ul style="list-style-type: none"> • migliorare l'accessibilità dei cittadini in particolare verso e dai poli attrattori (es. centro storico, stazione centrale, ecc.); • ridurre sensibilmente i fattori di rischio (inquinamento atmosferico, rumore, incidenti, ecc.); • contribuire al riequilibrio modale della mobilità; • produrre un effetto propulsore della qualità urbana e della vivibilità delle aree interessate dal progetto ai fini della loro attrattività. 	Irrilevante	Vedi componente mobilità e traffico, rumore e atmosfera	Irrilevante
Energia e elettromagnetismo	Fase di cantiere:	Assente	Fase di cantiere: In ogni caso, scelta dei macchinari nel pieno rispetto della normativa vigente	Assente

Matrice ambientale	Impatti previsti	Valutazione impatto	Mitigazioni	Valutazione impatto
	Fase di esercizio: <ul style="list-style-type: none"> • esposizione valori di campo magnetico inconsapevole 	Irrilevante	Fase di esercizio <ul style="list-style-type: none"> • sottostazioni ubicate in aree lontane ed isolate, ovvero in zone dove non è prevedibile la presenza continuativa di persone • eventuale impiego di sistemi schermanti dei campi elettromagnetici 	Irrilevante

14. INTERFERENZE SOTTOSERVIZI

La costruzione di una linea tramviaria in un contesto urbano consolidato deve misurarsi con diverse problematiche che possono essere di tipo tecnico, sociale, ambientale, gestionale ed altri: si pensi all'integrazione con la rete dei trasporti pubblici, all'inserimento ambientale, alla necessità di realizzare importanti interventi strutturali quali ponti, gallerie, sottopassi. Ma il problema principale da affrontare quando si comincia a costruire una tramvia moderna è l'eliminazione di ogni interferenza con le reti dei sottoservizi, intervento che non può essere improvvisato risolvendo i problemi che si incontrano di volta in volta durante la realizzazione della sede tramviaria; ciò è evidente se si pensa ai possibili ritardi legati al reperimento di pezzi speciali e all'intervento di squadre specializzate; alcune infrastrutture impiantistiche non possono essere modificate solo in corrispondenza del sedime tramviario, ma necessitano uno spostamento più radicale e pertanto una riprogettazione; è il caso delle fognature, che per un corretto funzionamento devono seguire opportune pendenze, e delle reti telefoniche in fibra ottica, il cui spostamento può interessare grandi quantità di cavo che possono superare anche il chilometro.

È opportuno arrivare alla fase di costruzione vera e propria della tramvia già preparati, per quanto possibile, sul tema dei sottoservizi eseguendo una mappatura il più dettagliata possibile sulle varie reti insistenti nelle aree interessate dalla costruzione della tramvia. Il progetto dei sottoservizi ha previsto il coinvolgimento degli Enti Gestori interessati dall'esecuzione di opere civili per lo spostamento delle infrastrutture cercando di addivenire per quanto possibile ad una progettazione condivisa sin dalle fasi iniziali. Nello specifico per la progettazione della linea verde si è proceduto inizialmente acquisendo dal Comune di Bologna e dagli Enti Gestori dei sottoservizi le cartografie delle reti di pertinenza. In particolare, Hera ha fornito ulteriori dettagli sulle reti di propria pertinenza costituiti dai cosiddetti "pianetti", elaborati storici relativi soprattutto alle reti

gas e acqua in cui il gestore ha via via aggiornato le informazioni sugli allacci, materiali delle condotte, saracinesche, modifiche alla rete ecc.

Lo studio delle cartografie degli Enti, integrato con i rilievi e le indagini effettuate, ha consentito di individuare interferenze longitudinali e trasversali con le seguenti infrastrutture:

Reti trasporto fluidi

- Fognature e acquedotti (ente gestore Hera S.p.A.)
- Gasdotti BP, MP (ente gestore Hera S.p.A.)

Reti telefonia ed energia

- Cavi elettrici BT e MT (ente gestore E-Distribuzione S.p.A.)
- Infrastrutture telefoniche (enti gestori: TIM, Fastweb, Wind, Comune di Bologna (tritubo), Open Fiber, BT Italia, Lepida, Fastweb, Acantho, Wind, Retelit, Irideos, EXA Infrastructures)
- Cavi elettrici Alta Tensione (ente gestore Terna S.p.A.).

Il presente documento si riferisce sia alle reti di trasporto fluidi che alle reti elettriche e telefoniche, andando a descrivere le modalità di risoluzione delle interferenze procedendo per cantiere e per ente gestore secondo il seguente ordine:

- Macrocantieri A – Piazza Unità, via Bolognese, via Mazza, via di Corticella fino all'incrocio con via A. Lombardi;
- Macrocantieri B – via di Corticella da via A. Lombardi fino a via S. Bassanelli;
- Macrocantieri C - via di Corticella da via S. Bassanelli fino a via di Saliceto;
- Macrocantieri D – via di Corticella da via di Saliceto fino a via Fratelli Pinardi;
- Macrocantieri E – via di Corticella da via Fratelli Pinardi fino a via A. Lipparini;
- Macrocantieri F – via G. Bentini da via A. Lipparini a via Moliere;
- Macrocantieri G – via G. Bentini da via Moliere a via Sant'Anna, via Sant'Anna, via G. Byron;

- Macrocantiere H – via W. Shakespeare da via A. Lipparini a via Moliere, rimessaggio tram, nuovo ponte sul Navile e capolinea Corticella;
- Macrocantiere M – via dei Mille.

Per comodità si procederà dividendo gli interventi per categorie: Hera Fognatura, Hera Acquedotto, Hera Gas, Hera Teleriscaldamento, E-Distribuzione, TIM, Comune di Bologna, Lepida, Open Fiber, Fastweb, Terna.

In generale, nello sviluppo della progettazione sono state rispettate le indicazioni e prescrizioni date dagli Enti Gestori sulla realizzanda Linea Rossa, nonché le normative relative alle distanze di rispetto tra tubazioni di diversi servizi.

15. IMPIANTI ELETTROFERROVIARI

Il presente capitolo descrive gli Impianti Elettroferroviari necessari per la circolazione dei veicoli tramviari a trazione elettrica e per il corretto svolgimento dell'Esercizio.

Tali impianti e sistemi sono descritti nei seguenti paragrafi e sono di seguito elencati:

- Sistema di Alimentazione della Trazione Elettrica
 - Alimentazione Elettrica
 - Linea di Contatto
- Sistema di Segnalamento, Localizzazione e Priorità Semaforica
 - Segnalamento e comando scambi
 - Sistema di Localizzazione
 - Sistema di Priorità semaforica
- Telecomunicazioni e Sistema di Telecomando/Telecontrollo
 - Sistemi di Telecomunicazione
 - Sistema di Telecomando/Telecontrollo

15.1 ALIMENTAZIONE ELETTRICA

Il sistema di alimentazione elettrica di una tramvia ha la funzione di ricevere energia elettrica dall'esterno e di alimentare tutte le relative utenze elettriche.

Per la tratta oggetto di progettazione è suddiviso in:

- sistema media tensione costituito da: punto di prelievo dall'Ente fornitore, cavi di distribuzione MT e relativi accessori, quadri ed apparecchiature MT;
- sistema di trazione costituito da sottostazioni elettriche (SSE) e linea di contatto con relativi sezionamenti ed organi di manovra;
- sistema di distribuzione BT delle utenze di fermata.

Il sistema di alimentazione primaria in Media Tensione sarà costituito da due sottostazioni elettriche di conversione.

È previsto un punto di consegna dalla rete ENEL da 8,2 MW in media tensione a 15 KV, nella sottostazione SSE 12.

Dal punto di fornitura sopra indicato l'energia sarà distribuita all'altra sottostazione tramite una linea in media tensione in cavo ad anello aperto, e l'intero sistema sarà interconnesso alla rete MT della Linea Rossa, come desumibile dallo schema generale MT.

Le SSE di conversione sono state previste per garantire l'energia di trazione a 750 V cc e l'energia in bassa tensione per gli impianti di linea.

L'impianto in questione risponderà a tre esigenze principali:

- assicurare la potenza necessaria seguendo precisi criteri di disponibilità e razionalità;
- essere concepito con la massima economia di esercizio;
- garantire livelli di distorsioni armoniche accettabili, anche in relazione alle caratteristiche delle forniture.

15.2 SISTEMA DI ALIMENTAZIONE DELLA TRAZIONE ELETTRICA

Il Sistema di alimentazione della Trazione Elettrica prevede la suddivisione della Linea di Contatto (ove prevista) in sezioni elettricamente separate per mezzo di isolatori di sezione. Ciascuna zona sarà alimentata in bilaterale da due SSE adiacenti. In corrispondenza di ogni isolatore di sezione, un sezionatore del tipo motorizzato, normalmente aperto, sarà in grado di riconfigurare il sistema di alimentazione in caso di fuori servizio e/o manutenzione di ciascuna SSE, in modo tale che le SSE adiacenti possano sobbarcarsi l'intero carico di trazione.

E' questa la condizione più gravosa dal punto di vista elettrico sia per quanto riguarda il dimensionamento del gruppo trasformatore/raddrizzatore di ciascuna SSE (deve poter sostenere il carico di un'intera tratta normalmente alimentata in bilaterale) sia per la Linea di Contatto (la caduta di tensione deve essere contenuta entro i limiti previsti dalle norme considerando il numero totale dei veicoli presenti in linea).

15.3 DISTRIBUZIONE BT

Con riferimento allo schema di principio della distribuzione bassa tensione le sottostazioni sono inserite in una configurazione MT in grado di garantire un'alta affidabilità e continuità. In ogni sottostazione tutte le utenze di bassa tensione sono alimentate da un trasformatore MT/BT. La sezione di distribuzione BT è costituita da un quadro di distribuzione generale al quale sono collegati gli impianti BT, sia per la stessa sottostazione, sia quelli relativi alle utenze di linea (QEF Quadri elettrici di fermata).

Il quadro di distribuzione generale è diviso in due sezioni: la prima sezione, detta sezione normale, collegata al trasformatore dei servizi ausiliari, alimenta tutte le utenze che in caso di mancanza tensione MT possono essere senza tensione (illuminazione e forza motrice non necessaria per situazioni di emergenza) ed i quadri elettrici di fermata (sezione normale); la seconda sezione, detta sezione di emergenza, è alimentata da UPS con autonomia 30 min (gruppo di continuità con uscita in corrente alternata) per l'alimentazione in continuità degli impianti non di sistema che necessitano l'alimentazione senza soluzione di continuità, per esempio illuminazione di emergenza, rilevazione incendi, antintrusione, nonché per l'alimentazione in continuità della relativa sezione dei quadri elettrici di fermata e dei posti periferici del sistema SCADA. La sezione di emergenza per ogni sottostazione alimenta anche un carica batterie (gruppo di continuità con uscita in corrente continua) per l'alimentazione in continuità delle logiche di funzionamento, delle protezioni e delle segnalazioni delle sottostazioni.

In caso di mancanza della rete di fornitura, con la riconfigurazione della linea MT di interconnessione si garantisce il ripristino dell'alimentazione in tempi contenuti. La sezione di emergenza del QGBT è anche alimentata da una fornitura ENEL in bassa tensione, che subentra in caso di fuori servizio del trafo AUX, per garantire la continuità del servizio tramviario.

15.4 SISTEMA COMPLESSIVO DI MESSA A TERRA

Il sistema complessivo di terra sarà così costituito da:

- Terra di Trazione costituita dal circuito di ritorno;

- Terra di Struttura normalmente non presente, o presente solo in corrispondenza di punti singolari, ossia di tratte ove siano presenti manufatti che presentino armature metalliche o parti conduttrici strutturali collegate fra loro per sezioni significativamente lunghe, quali gallerie o viadotti;
- Terra Comune Esterna, costituita dalle strutture metalliche interrate nel terreno circostante;
- Dispersori di terra (che hanno la funzione di disperdere le correnti di guasto verso la terra lontana) di fermata, sottostazione o linea, che sono da considerarsi parte della Terra Comune Esterna

15.5 MISURE DI CAMPO ELETTRICO ESTERNO

Per applicare al meglio le norme CEI EN occorre realizzare misure di campo elettrico esterno prima della costruzione della linea di trazione. A tale scopo si devono eseguire, nel territorio nel quale dovrà essere costruito l'impianto, le misure necessarie per l'individuazione di campi elettrici, della loro distribuzione e della loro intensità. Tali misure dovranno essere adeguatamente ripetute lungo il tracciato in più punti, ad intervalli opportuni, in modo da consentire una valutazione completa del fenomeno.

Le stesse misure di campo elettrico saranno poi ripetute a seguito dell'entrata in servizio della linea stessa, al fine di valutare l'influenza sulle strutture esistenti e quindi di minimizzare il pericolo di corrosione su enti terzi a causa della circolazione di correnti vaganti generate dal sistema tranviario. Tali misure saranno orientative per le scelte ed i provvedimenti che verranno adottati allo scopo sia di minimizzare le eventuali interferenze sulla linea tranviaria da campi elettrici esterni, sia di creare condizioni adeguate di sicurezza (in termini di corrosione) alle strutture interrate esterne già esistenti. Saranno eseguite misure, sia di differenza di potenziale presente nel terreno, sia dei potenziali ai quali sono sottoposte le strutture metalliche interrate in zone prospicienti il tracciato della linea.

15.6 LINEA DI CONTATTO

Il sistema tranviario progettato è un sistema integrato a basso impatto ambientale, che coniuga la necessità dell'inserimento architettonico dell'infrastruttura nell'ambito cittadino con innovazione tecnica ed abbattimento dell'impatto ambientale dei componenti utilizzati.

È prevista una linea di contatto composta da un solo filo sagomato, della sezione di 120 mmq per ciascun senso di marcia, progettata nel rispetto della norma EN 50122-2, e supportata, per il trasporto dell'energia occorrente, da quattro cavi a posa interrata (feeder) della sezione complessiva di 1200 mmq collegati in parallelo.

Per il sostegno della linea di contatto è stata prevista, in funzione dei vincoli dettati dal tracciato, dalla viabilità connessa e dalla situazione urbanistica, la sospensione trasversale con funi trasversali isolate e ancoraggi a muro con appositi ganci, oppure sostegni in fregio a strade e piazze.

La posa del filo di contatto è prevista regolata ed i sostegni sono stati posizionati prevedendo campate di 40 metri circa.

È stata prevista una famiglia di pali in acciaio, realizzati attraverso la combinazione di profilati del tipo L e HEA:

- pali 2L, costituiti da profilati ad L disposti a coppia in modo simmetrico rispetto all'asse longitudinale, svolgono un lavoro strutturale principalmente lungo una direzione e previsti per tratti rettilinei;
- pali 4 HEA, costituiti da profilati HEA saldati in croce e previsti per ancoraggi di trasversali con maggiori sollecitazioni.

L'altezza della LdC è prevista sotto sospensione di mt. 5,60 dal piano del ferro per permettere il transito in tutta sicurezza dei mezzi su gomma, sia sulla sede tramviaria promiscua riservata, sia in corrispondenza degli incroci stradali.

La linea di contatto in posa aerea (Catenary) è prevista in tutto il tracciato, ad eccezione della tratta compresa tra fermata Gorki e fermata Shakespeare (tra progr. 4+154,01 e progr. 5+077,66).

Nella suddetta tratta del percorso tranviario non è prevista la linea di contatto aerea (Catenary Free), in quanto il tram si muoverà in maniera autonoma con il sistema di alimentazione di bordo previsto dal rotabile.

Per la linea tranviaria all'interno del Rimessaggio di via Bentini, per motivi pratici e funzionali dettati anche dalla complessità del tracciato e scambi di ingresso e uscita, si è privilegiata la funzionalità e sono stati previsti sostegni tubolari in lamiera pressopiegata del tipo poligonale a 12 lati, totalmente zincati a caldo e con base flangiata.

Nell'area del deposito di rimessaggio, sia interna che esterna, ad eccezione dell'officina di manutenzione rotabili (dove è prevista catenaria rigida mobile), la LdC sarà con posa fissa, non regolata.

15.7 CIRCUITO DI RITORNO E CIRCUITO DI TERRA

Il circuito di ritorno di linea è del tipo con binario ad isolamento di terra ridotto, come previsto dalle norme CEI 50122-2, per limitare le correnti vaganti. A tale proposito si evidenzia che la conduttanza di dispersione complessiva verso terra dei binari di corsa sarà inferiore a 5/100S per ogni Km. Per raggiungere i valori di conduttanza sopra indicati, in fase di realizzazione del binario è prevista la posa di una guaina isolante in grado di garantire detti valori nel tempo.

Per la sicurezza delle persone contro i pericoli di tensionamento in caso di cedimento degli isolamenti, è previsto un impianto di messa a terra conforme a quanto previsto dalle norme vigenti, composto da una presa di terra per ogni sostegno e da un collegamento, in ogni fermata del circuito di terra descritto, al circuito di ritorno con interposizione di apposito diodo.

15.8 SISTEMA DI SEGNALAMENTO, LOCALIZZAZIONE E PRIORITÀ SEMAFORICA

In analogia alla Linea Rossa, il segnalamento della diramazione per Corticella è fondamentalmente basato sul principio della marcia a vista: il conducente del tram è responsabile dell'osservanza dei segnali disposti lungo il tracciato e della distanza tra il

proprio veicolo e quello che lo precede. I segnali, quindi, aiutano il conducente nella marcia a vista ma ciò non solleva il conducente stesso dalle proprie responsabilità.

Il sistema di localizzazione è legato all'uso dei sistemi AVM, cioè di Automatic vehicle monitoring, in uso su numerose realtà del trasporto pubblico locale e che utilizzano la localizzazione come elemento principale del monitoraggio. La geolocalizzazione del veicolo è effettuata con il GPS, ed il meccanismo di trasmissione è garantito da una connessione dati via rete cellulare. Altre possibilità per determinare la posizione, ad esempio dove il segnale GPS non è di qualità apprezzabile, sono la navigazione stimata (dead reckoning), la guida inerziale o l'uso di odometri a bordo.

Il sistema di localizzazione non prevede l'installazione di boe lungo il tracciato.

Il sistema di priorità semaforica ha l'obiettivo di garantire la possibilità per il tram di non dover fermarsi e ripartire agli incroci, in modo da salvaguardare il rispetto dell'orario teorico, al fine di fornire un servizio regolare agli utenti.

Il Comune di Bologna è dotato del sistema di centralizzazione degli impianti semaforici OMNIA fornito dalla ditta SWARCO-MIZAR. Il sistema attualmente in uso funziona ad attuazione di piano e, tramite il sistema AVM delle linee del trasporto pubblico, fornisce già un sistema di priorità. Per conseguire i voluti obiettivi di velocità e regolarità (e, conseguentemente, anche di contenimento del costo della capacità), anche la diramazione per Corticella dovrà integrarsi con tale sistema di priorità semaforica.

15.9 TELECOMUNICAZIONI

Il presente paragrafo descrive i Sistemi di Telecomunicazione necessari al corretto svolgimento dell'esercizio della diramazione per Corticella.

Tali impianti e sistemi sono di seguito elencati:

- Sistema di Trasmissione a Fibre Ottiche
- Impianto TVCC
- Impianto Diffusione Sonora
- Impianto Telefonico e Telefonico d'emergenza
- Pannelli Informativi di Informazione al Pubblico

- Sistema di Comunicazione Treno-Terra
- Sistema di Tariffazione
- Sistema di Sincronizzazione Oraria

Il sistema di trasmissione impiegato per la Linea Tramviaria è costituito da una rete Gigabit Ethernet IEEE 802.3z con struttura ad anello; essa trasporta, mediante dispositivi switch di tipo L3 e L2+, i servizi di comunicazione dati e fonia tra le fermate ed il Posto Centrale di comando e Controllo (PCC). Ogni switch è collegato in anello realizzando una protezione da singolo guasto e garantendo così il reinstradamento del traffico dati in caso di guasto o rottura di un link; i tempi di riconfigurazione di ogni anello saranno inferiori al secondo. La connessione tra utenze dati/fonia e apparati in campo verrà realizzata con interfacce Ethernet 10/100 Mb, ed ogni fermata, rimessaggio e Sotto Stazione Elettrica verrà equipaggiata con un numero di switch necessari a coprire le esigenze di accesso alla rete.

La dorsale di rete tecnologica (RT) connette tutti i sistemi di fermata e delle sottostazioni elettriche con il centro di controllo, trasporta e garantisce i servizi vitali alla rete tramviaria.

È inoltre responsabile della rete di telefonia di emergenza. La capacità di trasporto tra gli apparati della RT è di 10Gb/sec.

La dorsale in fibra ottica costituisce il supporto fisico per la connessione dei diversi nodi di fermata e di PCC. In particolare, è previsto un cavo a 48 fibre monomodali sul lato pari, ed uno, con le stesse caratteristiche, sul lato dispari del sedime tranviario opportunamente sezionati per realizzare un anello di linea. In particolare, l'anello è realizzato con due fibre ottiche (due fibre in entrata e due fibre in uscita per ciascuna fermata); adeguati cassette ripartitori ottici all'interno degli armadi di telecontrollo siti al PCC e nelle fermate consentiranno l'estrazione delle fibre necessarie al collegamento degli apparati.

La sottorete di distribuzione deve implementare protocolli per garantire tempi di ripristino della rete inferiori ai 50 ms.

Il tempo di latenza per le comunicazioni video deve essere minore di 250ms.

Il tempo di latenza per le comunicazioni di diffusione sonora e telefonia di emergenza deve essere minore di 120ms.

Nella redazione del Progetto Definitivo è stata posta particolare attenzione alle prescrizioni di Cybersecurity e sicurezza informatica. Si sono quindi definite le regole di gestione e monitoraggio di rete e di Autenticazione, Autorizzazione, Accounting.

L'impianto TeleVisione a Circuito Chiuso (TVCC) ha lo scopo di consentire, 24 ore su 24, la videosorveglianza delle fermate dislocate lungo la linea tranviaria da parte del personale operante presso il Posto di Controllo Centrale, al fine di:

- verificare il corretto svolgimento del servizio di trasporto passeggeri
- agevolare il personale operativo ad effettuare le opportune richieste di intervento presso le stesse fermate in caso di necessità
- permettere di effettuare, da parte degli enti competenti, analisi di particolari eventi avvenuti nelle fermate, utilizzando la registrazione che il sistema TVCC effettua delle immagini selezionate dagli operatori del PCC

Il sistema si basa su un'architettura periferia-centro, dove:

- il centro è costituito dall'insieme delle apparecchiature di supervisione del sistema stesso già predisposte al Posto di Controllo Centrale (PCC) con gli interventi per la realizzazione della Linea Rossa;
- la periferia è costituita dall'insieme delle apparecchiature TVCC dislocate nelle fermate lungo il percorso tranviario.

La comunicazione tra centro e periferia è garantita dal protocollo IP della rete multiservizio Gigabit Ethernet.

L'impianto di diffusione sonora avrà lo scopo di consentire l'invio di annunci sonori registrati o dal vivo, da parte del personale operante presso il Posto di Controllo Centrale PCC, già predisposto con gli interventi per la realizzazione della Linea Rossa, verso le banchine di fermata, al fine di fornire all'utenza informazioni sia sullo stato dell'esercizio della linea, sia l'annuncio di arrivo treno, qualora previsto. Il sistema di diffusione sonora si basa su un'architettura periferia-centro dove la comunicazione avviene tramite protocollo TCP-IP su di una rete multiservizio di tipo Gigabit Ethernet.

Il centro è costituito dall'insieme postazioni operatore, localizzate al Posto di Controllo Centrale (PCC) munite di microfono e tastiera di chiamata, da cui saranno eseguiti gli annunci dal vivo o registrati (già realizzato nell'ambito dei lavori di esecuzione della Linea Rossa). La periferia, ovvero l'insieme delle apparecchiature di diffusione sonora dislocate nelle fermate, è costituita esclusivamente da diffusori sonori ad incasso fissati nella struttura della pensilina.

Al pari di quanto già previsto per la Linea Rossa, il sistema telefonico/telefonico d'emergenza provvederà a fornire il servizio di comunicazione voce nei seguenti punti:

- SSE
- Posto Centrale Operativo PCC
- Fermate (solo in caso d' emergenza)

Presso il PCC sono già stati predisposti apparecchi telefonici VoIP, nell'ambito delle opere previste per la realizzazione della Linea Rossa.

Presso le SSE sarà presente un telefono VoIP per comunicazioni verso il PCC. Infine, presso le fermate sarà installato (incassato nel Totem di banchina) un citofono stagno (VoIP) per consentire ai passeggeri comunicazioni d' emergenza con il PCC.

Tutti gli apparecchi (ad esclusione di quelli installati presso le SSE ed i citofoni d'emergenza) saranno utilizzati per chiamate sia interne che verso la rete pubblica attraverso il PABX centrale già predisposto nell'ambito delle opere previste per la realizzazione della Linea Rossa.

Tutte le comunicazioni saranno gestite da tale centralino PABX opportunamente equipaggiato.

I telefoni VoIP di linea utilizzeranno la rete di trasporto Gigabit Ethernet per stabilire le comunicazioni verso il PCC. Gli operatori del centro avranno a disposizione un telefono digitale in grado di visualizzare il chiamante.

Nelle fermate sono previsti display per l'informazione al pubblico integrati all'interno dei totem di fermata, con la trasmissione di dati relativi al trasporto pubblico in generale e alla linea tramviaria in particolare.

Sono altresì previsti, seppure non in tutte le fermate, display per la trasmissione di messaggi pubblicitari e/o istituzionali.

Sono inoltre previsti Totem informativi dedicati, al di fuori delle aree di fermata da posizionarsi in aree rilevanti della Città da concordarsi con la Stazione Appaltante.

Il sistema si basa su un'architettura periferia-centro, dove:

- il centro è costituito dall'insieme delle apparecchiature di supervisione del sistema stesso collocate al Posto di Controllo Centrale (PCC)
- la periferia è costituita dai pannelli informativi ubicati nelle fermate lungo il percorso tranviario

La comunicazione tra centro e periferia è garantita dal protocollo IP della rete multiservizio Gigabit Ethernet.

Per quanto attiene al sistema di comunicazione TRENO-TERRA, come già fatto per la Linea Rossa, anche per la diramazione a Corticella si è scelto di privilegiare il sistema di comunicazione che garantisca la maggiore quantità di banda e la minore latenza, oltre alle considerazioni economiche e di facilità di manutenzione dell'installazione e gestione di una rete di comunicazione pervasiva e affidabile lungo tutto il tracciato della diramazione.

La valutazione sull'affidabilità, inoltre, beneficia del fatto che, con i moderni protocolli di comunicazione, la disponibilità di una maggiore quantità di banda consente di introdurre

meccanismi di controllo della trasmissione che garantiscono ritrasmissione, persistenza, consegna ordinata ed eliminazione dei duplicati, risultando quindi adatti alla gestione di comunicazioni critiche.

Così come per la Linea Rossa, il presente progetto non comprende la progettazione del materiale rotabile e quindi degli apparati di bordo, ma si ritiene che gli stessi debbano essere progettati secondo le specifiche e indicazioni del consorzio ITxPT, l'Associazione di Information Technology per il Trasporto Pubblico, la cui missione è di implementare uno standard Europeo operativo per sistemi e componenti IT pensati per il trasporto pubblico che siano plug-and-play.

Pertanto, l'intero progetto assume che la progettazione del materiale rotabile preveda una rete LAN di bordo e modem LTE per la comunicazione terra/treno in linea e WiFi in deposito.

Questo presupposto è rilevante in particolar modo per la trasmissione dei dati di localizzazione, necessari per l'attuazione della priorità semaforica e per la previsione di arrivo alla fermata e quindi all'informazione al pubblico, sistema per cui la capacità di trasmettere tempestivamente una relativamente grande quantità di dati in tempo reale è assolutamente dirimente.

In particolar modo, si assume che la rete di bordo disponga di almeno 2 modem di connessione LTE, al fine di aumentare la disponibilità di trasmissione, utilizzando SIM e quindi contratti telefonici di almeno 2 principali operatori pubblici.

Alla luce di quanto detto, anche le comunicazioni conducente/PCC dovranno essere veicolate con applicativi VoIP over LTE.

Si ritiene quindi che l'affidamento delle comunicazioni lungo la diramazione per Corticella, sia la trasmissione dati dal tram al centro di controllo, sia la trasmissione voce tra il conducente e il centro di controllo effettuata con i protocolli VoIP, possano beneficiare dell'uso di sistemi di comunicazioni pubblici di ultima generazione quali LTE.

Il sistema di Tariffazione si compone di apparecchiature per la vendita self-service di titoli di viaggio ed apparecchiature per la validazione dei titoli di viaggio stessi. Il sistema di Tariffazione al servizio della diramazione per Corticella sarà interoperabile con il sistema di tariffazione attualmente in uso sulla rete di trasporto pubblico della Città di Bologna e con quello previsto per la Linea Rossa.

Gli apparati che lo compongono sono quelli destinati alla vendita self-service dei titoli di viaggio e quelli di obliterazione dei titoli di viaggio stessi. Le apparecchiature di emissione dei titoli di viaggio, installate in fermata, operano indipendentemente le une dalle altre (stand-alone), ma saranno anche collegate con il Posto Centrale di Controllo tramite la Rete Ethernet a Fibre Ottiche, per operazioni di controllo centralizzato, statistiche sulle vendite, ecc. Le macchine validatrici, installate a bordo dei veicoli, saranno in grado di scaricare i dati relativi alle operazioni di validazione ad ogni rientro in deposito, tramite la rete WI-FI in esso installata, per il successivo inoltro al Posto Centrale di Controllo tramite la Rete Ethernet a Fibre Ottiche, per le operazioni di controllo centralizzato, statistiche sulle obliterazioni, ecc.

L'impianto Sincronizzazione Oraria ha lo scopo di distribuire l'informazione oraria a tutti gli elementi ad esso collegati.

I dispositivi già previsti al PCC nell'ambito delle opere per la Linea Rossa, che costituiscono il sistema in questione sono i seguenti:

- n°1 Centrale Oraria (Network Master Clock)
- n°1 Antenna GPS

Il sistema si baserà su un'architettura periferia-centro, dove:

- il centro è costituito dagli apparati suddetti, già predisposti nell'ambito della realizzazione della Linea Rossa, che saranno in grado di distribuire l'informazione oraria
- la periferia è costituita dall'insieme dei dispositivi che necessitano di sincronizzazione

La comunicazione tra centro e periferia sarà garantita dalla rete multiservizio Gigabit Ethernet, sulla quale viene implementato protocollo NTP con modalità di tipo client-server.

15.10 SISTEMA DI TELECOMANDO/TELECONTROLLO

Il Sistema di Comando e Controllo degli impianti del sistema tramviario (SCADA), il cui centro è già stato previsto al PCC nell'ambito delle opere previste per la Linea Rossa, ha come obiettivo il conseguimento di un elevato livello di qualità del servizio mettendo a disposizione strumenti e procedure operative che consentano:

- la maggior diagnostica possibile degli impianti per il supporto alla manutenzione al fine di prevenire i guasti o di ridurre al minimo gli effetti degli stessi;
- garantire la maggiore disponibilità per il servizio al pubblico in termini d'informazione (es. fermate) e sicurezza.

Le funzioni dello SCADA sono quelle di mediare ed integrare le funzionalità complesse e specifiche di ogni sottosistema rendendole all'operatore semplificate e fruibili tramite un'interfaccia grafica omogenea ed operativa, dove poter svolgere il proprio esercizio. L'architettura proposta per il servizio di gestione integrata della diramazione per Corticella riprende quella della Linea Rossa e riguarda i seguenti sottosistemi:

- Sottostazioni Elettriche (SSE);
- TVCC;
- Diffusione Sonora;
- Pannelli Informativi;
- Allarmistica in generale in fermata.

In particolare, per quanto riguarda le SSE, il sistema permetterà agli Operatori della Postazione Centrale di Controllo già strutturata nell'ambito delle opere della Linea Rossa di effettuare la supervisione ed il telecontrollo degli apparati per la trazione elettrica (alimentazione, trasformazione e distribuzione) anche relativamente alla tratta oggetto della presente progettazione.

16. IMPIANTI CIVILI

16.1 IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE DI LINEA

L'impianto di illuminazione pubblica viene integrato in base al tracciato della tramvia ed alle modifiche che questo comporta sul territorio.

Il progetto prevede alcune proposte tecniche mirate a realizzare un impianto che integri l'esistente, facilmente gestibile e manutenibile, affidabile, sicuro, rispettoso dell'ambiente e con ridotti costi di gestione e consumi.

Gli impianti sono stati progettati e dovranno essere realizzati nel rispetto delle norme tecniche; dovranno altresì rispettare, in fase di progettazione, di realizzazione e di gestione, gli adempimenti richiesti dal DM 11 gennaio 2017 (G.U.R.I. 28 gennaio 2017 n. 23) in merito ai "Criteri ambientali minimi di sostenibilità energetica ed ambientale (CAM)" e nello specifico, per la pubblica illuminazione, ai requisiti contenuti nel documento di CAM "Illuminazione" emanati con Decreto 27 gennaio 2017 Criteri Ambientali Minimi per l'acquisizione di sorgenti luminose per illuminazione pubblica, l'acquisizione di apparecchi per illuminazione pubblica, l'affidamento del servizio di progettazione di impianti di illuminazione pubblica.

Le aree interessate dagli impianti elettrici, oggetto della presente relazione, sono da considerarsi ambiente ordinario esterno soggetto a traffico motorizzato e pedonale, per il quale è prevista l'illuminazione pubblica. Esse rientrano pertanto nel campo di applicazione della Norma CEI 64-8; V2 – Sezione 714, della norma UNI 11248 e UNI EN 13201-2/3/4.

In linea generale i sostegni della linea di contatto sono posti lateralmente rispetto alla sede tramviaria, come previsto dal progetto della Linea di Contatto, ed il progetto prevede un impianto di illuminazione pubblica da realizzare mediante apparecchi illuminanti (di caratteristiche tecniche analoghe a quelli previsti nell'ambito dei lavori di realizzazione della Linea Rossa) da montare con appositi sbracci sui pali di trazione, in

modo da garantire l'illuminazione della sede tramviaria e veicolare, nonché della pista ciclabile ove prevista.

Il corpo illuminante posto sulla sommità del palo lavora nella doppia accezione di elemento di coronamento della composizione finale e nello stesso tempo contribuisce all'orientamento del cittadino nello spazio e negli spostamenti della vita quotidiana.

Si è prevista un'altezza di installazione del corpo illuminante tale da mantenere migliori prestazioni di uniformità di illuminazione, garantendo quindi un maggior comfort per gli utenti della strada compatibilmente con la geometria della rete aerea di elettrificazione.

I vantaggi trasferiti dalla tecnologia delle lampade a led proposte possono essere riassunti in flessibilità di installazione, robustezza, lunghissima durata e altissimo risparmio energetico.

L'impianto è stato dimensionato tenendo conto di eventuali futuri ampliamenti o potenziamenti. La sezione dei cavi previsti permetterà tali potenziamenti così come la presenza di interruttori di riserva nei quadri e lo spazio per altri eventualmente necessari. Sono stati previsti impianti di illuminazione pubblica per tutti i parcheggi a raso lungo linea, sia esistenti soggetti ad interventi di riqualificazione, che di nuova realizzazione in funzione della nuova sistemazione urbanistica strettamente connessa all'inserimento della linea tramviaria.

Saranno installati apparecchi illuminanti tipo STREET, con lampada a Led di potenza adeguata, come da calcoli illuminotecnici di progetto.

L'impianto lungo il tracciato sarà suddiviso in zone, in relazione al tessuto urbano attraversato dalla nuova linea tramviaria ed all'impianto di illuminazione pubblica esistente.

Si prevede infatti di modificare l'impianto esistente secondo le esigenze dettate dalla nuova sistemazione urbanistica, ma verranno utilizzati i quadri elettrici esistenti.

Sarà realizzata una nuova polifora costituita da n. 2 cavidotti diam. 110 mm in un bauletto in cls, all'interno dei quali saranno posate le nuove linee di alimentazione, che avranno caratteristiche tecniche analoghe a quelle esistenti, secondo le indicazioni ricevute

dall'Ufficio Tecnico Comunale: le condutture elettriche dorsali saranno eseguite con cavo in alluminio multipolare 16 mmq, mentre per le derivazioni alle lampade sarà utilizzato cavo in rame 2x2,5 mmq.

È previsto il funzionamento dell'impianto con accensione e spegnimento automatici, ottenuti tramite relé astronomico stagionale per tener conto della diversa lunghezza del giorno e della notte nei vari periodi dell'anno. L'installazione di un sistema di telecontrollo punto punto permetterà la gestione dell'accensione secondo le seguenti modalità:

- Impianto non alimentato durante le ore diurne: in questo caso l'accensione è attuata mediante la chiusura del contattore presente nel quadro di comando;
- Impianto alimentato durante le ore diurne: in questo caso l'accensione è attuata mediante comandi gestiti attraverso le onde convogliate dal sistema di telecontrollo, senza manovre sul contattore presente nel quadro di comando.

La scelta tra le due suddette modalità è legata alla presenza di servizi aggiuntivi (videosorveglianza, spot Wi-fi, pannelli a messaggio variabile, ecc.) alimentati attraverso la rete di illuminazione pubblica. Il passaggio da una modalità all'altra è gestibile a distanza mediante modifica dei parametri di programmazione.

Su tutti i centri luminosi è prevista la posa di dispositivi per il telecontrollo punto punto: il sistema individuato è quello già in uso nel Comune di Bologna, ENEL - Archilede Active Control.

16.2 IMPIANTI ELETTRICI DI LINEA

Gli impianti elettrici luce e F.M. di linea a servizio delle fermate situate lungo il prolungamento saranno alimentati dalle nuove sottostazioni elettriche previste, localizzate lungo la linea tranviaria, da rete in bassa tensione 400/230 V - 50 Hz.

Le linee elettriche, realizzate con cavi tipo FG16R16 0,6/1 KV, saranno suddivise in NORMALE e PERMANENTE in uscita da un quadro già predisposto in ognuna delle S.S.E; saranno posate all'interno di polifore interrate, raggiungendo le fermate e attestandosi ad un quadro elettrico di fermata dotato di comandi e protezioni per l'alimentazione dei circuiti e delle utenze della fermata stessa (emettitrici, sistemi di telecomunicazione,

impianti d'allarme, apparati IS, sezionatori di linea, predisposizione dell'alimentazione per il riscaldamento scambi, illuminazione esterna generale e d'emergenza).

Le suddette linee in partenza dalle SSE ed alimentanti le fermate saranno protette da un dispositivo magnetotermico differenziale dotato di relè differenziale regolabile sia in corrente (Id) che in tempo di ritardo dell'intervento differenziale.

Gli allarmi e le segnalazioni di interruttori aperti confluiranno nel concentratore di fermata e quindi saranno segnalati ad un sistema di supervisione situato nel PCC.

16.3 IMPIANTI MECCANICI

Gli impianti di gestione dell'aria (caldo, freddo e ventilazione) del fabbricato presente nell'area Ricovero tram del nodo interscambio Corticella avranno degli interruttori dedicati nel quadro installato presso l'edificio adibito per il personale.

Le soluzioni progettuali adottate risponderanno agli obblighi normativi vigenti con particolare attenzione all'ottimizzazione delle risorse energetiche.

Per ulteriori informazioni riguardanti i diversi sistemi previsti (idrico sanitario, antincendio, ventilazione e condizionamento) si rimanda agli elaborati tecnici ed alle relazioni tecniche specifiche.

17. CANTIERIZZAZIONE

Nel progetto della cantierizzazione sono state valutate la tipologia del tessuto urbano, la sua funzione territoriale e soprattutto le interferenze con la viabilità esistente e con l'ambiente attraversato, con particolare attenzione agli insediamenti ed alle attività presenti.

Nell'ambito di tale progetto, sono state quindi individuate le fasi esecutive dell'opera tenendo conto dei seguenti input esecutivi:

- attenzione agli inconvenienti riguardanti la penalizzazione del traffico esistente, in base al quale nella successiva fase progettuale dovrà essere redatto un apposito calendario dei lavori da rendere noto ai cittadini, per consentire la pianificazione del traffico gommato;
- individuazione delle aree di cantiere definita sulla base delle esigenze legate alle varie tipologie di opere, dell'esame dei collegamenti con la viabilità esistente e dell'accesso all'area logistica;
- utilizzo per la realizzazione dell'opera della sola viabilità esistente, escludendo l'apertura di nuove piste.

Per l'esecuzione delle opere in oggetto va precisato che saranno presenti vincoli soprattutto a livello viabilistico che non consentiranno interventi contemporanei. Inoltre, alcune lavorazioni dovranno avvenire necessariamente in concatenazione ad altre o in progressione sequenziale, ponendo quindi dei precisi vincoli nella sequenza delle attività. Affinché la cantierizzazione non abbia un impatto eccessivamente negativo sullo svolgimento delle attività presenti lungo le aree di cantiere e sugli elevati flussi di traffico, sia pedonale che veicolare, le lavorazioni andranno eseguite per fasi, sia in senso trasversale che in senso longitudinale, avendo l'accortezza di individuare percorsi viabilistici alternativi per sopperire alla chiusura delle aree interessate dalle lavorazioni.

Le principali ipotesi che comunque dovranno essere prese in considerazione per la progettazione delle cantierizzazioni sono le seguenti:

- L'organizzazione dei cantieri in "aree di lavoro" differenziate per minimizzare l'impatto con il contesto di intervento;
- La previsione di aree di cantiere da adibire a deposito materiale, installazione baracche, parcheggio mezzi, ecc.

Nell'organizzazione di dettaglio dei cantieri e durante la realizzazione delle opere si dovrà comunque tener presente i seguenti condizionamenti:

- Garantire gli accessi ai passi carrai.
- Garantire gli accessi ai mezzi di emergenza.
- Garantire alla viabilità trasversale al tracciato della linea tranviaria (le zone di lavoro dovranno essere interrotte in corrispondenza delle intersezioni laterali. il periodo di blocco di tali intersezioni dovrà essere limitato per il tempo strettamente necessario ai lavori).
- Garantire la realizzazione di itinerari alternativi per il traffico pubblico e privato in grado di garantire il più possibile livelli di sicurezza e livelli di prestazione analoghi a quelli originali.
- Evitare la sovrapposizione di cantieri di natura diversa da quelli strettamente legati alla realizzazione della tranvia.
- Organizzare, per quanto possibile, i diversi lotti in modo da avanzare secondo una logica di apertura e chiusura di piccoli cantieri anziché di apertura di grossi cantieri che coprano un'unica vasta zona.
- Garantire la movimentazione dei mezzi pesanti al di fuori degli orari di punta del traffico cittadino.
- Studiare la viabilità alternativa in funzione dell'entità del cantiere e della tipologia dello stesso.

- Predisporre tutta la segnaletica orizzontale e verticale necessaria per la viabilità provvisoria. essa dovrà garantire condizioni di sicurezza, chiarezza e visibilità per il traffico pubblico e privato.
- Predisporre una campagna di informazione e di concentrazione tra tutte le organizzazioni coinvolte per quanto riguarda il traffico, la viabilità provvisoria, gli interventi sui sottoservizi, gli accessi carrai, l'accesso agli esercizi commerciali, ecc. (cittadini, esercenti commerciali, pubblici servizi, vigilanza urbana, organi comunali, ecc.).

La cantierizzazione della linea tranviaria per Corticella in base al tessuto urbano presente è stata concepita individuando 11 macrocantieri per alcuni dei quali sono state individuate diverse alternative come previsto nel progetto generale.

I macrocantieri individuati sono:

- Macrocantiere A: Piazza dell'Unità – via Alfonso Lomabrdi;
- Macrocantiere B: via Alfonso Lomabrdi – via Sario Bassanelli;
- Macrocantiere C: via Sario Bassanelli – via di Saliceto;
- Macrocantiere D : via di Saliceto - via Fratelli Pinardi;
- Macrocantiere E: via Fratelli Pinardi – via Amedeo Lipparini;
- Macrocantiere F: via Amedeo Lipparini – via Moliere;
- Macrocantiere G: via Moliere – via Shakespeare;
- Macrocantiere H : via Shakespeare – via Bentini (ponte sul canale navale)
- Macrocantiere I: via Bentini – Capolinea Corticella SFM;
- Macrocantiere L : parcheggio e capolinea Castel Maggiore.
- Macrocantieri M : Via dei Mille (incrocio via Indipendenza) – Capolinea via dei Mille;



Figura 17.1 – Corografia Macrocantieri

Come meglio specificato nei rispettivi paragrafi, oltre alle opere di linea (armamento, sistemazioni urbanistiche, impianti, ecc), l'intervento prevede le seguenti realizzazioni infrastrutturali puntuali/opere d'arte:

n°	Identificazione	Breve nota descrittiva
1	Sottovia Via Mazza	Realizzazione di sottovia in Ferrarese/Via Mazza
2	Parcheggio Saliceto	Realizzazione del parcheggio Multipiano tra le vie Saliceto e Ferrarese
3	Parcheggio Bassanelli	Spazio di sosta costituito da n. 211 stalli
4	SSE11 Stendhal	Sottostazione elettrica fuori terra
5	Sottoattraversamento Ferrovia	Realizzazione del nuovo sotto-attraversamento a singolo fornice lungo via Corticella, in sostituzione dell'attuale sottovia a luce singola
6	Nuova opera di sottoattraversamento lungo via Corticella in corrispondenza svincolo con Tangenziale	Nuovo sottovia ad esclusivo uso della tranvia lungo Via di Corticella, lungo complessivamente, rampe comprese, poco più di 670 m
7	SSE12 Corticella	Sottostazione elettrica fuori terra
8	Nuovo ponte sul Canale Navile	Realizzazione nuovo ponte tramviario sul canale Navile (a sud di quello esistente)
9	Rampa in rilevato lungo via Bentini	Realizzazione rampa in rilevato per permettere alla sede tramviaria di passare della quota della viabilità esistente alla quota del piazzale esistente in corrispondenza della stazione SFM di Corticella
10	Nodo d'interscambio Corticella	A nord dell'area di via Shakespeare, al fine di assolvere ad una funzione di interscambio multimodale e quindi consentire ai fruitori del servizio di lasciare il mezzo di partenza e dirigersi verso il centro della città utilizzando la nuova infrastruttura tramviaria, si prevede uno spazio di sosta costituito da n. 270 stalli per le auto private, nonché la realizzazione di un terminal per linee extraurbane, con possibilità di alloggiamenti di n. 9 bus.
11	Deposito secondario Corticella	Realizzazione di un'area di ricovero al coperto per n°4 vetture tramviarie, comprensiva di edificio di servizio

17.1 MICROCANTIERI

Visto i vincoli viabilistici presenti che determinano l'impossibilità di effettuare i lavori contemporaneamente e vista la necessità di minimizzare l'impatto con il contesto di intervento, alcuni macrocantieri sopra citati sono stati divisi in aree di lavoro più piccole in cui le lavorazioni dovranno avvenire per fasi in concatenazione ad altre o in progressione sequenziale.

Macrocantiere A è
suddiviso in:

- A1 di circa 177 m;
- A2 di circa 120 m;
- A3 di circa 276 m;
- A4 di circa 175 m;

Macrocantiere B è
suddiviso in:

- B1 di circa 93 m;
- B2 di circa 322 m;
- B3 di circa 88 m;

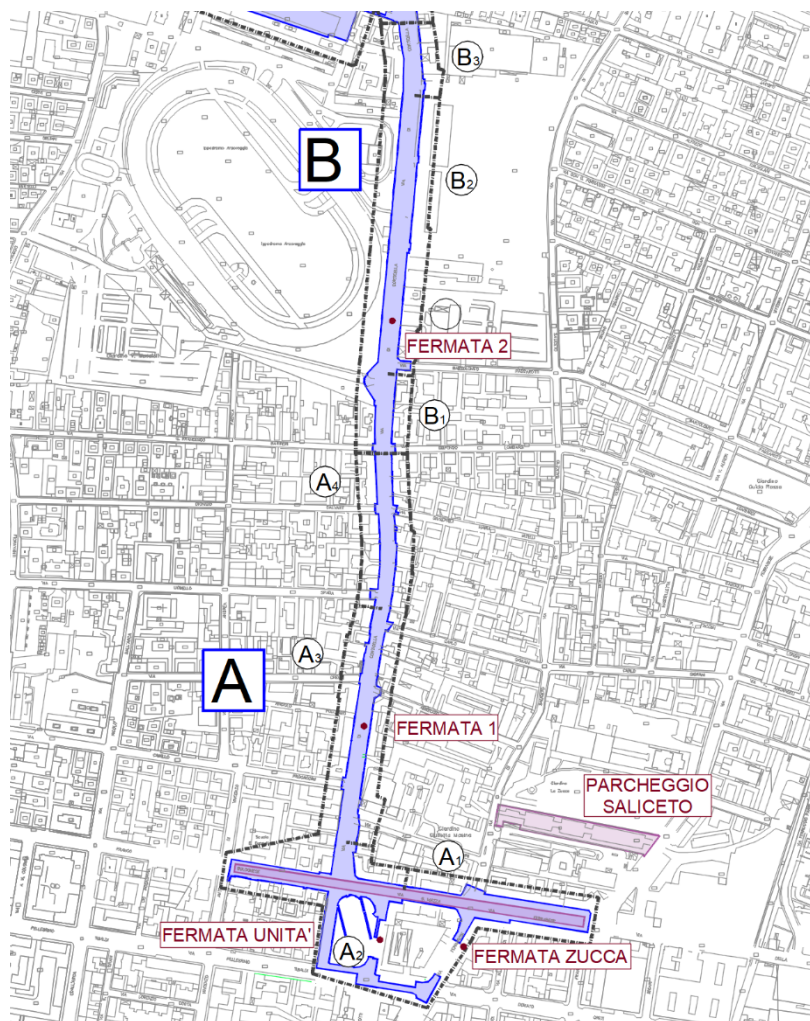


Figura 17.2 - Cantieri A, B

Macrocantiere C è suddiviso in:

- C1 di circa 278 m;
- C2 di circa 185 m;
- C3 corrispondente al parcheggio di via Bassanelli

Macrocantiere D è suddiviso in:

- D1 di circa 591 m;
- D2 di circa 395 m;
- D3 corrispondente all'area della nuova sottostazione elettrica di via Stendhal

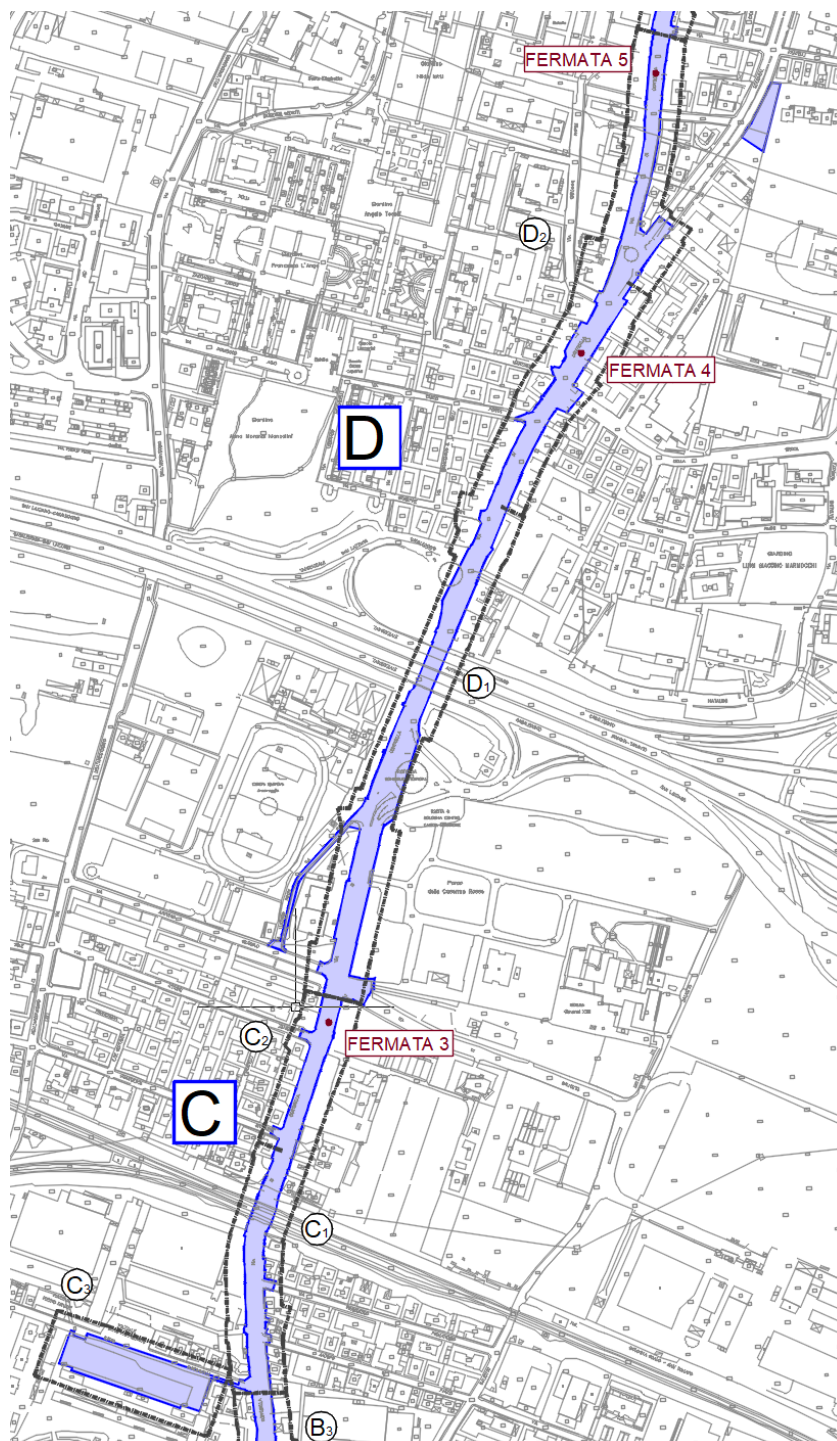


Figura 17.3 - Cantieri C e D

Macrocantiere E è
suddiviso in:

- E1 di circa 265 m;
- E2 di circa 200 m;
- E3 di circa 260 m;

Macrocantiere F è
suddiviso in:

- F1 di circa 242 m;
- F2 di circa 120 m;
- F3 di circa 135 m;

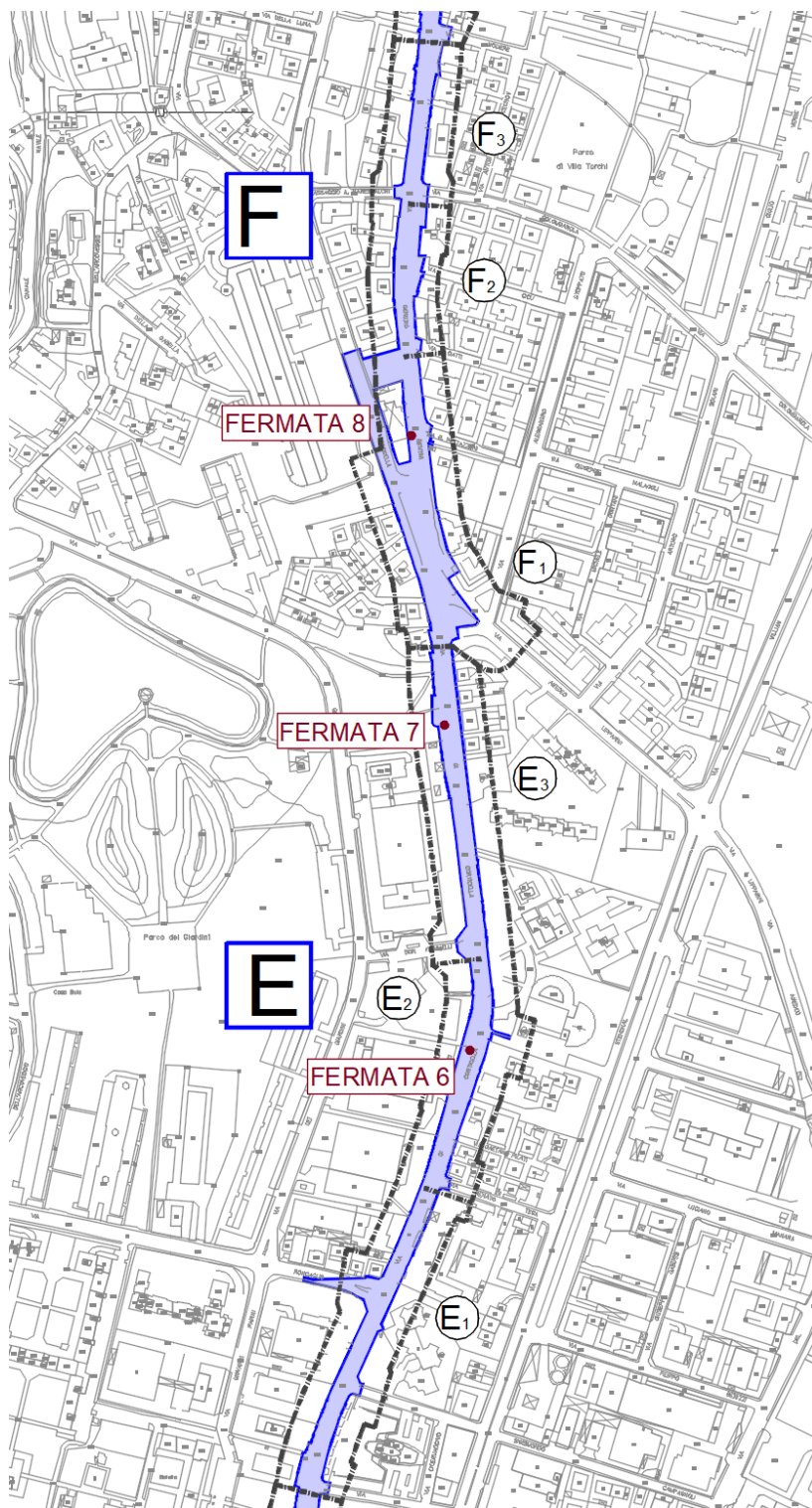


Figura 17.4 - Cantieri E e F

Macrocantiere **G** è suddiviso in:

- G1 di circa 245 m;
- G2 di circa 125 m;
- G3 di circa 267 m;
- G4 di circa 195 m;

Macrocantiere **H** è suddiviso in:

- H1 di circa 167 m;
- H2 di circa 155 m;
- H3 di circa 210 m;

Macrocantiere **I** è suddiviso in:

- I1 di circa 240 m;

Il Macrocantiere **L** corrisponde all'area del nuovo deposito secondario e del parcheggio d'interscambio.

Macrocantiere **M** è suddiviso in:

- M1 di circa 257 m;
- M2 di circa 130 m;

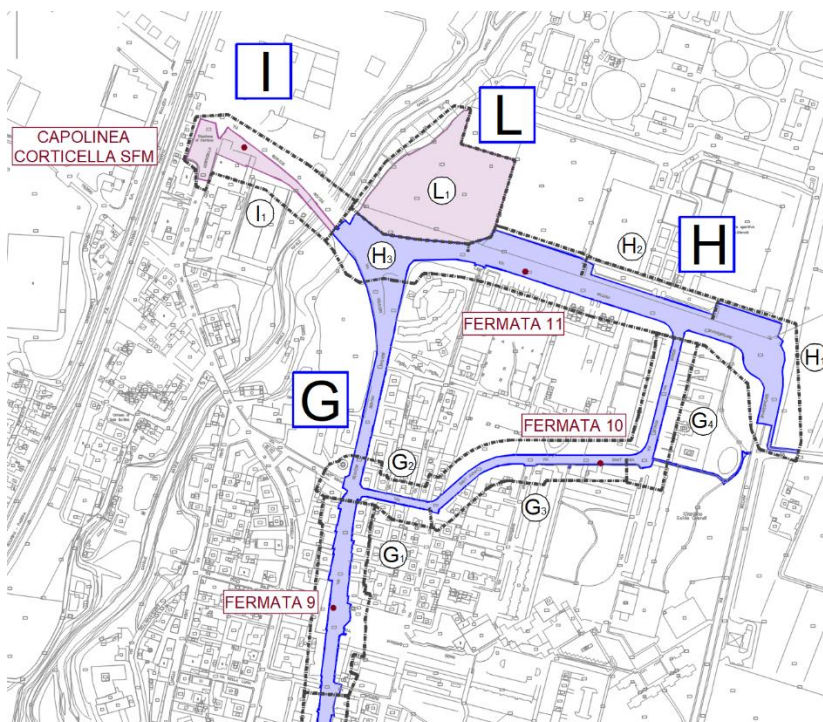


Figura 17.5 - Cantieri G, H, I e L

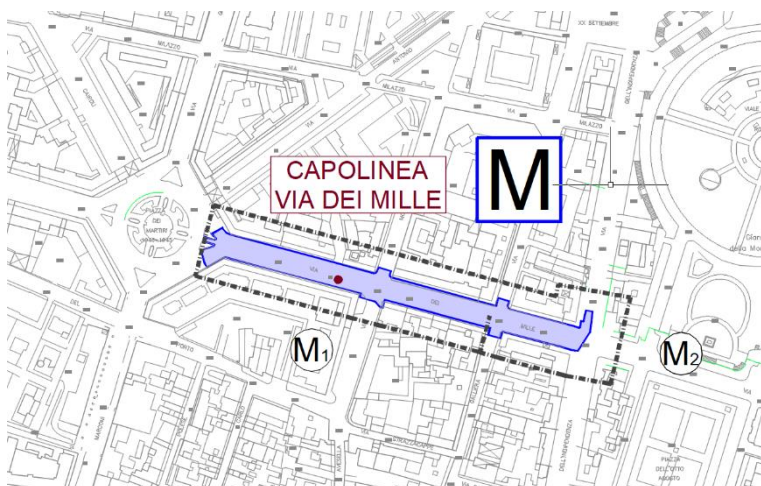


Figura 17.6 - Cantiere M

Per ulteriori dettagli si rimanda alla relazione specialistica ed agli elaborati progettuali della cantierizzazione.

18. STRUTTURE

Lungo il nuovo tracciato sono ubicate alcune opere d'arte di una certa rilevanza: tali opere sono sinteticamente riportate nella tabella seguente:

Identificazione	Breve nota descrittiva
Sottovia Via Mazza	Realizzazione di sottovia in Ferrarese/Via Mazza
SSE.11	Sottostazione elettrica fuori terra
Sottoattraversamento Ferrovia	Realizzazione del nuovo sotto-attraversamento lungo via Corticella, in sostituzione dell'attuale sottovia a luce singola
Nuova opera di sottoattraversamento lungo via Corticella in corrispondenza svincolo con Tangenziale	Nuovo sottovia ad esclusivo uso della tranvia lungo Via di Corticella
Nuovo ponte sul Canale Navile	Nuovo ponte Canale Navile ad esclusivo utilizzo della tranvia
Rampa in c.a. lungo via Bentini	Realizzazione rampa tra muri in c.a. per permettere alla sede tranviaria di passare della quota della viabilità esistente alla quota del sedime ferroviario in prossimità della stazione SFM di Corticella
SSE.12	Sottostazione elettrica fuori terra

Di seguito una breve descrizione delle opere così come ipotizzate.

18.1 SOTTOVIA VIA MAZZA

In corrispondenza di via Ferrarese e via Mazza, come si può notare nel riquadro evidenziato in rosso nell'immagine che segue, è prevista un'opera di sottoattraversamento stradale al fine di creare un collegamento stradale diretto e permettere il passaggio in superficie dell'infrastruttura tranviaria.

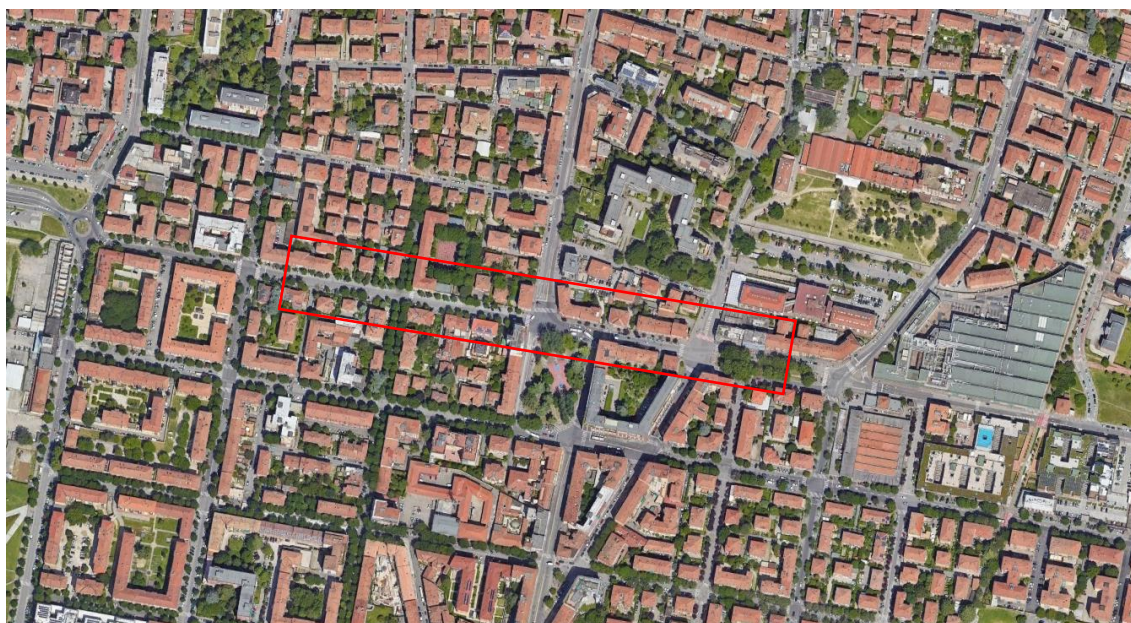


Figura 18.1 – Inquadramento generale

L'opera viene realizzata per mezzo di uno scavo con tecnologia TOP DOWN, eseguendo preventivamente le opere di sostegno laterale, quindi le opere di copertura, laddove previste, e infine lo scavo a cielo aperto in corrispondenza delle rampe di approccio (in corrispondenza dei tratti delle rampe prossimi al sottopasso saranno da prevedere puntoni provvisori in sommità durante le varie fasi di scavo); le rampe saranno utilizzate per allontanare il materiale di scavo prodotto per la realizzazione del sottopasso.

Le opere di sostegno vengono realizzate utilizzando sia pali del diametro pari a 920mm, con lunghezza variabile in funzione dell'andamento altimetrico di progetto, sia micropali del diametro del 220mm e lunghezza pari a 6m nelle zone terminali delle rampe di accesso. Tra le opere di sostegno laterale viene poi realizzata una struttura in c.a. con funzione di contenimento della sede stradale, mentre nella parte inferiore verrà realizzata una platea di fondazione di spessore pari a 1.00m; le fodere laterali a contrasto con i pali avranno spessore pari a 0.40m (sia nelle zone all'aperto che in sotterraneo).

Vengono di seguito riportate alcune immagini raffiguranti l'opera in oggetto.

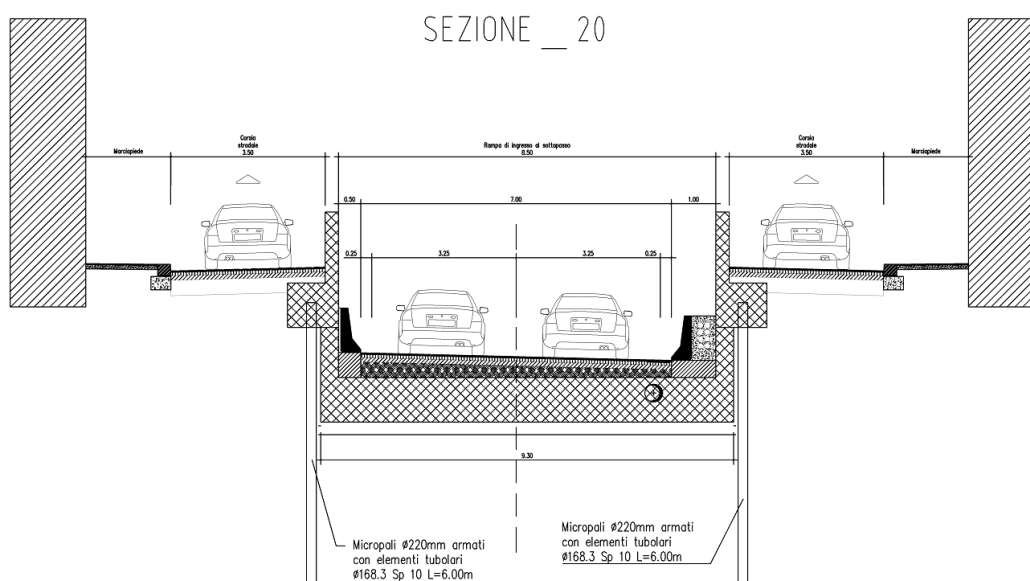


Figura 18.2 – Sezione in corrispondenza dei Micropali

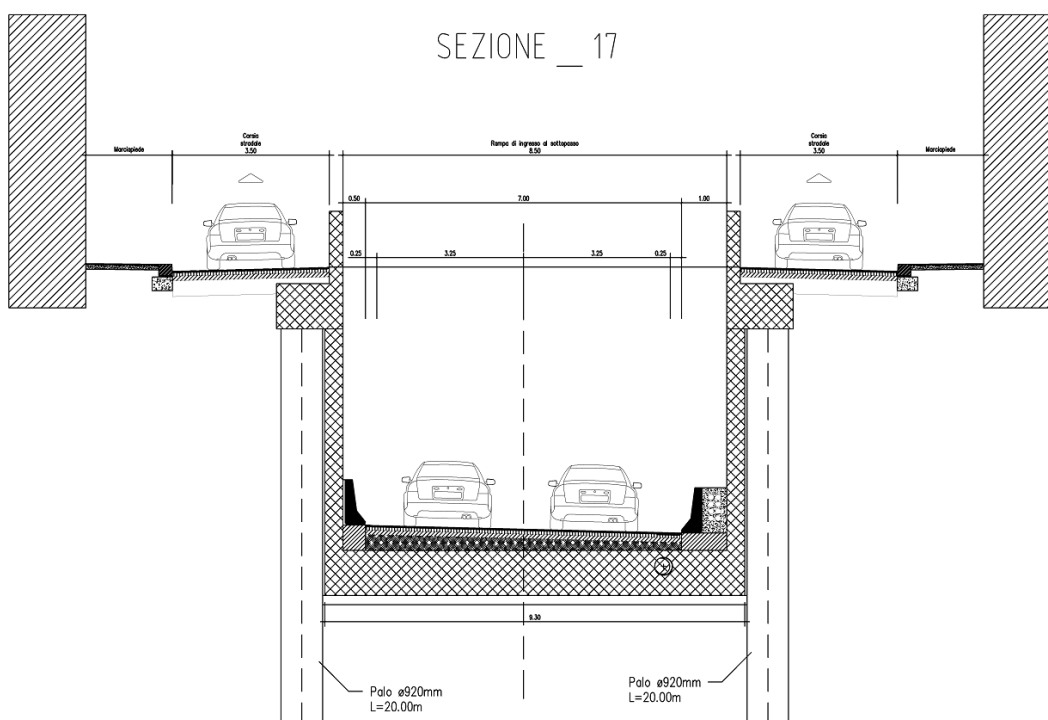


Figura 18.3 – Sezione corrente in trincea

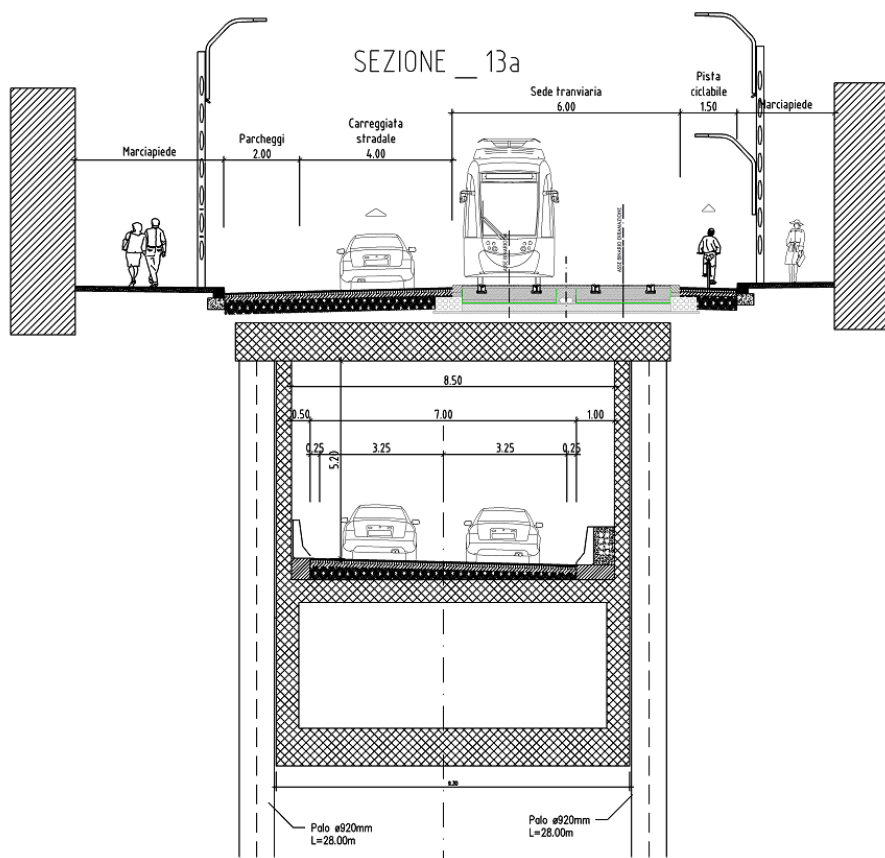


Figura 18.4 – Sezione in corrispondenza del sottopasso – in corrispondenza della zona di vasca

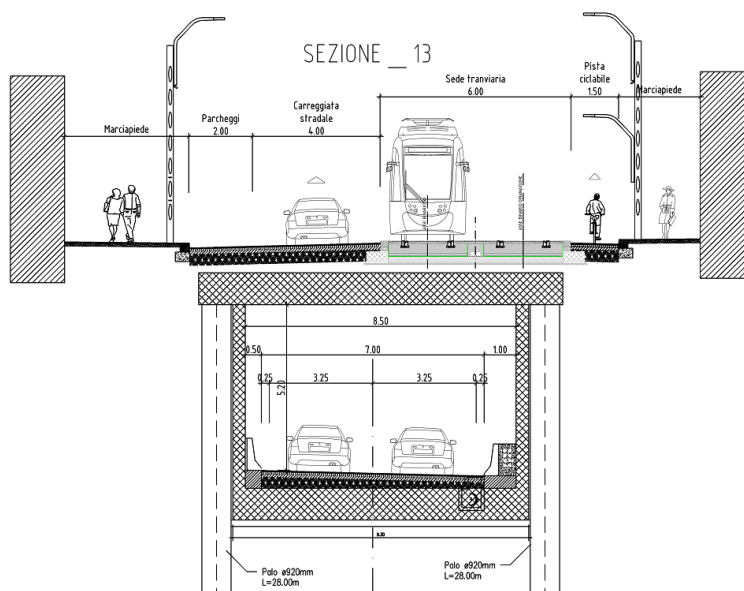


Figura 18.5 – Sezione in corrispondenza del sottopasso – Sezione corrente

18.2 SOTTOATTRAVERSAMENTO FERROVIA

Per consentire il passaggio della nuova linea tranviaria in corrispondenza dell'intersezione fra Via Corticella e la linea ferroviaria, in sostituzione dell'attuale sottovia a luce singola, sarà realizzato un nuovo sottoattraversamento in cls armato.



Figura 18.6 – Sotto-attraversamento esistente e attuale luce libera

La soluzione di progetto, presentata nello stralcio e nella sezione trasversale di seguito riportati, prevede la realizzazione di due manufatti scatolari laterali della larghezza interna pari a 3,00 m, all'interno dei quali troveranno alloggiamento le piste ciclabili e i marciapiedi a servizio di entrambe le direzioni di marcia.

Il fornace centrale invece, di larghezza maggiore, ospiterà la sede tranviaria e le due carreggiate stradali, monodirezionali, con larghezza pavimentata pari a 4,25 m per lato.

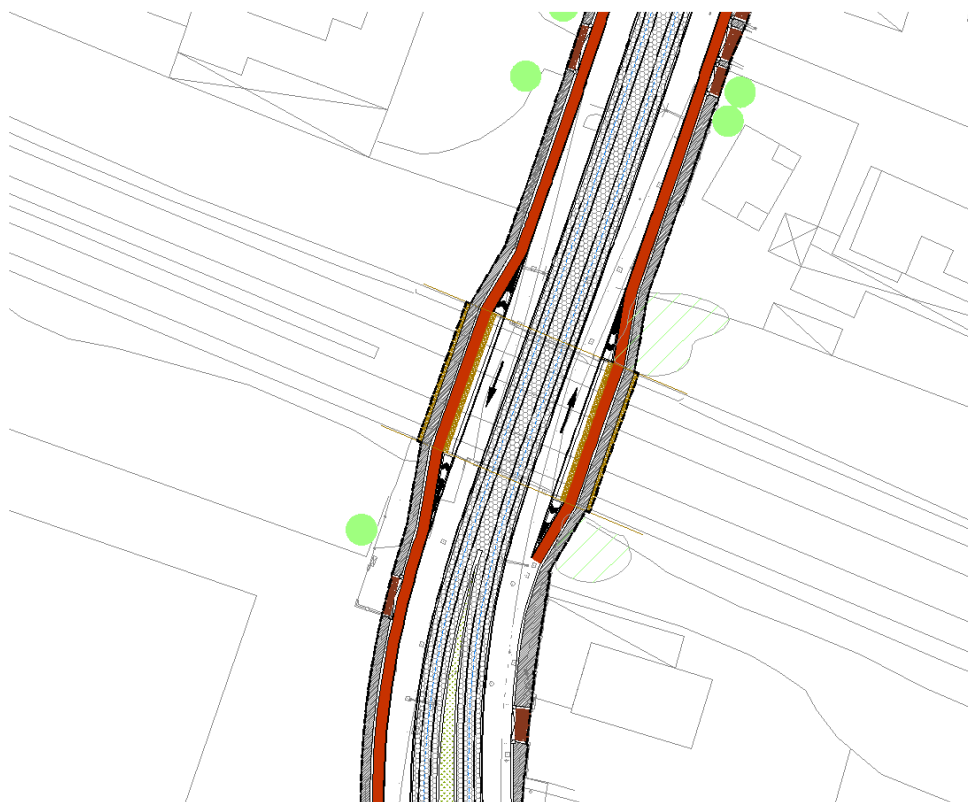


Figura 18.7 – Stralcio planimetrico

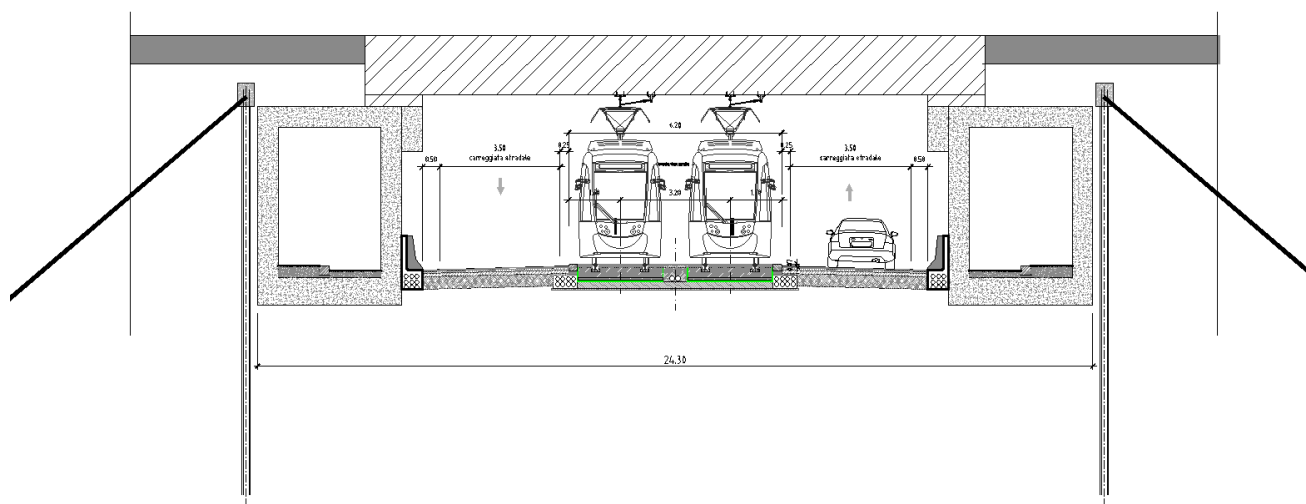


Figura 18.8 – Sezione trasversale

La conformazione dell'opera è legata alla sua realizzazione, alla necessità di garantire il traffico ferroviario che passa sul ponte esistente.

Il completamento dell'opera avverrà secondo diverse fasi e prevede come prima attività la realizzazione di una berlinese di micropali tirantati per parte a sostegno del rilevato ferroviario.

La successione delle fasi è di seguito schematizzata nelle figure riportate.

2. REALIZZAZIONE MICROPALI TEMPORANEI

SCALA 1:200

Sezione A-A

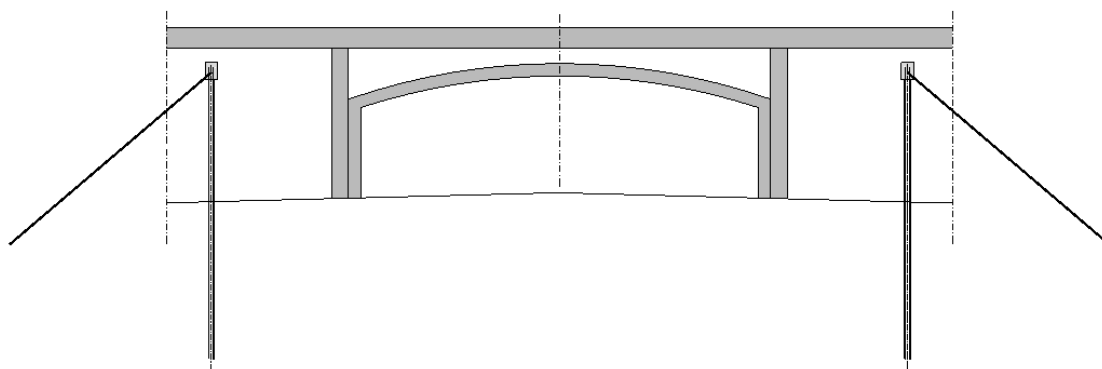


Figura 18.9 – Fase 2 della realizzazione

3. MESSA IN OPERA IMPALCATO PROVVISORIO TIPO ESSEN E SCAVO

SCALA 1:200

Sezione A-A

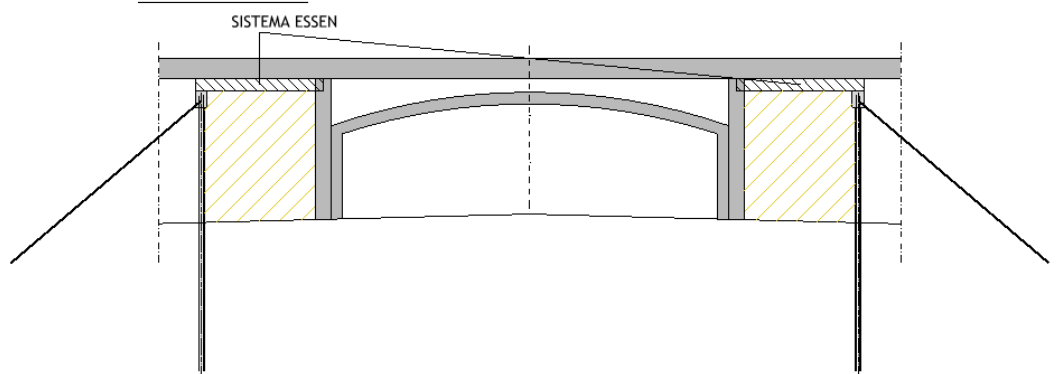


Figura 18.10 – Fase 3 della realizzazione

Il Ponte Essen è un sistema atto al sostegno provvisorio del binario che consiste in due strutture di sostegno simmetriche, ciascuna formata da quattro travi portanti in acciaio, aventi sezione non standard a doppio T di altezza ridotta pari a 20cm e lunghezza di circa 12m che, riunite a coppie, sostengono la singola rotaia per mezzo di un complesso di dispositivi, denominati “selle”, poste trasversalmente alla rotaia stessa tra una traversa e l'altra (MdP delle opere civili Parte II - sezione 2 Ponti e strutture).

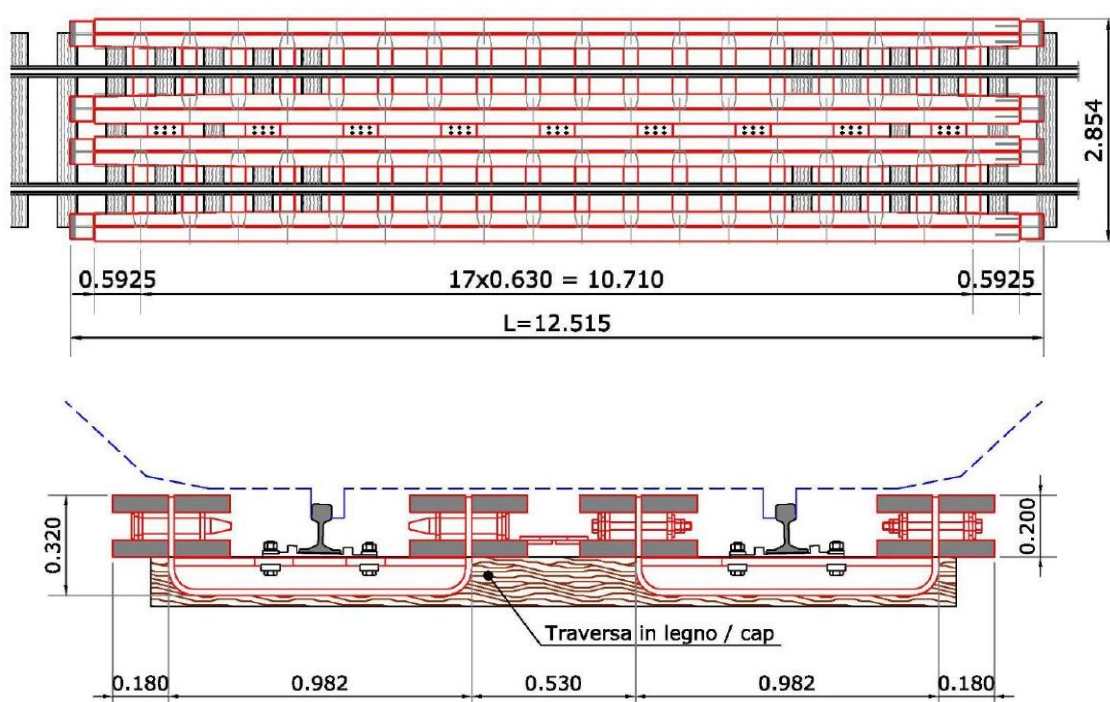


Figura 18.11 – Sistema di sostegno provvisorio “Ponte Essen” – pianta e sezione trasversale (MdP P.II sez.2)

4. REALIZZAZIONE PALI DI FONDAZIONE E SCATOLARI

SCALA 1:200

Sezione A-A

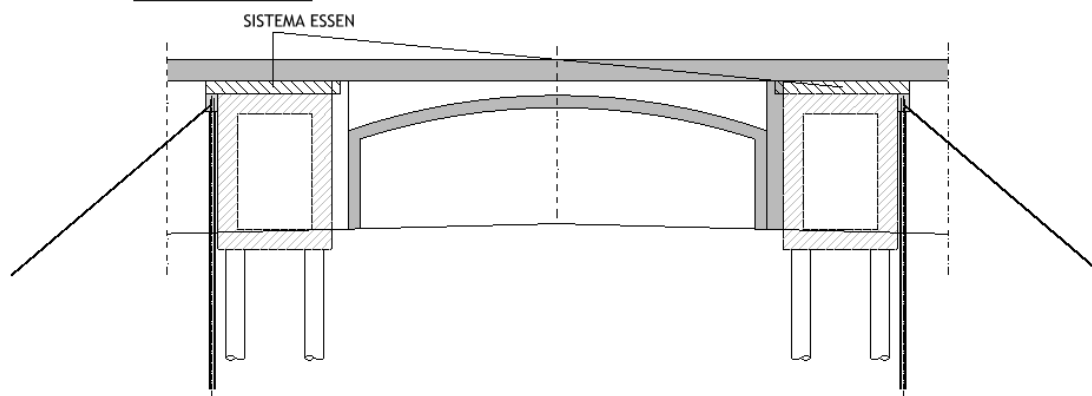


Figura 18.12 – Fase 4 della realizzazione

5. RIMOZIONE IMPALCATI TIPO ESSEN

SCALA 1:200

Sezione A-A

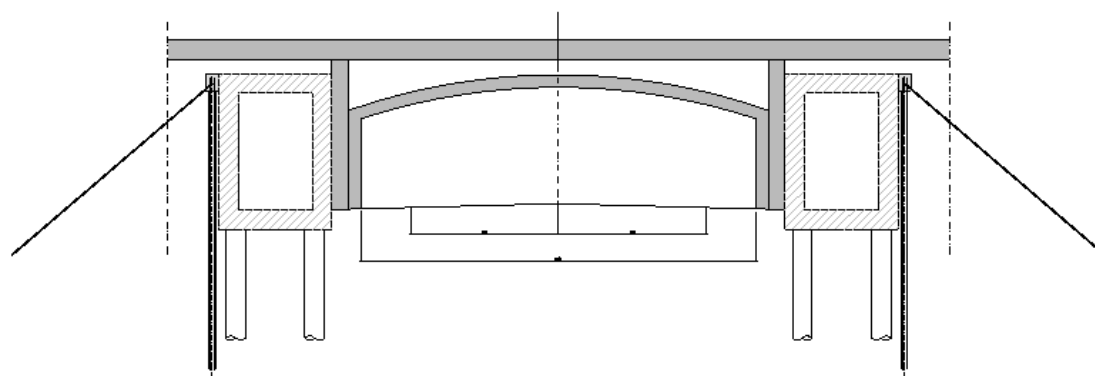


Figura 18.13 – Fase 5 della realizzazione

6. MESSA IN OPERA IMPALCATO TIPO GUI.DO

SCALA 1:200

Sezione A-A

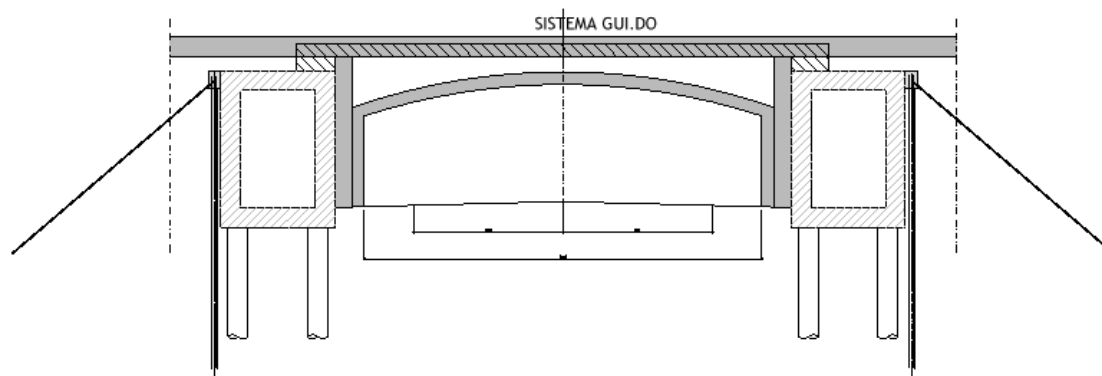


Figura 18.14 – Fase 6 della realizzazione

Il ponte GUI.DO è un ponte ferroviario provvisorio in acciaio, costituito da due travi longitudinali “principali” e da travi “secondarie” poste ortogonalmente a queste ad interasse di 60cm. Tali travi secondarie sostengono le rotaie.

Le travi principali sono generalmente costituite da un’ala inferiore realizzata con due piatti, da un’anima costituita da tronchetti ad asse verticale di HEB posti ad interasse di 60cm, da una HEB longitudinale e da un’ala superiore costituita da due piatti.

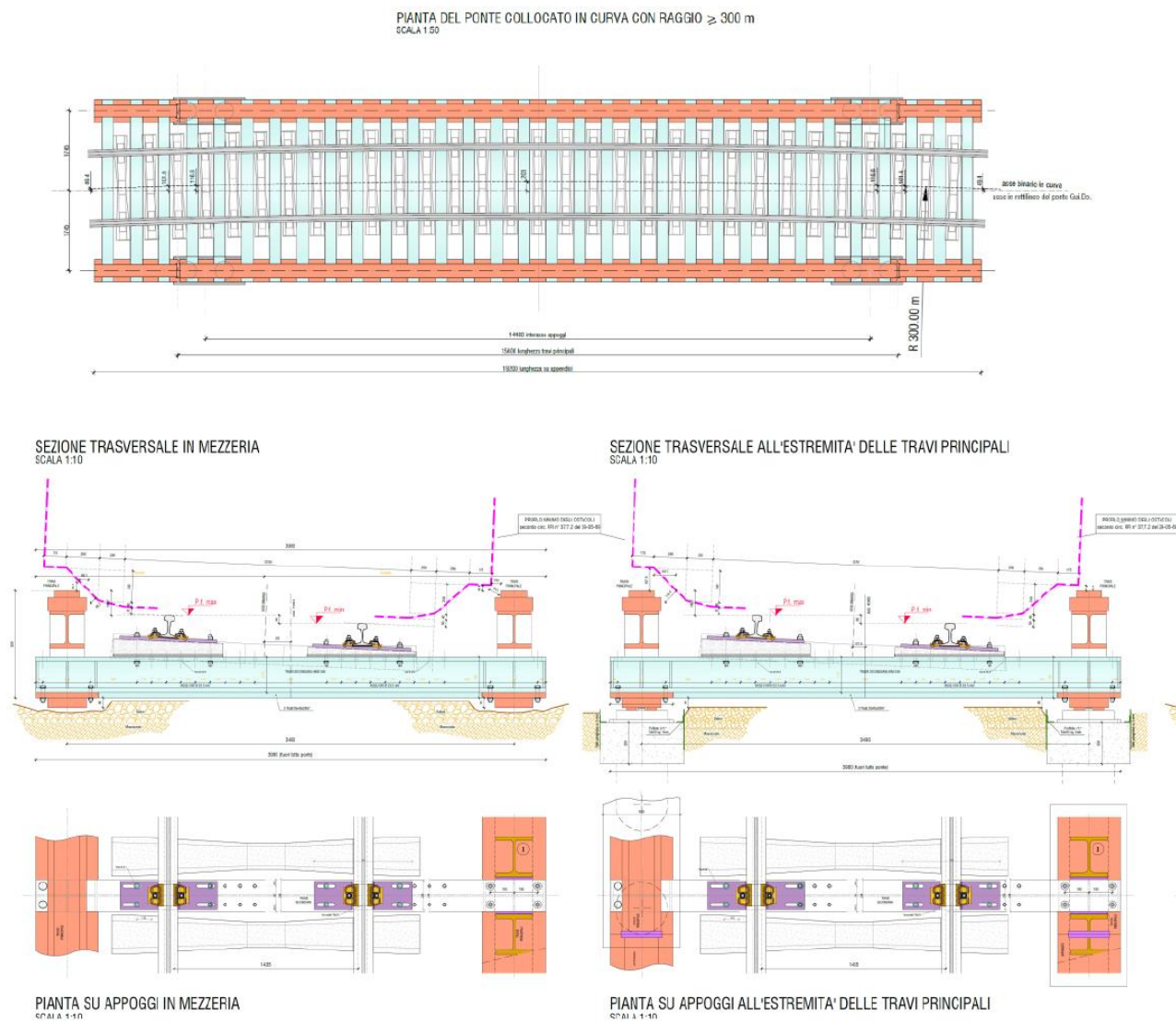


Figura 18.15 – Sistema di sostegno provvisorio “Ponte GUI.DO” – pianta e sezioni (MdP P.II sez.2)

7. DEMOLIZIONE MANUFATTO ESISTENTE

SCALA 1:200

Sezione A-A

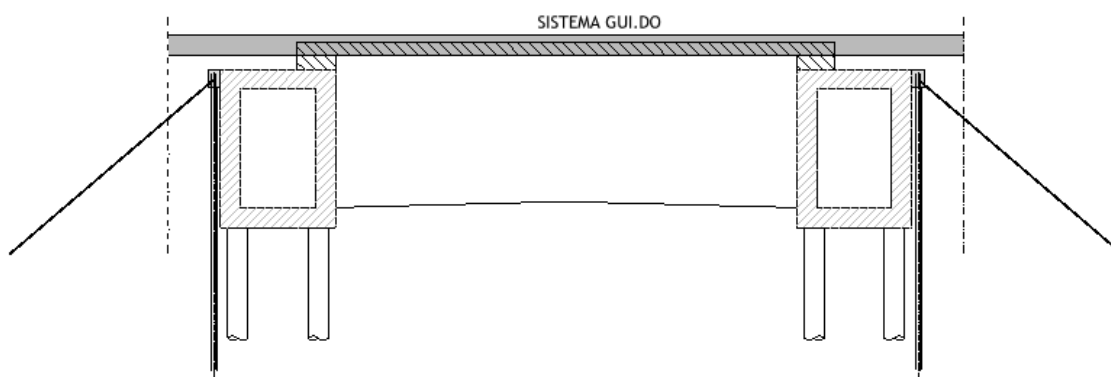


Figura 18.16 – Fase 7 della realizzazione

8. REALIZZAZIONE DEGLI APPOGGI INTERNI E FUORI SEDE DEL NUOVO IMPALCATO IN CARPENTERIA METALLICA

SCALA 1:200

Sezione A-A

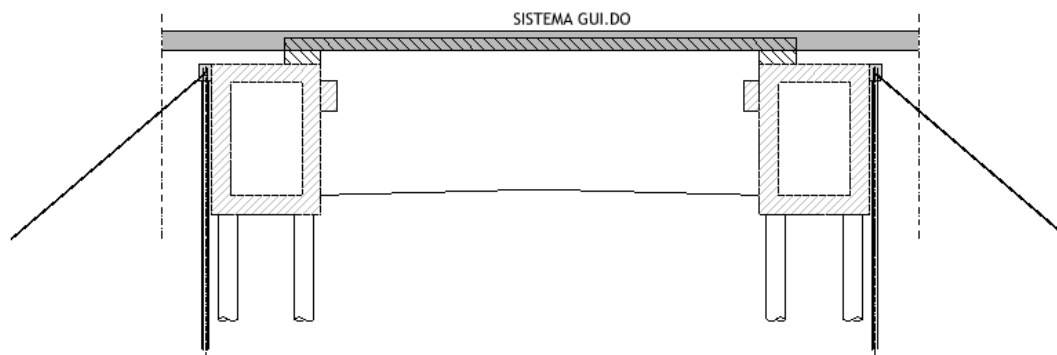


Figura 18.17 – Fase 8 della realizzazione

9. DEMOLIZIONE BINARI ESISTENTI

SCALA 1:200

Sezione A-A

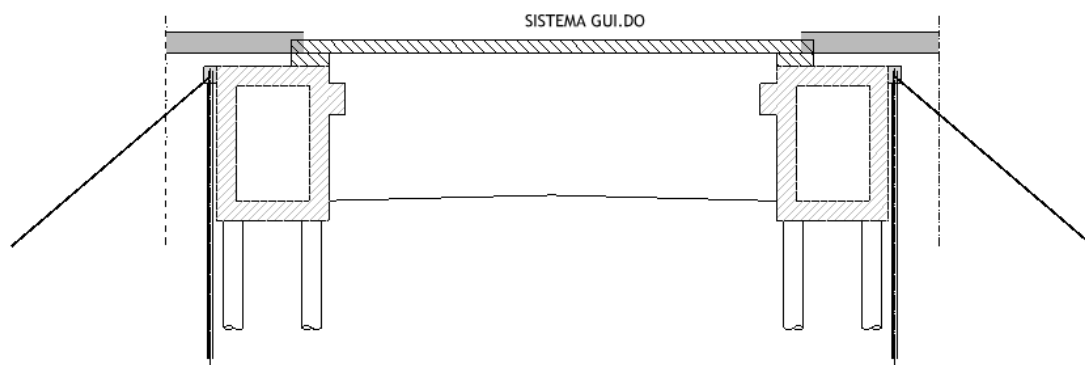


Figura 18.18 – Fase 9 della realizzazione

10. RIMOZIONE SISTEMA GUI.DO

SCALA 1:200

Sezione A-A

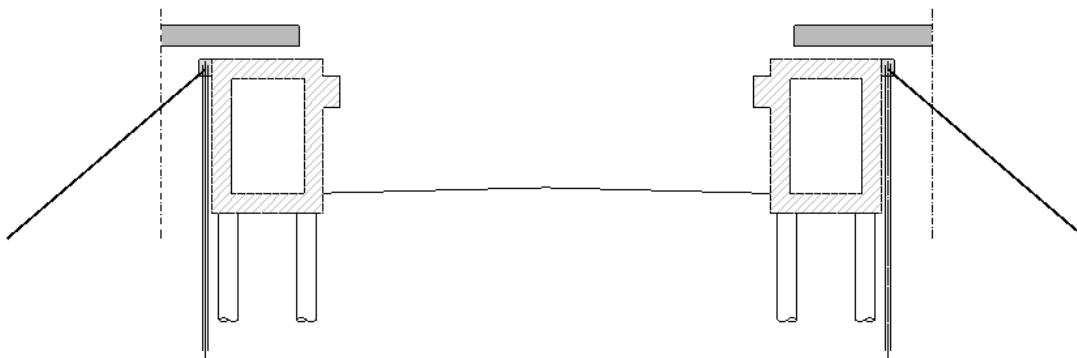


Figura 18.19 – Fase 10 della realizzazione

11. MESSA IN OPERA DELL'IMPALCATO PREASSEMBLATO A TERRA

SCALA 1:200

Sezione A-A



Figura 18.20 – Fase 11 della realizzazione

12. REALIZZAZIONE FINITURE E RIAPERTURE

SCALA 1:200

Sezione A-A

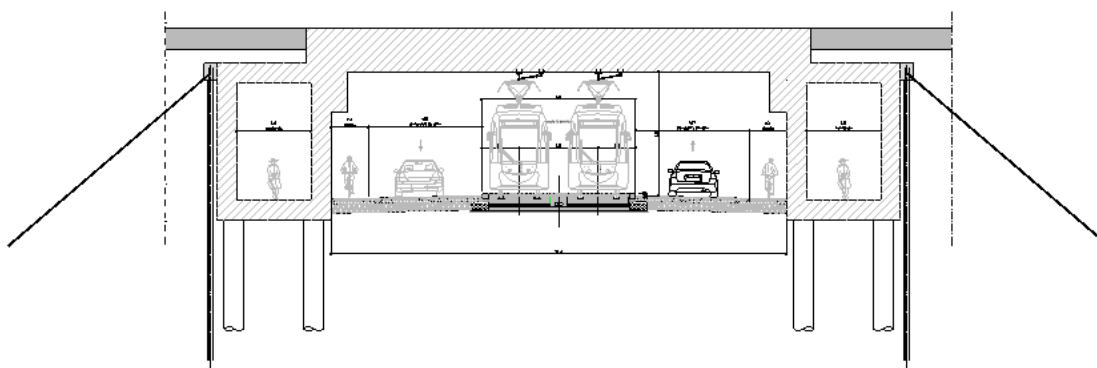


Figura 18.21 – Fase 12 della realizzazione

L'opera sopra descritta andrà discussa e concordata con RFI per rispettare le indicazioni realizzative proprie dell'ente gestore delle linee ferroviarie nazionali, con l'obiettivo di ricevere il benessere di quanto progettato o individuare una eventuale ulteriore altra soluzione che permetta di allargare il fornice di via Corticella e poter realizzare una

sezione tale per cui la sede tranviaria possa procedere in sezione riservata senza interferenze con il traffico veicolare privato.

18.3 SOTTOATTRAVERSAMENTO TANGENZIALE

In corrispondenza dell'attraversamento della tangenziale, come ampiamente descritto nei paragrafi precedenti, è prevista la realizzazione un'opera di sottoattraversamento al fine di creare un collegamento filoviario diretto e ripristinare la circolazione stradale in superficie.

L'opera verrà realizzata per mezzo di uno scavo con tecnologia TOP DOWN eseguendo preventivamente le opere di sostegno laterale, poi le opere di copertura laddove previste e poi uno scavo a cielo aperto in corrispondenza delle rampe di approccio (in corrispondenza delle rampe più vicine al sottopasso saranno da prevedere puntoni provvisori in sommità durante le varie fasi di scavo).

Le opere di sostegno vengono realizzate utilizzando sia pali del diametro pari a 920mm, con lunghezza variabile in funzione dell'andamento altimetrico di progetto, sia micropali del diametro del 220mm e lunghezza pari a 6m nelle zone terminali delle rampe di accesso. In corrispondenza dell'interferenza con la tangenziale, non potendo realizzare opere di sostegno con pali di medio diametro per evidenti interferenze in altezza con l'opera esistente, si è proceduto alla previsione di opere di sostegno per mezzo di una preventiva paratia di micropali di altezza pari a 6.0m al fine di realizzare un prescavo per poi realizzare un'opera di sostegno definitiva con micropali di lunghezza pari a 23m disposti a quinconce.

All'interno dello scavo, viene poi realizzata una struttura in c.a. con funzione di contenimento della sede tramviaria con platea di fondazione di spessore pari a 1.00m (sia nelle zone all'aperto che in sotterraneo) e fodere laterali a contrasto con i pali di spessore pari a 0.40m in corrispondenza delle trincee, di 50cm in corrispondenza del sottopasso e di 60cm in corrispondenza della zona di interferenza con la tangenziale.

Vengono di seguito riportate alcune immagini raffiguranti l'opera in oggetto.

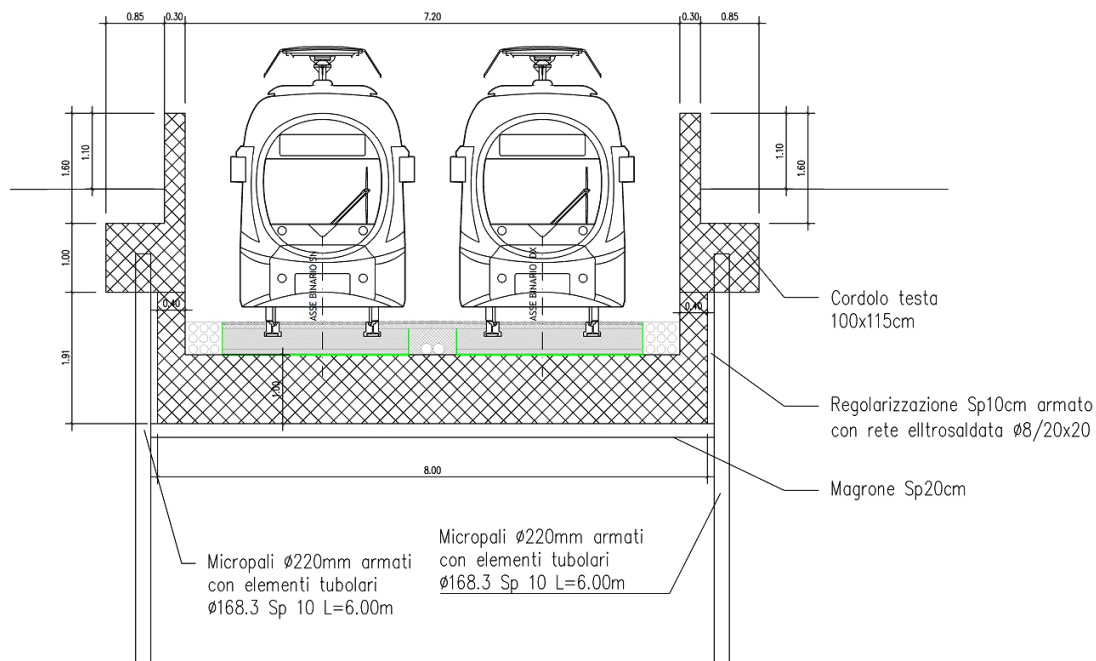


Figura 18.22 – Sezione in corrispondenza dei Micropali

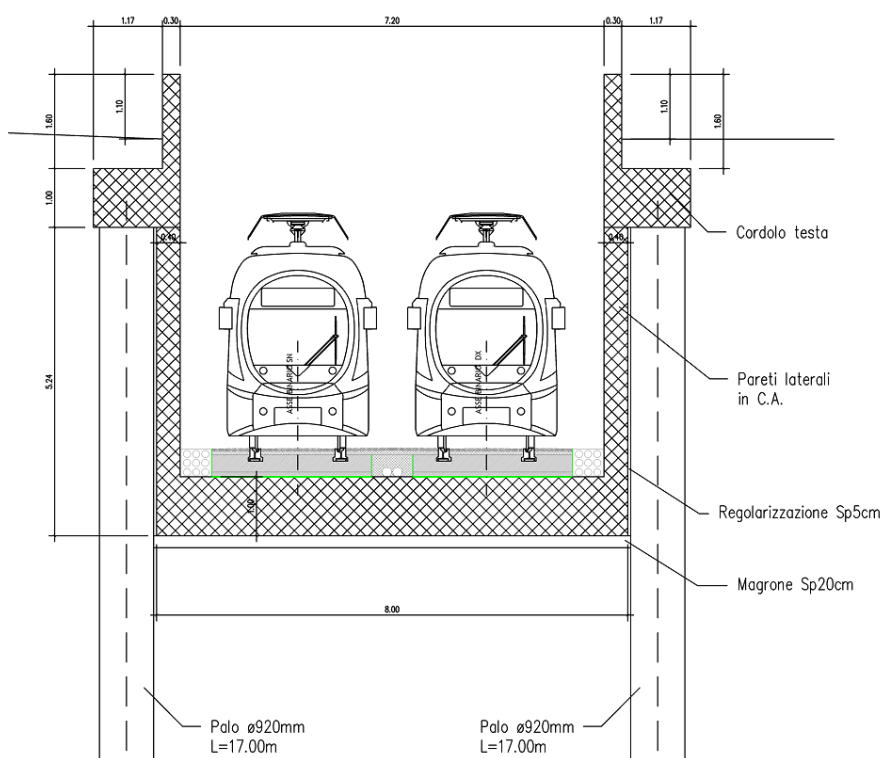


Figura 18.23 – Sezione corrente in trincea

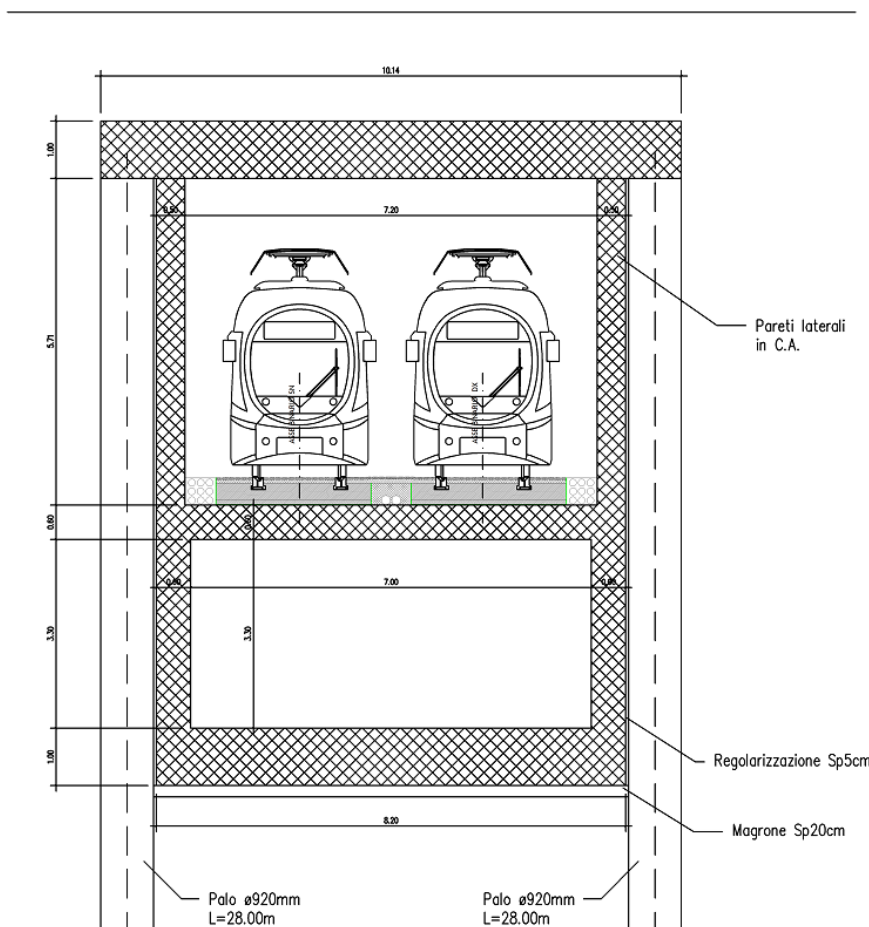


Figura 18.24 – Sezione in corrispondenza del sottopasso – in corrispondenza della zona di vasca

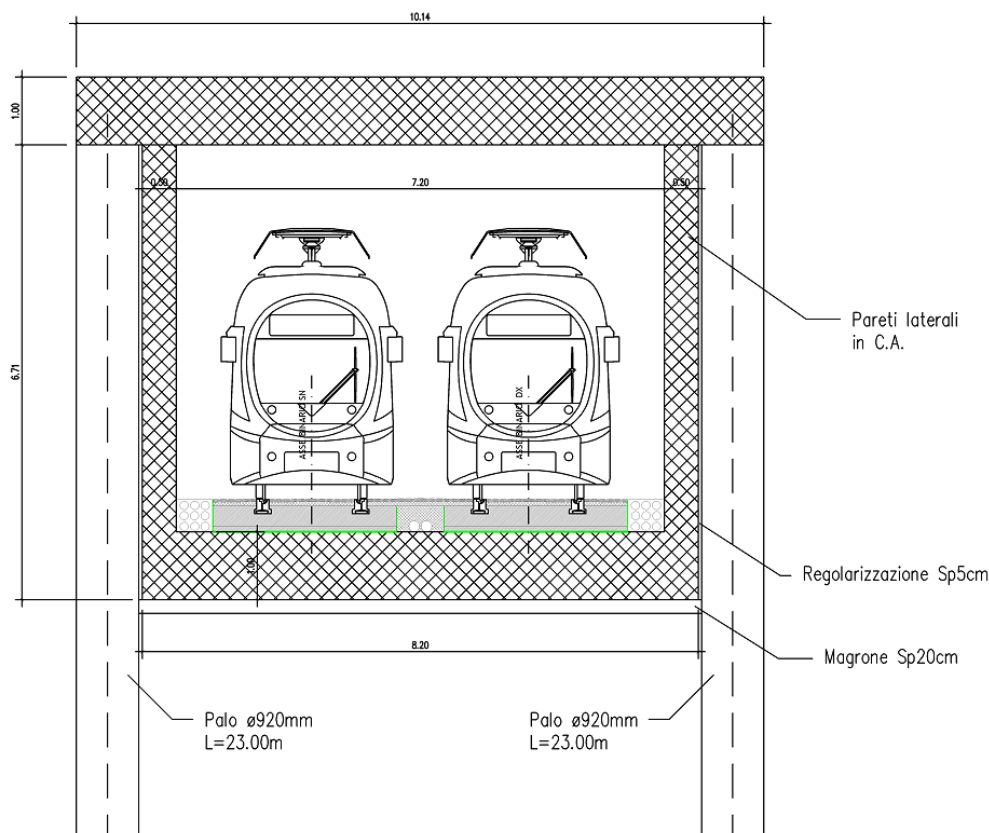


Figura 18.25 – Sezione in corrispondenza del sottopasso – Sezione corrente

18.4 NUOVO PONTE SU CANALE NAVILE

Nel tratto terminale della linea, in affiancamento alla struttura esistente, si procederà alla realizzazione di un nuovo Ponte sul Canale Navile al fine di consentire il passaggio della sola linea tranviaria.



Figura 18.26 – Ponte esistente sul Canale Navile

Per il nuovo manufatto si prevede la realizzazione di un impalcato a graticcio costituito da travi longitudinali saldate a doppio T in acciaio con soletta in calcestruzzo collaborante e collegate puntualmente da elementi irrigidenti trasversali. L'impalcato sarà sostenuto da spalle in calcestruzzo armato impostate su fondazioni su pali.

Il manufatto è un viadotto a una campata in semplice appoggio sulle due spalle di luce pari a circa 60m.

Le quattro travi in acciaio a doppio T saranno saldate e avranno una altezza pari a 2.25m; saranno rese collaboranti alla soletta in calcestruzzo di 30 cm di spessore.

Le travi longitudinali, disposte a interasse di circa 1.95m, sono collegate da traversi con funzione di irrigidimenti trasversali.

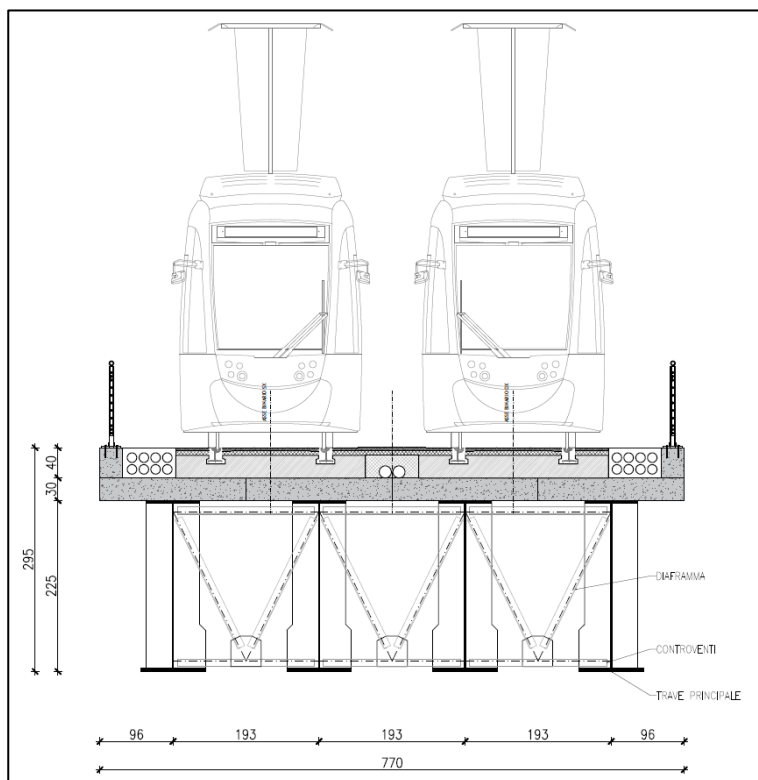


Figura 18.27 – Sezione trasversale tipo dell'impalcato

18.5 SCATOLARE CAPOLINEA STAZIONE CORTICELLA (CAPOLINEA NORD)

L'intervento prevede la realizzazione di una nuova rampa in c.a. per consentire alla sede tranviaria di passare dalla quota di arrivo del ponte Navile alla quota della sede tranviaria in prossimità del capolinea della stazione SFM di Corticella.

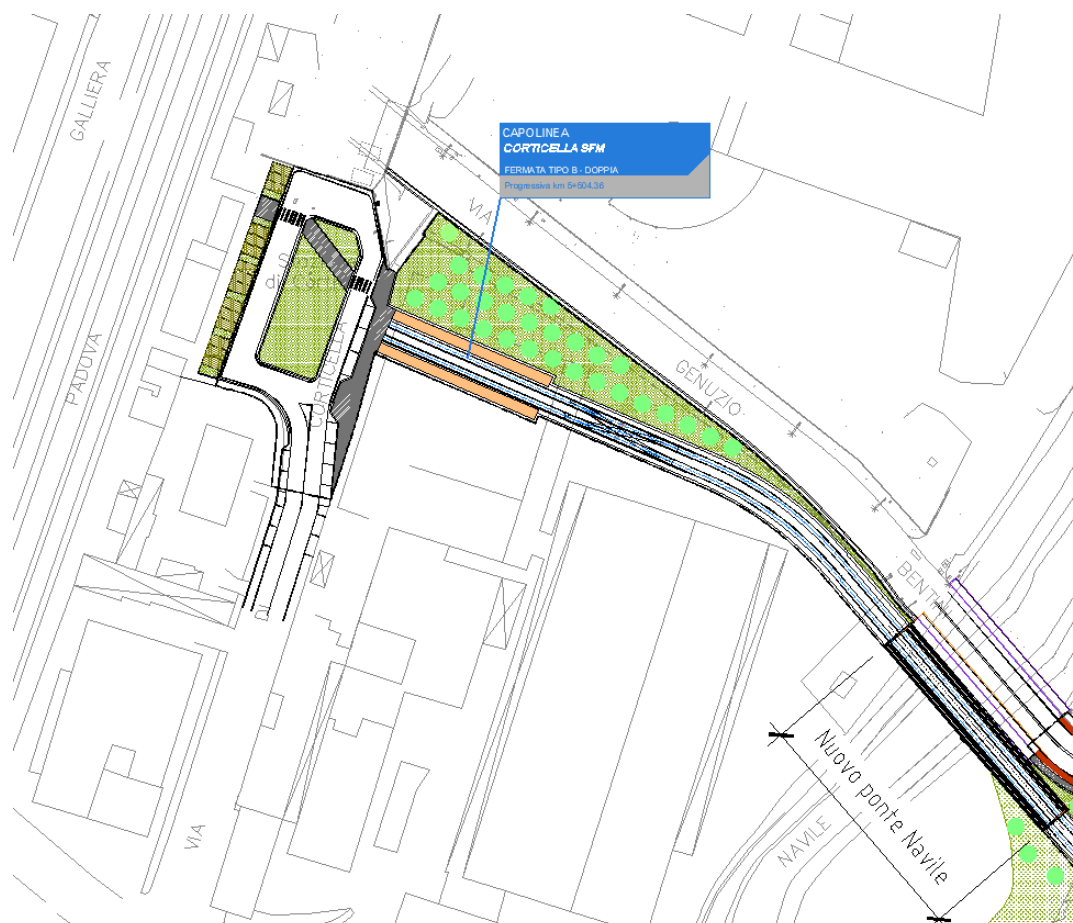


Figura 18.28 – Inquadramento opera

L'opera è costituita da uno scatolare in cls armato ed è caratterizzata da una variazione crescente delle quote di estradosso dell'impalcato per superare il dislivello esistente fra l'inizio rampa e l'imposta della quota del capolinea.

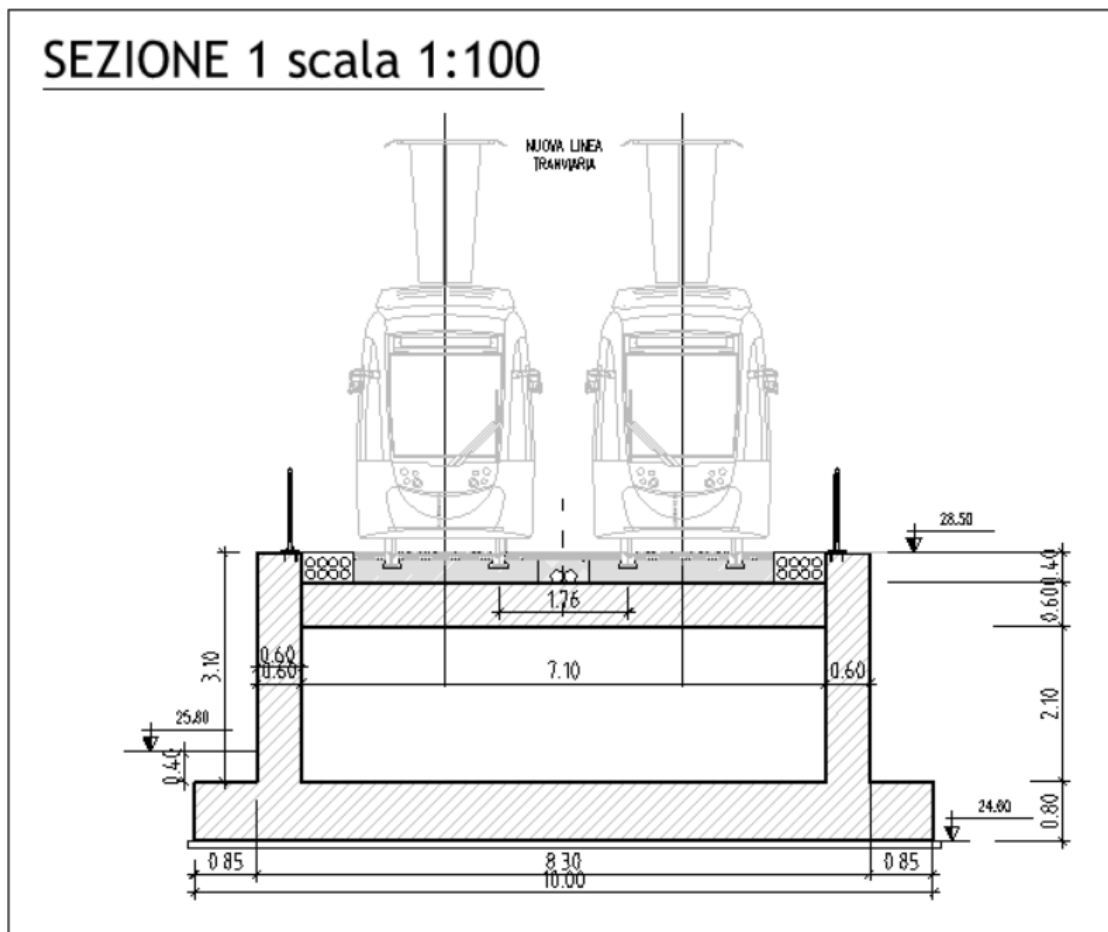


Figura 18.29 – Sezione trasversale 1-1 primo tratto

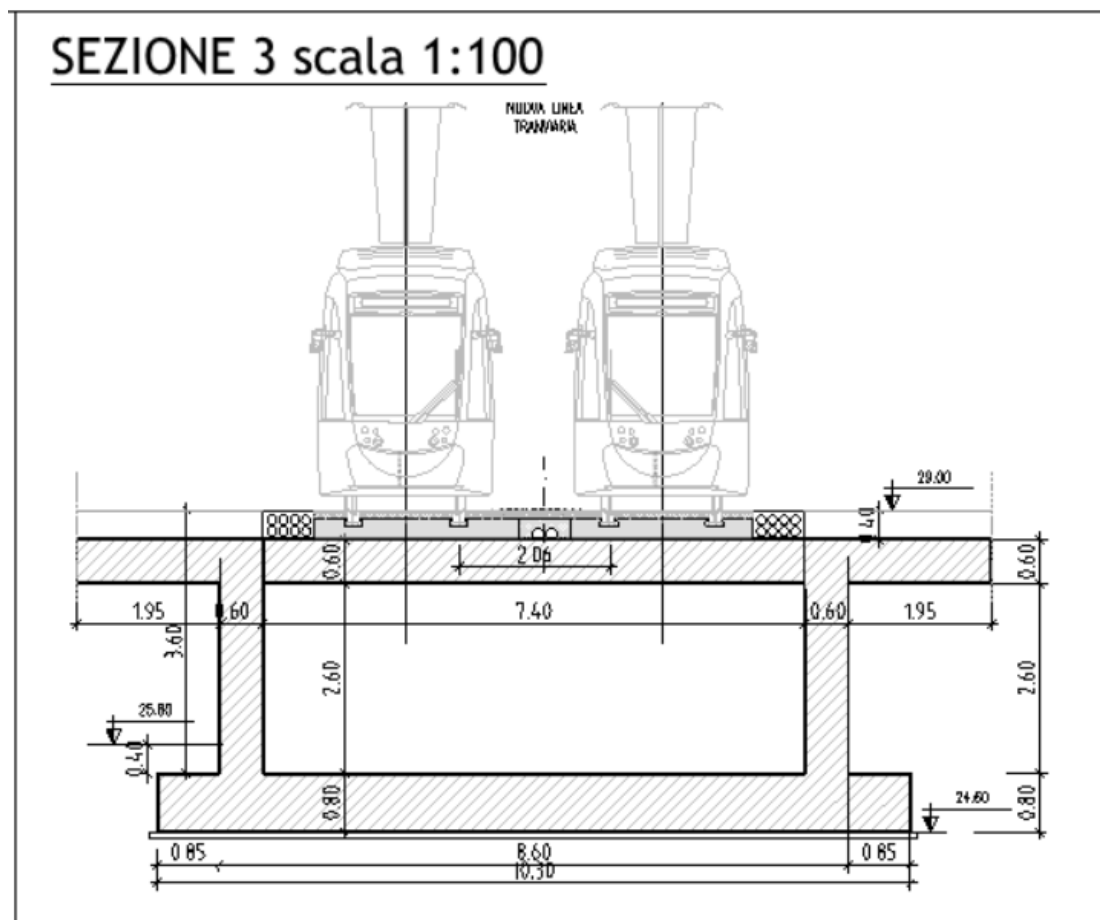


Figura 18.30 – Sezione trasversale 3-3 capolinea in corrispondenza delle pensiline laterali

19. ARMAMENTO TRANVIARIO

Come già evidenziato nel progetto della linea Rossa, anche il tracciato della tratta per Corticella si sviluppa attraverso ambiti con edifici ritenuti sensibili da un punto di vista storico.

Come avviene ormai in tutte le realizzazioni di trasporto pubblico di massa su rotaia, pertanto, le vibrazioni propagate attraverso l'aria, il suolo e le strutture devono essere mitigate per ridurre il disturbo che si arreca agli edifici limitrofi.

Al fine di valutare i livelli di attenuazione sui binari, si fa riferimento alla distanza degli stessi dagli edifici, oltre che alla funzione dell'edificio (ad esempio scuole, ospedali, laboratori etc.) ed alla sua sensibilità, ed al contesto urbano attraversato.

I risultati di questo primo approccio sono riportati sulle planimetrie con la indicazione delle tipologie di armamento tenendo conto dei seguenti fattori:

- tipo di terreno su cui insisterà il binario (geologia);
- posizione del binario rispetto alla sezione stradale (distanza tra asse e edifici);
- categoria di destinazione dell'area (residenziale, commerciale, industriale).

Poniamo che d_1 sia definita come la distanza tra l'edificio di destra e l'asse del binario di destra e d_2 sia definita come la distanza tra l'edificio di sinistra e l'asse del binario di sinistra; d_{min} risulterà essere la distanza inferiore tra d_1 e d_2 . Secondo tale criterio il tipo di smorzamento acustico del binario sarà stabilito tenendo anche in considerazione l'ambiente e la posizione dell'area.

L'attenuazione delle vibrazioni del binario verrà predisposta seguendo le seguenti regole:

- $d_{min} > 12m$: livello 0
- $d_{min} > 12m$ ma in area sensibile: livello 2
- $7 < d_{min} < 12m$: livello 2
- $7 < d_{min} < 12m$ ma in area sensibile: livello 3
- $d_{min} < 7m$: livello 3

- Centro storico: livello 3

Con questi livelli si definiranno le relative sezioni dell'armamento.

Nei casi in cui il livello di vibrazioni in condizioni base sia ammissibile si installerà un binario di riferimento (Livello 0). Nei casi in cui si richieda un livello medio di attenuazione si installerà un binario di riferimento con provvedimenti antivibranti (Livello 2). Nelle zone con sezioni particolarmente sensibili lungo la linea tranviaria, si installerà un binario di riferimento con provvedimenti antivibranti ad elevate prestazioni (Livello 3).

Queste sezioni potranno essere verificate attraverso un software di simulazioni che si rifà ai principi standard di massa-molla adattandoli al caso della linea tranviaria. Questo software consente di confrontare la filtrazione delle vibrazioni di un binario, ottenuta mediante l'inserimento in loco di materiali antivibrazionali (materassino elastomerico, piastrine sottorotaia, ecc.) messi in relazione con un binario standard cosiddetto «di riferimento» ovvero senza resilienti e materassino (livello 0).

La differenza tra il binario ammortizzato e il binario standard nel trasmettere le vibrazioni consente di ricavare la perdita d'inserzione in dB e quindi di valutare la performance dei dispositivi antivibrazioni proposti nel tipo di binario ammortizzato.

Il sistema previsto per la linea tranviaria oggetto del presente progetto di fattibilità tecnico economica è l'embedded rail system (ERS), che prevede la posa di rotaie rivestite da profili in gomma che vengono posizionate mediante portalini e fissate in opera con un getto di bloccaggio.

Tale sistema, largamente sviluppato in Europa (Parigi, Madrid, Bruxelles, Atene ecc.), è attualmente quello utilizzato in Italia per la realizzazione delle linee 2 e 3 di Firenze. Variando le caratteristiche delle gomme sottorotaia e dell'eventuale materassino sottoplatea il sistema consente una notevole gamma di soluzioni prestazionali. Le recenti applicazioni, quali per tutte quelle di Atene e Firenze, hanno consentito di perfezionare la posa migliorando la precisione nell'allineamento delle rotaie nonché alcuni dettagli costruttivi, rendendolo sicuro e affidabile.

L'ERS è un sistema di binario isolato su appoggio continuo con elasticità omogenea senza fissaggio meccanico. Il rivestimento elastico delle rotaie consiste in profili realizzati in un elastomero granulare sinterizzato ad alta densità. Incastrato nella piastra di calcestruzzo superiore del binario, fino uno spessore libero di 100 mm sotto il Piano del Ferro per la posa del rivestimento, l'ERS garantisce la tenuta geometrica e meccanica della via (posizione e scartamento) senza sistemi di fissaggio.

Con il sistema a "rotaie rivestite", si provvede mediante portalini metallici al fissaggio ed alla calibrazione dei binari. L'allineamento del binario in orizzontale e verticale lungo gli assi X,Y,Z, viene realizzato prima di effettuare il getto di calcestruzzo nei vari strati. Lo strato finale di rivestimento può essere scelto in funzione delle esigenze architettoniche del contesto.

Per ogni tipo di rotaia (nel nostro caso la 60R2) viene realizzata su misura una specifica forma di profilo avvolgente, che assicura una trasmissione ottimale di carico verso la struttura portante. Il principio è applicato soprattutto per binari interrati che utilizzano rotaie a gola in ambiente urbano con uso multi-modale (traffico tranviario ed altro).

La forma del rivestimento elastico è adatta al tipo di rotaia e garantisce:

- un trasferimento ottimale del carico;
- un isolamento vibro-acustico;
- un isolamento elettrico;
- un isolamento termico.

Le dimensioni e la rigidità finali di profili di rivestimento in elastomero granulare saranno determinati sulla base delle prestazioni richieste per l'attenuazione delle vibrazioni.

Nel presente progetto vengono previste 3 diverse tipologie di sezioni di armamento:

- Sezione tipo L0 – "livello 0";
- Sezione tipo L2 – "livello 2";
- Sezione tipo L3 – "livello 3".

19.1 SEZIONE TIPO L0

La sezione tipo dell'armamento della tranvia definita L0 è composta da una rotaia incamiciata in profili avvolgenti in gomma che determinano un appoggio continuo elastico (definita con termine inglese "ERS/CRS Embedded Rail System / Continuous Rail System"). Il bloccaggio del binario avviene senza fissaggio meccanico, incastrando semplicemente le rotaie incamiciate in un getto di calcestruzzo, che a sua volta poggia su una piattaforma (piastra di fondazione). Il tutto viene posato su un suolo eventualmente bonificato qualora la resistenza del terreno di sedime non rispondesse alle prescrizioni di capitolato.

Si assume che la sezione tipo L0 non abbia uno specifico smorzamento delle vibrazioni malgrado la gomma che riveste le rotaie dia comunque un certo contributo in tal senso.

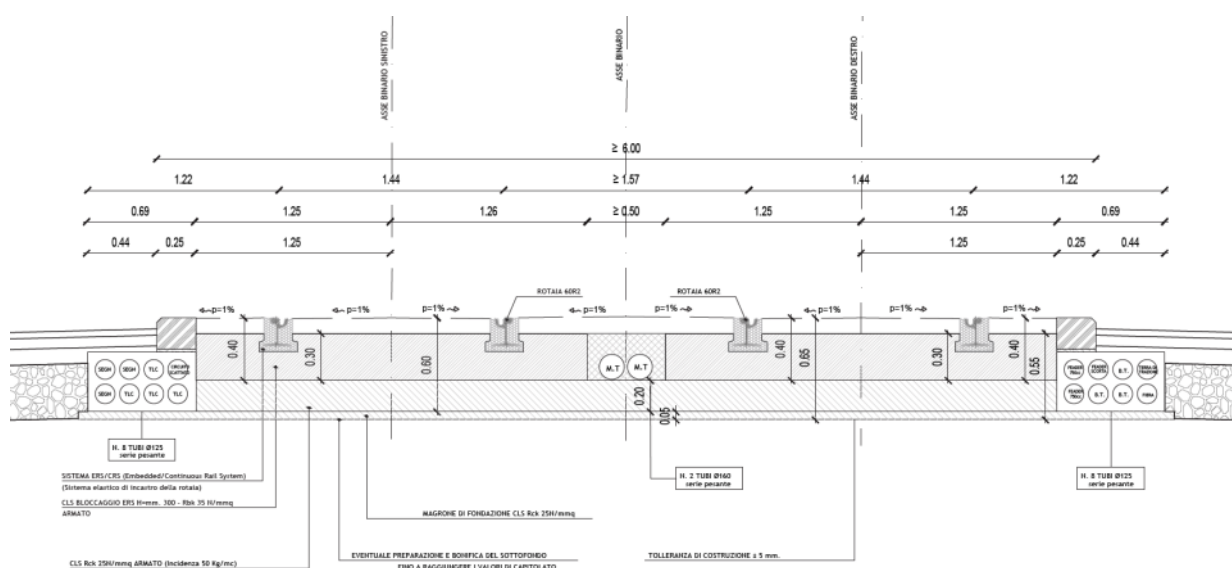


Figura 19.1 – Sezione trasversale tipo L0

19.2 SEZIONI TIPO L2 E L3

A partire dalla sezione tipo L0 corrispondente al livello 0 di smorzamento, semplicemente interponendo materiali resilienti tra la piastra di fondazione ed il getto di bloccaggio, si

determinano due sezioni ammortizzate con performance ordinate in base al grado di smorzamento richiesto:

- il livello cosiddetto L2 «Livello 2» che corrisponde a uno smorzamento medio delle vibrazioni;
- il livello cosiddetto L3 «Livello 3» che corrisponde a uno smorzamento elevato delle vibrazioni.

La sezione tipo L2 “Livello 2” si ottiene interponendo tra la piastra di fondazione ed il getto di bloccaggio un materassino elastomerico a medio smorzamento.

Il “Livello 3” è tipologicamente simile al “Livello 2”.

La sezione tipo L3 pertanto si distingue rispetto alla L2 per l'inserimento di un materassino elastomerico più efficiente sotto la soletta di calcestruzzo del binario.

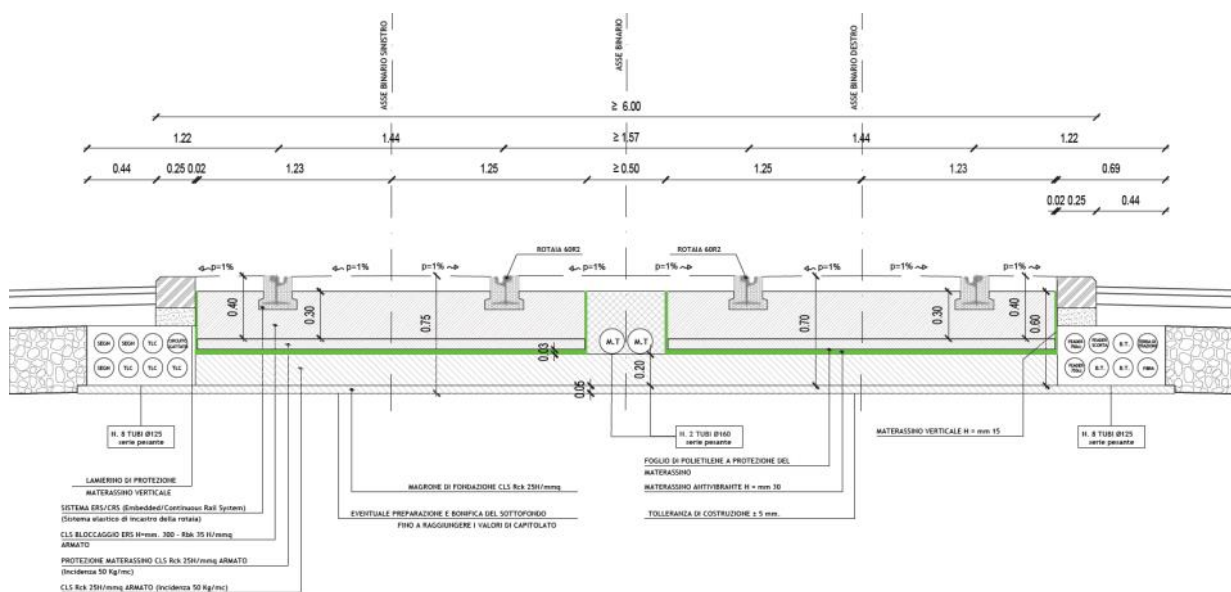


Figura 19.2 – Sezione trasversale tipo L2 con materassino

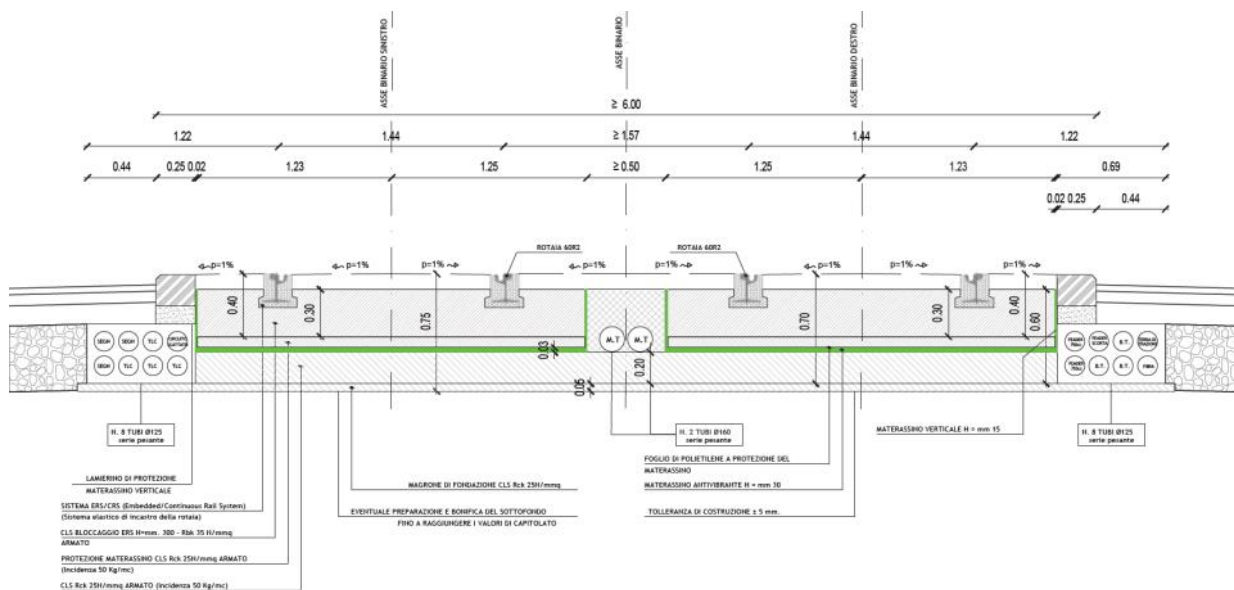


Figura 19.3 – Sezione trasversale tipo L3 con materassino con massimo smorzamento

19.3 SEZIONE TIPO LP “LIVELLO PERMEABILE”

In corrispondenza di aree permeabili, nello specifico lungo via dei Mille e viale Shakespeare, la sezione tipo dell’armamento della tranvia sarà quella definita LP, composta da rotaie, con profilo ERS affogato in un blocco di cls, intervallate da materiale permeabile, poggiate su adeguato sottofondo. Le stesse saranno collegate da cordoli in c.a. con un intervallo di circa 3m. La finitura superficiale tra le rotaie potrà essere realizzata con manto erboso o ballast (in corrispondenza degli incroci potrà essere anche in conglomerato bituminoso).

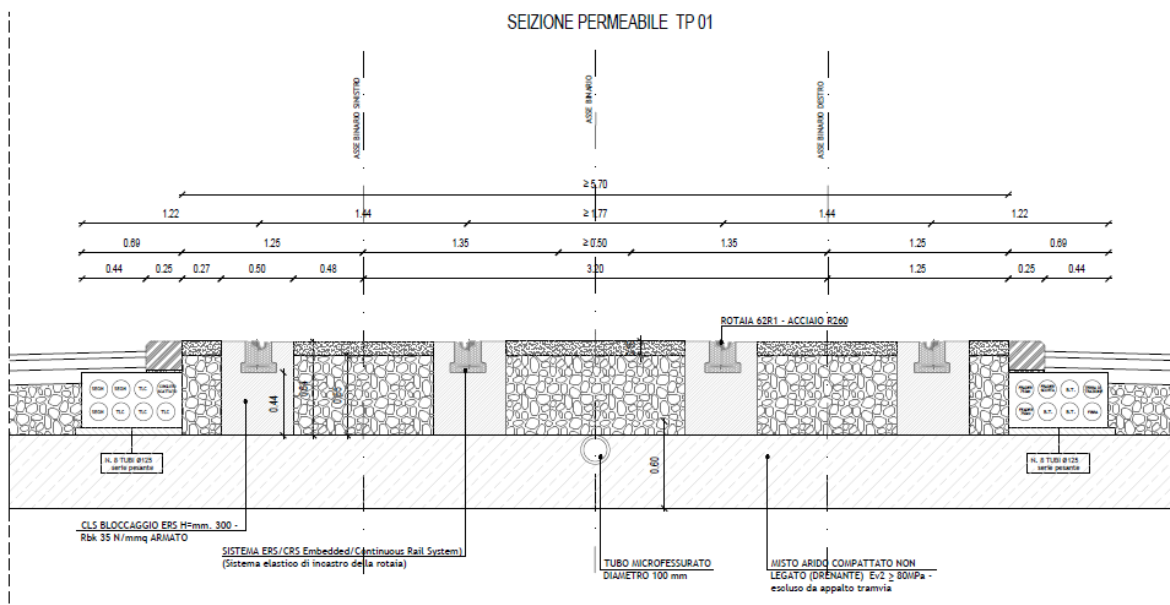


Figura 19.4 – Sezione trasversale tipo LP

20. RICOVERO MEZZI VIA SHAKESPEARE

In corrispondenza del nodo di interscambio collocato a nord di via Shakespeare, in analogia a quanto già progettato per la linea Rossa con il deposito ausiliario Pilastro, è stata prevista un'area da destinare a ricovero mezzi per la sosta notturna delle vetture che terminano il servizio sul lato nord della linea.

L'area dove realizzarlo è stata individuata in comune di Bologna in un'area agricola tra la il limite occidentale del circolo sportivo esistente, l'argine del Canale Navile e, a sud, via Shakespeare.

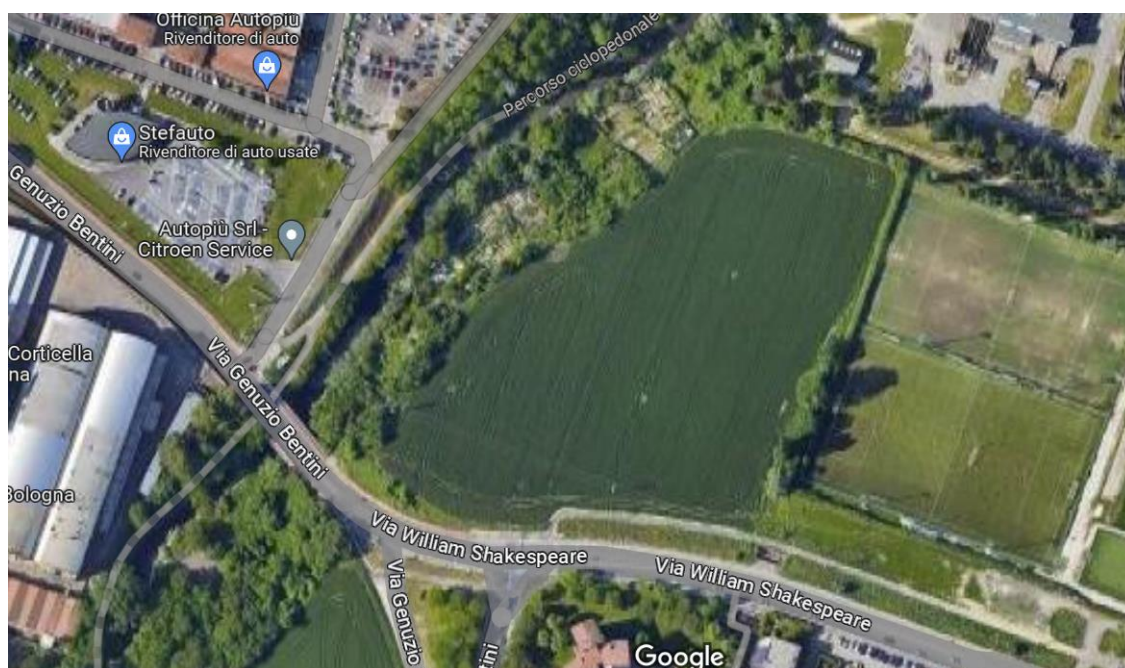


Figura 20.1 – Area di ubicazione ricovero mezzi Corticella

Come detto l'area serve per il ricovero notturno delle vetture che il giorno successivo potranno comodamente riprendere il servizio senza dover percorrere "a vuoto" tutta la linea, con una significativa riduzione sui costi di esercizio.

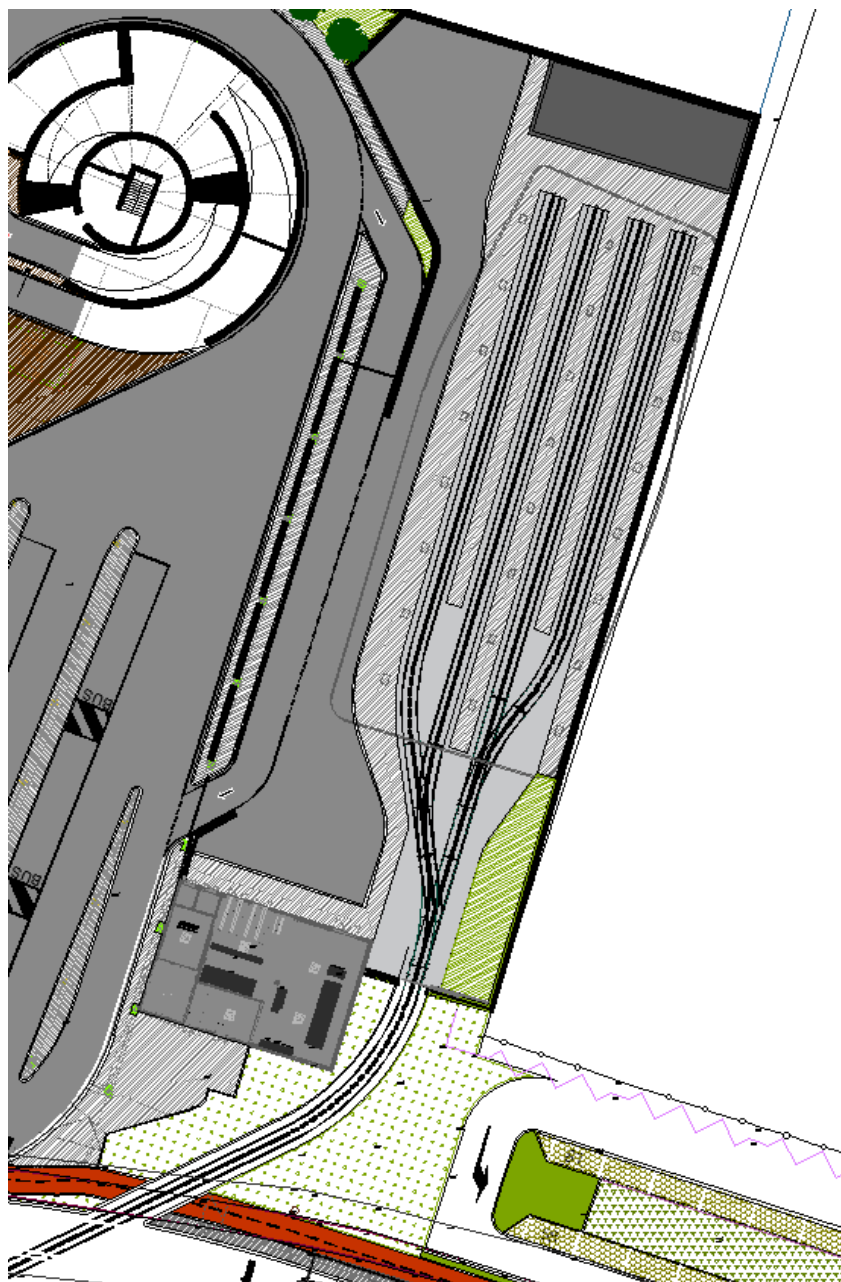


Figura 20.2 – Planimetria di progetto Ricovero mezzi Castel Maggiore

L'accesso al deposito per i veicoli tranviari avverrà attraverso un binario singolo posto a sud dell'area.

20.1 FUNZIONI INTERNE

All'interno dell'area recintata si svolgeranno attività manutentive secondarie, come il lavaggio delle parti esterne dei veicoli e la pulizia degli interni, oltre chiaramente al ricovero protetto del materiale rotabile: i veicoli che dovranno sottoporsi a revisione e manutenzione programmata verranno ricondotti al deposito-officina principale della linea Rossa collocato a Borgo Panigale.

20.2 EDIFICI ED AREE FUNZIONALI

20.2.1 RIMESSA TRAM

La rimessa coperta occupa una superficie di circa 1.100 mq: le attività di pulizia giornaliera manuale dei veicoli verrà effettuata durante le ore notturne a fine servizio.

Sono previste banchinette di accesso ai veicoli che servono i binari esterni: i punti di alimentazione elettrica e di approvvigionamento idrico saranno distanziati lungo le banchinette in modo tale che la lunghezza dei cavi e dei tubi non superi i 15 metri.

L'illuminazione di stazionamento deve consentire uno spostamento sicuro del personale e l'esecuzione delle attività di pulizia anche quando il veicolo è in arresto.

Gli scarichi grigliati saranno collegati con la rete di drenaggio per garantire il drenaggio dell'acqua piovana nell'area di sosta.

Il tipo di pavimentazione superficiale consente ai conducenti ed al personale addetto alle pulizie di accedere facilmente ai veicoli e di spostare agevolmente le diverse attrezzature mobili utilizzate.

20.2.2 EDIFICIO TECNICO DI SERVIZIO

Il fabbricato è di circa 150mq, ed è suddiviso in tre zone:

- il magazzino di stoccaggio dei prodotti e delle attrezzature per la pulizia di circa 32mq;
- un locale dedicato alla cabina elettrica per l'alimentazione del deposito
- un locale destinato a posto di sorveglianza, in cui si controllerà, identificherà e registrerà l'entrata e l'uscita dei veicoli stradali e dei pedoni. Deve essere dotata di:

- monitor video con sistema di commutazione per le diverse telecamere posizionate attorno al deposito;
- centrale telefonica per le comunicazioni interne ed esterne;
- centrale di ricezione dei sistemi di allarme del deposito;
- sistema di telecomando dei cancelli;
- servizi igienici riservati al personale addetto
- Servizio igienico accessibile dall'esterno

Il deposito è dotato di un parcheggio per il personale e per i visitatori localizzato all'interno del perimetro sorvegliato la cui capacità massima prevista è di circa 8 veicoli.