



Ministero delle infrastrutture e dei trasporti

DIPARTIMENTO PER LA MOBILITÀ SOSTENIBILE

DIREZIONE GENERALE PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE E REGIONALE E LA MOBILITÀ PUBBLICA SOSTENIBILE

VOTO n. 162/CTP/PA

ADUNANZA DEL 21.12.2022

Il Comitato Tecnico Permanente per la sicurezza dei sistemi di trasporto a impianti fissi (istituito ai sensi del DM 27 del 30/01/2013), si esprime favorevolmente in linea tecnica, ai fini del rilascio del nulla osta tecnico ex art. 3 DPR 753/80, sul progetto definitivo delle “Nuove Linee Tramviarie della Città di Palermo - Primo Stralcio Funzionale - Tratte A, B e C (CUP D71E16000300001)”, esclusi gli impianti connessi all’adozione dell’alimentazione “catenary free”, paragrafo B.6) della relazione istruttoria dell’Amministrazione prot. RU 9396 del 20.12.2022 per i quali si rinvia alla successiva fase progettuale, subordinatamente alle osservazioni di cui al paragrafo D) della relazione istruttoria prot. RU 9396 del 20.12.2022.

Per il PRESIDENTE
Dott. Angelo MAUTONE





Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti

DIPARTIMENTO PER LA MOBILITÀ SOSTENIBILE

Direzione Generale per il Trasporto Pubblico Locale e Regionale e la Mobilità Pubblica Sostenibile
- Div. 5 -

Prot. R.U.

cl. ...

ROMA ...

RELAZIONE

per il
COMITATO TECNICO PERMANENTE
PER LA SICUREZZA DEI SISTEMI DI TRASPORTO A IMPIANTI FISSI
(art. 8, c.9 bis Legge 221/12 - D.M. n° 27 del 30/01/2013)

OGGETTO: COMUNE DI PALERMO

Nuove Linee Tramviarie della Città di Palermo
Primo Stralcio Funzionale - Tratte A, B e C (CUP D71E16000300001)
Progetto definitivo.
Parere tecnico.

INDICE

A - PREMESSA

B - DESCRIZIONE TECNICA DELL'INTERVENTO

B.1- INQUADRAMENTO GENERALE DELL'OPERA

B.1.1-Stato di fatto

B.1.2- Il Progetto Definitivo delle Nuove Linee Tramviarie

B.1.3 - Caratteristiche Generali dell'Intervento

B.2 – TRACCIATO

B.2.1- Descrizione del Tracciato

B.2.1.1 - Tratta “A” (Via Balsamo / Via Croce Rossa)

B.2.1.2 - Tratta “B” (Stazione F.S Notarbartolo / Giachery)

B.2.1.3 - Tratta “C” (Corso Calatafimi / Via Basile / Stazione F.S. Orleans/ Stazione Centrale)

B.2.2 - Geometria del Tracciato

B.2.2.1 - Andamento Altimetrico

B.2.2.2 - Andamento planimetrico

B.2.3 - Sede Tranviaria delle Nuove Tratte

B.2.3.1- Tipologia di sede e sezioni tipologiche

B.2.3.2 – Armamento e Pavimentazioni

B.2.3.3 - Interferenze

B.3- OPERE CIVILI E SISTEMAZIONI URBANISTICHE

B.3.1- Fermate e Terminal

B.3.2- Opere puntuali- Svincoli (*opere d'arte*)

B.3.3- Sottostazioni Elettriche – opere civili

B.4 – PROGRAMMA DI ESERCIZIO

B.5 – MATERIALE ROTABILE

B.6- IMPIANTI DI ALIMENTAZIONE E TRAZIONE

B.6.1- Sistema di trazione catenary free

B.6.2- Vetture

B.6.3- Sistema di accumulo di energia a bordo (EoBSS)

B.6.4 – Sottostazioni elettriche (SSE)

B.6.5 - Barra di Ricarica

B.6.6 – Messa a terra

B.6.7 – Protezione dai contatti indiretti

B.7 IMPIANTI DI SISTEMA

B.7.1 – Posto Centrale Di Controllo

B.7.2 – Sistema di Localizzazione

B.7.3 – Impianto di Segnalamento

B.7.4 – Sistema di Regolazione e Supervisione Semaforica

B.7.5 – Sistema Radio

B.7.6 – Sistema di Videosorveglianza, info e comunicazioni di Banchina

B.7.7 - Sistema di sincronizzazione oraria

B.8 ULTERIORI IMPIANTI

B.8.1- Impianti Luce e Forza Motrice

B.8.2 - Impianti fotovoltaici

B.8.3 - Impianto antincendio

B.8.4 - Impianto antintrusione

C- ATTIVITA' GRUPPO DI LAVORO

D – CONSIDERAZIONI

E – CONCLUSIONI

A) PREMESSA

La presente relazione riguarda il Primo stralcio funzionale dell'ampliamento della rete tranviaria di Palermo costituito dalle tratte denominate A, B, C., finanziato in parte con i fondi per il Patto per il Sud, FSC 2014/2020. L'attività istruttoria è finalizzata all'acquisizione del parere di codesto Comitato ai fini del rilascio del nulla osta tecnico per la sicurezza ex art. 3 DPR 753/80.

Con nota Prot. n. 75/030 del 05/08/2020, il Comune di Palermo ha richiesto al Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici il parere ex art. 215, comma 3, del D.lgs. 50/2016, sul progetto in oggetto.

Con nota prot. n. 1466575/2020 del 17/12/2020 il Comune di Palermo ha trasmesso a questa Amministrazione il progetto definitivo dell'intervento in oggetto formulando formale richiesta per il rilascio del NOT ex art. 3 DPR 753/80.

Con nota prot.n. 73084/2021 del 01/02/2021, avente per oggetto "Convocazione della Commissione Regionale dei Lavori Pubblici - Sistema tram Palermo - Fase II – Progetto Definitivo delle nuove linee Tranviarie della Città di Palermo - Tratte A, B, e C", il Comune ha chiesto alla Commissione Regionale dei Lavori Pubblici, di convocare la Conferenza di Servizi.

Con nota 39442421/21 del 26/04/2021, integrata con nota 769364 del 25/5/2021, il Comune di Palermo ha trasmesso al CSLLPP, al fine di ottenere il dovuto parere ex art. 215, comma 3, del D.lgs. 50/2016, il Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica delle Tratte A, B e C in argomento.

Con nota prot. n U.0095122. del 18/05/2021, ANSFISA-UOT Roma, territorialmente competente, ha rilasciato parere istruttorio favorevole, sul progetto in esame, subordinatamente a prescrizioni da ottemperare in fase di progettazione esecutiva.

Il CSLLPP nell'adunanza del 28/07/2021 ha rilasciato, con prot. 44/2021, il richiesto parere con prescrizioni e raccomandazioni.

Con nota n. 239507/2022 del 29/03/2022 il Comune di Palermo ha trasmesso a questo Ufficio il 2° Rapporto di Ispezione Intermedio di verifica del Progetto Definitivo relativo alle linee tranviarie in argomento, rilasciato dalla Soc. ICMQ, e la nuova versione progettuale che tiene conto di tutte le modifiche ed integrazioni richieste nel corso della procedura di verifica.

Con nota n. 5600 del 28/07/2022 questo Ufficio ha chiesto al Comune di Palermo integrazioni sul progetto definitivo in argomento ed in particolare sugli aspetti connessi all'alimentazione dei veicoli, in considerazione dell'utilizzo del "sistema catenary free", anche a seguito delle osservazioni emerse nell'ambito delle attività del Gruppo di Lavoro istituito da codesto Comitato per approfondire le tematiche specifiche connesse all'intervento in parola.

Con nota n. 963144/2022 del 26/09/2022 il Comune di Palermo ha trasmesso le integrazioni richieste da questo Ufficio.

Con nota n. 1381585/2022 del 03.11.2022 il Comune di Palermo ha trasmesso su supporto digitale (n. 3 DVD), il progetto definitivo dell'intervento in esame a seguito della conclusione delle attività del soggetto verificatore.

B) DESCRIZIONE TECNICA DELL'INTERVENTO

B.1- INQUADRAMENTO GENERALE DELL'OPERA

Il Progetto Definitivo oggetto della presente relazione riguarda le tre nuove tratte tramviarie denominate A, B e C, I stralcio funzionale della Fase II di realizzazione del Sistema Tram di Palermo.

Da un punto di vista generale il Sistema Tram Palermo è costituito da:

- **Sistema Tram Fase I:** già realizzato ed entrato in esercizio nel 2015 e costituito da 29,3 Km di infrastrutture tramviarie (misurate a singolo binario);
- **Sistema Tram Fase II:** oggetto del concorso internazionale di progettazione espletato dal Comune di Palermo nel 2017 riguardante l'estensione delle rete tranviaria con n. 7 nuove tratte tramviarie per uno sviluppo di circa 66 km (misurate a singolo binario)

Al fine di un chiaro inquadramento dell'opera si rappresenta come il Sistema Tram Fase II sia ad oggi suddiviso in:

- **Sistema Tram Fase II – Tratte A, B, C – I Stralcio Funzionale:** oggetto del presente Progetto Definitivo e riguardante 24,2 km s.b. di infrastrutture tramviarie;
- **Sistema Tram Fase II – Tratte A, B, C – II Stralcio Funzionale:** riguardante Pavimentazioni e sistemazioni stradali complementari;
- **Sistema Tram Fase III – Tratte A, B, C – III Stralcio Funzionale:** riguardante Rigenerazioni urbane, opere di finitura e di arredo complementari;
- **Sistema Tram Fase II – Parcheggi di interscambio:** comprendente n. 7 parcheggi di interscambio (Don Bosco, De Gasperi, Libertà, Ungheria, Boiardo, Giulio Cesare, Francia) funzionali alle tratte A, B, C;
- **Sistema Tram Fase II – Tratta E1:** oggetto di un PFTE riguardante 4 km di infrastruttura tramviaria;
- **Sistema Tram Fase II – Tratte D, E2, F, G e Parcheggi di interscambio:** riguardante 39 km s.b. di infrastrutture tramviarie e n. 5 parcheggi di interscambio (Strasburgo, Mongibello, Galatea, Foro Italico, Sferracavallo) oggetto di un PFTE finanziato con risorse del Fondo Investimenti di cui al DM 44/2021; quest'ultimo intervento è inserito nel PNRR come "intervento a legislazione vigente".

La rete tranviaria esistente entrata in esercizio nel 2015 e costituita da 29,3 Km (misurati a singolo binario), è realizzata in sede protetta e rientra nella definizione di tranvia veloce secondo quanto previsto dalla norma UNI 8379 – 2000.

La rete oggetto della presente progettazione costituisce un sistema misto tranvia-tranvia veloce come previsto dal punto 2.5 della norma UNI 8379.

Nella figura seguente sono riportate le tratte il cui Progetto definitivo è oggetto di questa istruttoria e quelle attualmente in esercizio.



B.1.1-Stato di fatto

Linee esistenti

Le linee tranviarie di Palermo oggi in esercizio sono 4 per una lunghezza complessiva di 23,3 km (esercite su un'infrastruttura che a singolo binario misura 29,3 km):

- ✓ Linea 1- Roccella-stazione centrale
- ✓ Linea 2 – Borgonuovo- Notarbartolo
- ✓ Linea 3 – Cep-Notarbartolo
- ✓ Linea 4 – Notarbartolo –Calatafimi- Notarbartolo

La **linea 1**, si sviluppa per 5,5 km tra il terminal di Via Balsamo, in prossimità della Stazione Centrale, e il terminal Roccella, posto all'interno del Forum Palermo. La linea conta 15 stazioni compresi i due terminal.

La **linea 2**, si sviluppa per 4,8 km tra il terminal posto alla Stazione Notarbartolo e il terminal Borgo Nuovo, posto all'interno dell'omonimo quartiere. La linea conta 13 stazioni compresi i due terminal.

La **linea 3**, si sviluppa per 5 km tra il terminal posto alla Stazione Notarbartolo e il terminal del CEP, posto all'interno dell'omonimo quartiere. La linea conta 12 stazioni compresi i due terminal.

La **linea 4**, si sviluppa per 8 km partendo dal terminal posto alla Stazione Notarbartolo dove vi ritorna dopo aver affiancato la Circonvallazione ed aver effettuato l'inversione di marcia presso il ponte di Corso Calatafimi; l' invezione avviene in sede promiscua libera auto/tram, unico tratto in sede libera del tram sull'intera rete.

Con questa eccezione i mezzi infatti corrono in sede protetta, le fermate complessive sono 18, compresi il terminal, quelle sulla circonvallazione sono collegate tramite tre ponti pedonali sulla stessa.

Il terminal Notarbartolo è in comune tra le linee 2, 3 e 4.

Depositi

Attualmente la rete tranviaria dispone di **2 depositi** attivi, entrambi predisposti per manutenzione completa e pulizia dei mezzi, non collegati tra loro, che sono:

- *Deposito Roccella*, situato nell'omonima zona, serve la linea 1, ha una capacità di ricovero di 18 treni al coperto;
- *Deposito Leonardo Da Vinci*, situato nell'omonima via, serve le linee 2/3/4, ha una capacità di ricovero di 12 treni al coperto.

Materiale rotabile attualmente disponibile

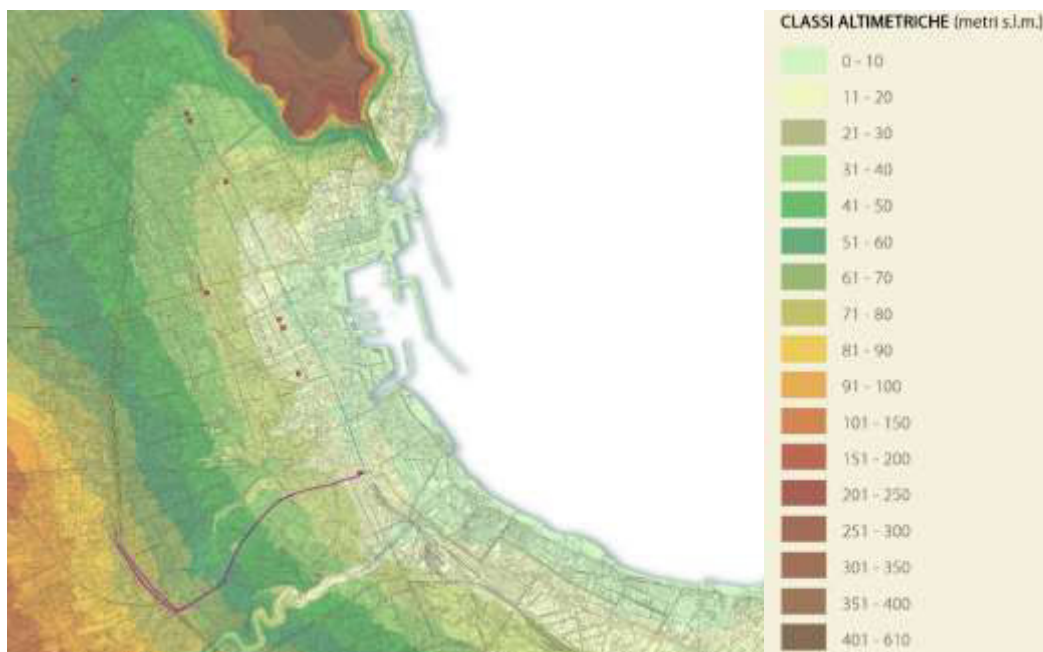
La flotta è composta da 17 vetture Flexity Outlook, a pianale ribassato. I veicoli possono trasportare fino a 56 passeggeri seduti e 132 passeggeri in piedi. I tram sono lunghi 32 metri e larghi 2,40 metri; la velocità massima è di 70 km/h e il raggio minimo di inscrivibilità in curva risulta pari a 20 metri lungo linea e 18 metri nei raccordi e nei depositi.



B.1.2- Il Progetto delle Nuove Linee Tramviarie

Il Progetto Definitivo delle nuove linee tramviarie della Città di Palermo - Tratte A, B e C, oggetto di questa relazione, riguarda:

- la costruzione dell'infrastruttura tranviaria per uno sviluppo di 24,2 km misurata a singolo binario;
- la realizzazione di 48 fermate di cui 3 capolinea/terminal e 10 fermate di ricarica;
- la costruzione di 7 sottostazioni elettriche;
- il ripristino della pavimentazione e di parte dei marciapiedi esistenti lungo le tratte A, B e C;
- le componenti impiantistiche;
- la fornitura di 9 vetture ibride;
- la pedonalizzazione di alcune zone attraversate dal percorso tramviario.



Dalla cartografia di cui alla figura, si rileva che le 3 nuove tratte tramviarie sono ubicate in zone sostanzialmente pianeggianti; il tracciato ha una pendenza media sulle linee di nuova realizzazione del 1% con un pendenza massima del 5,5%, prevista unicamente in corrispondenza dello svincolo Basile per tratti non superiori ai 130 m.



La tratta A (in azzurro) attraversa la zona centrale della città lungo la direttrice Nord - Sud e collega il capolinea Balsamo (nei pressi della Stazione centrale) con il capolinea Villa Sofia.

La tratta B (in arancione) attraversando la città in direzione Est – Ovest, collega la Stazione Notarbartolo con il capolinea Giachery e si allaccia alle linee esistenti 2, 3 e 4.

La tratta C (in viola) si configura come un prolungamento dell'attuale linea 4 su viale Regione Siciliana a partire dallo svincolo Calatafimi, attraversa lo svincolo Basile e prosegue lungo via Ernesto Basile e lungo Corso Tukory fino al capolinea di piazza Giulio Cesare.

B.1.3 - Caratteristiche Generali dell'Intervento

Di seguito le caratteristiche principali dell'intervento proposto:

- Infrastruttura di linea:
 - Lunghezza della nuova infrastruttura tranviaria prevista in progetto: L tot. 24,2 km s.b.
 - Nuovi Capolinea/Terminal: n.3 ("Balsamo", "Villa Sofia", "Giachery")
 - Distanza tra i capilinea esistenti o di progetto delle linee di servizio:
 - Linea 1 (interamente sotto catenaria): 5,50 km
 - Linea 2A (mista): 6,30 km
 - Linea 2B (mista): 6,35 km
 - Linea 4 (mista): 12,20 km (circolare)
 - Linea 6 (interamente catenary free): 5,80 km
 - Tratte Catenary free: 24,2 km
 - Massima distanza percorsa su tratte catenary free: 10.000 m
 - Numero Sottostazioni Elettriche: 7
 - Punti di consegna dalla rete Enel in Media Tensione a 20.000 KV: 7 (uno per ogni SSE)
 - Numero nuove Fermate: 48 di cui 3 Terminal /Capolinea
 - Distanza media tra le fermate: tra 350 m e 500 m
 - Tipologia Fermate: 6 layout architettonici
 - 5 con pensilina;
 - 1 con palo di fermata

- Tipologia di sede:

Per quanto concerne la classificazione della tipologia di sedi adottata, sulla base delle definizioni conformi alla UNI 8379, lo sviluppo dell'intero progetto è di 24,2 km misurati a singolo binario così distinti:

- *Sviluppo in Sede Promiscua riservata: 73%*
- *Sviluppo in sede Promiscua protetta: 22%*
- *Sviluppo in sede Propria: 5%*

- Opere infrastrutturali

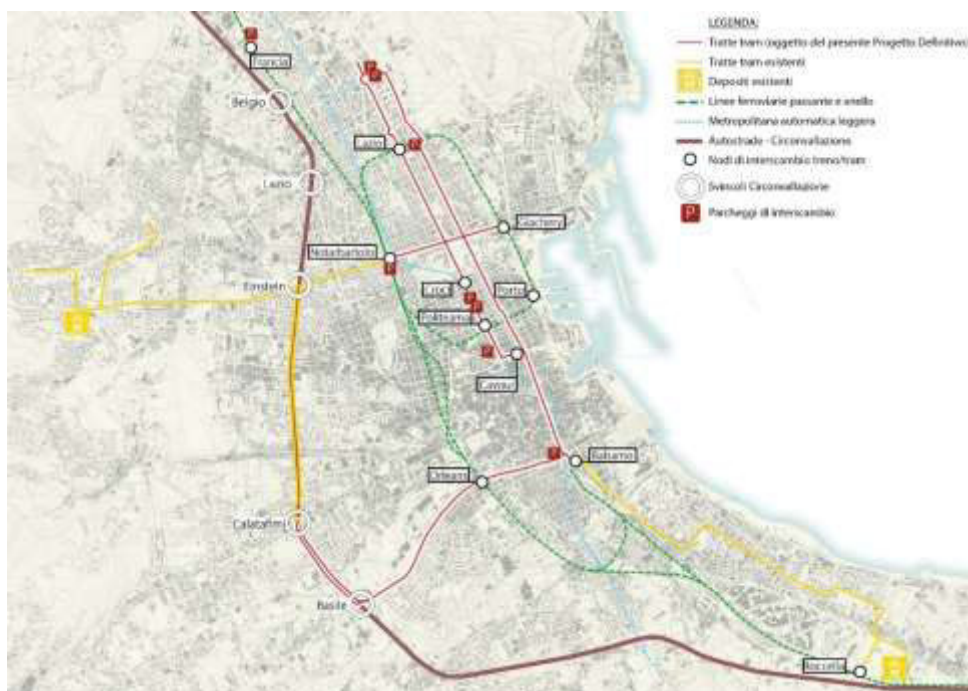
Il progetto prevede la sistemazione di tre importanti opere infrastrutturali:

- Svincolo Einstein

- Svincolo Calatafimi
- sottopasso tramviario in corrispondenza dello Svincolo Basile.

▪ Nodi di interscambio:

La realizzazione delle nuove tratte determina alcuni importanti nodi di interscambio: nella seguente immagine sono indicati i punti di interscambio con il Passante Ferroviario, l'Anello Ferroviario e la Metropolitana Automatica Leggera, qualora realizzata.



▪ Materiale rotabile

- Numero Convogli: 9
- Lunghezza compresa tra 32 e 33,5 m.
- Larghezza massima 2400 mm.
- Altezza massima (con il pantografo in posizione abbassata) 3500 mm.
- Capacità totale a carico massimo 254 (6 passeggeri al m²)
- Tipo Alimentazione: da catenaria con pantografo e autonoma con sistema di accumulo dell'energia a bordo (EoBSS).
- Tipo di incarozzamento: a raso, senza l'ausilio di pedane mobili

▪ Linee esercite

A seguito della realizzazione delle nuove tratte il piano di esercizio prevede le seguenti cinque linee tramviarie:

- **linea 1 – Stazione Centrale/Roccella.** Coincide con la linea 1 esistente ed in esercizio.
- **linea 2A – Stazione Giachery/ Borgo Nuovo.** La linea è composta dalla tratta esistente, su cui è in esercizio la attuale linea 2, e dalla tratta B di nuova realizzazione.
- **linea 2B – Stazione Giachery/CEP.** La linea è composta dalla tratta esistente, su cui è in esercizio la attuale linea 3, e dalla tratta B di nuova realizzazione.

- **linea 4 – Stazione Centrale/Stazione Centrale.** La linea è composta dalla tratta esistente tra la Stazione di Notarbartolo e lo svincolo Calatafimi, su cui è in esercizio la linea omonima, dalla tratta C di nuova realizzazione tra lo svincolo di Calatafimi e Stazione Centrale, dal tratto della tratta A compreso tra la Stazione Centrale e via Duca di Verdura e da parte della tratta B tra via Duca di Verdura e la Stazione Notarbartolo.
- **linea 6 – Via Balsamo /Via Croce Rossa** La linea coincide interamente con la tratta A.

Grandezza	Unità	Linea 1	Linea 2A	Linea 2B	Linea 4	Linea 6
Distanza tra i capilinea	m	5.499	6.255	6.383	12.193	5.837
Tempo di viaggio	hms	00:18:00	00:20:40	00:20:40	00:45:00	00:21:00
Velocità commerciale	km/h	18,33	18,16	18,53	16,26	16,68
Soste Capolinea	hms	00:06:00	00:05:20	00:05:20	00:05:00	00:04:00
Tempo di giro	hms	00:48:00	00:52:00	00:52:00	00:50:00	00:50:00
Intertempo	hms	00:15:00	00:13:00	00:13:00	00:10:00	00:05:00
Fermate	n.	15	17	16	34	17
Vetture	n.	6	4	4	10	10

▪ Prestazioni

La velocità in corrispondenza degli scambi e dei raccordi è di 15 km/h, la velocità di approccio alle fermate (ad una distanza di 20 m) è di 15 km/h, la velocità massima nelle zone “pedonali” è di 25 km/h. La velocità massima lungo i tracciati 50 km/h.

B.2 – TRACCIATO

B.2.1- Descrizione del tracciato

B.2.1.1 - Tratta “A” (Via Balsamo / Via Croce Rossa)

A partire dal capolinea Balsamo il tracciato attraversa piazza Giulio Cesare fino ad innestarsi su via Roma per proseguire, a doppio binario, sino a via Cavour dove i binari si sdoppiano. Il binario in direzione Nord prosegue a senso unico attraverso piazza L. Sturzo, via B.G. Puglisi, via Carini, via Generale C.A. Dalla Chiesa, via M. di Villabianca, via M. di Roccaforte, Piazza Don Bosco, Piazza Leoni, Viale del Fante e Via Ninni Cassarà fino a Piazza Papa Giovanni Paolo II (già piazza Alcide de Gasperi), attraversa la piazza e si attesta sul nuovo terminal previsto in viale Croce Rossa a poca distanza dal polo ospedaliero Villa Sofia. Il binario in direzione Sud, partendo dal nuovo terminal “Villa Sofia”, attraversa piazza Papa Giovanni Paolo II sul lato ovest e percorre via Croce Rossa, l'intero viale della Libertà, Via Ruggero Settimo e via Cavour riportandosi su via Roma in direzione Sud, verso la Stazione Centrale.

La tratta comprende **28** fermate, di cui **4** fermate speciali di ricarica lungo linea e **2** capilinea, entrambi di ricarica. La distanza massima tra due punti di ricarica è di circa 2.700 m.



Lungo la tratta A è prevista la realizzazione di **4 parcheggi di interscambio**, non oggetto del presente progetto definitivo.

La tratta A sarà realizzata interamente *catenary free* in **sede promiscua riservata**, con scartamento identico a quello delle linee esistenti e attrezzata con veicoli ibridi.

Lungo la tratta è prevista la chiusura al traffico veicolare dei seguenti tratti di strada; la sede risulta pedonale nei seguenti tratti:

▪ via Roma	1.293 m;
▪ via Roccaforte	321 m;
▪ via Libertà	606 m;
▪ via Ruggero Settimo	<u>378 m;</u>
TOTALE	2.598 m

Connessione con i depositi e le altre tratte

La tratta A sarà funzionalmente connessa, per le attività gestionali, con i **depositi esistenti di Leonardo da Vinci, tramite la tratta “B”, e con il deposito officina principale di Roccella**, tramite il terminal di via Balsamo. Per le attività di esercizio, il nodo Libertà Notarbartolo/Duca di Verdura, attraverso la tratta B, e il nuovo assetto del terminal Balsamo, consentiranno il collegamento della tratta A con le linee già in esercizio permettendo di collegare il centro città con i quartieri periferici, il collegamento con la tratta C consentirà connessione della città universitaria di Via Basile.

B.2.1.2- Tratta “B” (Stazione F.S Notarbartolo / Giachery)

Il tracciato definitivo percorrerà via Emanuele Notarbartolo e via Duca della Verdura fino al nuovo terminal Giachery.

Il tracciato si innesta sulla linea già in esercizio dalla Fermata “Stazione di Notarbartolo” in Via E. Notarbartolo, prosegue per Via Duca della Verdura, dove vi è un bivio che interseca la nuova Tratta A; tutto il tratto sarà a doppio binario, tranne un tratto di circa 400 m a singolo binario banalizzato (gestito semaforicamente) per arrivare a Piazza C. Giachery dove vi è il capolinea “Giachery” e punto di interscambio con il sistema “Anello Ferroviario”.

La tratta comprende 6 fermate, di cui 4 fermate speciali di ricarica lungo linea e 1 capolinea, entrambi di ricarica. La distanza massima tra due punti di ricarica è di circa 2.500 m.



Lungo la tratta B è prevista la realizzazione del parcheggio Boiardo, che non è parte del presente progetto.

La tratta “B” sarà realizzata interamente “*catenary free*” in sede promiscua riservata, con scartamento identico a quello delle linee esistenti. La tratta esistente oggetto di intervento, *tra piazza Einstein e piazza Boiardo*, sarà resa interamente catenary free e in sede promiscua riservata.

Questa tratta è strutturalmente e funzionalmente connessa alle tratte in esercizio (linee 2, 3 e 4) a partire dalla Stazione Notarbartolo; con la realizzazione di tale tratta si effettuano anche ulteriori interventi che consentono di superare alcune delle criticità presenti sulle tratte in esercizio ed in particolare:

- ✓ svincolo Piazza Einstein: realizzazione di un terzo livello dello svincolo dedicato al traffico veicolare di penetrazione urbana che consentirà, senza interferenze con le linee tramviarie, l’accesso alla città dei flussi di traffico provenienti da Nord e da Ovest;
- ✓ via Leonardo da Vinci/Notarbartolo e di Verdura: tratto tra le Piazze Einstein e Giachery senso unico in direzione est. Completa lo scenario l’istituzione di un senso unico in direzione Sud su via Uditore tra via Leonardo da Vinci e Viale Regione Siciliana.



- ✓ soppressione del terminal Notarbartolo e realizzazione della nuova piazza della Stazione;
- ✓ spostamento del tratto a doppio binario esistente tra le piazze Boiardo e Ziino;
- ✓ prosecuzione con quanto realizzato a monte di piazza Ottavio Ziino;
- ✓ eliminazione della linea di contatto aerea, delle barriere e dei cordoli sino allo svincolo Einstein.

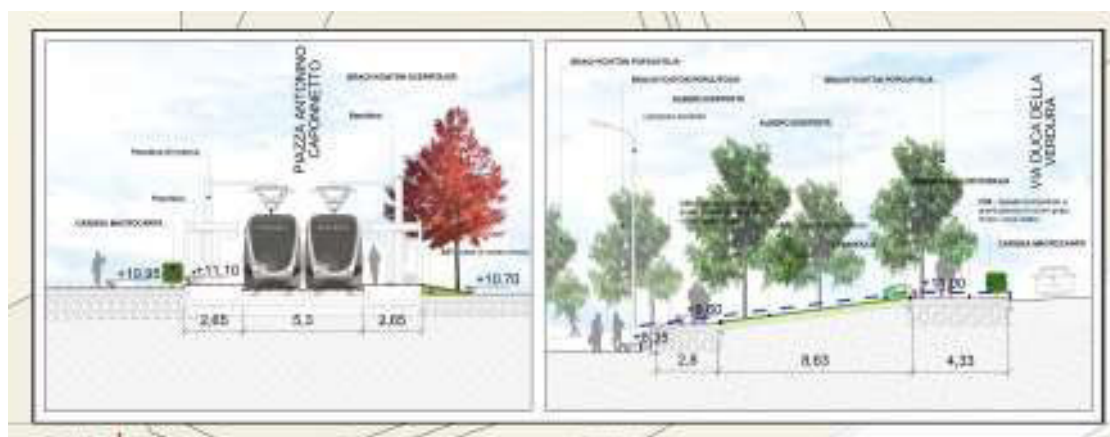
Capilinea/Terminal



Stato attuale



Stato di progetto



B.2.1.3- Tratta “C” (Corso Calatafimi / Via Basile / Stazione F.S. Orleans/ Stazione Centrale)

Il tracciato si configura come un prolungamento dell’attuale linea 4 su viale Regione Siciliana a partire dallo svincolo Calatafimi, dal quale prosegue a singolo binario in sede promiscua protetta sulle due complanari di viale Regione Siciliana. **La tratta attraversa lo svincolo Basile in sotterraneo** e prosegue lungo via Ernesto Basile in sede promiscua protetta a doppio binario in asse al filare alberato esistente, che verrà in tal modo preservato, fino a piazza Montalto.

La tratta prosegue quindi a singolo binario banalizzato, per circa 800 m in sede **promiscua riservata** lungo Corso Tukory fino alla connessione, attraverso piazza Giulio Cesare, con il terminal Balsamo. In corrispondenza di Piazza Montalto è previsto lo snodo con la futura linea D, in direzione del quartiere di Bonagia. Al fine di garantire una doppia corsia di marcia sulle complanari di Viale Regione Siciliana è stato variato l’asse della carreggiata centrale con una modesta riduzione della area di spartitraffico. **Anche la tratta “C” sarà realizzata interamente catenary free con scartamento identico a quello delle linee esistenti e attrezzata con veicoli ibridi.** In corrispondenza di Piazza Giulio Cesare è prevista la realizzazione di un parcheggio multipiano, non oggetto del presente progetto definitivo.



La tratta comprende **14** fermate, di cui **2** fermate speciali di ricarica lungo linea. Dal momento che la tratta sarà esercita nell’ambito della linea 4 che è una circolare, la fermata di ricarica Giulio Cesare svolgerà la funzione di capolinea.

La tratta C consente:

- ✓ la connessione con la linea 1 esistente consentendo il collegamento diretto con il deposito-officina principale di Roccella;
- ✓ di collegare direttamente la tratta C alla tratta A migliorando la qualità e la funzionalità del programma di esercizio;
- ✓ di collegare direttamente la Stazione Centrale il polo universitario di via Ernesto Basile;

Questa tratta è strutturalmente e funzionalmente connessa alla linea 4 in esercizio, a partire da Corso Calatafimi e risolve alcune delle criticità per il traffico veicolare attraverso la realizzazione delle seguenti opere:

Svincolo Calatafimi

È stato sviluppato uno studio del tracciato stradale e tramviario eliminando totalmente le interferenze tra le due viabilità.

La soluzione prevede la realizzazione di un sovrappasso tramviario e la completa revisione dello svincolo stradale, rendendo totalmente indipendenti il traffico su gomma sugli assi principali di via Regione Siciliana e Corso Calatafimi, sulle rampe e sulle complanari di via Regione Siciliana.

Sottopasso tramviario di svincolo Basile

Per quanto attiene lo svincolo di viale Regione Siciliana con Via Basile la soluzione progettuale, prevede l'attraversamento tramviario dello svincolo senza alcuna interferenza con il traffico veicolare, attraverso la realizzazione di una **galleria tramviaria di lunghezza pari a 370 m.**

B.2.2-Geometria del Tracciato

Dalla documentazione trasmessa si evince che il progetto è stato verificato in relazione alla normativa di riferimento:

- UNI 7156 - Tranvie e tranvie veloci. Distanze minime degli ostacoli fissi dal materiale rotabile e interbinario. Altezza della linea aerea di contatto;
- UNI 7836 - Ottobre 2018 Metropolitane e tranvie – Andamento plano-altimetrico dei binari;
- UNI 8379 -Aprile 2000- Sistemi di trasporto a guida vincolata (ferrovia, metropolitana leggera, tranvia veloce e tranvia);
- UNI 11174 - Novembre 2014 Materiale rotabile per tramvie e tramvie veloci;

In riferimento alla norma UNI 7836 - Ottobre 2018 Metropolitane e tranvie – Andamento plano-altimetrico dei binari, nella documentazione trasmessa vengono illustrate le modalità di scelta dei diversi parametri e le relative verifiche rispetto ai limiti indicati dalla norma definendo le velocità massime ammissibili in ciascun elemento della linea. Ovunque possibile sono stati rispettati i valori raccomandati adottando ampi margini per tutti i parametri di uno stesso punto del tracciato. I vincoli progettuali che caratterizzano il tracciato sono costituiti dal fatto che le tratte in progetto ricadono interamente su sede stradale esistente, in un contesto urbano fortemente antropizzato e dalla scelta di impegnare le sedi stradali per evitare consumo di suolo. La sede tranviaria sarà realizzata, per lo più, senza soluzione di continuità con la sede stradale e pertanto la livelletta deve seguire quella delle strade esistenti. Per lo stesso motivo non è stata prevista sopraelevazione in curva. Gli elementi del tracciato, inoltre, sono stati dimensionati tenendo conto della necessità di ridurre al minimo l'occupazione della sede stradale in modo da garantire le adeguate dimensioni delle corsie veicolari, in particolare in corrispondenza di alcuni nodi centrali dove le velocità sono comunque ridotte. Le fermate sono ubicate in modo che i binari prospicienti le banchine siano rettilinei rispettando i limiti di distanza tra la soglia delle porte dei rotabili e il bordo delle banchine stabiliti nelle norme UNI 7360 e UNI 7156. Per quanto riguarda l'allargamento dello scartamento in curva, come espressamente previsto dalla Nota 2 al punto 6.1.1.2 della UNI 7836:2018, nei progetti con rotaie a gola l'allargamento non viene impartito.

B.2.2.1 - Andamento Altimetrico

Livellette e pendenza

Con riferimento al prospetto 14 della UNI 7836:2018 nessuna tratta ha pendenze superiori al limite normale mentre, in alcune fermate, le pendenze pur eccedendo il limite normale, sono ricomprese nel limite eccezionale; infatti la pendenza massima delle fermate risulta di 2,3%. Con riferimento al prospetto 15 della UNI 7836:2018, le minime lunghezze di livelletta sono superiori ai valori normali.

Curve verticali e raggio verticale Rv

Con riferimento al prospetto 16 della UNI 7836:2018 i raggi di curvatura altimetrica rispettano i limiti normali ad esclusione delle curve altimetriche di ingresso nel tunnel di Via Basile che rispettano i limiti eccezionali. Le curve sono state inserite anche dove la differenza tra le due livellette adiacenti è inferiore a 2mm/m.

Lunghezza delle curve verticali

Con riferimento al prospetto 18 della UNI 7836:2018 i limiti normali delle curve sono, nella generalità, rispettati. In alcune curve dove la differenza tra le due livellette adiacenti è inferiore al 2mm/m, cioè ove non è necessario inserire la curva di raccordo, lo sviluppo può essere inferiore al limite normale.

B. 2.2.2 - Andamento planimetrico

Il progetto definitivo è stato redatto con curve circolari senza raccordi di transizione, il cui inserimento è demandato alla progettazione esecutiva. In questa fase il criterio progettuale è stato quello di mantenere i raggi delle curve planimetriche al di sopra del valore minimo raccomandato di 50 m limitando, per quanto possibile l'adozione di valori limite. Il raggio minimo presente nei tracciati delle tratte A, B e C 9è indicato nella tabella di seguito riportata. Nei casi in cui il raggio sia inferiore al limite normale di 25 m si è posta particolare attenzione affinché non venissero adottati valori eccezionali per nessun altro parametro nello stesso punto del tracciato. Nei raccordi tra le tratte e nel nodo Giulio Cesare, essendo assimilabile a raccordi per le basse velocità di percorrenza previste, il limite normale può essere considerato di 20 m.

Con riferimento al prospetto 4 della UNI 7836:2018:

	Valore minimo di progetto	Limite eccezionale	Limite normale	Verifica
Tratte / Raccordi	R raggio circolare in metri			
Tratta A	20	18	25	POSITIVA
Tratta B	27	18	25	POSITIVA
Tratta C	25	18	25	POSITIVA
Raccordi A/C	20	15	20	POSITIVA
Raccordi A/B	20	15	20	POSITIVA

Nel dettaglio:

- nella **tratta A**, su un totale di **88 curve**, 76 hanno valori del raggio pari o superiori al valore raccomandato, 7 curve rispettano il limite normale mentre **5 curve**, in aree eccezionali in prossimità delle fermate di Piazza Ottavio Ziino e di piazza Don Bosco, a piazza Vittorio Veneto e allo ingresso in Via Roma, hanno raggi inferiori ai limiti normali.
Si evidenzia infine in questi casi, ove è stato impossibile, per vincoli fisici dell'assetto urbanistico cittadino, rispettare i valori normali di lunghezza del raccordo, comunque, i parametri di accelerazione non compensata e di contraccolpo sono contenuti nel campo normale.
- Nella **tratta B** su un totale di **49 curve**, 44 hanno valori del raggio pari o superiori al valore raccomandato, mentre 5 curve rispettano il limite normale. Si evidenzia infine in questi casi ove è stato impossibile, per vincoli fisici dell'assetto urbanistico cittadino, rispettare i valori normali di lunghezza del raccordo, comunque, i parametri di accelerazione non compensata e di contraccolpo sono contenuti nel campo normale.
- Nella **tratta C** su un totale di **71 curve**, 66 hanno valori del raggio pari o superiori al valore raccomandato, mentre 5 curve rispettano il limite normale. Si evidenzia infine in questi casi ove è stato impossibile, per vincoli fisici dell'assetto urbanistico cittadino, rispettare i valori normali di lunghezza del raccordo, comunque, i parametri di accelerazione non compensata e di contraccolpo sono contenuti nel campo normale.
- Il **nodo Giulio Cesare** rientra nella classificazione di “raccordo”, pertanto il limite normale è pari a 18 m, rispettato in ogni curva. Nel nodo su un totale di **13 curve**, 2 hanno valori del raggio pari al valore raccomandato, 11 hanno valori pari o superiori al limite normale, nessuna ha valori di raggio in campo eccezionale.

Come precedentemente evidenziato il progetto definitivo è stato sviluppato considerando raccordi circolari e demandando alla progettazione esecutiva gli aspetti di dettaglio relativi allo inserimento degli elementi di raccordo nel presupposto che detta scelta progettuale non potesse determinare significative differenze tecniche o di costo. In seguito, comunque, a richieste del verificatore, si è comunque provveduto a sviluppare gli elementi di tracciato inserendo gli elementi di raccordo verificando per ogni elemento il rispetto dei dati previsti dalla norma della UNI 7836 ottobre 2018.

B.2.3- Sede Tranviaria

B.2.3.1- Tipologia di sede e sezioni tipologiche

Le Tratte A e B sono in sede **promiscua riservata**, con eccezione degli incroci veicolari, la Tratta C è in parte in sede **promiscua riservata**, in parte in sede **promiscua protetta** per i tratti su via regione Siciliana e su Via Basile ed in parte in **sede propria**. lo sviluppo dell'intero progetto è di 24,2 km misurati a singolo binario così distinti:

- 17,63 km in sede promiscua riservata
- 5,34 km in sede promiscua protetta
- 1,23 km in sede propria isolata (Galleria Basile 0,72 km e Viadotto Calatafimi 0,51 km)

Sede promiscua riservata

Per quanto riguarda la sede promiscua riservata, che secondo la definizione della norma UNI 8379 è una sede *“concepita per il transito dei veicoli a guida vincolata che può essere utilizzata anche da veicoli a guida libera espressamente autorizzati. La piattaforma è delimitata lateralmente da segnaletica e/o da elementi di leggera separazione fisica atti a dissuadere l'intrusione di altri veicoli e dei pedoni nella sede. Tali limiti possono essere eventualmente valicati dai veicoli e dai pedoni. In corrispondenza degli attraversamenti, gli accessi longitudinali alla sede sono protetti da adeguata segnaletica dissuasiva.”*, il progetto prevede:

- **per le zone “pedonali”**, ovvero quei tratti in cui la sede tranviaria ricade all'interno di aree intercluse al traffico veicolare, la realizzazione di un “cordolo” alla stessa quota della pavimentazione per la delimitazione della sede tranviaria. Integrato nei suddetti cordoli è previsto un sistema di segnalamento luminoso con diversi punti luce a LED. Questo sistema non sostituisce gli attraversamenti pedonali, che sono e resteranno regolarizzati dagli appositi semafori stradali / pedonali nel rispetto del codice della strada, ma costituisce una protezione aggiuntiva per gestire la convivenza tra il traffico tranviario e pedonale.

Il sistema fornisce un avviso di sicurezza luminoso preannunciando l'arrivo di un tram lungo il tracciato. Il sistema prevede l'accensione di una luce di colore Arancione / Rosso all'approssimarsi del tram al tratto interessato, in questo modo si fornisce un avviso e segnale locale a persone o veicoli prossimi alla sede tranviaria. Il sistema di avviso e segnalazione sfrutterà le boe o TAG presenti lungo il tracciato che sono al servizio anche dei sistemi di segnalamento del tram. Il sistema sarà alimentato dal quadro elettrico della più vicina fermata e la centralina di on/off sarà connessa al sistema di segnalamento del tram da cui riceverà il segnale che attiverà i punti luci a LED (riferimento figura 1); le tratte interessate dalle zone pedonali sono la tratta A, come richiamato in precedenza;

Per i tratti in affiancamento ai marciapiedi, il medesimo sistema di segnalamento luminoso integrato nel cordolo del marciapiede (riferimento figura 2 lato destro);

- **Per i tratti in affiancamento alle strade veicolari**, la segnaletica orizzontale realizzata mediante striscia bianca continua (riferimento figura XY lato destro).

Nell'ambito del presente progetto non ci sono tratti in cui è previsto che la pista ciclabile sia affiancata alla sede tranviaria.

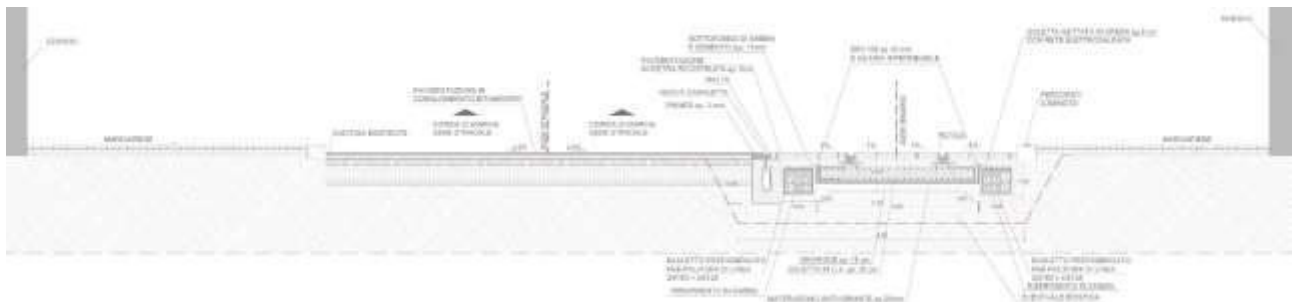
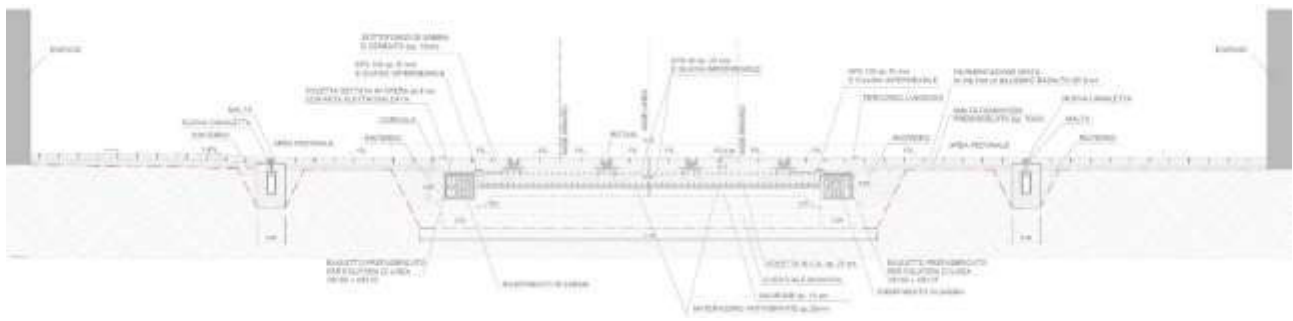


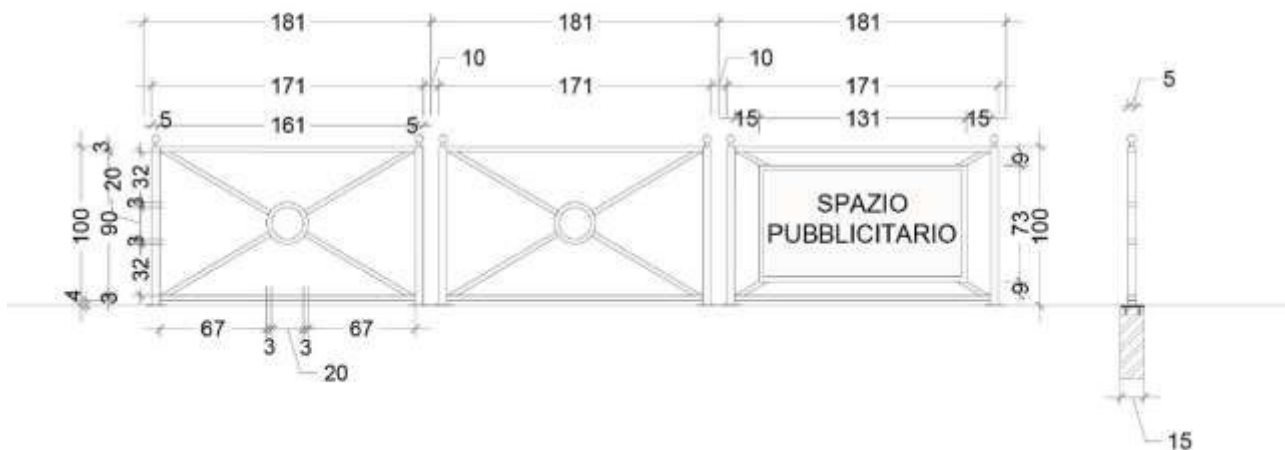
Figura 2 – Sezione tipo per tratti in affiancamento a marciapiedi (destra) e strade veicolari (sinistra)

Sede promiscua protetta

Secondo la definizione della norma UNI 8379 è una sede “*concepita per il transito esclusivo dei veicoli a guida vincolata che eccezionalmente può essere utilizzata anche da veicoli a guida libera espressamente autorizzati. La piattaforma è inoltre delimitata lateralmente da elementi di separazione fisica atti a ridurre i rischi di invasione della sede da parte di altri veicoli e di accesso indebito dei pedoni. Tali limiti devono risultare ragionevolmente invalicabili per gli altri veicoli e difficilmente valicabili per i pedoni. In corrispondenza degli attraversamenti, gli accessi longitudinali alla sede devono essere protetti da adeguata segnaletica monitoria.*”

Il progetto prevede nell'ambito della tratta C la realizzazione di alcuni tratti su viale Regione Siciliana e su via Ernesto Basile in sede protetta **affiancata a strade veicolari**.

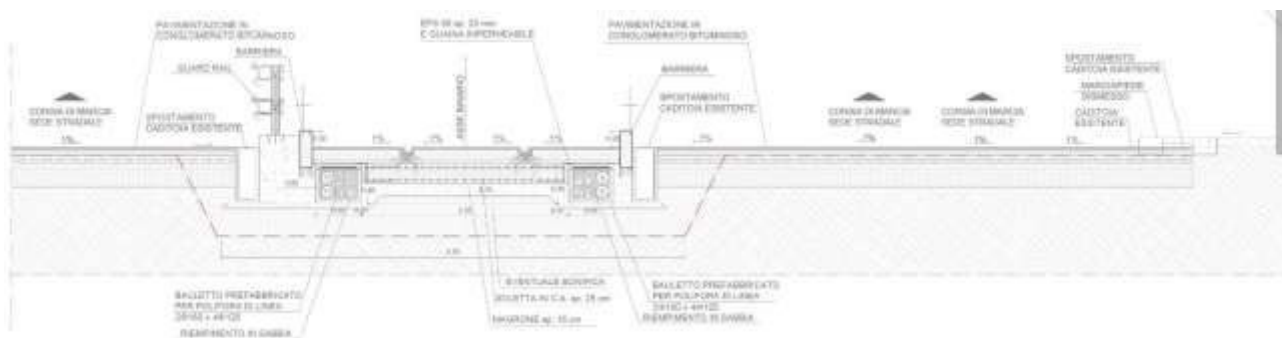
Le barriere sono realizzate tramite una balaustra con le stesse caratteristiche di quella realizzata per le tratte esistenti ed in esercizio.



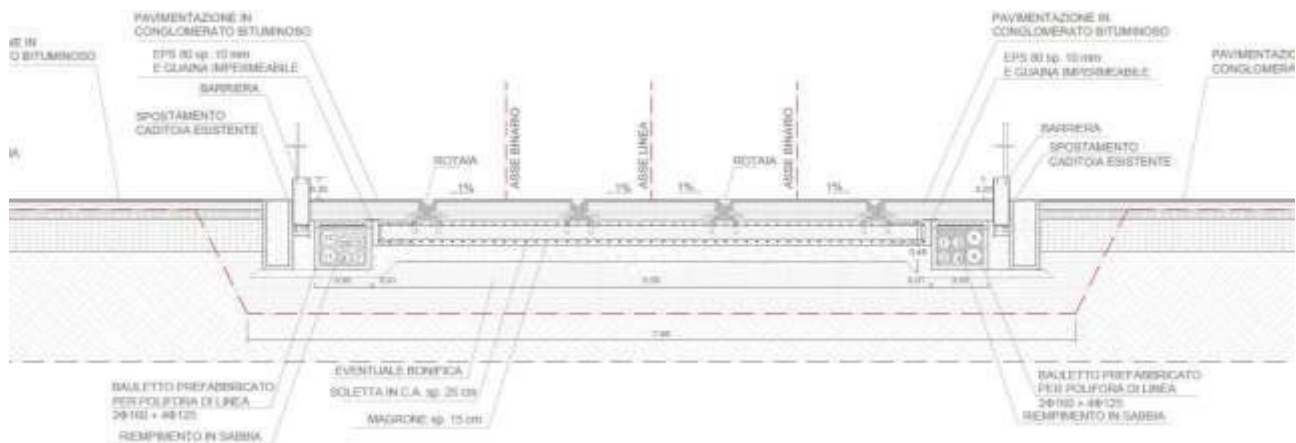
Particolare della barriera adottata nei tratti in sede protetta



Sezione su viale Regione Siciliana

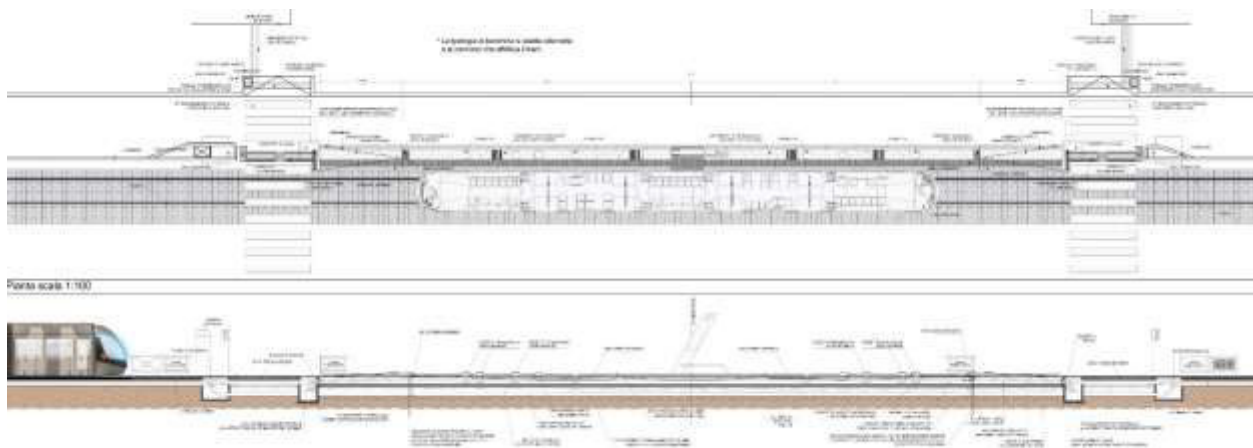


Sezione tipologica dei tratti a singolo binario su viale Regione Siciliana



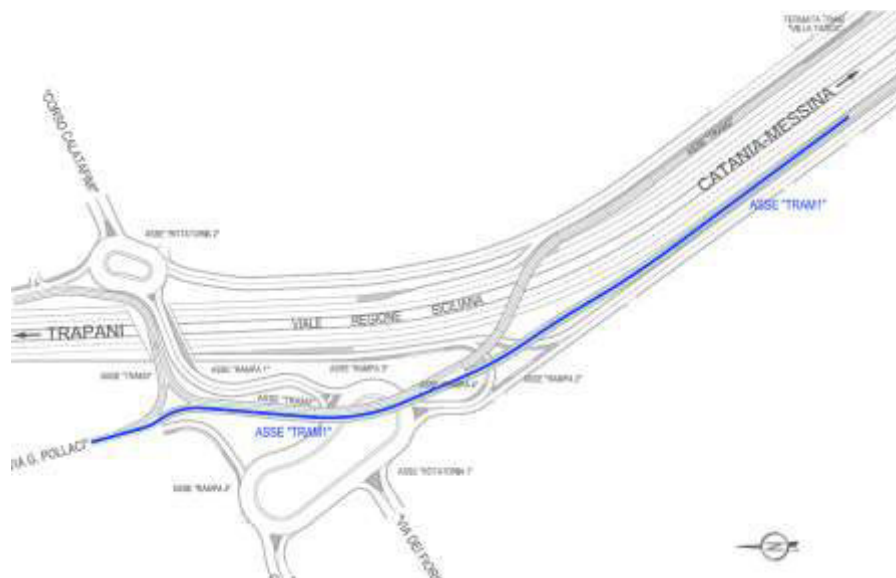
Sezione tipologica dei tratti a doppio binario su viale Ernesto Basile

In corrispondenza delle fermate e degli attraversamenti pedonali la barriera si interrompe per consentire il passaggio dei pedoni.

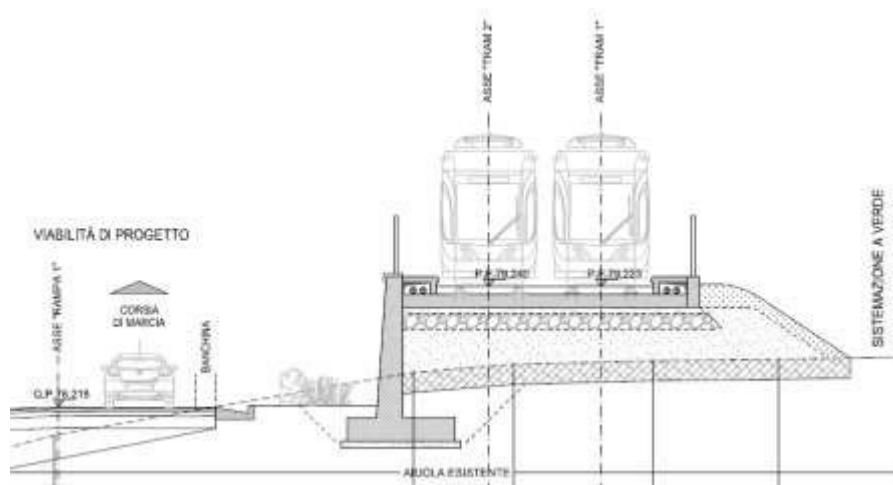


Sede propria isolata

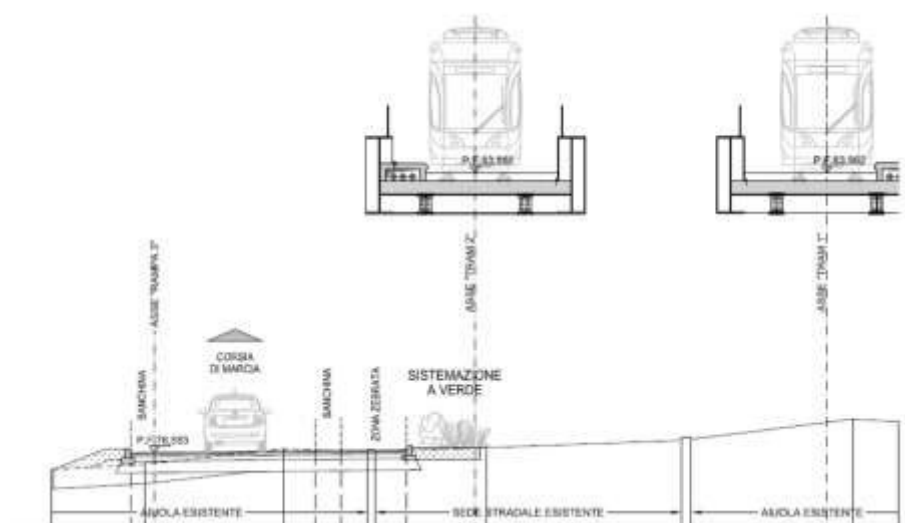
Nell'ambito della tratta C sono previsti alcuni tratti che secondo la norma UNI 8379 rientrano nella definizione di sede propria isolata in quanto realizzati rispettivamente in rilevato non accessibile ed in viadotto isolato per quanto riguarda lo Svincolo Calatafimi ed in trincea ed in galleria per quanto riguarda lo Svincolo Basile.



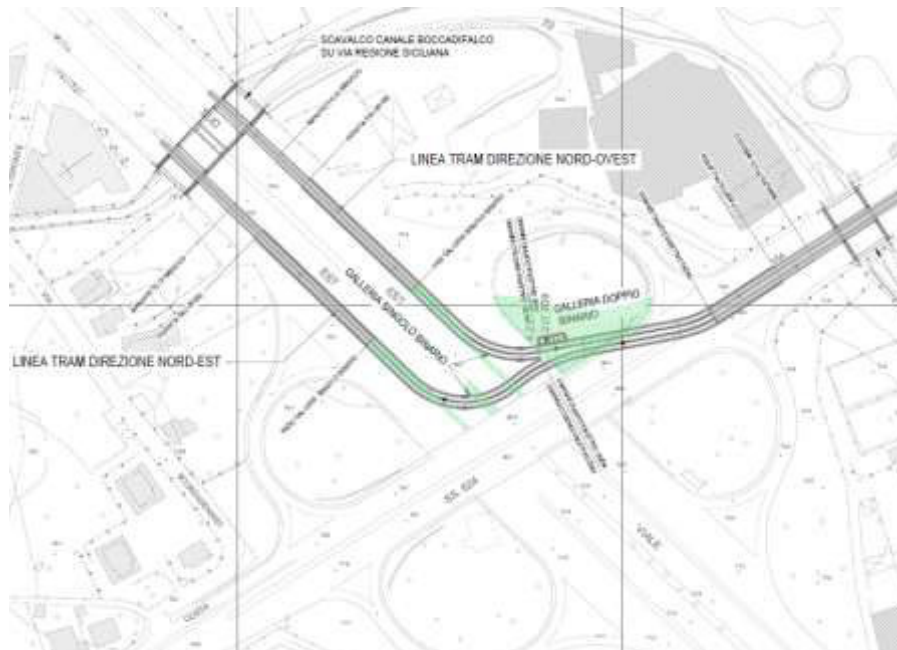
Stralcio planimetrico dello Svicolo Calatafimi



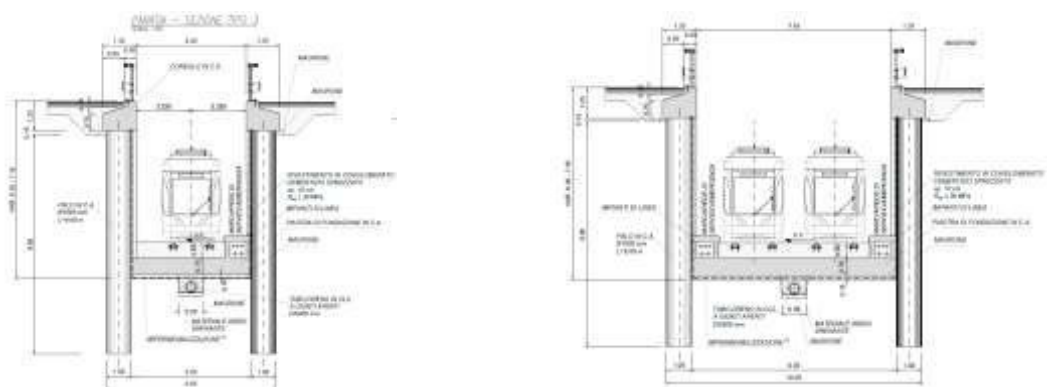
Esempio di sezione in rilevato



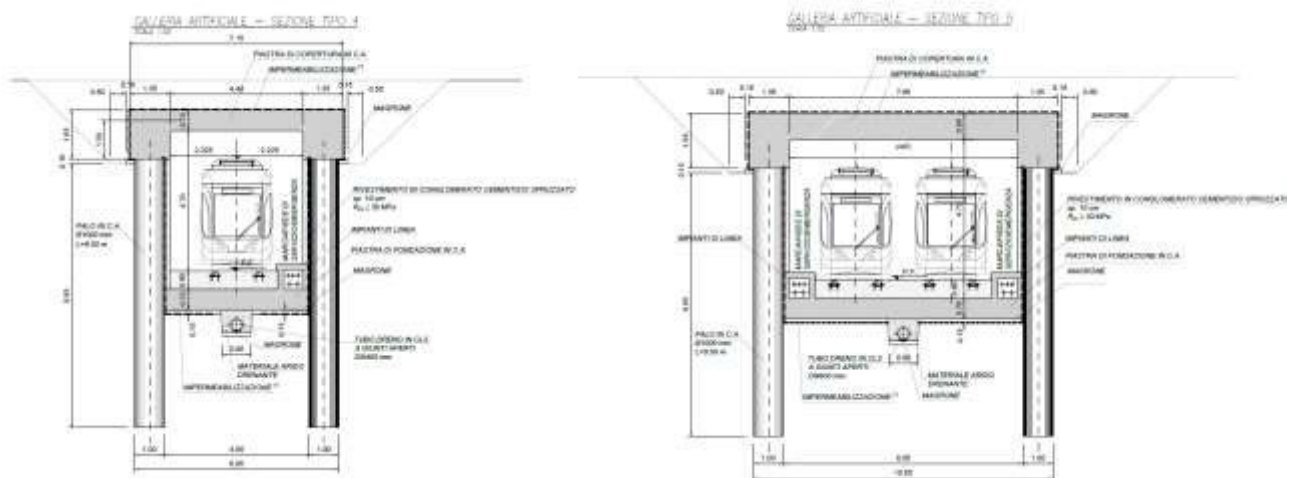
Esempio di sezione in viadotto



Stralcio planimetrico dello Svicolo Basile



Esempio di sezione in trincea



Esempio di sezione in galleria

B.2.3.2- Armamento e pavimentazioni

La piattaforma tranviaria presenta una larghezza variabile tra 4.00 m e 6.80 m, con una profondità di scavo mai superiore ai 0,75 m ed è costituita, a meno di una eventuale bonifica, dai seguenti elementi:

- Magrone di spessore 15 cm: sottofondo realizzato in calcestruzzo che deve garantire regolarità ed uniformità al piano di posa della piattaforma.
- Piastra in c.a. dello spessore di 25 cm, realizzata con calcestruzzo di classe Rck=30 MPa armato con barre ad aderenza migliorata tipo B450C;
- Eventuale materassino antivibrante collegato al fondo della piattaforma
- Rotaia e apparecchi di binario: profilo Ri 59N del tipo a gola;
- Sistema di fissaggio e piastra sottorotaia;
- Profilo estruso in gomma;
- Strato di sottofondo differenziato in funzione del tipo di pavimentazione;
- Pavimentazione.

B.2.3.2.1 - Tipologia di binari

Per le linee tranviarie in esercizio sono state individuate tipologie di binari in grado di soddisfare i requisiti prescritti in termini di inserimento urbano, rumori, vibrazioni. Le tratte in progetto presentano la stessa tipologia di binari delle tratte esistenti con profilo Ri 59N del tipo a gola.

I binari delle nuove tratte sono classificati in due principali categorie di posa:

1. Binari su piastra in c.a.
 - ✓ con finitura a pavimentazione in pietra;
 - ✓ con finitura in conglomerato bituminoso;
 - ✓ con sezioni erbose;
2. Binari su strutture
 - ✓ Binario su struttura (tipo ponti, cavalcavia, ecc.)
 - ✓ Binario a fissaggio diretto (tunnel e sottopassi)

Binario su piastra in c.a. (con e senza materassino antivibrante)

Nell'armamento su piastra le rotaie sono connesse alla platea in c.a. tramite attacco diretto. Il passo fra gli attacchi è di 750 mm in rettilineo, di 667 mm in curva.

Sono state adottate due tipologie:

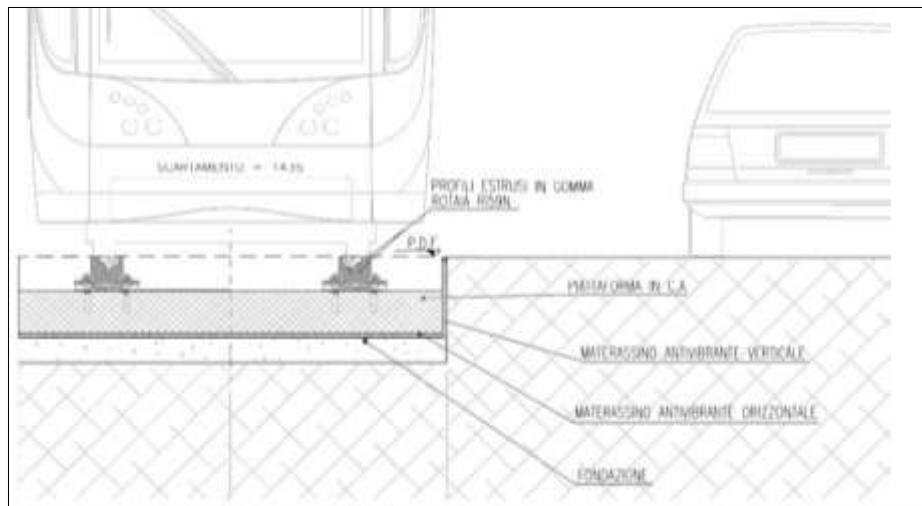
- una prima soluzione definita “standard”;
- una seconda che prevede l'appoggio della piastra in c.a. su un materassino antivibrante, realizzando un sistema “a massa flottante”.

Tale sistema a massa flottante consente il taglio delle emissioni sonore per via solida e delle vibrazioni. Questa soluzione viene adottata nei tratti in cui la natura e/o la distanza degli edifici impongono una salvaguardia vibro-acustica.

Per conseguire il funzionamento cosiddetto “a massa flottante” sarà interposto fra la platea e la fondazione un materassino elastomerico. Con questa soluzione la platea è totalmente isolata dalla fondazione; l'appropriata flessibilità del materassino e l'assenza di qualunque ente di collegamento rigido garantiscono un efficace taglio delle vibrazioni e conseguentemente del rumore. L'elastomero del materassino antivibrante possiede le seguenti caratteristiche:

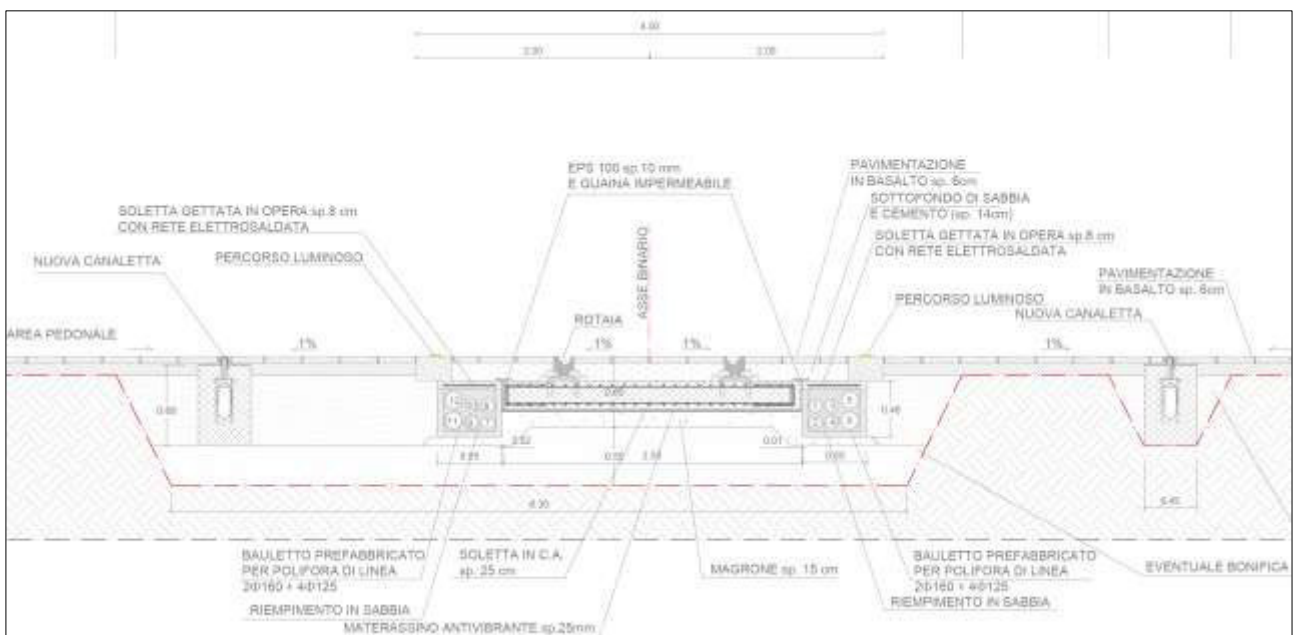
- elevata resistenza agli agenti chimici e biologici;
- piccola deformazione permanente;
- modulo di elasticità dinamico il più possibile vicino a quello statico, con rigidità dinamica bassa in valore assoluto;
- elevato smorzamento;
- elevata resistenza ai carichi dinamici e ai picchi di sollecitazione.

Nella figura seguente viene fornita una rappresentazione di questa soluzione.

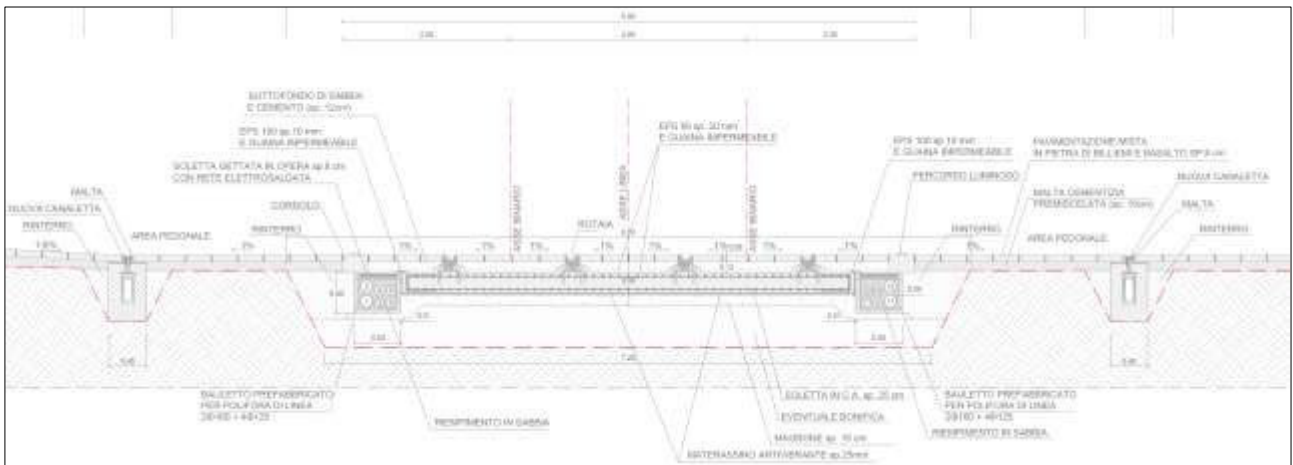


La piastra in c.a. ha un spessore di 250 mm ed è realizzata per elementi di lunghezza 11950 mm, giuntati fra di loro. La larghezza è:

- per i tratti a singolo binario pari a 2510 mm (con una larghezza totale della piattaforma di 4 m)
- Per i tratti a doppio binario pari a 5380 mm (con una larghezza totale della piattaforma di 6,8 m)



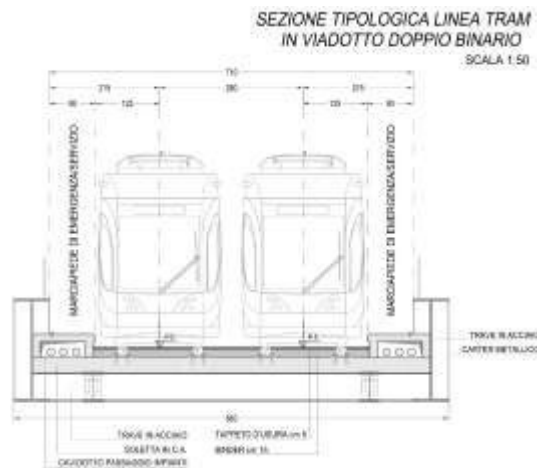
Sezione su piastra in c.a. a singolo binario



Sezione su piastra in c.a. a doppio binario

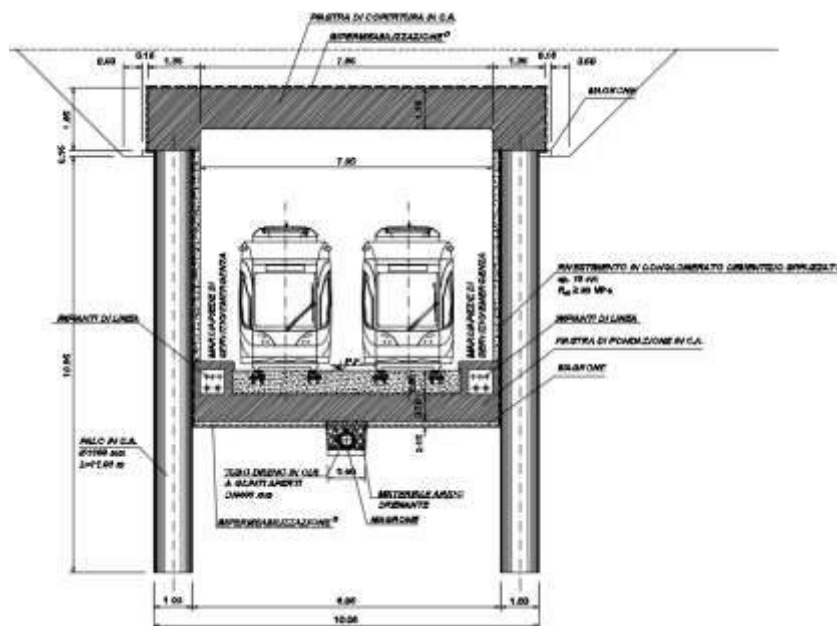
Binario su Strutture

Nel progetto sono presenti alcuni tratti di binario per i quali è prevista la posa direttamente su una struttura, principalmente ubicati sulla tratta C in corrispondenza degli svincoli di Calatafimi e Basile. Per lo svincolo “Calatafimi” la soluzione progettuale prevede la posa del binario direttamente sulla soletta collaborante del viadotto. Questa soluzione è resa obbligatoria dalla necessità di rispettare i limiti della pendenza longitudinale della tranvia e l’altezza minima di libero transito al di sotto degli attraversamenti delle strade sottostanti. La soluzione sostanzialmente non si discosta da quella su piastra in c.a. descritta al punto precedente.



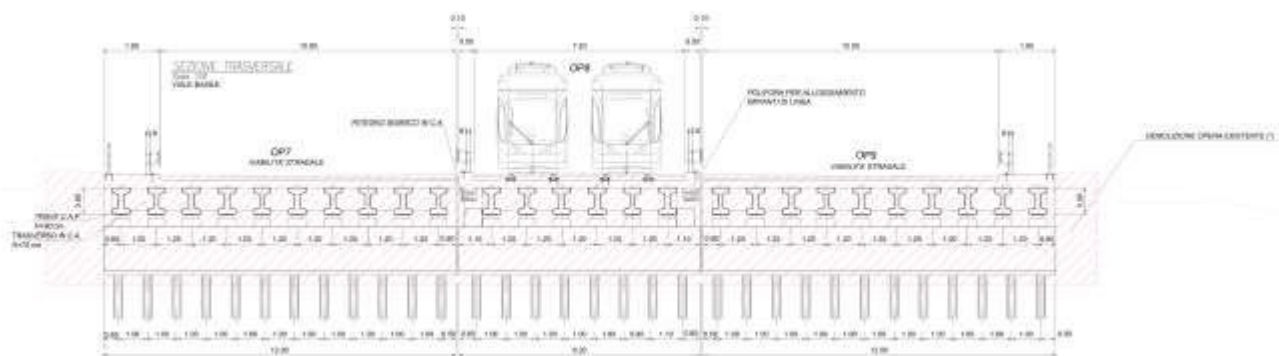
Sezione in viadotto

Per quanto attiene invece lo svincolo Basile per il tratto in sotterraneo è prevista la realizzazione di una seconda piastra in c.a. da realizzarsi direttamente sull'elemento di fondazione dell'attraversamento come riportato nella figura seguente.



Sezione in galleria

Per gli attraversamenti del canale “Boccadifalco” su via della Regione Siciliana e su via Basile, è prevista la demolizione completa delle opere esistenti (elevazioni e fondazioni) e il rifacimento di ponti delle stesse caratteristiche ovvero travi ad “I” in c.a.p. affiancate disposte su un'unica luce con collegamenti alle nuove sottostrutture mediante dispositivi di appoggio in elastomero armato. In particolare le opere tramviarie sono provviste, a livello degli appoggi, di dispositivi di ritegno sismico in c.a. che annullano quasi completamente le escursioni trasversali degli impalcati garantendo il funzionamento del binario anche a seguito dell’evento sismico.



Sezione su attraversamento canale Boccadifalco

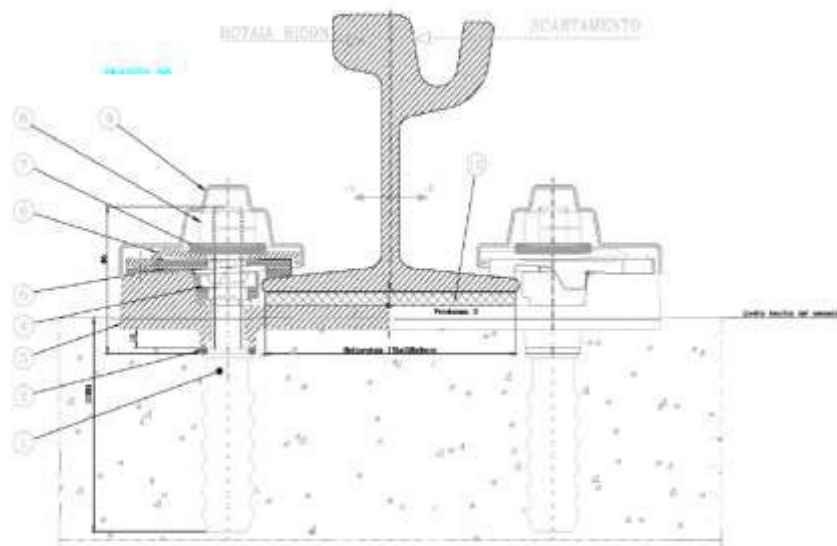
B.2.3.2.2 - Descrizione dell’attacco

Per ognuna delle tipologie di binario è previsto l’utilizzo di un attacco del tipo E220/794, già utilizzato per le tratte esistenti, con dispositivi di ancoraggio adattati ai sistemi di posa della via di corsa.

Il sistema individuato è composto dai seguenti elementi (rif. Figura sottostante)

1. n. 2 barre filettate
2. n. 2 rondelle comprimibili
3. n. 1 piastra di appoggio della rotaia in ghisa
4. n. 2 piastrine di scartamento tipo Nabla o equivalente

5. n. 2 piastre isolanti tipo Nabla o equivalente
6. n. 2 piastrine di serraggio tipo Nabla o equivalente
7. n. 2 rondelle piane
8. n. 2 dadi autobloccanti
9. n. 2 coperture in materiale plastico
10. n. 1 piastra sottorotaia di gomma



Profili estrusi in gomma

Il sistema armamento si completa con profili estrusi in gomma, disposti sui fianchi delle rotaie a gola e interposti fra le rotaie stesse e la pavimentazione.

B.2.3.2.3 - Pavimentazioni

La pavimentazione della sede tranviaria, in funzione delle caratteristiche delle zone attraversate può essere:

- in conglomerato bituminoso
- in pietra (ricostruita/basalto o di Billiemi)
- inerbata

Pavimentazione in conglomerato bituminoso

Sopra la platea viene steso uno strato di base e i normali strati di binder e di manto d'usura.

Dopo la maturazione del manto di usura, il conglomerato bituminoso al di sopra dei profili in gomma deve essere scarificato fino scoprire i profili stessi in modo da creare dei canalini tali che il fondo sia costituito dal profilo di gomma e un lato dal fianco della rotaia.

I canalini devono essere colmati con mastice bituminoso speciale, migliorato con polimero.

Pavimentazione in pietra

Questa soluzione consente risultati gradevoli nei riguardi dell'arredo urbano; inoltre, la pavimentazione differenziata rispetto alle adiacenti carreggiate stradali migliora sensibilmente la

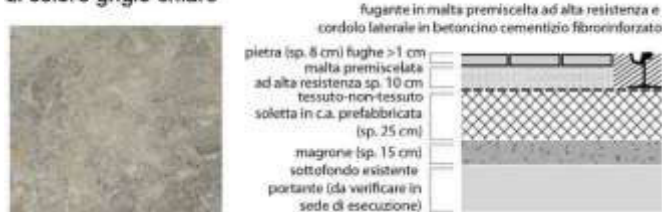
percezione visiva della sede tramviaria, con beneficio in termini di sicurezza e di rispetto della fascia di pertinenza del mezzo pubblico.

Sopra la platea deve essere steso **un allettamento in sabbia e cemento** su cui posare la pavimentazione naturale o artificiale.

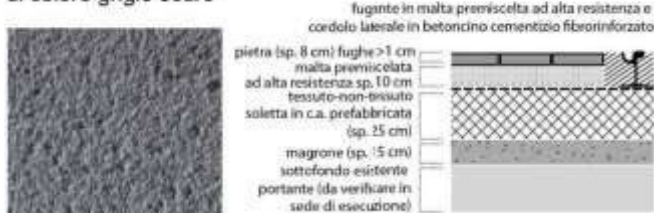
Lungo le rotaie la pavimentazione deve essere posata fin contro i profili di gomma. I canalini che rimangono lungo i lati delle rotaie devono essere colmati con mastice bituminoso speciale.

Per quanto riguarda la definizione dei pacchetti di pavimentazione previsti, si è fatto riferimento alla norma UNI11714-1 del Luglio 2018 “Rivestimenti lapidei di superfici orizzontali, verticali e soffitti – Parte 1: Istruzioni per la progettazione, la posa e la manutenzione”. Poiché in tutte le aree “pedonali” è prevista la possibilità di transito di mezzi, si è scelto di progettare il sottofondo considerandolo in classe P8 e cioè “area pedonale spesso utilizzata da autoveicoli pesanti”, secondo la definizione della norma citata, idonea al transito di mezzi di servizio e di soccorso ma anche per una eventuale apertura al traffico veicolare. L’applicazione delle linee guida della norma ha dunque portato alla definizione di una pavimentazione in pietra naturale come riportato nella seguente figura, prescrivendo per il sottofondo un modulo di deformazione minimo di 100 N/mmq.

Pavimentazione in pietra di Billiemi bocciardata a grana fine di colore grigio chiaro



Pavimentazione in basalto bocciardato a grana grossa di colore grigio scuro



Binario Inerbito

In luogo della pavimentazione, il rivestimento del binario è costituito da un tappeto erboso; fra questo e la piastra in c.a. è posto uno strato di sabbia. Per quanto riguarda la tipologia di rotaia, pur essendo utilizzabile il tipo Vignola, per la brevità dei tratti è stata mantenuta l’adozione delle rotaie a gola tipo Ri59N. Questo tipo di “pavimentazione” ha il vantaggio estetico e dal punto di vista urbanistico, in particolare, è utilizzato nel caso di attraversamenti di aree a verde.

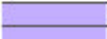
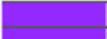
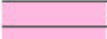
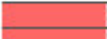
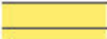

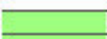



Per garantire il drenaggio, devono essere collocati i profili in gomma, interni ed esterni, compensando le irregolarità della platea con l’apposito sistema di regolazione. Tali profili hanno la funzione di mantenere il manto erboso discosto dalle superfici di rotolamento.

Questo tipo di soluzione è adottata nella tratta C in corrispondenza delle aree di rigenerazione urbana su corso Tukory e nella tratta B a piazza Ottavio Ziino.

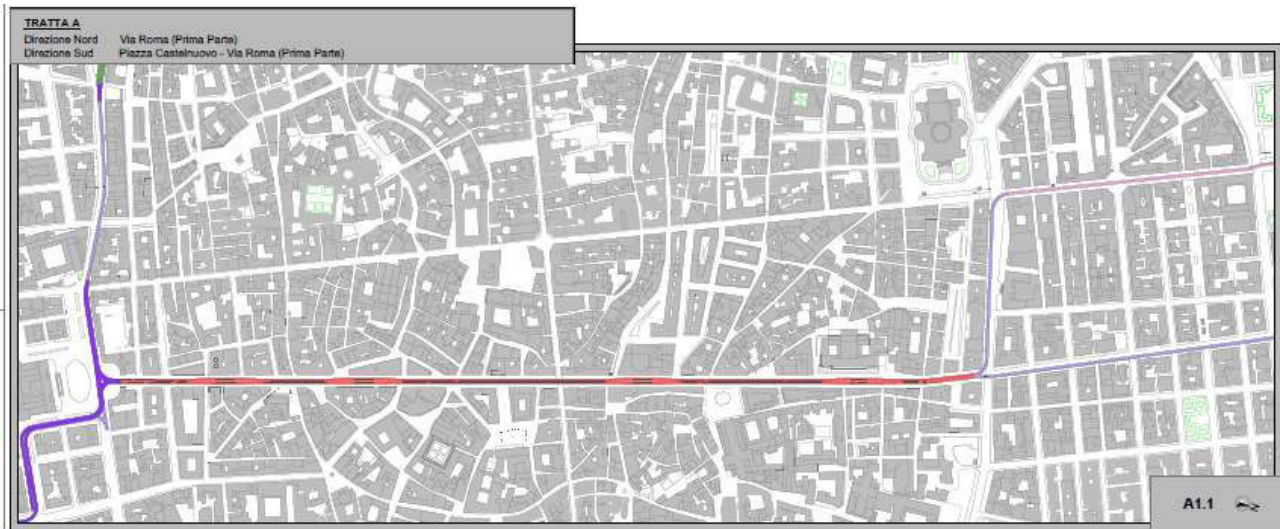
B.2.3.2.4 – Distribuzione delle diverse tipologie di armamento

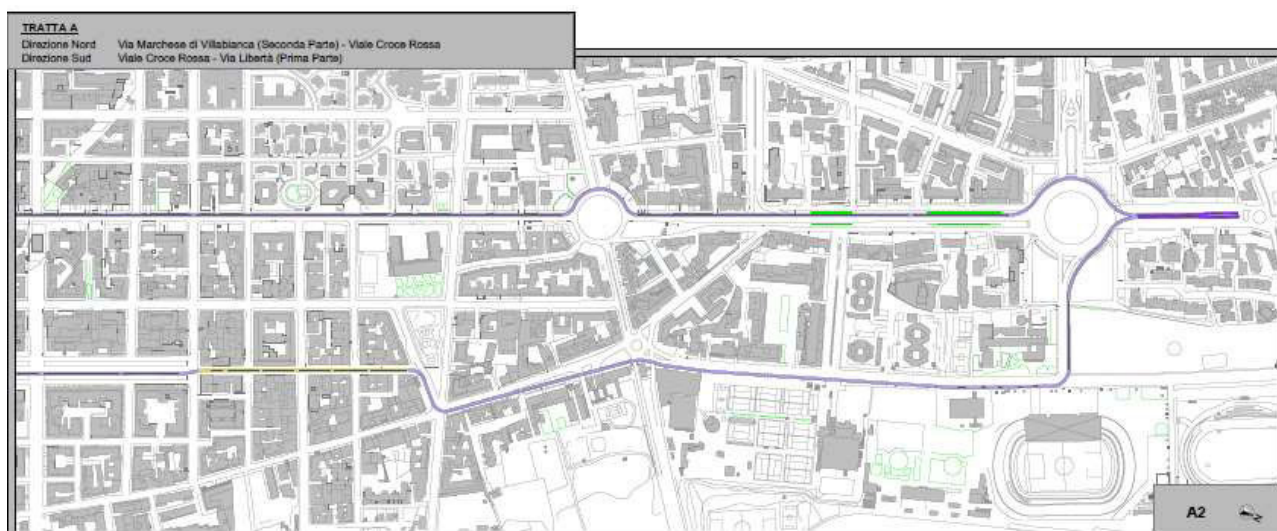
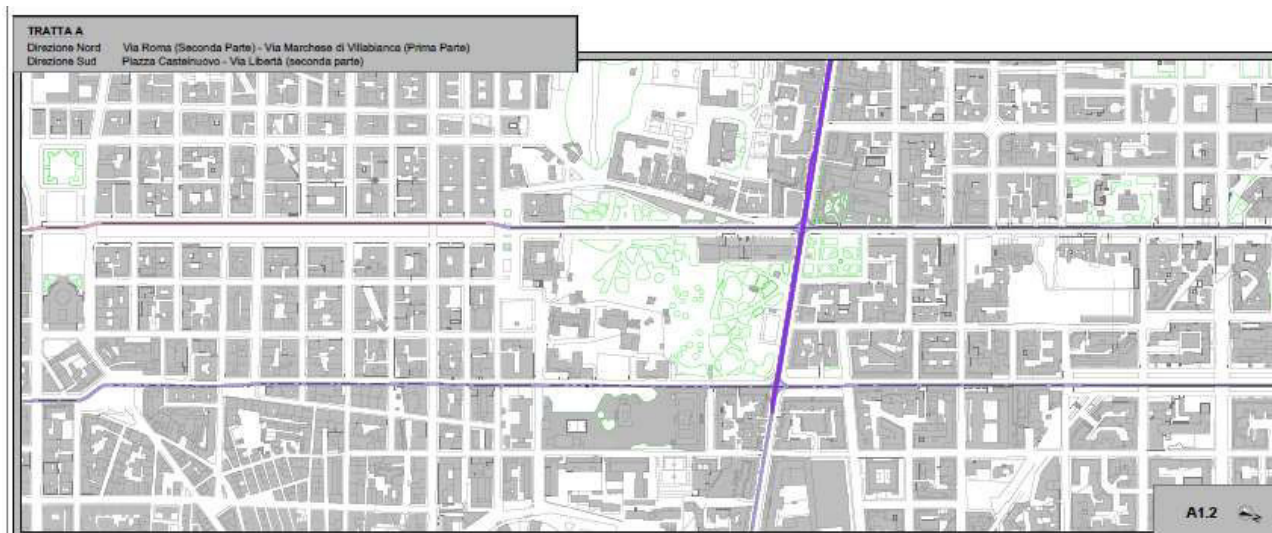
Nelle planimetrie seguenti, è possibile, individuare, grazie alla legenda riportata la distribuzione lungo le tratte delle diverse tipologie sede previste in progetto:

LEGENDA

	sede promiscua a singolo binario con materassino con pavimentazione in pietra ricostruita
	sede promiscua a doppio binario con materassino con pavimentazione in pietra ricostruita
	sede promiscua a singolo binario con materassino con pavimentazione in pietra di Billiemi
	sede promiscua a doppio binario con materassino con pavimentazione in pietra di Billiemi
	sede promiscua a singolo binario con materassino con pavimentazione mista in pietra di Billiemi
	sede promiscua a doppio binario con materassino con pavimentazione mista in pietra di Billiemi
	sede promiscua inerbita a singolo binario
	sede promiscua inerbita a doppio binario
	sede protetta a singolo binario con rivestimento in conglomerato bituminoso
	sede protetta a doppio binario con rivestimento in conglomerato bituminoso

Per la Tratta A:





Per la Tratta B:



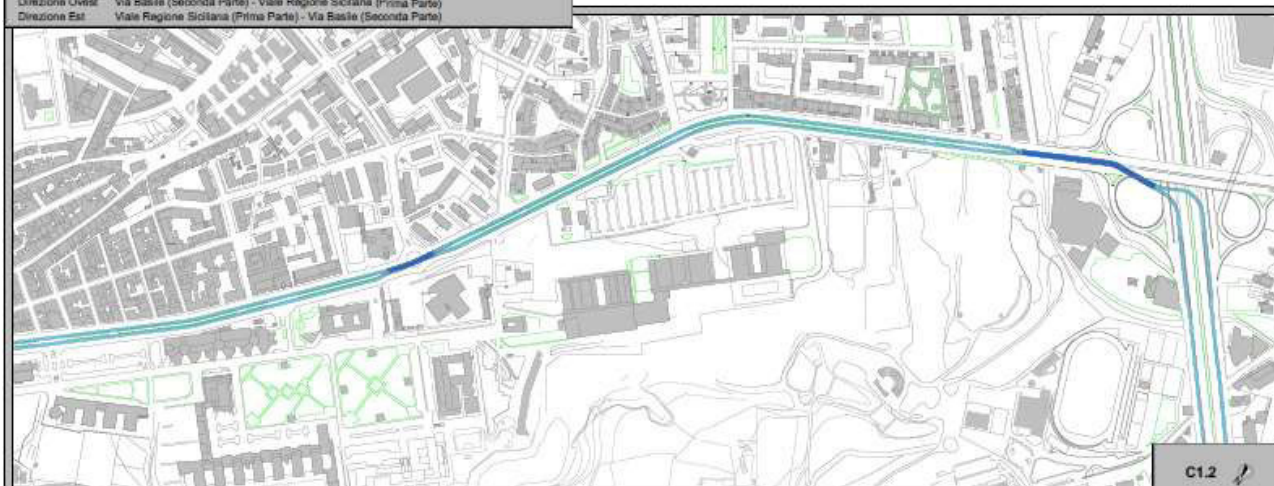
Per la Tratta C

TRATTA C
 Direzione Ovest: Piazza Giulio Cesare - Via Basile (Prima Parte)
 Direzione Est: Via Basile (Seconda Parte) - Piazza Giulio Cesare



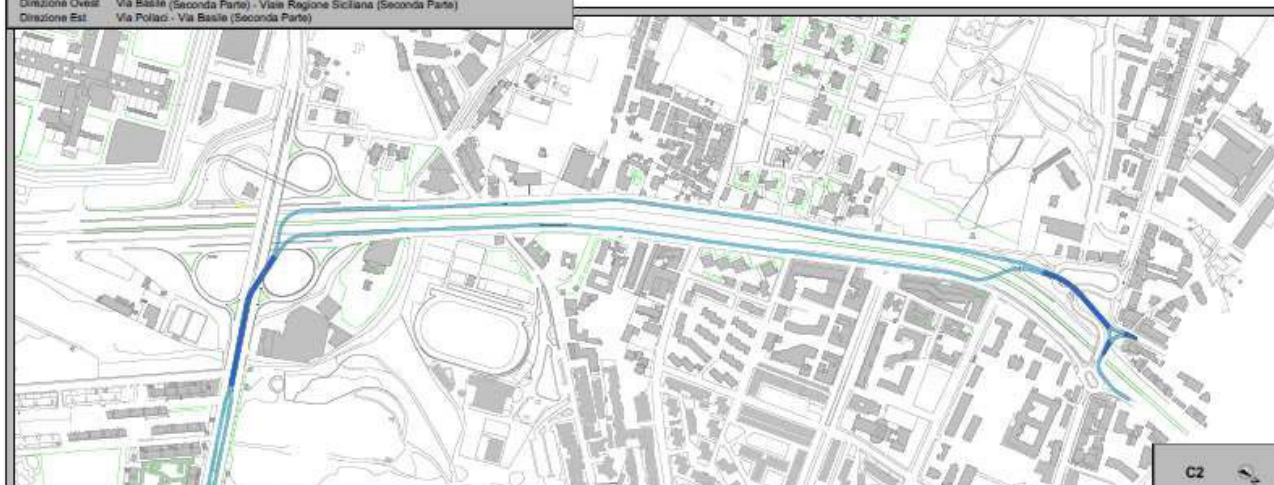
C1.1

TRATTA C
 Direzione Ovest: Via Basile (Seconda Parte) - Viale Regione Siciliana (Prima Parte)
 Direzione Est: Viale Regione Siciliana (Prima Parte) - Via Basile (Seconda Parte)



C1.2

TRATTA C
 Direzione Ovest: Via Basile (Seconda Parte) - Viale Regione Siciliana (Seconda Parte)
 Direzione Est: Viale Regione Siciliana (Seconda Parte) - Via Basile (Seconda Parte)



C2

B.2.3.2.5 – Scambi

Gli scambi di linea del sistema tranviario della città di Palermo saranno costruiti con le stesse rotaie del binario di linea e saranno posati sulla piastra in c.a. Il progetto di tracciato prevede scambi e intersezioni (scambi inglesi) con diversi raggi di deviata.

Gli scambi sono equipaggiati con cassa di manovra motorizzata o con dispositivo per il ritorno a molla degli aghi, ma comunque sempre tallonabili. È prevista l'installazione della cassa all'interno del binario.

B.2.3.3 - Interferenze

Non essendo presenti plinti di fondazione per i pali di sostegno della linea di contatto, in quanto in presenza di tecnologia “catenary free”, l'infrastruttura tranviaria interesserà una profondità mai superiore ai 0,75 m. Ciò determina una mitigazione dell'impatto sul sottosuolo dell'opera e, conseguentemente, le interferenze con i sottoservizi e con la rete del bacino idrografico cittadino.

B.3- OPERE CIVILI E SISTEMAZIONI URBANISTICHE

B.3.1- Fermate e Terminal

B.3.1.1 – Caratteristiche generali

Il progetto definitivo conta **48** fermate distribuite su 24,2 Km di linea tramviaria, l'ubicazione delle fermate è stata studiata in modo da coniugare i criteri di progettazione tramviaria – distanza min/max tra una fermata e l'altra - alla reale consistenza del tessuto urbano, nonché alla presenza di servizi pubblici, grandi attrattori, beni culturali e paesaggistici al fine di assicurare la maggiore funzionalità del servizio a fronte del minore impatto sulla città costruita.

Di seguito si riporta l'elenco completo delle fermate in progetto con l'indicazione della tratta di appartenenza e della tipologia di pensilina prevista.

TRATTA A		
N°	NOME	TIPOLOGIA DI PENSILINA
A1/C1	Balsamo	Bifacciale di ricarica
A2	Santa Rosalia	Palo (su banchina da 2.5m)
A3	Santa Cecilia	Palo (su banchina da 2.5m)
A4	San Domenico	Palo (su banchina da 2.5m)
A5	Olivella/Salinas	Palo (su banchina da 2.5m)
A6	Belmonte	Palo
A7	Borgo Vecchio	Standard di ricarica
A8	Archimede	Palo
A9	Villa Gallidoro	Palo
A10	Laurana	Standard
A11	Villabianca	Standard di ricarica
A12	Roccaforte	Standard
A13	Don Bosco	Standard
A14	Parco della Favorita	Standard
A15	Piscina Comunale	Standard
A16	Villa Sofia	Terminal
A17	Croce Rossa	Standard
A18	Vittorio Veneto	Palo
A19	Matteotti	Palo
A20	Paternò	Standard
A21	Villa Pajno	Palo
A22	Villa Zito	Standard
A23	Giardino Inglese	Standard di ricarica
A24	Croci	Palo
A25	Libertà	Palo
A26	Politeama/Garibaldi	Palo
A27	Ruggero Settimo	Standard
A28	Teatro Massimo	Standard di ricarica

TRATTA B		
B1	Respighi	Bifacciale
B2	Stazione Notarbartolo	Bifacciale di ricarica
B3	Albero Falcone	Bifacciale
B4	Alberico Gentili	Bifacciale
B5	Duca della Verdura	Standard
B6	Giachery	Standard doppia di ricarica

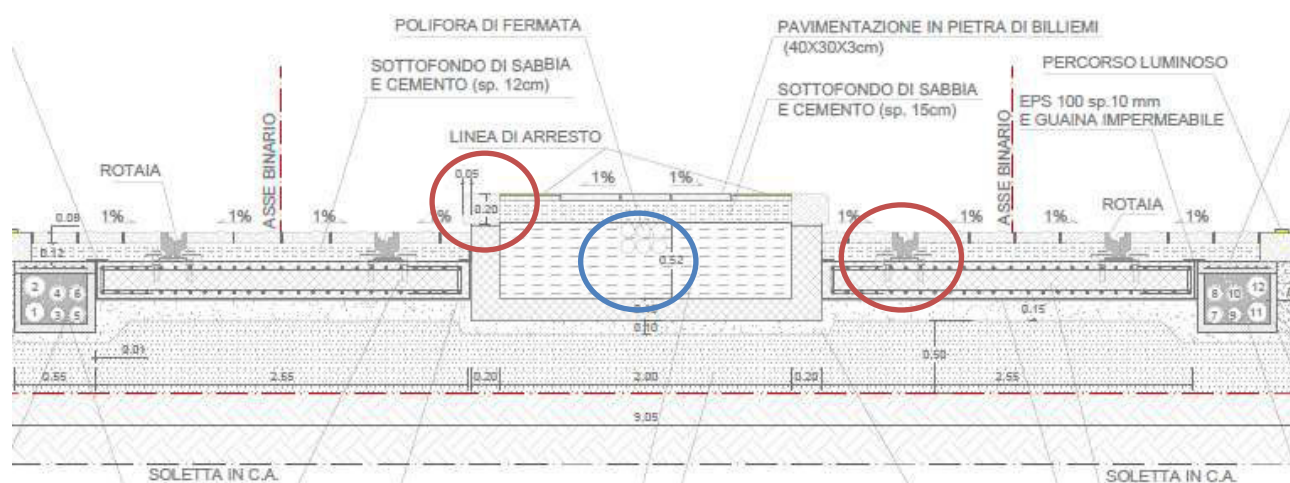
TRATTA C		
A1/C1	Balsamo	Bifacciale di ricarica
C2	Giulio Cesare	Bifacciale di ricarica
C3	Porta Sant'Agata	Bifacciale (su banchina da 3m)
C4	Orléans	Standard doppia
C5	Università/Segreteria/Agraria	Bifacciale
C6	Università/Polo didattico/Ingegneria	Bifacciale
C7	Università/Architettura/Lettere	Bifacciale
C8	Basile	Bifacciale di ricarica
C9	Parco Cassarà	Bifacciale
C10	Centro Polisportivo Universitario Ovest	Palo
C11	Palmerino Ovest	Palo
C12	Villa Tasca Ovest	Palo
C13	Villa Tasca Est	Palo
C14	Palmerino Est	Palo
C15	Centro Polisportivo Universitario Est	Palo

Nelle tabelle seguenti sono riportate le **caratteristiche** di ogni Fermata, per tratta.

TRATTA A					BANCHINA		RAMPA	
NUMERO	NOME	FUNZIONE	TIPOLOGIA	POSIZIONE	LUNGHEZZA (m)	LARGHEZZA (m)	LUNGHEZZA (m)	LARGHEZZA (m)
A1C1	Balsamo	Capolinea	Bifacciale di ricarica	centrale	40	3	5	3
A2	Santa Rosalia	Fermata di linea	Palo	centrale	35	2,5	5+5	2,5
A3	Santa Cecilia	Fermata di linea	Palo	centrale	35	2,5	5+5	2,5
A4	San Domenico	Fermata di linea	Palo	centrale	35	2,5	5+5	2,5
A5	Olivella/Salinas	Fermata di linea	Palo	centrale	35	2,5	5+5	2,5
A6	Belmonte	Fermata di linea	Palo	laterale	35	1,5	5	1,5
A7	Borgo Vecchio	Fermata di linea	Ricarica	laterale	35	2,65	4,5	1,5
A8	Archimede	Fermata di linea	Palo	laterale	35	1,5	5	1,5
A9	Villa Galiduro	Fermata di linea	Palo	laterale	35	1,76	5	1,76
A10	Laurenz	Fermata di linea	Standard	laterale	35	2,65	5	2,65
A11	Villabianca	Fermata di linea	Ricarica	laterale	35	2,65	5	2,65
A12	Rocciaforte	Fermata di linea	Standard	laterale	35	2,65	5	2,65
A13	Don Bosco	Fermata di linea	Standard	laterale	35	2,65	5	2,65
A14	Parco della Favorita	Fermata di linea	Standard	laterale	35	2,65	5	2,65
A15	Piscina Comunale	Fermata di linea	Standard	laterale	35	2,65	5	2,65
A16	Villa Sofia	Capolinea	Terminal	centrale	35	4,7	5+5	4,7
A17	Croce Rossa	Fermata di linea	Standard	laterale	35	2,65	5	2,65
A18	Vittoria Veneto	Fermata di linea	Palo	laterale	35	1,5	6,5	1,5
A19	Malteotti	Fermata di linea	Palo	laterale	35	1,5	5+5	4
A20	Paternò	Fermata di linea	Standard	laterale	35	2,5	5	2,5
A21	Villa Pajno	Fermata di linea	Palo	laterale	35	1,5	5	1,5
A22	Villa Zito	Fermata di linea	Standard	laterale	35	2,5	5	2,5
A23	Giardino Inglese	Fermata di linea	Ricarica	laterale	35	2,65	5	2,65
A24	Croci	Fermata di linea	Palo	laterale	35	1,5	-	-
A25	Libertà	Fermata di linea	Palo	laterale	35	1,5	-	-
A26	Politeama/Saribaldi	Fermata di linea	Palo	laterale	35	1,5	-	-
A27	Ruggiero Settimo	Fermata di linea	Standard	laterale	35	2,65	5	2,65
A28	Cavour	Fermata di linea	Ricarica	laterale	35	2,65	5	2,65

NUMERO	NOME	FUNZIONE	TIPOLOGIA	POSIZIONE	BANCONIA		RAMPA	
					LUNGHEZZA (m)	LARGHEZZA (m)	LUNGHEZZA (m)	LARGHEZZA (m)
TRATTABE								
B1	Respighi	Fermata di linea	Bifacciale	centrale	35	2,5	5+5	2,5
B2	Stazione Notarbartolo	Fermata di linea	Bifacciale di ricarica	centrale	35	2,5	5+5	2,5
B3	Albero Falcone	Fermata di linea	Bifacciale	centrale	35	2,5	5+5	2,5
B4	Alberico Gentili	Fermata di linea	Bifacciale	centrale	35	2,5	5+5	2,5
B5	Duca della Verdura	Fermata di linea	Standard	laterale	35	2,65	5+5	2,65
B6	Giachery	Capolinea	Ricarica x2	laterale	2x35	2,65	2x5	2,65

NUMERO	NOME	FUNZIONE	TIPOLOGIA	POSIZIONE	BANCONIA		RAMPA	
					LUNGHEZZA (m)	LARGHEZZA (m)	LUNGHEZZA (m)	LARGHEZZA (m)
TRATTAC								
C1A1	Balsamo	Capolinea per linea 6 (tratta A)	Bifacciale di ricarica	centrale	40	3	5	3
C2	Giulio Cesare	Capolinea per linee circolari	Bifacciale di ricarica	centrale	35	2,5	5+5	2,5
C3	Porta Sant'Agata	Fermata di linea	Bifacciale	centrale	35	3	5+5	3
C4	Orléans	Fermata di linea	Standard x2	laterale	2x35	2,65	2x5	2,65
C5	Università/Segreteria/Agraria	Fermata di linea	Bifacciale	centrale	35	6,7	5+5	6,7-5,2
C6	Università/Polo didattico/ingegneri	Fermata di linea	Bifacciale	centrale	35	6,7	5+5	6,7-5,3
C7	Università/Architettura/Lettere	Fermata di linea	Bifacciale	centrale	35	6,6	5+5	6,6-5,3
C8	Basilica	Fermata di linea	Bifacciale di ricarica	centrale	35	6,4	5+5	6,4-5,2
C9	Parco Cassarà	Fermata di linea	Bifacciale	centrale	35	7,65	5+5	7,65-6,35
C10	Centro Polisportivo Universitario	Fermata di linea	Palo	laterale	35	1,5	5	1,5
C11	Palmerino Ovest	Fermata di linea	Palo	laterale	35	1,5	5	1,5
C12	Villa Tasca Ovest	Fermata di linea	Palo	laterale	35	1,5	5	1,5
C13	Villa Tasca Est	Fermata di linea	Palo	laterale	35	1,5	5	1,5
C14	Palmerino Est	Fermata di linea	Palo	laterale	35	1,5	5	1,5
C15	Centro Polisportivo Universitario	Fermata di linea	Palo	laterale	35	1,5	5	1,5

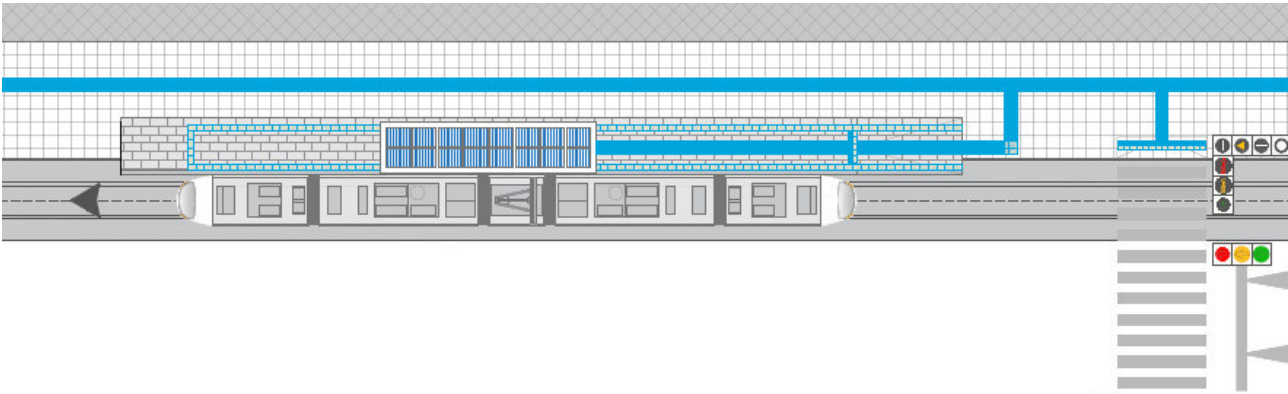


In ogni fermata è garantito un indice di affollamento minore o uguale a 2 persone a m² ad eccezione della fermata A2 – Santa Rosalia dove nell’ora di punta potrebbe verificarsi un indice di affollamento di 2,8 persone a m².

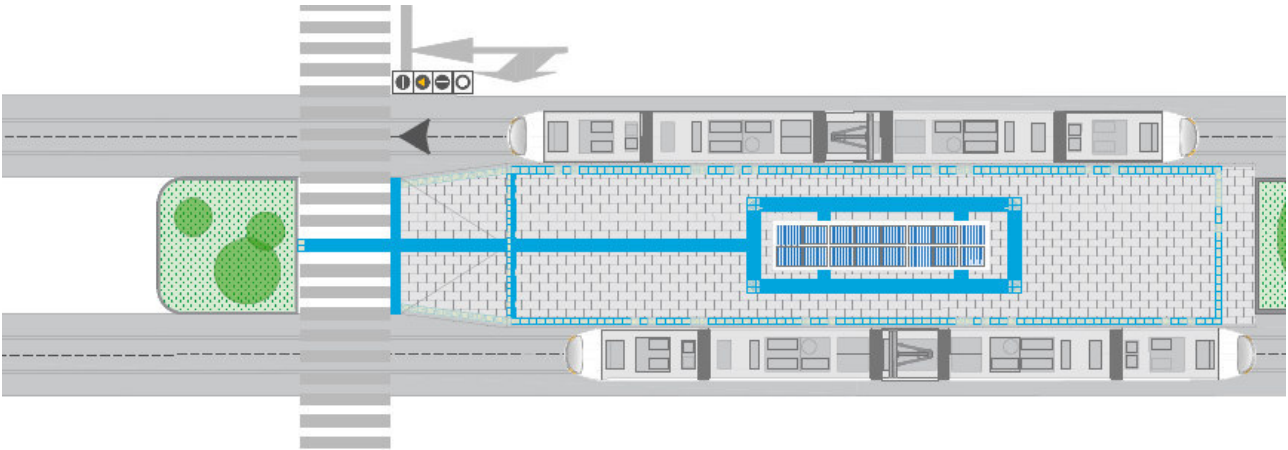
B.3.1.2 – Tipologie di fermata

Si riportano di seguito le diverse tipologie di fermata dove con tratto azzurro sono rappresentati i percorsi lodges.

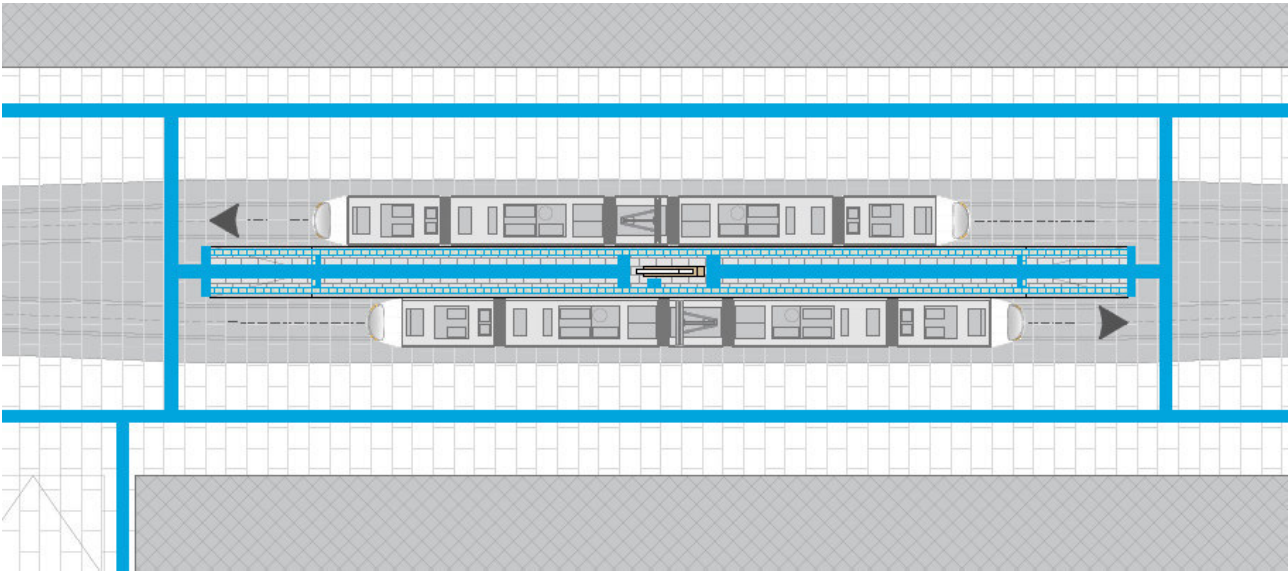
Fermata lato marciapiede:



Fermata centro strada



Fermata centro strada in area pedonale



B.3.1.3 – Tipologia di pensilina

Il progetto prevede 6 tipi di pensiline:

- Terminal
- Pensilina standard
- Pensilina di Ricarica
- Pensilina Bifacciale
- Pensilina Bifacciale di Ricarica
- Pensilina a Singolo Palo.

I terminal sono posti in corrispondenza delle fermate più importanti dove il tram si arresta per la salita/discesa dei passeggeri e si ricarica mediante la barra posta a 4.70 m dal binario. La forma in pianta è rettangolare con dimensioni tipiche di 45.0 m x 5.0 m ed un'altezza massima dal finito di circa 5.75 m.

La struttura portante è realizzata in carpenteria metallica, la trave reticolare di copertura è rivestita mediante pannelli compositi in estruso di alluminio ed elementi esagonali in calcestruzzo fibrorinforzato caratterizzato da elevate prestazioni meccaniche; sopra la copertura saranno disposti pannelli fotovoltaici. Lo smaltimento delle acque meteoriche viene realizzato mediante canalette a scomparsa che le convogliano nelle cavità dei tubi rettangolari portanti; analogamente gli stessi pilastri saranno sfruttati per il passaggio dei cavi necessari all'impianto di ricarica del tram. La fondazione della struttura sarà del tipo profondo, con plinti su micropali trivellati mediante tecnologia di iniezione I.G.U. e collegati da una platea in c.a. sulla quale si disporrà la finitura in pietra naturale.



Le **pensiline di ricarica** sono poste in corrispondenza di fermate tramviarie a singolo binario dove il tram sfrutta i tempi di arresto per una parziale ricarica della batteria. La forma in pianta è rettangolare con dimensioni tipiche di 11.0 m x 2.65 m e un'altezza massima dal finito di circa 3.35 m che raggiunge i 4.50 m in corrispondenza della barra di ricarica. La struttura portante è realizzata in carpenteria metallica mediante i pilastri sono rivestiti in calcestruzzo fibrorinforzato caratterizzato da elevate prestazioni meccaniche ed autopulente che risulterà collaborante con la struttura metallica nella sua fase definitiva. La copertura è realizzata con pannelli compositi in

estruso di alluminio sopra i quali saranno disposti i pannelli fotovoltaici; lo smaltimento delle acque meteoriche viene realizzato mediante canalette a scomparsa che le convogliano nelle cavità dei tubi rettangolari portanti. La fondazione della struttura è del tipo diretto a platea di spessore 30 cm, sulla quale sarà disposta la finitura in pietra naturale.



Le **pensiline standard** sono poste in corrispondenza di fermate tramviarie a singolo binario ed hanno una forma in pianta rettangolare con dimensioni tipiche di 10.2 m x 2.65 m ed un'altezza massima dal finito di circa 3.35 m. La struttura portante è realizzata in carpenteria metallica mediante la disposizione di tubi rettangolari (TR 250x150x16 mm) come pilastri ai quali sono collegate travi di appoggio con profili ad H (HEB500) su cui poggia la struttura di copertura formata da profili principali HEA140 e profili secondari IPE100. I pilastri sono rivestiti in calcestruzzo fibrorinforzato caratterizzato da elevate prestazioni meccaniche ed autopulente che risulterà collaborante con la struttura metallica nella sua fase definitiva anche se a favore di sicurezza nel calcolo non è stato considerato. La copertura è realizzata mediante pannelli compositi in estruso di alluminio sopra i quali saranno disposti i pannelli fotovoltaici; lo smaltimento delle acque meteoriche viene realizzato mediante canalette a scomparsa che le convogliano nelle cavità dei tubi rettangolari portanti. La fondazione della struttura è del tipo diretto a platea in c.a. di spessore 30 cm, sulla quale sarà disposta la finitura in pietra naturale.



B.3.2-Opere d'arte

All'interno del progetto delle nuove linee tramviarie della Città di Palermo, si è dovuto intervenire su alcuni punti nevralgici della città per poter integrare l'attuale traffico cittadino con i nuovi

tracciati del tram. Alcune situazioni hanno reso necessaria la rivisitazione del layout stradale per evitare aggravi della congestione veicolare.

B.3.2.1 – Svincolo Einstein

Lo svincolo Einstein riguarda l'infrastruttura tranviaria già esistente che viene comunque interessata dal transito della linea che utilizza la tratta B del nuovo tracciato; tale svincolo è posto in corrispondenza dell'attuale rotatoria stradale su Viale Leonardo da Vinci.

In questa zona, le attuali linee tram percorrono Via Da Vinci e attraversano la rotatoria a raso mediante regolazione semaforica e scavalcano Viale Regione Siciliana che passa a quota inferiore; in questo punto c'è anche la diramazione delle linee che percorrono le complanari in direzione sud.

Lo scopo dell'intervento è quello di risolvere l'interferenza tra le attuali linee tram e la viabilità veicolare tramite una soluzione a livelli sfalsati che elimina definitivamente gli attuali punti di conflitto peraltro regolati da dispositivi semaforici.

Il nuovo layout dello svincolo, seppur più articolato rispetto al semplice schema a rotatoria, risulta più funzionale e razionale.

Il progetto, seppur modificando sostanzialmente l'assetto viario rispetto a quello attuale, si concentra negli attuali spazi a disposizione evitando l'acquisizione di nuove aree sia private che pubbliche a destinazione particolare (ad esempio l'area a parco limitrofa).

Sulla base di tutte le valutazioni trasportistiche, delle indicazioni degli enti locali e delle condizioni attuali locali, lo schema del nuovo nodo di Einstein si configura come di seguito riportato.



Svincolo Einstein – Stato di fatto e soluzione di progetto



Svincolo Einstein – Zona scambi linee tram – situazione attuale

In progetto è previsto l’inserimento di un nuovo tratto tranviario che permette alla linea proveniente da sud lungo la complanare stradale est di Viale regione Siciliana di svoltare verso ovest sulla tratta che percorre Via Leonardo Da Vinci; inoltre, sono previste varianti agli altri collegamenti per ottimizzare la posizione di sottopassaggio al viadotto stradale e soprattutto per effetto della realizzazione della nuova copertura su Viale Regione Siciliana.



unico tratto nuovo, le altre tratte sono rettificcate



Svincolo Einstein – Zona scambi linee tram – situazione di progetto

Il tracciato delle linee tram che percorrono Via Leonardo Da Vinci non viene minimamente modificato; i nuovi tratti (le varianti ed il ramo in aggiunta) sono tracciati “a terra” nel senso che sono previsti a piano campagna.

B.3.2.2 – Svincolo Calatafimi

Attualmente in corrispondenza dello svincolo tra Corso Calatafimi e Viale Regione Siciliana la linea del tram non si interseca con il traffico; il progetto di prosecuzione delle linee ha posto il problema della interferenza tra il traffico veicolare e quello tramviario che avrebbe di certo compromesso la mobilità della zona. Per questo motivo si è arrivati ad una soluzione che seppur più articolata rispetto alla situazione attuale, permette una circolazione libera e indisturbata tra tram e traffico cittadino.

Lo Svincolo Calatafimi si posiziona all’inizio della Tratta C nel punto di collegamento con la linea esistente.



In questa zona, le nuove linee tram si inseriscono tra l’arteria stradale principale (di tipo Autostradale – ambito urbano) denominata Viale Regione Siciliana e le relative complanari laterali. Il collegamento di Viale Regione Siciliana con Corso Calatafimi è assicurato da rampe in uscita e in entrata con regolamentazione degli incroci stradali tramite dispositivi semaforici.

L’area in oggetto non offre grossi spazi e presenta un urbanizzato cittadino con viabilità a corredo caratterizzate da traffico importante; pertanto, a seguito della valutazione di varie ipotesi progettuali, si è arrivati ad una soluzione che interviene sullo stato dei luoghi in maniera più decisa, ma caratterizzata dall’obiettivo di risolvere qualsiasi interferenza tra tram e traffico veicolare, lasciando invariate tutte le attuali direzioni e collegamenti.

La nuova tratta C si collega con l’attuale in corrispondenza di Corso Calatafimi; le soluzioni progettuali prevedono un attacco unico per entrambi le direzioni in corrispondenza dell’incrocio tra Corso Calatafimi e Via Pollaci; sull’attuale tracciato vengono inseriti dei deviatori di linea per l’attacco delle nuove tratte. Partendo da questo nodo, le nuove tratte attraversano Corso Calatafimi con una sezione a doppio binario; a partire dall’attacco, le linee cominciano da subito a guadagnare quota altimetrica con sezione in rilevato sostenuta lato Viale Siciliana da opere di contenimento.

Dopo un tratto a doppio binario, sempre in viadotto, le due linee si dividono per “atterrare” ciascuno nella propria direzione di marcia tra l’attuale viabilità di Viale Regione Siciliana e le complanari laterali fino alle progettate Fermate denominate “Villa Tasca” con una sezione a singolo binario tra muri di sostegno.

In corrispondenza del sovrappasso esistente di Corso Calatafimi, la sezione attuale ospita sia la viabilità stradale che la attuale linea del tram.

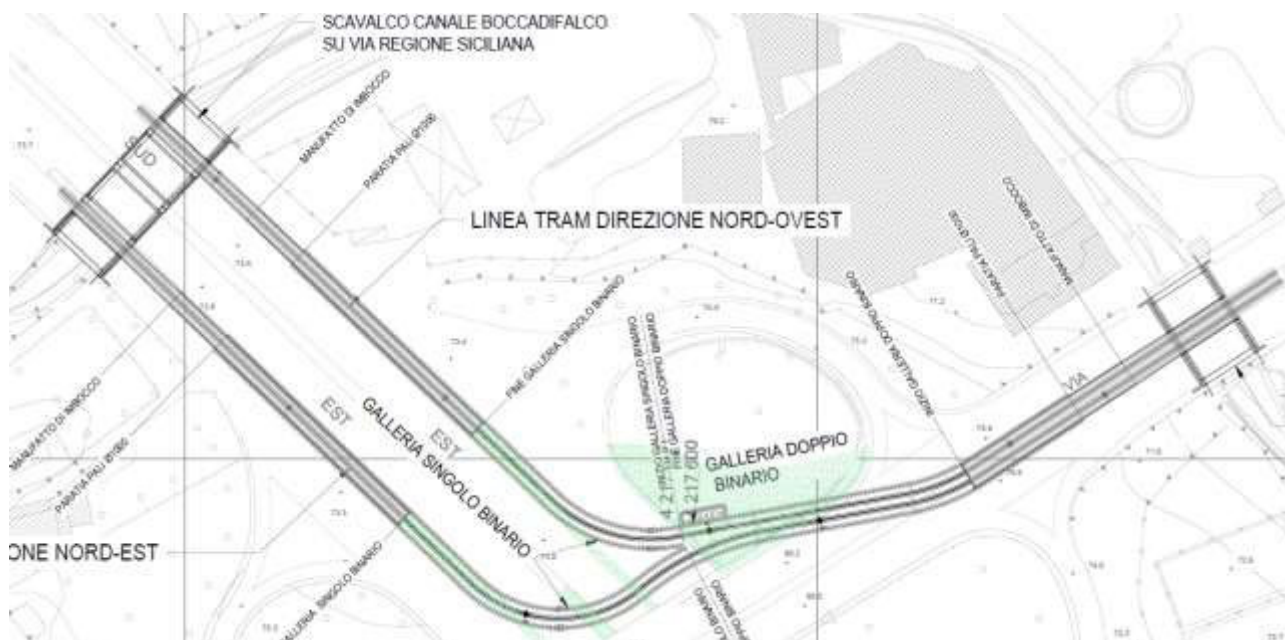
Per permettere di realizzare la nuova rotatoria e senza dover adeguare l'opera d'arte esistente, è stata variata la curva di ingresso della linea tram sul ponte cercando di ottimizzare gli spazi a disposizione; l'eventuale adeguamento dell'opera d'arte esistente è apparsa soluzione poco percorribile in quanto sarebbe stato necessario una variante della sottostante livelletta stradale per mantenere i franchi necessari da normativa.



Svincolo Calatafimi – Stato di fatto e soluzione di progetto

B.3.2.3 – Sottopasso tranviario in corrispondenza dello svincolo Basile

Nell'ambito della Tratta C, in corrispondenza dell'intersezione tra Viale della Regione Siciliana e via Basile, denominata Svincolo Basile, si presenta una situazione particolare rispetto allo sviluppo del nuovo tracciato tramviario, in quanto si prevede l'immissione in galleria della linea che da viale della Regione Siciliana si immette su via Basile.



Il tratto che si immerge in corrispondenza dello svincolo Basile è costituito da tratti iniziale e finale in trincea e tratto centrale in galleria vera e propria, per una lunghezza complessiva di 370 m.

Tale soluzione comporta delle problematiche sia in fase di esercizio sia in fase costruttiva in quanto si configurano interruzioni di traffico significative nelle fasi costruttive e modifiche ai flussi veicolari dello svincolo in esercizio.

Il Progetto Definitivo, in linea con gli indirizzi espressi dal Progetto di Fattibilità, sviluppa le ottimizzazioni plano-altimetriche e di interferenza delle fasi costruttive con la viabilità esistente.

Si segnala inoltre la presenza delle intersezioni della linea Tramviaria con il canale Boccadifalco sia su viale della regione siciliana sia su via Basile.

Attualmente sono già presenti delle opere a soluzione dell'interferenza del traffico veicolare. Si tratta di ponti affiancati a travi a "I" a luce singola di cui non si dispongono informazioni né riguardo lo stato conservativo né riguardo le tipologie di spalle e fondazioni.

Di conseguenza si prevede la demolizione completa delle opere (elevazioni e fondazioni) e il rifacimento di ponti delle stesse caratteristiche.

L'affiancamento delle opere è realizzato per fasi, mantenendo quindi costantemente fruibile al traffico la strada attuale.

Considerando la destinazione mista delle carreggiate di progetto (traffico veicolare e traffico tramviario) e vista la distribuzione trasversale del traffico si è ritenuto opportuno progettare una soluzione che prevede opere separate (n. 9 opere) aventi una sola destinazione di traffico.



B.3.2.1- Sottostazioni Elettriche – opere civili

Il progetto prevede la realizzazione di **n°7 sottostazioni** elettriche. Una particolare attenzione è stata posta nell'ubicazione delle sottostazioni elettriche. Esse ricadono in zone densamente edificate dove gli spazi aperti, ove esistenti, non sono sacrificabili per la realizzazione di locali tecnici.

Al fine di limitare l'impatto della realizzazione delle opere, il progetto prevede la realizzazione di SSE interrato realizzate adottando la tecnologia dei pozzi auto affondanti in prossimità delle linee:

Tratta A

- SSE 1 Sturzo
- SSE 2 Villabianca
- SSE 3 Villa Sofia
- SSE 7 Balsamo

Tratta B

- SSE 4 Notarbartolo
- SSE 5 Giachery

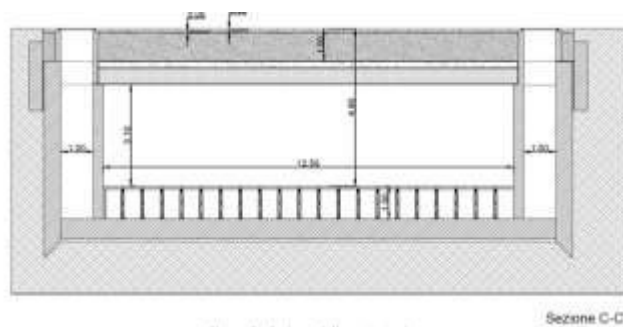
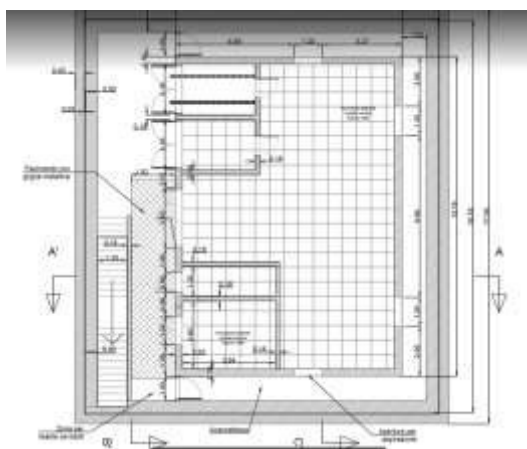
Tratta C

- SSE 6 Basile

Nella Figura seguente, è riportata la localizzazione delle SSE e delle Fermate di ricarica.



Le 7 sottostazioni sono equivalenti, sia dal punto di vista architettonico che strutturale. La sagoma in pianta, al lordo delle pareti esterne controterra, è rettangolare di lati 15.46 x 17.06 m, l'altezza complessiva è di 4.40 m. La quota del piano di posa è sempre fissata a -6.50 m dal p.c. mentre la quota di estradosso della copertura a -1.00 m dal p.c. essendo prevista la sistemazione a raso con pavimentazioni ed opere a verde. L'accesso ai locali interrati è assicurato da una scala in c.a. del tipo a soletta rampante.



La tecnica esecutiva scelta per la realizzazione delle sottostazioni consiste nella realizzazione di pozzi autoaffondanti di forma rettangolare, mediante la messa in opera di conci in c.a. di altezza massima di circa 2 m, sovrapposti, fino al raggiungimento della profondità di progetto. Non appena spostati i sottoservizi insistenti nell'area, verrà realizzata una correa di guida e successivamente la prima fase della struttura scatolate di contenimento dei terreni. Detta struttura consiste in un parallelepipedo rettangolo, realizzato in c.a., privo delle facce inferiori e superiori delle dimensioni in pianta dello scavo da eseguire. Raggiunti i livelli di resistenza previsti dal progetto sarà eseguito, dall'interno della struttura, lo scavo e contemporaneamente, per effetto del peso proprio, la struttura di sostegno "affonderà" nel terreno costituendo così un immediatamente efficace sostegno dei terreni e limitando le aree di scavo e di occupazione del suolo. Ultimato l'affondamento della prima parte della struttura la fase sarà ripetuta sino al raggiungimento della quota di progetto alla quale si provvederà alla realizzazione della platea di fondazione e, infine, al completamento della sottostazione vera e propria.

B.4 – PROGRAMMA DI ESERCIZIO

Il programma di esercizio proposto, a seguito delle realizzazione di questo primo stralcio funzionale, prevede le seguenti cinque linee tranviarie:

- **linea 1 – Stazione Centrale/Roccella.** Coincide con la linea 1 esistente ed in esercizio e sarà interamente sotto catenaria.
- **linea 2A – Stazione Giachery/ Borgo Nuovo.** La linea è composta dalla tratta esistente, su cui è in esercizio la attuale linea 2, e dalla tratta B di nuova realizzazione. Sarà in parte sotto catenaria ed in parte catenary free.
- **linea 2B – Stazione Giachery/CEP.** La linea è composta dalla tratta esistente, su cui è in esercizio la attuale linea 3, e dalla tratta B di nuova realizzazione. Sarà in parte sotto catenaria ed in parte catenary free.
- **linea 4 – Stazione Centrale/Stazione Centrale.** La linea è composta dalla tratta esistente tra la Stazione di Notarbartolo e lo svincolo Calatafimi, su cui è in esercizio la linea omonima, dalla tratta C di nuova realizzazione tra lo svincolo di Calatafimi e Stazione Centrale, dal tratto della tratta A compreso tra la Stazione Centrale e via Duca di Verdura e da parte della tratta B tra via Duca di Verdura e la Stazione Notabartolo. Sarà in parte sotto catenaria ed in parte catenary free.
- **linea 6 – Via Balsamo /Via Croce Rossa** La linea coincide interamente con la tratta A. Sarà interamente catenary free.

Le linee sono rappresentate schematicamente nello lo schema sotto riportato:



L'analisi trasportistica sulla base della quale è stato sviluppato il programma di esercizio, è stata redatta su dati relativi all'ora di punta compresa tra le 7:30 e le 9:30 dei giorni lavorativi.

Si riportano di seguito le principali caratteristiche relative all'esercizio del sistema:

Grandezza	Unità	Linea 1	Linea 2A	Linea 2B	Linea 4	Linea 6
Distanza tra i capilinea	m	5.499	6.255	6.383	12.193	5.837
Tempo di viaggio	hms	00:18:00	00:20:40	00:20:40	00:45:00	00:21:00
Velocità commerciale	km/h	18,33	18,16	18,53	16,26	16,68
Soste Capolinea	hms	00:06:00	00:05:20	00:05:20	00:05:00	00:04:00
Tempo di giro	hms	00:48:00	00:52:00	00:52:00	00:50:00	00:50:00
Intertempo	hms	00:15:00	00:13:00	00:13:00	00:10:00	00:05:00
Fermate	n.	15	17	16	34	17
Vetture	n.	6	4	4	10	10

Il programma di esercizio è stato redatto in base ai seguenti elementi progettuali:

Infrastruttura

L'infrastruttura tranviaria di nuova realizzazione ha le stesse caratteristiche di quella in esercizio. In particolare, al fine di garantire l'interoperabilità delle nuove vetture sulla infrastruttura esistente, sono stati adottati:

- Scartamento: mm 1435
- Altezza piano banchina su piano del ferro: mm 330
- Lunghezza banchine: m 35 + rampe

Flotta

La flotta in servizio per l'esercizio previsto nel presente 1° stralcio Funzionale sarà complessivamente costituita da 37 vetture:

Vetture esistenti e in esercizio:	17
Vetture previste nel presente progetto:	9
<u>Vetture di nuovo acquisto:</u>	<u>11</u>
Totale	37

Delle 17 vetture esistenti, 9 dovranno essere rese ibride per consentire il transito senza catenaria.

Vetture

- Vetture bidirezionali ibride idonee a marcia sotto catenaria nei tratti di infrastruttura esistente e senza linea di contatto nei tratti di nuova infrastruttura equipaggiate con sistema EoBSS (Energy on Board Sistem Storage) composto da due unità da 49 kWh per complessivi 98 kWh e da due supercapacitori per complessivi 6 kWh;
- Possibilità di ricarica a mezzo pantografo su linea di contatto nelle fermate/terminal di ricarica;
- Capacità di ricarica fermate / terminal: 6 kWh/minuto
- Tempo di ricarica in fermata variabile fino a 120 sec
- Tempo di ricarica al terminal variabile fino a 300 sec;
- Consumo standard (pieno carico su terreno pianeggiante con impianto di condizionamento estivo in servizio): 4 Kwh/km

- Massima distanza da percorrere sotto EoBSS circa 3.500 m
- Ricarica notturna presso i depositi.

Trazione Elettrica

Nelle tratte di nuova realizzazione le vetture saranno alimentate dal sistema di accumulo di energia a bordo che sarà ricaricato in corrispondenze dei capilinea e delle fermate di ricarica che saranno alimentanti dalle SSE opportunamente dimensionate.

Il Programma di Esercizio è stato calcolato tenendo conto delle seguenti condizioni cautelative:

- durante la marcia sotto catenaria esistente non è attuata la possibilità di ricarica dei sistemi di bordo da linea di contatto;
- durante la marcia sotto catenaria esistente non è considerata la ricarica dei sistemi di bordo con il recupero dell'energia di frenata;
- non è attuata la possibilità di ricarica nei terminal esistenti;

Depositi

Presso il deposito Roccella saranno pertanto ricoverate:

- 2 vetture scorta tecnica o in manutenzione straordinaria;
- 6 vetture in servizio sulla linea 1;
- 10 vetture in servizio sulla linea 6 provenienti dal terminal di via Balsamo;
- 5 vetture in esercizio sulla linea 4 provenienti dal terminal di piazza Giulio Cesare.

Presso il deposito Leonardo da Vinci invece saranno ricoverate:

- 1 vettura in scorta tecnica in esecuzione ibrida;
- 4 vetture in servizio sulla linea 2A provenienti dal terminal Armerina;
- 4 vetture in servizio sulla linea 2B provenienti dal terminal CEP;
- 5 vetture in servizio sulla linea 4 provenienti dallo snodo Einstein.

Le vetture dotate di EoBSS saranno ricaricate in deposito attraverso la catenaria esistente fino alla completa carica dei sistemi di bordo. Le vetture in ricarica saranno distribuite su quattro binari esistenti in deposito in modo da evitare sovraccarichi sul singolo tratto di catenaria.

La potenza di ricarica, salvo diversa indicazione del costruttore delle batterie, sarà prudenzialmente limitata a 1,5 kWh/min, pari al 25% di quella prevista alle fermate/terminal, in considerazione che nei depositi verrà conseguita la ricarica delle vetture sino al valore di targa.

Le sottostazioni elettriche presenti nei depositi sono equipaggiate con un gruppo trasformatore/raddrizzatore da 1800 kWh entrambe predisposte per l'installazione di un secondo gruppo trafo/raddrizzatore da 1800 kWh.

Impianto Semaforico

L'impianto semaforico è asservito all'esercizio ferroviario ed è gestito dal PCC con priorità tranviaria assoluta nell'ora di punta. All'esterno delle fasce orarie di punta la fase tranviaria all'interno del ciclo semaforico sarà attuata rispettando i vincoli esistenti di minimo tempo di verde sulla direzione incrociante e minimo tempo di sgombero dell'incrocio da parte dei mezzi stradali.

B.5 – MATERIALE ROTABILE

I nuovi veicoli tranviari (previsti in numero di 9 nell'appalto del primo stralcio funzionale in esame), destinati alla rete tranviaria di Palermo caratterizzata da parti di linea prive di catenaria, devono essere attrezzati anche con un sistema di accumulo di energia a bordo. Il rotabile dovrà essere pienamente conforme alla norma quadro UNI 11174:2014 in materia di materiale rotabile tranviario (ed eventuali successivi aggiornamenti alla data di effettiva messa in esercizio).

I veicoli saranno di tipo bidirezionale, non è previsto il servizio passeggeri in marcia accoppiata, dovrà però essere possibile il traino di un veicolo guasto. I rotabili sono previsti a pianale ribassato, per la compatibilità con le linee esistenti saranno preferite configurazioni a 5 casse multiarticolate.

Dimensioni

Le dimensioni dei veicoli dovranno essere:

- Lunghezza compresa tra 32 e 33,5 m.
- Larghezza massima 2400 mm.
- Altezza massima (con il pantografo in posizione abbassata) 3500 mm¹.
- Quota di incarrozzamento passeggeri 320 mm dal piano del ferro 100% di pianale ribassato, saranno ammesse rampe di raccordo tra quote differenti con pendenze massime come da UNI 11174 art. 5.2.3. nelle aree interessate al passaggio di disabili.
- Altezza interna nel comparto almeno 2000 mm.

Per le persone a ridotta mobilità che utilizzano carrozzelle ogni veicolo dovrà prevedere 4 postazioni poste in posizione simmetrica. Ai fini dell'abbattimento delle barriere architettoniche l'incarrozzamento a bordo veicolo dovrà avvenire senza l'ausilio di pedane mobili, adottando la soluzione b) art. 5.1.4 della UNI 11174: *La distanza orizzontale fra la soglia delle porte ed il bordo della banchina sarà minore o uguale di 70 mm. La altezza della soglia delle porte ed il piano della banchina dovrà essere compreso tra + 50 e - 20 mm.*

Per il rispetto di tali requisiti è ammesso l'uso di una soglia che sporga rispetto alla sagoma trasversale della cassa secondo quanto previsto dalla UNI 11174 e dalla UNI 7156 del 2014.

Capacità Passeggeri

Il carico utile normale ed il carico utile eccezionale dovranno essere definiti in accordo alla UNI 11174 art. 7.2 ed alla UNI EN 15663 in essa richiamata, pertanto:

- il carico eccezionale dovrà prevedere tutti i sedili fissi occupati, eventuali sedili strapuntini chiusi le postazioni PRM libere ed una densità di passeggeri in piedi pari a 6 pass/m².
- il carico normale dovrà prevedere tutti i sedili fissi occupati, eventuali sedili strapuntini chiusi le postazioni PRM libere ed una densità di passeggeri in piedi pari a 4 pass/m².

In caso di carico eccezionale il numero massimo di passeggeri dovrà essere di almeno 270.

Profilo di Missione

Vita utile: 35 anni

Utilizzo giornaliero: 20/ore giorno Percorrenza annua: 70000 km Velocità commerciale >20 km/h.

B.6- IMPIANTI DI ALIMENTAZIONE E TRAZIONE

B.6.1- Sistema di trazione catenary free

Il progetto prevede un sistema di trazione “catenary free” ovvero un sistema di alimentazione delle vetture senza linea di contatto aerea. Le vetture saranno equipaggiate con un sistema di accumulo di energia a bordo, cosiddetto EoBSS (Energy on Board Storage System), costituito da batterie e supercapacitori, che sarà ricaricato, oltre che durante il ricovero notturno presso i depositi, in corrispondenza dei capilinea e delle cosiddette fermate speciali di ricarica lungo il percorso.

La ricarica avverrà attraverso il pantografo che, in corrispondenza dei capilinea e delle fermate speciali, sarà sollevato fino a raggiungere la barra di contatto rigida integrata nell'architettura delle pensiline.

Le fermate di ricarica ed i capilinea saranno alimentate da sottostazioni elettriche (SSE) di nuova realizzazione che, alimentate dalle cabine MT del gestore del servizio elettrico nazionale, avranno la funzione di trasformare la corrente in corrente continua a 750 V.

B.6.2- Vetture

È previsto l'impiego di vetture a batteria e super capacitori con le seguenti principali caratteristiche:

- ✓ bidirezionali e ibride con la possibilità di marcia sotto linea di contatto aerea o senza linea di contatto continua;
- ✓ autonomia tra le fermate di ricarica circa 2.500 m;
- ✓ tempo medio di ricarica in fermata di 60 sec;
- ✓ tempo massimo ammesso di ricarica ai capilinea 300 sec; per il progetto in esame il tempo di ricarica necessario non supera mai i 200 s.

Un obiettivo del progetto è anche quello di rendere interoperabili i nuovi veicoli tramviari con l'infrastruttura delle linee esistenti, condizione necessaria in quanto il modello di esercizio prevede la percorrenza delle linee esistenti integrate dalle nuove tratte, venendo a costituire un insieme funzionale.

Il Capitolato Speciale d'Appalto prescrive pertanto le caratteristiche prestazionali che dovranno garantire le vetture di nuova fornitura nel caso di marcia sotto catenaria e nel caso di marcia autonoma.

Prestazioni di trazione e frenatura sotto catenaria

Le prestazioni indicate di seguito si riferiscono alla condizione di binario in piano e rettilineo, con veicolo a carico utile eccezionale e con ruote nuove (UNI 11174 art. 9.1), la tensione di alimentazione è di 750 vcc sotto catenaria nelle tratte esistenti.

PRESTAZIONI VEICOLO CON ALIMENTAZIONE DA LINEA AEREA	
Accelerazione massima	1,1 m/s ²
Accelerazione media [0-30 km/h]	1,1 m/s ²
Accelerazione residua a 70 km/h	0,1 m/s ²
Accelerazione su pendenza del 7% con un ramo di motore isolato	0,2 m/s ²
Velocità massima (*)	70 km/h
Massima decelerazione Frenatura di Servizio	1,3 m/s ² (**)
Minima decelerazione Frenatura di Emergenza	2,8 m/s ² (*)
Minima decelerazione Frenatura di Soccorso	1,0 m/s ² (*)
Jerk massimo in trazione e frenatura	1,1 m/s ³
Frenatura solo di tipo elettrica per velocità fino	0 km/h

(*) Il veicolo dovrà essere in grado di effettuare una marcia a velocità limitata (tipicamente 50 km/h); la limitazione di velocità può anche essere fatta non in sicurezza.

(**) Le prestazioni di frenatura sono riferite alla decelerazione equivalente ae come definito nella UNI 11174 art. 9.2 e UNI EN 13452-1

Prestazioni di trazione e frenatura nei tratti senza catenaria

Le prestazioni nei tratti senza catenaria in cui il veicolo trae l'energia per la trazione e gli ausiliari dai sistemi di accumulo a bordo (EoBSS) sono le stesse nei tratti sotto catenaria ad eccezione di:

PRESTAZIONI VEICOLO CON ALIMENTAZIONE A BATTERIA	
Accelerazione massima marcia tesa	0,8 m/s ²
Velocità massima marcia tesa	50 km/h
Massima decelerazione della Frenatura elettrodinamica	0,8 m/s ²

Prestazioni in Condizioni Degradate

Il veicolo con un primo guasto di una stazione di ricarica dovrà essere in grado di eseguire il servizio passeggeri anche in condizioni di carico eccezionale, almeno per arrivare alla successiva stazione di ricarica. In caso di un secondo guasto che generi la perdita del 50% della trazione il veicolo dovrà essere in grado di rientrare in deposito ad una velocità limitata non minor di 30 km/h. Il veicolo con un primo guasto alla frenatura meccanica dovrà essere in grado di eseguire il servizio passeggeri.

B.6.3- Sistema di accumulo di energia a bordo (EoBSS)

Il sistema di accumulo di energia a bordo delle vetture (EoBSS) sarà costituito da due pacchi batteria agli ioni di litio ciascuno composto da due unità da 24,5 kWh per complessivi 98 kWh e da due supercapacitori da 3 kWh ciascuno per complessivi 6 kWh. La ricarica sarà effettuata in corrispondenza dei capilinea e delle fermate speciali di ricarica lungo il percorso, oltre che con l'energia recuperata in frenata. La ricarica del EoBSS avverrà attraverso il pantografo che, in corrispondenza dei terminal e delle fermate speciali, sarà sollevato fino a raggiungere la barra di contatto rigida integrata nell'architettura delle pensiline. Nei terminal e nelle fermate è prevista una ricarica di tipo "rapido" con un'intensità di carica pari a 0,10 kWh/sec, la durata media della

ricarica prevista nelle fermate speciali è di circa 60 sec, fino ad un massimo di 120 sec in corrispondenza della sola fermata Basile, e nei terminal fino ad un massimo di circa 200 sec.

Per le ricariche “rapide”, al fine di evitare fenomeni di degrado delle batterie e non compromettere la durabilità delle stesse, è stato previsto che il range di carica/scarica sia compreso tra il 65 ed il 45% del valore di carica nominale. Durante il ricovero notturno nei depositi è invece prevista una ricarica lenta fino al 100%. Per quanto riguarda i supercapacitori, sono considerati, sempre a tutela della affidabilità e durabilità del sistema, valori di carica compresi tra il 10% e il 90% dei valori nominali.

Le batterie, per le quali è stato preso come riferimento la tipologia Bombardier Primove Battery 50 utilizzate a Nanchino (Cina), sono agli ioni di litio, presentano un contenuto di energia pari a 2 x 24,5 kWh, una tensione nominale di 532 Vcc, una corrente di ricarica pari a 2 x 120 Acc, sono raffreddate a liquido (acqua o glicole). Su ogni veicolo si prevede di installare due gruppi di batterie e ciascun gruppo ha un peso di 660 kg e dimensioni di 1780 x 440 x 610 mm.

La gestione dell'energia a bordo dei veicoli sarà eseguita dal sistema denominato *Power Management* deputato a gestire sia le fasi di ricarica nelle fermate/terminal sia le fasi di prelievo dell'energia.

Le modalità di gestione assicurate dal sistema di Power Management saranno pertanto le seguenti:

- In fase di marcia:
 - la priorità di utilizzo dell'energia accumulata nei supercapacitori per le fasi di stop&go;
 - l'utilizzo delle batterie nelle condizioni di marcia regolare;
- In fase di ricarica:
 - ove è necessario ripristinare il livello di 63,7 KWh delle batterie (65% del valore di targa), cioè sostanzialmente nei terminal, la ricarica delle batterie avverrà a corrente controllata non superiore a 480 A, pari a una energia di 4,256 kWh al minuto, mentre l'intera corrente disponibile sarà utilizzata per la ricarica dei super capacitori; eccezionalmente ma sempre per durate non superiori a 300" potrà essere ammessa una carica extra veloce con correnti fino a 648 A paria auna energia di 5,475 kWh al minuto;
 - ove è necessario rispettare il tempo di ricarica imposto dal piano di esercizio, cioè sostanzialmente nelle fermate, la ricarica avviene privilegiando i SC.
- In ricovero notturno:

la ricarica del pacco batterie avverrà con correnti controllate e livelli di carica secondo le specifiche del produttore. I depositi esistenti consentono, senza modifiche impiantistiche, di eseguire la ricarica delle vetture.

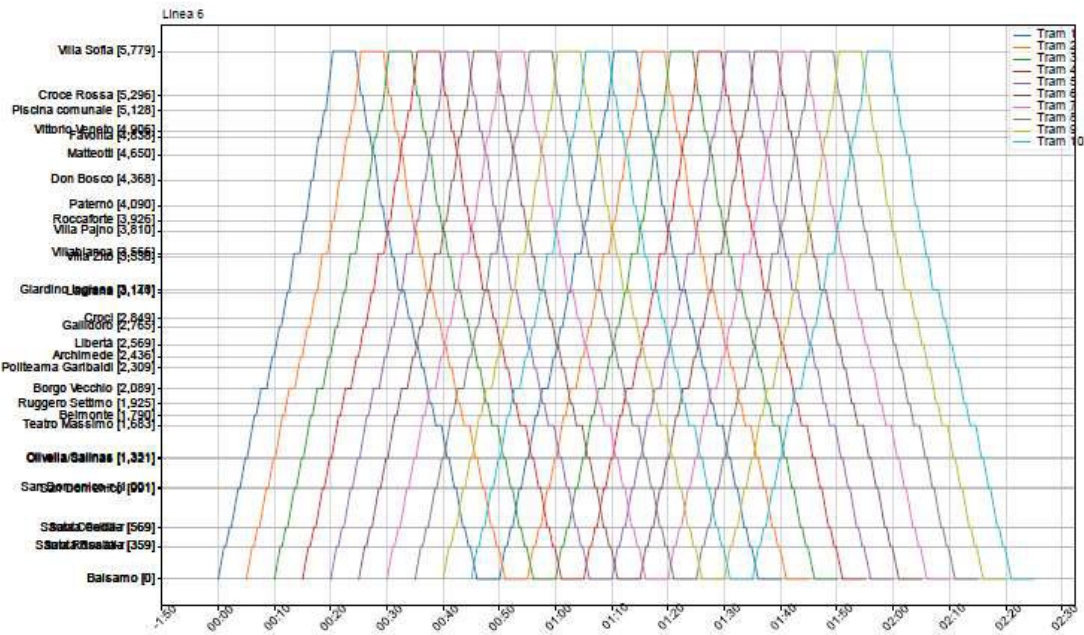
Nel progetto vengono elencate le norme in base alle quali deve essere dimensionato l' EoBSS; in particolare si fa riferimento alla norma IEC 62928:2017 *Railway applications - Rolling stock - Onboard lithium-ion traction batteries*, par. §12 Requisito prestazionale.

La localizzazione delle fermate di ricarica e i tempi di ricarica dell'EoBSS sono stati determinati a partire dal programma di esercizio delle singole linee. A titolo di esempio si riporta di seguito quanto rappresentato per la linea 6.

I dati di esercizio della Linea 6 sono riportati nella tabella seguente:

Linea 6	Indicatore	Unità di misura	ATTUALE	PROGETTO	COMPLETAMENTO
	Estensione della linea	Chilometri		11.73	11.73
	Fermate/stazioni (bidirezionali)	Numero		17	17
	Tempo di giro nell'ora di punta	Minuti		50	50
	Domanda annua	Passeggeri/anno		15 221 700	24 211 980
	Domanda giornaliera	Passeggeri/giorno		58 545	93 123
	Domanda nell'ora di punta	Passeggeri/ora		6 505	10 347
	Carico massimo nell'ora di punta	Passeggeri/ora/direzione		2 404	3 937
	Intertempo nell'ora di punta	Minuti		5	3
	Capacità del materiale rotabile	Posti/veicolo		200	200
	Capacità della linea	Posti/ora/direzione		2 400	4 000
	Materiale rotabile necessario all'esercizio	Veicoli		10	17
	Saturazione	%		100%	98%

Il diagramma orario della linea è di seguito rappresentato:

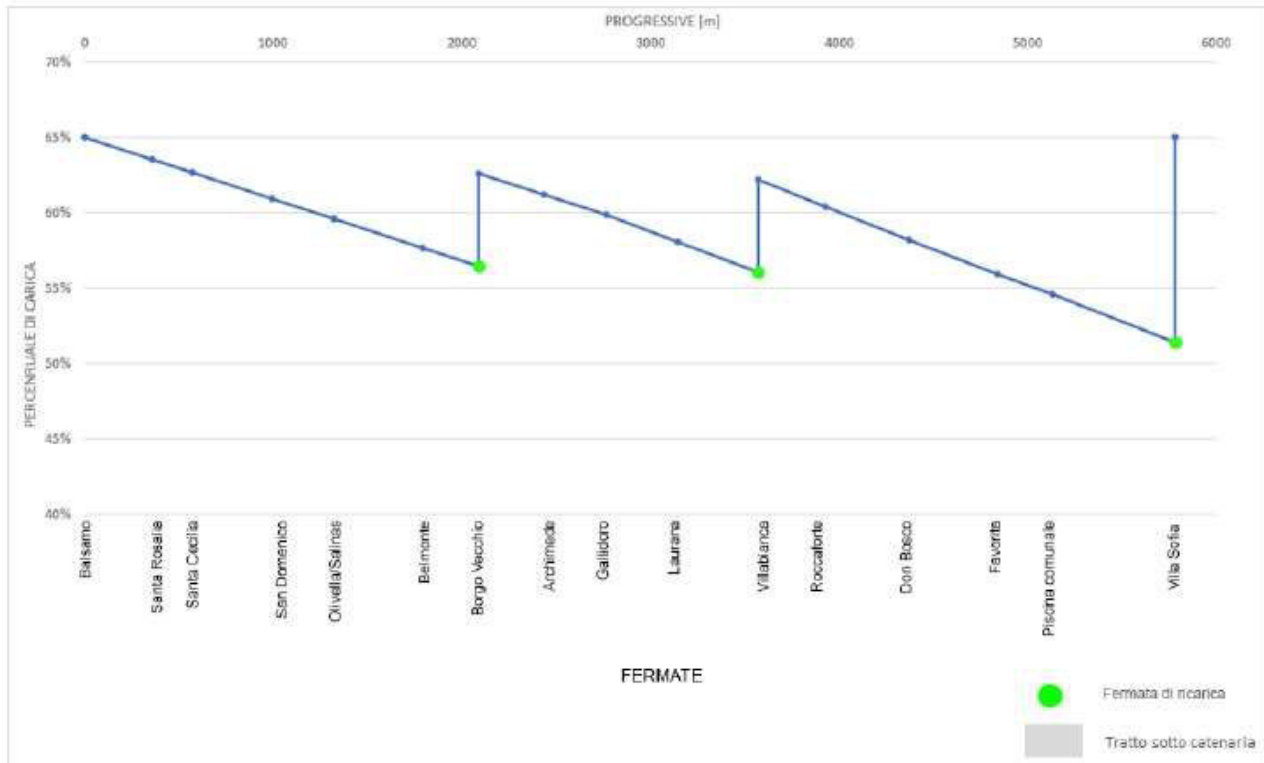


Individuate le caratteristiche dei tratti da percorrere di seguito riportate:

Terminal/fermata		lunghezza
Balsamo	Borgo Vecchio	2.089,88
Borgo Vecchio	Villabianca	1.477,61
Villabianca	Villasofia	2.212,98
Villa Sofia	Giardino Inglese	2.702,00
Giardino Inglese	Teatro Massimo	1.468,29
Teatro Massimo	Balsamo	1.682,24

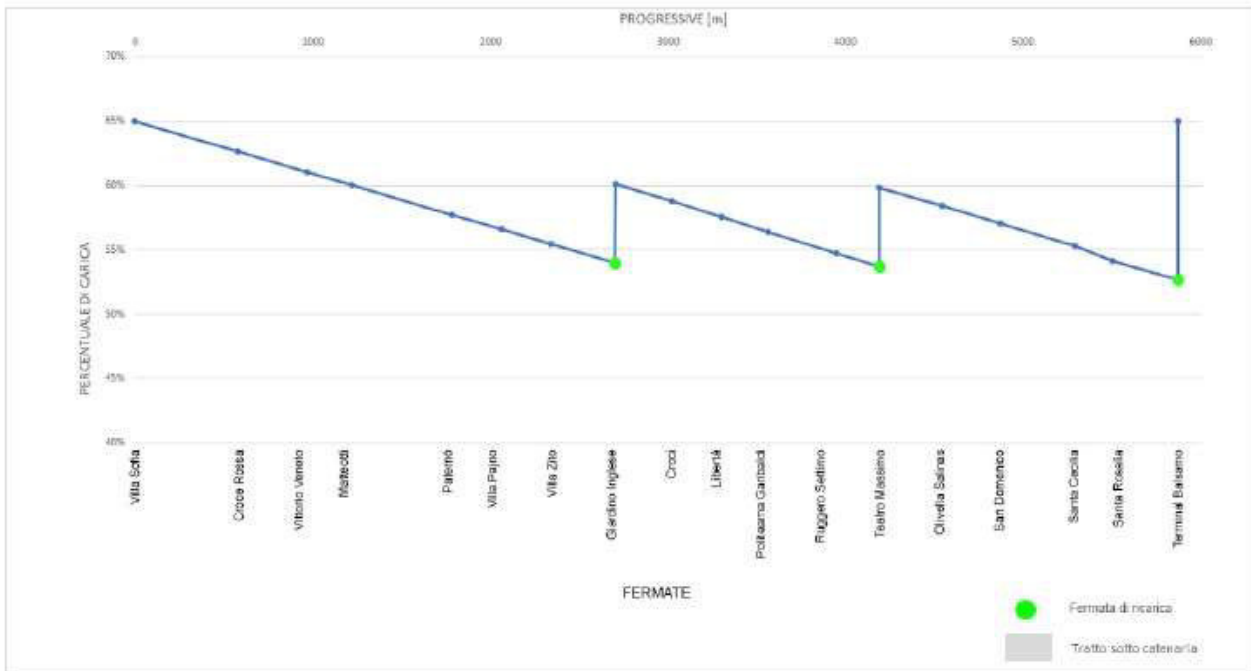
si procede alla progettazione della localizzazione delle fermate e dei tempi di ricarica ipotizzando un consumo standard di 4 Kwh/km e un tempo di ricarica di 6 Kwh/minuto e mantenendo la carica del gruppo batteria fra il 45% e l' 65 % della capacità complessiva.

Direzione Balsamo-Villa Sofia



Linea 6 - andata	Alimentazione	Fermata	Progressive [m]	Pendenze [%]	Consumi [kWh]	Durata ricarica [sec]	Ricarica [kWh]	Livello di carica [kWh]	Percentuale di carica [%]
	EoBSS	Balsamo	0,00	0,00%	0,00	0,00	0,00	63,7	65%
		Santa Rosalia	359,12	-0,80%	1,44	0,00	0,00	62,3	64%
		Santa Cecilia	569,40	-1,70%	0,84	0,00	0,00	61,4	63%
		San Domenico	990,95	0,00%	1,69	0,00	0,00	59,7	61%
		Olivella/Salinas	1.321,42	-1,00%	1,32	0,00	0,00	58,4	60%
		Belmonte	1.790,44	-0,20%	1,88	0,00	0,00	56,5	58%
	Fermata di ricarica	Borgo Vecchio	2089,88	0,00%	0,00	60,0	6,00	61,3	63%
	EoBSS	Archimede	2.436,17	0,00%	1,39	0,00	0,00	60,0	61%
		Gallidoro	2.764,74	-0,50%	1,31	0,00	0,00	58,6	60%
		Laurana	3.141,49	0,80%	1,75	0,00	0,00	56,9	58%
		Villabianca	3.566,49	0,80%	1,97	0,00	0,00	54,9	56%
	Fermata di ricarica	Villabianca	3567,49	0,00%	0,00	60,0	6,00	60,9	62%
	EoBSS	Roccalforte	3.926,49	1,00%	1,72	0,00	0,00	59,2	60%
		Don Bosco	4.368,05	1,20%	2,19	0,00	0,00	57,0	58%
		Favorita	4.838,37	0,80%	2,18	0,00	0,00	54,8	56%
		Piscina comunale	5.127,63	0,60%	1,30	0,00	0,00	53,5	55%
		Villa Sofia	5.779,47	1,00%	3,13	0,00	0,00	50,4	51%
	Terminal	Villa Sofia	5780,47	0,00%	0,00	133,0	13,30	63,7	65%

Direzione Villa Sofia- Balsamo



Linea 6 - ritorno	Alimentazione	Fermata	Progressive [m]	Pendenze [%]	Consumi [kWh]	Durata ricarica [sec]	Ricarica [kWh]	Livello di carica [kWh]	Percentuale di carica [%]
	EoBSS	Villa Sofia	0,00	0,00%	0,00	0,00	0,00	63,7	65%
		Croce Rossa	574,91	-1,00%	2,30	0,00	0,00	61,4	63%
		Vittorio Veneto	965,01	-1,00%	1,56	0,00	0,00	59,8	61%
		Matteotti	1.221,00	-0,80%	1,02	0,00	0,00	58,8	60%
		Paternò	1.781,00	-1,10%	2,24	0,00	0,00	56,6	58%
		Villa Pajno	2.061,00	-0,80%	1,12	0,00	0,00	55,5	57%
		Villa Zito	2.341,00	-0,60%	1,12	0,00	0,00	54,3	55%
	Fermata di ricarica	Giardino Inglese	2.702,00	0,00%	0,00	60,0	6,00	58,9	60%
	EoBSS	Croci	3.021,50	-0,30%	1,28	0,00	0,00	57,6	59%
		Libertà	3.301,50	0,30%	1,19	0,00	0,00	56,4	58%
		Politeama Garibaldi	3.561,50	0,40%	1,12	0,00	0,00	55,3	56%
		Ruggero Settimo	3.945,86	0,50%	1,69	0,00	0,00	53,6	55%
		Teatro Massimo	4.187,29	-0,30%	0,97	0,00	0,00	52,7	54%
	Fermata di ricarica	Teatro Massimo	4.188,29	0,00%	0,00	60,0	6,00	58,7	60%
	EoBSS	Olivella Salinas	4.539,47	-1,30%	1,40	0,00	0,00	57,2	58%
		San Domenico	4.869,94	-1,00%	1,32	0,00	0,00	55,9	57%
		Santa Cecilia	5.291,49	0,00%	1,69	0,00	0,00	54,2	55%
		Santa Rosalia	5.501,77	1,80%	1,14	0,00	0,00	53,1	54%
		Terminal Balsamo	5.869,53	-0,80%	1,47	0,00	0,00	51,6	53%
	Terminal	Terminal Balsamo	5.870,53	0,00%	0,00	120,8	12,08	63,7	65%

B.6.4 – Sottostazioni elettriche (SSE)

Lo scopo delle SSE è quello di trasformare l'energia elettrica fornita da ENEL 20KV c.a. 50 Hz alla tensione di 750 Vcc in corrente continua per alimentare le barre di ricarica poste in alcune fermate e nei Terminal.

Nelle SSE di progetto sono state previste le seguenti apparecchiature:

- QUADRO DI MEDIA TENSIONE
- TRASFORMATORE TE
- TRASFORMATORE SERVIZI AUX

- QUADRO CORRENTE CONTINUA
- QUADRO GENERALE DI BASSA TENSIONE
- GRUPPO STATICO DI CONTINUITÀ (UPS).

Il quadro MT sarà del tipo, isolato in aria, a tenuta d'arco interno. Sarà costituito dallo scomparto interruttore Arrivo Enel, scomparto Misure, scomparto interruttore Protezione Trasformatore TE e scomparto interruttore Protezione Trasformatore Servizi AUX.

Il trasformatore TE sarà del tipo trifase a basse perdite con avvolgimenti inglobati sotto vuoto in resina epossidica e con raffreddamento in aria naturale (AN) e sarà posto entro appositi locali destinati al suo esclusivo contenimento, con le seguenti caratteristiche di tensione e potenza:

- Tensioni nominali:
 - Primario: 20 kV
 - Secondario: 590 – 590 V
- Potenza nominale secondari 950 + 950 kVA.

Il trasformatore Servizi AUX, con isolamento in resina, sarà utilizzato all'interno delle sottostazioni elettriche per l'alimentazione degli impianti di luce, forza motrice, telecomunicazioni e segnalamento.

Sono previsti trasformatori da 250 kVA, del tipo trifase a basse perdite con avvolgimenti inglobati sotto vuoto in resina epossidica e con raffreddamento in aria naturale (AN), posti entro appositi locali destinati al loro esclusivo contenimento.

Il quadro in corrente continua sarà costituito da una serie di scomparti affiancati e destinati alla conversione c.a./c.c. ed all'alimentazione delle linee di trazione. Il comando ed il controllo del quadro in corrente continua saranno effettuati:

- in telecomando;
- in SSE da un quadro scada (nel caso di manutenzione o indisponibilità del telecomando);
- in locale sul fronte quadro (in emergenza, nel caso di indisponibilità del quadro sinottico).

Il quadro in corrente continua tipologico di SSE sarà composto dai seguenti scomparti, opportunamente assemblati tra loro:

- n. 2 scomparti contenenti ognuno un carrello raddrizzatore esafase da 750 kW (l'insieme di due carrelli forma un raddrizzatore dodecafase da 1500 kW principale);
- scomparto sezionatore bipolare motorizzato per raddrizzatore 1 principale;
- n. 1 scomparto negativi e messa a terra rotaie di corsa (dispositivo limitatore di tensione);
- n.2 scomparti alimentatori di linea.

Il quadro generale di Bassa Tensione (QGBT) è costituito da tre sezioni distinte:

- Sezione “Normale”, sbarra QGBT-N, 3F+N 400/230V ca, alimentata da un trasformatore MT/BT “TR-AUX”
- Sezione “Assoluta Continuità”, Sbarra QGBT-AC 3F+N 400/230V ca, alimentata da due UPS in parallelo, con autonomia 120'

- Sezione “Corrente Continua”, Sbarra QGBT-110Vcc e Sbarra QGBT-24Vcc, alimentata da due carica-batterie in parallelo, ingresso 400Vca, uscita /110 - 24Vcc, con autonomia 120’.

Per l’alimentazione delle utenze essenziali di sottostazione è previsto un sistema di alimentazione di continuità in grado di garantire per due ore l’alimentazione trifase a 400 V –50 Hz di tali utenze, in caso di mancanza della tensione di alimentazione. Per garantire un elevato livello di disponibilità, il sistema di continuità sarà costituito da due macchine in parallelo, ciascuna in grado di soddisfare le richieste di energia del carico.

Ciascuna SSE sarà equipaggiata con due UPS ridondati, ciascuno in grado di alimentare l’intero carico. Ognuno dei due UPS è dotato di batteria in grado di alimentare per 1 ora l’intero carico, in questo modo è garantita l’autonomia di 2 ore del sistema di alimentazione. Gli UPS devono essere dotati di bypass interno automatico e bypass manuale. Tutti gli apparecchi di manovra, siano essi posizionati all’ingresso del UPS, sia in uscita, devono sezionare tutte le fasi ed il neutro.

Ciascuna sottostazione è dotata di un sistema di telecontrollo che ne permette il comando, il controllo, la ricezione degli stati e degli allarmi da Posto Centrale.

Dalle S.S.E. si diramano i cavi feeder di alimentazione destinati alle fermate di ricarica, i suddetti sono formati da n. 2 cavi in rame tipo RG16H1R12 1,8/3kV della sezione di 300 mmq con guaina di colore giallo, in uscita da ciascun extrarapido, posati in polifora lungo la sede tramviaria in tubi dedicati. In corrispondenza di ogni fermata di ricarica i cavi vengono derivati in pozzetto e attraverso delle risalite di alimentazione posate all' interno dei profilati delle pensiline raggiungono le barre di ricarica. Sempre dalle SSE partono, per ciascuna alimentazione, anche i cavi del negativo (2+1) del tipo RG16H1R12 1,8/3KV in rame della sezione di 300 mmq con guaina di colore nero posati in polifora lungo la sede tramviaria in tubi dedicati, che raggiungono il pozzetto del negativo situato presso ogni fermata di ricarica e si collegano alla sbarra collettrice equipotenziale; dalla sbarra collettrice il negativo verrà collegato alle rotaie attraverso cavi flessibili ciascuno da 120 mmq. La corrente accettata dal veicolo alla barra di ricarica sarà di 500 A per una potenza di ricarica di circa 375 KW.

Ogni terminal/fermata di ricarica è alimentato da una singola SSE che, a sua volta, è alimentata da una singola cabina di Media Tensione del Gestore della rete elettrica. Nella seguente tabella sono indicate le postazioni di ricarica alimentate da ciascuna SSE:

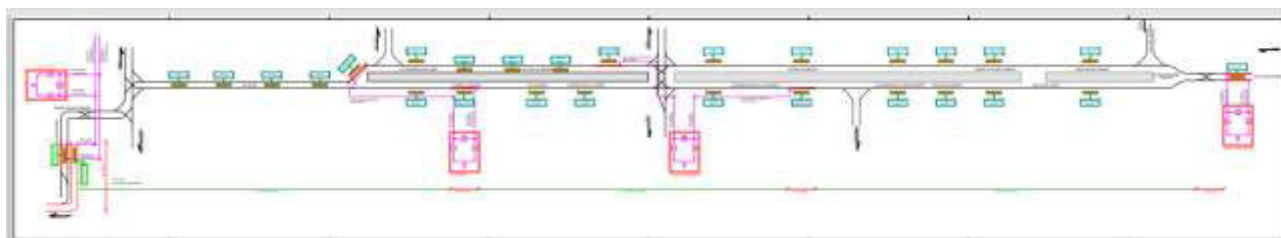
TRATTA	SSE	NOME	TERMINAL/FERMATE
A	SSE 1	Sturzo	Borgo Vecchio
			Teatro Massimo
A	SSE 2	Villabianca	Villabianca
			Giardino inglese
A	SSE 3	Villa Sofia	Villa Sofia 1
			Villa Sofia 2
B	SSE 4	Notarbartolo	Notarbartolo 1
			Notarbartolo 2
B	SSE 5	Giachery	Giachery 1
			Giachery 2
C	SSE 6	Basile	Basile 1
			Basile 2

A/C	SSE 7	Balsamo	Balsamo 1
			Balsamo 2
			Giulio Cesare 1
			Giulio Cesare 2

Il sistema di alimentazione di progetto non prevede ridondanze a livello di consegna né di collegamenti e un eventuale fuori servizio di una SSE (o di una cabina MT del Gestore) determina la mancanza di alimentazione della relativa postazione di ricarica.

L'affidabilità del sistema è garantita dal fatto che le caratteristiche delle SSE, il sistema EoBSS di progetto ed i margini di sicurezza considerati, consentono di affrontare, senza che venga compromesso l'esercizio.

In figura, esempio di alimentazione da SSE



Tutto il sistema di alimentazione MT dovrà essere verificato in sede di progetto esecutivo in relazione alle caratteristiche tecniche effettive delle singole apparecchiature in fornitura.

B.6.5- Barra di Ricarica

La barra di ricarica è costituita da catenaria rigida fissa in profilato di alluminio della sezione di 500 mmq e cavo da 120 mmq per una sezione complessiva della barra di ricarica di 620 mmq . La barra è supportata da bracci che si estendono al di sopra della pensilina raggiungendo l'asse del binario alla quota di progetto. Tale sistema è previsto nei terminal e solo nelle fermate dedicate alla alimentazione di ricarica delle batterie a bordo tram.

L'altezza della linea di contatto di ricarica sarà di 4,70 m dal P.F.

Nelle fermate intermedie di ricarica, quando il veicolo ancora in movimento si viene a trovare sotto la barra, il pantografo si alza automaticamente attraverso il dispositivo RFID ed è in grado di assorbire 6 KWh ogni minuto di sosta che vanno ad integrare la carica delle batterie. Sulle tratte A-B-C le fermate di ricarica sono ubicate opportunamente sul tracciato con passo di circa 2500 m; al termine delle nuove tratte A-B-C, tratte catenary free, il rotabile, attraverso il proprio pantografo, proseguirà la marcia alimentato alla tensione di 750 Vcc della linea di contatto esistente essendo con essa interamente compatibile.

B.6.6 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 (è riconducibile alla Terra di struttura l'eventuale sistema costituito da componenti conduttori longitudinali, normalmente in ferro, annegati nella soletta in cemento armato (o struttura equivalente) a supporto della sede tranviaria.

- Terra Comune Esterna, costituita dalle strutture metalliche interrato 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.

B.6.7 Protezione dai contatti indiretti

A protezione dalle persone contro i pericoli derivanti da contatti con parti conduttrici che, in caso di cedimento dell'isolamento principale possono andare in tensione (masse), vengono predisposte le misure di seguito riportate:

Protezione totale mediante isolamento delle parti attive

Le parti attive devono essere completamente ricoperte con isolamento che ne impedisca il contatto e possa essere rimosso solo mediante distribuzione ed essere in grado di resistere agli sforzi meccanici, termici ed elettrici cui può essere soggetto nell'esercizio.

Protezione totale mediante involucri o barriere

Le parti attive devono essere racchiuse entro involucri o dietro barriere che assicurino almeno il grado di protezione IPXXB o IPXXD nel caso di superfici superiori di involucri o barriere orizzontali se a portata di mano.

Protezione con interruzione automatica del circuito

Questa misura di protezione deve essere adottata in tutti gli altri casi e, vista la classificazione del sistema elettrico, si attua nel seguente modo:

- a) le masse devono essere collegate all'impianto di terra locale a mezzo di apposito conduttore di protezione;
- b) le masse estranee devono anch'esse essere collegate all'impianto di terra mediante conduttori equipotenziali principali;
- c) il conduttore di protezione deve essere separato dal neutro;
- d) tutte le prese a spina di apparecchi utilizzatori per i quali è prevista la protezione contro i contatti indiretti mediante codesta misura di protezione, devono avere il polo di terra collegato al conduttore di protezione. Le protezioni devono essere coordinate con l'impianto di terra in modo tale da assicurare che non possa persistere, per una durata sufficiente a causare un rischio di effetti fisiologici dannosi in una persona in contatto con parti simultaneamente accessibili, una tensione di contatto presunta superiore a 50 V valore efficace in c.a. od a 120 V in c.c.

B.7 IMPIANTI DI SISTEMA

B.7.1 – Posto Centrale Di Controllo

Il progetto prevede l'aggiornamento del PCC della rete tranviaria per il quale sono stati assunti i seguenti principi di base:

- Compatibilità: Il PCC aggiornato deve essere pienamente compatibile con gli impianti delle linee esistenti;

- Migliorare l'operatività della Tranvia: Implementazioni di nuove funzionalità in grado di migliorare una gestione di una rete che aumenta in termini di enti di campo, conducenti e veicoli;
- Cyber: migliorare la protezione dell'infrastruttura IT dei sistemi di gestione agli attacchi Cyber;
- Tecnologie: l'aggiornamento prevede anche un rinnovamento delle tecnologie che realizzano il PCC stesso.
- Nuovo Layout: l'aggiornamento prevede un adeguamento in termini di organizzazione del centro di controllo tale da rendere possibile e semplificare l'esercizio di una rete tranviaria estesa.

In linea con le esigenze dell'operatore nella gestione della rete estesa (considerando l'estensione di FASE I ed eventuali ulteriori estensioni) e con l'evoluzione tecnologica, l'adeguamento del PCC prevede delle nuove funzionalità, quali:

- Gestione Informatizzata e automatizzata della Pianificazione, Turnazione e Reportistica;
- Visualizzazione dell'intera grafica su cartografico;
- Integrazione delle funzionalità localizzazione/Segnalamento e comunicazione radio.

per le quali si rende necessario creare un'apposita Suite SW (interfacciata al sistema di gestione della localizzazione) .

La soluzione integrata consente al gestore di:

- progettare il servizio;
- definire e ottimizzare gli orari;
- ottimizzare i turni macchina e i turni guida;
- creare e ottimizzare l'assegnazione del personale viaggiante.

Il sistema deve essere in grado di fornire i report per analizzare gli scostamenti tra le attività pianificate e quelle realmente effettuate.

L'interconnessione tra le vecchie e nuove linee si raggiunge attraverso una visione cartografica dell'intera rete (funzione conosciuta anche come "Map View"), normalmente visualizzata sui monitor centrali del Video Wall.

Il centro di controllo aggiornato sarà compatibile con i sistemi e gli apparati delle linee esistenti, sia in termini di interfacce che di protocolli di comunicazione.

Tale compatibilità permetterà di mantenere i sistemi attuali così come sono, anche nella fase di estensione della rete, senza l'obbligo di sostituirli.

Le minime misure di protezione informatica che devono essere implementate sono:

- Protezione dei singoli apparati tramite antivirus adeguatamente aggiornati;
- Protezione verso le reti esterne tramite appositi firewall;
- Installazioni di sistema SPIA in grado di detectare eventuali attacchi.

L'aggiornamento del PCC prevede anche un rinnovo dell'HW sia dei Server che delle Postazioni Operatore; è prevista l'installazione di Server di ultima generazione

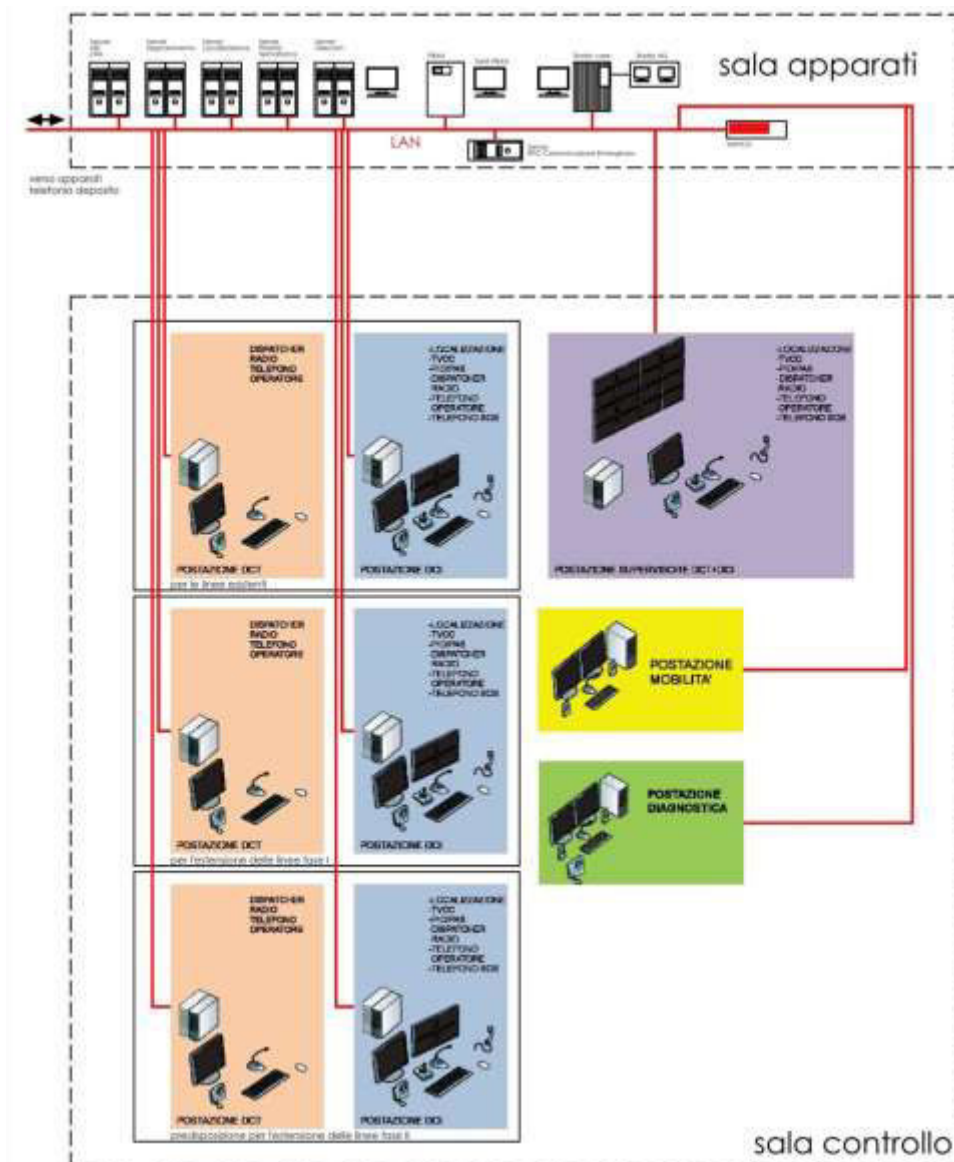
Le seguenti apparecchiature verranno fornite all'interno della Sala Apparati per costruire il Datacenter virtualizzato:

- Nodo / server per ospitare l'hypervisor virtuale e fornire alle macchine virtuali le risorse di elaborazione necessarie;
- Archiviazione per ospitare dati per il sistema di archiviazione centralizzato e fornire alle macchine virtuali lo spazio su disco necessario;
- Dispositivi di rete (switch / router) e dispositivi di sicurezza (firewall);
- Dispositivi di protezione dei dati (ad es. Archiviazione per backup, server per applicazione di backup).

La nuova sala PCC sarà composta da:

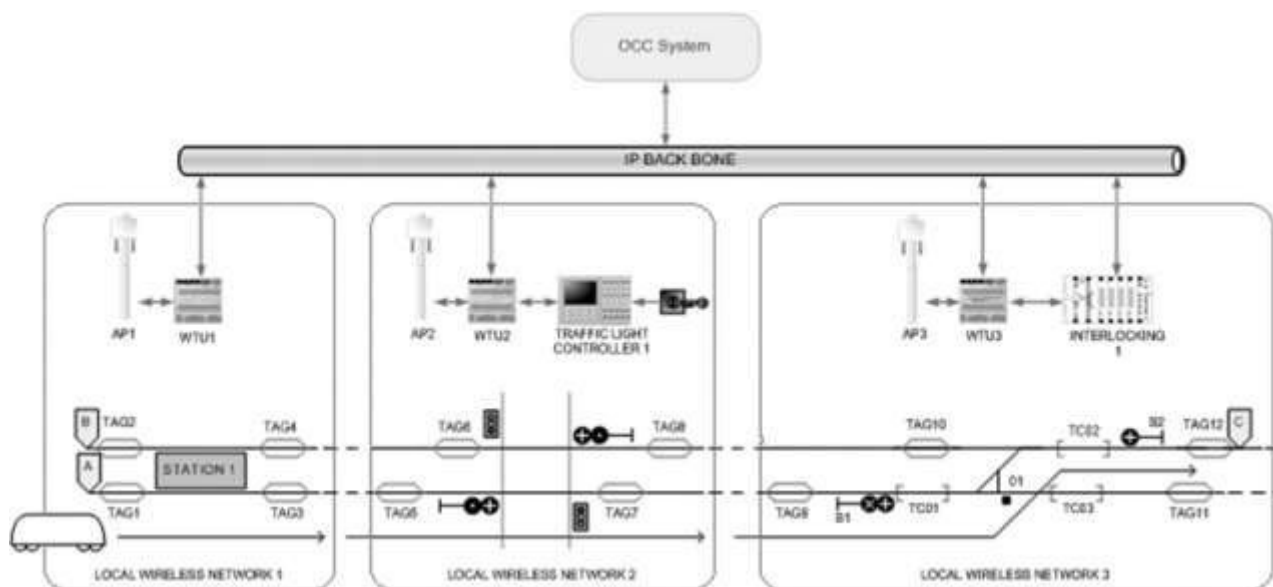
- Postazione operatore DCT (Dirigente Centrale Traffico) per le linee esistenti;
- Postazione operatore DCI (Dirigente Centrale Informazioni) per le linee esistenti
- Postazione operatore DCT (Dirigente Centrale Traffico) per la gestione l'estensione della linea nella fase I
- Postazione operatore DCI (Dirigente Centrale Informazioni) per la gestione l'estensione della linea nella fase I
- Predisposizione della postazione operatore DCT (Dirigente Centrale Traffico) per la gestione l'estensione della linea nella fase II
- Predisposizione della postazione operatore DCI (Dirigente Centrale Informazioni) per la gestione l'estensione della linea nella fase II
- Postazione supervisore DCT+DCI
- Postazione diagnostica
- Postazione mobilità
- Videowall per la visualizzazione unica di tutta la rete tranviaria a tutti gli operatori

Di seguito si riporta lo schema della sala controllo e la dotazione degli apparati.



Il sistema di controllo centralizzato della rete tranviaria, tra le altre, assolverà la funzione di effettuare una analisi dettagliata di ciascun incrocio presente lungo il percorso, la localizzazione dei tram in linea, il distanziamento dei tram lungo linea ed in entrata nei depositi.

Il sistema di comunicazione sarà Wi-Fi, secondo lo schema seguente:



Il Posto di Controllo Centrale inoltre ha lo scopo di:

- svolgere una funzione di controllo e gestione centralizzata di tutto il sistema di diffusione sonora,
- fornire agli operatori la possibilità di effettuare annunci verso le banchine e le SSE

B.7.2 – Sistema di Localizzazione

Il Sistema di localizzazione svolge la funzione di regolazione del traffico tranviario; pertanto si prevedono al posto centrale le seguenti funzionalità:

- azioni di controllo della marcia di ogni tram mediante confronto tra la tabella oraria teorica ed i dati desunti dall'effettiva percorrenza della linea (anticipo/ritardo);
- regolazioni dell'orario (in condizioni di normale esercizio, per minimizzare lo scostamento dalle tabelle orarie teoriche);
- regolazioni di intervallo orario (in condizioni perturbate, per garantire il mantenimento della distanza temporale tra veicoli consecutivi);
- regolazione delle partenze dai capolinea;
- gestione delle corse barrate;
- gestione delle corse per "veicoli non inizializzati (fuori servizio)".

Il rilievo della **posizione** del tram sarà calibrato da un sistema di borchie (TAG) annegate nell'interasse binari che, al passaggio del mezzo, consentono al PCC la precisa localizzazione delle vetture e la verifica conseguenziale della distanza minima.

Un requisito fondamentale per la supervisione della flotta tranviaria è rappresentato dalla possibilità di visualizzare al PCC, sull'interfaccia operatore delle postazioni interessate, la posizione dei convogli tranviari, sia in linea in modo continuo che nei tratti di accesso al deposito, queste per garantire i requisiti prestazionali di sistema ed assicurare i transiti in sicurezza nei tratti singolari di linea .

Le funzioni di localizzazione del veicolo vengono espletate anche in modo continuo attraverso l'utilizzo dell'odometro e/o GPS di bordo e l'infrastruttura radio.

La localizzazione anticipata del tram effettuata lungo linea in corrispondenza delle fermate e degli incroci, mediante i TAG permette di affinare la previsione di arrivo agli incroci semaforizzati con il traffico veicolare e di ottenere l'inserimento, a tempo debito, di una fase tranviaria dedicata nel ciclo semaforico ordinario.

Per ottenere migliori performance del meccanismo della chiamata tranviaria, si prevede di installare due TAG RFID passivi per ogni senso di marcia, in corrispondenza di ogni incrocio semaforico aventi le funzioni di richiesta di priorità e rilascio.

Inoltre, al termine della corsa, nelle aree di carico e scarico dati, il veicolo trasferisce al Posto Centrale di Controllo i dati utili per la manutenzione ed archiviazione statistica. Il sistema di Posto Centrale gestisce l'invio real time delle informazioni di allarme da bordo tramite il sistema radio (ad es. fault di odometro, allarme apertura porte, uomo morto, etc.).

B.7.3 – Impianto di Segnalamento

Gli impianti di segnalamento “in campo” garantiscono l'attuazione delle seguenti funzioni:

- il rilevamento passivo dei convogli in modo sicuro;
- la ricezione delle richieste di attuazione;
- la prenotazione delle richieste;
- il controllo e predisposizione dei segnali di protezione scambi;
- la verifica delle rotte;
- il blocco delle rotte conflittuali con verifica su matrice di sicurezza;
- la manovra deviatoi (elettrici);
- l'attuazione delle rotte richieste.

A questa sequenza logica corrisponde una struttura di macchina che prevede sempre una ridondanza di controlli con logica di controllo basata su microprocessori con livello di sicurezza SIL3.

Controllo rotte

Il Sistema di segnalamento tranviario permette il controllo e comando delle casse di manovre per gli scambi presenti lungo linea e di accesso al deposito / capilinea. Il tram quando in approccio al deviatoio (area di comando delimitata dalla posizione di un TAG) invia, in automatico o manuale, la richiesta di rotta.

Il TAG ed il segnale sono distanziati in funzione della visibilità del segnale e della zona scambi, della velocità teorica d'approccio, degli spazi di frenata del veicolo e del tempo necessario al sistema per azionare il deviatoio. La richiesta comporta la fase di verifica della via e delle rotte conflittuali in funzione dell'acquisizione dello stato degli enti e della verifica della matrice di conflittualità terminata la quale, per l'esecuzione della rotta, l'interlocking provvede a:

- comando: posizionare il deviatoio in conformità alla rotta richiesta;
- elaborazione: verificare dalla matrice di sicurezza che la posizione assunta dal deviatoio sia conforme con la richiesta ricevuta

Al termine delle suddette operazioni l'interlocking si pone in stato di bloccato e la cassa di manovra è bloccata (bloccamento); il tram può impegnare il deviatoio e, non appena viene rilevato dal CDB, l'interlocking provvede a posizionare il segnale di via impedita in modo tale che un eventuale tram in accodamento non possa impegnare indebitamente l'area; il segnale si riporta nello stato di libero

quando il tram transita sul CDB a valle della cassa di manovra. Nel progetto si rileva che invece del CDB si potrebbe utilizzare un sistema contaassi.

Gestione delle tratte a singolo binario

Per la gestione dei movimenti nelle tratte a semplice binario, la linea è attrezzata con dispositivi tali da garantire la marcia dei veicoli in sicurezza. I principali dispositivi sono i seguenti:

- cassa di manovra tallonabile con ritorno a molla;
- segnale di blocco;
- TAG
- dispositivo di rilevamento veicoli nella tratta (CDB/contaassi).

La condizione di riposo prevede che entrambi i segnali a protezione della tratta a singolo binario siano disposti a via impedita. Il primo veicolo passando sul TAG invia la richiesta della rotta poi passando sul rilevatore di presenza, comunica al sistema di segnalamento la sua presenza; il sistema, verificata la libertà della tratta da altri veicoli, dispone il segnale di blocco a via libera. Un secondo veicolo, proveniente in senso opposto, comunica con le stesse modalità del primo il passaggio in fermata; in questo caso, però, l'aspetto del segnale di blocco rimane a via impedita fintanto che il primo veicolo non ha abbandonato completamente la tratta controllata dal sistema di rilevamento a CDB/contaassi. Nell'ipotesi che un veicolo non rispetti l'aspetto del segnale (a via impedita), gli opportuni sistemi di rilevazione di terra, installati in prossimità dei segnali di blocco, comunicano a bordo il superamento indebito dello stesso segnale, e attivano la frenatura di emergenza.

B.7.4 – Sistema di Regolazione e Supervisione Semaforica

Tramite controllo centralizzato è prevista la gestione efficiente dell'attraversamento degli incroci semaforizzati, con richiesta di priorità automatica da parte del veicolo in approccio. In virtù di ciò è previsto un impianto di priorità semaforica in grado di ricevere dall'impianto di localizzazione sia le previsioni di arrivo dei mezzi localizzati, sia i segnali di input da inviare al regolatore semaforico per far predisporre la semaforizzazione stradale in modo da favorire il mezzo pubblico, dopo aver rilevato l'approccio del tram all'incrocio.

La richiesta di priorità deve chiamare in esecuzione la fase tranviaria all'interno del ciclo semaforico rispettando i vincoli esistenti di minimo tempo di verde sulla direzione incrociante e minimo tempo di sgombero dell'incrocio da parte dei mezzi stradali.

La priorità semaforica consente all'Esercente di tendere all'obiettivo principale dell'esercizio che è quello di garantire il rispetto dell'orario teorico, sia per fornire un servizio regolare agli utenti, sia per mantenere invariata la propria organizzazione interna in termini di veicoli circolanti e di personale viaggiante.

B.7.5 – Sistema Radio

Il sistema di comunicazione radio utilizzato, impiega la stessa rete radiomobile TETRA già adottata per le linee esistenti, opportunamente ampliata e potenziata; in tal modo viene garantita la piena compatibilità ed interoperabilità tra gli utenti delle linee tranviarie.

Il sistema di comunicazione radio è composto dal:

- sistema centrale: formato dalla centrale SCN, dal sistema di gestione NMWS e dalle

- postazioni operatore radio esistenti;
- sistema Radio di Terra: formato da Stazioni Radio Base (SRB) che garantiscono la copertura agli apparecchi radio mobili e veicolari;
- sistema Radio Mobile: formato dagli apparati radio mobili e dagli apparati veicolari installati a bordo dei tram, che consentono la comunicazione in fonia del tipo half e full-duplex fra il tram ed il PCC ed anche la comunicazione dati sempre tra il tram e il PCC.

La rete provvede alla selezione automatica in accesso dei terminali. I terminali sono serviti indipendentemente dalla loro posizione lungo le linee tramviarie. In particolare il sistema è progettato per consentire, lungo l'intero sviluppo della linea:

- comunicazioni in fonia tra utenti mobili e il PCC;
- servizio di trasmissione dati;
- trasmissione dati di localizzazione tra le radiomobili a supporto del sistema AVLS (Automatic Vehicle Location System).

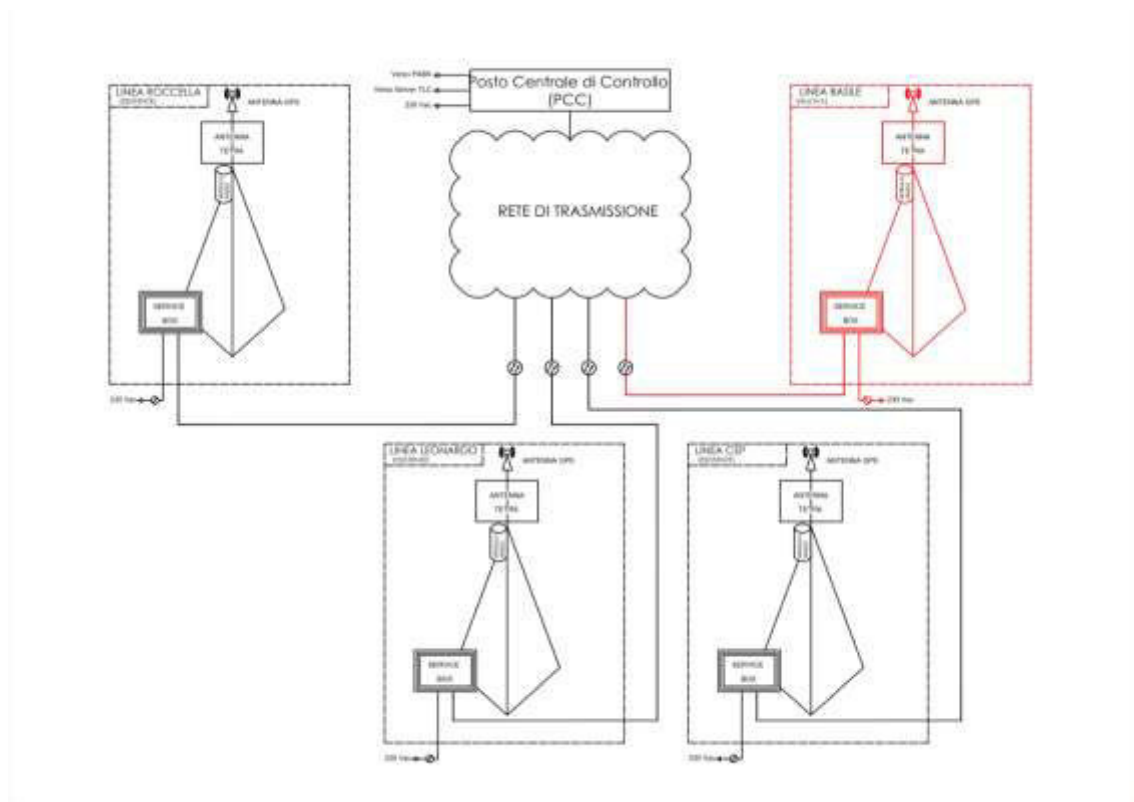
Funzionalmente saranno possibili, le seguenti tipologie di comunicazione in fonia:

- da terra verso il conducente (radio veicolare);
- selettiva;
- di gruppo;
- generale;
- da utente telefonico (tramite interfaccia al PABX);
- dal conducente verso terra:
- tra tram e PCC;
- tra tram e tram (mediante PCC);
- tra tram e squadre di servizio;
- ascolto discreto (in emergenza) della fonia in cabina da PCC;
- verso un utente telefonico (tramite interfaccia al PABX).

I siti remoti sono dedicati al posizionamento delle stazioni radio base e la loro localizzazione, nelle zone circostanti l'estensione delle linee tramviarie, la posizione è determinata in base ai requisiti di radiocopertura che si ritengono necessari per il raggiungimento dei corretti livelli di servizio.

Allo stato attuale del progetto si prevede che per estendere gli attuali requisiti di copertura alle nuove tratte si deve installare un nuovo sito radio base in aggiunta a quelli già esistenti.

In figura è riportato uno schema a blocchi di dettaglio in cui si evidenzia l'architettura del Sistema Radio proposto, nelle sue componenti fisse:



Architettura Sistema Radio

Nel nuovo sito remoto è presente una stazione radio base così composta:

- N°1 modulo radio a singola portante, con ricezione in diversità di spazio
- N°1 Service Box, con funzioni di controllo
- N°1 Convertitore Elettro/Ottico

All'interno di ciascun tram è presente una radio veicolare, che permette l'interfaccia tra il Sistema di Bordo e la rete TETRA di terra.

I terminali portatili devono essere utilizzati dal personale di manutenzione lungo le linee tranviarie. I portatili devono lavorare all'interno della banda 450-470 MHz ed interagire direttamente con la rete TETRA di terra: le caratteristiche dei terminali garantiscono un'ottima qualità dei servizi voce e dati (SDS), all'interno delle zone di copertura portatile outdoor lungo l'estensione delle linee tranviarie.

B.7.6 – Sistema di Videosorveglianza, info e comunicazioni di Banchina

L'impianto di TVCC ha lo scopo di consentire la videosorveglianza delle fermate dislocate lungo la linea tranviaria da parte del personale operante presso il Posto di Controllo Centrale (PCC).

Ciò ha il 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 fa delle immagini selezionate dagli operatori del PCC.

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

- il centro è costituito dall'insieme delle apparecchiature di supervisione del sistema stesso collocate nel Posto di Controllo Centrale (PCC);

- la periferia dall'insieme delle apparecchiature TVCC dislocate nelle fermate del percorso tranviario.

Il sottosistema è gestito normalmente dal server del Sistema di Telecontrollo del PCC ed in condizioni degradate dal Degraded Mode Terminal (DMT) relativo.

Nelle fermate saranno installate una o più telecamera per ciascuna banchina, in grado di tenere sotto controllo visivo tutta l'area della fermata medesima.

I due parametri fondamentali che caratterizzano l'architettura periferia-centro dell'impianto TVCC in oggetto, sono: la digitalizzazione delle informazioni video e il loro trasporto su rete IP.

L'impianto Pannelli a Messaggio Variabile è composto da un sottosistema di fermata gestito dal sistema di Telecontrollo del Posto Centrale di Controllo (PCC), sulla base delle azioni degli operatori e delle informazioni provenienti dai sottosistemi Sistema Automatico di Locazione Veicolo (AVLS).

Il sottosistema è gestito normalmente dal server del Sistema di Telecontrollo del PCC ed in condizioni degradate dal Degraded Mode Terminal (DMT) relativo.

Esso è utilizzato per inviare informazioni testuali agli utenti indicando loro tempi di arrivo o di partenza dei tram, destinazione, condizioni di emergenza, ritardi, ecc.

Tutte le informazioni di routine sono inviate senza l'intervento dell'operatore di centro in quanto l'impianto di PCC genera automaticamente i messaggi partendo da informazioni provenienti da AVLS.

L'Impianto di Diffusione Sonora è inserito nella struttura di telecontrollo della tramvia. L'impianto di diffusione sonora di linea ha lo scopo di consentire l'invio di annunci sonori registrati o dal vivo, da parte del personale operante presso il Posto di Controllo Centrale, in punti di diffusione quali:

- banchine di fermata, per fornire all'utenza informazioni sia sul traffico dei treni che di sicurezza,
- SSE, per fornire informazioni di servizio o di sicurezza al personale operativo.

La diffusione nelle fermate dei messaggi audio, sarà possibile in tre modalità:

- Automatica: In modalità automatica verranno diffusi nelle fermate messaggi in accordo con gli eventi generati dal sistema di localizzazione veicoli.
- Manuale: In questa modalità ogni operatore avrà la possibilità di selezionare dalla sua postazione un messaggio audio da diffondere nelle stazioni. Le priorità sono gestite dal sistema di telecontrollo di PCC.
- Dal vivo: In modalità live ogni operatore può diffondere messaggi dal vivo verso le fermate selezionate.

La comunicazione fra il centro e la periferia è in TCP-IP ed è garantita dalla presenza di una rete Multiservizio Gigabit Ethernet.

Nelle fermate sarà installata una coppia di diffusori sonori per ciascuna banchina, per consentire l'ascolto dei messaggi in tutta l'area della fermata stessa.

I due parametri fondamentali che caratterizzano l'architettura periferia-centro dell'impianto di Diffusione sonora sono: la digitalizzazione dei segnali audio e il loro trasporto su rete IP.

B.7.7 - Sistema di sincronizzazione oraria

L'impianto di Sincronizzazione Oraria SO è composto da un sottosistema di fermata gestito dal sistema di Telecontrollo del Posto Centrale di Controllo (PCC).

L'impianto di fermata è costituito da un orologio per ogni piattaforma. Le fermate tramviarie che avranno i binari appartenenti ad un solo verso di marcia, avranno un solo orologio, contrariamente alle fermate che hanno i binari con doppio senso di marcia con doppia o singola banchina.

B.8 ULTERIORI IMPIANTI

B.8.1- Impianti Luce e Forza Motrice

Le linee elettriche saranno posate all'interno di polifore interrate, e attestandosi ad un quadro elettrico di fermata dotato di comandi e protezioni per l'alimentazione dei circuiti e delle utenze della fermata stessa (obliteratrici, distributori biglietti, sistemi di telecomunicazione, impianti d'allarme, apparati IS, sezionatori di linea, illuminazione esterna generale e d'emergenza).

B.8.2 - Impianti fotovoltaici

E' prevista l'installazione di 29 impianti fotovoltaici su terminal e fermate con una produzione annua media stimata di circa pari a 3.500 kWh/anno.

B.8.3 - Impianto antincendio

Le SSE sono dotate di impianto rilevazione incendi autonomo. I componenti previsti sono stati scelti in relazione alle condizioni ambientali, alla natura dell'incendio nella sua fase iniziale, alla configurazione geometrica dell'ambiente sorvegliato, ed in particolare:

- *rivelatori di fumo ottici* (effetto Tyndall) installati a soffitto
- *rivelatori di fumo ottici* (effetto Tyndall) installati sotto pavimento galleggiante e relativi ripetitori ottici di fumo a parete
- *avvisatori manuali di rottura vetro* ubicato in corrispondenza dell'uscita
- *dispositivi di allarme incendio* dislocati all'interno ed all'esterno del fabbricato
- *centrale di controllo e segnalazione* installata all'interno del fabbricato.

La centrale, del tipo a microprocessore, con l'impiego di dispositivi di rilevamento e segnalazione indirizzabili, permette di identificare in modo univoco il dispositivo intervenuto. Tale informazione è visualizzata sul display della centrale stessa (stringa di almeno 128 caratteri su display LCD retroilluminato). La distribuzione, che ha origine dalla centrale, è realizzata in cavo.

I dispositivi di rilevamento fumo, calore e gas sono distribuiti in modo che l'allarme di un principio di incendio sia immediatamente rilevato e trasmesso alla centrale. In modo analogo, i dispositivi ottici ed acustici sono dislocati in modo da raggiungere le eventuali persone presenti.

La centrale è inoltre dotata di alimentazione indipendente costituita da pacchi batteria in grado di alimentare il sistema per almeno 72 ore in caso di anomalia del sistema di alimentazione.

B.8.4 - Impianto antintrusione

In tutte le Sotto Stazioni Elettriche è presente un impianto antintrusione.

L'impianto, gestito da una centrale funzionalmente autonoma ed autoalimentata che si interfaccia con il sistema di supervisione e controllo SCADA è, essenzialmente, costituito dai seguenti sottosistemi:

- unità centrale;
- sensoristica di campo;
- anelli di trasmissione dati.

La centrale dialoga con i sensori collegati ad essa tramite una configurazione loop chiuso tra la centrale ed i sensori periferici.

L'impianto comprende i seguenti componenti principali:

- centrale antintrusione, gestione e segnalazione allarmi;
- rivelatori doppia tecnologia;
- contatti magnetici;
- lettori di badge.

C- ATTIVITA' GRUPPO DI LAVORO

A seguito dell'avvio dell'attività istruttoria sul progetto definitivo dell'intervento in argomento questo Ufficio ha ritenuto opportuno istituire un Gruppo di Lavoro, nell'ambito del Comitato Tecnico Permanente per la sicurezza dei sistemi di trasporto a impianti fissi, in considerazione del fatto che il progetto prevede, eccezionalmente rispetto ai sistemi tranviari attualmente esistenti in Italia, su tutte le linee in ampliamento della rete tranviaria (A,B,C, oggetto del progetto definitivo in argomento e D,E,F,G, oggetto del PFTE ammesso a finanziamento sul Fondo Investimenti e sul PNRR, di lunghezza totale pari a circa 66 km di nuova infrastruttura, misurata a singolo binario) un esercizio “catenary free”.

Il gruppo di lavoro in argomento ha esaminato, nello specifico, gli aspetti connessi all'alimentazione dei veicoli tranviari e, a seguito di tale esame, ha evidenziato al Comune la necessità di alcuni chiarimenti e integrazioni che sono elencati di seguito con i riscontri forniti dal progettista:

MOTIVAZIONI DELLA SCELTA “CATENARY FREE”

- Fornire le specifiche motivazioni, e le valutazioni a supporto sviluppate da parte del Comune di Palermo, a giustificazione della scelta di non realizzare la catenaria sull'infrastruttura connessa alle linee A,B, C, oggetto del progetto definitivo in istruttoria, e alle linee D,E,F,G, oggetto del PFTE presentato ai sensi dell'Avviso n. 1.

Risposta del progettista

Il Comune di Palermo con lo “Studio di Fattibilità per l'ampliamento del sistema tranviario della città di Palermo”, redatto nell'aprile 2016, ha previsto che venisse introdotta, per l'alimentazione delle nuove tratte tranviarie, una soluzione catenary free con vetture bidirezionali, dotate di pantografo e idonee anche alla marcia sotto catenaria. Tale condizione è stata posta a base del concorso internazionale di progettazione dal quale sono scaturiti il Progetto di Fattibilità Tecnico Economica, diviso in due parti, e successivamente il progetto definitivo delle tratte A, B e C oggi in esame. La soluzione catenary free individuata dall'Amministrazione Comunale ed in particolare la soluzione che prevede sistemi di accumulo di energia a bordo, rappresenta la tendenza delle nuove infrastrutture tranviarie di tutto il mondo come rappresentato nella seguente immagine tratta dallo studio “Catenary-Free Tramway Systems: Functional and Cost–Benefit Analysis for a Metropolitan Area” di Marco Guerrieri. In sede di concorso di progettazione è stato effettuato un confronto tra i costi di costruzione e gestione su 20 anni tra i sistemi con accumulo di energia a bordo (EoBSS) ed i sistemi con alimentazione continua dal basso che dimostra come i primi siano più vantaggiosi. Tale analisi è riportata nel Progetto Definitivo.”

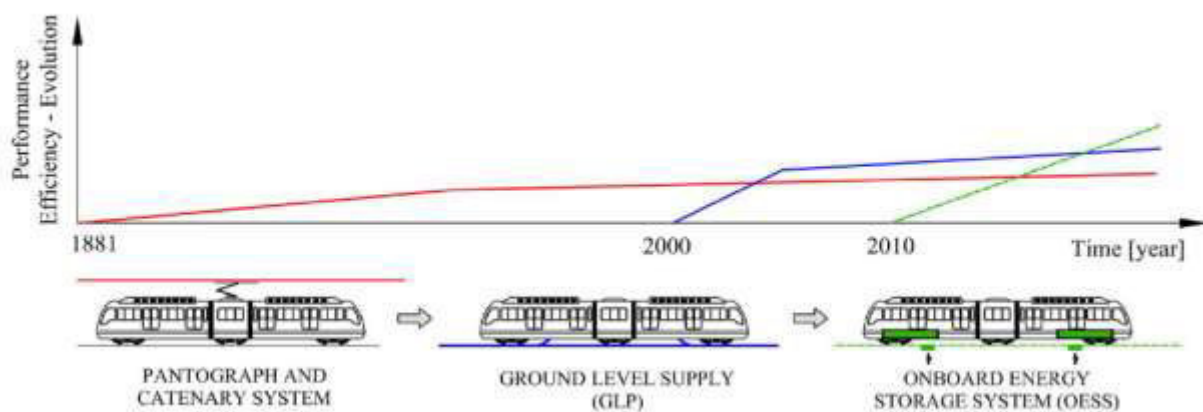


Figura 1 – Diagramma orario della Linea 4

- A tale proposito si chiede se, nell'effettuare tale scelta, siano stati assunti a riferimento sistemi già in esercizio aventi analoga configurazione.

Risposta del progettista

I sistemi catenary free con dispositivi di accumulo di energia a bordo sono sempre più diffusi in tutto il mondo e, come sta accadendo per il settore automotive, costituiscono indubbiamente il futuro dell'alimentazione elettrica dei sistemi di trasporto pubblico. Alcuni dei costruttori, con le note di riscontro allegate, hanno confermato di aver sviluppato sistemi catenary free basati su tecnologie ritenute analoghe a quella del progetto definitivo, fornendo alcuni esempi dei principali sistemi oggi in esercizio di cui si riporta il seguente elenco non esaustivo:

- *Sevilla (Spagna) in servizio dal 2010 con 5 vetture;*
- *Zaragoza (Spagna) in servizio dal 2011 con 21 vetture;*
- *Nanchino (Cina) in servizio dal 2014 con 15 vetture e 17 km catenary free;*
- *Guangzhou (Cina) in servizio dal 2014 con 7.7 km catenary free;*
- *Kaohsiung (Taiwan) in servizio dal 2015 con 9 vetture e 8.4 km catenary free;*
- *Granada (Spagna) in esercizio dal 2017 con 13 vetture;*
- *Lussemburgo in esercizio dal 2017 con 21 vetture;*
- *Birmingham (UK) in servizio dal 2019 con 21 vetture;*
- *Newcastle (Australia) in servizio dal 2019 con 5 vetture;*

Sistemi di tipo catenary free sono inoltre previsti in numerosi progetti di nuove reti tranviarie (ad es. nelle città Paramatta in Australia e di Liege in Belgio) ed in particolare nelle città di Bologna e di Firenze dove, tra l'altro, la società Hitachi ha in corso la modifica di vetture SIRIO di costruzione Ansaldo per renderle compatibili con tratti catenary free.

VERIFICA DEL DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA DI ALIMENTAZIONE

Nel progetto è presente un documento denominato "Relazione di esercizio" 01 GEN REL X 060 C che da evidenza delle fasi di carico e scarico delle batterie lungo le linee in progetto.

In tale documento sono riportati alcuni elementi su cui si richiedono i seguenti approfondimenti:

- Fornire elementi esplicativi sul fatto che il ciclo di carica e scarica della batteria venga mantenuta tra il 45 e 65% del valore massimo, chiarendo in particolare se questo campo è

legato alla specifica tecnologia impiegata per le batterie o deriva da considerazioni legate alla durabilità, all'efficienza, o ai tempi di ricarica.

Quanto sopra appare comunque in contrasto con quanto asserito in merito alla previsione di una ricarica notturna "a fondo" e, pertanto, si chiedono conferme in merito a tale ipotesi di ricarica.

Risposta del progettista

Secondo i principali produttori di batterie agli ioni di litio sono consigliati valori di carica compresi tra il 20% e l'80% dei valori nominali poiché, al di fuori di questi valori, si generano fenomeni di degrado delle batterie stesse riducendone l'efficienza e la durabilità. Al superamento del limite inferiore può, infatti, verificarsi il deterioramento dell'apparecchiatura con riduzione della vita utile mentre la carica oltre il limite superiore, che secondo le specifiche di alcuni produttori va comunque eseguita periodicamente, deve avvenire a correnti limitate e, pertanto, con tempi più lunghi di quelli consentiti alle fermate di ricarica. Rispetto ai suddetti limiti, così come indicato per il sistema di alimentazione del tram di Nanchino preso come riferimento per la progettazione, sono stati considerati ulteriori margini di sicurezza, individuando come range ottimale di funzionamento quello compreso tra il 65 ed il 45% del valore nominale delle batterie. Tale scelta permette di tenere conto di un'eventuale perdita di prestazioni delle batterie rispetto all'autonomia di inizio vita e, in caso di fuori servizio di uno o più punti di ricarica, di garantire una riserva di energia sufficiente per raggiungere la stazione di ricarica più vicina senza utilizzare mai la batteria sotto il 20%.

Infine, aver considerato ampi margini di sicurezza per il dimensionamento del sistema di accumulo costituisce una scelta progettuale finalizzata ad assicurare la fattibilità del sistema, lasciando quanto più spazio possibile alle migliorie che verranno proposte con il progetto esecutivo redatto dal fornitore a seguito dell'espletamento della gara.

Mentre i terminal e le fermate, come illustrato in progetto, sono dimensionati per una ricarica di tipo "rapido", la ricarica notturna, salvo diverse indicazioni del costruttore delle batterie, sarà invece di tipo "lento" (intensità di ricarica $< 0,025$ kWh/sec), condizioni in cui, secondo alcuni produttori di sistemi accumulo (vedi Tesla), è possibile e consigliato raggiungere il 100% del livello di carica.

Per tale motivo le modalità di ricarica "lenta" dovranno essere dettate dal costruttore degli accumulatori che sarà individuato nella fase di progettazione esecutiva. Il Progetto Definitivo in esame ha verificato esclusivamente la fattibilità della ricarica fino al 100% del valore di targa, senza necessità di interventi sui depositi esistenti. A vantaggio di sicurezza le simulazioni del piano di esercizio prevedono comunque, alla partenza da ogni terminal, che il livello di carica delle batterie sia pari al 65%, indipendentemente dal livello di carica raggiunto nei depositi.

- Fornire una valutazione di compatibilità tra l'esercizio del sistema di trasporto rapido di massa in oggetto e il tempo di ricarica in fermata previsto di ben 120 secondi, con inevitabile riduzione della velocità commerciale;

Risposta del progettista

Si conferma che il piano di esercizio è stato redatto tenendo conto dei tempi di ricarica previsti in ogni singolo terminal e fermata. Il tempo massimo di ricarica in fermata è previsto di 60 sec in tutte le fermate di ricarica ad eccezione della sola fermata Basile della linea 4, per la quale è stata prevista una durata di 120 sec. La velocità commerciale della linea 4 è di 16,26 km/h e, come rappresentato nel relativo diagramma orario, è stata determinata tenendo conto dei tempi di sosta nelle singole fermate che per la fermata Basile è appunto pari a 120 sec. La fermata Basile è infatti ubicata in corrispondenza del polo universitario, di un ampio parcheggio di interscambio e del terminal dei trasporti su gomma extraurbani provenienti dalle aree centro orientali della Regione, svolgendo pertanto la funzione di fermata strategica dove la maggiore durata della sosta è legata esclusivamente alla specificità della fermata. Si è pertanto prevista una durata della ricarica pari al tempo della sosta, anche se un tempo di ricarica più breve, analogo a quello delle altre fermate, sarebbe comunque sufficiente a mantenere il livello di carica dell'EoBSS entro i limiti prefissati nelle simulazioni

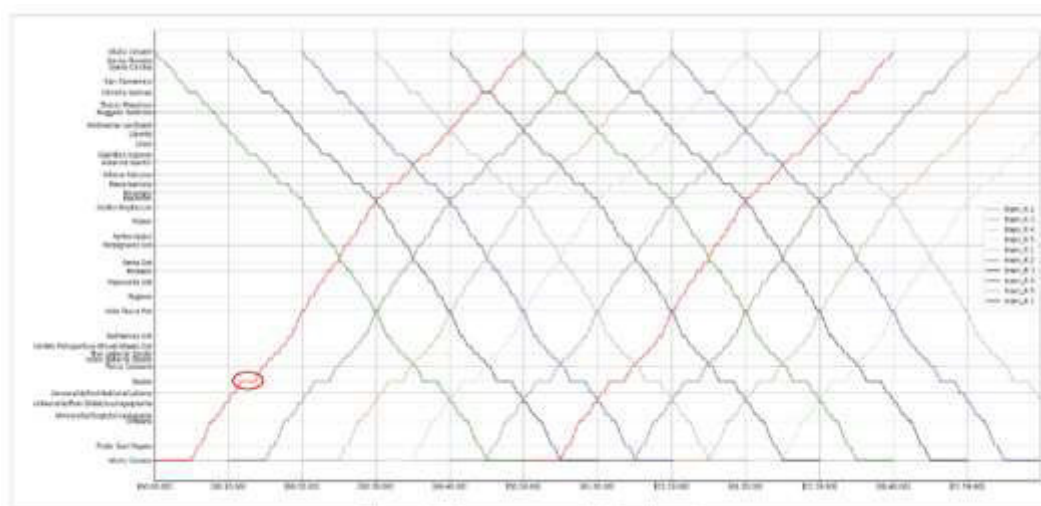


Figura 2 – Diagramma orario della Linea 4

- Chiarire se nelle elaborazioni effettuate si sia tenuto conto dell'aumento delle frequenze a seguito dell'ampliamento della rete con le tratte già finanziate D,E,F,G (intertempo dell'ordine di 3 minuti sulla linea 6); peraltro nel documento si parla di "tempo di ricarica al terminal" di 300 secondi, il che contrasterebbe con l'intertempo di 3 minuti previsto su alcune linee.

Risposta del progettista

Le durate della ricarica ai terminal e alle fermate indicate nelle simulazioni sono coerenti con i piani di esercizio della presente fase e di quella di ampliamento della rete e tengono conto del previsto aumento delle frequenze. In particolare per la linea 6, per la presente fase di entrata in esercizio delle tratte A, B e C, è previsto un servizio con 10 vetture, un intertempo di 5 minuti, una durata della sosta ai terminal di 4 minuti (240'') e una durata massima della carica ai terminal di 133''. Nella fase di ampliamento della rete con le tratte D, E, F e G, come rappresentato nel diagramma sottostante, l'esercizio prevede 17 vetture, un intertempo di 3 minuti, una durata della sosta ai terminal di 6 minuti (360'') mantenendo immutati i tempi di ricarica.

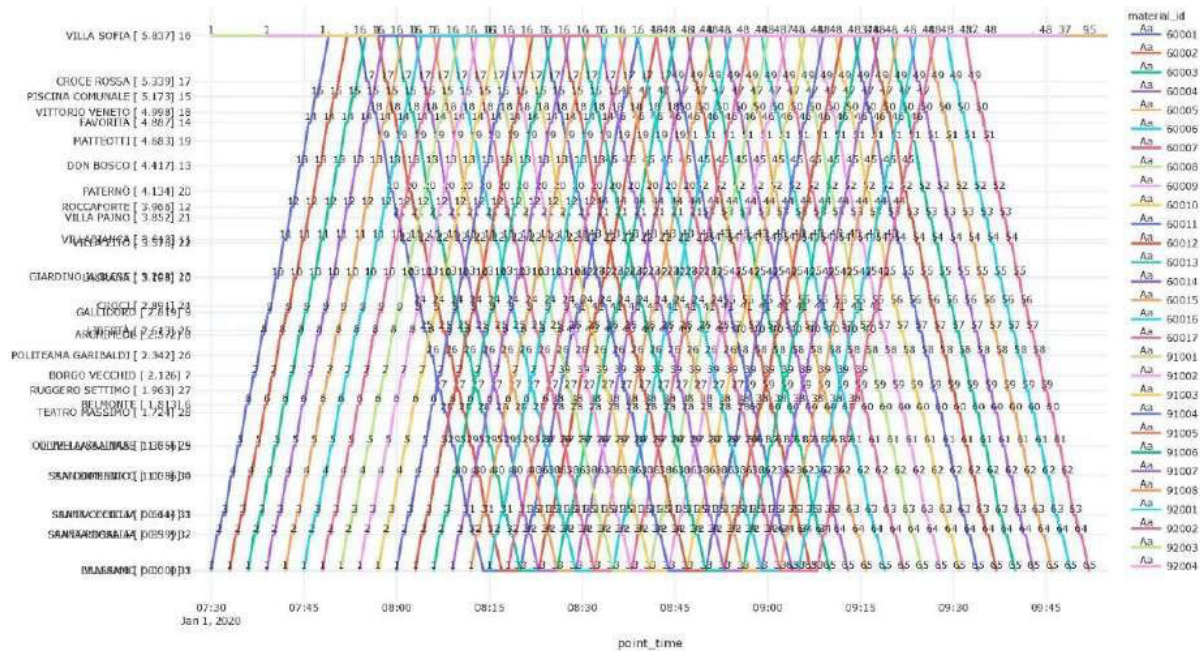


Figura 4 – Diagramma orario della Linea 6 previsto per la fase di ampliamento della rete con le tratte D, E, F e G

I tempi di ricarica ai terminal sono variabili per ogni singola linea, l'indicazione di 300 secondi riportata nella relazione di esercizio riguarda la durata massima per la quale le batterie possono essere caricate in modalità “extrarapida”, ad una corrente di 4x162 A invece che di 4x120 A, senza subire danni. Per un refuso manca tale indicazione.

- Fornire le caratteristiche delle nuove sottostazioni a servizio dei punti di ricarica e fornire elementi sull'architettura della rete e sulle ridondanze, a livello di consegna e collegamenti.

Risposta del progettista

Lo scopo delle SSE è quello di trasformare l'energia elettrica fornita da ENEL 20KV c.a. 50 Hz alla tensione di 750 Vcc in corrente continua per alimentare le barre di ricarica poste nelle fermate di ricarica e nei Terminal. Le caratteristiche delle sottostazioni e dell'architettura della rete sono riportate negli elaborati della serie 09_SSE e della serie 10_IMPIANTI_FERROVIARI. Ogni terminal/fermata di ricarica è alimentato da una sola SSE che, a sua volta, è alimentata dalla rete elettrica del Gestore ENEL con linea trifase in media tensione a 20 kV. Nella seguente tabella sono indicate le postazioni di ricarica alimentate da ciascuna SSE. Il progetto non prevede la posa di una linea in cavo di media tensione fra le SSE stesse, in quanto l'affidabilità del sistema è comunque sempre garantita dal fatto che il sistema EoBSS di progetto ed i margini di sicurezza considerati consentono di affrontare eventuali disservizi, con conseguente indisponibilità di uno o più punti di ricarica, senza che venga compromesso l'esercizio.

Il sistema di alimentazione in MT potrà essere oggetto di proposte migliorative in sede di gara e dovrà comunque essere verificato in sede di progetto esecutivo in relazione alle caratteristiche tecniche effettive delle singole apparecchiature in fornitura.

In particolare, qualora necessario in relazione alla soluzione sviluppata nel progetto esecutivo, un'eventuale interconnessione tra le SSE sarà possibile grazie ai tubi di diametro 160 mm disponibili nella polifora ai due lati del tracciato prevista dal progetto definitivo.

Le apparecchiature che saranno previste con il progetto esecutivo dovranno garantire la massimizzazione dei valori di affidabilità e disponibilità ed il rispetto dei requisiti RAM di progetto.

- Chiarire la condizione di degrado per una sottostazione fuori servizio (per guasto o per manutenzione), con particolare riguardo alla disponibilità dei punti di ricarica lungo linea al fine di mantenere la corretta carica delle batterie.

Risposta del progettista

La condizione di degrado per il fuori servizio di una o più SSE consiste nel fatto che in caso di emergenza il sistema di accumulo a bordo potrà funzionare con un livello di carica inferiore al 45% purché sempre al di sopra del limite del 20%.

In queste condizioni è stato verificato che le vetture, in partenza dal terminal con le batterie cariche fino al 65%, possono percorrere più di 10 km, anche senza ricariche intermedie. Tutte linee in progetto hanno uno sviluppo catenary free inferiore a tale distanza, pertanto i tram saranno in grado di percorrere l'intero percorso anche in caso di disservizio di tutti i punti di ricarica intermedi. Nel caso in cui dovesse andare fuori servizio un terminal, la ricarica completa potrà essere effettuata in qualsiasi altra fermata di ricarica.

Pertanto, in linea generale, il sistema è progettato perché i tram possano continuare a effettuare il servizio purché sia disponibile almeno un punto di ricarica lungo la linea.

Le considerazioni esposte calcolate per un consumo di 4,7 kWh/km, il massimo consumo medio misurato su ogni singola linea, valgono per tutto il sistema e considerano ampi margini di sicurezza.

In realtà i consumi medi sono inferiori, inoltre ogni linea presenta una specifica configurazione che attraverso la gestione del power management, meglio descritto nel seguito, potrà consentire di far fronte al disservizio di uno o più punti di ricarica contenendo di ridurre al minimo i ritardi sul programma orario e l'utilizzo delle batterie al di fuori del range consigliato. Inoltre le simulazioni di esercizio sono state sviluppate nella ora di punta con vetture al massimo carico e consumo e, a vantaggio della solidità e affidabilità dell'analisi, nelle seguenti ipotesi cautelative:

- *nessun recupero di energia in frenata e nessun risparmio energetico per la trazione nei tratti in discesa mentre il relativo risparmio energetico è valutato tra il 18% e il 22%;*
- *nessuna ricarica sotto catenaria che, verificata la linea esistente, potrebbe invece essere eseguita, almeno parzialmente.*
- *carica in partenza pari al 65% mentre il produttore delle batterie potrebbe prescrivere maggiori livelli di carica notturni.*

In particolare nella relazione di esercizio parte del progetto definitivo, viene rappresentato il caso della linea 4 che costituisce la linea critica poiché:

- *presenta il maggiore sviluppo catenary free;*

- *è costituita da una circolare per la quale la funzione di terminal è svolta dalla fermata passante “Giulio Cesare” che, in quanto tale, non consente di assorbire il ritardo dovuto alla maggiore durata della sosta presso le altre fermate di ricarica in servizio.*

Come descritto, pertanto, il sistema, grazie alla sua elevata flessibilità, ha una grande resilienza giacché può superare, senza ricadute sul programma orario, anche più di un fuori esercizio contemporaneo.

- Ampliare le valutazioni riguardanti l'esercizio con riferimento a situazioni particolari, quali l'eventualità di prolungate fermate o di marcia "stop&go" ; in particolare si chiede di chiarire se il un consumo standard ("a pieno carico su terreno pianeggiante con impianto di condizionamento estivo in servizio") di 4 kWh/km citato nella relazione abbia preso in carico tali situazioni.

Risposta del progettista

Per quanto attiene le valutazioni del consumo chilometrico standard assunto pari a 4 kWh/km si conferma che esso tiene conto delle situazioni di marcia particolari, che è stato ricavato dai dati sul Tram in esercizio e verificato da AMAT e che esso è comparabile a quanto certificato ai sensi della ISO14025 con dati pubblici di sistemi tram con vetture analoghe. Nelle simulazioni l'incremento di consumo è stato valutato pari al 20% del consumo in piano per ogni % di pendenza, in linea con lo studio ENEA su mezzi gommati.

BATTERIE

- Fornire maggiori dettagli in merito al sistema di accumulo (tipo di batteria, ad es. in relazione alla velocità di ricarica, densità di energia, caratteristiche di incendiabilità, ecc...)
- Precisare quale tecnologia si intende utilizzare, considerato che nel documento si parla sia di batterie che di supercapacitori; nel caso siano previste entrambi i sistemi chiarire le modalità di gestione.

Risposta del progettista

Il sistema di accumulo di energia a bordo (Energy on Board Storage System) è basato sull'utilizzo di due elementi di accumulo costituiti da batterie per 98 kWh e supercapacitori per ulteriori 6 kWh. L'utilizzo di entrambe le tecnologie permette di sfruttare appieno i vantaggi di ognuna. Infatti la principale criticità dei veicoli elettrici alimentati solo con batterie, è che l'elevata potenza richiesta in accelerazione e la limitazione nel recupero di energia in frenata generano impatti negativi sulla vita utile delle batterie e sulla autonomia del veicolo. Queste criticità possono essere superate, così come viene fatto per le autovetture top di gamma (vedi le piattaforme Volkswagen per Lamborghini), con l'installazione, a supporto delle batterie o dei motori a combustione interna, anche di supercapacitori predisposti per l'erogazione della potenza nelle fasi di accelerazione e per il miglior recupero di carica in frenata. Inoltre i supercapacitori, seppur a fronte di un maggior peso per KWh accumulato, possono essere assoggettati ad un elevato numero di cicli di carico e scarico e a correnti molto elevate senza decadimento delle prestazioni. La loro presenza a bordo delle vetture consente quindi:

- *la ricarica flash alle fermate di ricarica; essi infatti sono dimensionati per assorbire interamente la ricarica media di 60'';*

- *il recupero dell'energia in frenata;*
- *l'erogazione di energia nelle fasi di spunto della vettura limitando lo stress delle batterie.*

Il sistema di progetto è, per questo motivo, composto da batterie agli Ioni di litio collegati in parallelo con moduli supercapacitori (SC) in modo che siano quest'ultimi a fornire la potenza istantanea durante accelerazioni e un maggior recupero di energia in frenata, mentre le batterie erogano energia in situazioni di funzionamento più stabili e, con ciò, prolungandone significativamente la vita utile. Le caratteristiche delle batterie proposte nella presente fase progettuale sono riportate nell'elaborato 10 ROT SCM X 010 A. Le batterie, per la quale è stato preso come riferimento la tipologia Bombardier Primove Battery 50 utilizzati a Nanchino (Cina), sono agli ioni di litio, presentano un contenuto di energia pari a 2 x 24,5 kWh, una tensione nominale di 532 Vcc, una corrente di ricarica pari a 2 x 120 Acc, sono raffreddate a liquido (acqua o glicole).

Su ogni veicolo si prevede di installare due gruppi di batterie e ciascun gruppo ha un peso di 660 kg e dimensioni di 1780 x 440 x 610 mm. La gestione dell'energia a bordo dei veicoli sarà eseguita dal sistema denominato Power Management deputato a gestire sia le fasi di ricarica nelle fermate/terminal sia le fasi di prelievo dell'energia. Come descritto, il progetto considera come range di funzionamento delle batterie quello compreso tra il 65 ed il 45 % del valore nominale. Per quanto riguarda i supercapacitori, sono considerati, sempre a tutela della affidabilità e durabilità del sistema, valori di carica compresi tra il 10% e il 90% dei valori nominali. Le modalità di gestione assicurate dal sistema di Power Management saranno pertanto le seguenti:

- *In fase di marcia:*
 - *la priorità di utilizzo dell'energia accumulata nei supercapacitori per le fasi di stop&go;*
 - *l'utilizzo delle batterie nelle condizioni di marcia regolare;*
- *In fase di ricarica:*
 - *ove è necessario ripristinare il livello di 63,7 kWh delle batterie (65% del valore di targa), cioè sostanzialmente nei terminal, la ricarica delle batterie avverrà a corrente controllata non superiore a 480 A, pari a una energia di 4,256 kWh al minuto, mentre l'intera corrente disponibile sarà utilizzata per la ricarica dei super capacitori; eccezionalmente ma sempre per durate non superiori a 300" potrà essere ammessa una carica extra veloce con correnti fino a 648 A paria auna energia di 5,475 kWh al minuto;*
 - *ove è necessario rispettare il tempo di ricarica imposto dal piano di esercizio, cioè sostanzialmente nelle fermate, la ricarica avviene privilegiando i SC.*
- *In ricovero notturno:*
 - la ricarica del pacco batterie avverrà con correnti controllate e livelli di carica secondo le specifiche del produttore. I depositi esistenti consentono, senza modifiche impiantistiche, di eseguire la ricarica delle vetture.*

Come evidenziato dalle note di riscontro di alcuni dei principali costruttori, nel panorama mondiale sono presenti soluzioni con soli supercapacitori, con sole batterie e soluzioni che sfruttano entrambi i sistemi, come quella prevista in progetto, il disciplinare di gara lascerà al produttore la scelta della tecnologia, indicando i requisiti funzionali minimi a cui il sistema deve rispondere.

- Dare evidenza del livello di affidabilità del sistema di accumulo a batterie e conseguenti possibili malfunzionamenti, con perdite di prestazioni/arresto del veicolo.

Risposta del progettista

L'analisi di affidabilità permette di fornire, nell'ambito della progettazione e della produzione di prodotti ad alto valore aggiunto, delle stime statistiche sulla capacità dei sistemi di funzionare senza guasti nel rispetto dei requisiti di qualità del prodotto. L'output, espresso come percentuale o "rateo di guasto", di una analisi di affidabilità, effettuata in condizioni specifiche e determinate, fornisce il livello di confidenza che il sistema non si guasti.

I parametri che determinano l'effettivo livello di affidabilità di un sistema di accumulo sono strettamente dipendenti dalle specifiche caratteristiche dei componenti e dal processo di produzione e montaggio degli stessi. Le capacità prestazionali del sistema EoBSS previsto in progetto, sono basate su tecnologie presenti sul mercato e, come confermato dai principali produttori, possono essere ottenute con sistemi equivalenti.

Il progetto fornisce i requisiti contrattuali relativi ai parametri per la misura dell'efficienza del sistema complessivo e dei diversi sottosistemi, al fine di verificare l'assolvimento degli obiettivi RAM, emessi in modo globale per il complesso delle linee tramviarie nuove ed esistenti assimilabili a quelli adottati per il tram esistente.

L'analisi RAM è riportata nell'elaborato 01 GEN REL X 070 dove gli apparati EoBSS rientrano tra i componenti del veicolo.

La proposta del sistema di alimentazione, equivalente o migliorativo, che verrà offerto in sede di gara, dovrà essere corredata da una dichiarazione attestante il rispetto dei suddetti requisiti.

VEICOLO

- Le caratteristiche del veicolo sono esplicitate nel "capitolato prestazionale d'appalto", 15CPTRELX110 C; dai dati riportati si rileva che le caratteristiche di trazione e frenatura del veicolo in funzionamento con alimentazione autonoma risultano inferiori rispetto a quelle con alimentazione da catenaria; si chiede di fornire una valutazione delle minori prestazioni sui programmi di esercizio.

Risposta del progettista

Le caratteristiche di trazione e frenatura del veicolo in funzionamento con alimentazione autonoma, pari a 0,8 m/s², sono superiori ai valori di accelerazione/decelerazione utilizzati per la redazione del piano di esercizio pari a 0,75 m/s², pertanto, per quanto inferiori a quelli per marcia sotto catenaria, non costituiscono una limitazione per il funzionamento del sistema.

- Fornire chiarimenti in merito alla possibilità di attuare una frenatura elettrica fino a velocità 0, come riportato nel suddetto capitolato.

Risposta del progettista

Nel merito si precisa che è prevista la frenatura elettrica, come riportato nel capitolo 14 del documento, fino a velocità "prossime all'arresto". Nella fase prossima all'arresto del veicolo, cioè per velocità inferiori a 3 km/h, dovrà essere attivata la frenatura elettroidraulica (meccanica) in sostituzione di quella elettrica

- Fornire specifiche di maggior dettaglio sulla tipologia del motore di trazione trifase

Risposta del progettista

Il sistema di propulsione previsto dal progetto, per il quale è stato assunto come riferimento il sistema Bombardier MITRAC 500, prevede per ciascun carrello motore due motori trifase a magneti permanenti con potenza di trazione di 120 kW, raffreddati ad acqua, con tensione di alimentazione di 750 V cc, tensione degli ausiliari di 380 Vca e impianti in bassa tensione a 24 Vcc. Per quanto riguarda le caratteristiche del motore di trazione in sede di gara potranno essere proposte soluzioni alternative che rispettino i requisiti prestazionali di progetto.

- Fornire una specifica relazione riguardanti gli aspetti relativi al rischio incendio legati alla presenza delle batterie.

Risposta del progettista

Le batterie al litio sono prodotti soggetti a rischio di incendio ed esplosione al contrario dei supercapacitori che, privi di reazione chimica, non presentano analoghi rischi. Le caratteristiche di infiammabilità delle batterie sono strettamente legate al tipo di elettrolita adottato. Le vetture tranviarie, giacché assimilabili a quelle per il trasporto ferroviario, sono soggette al rispetto della norma EN 45545, espressamente richiamata negli elaborati progettuali, per ognuno dei propri componenti e quindi anche dell'impianto EoBSS. Il principale componente per la protezione dagli incendi è il sistema Power Management, precedentemente descritto, che deve assicurare il rispetto delle correnti di carico e scarico delle batterie stesse, monitorare in continuo le temperature delle apparecchiature e costituisce il principale dispositivo di protezione e controllo esterno alla batteria. Infatti il potenziale rischio di incendio o esplosione è sempre dovuto al mancato rispetto di uno di questi parametri, tra l'altro, vitali per l'efficienza e vita utile del sistema. Un altro dei componenti del sistema, questa volta interno al sistema, sarà il Battery Management System, un circuito elettronico utilizzato per assicurare che la batteria operi nelle condizioni adatte ad assicurare la sicurezza e a interrompere il funzionamento delle batterie nel caso di guasto di una cella o dello stesso BMS. Deviazioni dalle condizioni operative sicure possono essere provocate da fattori come piccole variazioni della capacità interna o della resistenza di una cella e/o dell'auto scarica dovute alle modalità di fabbricazione; da cause esterne dovute all'ambiente in cui vengono utilizzate ovvero dall'uso improprio del EoBSS. Al BMS vengono affidate le seguenti funzioni:

- 1. Monitoraggio della temperatura (T);*
- 2. Monitoraggio della tensione (V);*
- 3. Controllo della carica e contattori di carica;*
- 4. Equalizzazione e bilancio delle celle;*
- 5. Ricircolo (rerouting) dell'eccesso di energia;*
- 6. Protezione dal corto-circuito;*
- 7. Controllo dei dispositivi attivi di raffreddamento;*
- 8. Rilevamento e controllo di "alta corrente".*

Ciò detto ogni produttore di batterie utilizza, in funzione del tipo di elettrolita e della specifica tecnologia adottata, dei dispositivi di protezione e controllo interni alla cella, che potranno essere uno o più dei seguenti accorgimenti:

- utilizzare elettroliti relativamente non infiammabili ovvero aggiungere come additivi dei ritardanti di fiamma che riducono la concentrazione di atomi di idrogeno con formazione di radicali OH e poi di H₂O. Questi additivi possono essere composti a base di fosforo o alogeni;
 - installare dispositivi Positive Temperature Coefficient che in presenza di una sovracorrente (ad esempio per un cortocircuito esterno) causano un aumento della resistività interna della cella riducendo, fino al cessare delle cause della sovratensione;
 - installare dispositivi Current Interruption Device più efficienti e affidabili dei PTC di cui al punto precedente ma utili solo per prevenire sovraccarichi e cortocircuiti esterni;
 - installare dischi di rottura o valvole di sfianto che in presenza di sovrappressioni, dovute oltre che alle cause precedenti anche ad invecchiamento del contenitore, evitano l'esplosione della cella;
- Lo specifico sistema di accumulo di energia a bordo che verrà proposto in sede di gara dovrà essere corredato dalla relativa documentazione attestante il rispetto dei requisiti normati per la prevenzione ed il contenimento del rischio incendio

EFFICIENZA ENERGETICA

- Fornire valutazioni comparative sull'efficienza energetica della soluzione proposta rispetto al caso dell'infrastruttura tradizionale.

Risposta del progettista

La scelta di realizzare un'infrastruttura interamente catenary free è stata effettuata dall'Amministrazione già nel 2016 in sede di SdF. In fase concorsuale è stata presentata un'analisi comparativa tra sistemi con accumulo di energia a bordo e sistemi con alimentazione dal basso (terza rotaia). Tale analisi è riportata nell'elaborato "01GENRELX010- Relazione di rispondenza al PFTE" nel progetto definitivo. Si sottolinea in ogni caso che l'utilizzo dei sistemi di accumulo nelle linee tranviarie consente una maggiore efficienza energetica rispetto all'infrastruttura tradizionale in quanto massimizza il recupero di energia in frenata e annulla perdite di carico lungo la catenaria. A tal proposito si richiama il documento "Identificazione del ciclo di potenza assorbita e dimensionamento di un sistema di accumulo per una tranvia" pubblicato dall'ENEA nell'ambito dell'Accordo di programma Ministero dello Sviluppo Economico – Enea progetto A.3.2. Sistemi avanzati di accumulo dell'energia. Lo studio riguarda, nell'ambito di un'infrastruttura tradizionale con catenaria, l'uso accumulatori installati a terra per l'accumulo dell'energia dispersa in frenata dalle vetture. Sostanzialmente il sistema analizzato, costituito da una tecnologia mista composta da supercondensatori e batterie al litio, consente di accumulare energia nelle sottostazioni elettriche, tramite la catenaria e di restituirla, sempre tramite catenaria, alle vetture nelle fasi di spunto.

I risultati in termini di risparmio energetico del sistema così articolato sono stati accertati nel range compreso tra il 18% e il 22%.

Il sistema di progetto, composto da accumulatori a bordo delle vetture, grazie all'assenza delle perdite di rete e per il limite massimo sostenibile dalla stessa catenaria, in linea con quanto dichiarato pubblicamente dai principali produttori di materiale rotabile, consente risparmi ancora superiori che naturalmente dipendono dalle caratteristiche specifiche del sistema sviluppato da ciascun produttore

DURATA E MANUTENZIONE

- Fornire una valutazione comparativa riguardante la tempistica e i costi per il riapprovvigionamento e la sostituzione delle batterie, al fini di operare un confronto di carattere generale con i costi (realizzazione + manutenzione) connessi ad una infrastruttura tradizionale.

Risposta del progettista

L'Amministrazione Comunale ha scelto che per la realizzazione della nuova rete tramviaria venisse adottato un sistema catenary free. Il progetto definitivo, in forza di tutti i pareri favorevoli sino ad oggi ottenuti, è stato interamente sviluppato in linea con questa scelta. La strada intrapresa oggi è sempre più percorsa per l'obiettivo minor impatto dei sistemi tranviari. I costi di realizzazione sono inferiori a quelli di un sistema tradizionale per l'assenza della linea di contatto; nel merito richiamiamo i sistemi ferroviari dove, in luogo della elettrificazione della linea ferroviaria, sempre più spesso, si preferisce impiegare treni a batteria o ibridi. I costi di sola gestione sono inferiori per il minor fabbisogno energetico del sistema come richiamato nel capitolo relativo. Inoltre si evidenzia che a fronte di costi di manutenzione della linea di contatto sempre crescenti durante la vita dell'infrastruttura, per il naturale invecchiamento dei materiali, il costo per il periodo rinnovo del pacco batterie grazie all'incessante sviluppo tecnologico, come è stato notato nel corso dello sviluppo del progetto, continuano progressivamente a diminuire. Il package EoBSS dovrà garantire un livello di prestazione costante ed adeguata nel tempo per un periodo di vita di 7/10 anni a fronte di una corretta gestione di ricarica ed utilizzo; in tale periodo non sono previste scadenze per attività manutentive specifiche. L'unica attività prevista a seguito del decadimento delle prestazioni è la sostituzione della sola parte batterie mentre i superconduttori, che possono eseguire 2.000.000 di cicli di carico/scarico che, con 10 cicli ora, durano oltre 30 anni dovranno essere sostituiti solo per guasto.

Un altro aspetto dei costi del sistema è legato alla sicurezza globale della infrastruttura. Infatti il sistema a batteria prevede costi di sicurezza per evitare il contatto accidentale con linee in tensione solo puntualmente nelle fermate di ricarica, nei terminal e nei depositi e non su tutto il tracciato come nelle infrastrutture sotto catenaria.

D – CONSIDERAZIONI

La presente relazione istruttoria è relativa al progetto definitivo delle tratte tranviarie A, B e C che rappresentano il primo stralcio funzionale dell'ampliamento della rete tranviaria di Palermo, costituita attualmente dalle linee 1, 2 e 3. La suddetta rete tranviaria si completerà con la realizzazione delle tratte D, E2, F e G finanziate con le risorse del Fondo Investimenti e del PNRR. L'istruttoria effettuata da questo Ufficio è di natura tecnica in quanto finalizzata al rilascio del nulla osta tecnico per la sicurezza ex art. 3 DPR 753/80.

La peculiarità dell'intervento in argomento sta nel fatto che tutte le tratte di nuova realizzazione, di lunghezza totale pari a circa 24,2 km s.b., sono previste *catenary-free*; se si tiene, pertanto, conto delle ulteriori tratte D, E2, F e G, anch'esse previste senza linea di contatto, la rete tranviaria di Palermo, dopo il suo completamento, costituirà un "unicum" sul territorio europeo, e non solo, in quanto rappresenterà la rete tranviaria più estesa del tipo *catenary free* (66 km singolo binario). Tale considerazione ha portato questa Amministrazione a rivolgere, nell'attività istruttoria, particolare attenzione alle soluzioni proposte nel progetto in esame per gli aspetti connessi all'alimentazione e alla trazione elettrica; ai fini istruttori l'ufficio si è avvalso anche del contributo del gruppo di lavoro costituito ad hoc nell'ambito di codesto Comitato, come da verbale della seduta di maggio 2022.

Si evidenzia preliminarmente che il progetto di fattibilità tecnica ed economica dell'intervento in esame è stato sottoposto al Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici ai fini del parere ex art. 215, comma 3, del D.lgs. 50/2016; il CSLPPP si è espresso nella seduta del 28.07.2021 con osservazioni.

Il progetto definitivo in esame è stato verificato dalla Società ICMQ, che ha emesso la relazione di verifica finale in data 6.07.2022.

Il progetto redatto, in relazione al livello progettuale, consente di effettuare le valutazioni necessarie ai fini del rilascio del nulla osta tecnico per la sicurezza; a seguito dell'attività istruttoria emergono le considerazioni che seguono.

SOLUZIONE "CATENARY FREE"

Considerata la scelta tecnologica prevista in progetto di adottare una soluzione "*catenary free*" lungo tutta la nuova (e futura) infrastruttura tranviaria, il gruppo di lavoro ha ritenuto preliminarmente opportuno acquisire dal Comune di Palermo le motivazioni che hanno determinato tale scelta.

Sull'argomento il Comune ha espresso la seguente posizione con nota n. 963144/2022:

"Il progetto, come espressamente indicato nello Studio di Fattibilità redatto nel 2016, prevede una soluzione "catenary free", scelta in linea con la tendenza delle nuove infrastrutture tranviarie di tutto il mondo. Il sistema tranviario esistente, in esercizio dal 2015, è costituito da 29,3 Km di tratte tramviarie di tipo tradizionale, con alimentazione tramite catenaria sostenuta da pali distribuiti lungo il percorso. L'impatto urbanistico, estetico e geometrico dell'infrastruttura è stato un aspetto

molto sofferto dalla cittadinanza. Le peculiari condizioni urbanistico architettoniche nonché il livello di tutela paesistico monumentale discendente dal Dlgs. 42/04 del tessuto urbano interessato dalla realizzazione delle nuove tratte tranviarie, hanno portato all'esclusione di catenarie nei percorsi interni al Centro Storico ed alla città densa di cui alle Zone Territoriali Omogenee A e B del D.M. LL.PP. 1444/68. Il sistema "catenary free" comporta, rispetto ai sistemi tradizionali, innegabili vantaggi sia in termini di ingombro sia, ancor più, in termini estetici, riducendo l'impatto sulla normale circolazione dei veicoli e dei pedoni e limitando l'impatto visivo dovuto alla presenza di linee aeree e dei relativi sostegni verticali. La soluzione permette di ridurre drasticamente l'impatto dell'infrastruttura sul territorio, senza elementi in quota, che deturpano il paesaggio cittadino ed hanno fortemente condizionato il paesaggio urbano nelle tratte esistenti (omissis)".

Nella relazione integrativa trasmessa, inoltre, il progettista, nel riprendere i contenuti della nota del Comune, ha evidenziato che *"Sistemi catenary free sono previsti in numerosi progetti di nuove reti tranviarie, tra cui Bologna e Firenze"* senza far emergere, invece, che in tali reti la soluzione adottata è differente in quanto le tratte senza catenaria sono limitate ad alcune zone critiche del tracciato e, comunque, la ricarica non è puntuale ma avviene durante la marcia.

Premesso che la scelta del Comune sembra derivare più da una posizione "ideologica" che da valutazioni di merito, il gruppo di lavoro ha, tuttavia, riconosciuto ammissibile, in termini tecnici, la fattibilità della soluzione "catenary free" che, comunque, per essere correttamente implementata dovrà tener conto delle seguenti indicazioni:

1. Dalle simulazioni effettuate risultano tempi di sosta in fermata dell'ordine di 60 secondi fino ad un massimo di 120 nella fermata Basile. Su richiesta del gruppo di lavoro il progettista ha comunicato che tali tempi sono congruenti con i programmi di esercizio.

Nel merito questo Ufficio, col supporto del gruppo di lavoro, fa rilevare che, benchè sia rispettato il programma di esercizio, il tempo di 60 s è di gran lunga superiore di quello usualmente previsto, in media, per il servizio passeggeri. Il tempo previsto per la fermata Basile è poi molto più alto anche di quello prevedibile per un completo ricambio di passeggeri.

Pertanto, per una corretta progettazione, il sistema dovrà essere tale da non richiedere tempi di fermata più lunghi di quelli richiesti per lo sbarco e l'imbarco dei passeggeri, tipicamente 20 s, solo eccezionalmente, per specifiche condizioni di elevata affluenza di passeggeri, incrementabile fino a 40 s. Inoltre il sistema deve consentire tempi di sosta ridotti ai terminali, rispetto a quanto ipotizzato nel progetto, per tener conto di eventuali ritardi per perturbazioni dell'esercizio.

Risulterà, pertanto, necessario un riesame dei punti di ricarica (prestazioni e numero).

2. Nel progetto viene ritenuto come range di migliore utilizzo delle batterie l'intervallo tra 45- 60% della carica; si afferma inoltre che è prevista una ricarica notturna in deposito che consente di far uscire il veicolo dal deposito con carica al 100%, ma tale ricarica non appare presa in considerazione nel dimensionamento dell'impianto.

Sull'argomento il progettista, a seguito di richiesta del gruppo di lavoro, ha evidenziato che quello previsto in progetto è ritenuto un range con un certo margine di garanzia rispetto a valori inferiori ipotizzabili dal costruttore (20%) e che, comunque, viene lasciato spazio per migliorie al progetto esecutivo.

In considerazione di tali riscontri, in sede di successiva progettazione dovrà essere individuato e motivato il campo di lavoro ottimale delle batterie.

3. Nel progetto si rileva che non è prevista la posa di una linea in MT tra le SSE, poiché l'affidabilità del sistema è garantita dal sistema EoBSS, con margini di sicurezza che consentono di superare l'indisponibilità di uno o più punti di ricarica. Si evidenzia, comunque, che il sistema di alimentazione in MT potrà essere oggetto di proposte migliorative in sede di gara.

Da tale riscontro ne deriva che la possibilità di ricarica è condizionata dall'efficienza della SSE cui è connessa. I progettisti ritengono evidentemente che il livello di carica della batteria permetta di superare, senza ricarica, qualsiasi tratta in cui tutti i punti di carica siano fuori servizio perché connessi a una SSE non disponibile.

Sull'argomento si ritiene necessario che venga dimostrata, mediante idonee simulazioni, l'assenza di interruzioni, ritardi o comunque perturbazioni della circolazione, nelle diverse fasi e condizioni di esercizio della rete tranviaria, nel caso di caduta di una SSE o/e di un punto di ricarica. Devono essere inoltre definiti gli indici di affidabilità e disponibilità delle SSE e dei punti di ricarica, al fine di accertare che il rischio di una doppia caduta di SSE o punti di ricarica sia del tutto trascurabile.

In relazione alle sottostazioni, inoltre, la previsione che ogni sottostazione abbia una propria consegna in MT può potenzialmente rappresentare un ulteriore elemento di criticità in quanto un tale schema di alimentazione non consente riconfigurazioni della rete MT; si ritiene pertanto opportuna una verifica in tal senso, valutando non solo la possibilità di esercizio senza degrado in caso di fuori servizio di una resa MT o di una SSE, ma valutando anche la configurazione della rete MT dell'Ente erogatore, onde garantire che il rischio di fuori servizio di due o più rese MT adiacenti, per guasto a monte ossia a livello della rete dell'Ente erogatore, sia trascurabile.

4. Il gruppo di lavoro ha chiesto delucidazioni in merito alla scelta del sistema di accumulo previsto (batterie/supercapacitori) e alle caratteristiche di tale sistema anche in termini di affidabilità. Il progettista ha evidenziato che nel progetto si è fatto riferimento alle batterie utilizzate per il tram di Nenchino e che, comunque, il disciplinare di gara lascerà al produttore la scelta della tecnologia (batteria, supercap o ambedue), indicando i requisiti minimi.

Sull'argomento si ritiene necessario che, anche con riferimento a quanto richiesto al punto 3), siano definiti adeguati indici di affidabilità e disponibilità relativamente alle apparecchiature di marcia autonoma imbarcate.

Inoltre, occorrerà porre particolare attenzione alle caratteristiche di tali sistemi di accumulo in relazione alla tematica della prevenzione e protezione incendi, anche in considerazione della presenza di una tratta tranviaria, seppur breve, in galleria.

Si fa presente che quanto evidenziato nelle precedenti osservazioni potrebbe portare, a parità di obiettivo "tecnico", a scelte differenti in termini di tipologia di sistemi di accumulo, di range di utilizzo degli stessi, di localizzazione delle fermate, di dimensionamento delle sottostazioni, ecc.; tali scelte potrebbero comportare costi differenti e, pertanto, si ritiene debbano essere valutate anche in relazione a tali aspetti.

Per quanto sopra evidenziato, per la parte di impianti connessa all'adozione della tecnologia "catenary free" si ritiene di rinviare il rilascio del nulla osta tecnico ai fini della sicurezza alla

successiva fase progettuale che potrà proporre soluzioni differenti dal progetto definitivo in corso di esame.

5. Si invita, infine, il Comune, a svolgere una realistica ed esauriente analisi dei costi per verificare che la scelta di una totale assenza di catenaria, con ricariche puntuali, non comporti significativi aumenti dei costi totali di realizzazione e manutenzione rispetto a una soluzione in cui l'assenza di catenaria sia limitata a tratte effettivamente soggette a vincoli e la ricarica sia effettuata durante la marcia con alimentazione da linea di contatto.

TRACCIATO

6. Nella documentazione progettuale viene data evidenza delle norme utilizzate per la progettazione del tracciato e della sede e viene fornito un riscontro puntuale alla norma UNI 8379; si chiede di fornire analogo riscontro per la norma UNI 7156/2020 "Tranvie e tranvie veloci - Distanze minime degli ostacoli fissi dal materiale rotabile e interbinario - Altezza della linea aerea di contatto";
7. Sulle tratte A e C sono presenti sezioni a singolo binario banalizzate della lunghezza rispettivamente di 400 m e 800 m, gestite con sistemi di controllo della marcia; poiché tali tratte costituiscono una "strozzatura" nell'ambito dell'intera rete, che per le sue caratteristiche complessive potrebbe mantenere elevate velocità commerciali, occorre verificare preliminarmente la possibilità di riprogettare il tracciato per effettuare una circolazione senza banalizzazione. In ogni caso occorrerà verificare, nella soluzione banalizzata, il rispetto del programma di esercizio per le linee di servizio interessate, tenendo anche conto dell'aumento delle frequenze che si determinerà a seguito della realizzazione delle tratte D, E2, F e G e di inevitabili perturbazioni della circolazione tranviaria.
8. Sulla tratta "A" è prevista la realizzazione di tre zone, per lo sviluppo complessivo di circa 2.500 m, in cui il transito del tram avviene in promiscuo con i pedoni. In tali tratte si prevede di adottare una segnaletica luminosa posta lateralmente alla sede in modo da visualizzare ai pedoni la presenza del veicolo. In tale area, inoltre, si prevede che il tram transiti alla velocità di 25 km/h.

Premesso che viene valutata positivamente l'installazione di una segnaletica luminosa, si ritiene, comunque, opportuno prevedere una maggiore identificazione della sede stradale anche attraverso l'utilizzo di materiali/colorazioni diverse della pavimentazione.

Inoltre, al pari di altre situazioni simili già valutate sul territorio nazionale, si ritiene necessario venga adottata per la circolazione del tram una velocità massima di 20 km/h in luogo dei 25 km/h proposti in progetto.

9. La sede tranviaria delle tratte in progettazione viene posizionata, in alcune zone, in affiancamento al marciapiede; si chiede di valutare, attraverso una apposita analisi, l'opportunità di inserire barriere di sicurezza a protezione dei pedoni in transito sul marciapiede, tenuto conto dell'affollamento previsto.

10. Con riferimento al contesto di cui al punto 9. si chiede anche di chiarire come vengano gestiti eventuali passi carrai interferenti con la sede tranviaria, considerato che tale problematica non risulta affrontata in progetto.
11. Nel progetto viene evidenziato che la tratta esistente tra piazza Einstein e piazza Boiardo viene resa *catenary free* a seguito degli interventi previsti in progetto: si richiedono giustificazioni in merito.

FERMATE

12. Negli elaborati progettuali non risulta chiaramente individuabile l'altezza delle banchine di fermata; si chiede di confermare che l'altezza sia tale da consentire l'incarozzamento a raso come, peraltro, previsto nel capitolato tecnico dei veicoli;
13. Le banchine di fermata sono realizzate con larghezze differenti comprese tra 1,50 m e 7.65 m. Considerata tale variabilità, si chiede di relazionare sulle modalità di dimensionamento delle fermate.

Inoltre si ritiene opportuno che per le banchine previste di larghezza 1,50 m (in numero di 14) vengano studiate soluzioni che consentano di incrementare la larghezza delle stesse, anche se risultino compatibili con l'affollamento della fermata.

OPERE D'ARTE

Il progetto presentato prevede una serie di opere d'arte complesse in corrispondenza ad alcune intersezioni, finalizzate a svincolare la viabilità stradale dalla circolazione tranviaria.

Si fa presente che tali opere d'arte sono state trattate in questa relazione ai soli fini della verifica del tracciato tranviario.

Resta intesa, pertanto, per tali opere, l'acquisizione di tutti pareri propedeutici alla relativa realizzazione.

VEICOLI

14. Per quanto riguarda i nuovi veicoli il progetto è corredato di un capitolato tecnico che definisce le caratteristiche dei rotabili, riportate in parte anche nella presente relazione.

Pertanto si rimane in attesa del progetto che verrà redatto a seguito della gara per effettuare l'istruttoria necessaria al rilascio del nulla osta tecnico ai fini della sicurezza ex art. 3 DPR 753/80.

Analoga considerazione vale per i rotabili in esercizio da modificare per l'installazione del sistema di accumulo a bordo.

SEGNALAMENTO

15. La linea tranviaria presenta alcune fermate poste in posizione centrale ed altre in posizione laterale rispetto alla sede, il che richiede l'apertura delle porte in corrispondenza delle banchine su entrambi i lati del treno; il progetto non evidenzia la presenza di sistemi di

riconoscimento lato banchina; si chiede di confermare quanto sopra evidenziato e, se del caso, di relazionare su tale aspetto e di giustificare la mancata presenza del dispositivo.

16. L'impianto di segnalamento ha la funzione di gestione in sicurezza delle rotte e del transito nelle tratte banalizzate. Il Regolamento di esercizio dovrà prevedere quale sia il livello di degrado dell'impianto di segnalamento che possa essere transitoriamente ammesso per proseguire l'esercizio, con particolare riferimento alle tratte banalizzate qualora confermate, e quali siano le azioni di mitigazione che debbano essere intraprese per compensare il suddetto degrado.
17. Dovrà essere presentata la certificazione dei componenti dell'impianto di segnalamento cui è stato attribuito un valore di SIL.

SISTEMA DI REGOLAZIONE E SUPERVISIONE SEMAFORICA

18. Nel progetto si dà evidenza del fatto che le intersezioni con la viabilità stradale sono gestite mediante priorità semaforica per il tram. Nel progetto non sono presenti tavole che danno evidenza degli impianti di regolazione semaforica e in generale della segnaletica stradale. Si chiede, pertanto, di produrre tali elaborati.

POSTO CENTRALE DI CONTROLLO

19. Il progetto prende in carico l'implementazione del PCC per effetto dell'estensione della rete. Da quanto si rileva nel Posto centrale implementato verrebbero ad essere presenti tre differenti postazioni DCT (Dirigente Centrale Traffico) e tre differenti postazioni DCI (Dirigente Centrale Informazioni) per gestire le linee esistenti, l'estensione della linea nella fase I (quella in esame) e l'estensione della linea per la fase II futura. Si chiede di chiarire quali siano le motivazioni per cui la gestione della rete debba avvenire da tre postazioni differenti piuttosto che essere concentrata in una sola postazione implementata con lo sviluppo delle varie fasi.

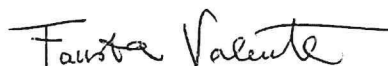
E – CONCLUSIONI

Il Dipartimento per la Mobilità Sostenibile, Direzione Generale per il Trasporto Pubblico Locale e Regionale e la Mobilità Pubblica Sostenibile, ritiene di potersi esprimere favorevolmente in linea tecnica, ai fini del rilascio del nulla osta tecnico ex art. 3 DPR 753/80, sul progetto definitivo delle “Nuove Linee Tramviarie della Città di Palermo - Primo Stralcio Funzionale - Tratte A, B e C (CUP D71E16000300001)”, esclusi gli impianti connessi all’adozione dell’alimentazione “*catenary free*” (paragrafo B.6) per i quali si rinvia alla successiva fase progettuale, subordinatamente alle osservazioni di cui al paragrafo D) della presente relazione istruttoria.

Si chiede a codesto Comitato di voler esprimere il proprio parere in merito.

II RELATORE

(Ing. Fausta VALENTE)



IL DIRETTORE DELLA DIVISIONE 5

(Ing. Elena MOLINARO)



VISTO:

Si trasmette al “Comitato Tecnico Permanente per la Sicurezza dei Sistemi di Trasporto ad Impianti Fissi”

D.M. n° 27 del 30 gennaio 2013

IL DIRETTORE GENERALE

(Dott. Angelo MAUTONE)

