BANDO DI CONCORSO INTERNAZIONALE DI PROGETTAZIONE, CON PROCEDURA APERTA, PER LA PROGETTAZIONE DEL "SISTEMA TRAM PALERMO - FASE II" PROGETTO GENERALE E PROGETTO I° STRALCIO. C.U.P. n. D71E16000300001 - CIG: 722377715D

Città di Palermo

CODICE
R.2

DESCRIZIONE
Relazione tecnica con la descrizione generale della soluzione progettuale dal punto di vista funzionale organizzativo e con la descrizione dei criteri di progetto finalizzati alla sostenibilità ambientale, risparmio ed efficientamento energetico/economico, dall'accessibilità, utilizzo, facilità ed economicità di gestione delle soluzioni di progetto; nonchè la valutazione del ciclo di vita delle opere

SCALA
/

NUMERO
1/1

INDICE

1. DESCRIZIONE DEL SISTEMA TRANVIARIO DI PALERMO 3

1.1 Sistema tranviario attuale 3

1.2 Sistema tranviario di progetto 4

1.2.1 Principali prestazioni obiettivo dell'innovativo sistema di trasporto 4

1.2.2 Tecniche costruttive per la mitigazione di rumore e vibrazioni 5

1.2.3 Alimentazione per la trazione elettrica "catenary free"per la mitigazione dell'impatto visivo. 6

1.2.4 Le nuove tratte tranviarie 6

1.2.5 Sistema di alimentazione "Catenary free". 9

1.2.6 Caratteristiche tecniche delle nuove tratte tranviarie 10

2. CARATTERISTICHE FUNZIONALI 13

2.1 Obiettivi del progetto 13

2.2 Obiettivi della sostenibilità ambientale 15

3. CARATTERISTICHE TECNICHE 16

3.1 Quadro normativo di riferimento 16

3.1.1 Normativa generale 16

3.1.2 Definizioni generali del sistema tranviario e materiale rotabile 16

3.1.3 Dimensioni e tipologia della sede tranviaria 16

3.1.4 Superamento barriere architettoniche 16

3.1.5 Vibrazioni 17

3.1.6 Rumore 17

3.1.7 Armamento 17

3.1.8 Rotaie 17

3.1.9 Apparecchi di binario: Scambi e incroci 18

3.1.10 Sistemi di fissaggio 18

3.1.11 Materassini elastomerici - Geotessili 18

3.1.12 Canalette drenaggio sede tranviaria – Delimitatori sede 19

3.1.13 Calcestruzzo e acciaio 19

3.1.14 Compatibilità elettromagnetica 19

3.1.15 Correnti vaganti e messa a terra 20

3.1.16 Verifiche RAM 20

3.2 Parametri di progetto e di esercizio 20

3.2.1 Circolabilità dei rotabili 21

3.2.2 Circolabilità in linea – Distanze minime dagli ostacoli fissi 22

3.2.3 Circolabilità in corrispondenza delle banchine di fermata 22

3.2.4 Circolabilità dei mezzi di soccorso 23

3.3 Elementi costitutivi l'armamento tranviario 23

3.4 Caratteristiche plano - altimetriche del tracciato 26

3.4.1 Scartamento del binario 26

3.4.2 Caratteristiche planimetriche del tracciato 26

3.4.3 Andamento altimetrico del tracciato 27

3.4.4 Larghezza della sede : franchi di sicurezza 28

3.5 Il sistema armamento 28
3.5.1 Descrizione del sistema armamento 28
3.5.2 Lavori lungo linea 29
3.6 Mitigazione rumore e vibrazioni 30
3.7 Delimitazioni laterali della sede tranviaria 31
3.8 Drenaggio della sede tranviaria 32
3.9 Cavidotto 33
3.10 Equipaggiamenti particolari per le zone di transizione 34
3.11 Fermate 34
3.11.1 Criteri di progettazione 34
3.11.2 Superamento barriere architettoniche nelle fermate 35
3.12 Apparecchi di binario : deviatoi – comunicazioni semplici e doppie 37
3.13 Dispositivi di fine corsa 39
3.14 Isolamento elettrico - correnti vaganti 39
4. OPERE D'ARTE 40
4.1 Ponte sul fiume Oreto 40
4.2 Sovrappasso carrabile su viale Regione Siciliana 40
4.3 Sovrappasso pedonale su viale Regione Siciliana 41
4.4 Sovrappasso pedonale su via Giuseppe Lanza di Scalea 41
5. DEPOSITI 41
5.1 Illustrazione dei due depositi esistenti 41
5.2 Deposito Olimpo 43
5.2.1 La capacità di parcamento del nuovo deposito Olimpo 43
5.2.2 Lay-out del deposito Olimpo 43
5.2.3 Gestione del servizio di manutenzione 46
5.2.4 Impiantistica 48

1. DESCRIZIONE DEL SISTEMA TRANVIARIO DI PALERMO

1.1 Sistema tranviario attuale

Il Sistema Tram della città di Palermo è costituito da tre linee confluenti dalla periferia verso il centro della città, connettendo alcuni quartieri periferici della città ai due principali hub ferroviari: la Stazione Centrale e la Stazione Notarbartolo. Tali linee sono denominate rispettivamente Linea 1 "Roccella", Linea 2 "Leonardo da Vinci, Linea 3 "CEP-Calatafimi". Dal punto di vista dell'esercizio, le linee tranviarie sono attualmente quattro. Il Sistema Tram di Palermo si configura come *"tranvia veloce o metrotranvia"* secondo la definizione della norma UNI 8379 che, dopo circa settant'anni da quando fu dismesso, è entrato in servizio il 30 dicembre 2015.

La lunghezza totale delle Linee è pari a 18,310 km così suddivisa:

- **Linea 1**: 5,536 km (doppio binario) + 0,552 Km (singolo binario) di collegamento al Deposito Roccella;

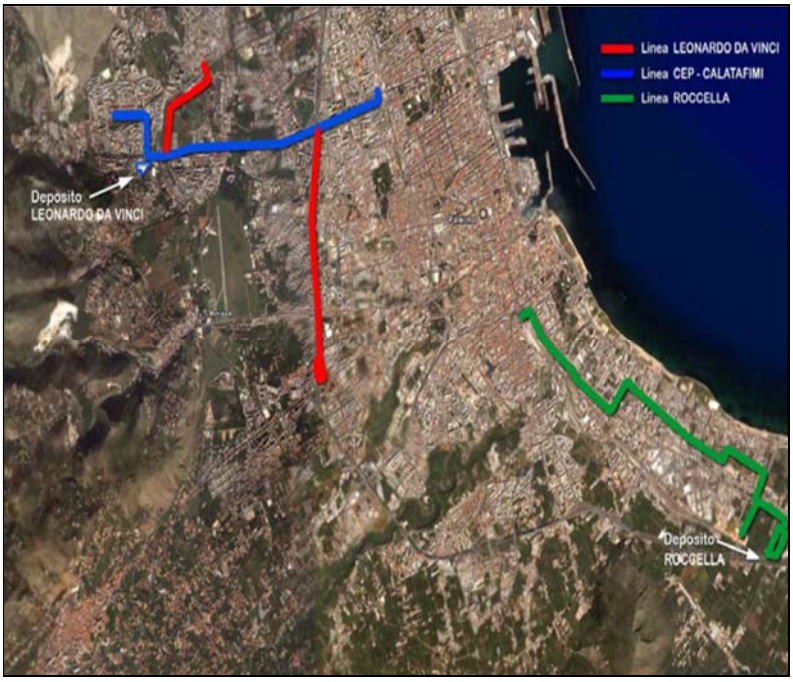
n. 15 fermate – Tratta esercita da 6 tram (+2 riserve)

- **Linea 2**: 4,942 km (doppio binario);

n. 13 fermate – Tratta esercita da 3 tram

- **Linea 3:** 1,436 Km (doppio binario);
- **Linea 4**: 5,843 km (loop singolo binario)

n. 16 fermate – Tratta esercita da 3 + 2 tram



Il sistema tranviario attuale dispone di due depositi : per la Linea 1 è presente il deposito Roccella (capacità max 18 tram) mentre, a servizio delle Linee 2,3,4 e disponibile il deposito Leonardo da Vinci (capacità max 12 tram).

Lungo le linee tranviarie sono presenti 7 sottostazioni elettriche (SSE) oltre ad una SSE per ciascun deposito.

La flotta attuale è composta da 17 veicoli Bombardier Flexity Outlook

Velocità commerciale : 20 km/h

Caratteristiche del sistema

- "Tranvia veloce o metrotranvia" secondo la definizione della norma UNI 8379:2000;
- Sede tranviaria propria protetta con cordoli e protezioni metalliche;
- Fermate con incarrozzamento a raso per l'accesso dei disabili attrezzate con pensiline, emettitrici, illuminazione, diffusione sonora, infototem, sorveglianza TVCC;
- Asservimento semaforico agli incroci;
- Instradamento centralizzato dei veicoli in Deposito (PCD);
- Alimentazione 750 V cc;
- Comunicazioni terra-bordo tramite sistema Radio TETRA;
- Trasmissione dati mediante rete in fibra ottica GIGABIT ETHERNET;
- Localizzazione dei veicoli lungo linea tramite sistema loop/trasponder (AVLS);
- Controllo scambi in deposito tramite mass-detector o circuiti di binario.

Caratteristiche dell'armamento

- Scartamento binario pari a 1435 mm
- Rotaia a gola profilo Ri 59N posate in opera con l'ausilio di portalini metallici atti a posizionare il binario nella corretta posizione plano-altimetrica, già completo di organi di attacco e tirafondi, prima del getto di inghisaggio nel calcestruzzo,
- Attacchi tipo Nablà
- Platea in calcestruzzo armato di spessore 250 mm
- Materassino elastomerico, ove presente, disposto sul fondo della piattaforma e sulle facce laterali, per conferire al sistema, unitamente all'attacco elastico e alla sotto-rotaia, le volute risposte antivibranti.

Trazione elettrica

- Con catenaria aerea – 750 Vcc;
- L'alimentazione dell'intero sistema è assicurata con cavo a 20 Kv da quattro Cabine Primarie denominate Brancaccio, Cappuccini, Uditore e Borsellino e da un sistema proprietario, sempre a 20 Kv, che collega tra loro le nove SSE.

Posto di Controllo Centralizzato (PCC)

Il Posto di Controllo Centralizzato (PCC) è situato all'interno dell'edificio principale del deposito Leonardo da Vinci. E' un unico sistema centrale in grado di gestire tutte le funzionalità delle linee tranviarie inerenti sia l'esercizio viaggiatori, sia il controllo degli enti di linea (SSE e linea di contatto) e dei principali impianti di fermata.

1.2 Sistema tranviario di progetto

1.2.1 Principali prestazioni obiettivo dell'innovativo sistema di trasporto

L'innovativo sistema di trasporto pubblico a guida vincolata su ferro proposto per l'ampliamento della rete tranviaria di Palermo, implementa le più innovative ed efficienti soluzioni tecnologiche disponibili sul mercato e nel contempo interpreta e recepisce bisogni che nascono dall'approccio ecologico globale sostenibile del trasporto, dalla esigenza di riqualificazione degli spazi urbani attraversati e dalla necessità di collegamento di tutte le modalità di trasporto tramite hub di scambio multimodale all'interno dei nodi di scambio esistenti (passante ferroviario, anello ferroviario, parcheggi), nonché l'attivazione di nuovi servizi di mobilità sostenibile (postazioni di bike e car sharing).

Le principali "prestazioni obiettivo" che il concorrente intende proporre sono:

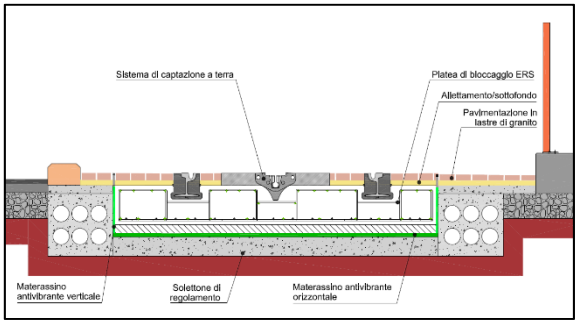
- Individuare una sede tranviaria che garantisca una adeguata velocità commerciale ed elevata regolarità di esercizio prevedendo, per le tratte all'interno della "città densa", una sede "promiscua riservata" ad uso esclusivo per il transito dei rotabili tranviari che può essere utilizzata anche da veicoli a guida libera espressamente autorizzati (UNI 8379) mentre, per le tratte "periferiche", una sede tranviaria "promiscua protetta" delimitata lateralmente da elementi di separazione fisica. I

rotabili e la sede tranviaria saranno dotati di impianti di localizzazione del tram che consentano di dare priorità semaforica al mezzo pubblico in corrispondenza degli attraversamenti stradali.

- Progettare un corridoio infrastrutturale integrato, non più strada e tranvia separate, ma un nuovo organismo spaziale in grado di valorizzare gli elementi di identità e qualità presenti nel tessuto urbano di Palermo.
- Progettare una sede tranviaria la cui geometria di tracciato sia conforme a quanto prescritto dalla revisione della norma UNI 7836:1978 in corso di pubblicazione (progetto U94.04.065.0) che, per la prima volta in Italia, definisce i parametri per la progettazione dell'andamento planimetrico ed altimetrico delle tranvie, in analogia a quanto già presente nelle norme UNI per le metropolitane e per le ferrovie.
- Riorganizzare e rigenerare il sistema di accessibilità alle fermate tranviarie, attraverso il contributo di esperti di conservazione e riqualificazione urbana, con l'obiettivo di garantire una soluzione basata sull'idea della ricucitura, integrando con interventi minimi le preesistenze e conferendo significato urbano a spazi prima interstiziali e privi di qualità sociale.
- Garantire la funzionalità dei fronti strada in ordine alla esigenze della residenza e delle attività commerciali (passi carrai e pedonali, ecc).
- Individuare e progettare le misure necessarie a evitare potenziali effetti negativi sulla circolazione stradale, in relazione alle attività di cantiere.
- Individuare e progettare le misure necessarie a ridurre l'inquinamento acustico sia in fase di cantierizzazione ed in esercizio.
- Consentire, tramite la realizzazione della tratta C provvista di alimentazione da catenaria aerea, il collegamento diretto tra il deposito Roccella e il deposito Leonardo da Vinci al fine di permettere, a tutti i rotabili Bombardier attualmente in dotazione alla flotta d AMAT, di poter effettuare la manutenzione straordinaria al deposito Roccella (dotato di tornio in fossa) evitando costosi trasbordi a mezzo di "trasporti speciali" su strada come attualmente avviene.

1.2.2 Tecniche costruttive per la mitigazione di rumore e vibrazioni

Le principali componenti tecnologiche innovative proposte afferiscono alla mitigazione degli impatti del sistema di trasporto, alla riduzione dei consumi energetici, all'aumento della versatilità del sistema di trasporto, all'incremento della sicurezza per l'infrastruttura e passeggeri ed al miglioramento della regolarità della gestione del servizio di trasporto.



Il sistema di armamento proposto è il cosiddetto "binario incassato" detto anche ERS (Embedded Rail System), in grado di abbattere significativamente i rumori emessi dai veicoli in circolazione e le vibrazioni trasmesse agli edifici circostanti.
Il sistema prevede l'istallazione del binario isolato su appoggio continuo con elasticità omogenea (platea in c.a.), senza fissaggio meccanico. Le rotaie presentano lateralmente e sotto la suola, un rivestimento elastico composto da appositi profili realizzati con un elastomero granulare sinterizzato ad alta densità. Il binario con le rotaie "rivestite" verrà installato con il metodo "top-down", cioè realizzato dall'alto verso il basso. Le rotaie "rivestite" con i profili in gomma e sostenute tramite portalini metallici, vengono posizionate e regolate in altezza e scartamento e successivamente annegate parzialmente nella platea in calcestruzzo fibrorinforzato (FRC). (con il nuovo DM 17/01//2018 Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018) il calcestruzzo FRC viene assunto come materiale da costruzione).

Al fine di ridurre notevolmente le vibrazioni trasmesse dal sistema "soletta di armamento – binari" al terreno circostante, verrà disposto tra la soletta di fondazione e la platea di armamento, un doppio strato di materassini antivibranti nonché un singolo pannello per la separazione in verticale dell'armamento.

1.2.3 Alimentazione per la trazione elettrica "catenary free"per la mitigazione dell'impatto visivo.

L'area urbana di Palermo presenta aree ad elevato pregio storico, architettonico e paesaggistico ove la presenza della linea area di alimentazione elettrica, di palificazioni e tiranti di sostegno costituirebbero una grave fonte di "inquinamento visivo".

A tal fine l'innovativo sistema proposto prevede una soluzione di alimentazione con linea di contatto a terra (senza catenaria aerea) che non crea limiti e pericoli al traffico stradale e pedonale.

L'alimentazione in continuo per la trazione elettrica viene fornita e resa disponibile da segmenti di "terza rotaia" incassati nella platea di armamento, posizionati tra le due rotaie ed alimentati in sicurezza solo in corrispondenza del modulo collocato sotto il veicolo tranviario in transito che è attrezzato con apposito organo di captazione che attiva la linea e preleva corrente per la trazione.

Questo sistema di captazione da terra permette stesse performance del sistema con catenaria aerea stessa potenza disponibile, accelerazioni, velocità massima, pendenze superabili fino all'8%, nessun impatto sui tempi di sosta nelle fermate e capolinea ed infine, stessa "vita utile attesa".

Il sistema di alimentazione da terra è sicuro e testato da oltre dieci anni di esercizio in Europa e nel mondo, ed è compatibile con tutte le tipologie di pavimentazioni e finiture superfici, facilmente estensibile in future tratte, resistenti ai carichi statici e dinamici nelle sedi tranviarie di tipo promiscuo come per le tratte urbane.

Stante che **i sistemi di alimentazione per trazione elettrica** di nuova generazione, **senza catenaria aerea (catenary free)**, prodotti dai maggiori player presenti sul mercato mondiale, afferiscono sostanzialmente a **due distinte tecnologie innovative**: **a)** sistemi con continuità di alimentazione da terra, ove l'alimentazione viene fornita al rotabile da segmenti di "terza rotaia". **b)** rotabili equipaggiati con sistemi di immagazzinamento a bordo (super-capacitori e batterie) ove la ricarica avviene in ogni fermata, si è dovuto quindi risolvere preliminarmente il problema di quale sia il sistema di "catenary free" più adatto al progetto di ampliamento del sistema tranviario di Palermo. **Non esiste infatti un'unica tecnologia valida per tutti gli usi e condizioni.**

La metodologia proposta per l'individuazione della tecnologia più idonea prende in esame tre diversi aspetti:

1) Fattori connessi all'ambiente; **2)** Fattori legati alle caratteristiche specifiche della linea; **3)** Fattori connessi all'analisi Costi Investimenti & Costi di Gestione.

Nella Relazione Materiale Rotabile – Impianti (R.3), al capitolo 1 è stata illustrata la metodologia utilizzata per la scelta di proporre la soluzione con alimentazione in continuo da terra.

1.2.4 Le nuove tratte tranviarie

I tracciati delle nuove Tratte del sistema tranviario di Palermo partono dall'assunto di collegare le linee esistenti per realizzare un unico sistema tranviario interconnesso anche con la linea ferroviaria e le principali arterie stradali che servono la città di Palermo. Le nuove linee si estendono a nord attraverso la zona di espansione della città, fino a collegare Mondello con l'anello terminale della linea E, e Sferracavallo con la linea G, mentre a sud si estende fino a Bonagia con l'anello terminale della linea D.

Il completamento del sistema di trasporto pubblico su ferro, sarà in grado di soddisfare la gran parte della domanda sistematica di mobilità; tale sistema, supportato da una rete di autobus sarà in grado di fornire un servizio capillare su tutto il contesto metropolitano della città di Palermo.

Il punto di arrivo auspicato per questo processo di trasformazione della mobilità è uno scenario in cui il tram diviene il principale mezzo di trasporto per le grandi masse di cittadini che ogni giorno si spostano, come una vera e propria metropolitana di superficie.

L'esercizio del Sistema Tranviario scaricherà una importante quota di traffico veicolare dalle strade, anche

con benefico risparmio di emissioni dannose in atmosfera.

Il tracciato delle nuove linee sarà ricavato, quasi totalmente, lungo gli assi stradali esistenti, mantenendo pressoché invariata la quota del piano del ferro rispetto al piano stradale; inoltre l'utilizzo di un pacchetto tranviario con spessori ottimizzati (h = 70 cm circa), ha consentito di **minimizzare i movimenti terra e le demolizioni** di manufatti esistenti, riducendo al contempo le quantità di materiali da movimentare e da conferire a discarica.

Il sistema di trasporto a guida vincolata su ferro, in base alla Norma UNI 8379:2000 "Sistemi di trasporto a guida vincolata (ferrovia, metropolitana, metropolitana leggera, tranvia veloce e tranvia) è così classificabile :

- **Tranvia** nelle tratte urbane con "catenary free":
  Tratta A., B, E (fino alla fermata Scalea – Piazza Cavaretta e poi nel tratto a singolo binario a Mondello in partenza/ arrivo alla fermata Olimpo Piazza Castelforte) ed infine nella tratta F.
- **Tranvia veloce (metrotranvia)** nelle tratte urbane e sub-urbane alimentate con catenaria aerea**:**
  Tratta C, D, E (in parte) e Tratta G, ove la sede consente velocità commerciali e portate superiori grazie alla delimitazione laterale ottenuta da elementi di separazione fisica (transennature metalliche) atti a ridurre i rischi di invasione della sede da parte di altri veicoli e difficilmente valicabili per i pedoni.
  Le attuali linee tranviarie esistenti 1, 2, 3 e 4 sono classificate come "tranvia veloce (metrotranvia).

In base alla caratteristiche della piattaforma tranviaria, la sede è suddivisa nelle due seguenti configurazioni:

Sede "promiscua riservata" nelle tratte con "catenary free": ove la sede è concepita per il transito esclusivo del veicoli a guida vincolata che può essere utilizzata anche da veicoli a guida libera espressamente autorizzati. A tal fine la sede è adeguatamente dimensionata e pavimentata.
In tali tratte la piattaforma tranviaria è delimitata lateralmente da elementi di leggera separazione fisica (cordoli) atti a dissuadere l'intrusione di altri veicoli e dei pedoni nella sede. In particolare la tranvia è delimitata lateralmente da un cordolo in granito avente la sommità posta ad una quota di +12 cm rispetto al piano di riferimento stradale in prossimità del cordolo stesso, mentre il piano del ferro è posto a quota + 8 cm sempre rispetto piano stradale.

Sede promiscua protetta: nelle tratte con "catenaria aerea" la sede è concepita per il transito esclusivo del veicoli a guida vincolata che eccezionalmente può essere utilizzata anche da veicoli a guida libera espressamente autorizzati. A tal fine la piattaforma tranviaria viene 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.

Nelle tratte a "**sede promiscua libera presente nelle intersezioni stradali**", i cordoli laterali della sede sono interrotti in sede promiscua e provvisti di raccordi appropriati tra la sede tranviaria e il piano stradale, al fine di garantire attraversamenti trasversali agevoli nei punti consentiti.

Per ogni tipologia di sede sono dunque state studiate protezioni idonee, esse si suddividono in due gruppi:

Protezioni "visive" – serie di accorgimenti atti a distinguere da un punto di vista percettivo il piano viario e gli spazi di pertinenza dei pedoni dalla sede tranviaria; ottenuti nel caso in esame tramite l'utilizzo coerente dei materiali di rivestimento e finitura (pavimentazioni, cordoli in particolare) che consentono una differenziazione cromatica e percettiva tra la sede e l'ambiente circostante costituendo, di fatto, un primo livello di protezione e assicurando al contempo un corretto inserimento nel contesto urbano circostante;

Protezioni "fisiche" – elementi posti al bordo sede che costituiscono una separazione fisica, quali cordoli, transennature metalliche.

La protezione vera e propria deriva da un utilizzo congiunto di queste due tipologie.

Come avviene ormai in tutte le realizzazioni di trasporto pubblico di massa su rotaia, le vibrazioni propagate attraverso l'aria, il suolo e le strutture devono essere mitigate per ridurre il disturbo che si arreca sugli edifici limitrofi. **Pertanto, ove possibile, è previsto l'inserimento della sede tranviaria al centro della carreggiata stradale** in modo da minimizzare il fenomeno delle vibrazioni e del rumore verso gli edifici.

Nel caso di sezione stradale ristretta (qualsiasi edificio le cui fondamenta si trovino ad una distanza inferiore ai 12 metri dall'asse centrale del binario), ed in corrispondenza di recettori sensibili individuati dal Piano di zonizzazione Acustica del comune di Palermo, tenendo anche in conto le esperienze acquisite in altri progetti di diverse città europee, lo studio preliminare del fenomeno vibratorio, a portato all'individuazione di tratte con la necessità di dotare la sede tranviaria di materassini elastomerici per l'abbattimento delle vibrazioni e del rumore (singolo o doppio spessore per il posizionamento orizzontale sotto platea).

Nelle successive fase di progettazione saranno approfonditi gli studi per ogni singola situazione, al fine di determinare la soluzione ottimale, in riferimento alla distanza tra edifici e binari, alla funzione dell'edificio ed alla sua sensibilità (residenziale, commerciale, industriale).

Per quanto concerne la componente rumore risulta necessario evidenziare che, anche nei tratti dove non è presente il materassino elastomerico, l'utilizzo del rivestimento continuo delle rotaie favorisce la riduzione del fenomeno.

Oltre all'attenuazione delle vibrazioni ad un moderno sistema di armamento oggi è anche richiesta la **protezione dalle correnti vaganti.** Relativamente all'isolamento elettrico delle rotaie utilizzate sia come mezzo di trasmissione dei segnali che di alimentazione di potenza risulta determinante evitare qualsiasi contatto con elementi di elevata conducibilità elettrica quali essenzialmente i metalli.

Per limitare al meglio i problemi connessi alla presenza di correnti elettromagnetiche risultano determinanti non solo gli elastomeri degli attacchi ed i profili di rivestimento delle rotaie ma anche l'eliminazione di ponti di elevata conduttanza elettrica tra le rotaie e tra queste e l'ambiente.

Il Sistema di Trasporto sarà dotato di un Sistema di Supervisione e Controllo tranviario in grado di essere di ausilio al conducente nella marcia a vista per permettergli di garantire i requisiti prestazionali di sistema richiesti. Il Sistema di Segnalamento assicura i transiti in sicurezza nei tratti singolari di linea quali:

- zone di manovra: capolinea o bivi;
- zone a scarsa visibilità: sottopassi o curve;
- nei tratti di circolazione banalizzata a singolo binario;
- intersezioni con viabilità ordinaria (incroci stradali, pedonali);
- intersezioni tra le linee tranviarie.

In tali aree, saranno previsti degli apparati che permettono di ottenere un adeguato livello di sicurezza al fine di garantire i transiti dei veicoli onde evitare collisioni e/o deragliamenti al transito dei veicoli sui deviatoi.

Gli impianti elettrici luce e F.M. di linea a servizio delle fermate situate lungo il prolungamento saranno alimentati dalle nuove 17 sottostazioni elettriche previste, localizzate lungo la linea tranviaria

La progettazione degli impianti è stata sviluppata con l'obiettivo di realizzare la massima integrazione di tutte le componenti che costituiscono il sistema con particolare attenzione a:

- massima affidabilità e disponibilità degli impianti in relazione alla destinazione di utilizzo;
- economicità di gestione, da intendersi come ottimizzazione delle risorse disponibili inizialmente in rapporto ai costi di esercizio (energia, manutenzioni, personale per la gestione, ecc.) da sostenere negli anni futuri;
- utilizzo di fonti energetiche alternative (pannelli fotovoltaici);
- salvaguardia dell'ambiente;

Gli impianti avranno quindi un'elevata affidabilità e disponibilità, o in altre parole bassa probabilità di guasto e, in caso di guasto, capacità di garantire comunque il mantenimento di condizioni minime di esercizio.

Il principio di garantire le condizioni di affidabilità e disponibilità idonee alle varie utenze, si traduce nella necessità di realizzare impianti con un adeguato grado di ridondanza ed una suddivisione delle potenze su un numero sufficiente di apparecchiature.

Nella progettazione degli impianti sono state individuate soluzioni che ottimizzino l'investimento globale

iniziale in rapporto ai costi da sostenere per l'esercizio, la gestione, la manutenzione del complesso edificio-impianti.

1.2.5 Sistema di alimentazione "Catenary free".

L'area urbana di Palermo presenta aree ad elevato pregio storico, architettonico e paesaggistico ove la presenza della linea area di alimentazione elettrica, di palificazioni e tiranti di sostegno costituirebbero una grave fonte di "inquinamento visivo".

A tal fine l'innovativo sistema di trasporto pubblico di massa a guida vincolata su ferro proposto, prevede l'utilizzo di **rotabili di tipo ibrido**, il cui il sistema di alimentazione può essere costituito

- Linea di contatto aerea. (Tratte C, D, E (in parte), G.
- Alimentazione in continuità da terra con sistema APS (Tratte A, B, E (in parte), F.
- Inoltre per prevenire eventuali problematiche inerenti la cadute o assenza di tensione, aspetto innovativo del rotabile proposto, è la dotazione di apposita **batteria di** bordo per l'alimentazione di backup con capacità di 3,6 kWh, atta a sopperire alla mancanza di fonte primaria di energia. Tale capacità è stata dimensionata per consentire la piena operatività e l'adeguato margine per percorrere un tratto di linea di circa 400 m in piano compreso tra due fermate, a pieno carico, e contemporaneo utilizzo dell'impianto di condizionamento.

I rotabili proposti per l'ampliamento del sistema tranviario di Palermo, saranno conformi alla norma UNI 11174:2014 "Materiale rotabile per tramvie e tramvie veloci – Caratteristiche generali e prestazioni".

I rotabili tranviari, composti da 5 casse articolate interconnesse per mezzo di connessioni sul telaio e copertura, sono di **tipo bidirezionale**, con **alimentazione di tipo ibrido**, con pantografo al fine di consentirne l'utilizzo sulle linee 1, 2, 3 e 4 oggi in esercizio con catenaria aerea, e sono altresì equipaggiati con apparecchiature di bordo **per alimentazione continua da "terza rotaia" - sistema APS** (Alimentation Par le Sol)**".** Il sistema APS verrà installato esclusivamente nelle tratte indicate dal bando di gara, e integrate dalle indicazioni fornite dalla Commissione di Gara per la seconda fase concorsuale e precisamente le tratte prive di catenaria aerea sono : la tratta A, B, E (fino all'innesto in via Lanza di Scalea), la tratta F ed infine la tratta E nel tratto a unico binario (Mondello

Questo sistema di captazione da terra permette stesse performance del sistema con catenaria aerea, la stessa potenza disponibile, analoghe accelerazioni, velocità massima, pendenze superabili fino all'8%, nessun impatto sui tempi di sosta nelle fermate e capolinea ed infine, stessa "vita utile attesa".

Con il sistema APS (Alimentation Par le Soil) l'alimentazione in continuo per la trazione elettrica viene fornita e resa disponibile da segmenti di "terza rotaia" della lunghezza di 11 m/cad., incassati nella platea di armamento, posizionati tra le due rotaie ed alimentati in sicurezza solo in corrispondenza del modulo collocato sotto il veicolo tranviario in transito che è attrezzato con apposito organo di captazione che attiva la linea e preleva corrente per la trazione. (vedasi figure sottostanti).

I segmenti di rotaia vengono alimentati da appositi Power Boxes, uno ogni due segmenti di rotaia. In caso di avaria su un Power Boxes, viene pertanto disalimentato un tratto di 22 metri di linea.

Per sopperire alla mancanza di fonte primaria di energia, il rotabile è dotato di apposita batteria di bordo per l'alimentazione di backup con capacità di 3,6 kWh. Tale capacità è stata dimensionata per consentire la piena operatività e l'adeguato margine per percorrere un tratto di linea di circa 400 m in piano compreso tra due fermate, a pieno carico ed il contemporaneo utilizzo dell'impianto di condizionamento.

Nel paragrafo 2.1 della Relazione R4: Materiale rotabile e Impianti - vengono dettagliatamente descritti i principi di funzionamento del sistema APS.

Il rotabile, con sistema di alimentazione in continuo da terra (APS), è provvisto dei seguenti apparati di bordo:

- Pattino collettore posizionato sotto la cassa centrale del tram: preleva l'energia di trazione dei segmenti in tensione della rotaia (L=11 m/cadauno) posto in asse al binario tranviario.
  Il segmento conduttivo viene alimentato e disalimentato progressivamente al passaggio del tram per assicurare sicurezza ai pedoni. La linea di alimentazione "segmentata" è alimentata da "power box" interrati posti ai lati della sede tranviaria.
- Quadro di commutazione : seleziona la fonte di alimentazione APS
- Sistemi Radio (a bordo ed integrati) : emettono segnali radio codificati per rilevare il veicolo ed attivare l'elemento individuato.
- Batteria di back: il rotabile è dotato di batteria per l'alimentazione di back up in caso di mancanza fonte primaria di energia che garantisce una idonea capacità di accumulo di energia al fine di permettere al rotabile di percorrere una distanza di circa 400 m

Il sistema di alimentazione in continuo (APS) prevede i seguenti apparecchi a terra:

- Elementi di potenza di APS : singoli elementi da 11 metri
- APS Power Boxes : interrati in prossimità del binario. Viene posizionato un P.B. ogni 2 elementi
- APS cabinet in sottostazione : garantisce sicurezza ed integrità del sistema
- Sistema di supervisione APS in real time: permette la geo-localizzazione dele zone APS e permette il monitoraggio real time di tutte le apparecchiature

Caratteristica specifica del sistema : Convertitore HESOP per il recupero di energia in frenatura

Il sistema di alimentazione primaria in Media Tensione garantirà la distribuzione di energia elettrica occorrente per la trazione e per i servizi della linea tramviaria. Sono previste n. 17 sottostazioni (due in meno di quanto previsto dallo SdF allegato al bando di gara) della potenza installata di 2,0 MW cadauna, posizionate lungo linea nelle diverse tratta, in grado di garantire il servizio regolare nel periodo di punta con il cadenzamento massimo dei convogli ed il "fuori servizio", per manutenzione o guasto. **E' previsto il recupero di energia in frenatura con l'utilizzo del convertitore HESOP** in una S.S.E. ogni tre S.S.E. di alimentazione presenti.

1.2.6 Caratteristiche tecniche delle nuove tratte tranviarie

Gli interventi in progetto attengono alla realizzazione di un'infrastruttura di trasporto a guida vincolata, con sede in ambito urbano/Sub urbano, a doppio e a singolo binario, con scartamento di 1435, con una lunghezza complessiva di 70,14 km (A/R), di cui 34,24 km (A/R) serviti con il sistema di trazione elettrico a terra denominato" Catenary Free" ed i restanti 35,90 km (A/R) con la tipica alimentazione con catenaria aerea, installata su pali centrali nei tratti in rettifilo e con pali laterali per i tratti in curva.

La geometria del tracciato è individuata nel rispetto dei valori previsti dalle norme UNI per tranvie; specificamente si è assunto il rispetto delle indicazioni di cui alla norma UNI 7156:2014 "Tramvie urbane ed extraurbane - Distanze minime degli ostacoli fissi dal materiale rotabile ed interbinario", nonché della norma UNI 8379:2000 "Sistemi di trasporto a guida vincolata (ferrovia, metropolitana, metropolitana leggera e tramvia) - Termini e definizioni".

Lungo il tracciato sono previste due comunicazioni di cui una semplice, posta in prossimità della fermata Bonaria ed una comunicazione doppia alla fermata Stazione al fine di permettere la circolazione dei rotabili tranviari in caso di temporanei disservizi o limitazioni di operatività al normale esercizio dell'impianto.

La comunicazione doppia è posta tra due binari con interasse 3570 mm ed è costituita da n. 4 scambi semplici 59R2/50/0,200 (UNI EN 14811).

La comunicazione semplice è composta da due scambi con R= 50 m con profilo di rotaia 59R2/50/0,200 (UNI EN 14811).

Le caratteristiche principali delle singole tratte sono :

TRATTA A	
Tipologia di sede	Sede Promiscua riservata
Alimentazione elettrica	Catenary free
Lunghezza del tracciato a doppio binario:	0,21 km
Lunghezza del tracciato a singolo binario:	11,78 km
Ambito del tracciato:	Urbano
Numero fermate:	n. 26 con banchina laterale, di cui 5 con doppia banchina.
Bivi (diramazioni) e incroci	n. 1 comunicazione doppia in prossimità della stazione centrale; n. 1 comunicazione semplice in prossimità dell'anello; n. 1 bivio di collegamento alla linea 1; n. 1 bivio di collegamento alla linea C; n. 1 bivio di collegamento alla linea F; n. 2 intersezioni/collegamenti alla linea B; n.1 collegamento alla linea E
Sottostazioni Elettriche	n. 2

TRATTA B	
Tipologia di sede	Sede Promiscua riservata
Alimentazione elettrica	Catenaria aerea
Lunghezza del tracciato a doppio binario:	1,00 km
Lunghezza del tracciato a singolo binario:	0,08 km
Ambito del tracciato:	Urbano
Numero fermate:	n. 3 con banchina doppia laterale
Bivi (diramazioni) e incroci	n. 2 bivi di collegamento al terminal Notarbartolo linee 2,3,4; n. 2 intersezioni/collegamenti alla linea A;
Sottostazioni Elettriche	n. 1

TRATTA C	
Tipologia di sede	Sede Promiscua riservata
Alimentazione elettrica	Catenaria aerea
Lunghezza del tracciato a doppio binario:	1,37 km
Lunghezza del tracciato a singolo binario:	6,58 km
Ambito del tracciato:	Urbano - Suburbano
Numero fermate:	n. 7 con banchina doppia laterale e n. 4 con banchina centrale
Bivi (diramazioni) e incroci	n. 2 bivi di collegamento al terminal Notarbartolo linee 2,3,4; n. 1 bivio di collegamento alla linea D; n. 2 intersezioni/collegamenti alla linea A;
Sottostazioni Elettriche	n. 2

TRATTA D	
Tipologia di sede	Sede Promiscua riservata / Sede Promiscua protetta
Alimentazione elettrica	Catenaria aerea / Catenary free sul ponte fiume Oreto
Lunghezza del tracciato a doppio binario:	3,32 km
Lunghezza del tracciato a singolo binario:	2,68 km
Ambito del tracciato:	Urbano - Suburbano
Numero fermate:	n. 11 con banchina laterale di cui 6 in banchina doppia e n. 1 con banchina centrale
Bivi (diramazioni) e incroci	n. 1 bivio di collegamento alla linea C; n. 2 comunicazioni semplici, in prossimità della fermata 4 e dell'anello
Sottostazioni Elettriche	n. 1

TRATTA E	
Tipologia di sede	Sede Promiscua riservata / Sede Promiscua protetta
Alimentazione elettrica	Catenaria aerea per 9,03 km (A/R)/ Catenary free per 10,53 km (A/R)
Lunghezza del tracciato a doppio binario:	5,63 km
Lunghezza del tracciato a singolo binario:	9,03 km
Ambito del tracciato:	Urbano - Suburbano
Numero fermate:	n. 14 con banchina laterale di cui 2 in banchina doppia e n. 13 con banchina centrale
Bivi (diramazioni) e incroci	n. 3 bivi di collegamento e n. 1 comunicazione doppia alla fermata San Lorenzo Colli (interconnessione al passante ferroviario); n. 2 bivi di collegamento alla linea G; n. 2 bivi di collegamento al deposito; n. 5 comunicazioni semplici, in prossimità della fermata 1, fermata 4, fermata 8, fermata 10 e dell'anello
Sottostazioni Elettriche	n. 6

TRATTA F	
Tipologia di sede	Sede Promiscua riservata
Alimentazione elettrica	Catenary free
Lunghezza del tracciato a doppio binario:	4,61 km
Lunghezza del tracciato a singolo binario:	0,0 km
Ambito del tracciato:	Urbano – portuale
Numero fermate:	n. 9 con banchina doppia laterale

Bivi (diramazioni) e incroci	n. 1 bivio di collegamento alla linea A, n. 3 comunicazioni semplici, in prossimità della linea B, della fermata 2 e della fermata 6
Sottostazioni Elettriche	n. 2

TRATTA G	
Tipologia di sede	Sede Promiscua protetta
Alimentazione elettrica	Catenaria aerea
Lunghezza del tracciato a doppio binario:	2,48 km
Lunghezza del tracciato a singolo binario:	2,81 km
Ambito del tracciato:	Suburbano - Urbano
Numero fermate:	n. 14 con banchina laterale di cui 2 in banchina doppia e n. 1 con banchina centrale
Bivi (diramazioni) e incroci	n. 1 bivio di collegamento alla linea E; n. 1 comunicazioni semplice in prossimità della fermata 4 e n. 1 comunicazione doppia al capolinea
Sottostazioni Elettriche	n. 2

2. CARATTERISTICHE FUNZIONALI

2.1 Obiettivi del progetto

Considerando il Sistema Tranviario di Palermo come un *unicum* funzionale, le nuove linee di progetto vengono inserite nel tessuto tranviario esistente in modo tale da consentirne lo sfruttamento anche tramite l'utilizzo di strutture / personale / impianti già messi a disposizione nella struttura aziendale dell'attuale gestore. Tale continuità consente infatti non soltanto la razionalizzazione delle risorse economiche ed umane necessarie alla gestione delle linee, ma permette soprattutto di collegare i flussi dei passeggeri sulle diverse direttrici di trasporto tranviario.

La continuità con la gestione delle altre linee tranviarie si realizza **strutturalmente** tramite i tre collegamenti fisici con la linea 1, in corrispondenza della stazione Centrale, la linea 4 in corrispondenza del ritorno Calatafini, e con le linee 2 e 3 in corrispondenza del capolinea Notarbartolo. La continuità **gestionale** avviene tramite l'utilizzo comune dei depositi già esistenti che integrano i lavori del nuovo deposito Olimpo, infine integrando la gestione del personale già in forza per le linee tranviarie attive (la manutenzione, i conducenti, i Supervisori al posto centrale di controllo saranno integrati nel numero in modo da fornire l'adeguato supporto), ma verranno inseriti in una struttura organizzativamente già formata e beneficeranno del *know-how* acquisito sulle altre linee.

Il Posto Centrale di Controllo (PCC) sarà interamente aggiornato al nuovo Sistema Tranviario. Il PCC è il luogo ove sono posizionati gli apparati che consentono di controllare e di regolare il sistema di trasporto.

Esso è anche il luogo dove si concentrano tutte le informazioni sul movimento della flotta e lo stato degli impianti in linea, nelle fermate e nel deposito (zona di rimessaggio e officina di manutenzione). Tutte le decisioni che riguardano il funzionamento della linea sono generate e trasmesse dal PCC.

Il compito quotidiano dei Supervisori che lavorano al PCC è, quindi, quello di pilotare il buon funzionamento della linea, nel rispetto scrupoloso delle regole e delle procedure che garantiscono la sicurezza del trasporto,

con la preoccupazione fondamentale di generare un servizio di qualità per i viaggiatori, e ciò mediante un servizio efficace e affidabile.

Il PCC è attivo ogni giorno di esercizio. Il ruolo degli addetti presenti, a turno, nel PCC è anche quello di controllare le operazioni di pulizia o di manutenzione, di gestire la distribuzione dell'energia di trazione e di assicurare la protezione e la vigilanza dei beni.
In situazione normale, il PCC assicura la regolazione dei treni in linea e gestisce la presa in carico dei tram tra il deposito ed il capolinea. In caso di incidente, il PCC svolge un ruolo specifico basato sui quattro obiettivi seguenti:

- raccogliere e trasferire l'informazione sull'ubicazione, la natura e l'evoluzione dell'incidente, come anche sulle strutture e le persone coinvolte;
- intervenire sul luogo dell'evento; in caso di necessità, il PCC può delegare all'intervento sul posto altro personale aziendale;
- risolvere l'incidente minimizzando le conseguenze per i passeggeri;
- assicurare la trasmissione rapida delle attività da attuare (in linea ed altrove, se necessario con altre entità pubbliche: VV.FF, Polizia etc.);
- avere il controllo delle azioni realizzate e dell'evoluzione dell'evento e comunicare tempestivamente col personale coinvolto e con i passeggeri.

Il nuovo deposito "Olimpo" verrà costruito in un'area individuata sulla linea E, in via dell'Olimpo/via S. Pertini.

La scelta di costruire un deposito ulteriore rispetto in aggiunta a quelli esistenti Roccella e Leonardo deriva in primis da un'esigenza di spazio per il rimessaggio dei tram, in quanto non è possibile ampliare le rimesse esistenti. (vedasi paragrafo 5.2 della presente relazione).

Si consideri inoltre che la distanza che avrebbero dovuto percorrere le vetture uscendo dai depositi esistenti per dirigersi verso le linee E e G per entrare in servizio per la prima corsa avrebbe portato forzatamente all'aumento considerevole dei chilometri percorsi fuori servizio. Tale soluzione consente infine di immettere le vetture su tutte le linee da tutti i depositi, senza congestionare i binari di uscita dei depositi.

Tramite la realizzazione della tratta C, provvista di alimentazione da catenaria aerea, verrà a crearsi il collegamento diretto tra il deposito Roccella e il deposito Leonardo da Vinci al fine di permettere, a tutti i rotabili Bombardier attualmente in dotazione alla flotta d AMAT, di poter effettuare la manutenzione straordinaria al deposito Roccella (dotato di tornio in fossa) evitando costosi trasbordi a mezzo di "trasporti speciali" su strada come attualmente avviene.

Il deposito potrà servire per accogliere alcune attività comuni a tutto il sistema tranviario, in modo da razionalizzare, in un'ottica di economicità organizzativa, l'intero sistema, ed è necessario per non sovraccaricare il deposito Roccella per i lavori di manutenzione correttiva, che necessitano di prove di collaudo con transiti lungo i binari del deposito. Qualsiasi tipo di manutenzione / riparazione, potrebbe portare ad una saturazione incompatibile con le esigenze di efficienza ed affidabilità attese se localizzate in una unica struttura con sovraffollamento di mezzi e sovrapposizione delle attività. Inoltre, la presenza di un presidio nella parte nord della città comporta una velocizzazione di talune operazioni, che altrimenti sarebbero da ricondurre tutte al deposito principale, con conseguenti tempi di gestione assai più lunghi.

Dal momento che la logica di progettazione si è basata sul considerare funzionalmente l'interconnessione delle linee, così da poter eliminare la ridondanza di strutture economicamente pesanti sul progetto, il deposito Olimpo è stato pensato per poter svolgere solo alcune funzioni (piccola e grande manutenzione ad esempio) e lasciare la realizzazione di alcune attività quali la verniciatura, per cui sarebbero necessitate particolari e costose attrezzature, in capo al deposito di Roccella.

Obiettivi principali del sottosistema armamento sono così riassumibili:

1. Realizzazione di un binario ad elevata sicurezza intrinseca;
2. Nelle tratte ad elevata sensibilità vibro-acustica, realizzazione di un binario con frequenza di disaccoppiamento inferiore a 14 Hz così da attenuare il disturbo nel campo di frequenza di massimo

disturbo;

3. Realizzazione della platea di armamento con il sistema ERS (Embeded Rayl Sistem) in calcestruzzo fibrorinforzato, avente elevata resistenza meccanica così da limitare l'apertura delle fessure, in particolare nel caso di presenza del materassino vibro-isolante.
4. Riduzione delle correnti vaganti, o disperse utilizzando profili laterali in elastomero a totale avvolgimento delle rotaie a gola.

2.2 Obiettivi della sostenibilità ambientale

Il tracciato risponde ad una riqualificazione sociale, collegando al centro storico e ai servizi le aree suburbale della periferia e le estremità della città metropolitana.
L'intervento si prefigge come principali i seguenti obiettivi:

- ricucitura del tessuto urbano esistente;
- riqualifica del contesto esistente nei quartieri che si sono sviluppati con l'espansione della città, ma che non sono stati inseriti in una programma di integrazione nel contesto urbano ;
- garanzia di un sistema tranviario cittadino affidabile ed ecologico, in sostituzione dell'attuale sistema di trasporto pubblico su gomma;
- riduzione del traffico su gomma e della congestione in particolare in alcuni tratti cittadini ;
- connessione della prima zona periferica con la zona centrale.

Per tale motivo sono previste n. 95 fermate di interdistanza variabile fra minimo m 250 e un massimo di m 757, la cui posizione è stata attentamente studiata sulla base delle previsioni urbanistiche e mirando ad ottimizzare la possibilità di fruibilità da parte degli utenti. L'accesso di tali fermate è stato attentamente studiato e le fermata in asse al viale Alcune fermate sono dotate di sovrappassi aerei o interrati.

Il sistema tranviario proposto si caratterizza per l'elevata mitigazione ambientale; a tal fine la metodologia proposta per la caratterizzazione acustica dei tracciati delle estensioni del sistema tranviario palermitano prevede preliminarmente l'individuazione dei recettori sensibili presenti nell'area di studio e già contenuti nel Piano Comunale di Zonizzazione Acustica di Palermo, con indicazione delle loro caratteristiche utili sotto il profilo acustico, quali ad esempio la destinazione d'uso, l'altezza e la distanza intercorrente dall'opera o dall'attività. Successivamente verrà prodotto apposito studio di propagazione delle vibrazioni attraverso il terreno (prove MASSW in apposite sezioni significative) nonché studio previsionale per la valutazione dei livelli vibrazionali che forniranno le necessarie indicazioni per stabilire i requisiti dei livelli di attenuazione sui binari (sistema di armamento a "massa molla"), sia in riferimento alla distanza tra edifici prospicenti la sede tranviaria e i binari, nonché alla funzione dell'edificio (ricettore) ed alla sua sensibilità.

L'intero tracciato in ampliamento delle linee tranviarie palermitane esistenti, verrà mappato al fine di individuare planimetricamente le sub-tratte ove si evidenzierà la necessità di garantire un adeguato isolamento vibro-acustico. (non superamento valori soglia)

I provvedimenti di tipo "attivo" verranno adottati nei rotabili al fine rendere esente da rumori di intensità elevata tali da essere percepiti come fastidiosi. A tal fine le sospensioni, gli equipaggiamenti, i pannelli di rivestimento e di chiusura, il pavimento, ecc saranno progettati in modo da impedire la risonanza delle frequenze fondamentali proprie del veicolo in tutte le condizioni di marcia (avviamento, accelerazione, velocità massima, frenatura, inserzione e disinserzione impianti di climatizzazione e ventilazione, percorrenza di curve, apertura e chiusura porte, ecc). L'impatto acustico nei confronti dell'ambiente esterno sarà conforme alle indicazioni della norma UNI 11174:2014.

I provvedimenti di tipo "passivo" sull'infrastruttura che si intendono utilizzare per ridurre gli effetti delle vibrazioni indotte dal sistema tranviario sugli edifici limitrofi, afferiscono a tre distinte tipologie di interventi (vedasi capitolo 3.6 della presente relazione:

3. CARATTERISTICHE TECNICHE

3.1 Quadro normativo di riferimento

La normativa vigente in materia presa a riferimento per lo studio di fattibilità tecnico – economico per l'ampliamento del sistema tranviario della città di Palermo, risulta la seguente:

3.1.1 Normativa generale

- D.lgs 18/04/2016 n.50 : Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2014/23/UE, 2014/24/UE e 214/25/UE e ss.mm.ii.;
- Decreto Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" (data di entrata in vigore : 22 marzo 2018).
- Legge 02/02/1974 "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche".
- Legge 29/12/1969 n.1042 : Disposizioni concernenti la costruzione e l'esercizio di ferrovie metropolitane.
- D.P.R. 11/07/1980 n.753 : Nuove norme in materia di polizia, sicurezza e regolarità dell'esercizio delle ferrovie e di altri servizi di trasporto.

3.1.2 Definizioni generali del sistema tranviario e materiale rotabile

- Circolare n.81/1996 del 31/05/1996 Ministero dei Trasporti relativa alla progettazione degli interventi nel settore dei sistemi di trasporto rapido di massa. Allegato 1: Linee guida per la progettazione delle tranvie.
- Normativa per le ferrovie italiane a scartamento di 950 mm : Geometria del binario – Profilo e dimensioni della ruota –Velocità massime di percorrenza --- Norma Vel. 1 ---- Milano 1.12.98
- Norma UNI 8379:2000 "Sistemi di trasporto a guida vincolata (ferrovia, metropolitana, metropolitana leggera, tranvia veloce e tranvia) – Termini e Definizioni".
- Norma UNI 11174:2014 "Materiale rotabile per tranvie e tranvie veloci, caratteristiche generali e prestazioni".

3.1.3 Dimensioni e tipologia della sede tranviaria

- Norma UNI 7156:2014 "Tramvie urbane ed extraurbane - Distanze minime degli ostacoli fissi dal materiale rotabile ed interbinario".
- Norma UNI 3648:1955: "Linee tranviarie con rotaie a gola. Definizioni di scartamento ordinario e a scartamento ridotto".
- Norma UNI 5646:2003 "Attraversamenti di ferrovie e tramvie extraurbane con strade pubbliche - Direttive per la scelta del sistema di attraversamento e, nel caso di attraversamento a raso, del sistema di protezione".
- D.lgs. 30/04/1992 n. 285 "Nuovo Codice della Strada".
- D.P.R. 16/12/1992 n. 495 "Regolamento di esecuzione e attuazione del nuovo codice della strada e successive modificazioni".
- D.M. 05/11/2001 n. 6792 "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade".
- Decreto 19/04/2006 "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali".
- Norme C.N.R. 19/03/1992 (B.U. n. 150) "Norme sull' arredo funzionale delle strade urbane"

3.1.4 Superamento barriere architettoniche

- Legge n. 118 del 30/03/1971 a favore dei mutilati ed invalidi civili, in materia di barriere architettoniche e trasporti pubblici.
- D.P.R. n. 503 del 24/07/1996 "Regolamento recante norme per l'eliminazione delle barriere architettoniche negli edifici, spazi e servizi pubblici".
- Regolamento UE n. 1300/2014 del 18/11/2014: Specifiche tecniche di interoperabilità per l'accessibilità del sistema ferroviario dell'Unione per le persone con disabilità e le persone a mobilità ridotta

- Norma UNI 11168-1:2006 "Accessibilità delle persone ai sistemi di trasporto rapido di massa.

3.1.5 Vibrazioni

- UNI 9614 – Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo
- UNI 9916 – Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici
- ISO 2631/1 – Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 1 : general requirements
- ISO 2631/2 – Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 2 : Continuous and shock-induced vibration in buildings (1-80 Hz)

3.1.6 Rumore

- Legge quadro sull'inquinamento acustico n.447 del 26/10/95
- DPCM 14/11/97 – Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore
- Decreto 16/3/98 - Tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento acustico

3.1.7 Armamento

- UNI 3551: 1978 Materiale minuto d'armamento di binari ferroviari e tranviari. Piastre.
- UNI 3557: 1966 : Materiale minuto di armamento di binari ferroviari. - Chiavarde d'ancoraggio.
- UNI 3648: 1955 : Linee tranviarie con rotaie a gola – Definizioni di scartamento di binario, di binario a scartamento ordinario ed a scartamento ridotto.
- UNI 3693: 1955 : Materiale d'armamento di binari tranviari - Nomenclatura.
- UNI 3694: 1955 : Materiale d'armamento di binari tranviari - Piastre.
- UNI 3695: 1955 : Materiale d'armamento di binari tranviari - Ganasce.
- UNI 3696: 1955 : Materiale d'armamento di binari tranviari – Traverse di scartamento.
- UNI 3698: 1955 : Materiale d'armamento di binari tranviari – chiavarde per traverse di scartamento.
- UNI EN 13906-1: 2013 : Molle ad elica cilindrica fabbricate con filo a sezione circolare e barra - Calcolo e progetto - Molle di compressione
- UNI EN 13906-2: 2003 : Molle ad elica cilindrica fabbricate con filo a sezione circolare e barra - Calcolo e progetto - Molle di trazione
- UNI EN 13906-3: 2003 : Molle ad elica cilindrica fabbricate con filo a sezione circolare e barra - Calcolo e progetto - Molle di torsione
- UNI EN ISO 898-1: 2009 : Caratteristiche meccaniche degli elementi di collegamento di acciaio - Parte 1: Viti e viti prigioniere con classi di resistenza specificate - Filettature a passo grosso e a passo fine.
- UNI EN ISO 898-2: 2012 : Caratteristiche meccaniche degli elementi di collegamento di acciaio al carbonio e acciaio legato - Parte 2: Dadi con classi di resistenza specificate - Filettatura a passo grosso e filettatura a passo fine.
- UNI EN ISO 2320: 2009 : Dadi auto frenanti di acciaio - Caratteristiche meccaniche e prestazioni
- UNI EN ISO 4034:2013 : Dadi esagonali normali (tipo 1) - Categoria C
- UNI EN ISO 7040: 2013 : Dadi esagonali auto frenanti normali (con inserto non metallico) - Classi di resistenza 5, 8 e 10
- UNI EN ISO 7089:2001 : Rondelle piane - Serie normale - Categoria A
- UNI EN ISO 3887: 2006 : Acciai - Determinazione della profondità di decarburazione
- UNI EN ISO 4042: 2003 : Elementi di collegamento - Rivestimenti elettrolitici
- CNR BU N. 69: 1978 : Norme sui materiali stradali – Prova di costipamento di una terra.
- CNR BU N. 146:1992 : Determinazione dei moduli di deformazione Md e Md' mediante prova di carico a doppio ciclo con piastra circolare.

3.1.8 Rotaie

- UNI 3142: 1996 : Rotaie a gola di acciaio per linee tranviarie – Profili, Dimensioni – Qualità – Prescrizioni e Prove.

- UNI EN 14811: 2010 : Applicazioni ferroviarie - Binario - Rotaie per impieghi speciali - Rotaie a gola e profili di costruzione associati
- Circolare RFI TCAR CI AR 07 001 A21/03/2000 : Abilitazione per l'esecuzione di saldature allumino termiche di rotaie per il personale dipendente da imprese appaltatrici.
- Istruzione Tecnica RFI TC AR IT AR 07 003 A : Istruzione sulla costituzione ed il controllo delle lunghe rotaie saldate.

3.1.9 Apparecchi di binario: Scambi e incroci

- UNI EN 13232 - 1: 2004 : Applicazioni ferroviarie - Binario – Scambi ed incroci. .- Definizioni
- UNI EN 13232 - 2: 2012 : Applicazioni ferroviarie - Binario – Scambi ed incroci. - Parte 2 : Requisiti per il progetto geometrico.
- UNI EN 13232 - 3: 2012 : Applicazioni ferroviarie - Binario – Scambi ed incroci. - Parte 3 : Requisiti per l'interazione ruota/rotaia.
- UNI EN 13232 - 4: 2012 : Applicazioni ferroviarie - Binario – Scambi ed incroci. - Parte 4 : Manovra, bloccaggio e controllo.
- UNI EN 13232 - 5: 2012 : Applicazioni ferroviarie - Binario – Scambi ed incroci. - Parte 5 : Scambi.
- UNI EN 13232 - 6: 2012 : Applicazioni ferroviarie - Binario – Scambi ed incroci. - Parte 6 : Cuori fissi semplici e doppi per incroci.
- UNI EN 13232 - 7: 2012 : Applicazioni ferroviarie - Binario – Scambi ed incroci. - Parte 7 : Cuori con parti mobili.
- UNI EN 13232 - 8: 2012 : Applicazioni ferroviarie - Binario – Scambi ed incroci. - Parte 8 : Dispositivi di dilatazione.
- UNI EN 13232 - 9: 2012 : Applicazioni ferroviarie - Binario – Scambi ed incroci. - Parte 9 : Assieme complessivo.
- VDV OR 14: 1995: : VDV Oberbau Richtlinien OR 14 - Weichen und Kreuzungen (Scambi ed Incroci)

3.1.10 Sistemi di fissaggio

- UNI EN 13481 - 1: 2012 : Applicazioni ferroviarie - Binario - Requisiti prestazionali per i sistemi di fissaggio : Parte 1 : Definizioni.
- UNI EN 13481 -2: 2012 : Applicazioni ferroviarie - Binario - Requisiti prestazionali per i sistemi di fissaggio – Parte 2 . Sistemi di fissaggio per traverse in calcestruzzo.
- UNI EN 13481 - 6: 2003 : Applicazioni ferroviarie - Binario - Requisiti prestazionali per i sistemi di fissaggio. – Parte 6 : Speciali sistemi di fissaggio rotaia-traversa per attenuazione delle vibrazioni.
- UNI EN 13481 -7: 2012 : Applicazioni ferroviarie - Binario - Requisiti prestazionali per i sistemi di fissaggio. – Parte 7 : Sistemi di fissaggio speciali per scambi, incroci e controrotaie.

3.1.11 Materassini elastomerici - Geotessili

- UNI 10570: 1997 : Prodotti per l'isolamento delle vibrazioni. Determinazione delle caratteristiche meccaniche di materassini e piastre
- UNI 11059: 2013 : Elementi antivibranti - Materassini elastomerici per armamenti ferrotranviari - Indagini di qualifica e controllo delle caratteristiche meccaniche e delle prestazioni
- UNI 5572: 1972 : Piastre di gomma sotto rotaia, scanalate, per armamento di binari ferroviari e tranviari.
- FS/RFI II-S-16 ed. ser_1985 : Specifiche tecniche per la fornitura di piastre di gomma sottorotaia scanalate..
- UNI 13250: 2005 : Geotessili e prodotti affini – Caratteristiche richieste per l'impiego nella costruzione delle ferrovie.
- UNI 6065: 2001 : Elastomeri - Prove su gomma vulcanizzata e termoplastica - Prova di trazione

3.1.12 Canalette drenaggio sede tranviaria – Delimitatori sede

- UNI EN 1433: 2008 : Canalette di drenaggio per aree soggette al passaggio di veicoli e pedoni - Classificazione, requisiti di progettazione e di prova, marcatura e valutazione di conformità
- UNI EN 124: 1995 : Dispositivi di coronamento e di chiusura per zone di circolazione utilizzate da pedoni e da veicoli. Principi di costruzione, prove di tipo, marcatura, controllo di qualità.

3.1.13 Calcestruzzo e acciaio

- Decreto Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" (data di entrata in vigore : 22 marzo 2018).
- Legge 05/11/1971 n.1086 "Norme tecniche per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica".
- Legge 02/02/1974 "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche".
- CNR DT204/2006 "Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo di strutture in calcestruzzo fibrorinforzato
- UNI EN 1992-1-1 : Progettazione delle strutture in calcestruzzo – Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.
- UNI EN 1993-1-1: 2005 : Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici
- UNI 11146: 2005 : Pavimenti di calcestruzzo ad uso industriale – Criteri per la progettazione, la costruzione ed il collaudo.
- ETAG 001 : Ancoraggi metallici da utilizzare nel calcestruzzo.
- UNI EN 206-1: 2014 : Specificazione, prestazione, produzione e conformità del calcestruzzo.
- UNI 11104: 2016 : Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità - Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1
- UNI EN 10204: 2005 : Prodotti metallici - Tipi di documenti di controllo
- UNI EN 10025: 2009 : Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali.
- UNI EN 10027-1: 2006 : Sistemi di designazione degli acciai. Designazione simbolica
- UNI EN 197-1: 2007 : Cemento - Parte 1: Composizione, specificazioni e criteri di conformità per cementi comuni.
- UNI EN 10080: 2005 : Acciaio d'armatura per calcestruzzo - Acciaio d'armatura saldabile – Generalità.
- UNI EN 10083: 2006 : Acciai da bonifica.
- UNI EN 10089: 2006 : Acciai laminati a caldo per molle bonificate - Condizioni tecniche di fornitura.

3.1.14 Compatibilità elettromagnetica

- CEI EN 61000-6-1 Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 6-1: Norme generiche - Immunità per gli ambienti residenziali, commerciali e dell'industria leggera
- CEI EN 61000-6-2 Compatibilità elettromagnetica (EMC) - Parte 6-2: Norme generiche - Immunità per gli ambienti industriali
- CEI EN 61000-6-3 Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 6-3: Norme generiche - Emissione per gli ambienti residenziali, commerciali e dell'industria leggera
- CEI EN 61000-6-4 Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 6-4: Norme generiche - Emissione per gli ambienti industriali
- Direttiva 2004/108/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 15 dicembre 2004 concernente il ravvicinamento delle legislazioni degli Stati membri relative alla compatibilità elettromagnetica e che abroga la direttiva 89/336/CEE
- Decreto Legislativo 06 novembre 2007, n. 194 "Attuazione della Direttiva 2004/108/CE concernente il riavvicinamento delle legislazioni degli Stati membri relative alla compatibilità elettromagnetica e che abroga la direttiva 89/336/CEE"

- CEI EN 50121-1: Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane – Compatibilità elettromagnetica – Parte 1: Generalità (05/2001)
- CEI EN 50121-2 Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane – Compatibilità elettromagnetica – Parte 2: Emissione dell'intero sistema ferroviario verso l'ambiente esterno (05/2001)
- CEI EN 50121-3-2: Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane –Compatibilità elettromagnetica – Parte 3-2: Materiale rotabile - Apparecchiature (05/2001)
- CEI EN 50121-4: Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane – Compatibilità elettromagnetica – Parte 4: Emissione ed immunità delle apparecchiature di segnalamento e telecomunicazioni (05/2001)
- CEI EN 50121-5: Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane – Compatibilità elettromagnetica – Parte 5: Emissione ed immunità di apparecchi e impianti fissi di alimentazione (05/2001)
- CEI EN 55011 Apparecchi a radiofrequenza industriali, scientifici e medicali (ISM) Caratteristiche di radiodisturbo Limiti e metodi di misura
- CEI EN 55022 Apparecchi per la tecnologia dell'informazione Caratteristiche di radiodisturbo Limiti e metodi di misura
- CEI EN 50293 Compatibilità elettromagnetica - Impianti semaforici - Norma di prodotto. 2001-07.

3.1.15 Correnti vaganti e messa a terra

- CEI 11-1 "Impianti di produzione, trasporto e distribuzione di energia elettrica. Norme generali"
- CEI 64-8 "Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua"
- CEI EN 50122-1 "Applicazioni ferroviarie – Installazioni fisse. Parte 1: Provvedimenti di protezione concernenti la sicurezza elettrica e la messa a terra"
- CEI EN 50122-2 "Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane – Impianti fissi – Parte 2: Protezione contro gli effetti delle correnti vaganti causate da sistemi di trazione a corrente continua"
- Ente Nazionale di Unificazione (UNI) Norme Applicabili
- Comitato Elettrotecnico Italiano (CEI) Norme Applicabili
- D.P.R. 27 Aprile 1955 n°547 e successive integrazioni e modificazioni "Norme per la prevenzione degli infortuni sul lavoro"
- Legge 5 Marzo 1990 n°46 (G.U. n°59 del 12/03/90) "Norme per la sicurezza degli impianti" e relativo Decreto di Attuazione n°447 del 06/12/91

3.1.16 Verifiche RAM

- CEI EN 50126 (2000), Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filotranviarie, metropolitane – La specificazione e la dimostrazione di Affidabilità, Disponibilità, Manutenibilità e Sicurezza (RAMS)
- IEC 60706-4 (1992), Guide to the planning of maintenance and maintenance support
- MIL –STD 1629A "Procedure for performing a Failure Mode, Effect and Criticality Analysis
- NPRD-95 No electronic Parts Reliability Data emesso dal Reliability Analysis Center - Rome Laboratory presso Griffis AFB, New York – 1995
- Scienza e Tecnica – Rottura delle rotaie in esercizio – Analisi probabilistica.
- Mil-Std 882C "System Safety Program Requirements"
- ISO/IEC Guide 51 Safety aspects – Guidelines for their inclusion in Standards

3.2 Parametri di progetto e di esercizio

I parametri di progetto e di esercizio nonché le caratteristiche geometriche e prestazionali dei rotabili sono:.

- Tipo di mezzo: veicolo bidirezionale - ibrido
- Scartamento : 1435 mm

- Alimentazione elettrica : 750 V c.c.
- Altezza delle banchine di fermata dal piano del ferro : 350 mm
- Velocità massima (linea in ambito urbano) : 50 km/h
- Pendenza massima longitudinale in linea : 65/‰
- Pendenza massima longitudinale nelle banchine di fermata : 4/‰
- Raggio minimo planimetrico : 20 m

Caratteristiche geometriche e prestazionale dei veicoli tranviari

- Larghezza veicolo : 2.400 mm
- Lunghezza cassa : 32.200 mm
- Altezza cassa senza pantografo : 3.300 mm
- Altezza dal pdf del pianale (zona ribassata) 310 mm
- Velocità massima : 70 km/h
- Accelerazione massima : 1,3 m/sec^2
- Accelerazione media da 0 a 40 km/h 1,10 m/s^2
- Accelerazione media da 0 a 60 km/h 0,90 m/s^2
- Accelerazione media da 0 a 70 km/h 0,80 m/s^2
- Accelerazione residua a 70 km/h 0,25 m/s^2
- Pendenza massima superabile 8%
- Massimo valore gradiente di accelerazione longitudinale (Jerk) 13 m/s^3
- Frenatura di servizio 1,20 m/s^2
- Frenatura di emergenza 2,80 m/s^2

3.2.1 Circolabilità dei rotabili

La geometria del tracciato dell'ampliamento del sistema tranviario di Palermo è individuata da alcuni standard che rientrano entro i valori previsti dalle norme UNI per tramvie, specificatamente devono essere rispettate le indicazioni della norma UNI 7156:2014 "Tramvie urbane ed extraurbane. Distanze minime degli ostacoli fissi dal materiale rotabile ed interbinario"; nonché della norma UNI 8379:2000 "Sistemi di trasporto a guida vincolata (ferrovia, metropolitana, metropolitana leggera e tramvia). Termini e definizioni".

La norma UNI 7156-2014 definisce quali debbano essere le distanze minime degli ostacoli fissi dal materiale rotabile.

Gli ostacoli che si possono incontrare lungo il percorso sono di due tipi:

- Continui se aventi dimensione, misurata parallelamente al binario, maggiore di 500 mm;
- Discontinui se aventi dimensione, misurata parallelamente al binario, minore di 500 mm (pali, indicatori di fermata, ecc.);

La circolabilità fra l'infrastruttura ed i rotabili ammessi a circolare è stata verificata secondo i criteri stabiliti nella norma UNI 7156:2014 attraverso il rispetto delle distanze minime degli ostacoli fissi (continui o discontinui) dalla fascia d'ingombro statica dei rotabili sia in rettilineo che rispetto all'iscrizione in curva, in modo tale che i rotabili durante l'esercizio non possano mai urtare qualsiasi ostacolo fisso, continuo o discontinuo.

La **"fascia d'ingombro statica"** è definita come la fascia d'ingombro ottenuta considerando il rotabile fermo, in posizione centrata, determinata come inviluppo delle proiezioni dei punti più ingombranti del rotabile sul piano orizzontale. Nelle curve la fascia d'ingombro tiene conto del maggior ingombro del rotabile dovuto all'iscrizione in curva e alla eventuale sopraelevazione del binario.

La **"fascia d'ingombro cinematica"** è definita come la fascia d'ingombro ottenuta ampliando la fascia d'ingombro statica per tener conto dei massimi spostamenti possibili del rotabile, fermo o in movimento.

3.2.2 Circolabilità in linea – Distanze minime dagli ostacoli fissi

In funzione della posizione assunta dagli ostacoli nei confronti del materiale rotabile sono prescritte differenti distanze minime da rispettare, come riportato di seguito:

- ostacoli di altezza dal piano del ferro non maggiore di 300 mm = 100 mm;
- ostacoli continui di altezza dal piano del ferro maggiore di 300 mm = 800 mm;
- ostacoli discontinui di altezza dal piano del ferro maggiore di 300 mm = 500 mm;
- ostacoli posti ad altezza sul PdF maggiore di 2700 mm = 250 mm;
- nel caso di ostacoli discontinui, di qualunque altezza, posti nello spazio compreso fra due binari, la distanza minima è di 250 mm; tale riduzione all'interno dell'interbinario, è consentita, ed esempio per i pali TE, dall'eccezione contenuta al paragrafo 4.2.3. della norma UNI 7156 2014, in quanto i rotabili circolanti sulla linea sono dotati di finestrini dai quali è impossibile sporgersi.

Si sono pertanto individuati gli spazi che devono essere lasciati liberi da qualsiasi ostacolo fisso presente lungo il tracciato, per garantire il transito sicuro dei rotabili in esercizio. Ovvero si è individuato un limite geometrico detto "profilo minimo di istallazione degli ostacoli fissi" all'esterno del quale tutti gli ostacoli fissi che si incontrano lungo l'intero tracciato si devono trovare al fine di permettere la circolabilità dei rotabili in sicurezza.

Intervia tra i due binari

Il tracciato delle nuove tratte trnaviarie presenta due diverse tipologie di interasse tra i binari, in funzione della presenza o assenza della catenaria aerea (linea di contatto T.E.).

a) Catenaria aerea - sede tranviaria con pali di sostegno della linea di contatto in posizione centrale con intervia minimo – in rettilineo - fra i due binari pari a 3200 mm;

b) Catenary Free - sede tranviaria con linea di contatto realizzata a livello della pavimentazione senza l'utilizzo di supporti aerei con intervia minimo – in rettilineo - fra i binari pari a 2900 mm;.

3.2.3 Circolabilità in corrispondenza delle banchine di fermata

Ai fine dell'abbattimento delle barriere architettoniche nelle banchine di fermata, in conformità a quanto prescritto dal punto 4.7 e 5.1.4 della UNI 11174:2014 nonché dal punto 4.4 della UNI 7156:2014, sono state adottate dimensioni delle banchine tali per cui, in condizione normale (detto dell'esercizio di una tranvia) e con qualsiasi carico di passeggeri, siano soddisfatte le seguenti condizioni:

a) la distanza in orizzontale fra la soglia delle porte e il bordo della banchina (gap) con il rotabile in posizione centrata, non sia maggiore di 70 mm

b) l'altezza della soglia delle porte rispetto al piano della banchina sia sempre compresa fra +50 mm e -20 mm.

Quindi ai fini della circolabilità in corrispondenza delle banchine delle fermate, si pone il problema di collocare un ostacolo fisso – banchina di fermata – ad una distanza ridotta rispetto a quelle stabilite dalla UNI 7156:2014 (la distanza minima in orizzontale degli ostacoli ad altezza dal piano di ferro non maggiore di 300 mm è pari a 100 mm e quindi maggiore dei 70 mm).

Si è proceduto quindi, in conformità a quanto richiesto dalle norme UNI 7156:2014 e UNI 11174:2014 ad adottare provvedimenti in termini di tolleranze di costruzione e tolleranze di esercizio delle banchine di fermata, al fine di assicurare idonee condizioni di sicurezza rispetto alla circolabilità in corrispondenza delle banchine delle fermate.

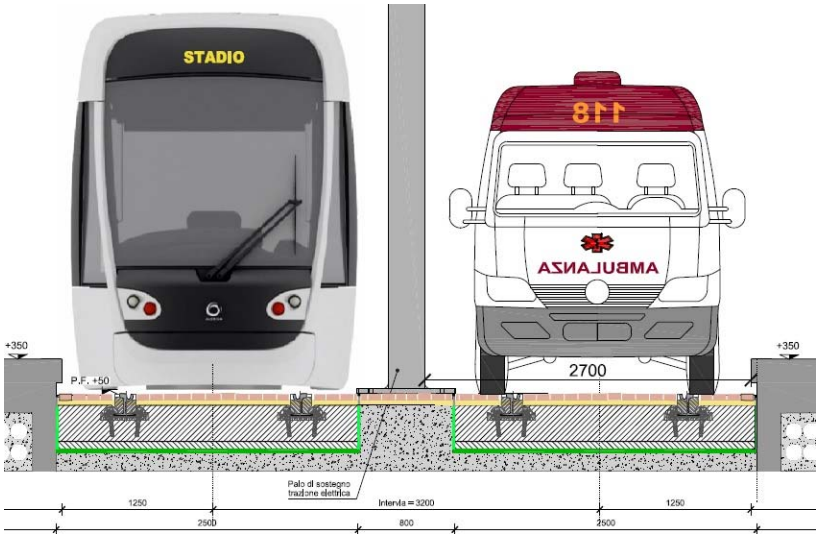
I provvedimenti intrapresi a livello di progettazione sono così riassumibili:

- Tolleranze di costruzione e di esercizio per i parametri di qualità geometrica del binario più restrittive in termini di allineamento orizzontale, quota del piano del ferro, ecc nonché riduzione dei limiti di consumo delle rotaie.

- Tolleranze di costruzione delle opere civili delle banchine più restrittive in termini di realizzazione dei bordi delle banchine (orizzontali e verticali) dal binario. A tal fine il bordo della banchina verrà realizzato dopo la posa del binario prospiciente.
- Verrà posto un limite di velocità di transito dei rotabili in corrispondenza delle banchine di fermata.
- Le fermate avranno tutte il bordo della banchina rettilineo. In questo la distanza in orizzontale fra la soglia delle porte dei rotabili e il bordo della banchina (gap) sarà costante lungo tutta la lunghezza della banchina stessa, e in misura non maggiore di 70 mm.

3.2.4 Circolabilità dei mezzi di soccorso

Nelle tratte con tipologia di sede di tipo "promiscua riservata" concepita per il transito esclusivo del veicoli a guida vincolata che può essere utilizzata anche da veicoli a guida libera espressamente autorizzati, la larghezza della piattaforma tranviaria in corrispondenza delle banchine di fermata è pari a 270 cm in modo che sia utilizzabile anche da veicoli di soccorso e da veicoli espressamente autorizzati.



3.3 Elementi costitutivi l'armamento tranviario

ROTAIE A GOLA

Il binario sarà realizzato con rotaia a gola del tipo 59R2, conforme alle raccomandazioni della norma UNI EN 14811:2010 - *Applicazioni ferroviarie - Binario - Rotaie per impieghi speciali - Rotaie a gola e profili di costruzione associati*. Il profilo di rotaia a gola, sarà utilizzato nei tratti su platea in c.a. che nei tratti su platea flottante.

La qualità delle rotaie a gola è il tipo R260 (Resistenza alla trazione > 880 N/mm^2 ; Durezza (HBW) 260-300 HBW) secondo la norma UNI EN 14811.

Le rotaie in curve e clotoidi di raggio inferiore a 150 m saranno pre-piegate, all'interno di un sito dedicato ricavato all'interno del cantiere operativo, prima della loro installazione in opera. Le curve di raggio superiore saranno piegate in stabilimento prima della fornitura al cantiere.

A seconda delle necessità, la gola e l'anima della rotaia potranno essere forate in funzione dei sistemi di drenaggio e delle connessioni dei cavi.

SISTEMA ERS (EMBEDDED RAIL SYSTEM)

L'ERS è un sistema di binario isolato su appoggio continuo con elasticità omogenea senza fissaggio meccanico. Il rivestimento elastico delle rotaie, consiste in profili realizzati in un elastomero granulare sinterizzato ad alta densità.

I profili ERS, in elastomero granulare ad alta densità (950-1150 kg/m^3), sono prefabbricati in appositi

stabilimenti e incollati all'interno di un sito dedicato ricavato all'interno del cantiere operativo o direttamente sul posto (per esempio nelle zone delle saldature). Il Sistema viene poi incastrato nella platea di calcestruzzo con la tecnica di costruzione del binario in Top-down (prima del getto si posizionano e si sostengono le rotaie, con i profili, attraverso dei pilastrini e poi terminato il controllo plano/altimetrico si completa il getto del binario). La rotaia è in parte rialzata rispetto alla platea, per consentire la posa della pavimentazione.

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

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

Le dimensioni e la rigidezza finale dei profili ERS sono determinati in modo tale da mantenere geometricamente il binario sotto le condizioni di carico ferroviario e permettere le operazioni di manutenzione e/o sostituzione della rotaia senza rompere i rivestimenti e la platea di calcestruzzo. Normalmente lo spessore dell'elemento sottorotaia è pari a 10 mm.

I requisiti del Sistema ERS, dovranno rispettare le indicazioni della norma UNI EN 13481: 2006, in particolare la deflessione sotto carico dinamico sarà < 1 mm e la rigidezza dinamica compresa tra 140 x 106 ≤ Kdin (63 Hz) ≤ 200 x 106 (N/m^2). Inoltre i profili dovranno avere una Resistività trasversale > 108 Ω cm, per contenere le dispersioni elettriche, e un assorbimento d'acqua < 5% per evitare l'insorgere di muffe e putrescenze che ne riducono il ciclo di vita.

MATERASSINI ELASTOMERICI

I materassini antivibranti, utilizzati per la realizzazione di solette flottanti, sono di tipo elastomerico con adeguato spessore, a seconda del livello di attenuazione dei rumori/vibrazioni. I materassini sono collocati tra la platea di calcestruzzo di ancoraggio dei binari e il solettone di regolamento. Anche la loro rigidità sarà determinata sulla base delle prestazioni richieste per l'attenuazione delle vibrazioni.

Anche ai lati della platea di ancoraggio dei binari, per garantire l'isolamento vibratorio verticale ed assicurare la riduzione della propagazione delle onde, vengono posizionati dei materassini isolanti dello spessore di150 mm. I materassini antivibrazioni saranno rivestiti da un foglio di protezione prima del getto di calcestruzzo.

GIUNZIONI SALDATE E GIUNTI ISOLANTI PER IL SEZIONAMENTO ELETTRICO DELLE ROTAIE

Come per i più moderni sistemi di armamento, anche quello di progetto prevede la formazione del binario con la "lunga rotaia saldata", per limitare l'utilizzo dei giunti tra le rotaie, punti critici del sistema sia meccanicamente, che per il confort dei passeggieri e vibro/acustico degli abitanti. Occorre pertanto collegare in opera tutte le barre di rotaia con saldature alluminotermiche, che saranno successivamente rifinite con la mola per eliminare cuspidi o avvallamenti. Al fine di garantire la massima sicurezza e durabilità dell'opera, tutte le saldature dovranno essere controllate visivamente e geometricamente, inoltre verranno effettuati controlli strumentali su appositi campioni di binario saldato.

Il controllo geometrico verificherà che la superficie di rotolamento e l'allineamento dei fianchi del fungo delle rotaie saldate sia rettilineo per consentire il massimo confort e limitare l'usura meccanica sia della rotaia che del cerchione.

Al fine di consentire le misure dell'isolamento del binario durante l'esercizio, è necessario sezionare la linea in tratti non superiori a circa 3 km (secondo la norma UNI EN 502122-2.). Giunti isolanti sono di conseguenza necessari al fine di sezionare le rotaie che costituiscono una parte del circuito di ritorno della corrente di trazione. Per assicurare la continuità del ritorno di trazione, i giunti isolanti saranno attrezzati da un sistema by-pass rimovibile.

I giunti isolanti saranno costruiti con ganasce, materiale isolante interposto fra le due teste delle rotaie ed ogni altro elemento risulti necessario per la realizzazione di un perfetto isolamento.

PLATEA IN CALCESTRUZZO FIBRORINFORZATO (FRC)

I calcestruzzi delle solette dell'armamento (soletta di ancoraggio dei binari e solettone di regolamento) sono conformi alla norma UNI EN 206-1: 2006 "Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e

conformità" e le istruzioni complementari della norma UNI 11104: 2004 per l'applicazione della norma EN 206-1. In particolare per la platea si utilizzerà un calcestruzzo con classe di resistenza C35/45, e classe di esposizione XC2/XD3; per il solettone si utilizzerà un calcestruzzo con classe di resistenza C20/25, e classe di esposizione XC2. L'utilizzo di fibre a rinforzo della miscela consentirà di limitare la formazione di microfessure, tipiche delle pavimentazioni, aumentandone la vita utile.

3.4 Caratteristiche plano - altimetriche del tracciato

L'andamento planimetrico del tracciato è caratterizzato da rettifili e curve circolari raccordati tra loro mediante raccordi di transizione di tipo clotoidali.

3.4.1 Scartamento del binario

Lo scartamento della linea tranviaria è di 1435 mm e non sono state previste variazioni di scartamento nelle curve che presentano raggi ridotti.

3.4.2 Caratteristiche planimetriche del tracciato

La geometria del tracciato è individuata da alcuni parametri che rientrano entro i valori previsti dalle norme UNI per tranvie e metropolitane leggere, specificamente sono rispettate le indicazioni della norma UNI 7156:2014 "Tramvie urbane ed extraurbane - Distanze minime degli ostacoli fissi dal materiale rotabile ed interbinario", nonché della norma UNI 8379:2000 "Sistemi di trasporto a guida vincolata (ferrovia, metropolitana, metropolitana leggera e tramvia) - Termini e definizioni".

Gli elementi del tracciato sono influenzati dai dati tecnici e prestazionali del materiale rotabile (accelerazione, potenza, sagoma, ecc.); nella redazione del presente progetto della tramvia, si sono considerati i limiti imposti dalla larghezza della vettura (metri 2,40) e dall'altezza del piano del pavimento interamente ribassato delle vetture dal piano ferro (300 mm).

Nella definizione delle prestazioni del rotabile si è fatto riferimento alla norma UNI 11174:2014 che prevede una velocità massima non minore di 60 km/h.

I rotabili possono raggiungere la velocità massima di 70 km/h, ma in realtà questa velocità non è raggiungibile nella linea in esame, perché le caratteristiche della fascia d'inserimento del tracciato sono relative ad un ambiente urbano ristretto e vincolante, soggetto al Codice della Strada, con velocità massima di 50 Km/h.

Nei deviatoi la velocità massima di percorrenza non dovrà essere superiore a 20 Km/h.

La velocità massima di ogni singola curva è in funzione del suo raggio; definita la velocità si è impostata la lunghezza della clotoide di transizione in rapporto del tempo di percorrenza della stessa.

3.4.2.1 Le curve

I raggi di curvatura inseriti nello studio di fattibilità tecnico – economica per l'ampliamento del sistema tranviario di Palermo sono i maggiori possibili, al fine di permettere la circolazione alla "velocità caratteristica" del tracciato, con l'accelerazione trasversale e la sopraelevazione massima prevista per ogni curva, nel rispetto dei limiti inderogabili del sedime tranviario (posizione plano-altimetrica), nel rispetto delle distanze minime degli ostacoli fissi dal materiale rotabile (UNI 7156:2014), tenuto altresì conto delle fasce di ingombro statico e fasce di ingombro cinematica dei rotabili ammessi a circolare (Bombardie Flexity nonché Alstom Citadis) sia in rettilineo che per ciascuna curva presente lungo il tracciato.

Le curve inserite nel tracciato presentano raggi di curvatura tali da permettere la circolazione dei rotabili alla massima velocità di progetto, compatibilmente con la sopraelevazione prevista sulla base del valore massimo dell'accelerazione centrifuga non compensata.

Pertanto, per ogni curva, risulta verificata la relazione di equilibrio allo slittamento del materiale rotabile in curva:

$$V^2 / R \leq g \ (h / s) + a^*$$

dove:

- V = massima velocità lungo la curva, desunta dal diagramma di velocità;
- R = raggio della curva;
- g = accelerazione di gravità;
- h = sopraelevazione in curva (< hmax);
- s = scartamento;

- a* = accelerazione non compensata

Il raggio minimo planimetrico utilizzato per linea, è pari a 20 m; comunque la presenza di curve con raggi inferiori a 30 metri è limitata a pochi casi. In deposito il raggio minimo è pari a 18 m.

Attraverso i raccordi di transizione, avviene la variazione graduale dell'accelerazione trasversale non compensata - nulla in rettilineo e pari al valore massimo ammesso per la velocità massima consentita dalla curva stessa e comunque minore di 0,8 m/sec2. Lo sviluppo dei raccordi di transizione è stato definito compatibilmente con le limitazioni indicate nella UNI 7836 che riguardano sia il contenimento della variazione dell'accelerazione trasversale non compensata (il cosiddetto contraccolpo che caratterizza il comfort di marcia) nonché il contenimento della variazione di sopraelevazione che non deve superare i 3 mm/m.

Per i Raccordi di transizione e per le curve circolari vengono indicati i seguenti parametri:

X	(metri)	Coordinata vertice (Est)
Y	(metri)	Coordinata vertice (Nord)
θ	(gradi centesimali)	Angolo di direzione
α	(gradi centesimali)	Angolo al centro
R	(metri)	Raggio della curva circolare
A	(metri)	Parametro della clotoide
L	(metri)	Sviluppo della clotoide
Sv	(metri)	Sviluppo del tratto di curva circolare
ΔR	(metri)	Spostamento dal raggio primitivo al raggio definitivo
ΔO	(metri)	Spostamento dal centro primitivo al centro definitivo
t'	(metri)	Tangente con raggio primitivo
T	(metri)	Tangente a seguito dell'inserimento della clotoide
τ	(gradi centesimali)	Sviluppo angolare della clotoide
h	(millimetri)	Sopraelevazione del binario
V	(km/h)	Velocità di progetto

Le curve di raggio grande (maggiori di 250 m) sono archi di circonferenza in cui non sono stati inseriti raccordi di transizione in quanto superflui stante il valore della velocità sviluppabile nel contesto urbano di Palermo, ove l'esercizio tranviario sarà soggetto al Codice della strada con la limitazione dei 50 km/h.

3.4.3 Andamento altimetrico del tracciato

L'andamento altimetrico è condizionato dalle condizioni orografiche di quelle parti della città di Palermo interessate delle nuove tratte tranviarie ed è caratterizzato da una **pendenza longitudinale massima in linea pari al 6.50%** inferiore a quella massima ammissibile pari al 8%, nonché dalla velocità commerciale determinata nell' apposito documento EE.3 – Piano economico e finanziario di massima, ed infine dal tipo di materiale rotabile con cui verrà esercito il servizio di trasporto pubblico.

Tra due livellette successive è stato disposto un **raccordo altimetrico circolare** di raggio non minore di 800 m, superiore al raggio minimo di 500 m stabilito dal capitolato speciale d'armamento.

L'andamento altimetrico del tracciato è definito nelle tavole di progetto definitivo denominate "Profilo longitudinale"; in particolare in tali elaborati grafici vengono forniti i seguenti elementi riferiti all'asse geometrico della linea, ovvero all'asse posto simmetricamente rispetto agli assi dei due binari:

- Livellette
- Raccordi verticali

Per le Livellette sono indicati i seguenti parametri ::

L= lunghezza della livelletta (misurata in orizzontale) espressa in metri;
DH= differenza di quota tra inizio e fine livelletta (m)
p= pendenza longitudinale (DH / L)

Il raggio del raccordo verticale tra due livellette successive, è stato dimensionato in modo da contenere il valore dell'accelerazione centrifuga verticale inferiore a 0,50 m/s^2, valore compatibile con un accettabile livello di comfort. Il valore dell'accelerazione centrifuga verticale inferiore a 0,50 m/s^2

3.4.4 Larghezza della sede : franchi di sicurezza

La larghezza della sede tranviaria è stata individuata avendo come riferimento gli standard previsti dalle Norme UNI per le tranvie; specificatamente, al fine di garantire la compatibilità fra l'infrastruttura ed i rotabili ammessi a circolare sulla linea, si è proceduto a verificare il rispetto di quanto prescritto dalla UNI 7156:2014 "Tranvie e tranvie veloci - Distanze minime degli ostacoli fissi dal materiale rotabile e interbinario".

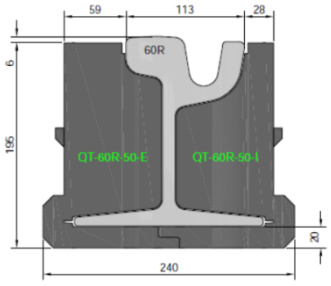
Note le caratteristiche geometriche e prestazionali dei veicoli tranviari che circoleranno nell'intera rete tranviaria di Palermo (rotabili Bombardier Flexity nonché Alstom Citadis), preso atto altresì dell'ingombro massimo trasversale nelle peggiori condizioni di esercizio (consumo massimo) e in curva di raggio 20 m, sono state determinate sia la fascia d'ingombro statica che la fascia di ingombro cinematica per i tratti in rettilineo nonché per ciascuna curva presente lungo il tracciato.

La circolabilità fra l'infrastruttura ed i rotabili ammessi a circolare è stata verificata secondo i criteri stabiliti nella norma UNI 7156:2014 attraverso il rispetto delle distanze minime degli ostacoli fissi (continui o discontinui) dalla fascia d'ingombro statica dei rotabili sia in rettilineo che rispetto all'iscrizione in curva del rotabile, in modo tale che i veicoli tranviari durante l'esercizio non possano mai urtare qualsiasi ostacolo fisso, continuo o discontinuo.

3.5 Il sistema armamento

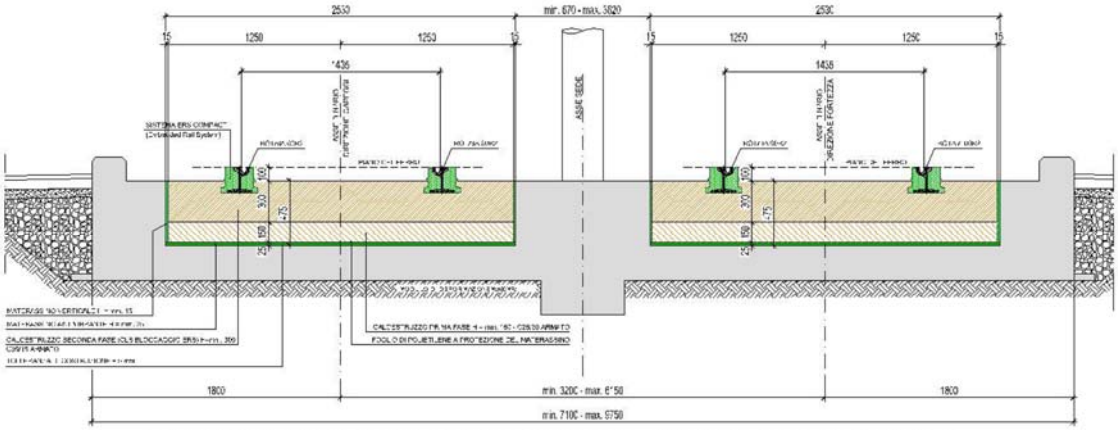
3.5.1 Descrizione del sistema armamento

La soluzione di armamento proposta è il sistema ERS/CRS (Embedded Rail System/Continuous Rail Support) dove le rotaie di guida, isolate elettricamente all'altezza delle suole attraverso una pellicola protettiva e rivestite con profili in gomma incollati, vengono annegate parzialmente nella soletta di calcestruzzo gettata in opera senza altri sistemi di fissaggio meccanico.



Il sistema ERS assicura un isolamento continuo delle rotaie a gola e la posizione di queste ultime viene controllata e regolata attraverso dei portalini a scartamento fisso di 1435mm che vengono mantenuti fino alla maturazione del calcestruzzo di bloccaggio delle rotaie. La scelta di questo tipo di armamento con appoggio continuo, senza sistemi di fissaggio discreti, è vantaggioso per l'isolamento delle rotaie e per la riduzione di emissione di correnti vaganti dannose alle strutture metalliche circostanti.

La soluzione di armamento ERS è compatibile con diverse tipologie di rivestimenti impiegati per le tramvie e si applica alle tratte in sito proprio, alle tratte in sito promiscuo ed agli incroci stradali. Tuttavia, per questi ultimi, si richiede l'adozione di alcune misure costruttive aggiuntive (installazione di profili di acciaio di protezione dei profili ERS).



RIVESTIMENTO IN BLOCCHETTI DI CLS COLORATI O IN CONGLOMERATO BITUMINOSO
CON MATERASSINO - DOPPIO BINARIO

Il sistema ERS viene impiegato anche negli scambi e nei bivi al fine di mantenere la continuità dell'appoggio e l'isolamento fisico delle rotaie di guida dei veicoli tranviari. La protezione delle rotaie di guida, dei deviatoi e dei bivi attraverso l'applicazione della pellicola isolante e dei profili ERS in gomma, verrà eseguita in area protetta nel campo base (eccetto le zone di saldatura e delle aste di scartamento dei deviatoi che saranno installati direttamente in sito).

3.5.2 Lavori lungo linea

Di seguito si riportano le fasi principali di posa dell'armamento sia per le solette flottanti che per quelle non flottanti..

- Inquadramento topografico e controllo della poligonale
- Picchettazione topografica dei punti notevoli del tracciato
- Posa materassino, geotessuto e rete elettrosaldata (fase specifica per la realizzazione delle solette flottanti)
- Getto del cls di protezione del materassino (fase specifica per la realizzazione delle solette flottanti)
- Posa della rete elettrosaldata inferiore
- Posa delle rotaie incapsulate con i profili ERS sulle traversine
- Saldatura alluminotermica delle rotaie
- Smerigliatura delle saldature
- Rivestimento delle rotaie con pellicola isolante e profili ERS in corrispondenza delle saldature
- Posa di canalette trasversali, giunti di costruzione, pozzetti, corrugati, posti di misura, collegamenti binario-binario e rotaia-rotaia e tutto quanto previsto negli elaborati di sistemazione impiantistica integrata
- Posa delle gabbia di armatura laterali e chiusura della rete elettrosaldata superiore
- Regolazione di precisione del binario secondo le indicazioni della squadra topografica
- Getto del CLS di bloccaggio
- Controllo topografico durante il getto
- Sigillatura dei giunti di costruzione con soluzione bituminosa o similare
- Posa dei piatti di protezione dei profili ERS in corrispondenza degli incroci
- Pulizia della piattaforma e dei binari
- Controllo topografico in continuo dei parametri di geometria interna del binario e della posizione plano-altimetrica
- Consegna della piattaforma alle altre tecnologie

3.6 Mitigazione rumore e vibrazioni

Il sistema tranviario proposto si caratterizza per l'elevata mitigazione ambientale; a tal fine la metodologia proposta per la caratterizzazione acustica dei tracciati delle estensioni del sistema tranviario palermitano prevede preliminarmente l'individuazione dei recettori sensibili presenti nell'area di studio e già contenuti nel Piano Comunale di Zonizzazione Acustica di Palermo, con indicazione delle loro caratteristiche utili sotto il profilo acustico, quali ad esempio la destinazione d'uso, l'altezza e la distanza intercorrente dall'opera o dall'attività. Successivamente verrà prodotto apposito studio di propagazione delle vibrazioni attraverso il terreno (prove MASSW in apposite sezioni significative) nonché studio previsionale per la valutazione dei livelli vibrazionali che forniranno le necessarie indicazioni per stabilire i requisiti dei livelli di attenuazione sui binari (sistema di armamento a "massa molla"), sia in riferimento alla distanza tra edifici prospicenti la sede tranviaria e i binari, nonché alla funzione dell'edificio (ricettore) ed alla sua sensibilità.

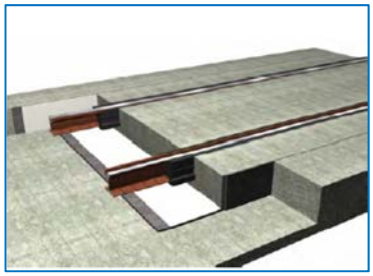
L'intero tracciato in ampliamento delle linee tranviarie palermitane esistenti, verrà mappato al fine di individuare planimetricamente le sub-tratte ove si evidenzierà la necessità di garantire un adeguato isolamento vibro-acustico. (non superamento valori soglia)

I provvedimenti di tipo "attivo" verranno adottati nei rotabili al fine rendere esente da rumori di intensità elevata tali da essere percepiti come fastidiosi. A tal fine le sospensioni, gli equipaggiamenti, i pannelli di rivestimento e di chiusura, il pavimento, ecc saranno progettati in modo da impedire la risonanza delle frequenze fondamentali proprie del veicolo in tutte le condizioni di marcia (avviamento, accelerazione, velocità massima, frenatura, inserzione e disinserzione impianti di climatizzazione e ventilazione, percorrenza di curve, apertura e chiusura porte, ecc). L'impatto acustico nei confronti dell'ambiente esterno sarà conforme alle indicazioni della norma UNI 11174:2014.

I provvedimenti di tipo "passivo" sull'infrastruttura che si intendono utilizzare per ridurre gli effetti delle vibrazioni indotte dal sistema tranviario sugli edifici limitrofi, afferiscono a tre distinte tipologie di interventi :

Prima tipologia di intervento: esteso lungo tutta la lunghezza dei binari

La rotaia verrà isolata su tre lati con rivestimento in elastomero granulare sinterizzato ad alta densità. La rotaia così isolata, fa parte del sistema di armamento proposto, il cosiddetto "binario incassato" detto anche ERS (Embedded Rail System) in grado di abbattere significativamente i rumori emessi dai veicoli in circolazione e le vibrazioni trasmesse agli edifici circostanti.



Seconda tipologia di intervento: inserimento di un materassino elastomerico (UNI 11059: 2013) posto sul fondo della platea in calcestruzzo armato nonché sulle facce laterali della stessa. Verranno definiti tre diversi livelli di mitigazione :

Livello 0: nel caso in cui il livello di vibrazioni sia ammissibile (interventi antivibranti non richiesti).

Livello 1: nel caso in cui si richieda un intervento di mitigazione medio; in tal caso è prevista la posa in opera di armamento con soletta flottante posata su materassino elastomero a medio smorzamento dello spessore di 30 mm (doppio strato 15+15 mm) disposto in orizzontale e materassino verticale dello spessore di 15 mm.

Livello 2: nelle zone particolarmente sensibili, è previsto l'adozione di un intervento di mitigazione alto, composto dalla soletta flottante posata su materassino elastomero ad alto smorzamento dello spessore di 40 mm (20+20 mm) in orizzontale e materassino in verticale da 20 mm.

Terza tipologia di intervento: provvedimenti da adottarsi lungo il tracciato in cui sono presenti curve con raggio ridotto, per contrastare i fenomeni di rumore e usura eccessiva delle rotaie (squeal noise).

L'architettura generale del carrello tranviario e la scelta dei suoi componenti che hanno impatto con il rumore, per esempio la configurazione delle ruote, sospensioni, ammortizzatori, saranno determinati per minimizzare le forze di contatto sia fra la parte interna del bordino e le rotaie, sia fra la parte esterna del

bordino e le controrotaie. A tal fine, a valle di appositi studi contatto ruota–rotaia da effettuarsi appositamente per il sistema tranviario palermitano e nel contempo da utilizzarsi altresì per la corretta scelta della tipologia di rotaia da utilizzare (larghezza della gola e caratteristiche inerziali), tra i provvedimenti preventivi si propone di utilizzare appositi dispositivi riduttori di attrito da disporre lungo i nuovi tracciati tranviari. I benefici principali attesi dal sistema di gestione dell'aderenza in termini di riduzione delle emissioni acustiche legati al contatto ruota-rotaia, afferiscono sostanzialmente al mantenimento di un coefficiente di aderenza sul piano di rotolamento il più basso possibile, compatibilmente con le prestazioni frenanti del rotabile che determinano altresì una riduzione del consumo laterale di rotaia.

I provvedimenti appartengono ai sistemi di lubrificazione a terra" e sono classificabili in due distinte tipologie:

Sistema modificatore di attrito, cosiddetto "Head Of Rail" (HOR),
un sistema che abbatte le alte frequenze emesse dal transito del materiale rotabile e nel contempo riduce i fenomeni di usura della rotaia (segnatamente il fianco attivo del fungo della stessa, dal lato interno allo scartamento) causate dall'iscrizione del carrello del veicolo nelle zone del tracciato con raggio di curvatura ridotto (in generale il valore critico si situa al di sotto dei 50 m).

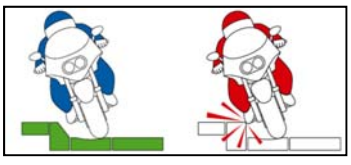
Sistema Tramway Lubricator cosiddetto ""Rail Lubricator"
destinato specificatamente alla lubrificazione delle parti soggette ad usura interne alla gola della rotaia sottoposta al carico del materiale rotabile e quindi a fenomeni accentuati di usura dei punti di appoggio del bordino ruota e del retro bordino ruota. Tali dispositivi sostanzialmente mitigano le usure sopra citate spruzzando sulla rotaia un sottile film di una idonea sostanza lubrificante che ha lo scopo di diminuire il coefficiente d'attrito; si ottiene così il duplice risultato di attenuare le usure da "strisciamento" e di diminuire il rischio di svio, il quale dipende dal rapporto tra il carico verticale agente sulle ruote e le azioni trasversali corrispondenti alle accelerazioni trasversali (rapporto mediato dal coefficiente d'attrito).
Al contrario del sistema HOR che viene posto in opera nelle singole curve a raggio ridotto, il sistema Tramway Lubricator permette una estesa coperta misurata in km. Questo comporta che un singolo impianto lubrificante tratterà specificatamente lunghezza di binario di circa 5 Km.

3.7 Delimitazioni laterali della sede tranviaria

Per quanto riguarda l'ottemperanza alle prescrizioni della Norma UNI 8379:2000, con riferimento alla definizione di tranvia e tranvia veloce, sono presenti tre tipologie di sede ovvero:

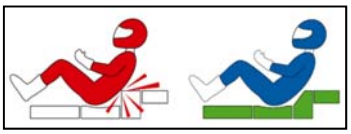
- Sede promiscua protetta: sede concepita per il transito esclusivo del tram, con piattaforma tranviaria delimitata lateralmente da parapetti metallici. Tratte con alimentazione free
- Sede promiscua riservata: sede concepita per il transito esclusivo del tram che può essere utilizzata anche da veicoli a guida libera autorizzati, con piattaforma delimitata lateralmente da segnaletica e cordoli rialzati circa +12 cm rispetto al piano stradale. Tratte con alimentazione con catenaria aerea.
- Sede promiscua libera: la sede tranviaria può essere percorsa e attraversata da altri veicoli e/o dai pedoni in tutti i tratti degli incroci e/o attraversamenti.

La pavimentazione è principalmente in lastre, escluso i tratti di incrocio, alcune tratte in sede promiscua riservata, sulle opere d'arte.



Nelle tratte in "sede promiscua riservata" la delimitazione laterale della sede tranviaria avviene tramite cordoli opportunamente sagomati (salva motociclisti), con spigoli smussati a 45° sia per la stabilità dei veicoli a due ruote (esempio: urto di pedaline e pedivelle) e nel contempo al fine i

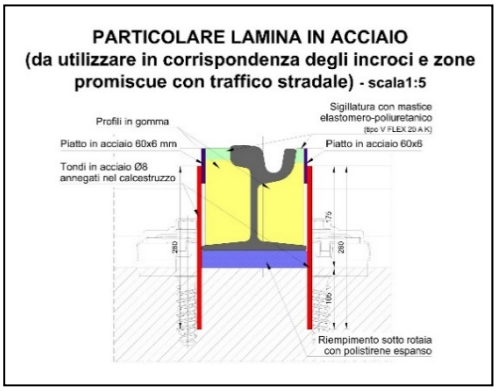
ridurre i danni in caso di impatto a seguito di cadute accidentali e/o di incidenti stradali. Tale soluzione ripropone le geometrie suggerite dall'associazione Europea FEMA (Federation of European Motorcyclists Associations).



Ulteriore aspetto di criticità delle sedi tranviarie: durante l'esercizio della tramvia uno degli aspetti più critici per le pavimentazioni è costituito dalla differente rigidezza tra quest'ultime e la rotaia, che comporta, con il ripetuto passaggio dei mezzi stradali, il formarsi e propagarsi di lesioni fino alla sbrecciatura delle pietre o il distacco del conglomerato bituminoso.

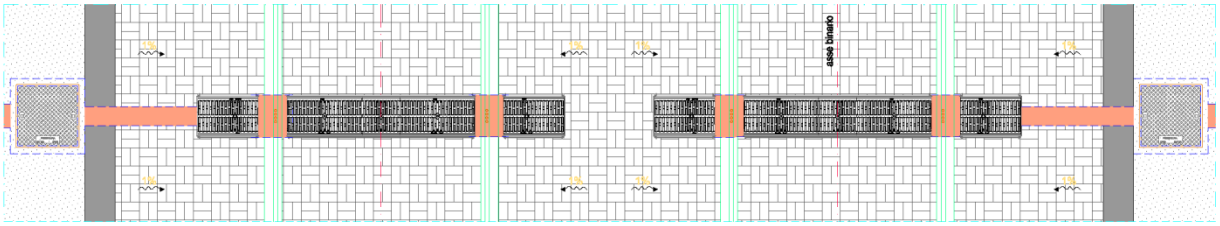
A tal fine nel progetto delle nuove linee, in corrispondenza delle intersezione stradali si prevede la messa in opera di una lamina di acciaio da installarsi fra i profili in gomma posti lateralmente alla rotaia a gola e la pavimentazione stradale.

L'adozione di questo accorgimento costruttivo permette di "rafforzare" l'area di contatto tra i profili laterali di gomma (incollati alle rotaie) e la pavimentazione stradale, limitando e riducendo l'insorgenza di possibili ammaloramenti delle pavimentazioni stradali a ridosso delle rotaie tranviarie.



3.8 Drenaggio della sede tranviaria

La sede tranviaria, realizzata su una platea in calcestruzzo, non risulta in grado di smaltire, per filtrazione nel terreno sottostante, le acque di pioggia. Pertanto la sede tranviaria viene drenata attraverso delle griglie trasversali conformi alla norma UNI EN 1433 che raccolgono le acque superficiali e quelle convogliate dalle gole delle rotaie, scaricandole nei collettori fognari.



Posizionamento delle canaline trasversali per il drenaggio della sede tranviaria

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

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

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

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

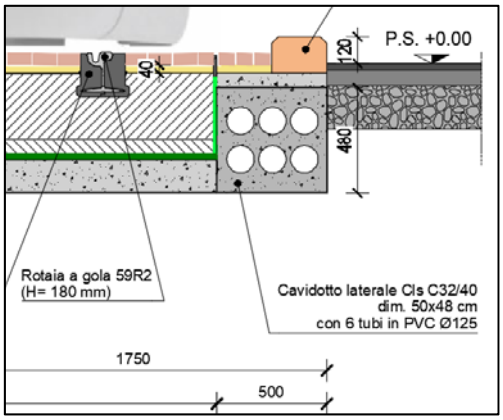
I canali presentano una conformazione e lunghezza tale da potersi inserire perfettamente nell'interbinario e nel contempo sono provvisti di apposito profilo sagomato per raccogliere l'acqua che si raccoglie nella gola della rotaia.

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

3.9 Cavidotto

Parallelamente alla sede tramviaria corrono due cavidotti destinati a contenere i cavi telecomunicazioni - segnalamento - circuito scattato e ai cavi di bassa tensione - feeder - terra di trazione - fibra ottica - illuminazione pubblica, il controllo e la distribuzione dell'energia elettrica ai dispositivi lungo linea e nelle fermate.

La polifora è realizzata in calcestruzzo C32/40 con dimensioni esterne pari a 50 cm x 48 cm (h) ed è costituita da sei tubi in PVC rigido di diametro pari a 125 mm/cad che sono destinati



La polifora in calcestruzzo negli attraversamenti stradali viene abbassata in modo che la profondità minima, misurata da piano stradale rispetto all'estradosso del cavidotto, non sia mai minore di 1 m (art. 66 dell DPR 449/1992 -- Regolamento Codice della Strada nonché in conformità alla norma CEI 11-17 : Linee in cavo).

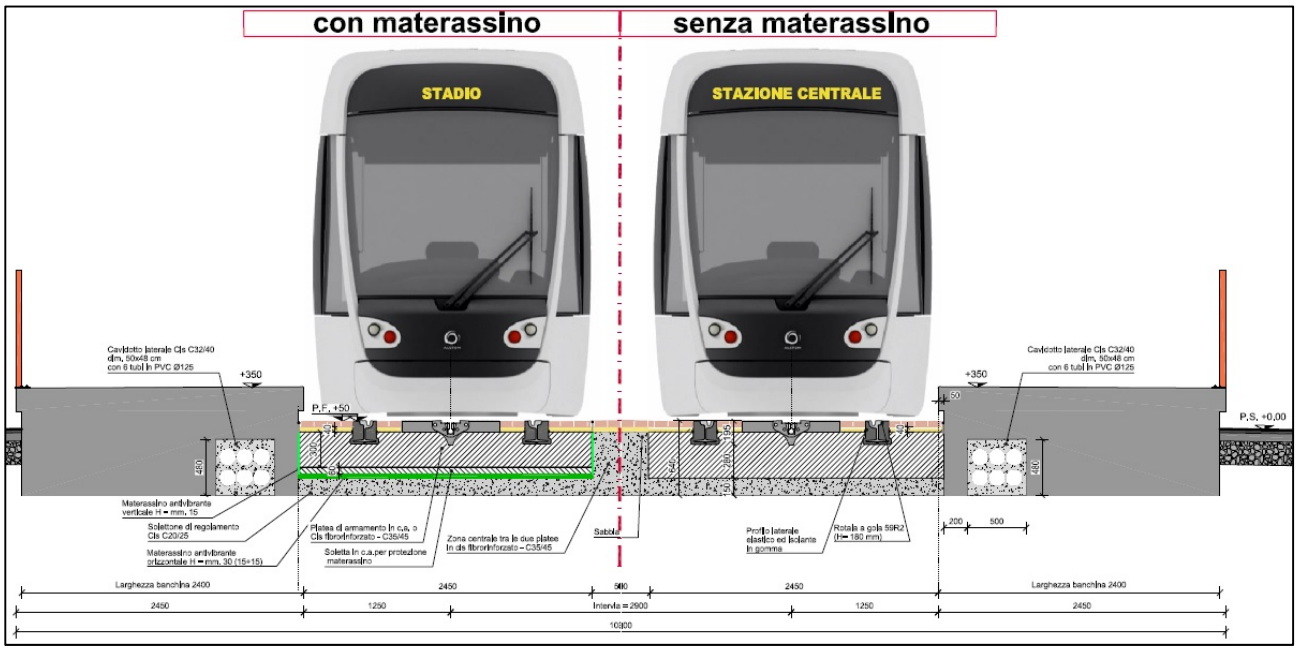
Per la posa delle tubazioni e per la loro ispezionabilità, il cavidotto è provvisto di appositi pozzetti di derivazione e rompitratta posti ad interasse di circa 30 m (in corrispondenza dei pali della TE).

3.10 Equipaggiamenti particolari per le zone di transizione

Le zone di transizione tra diverse tipologie di armamento, ove una delle due tipologie che si susseguono, prevede la posa in opera di un materassino antivibrante al di sotto della soletta in c.a., presentano deformate del binario molto diverse, per cui in tutte le suddette zone di transizione verranno utilizzati materassini più rigidi con l'inserimento di particolari piastre sotto-rotaia aventi "rigidezze quasi statiche" atte ad ottenere un passaggio graduale dalla rigidità dell'uno a quella dell'altro sistema di armamento.

3.11 Fermate

Le fermate sono 95 suddivise in 26 fermate nella linea A, 3 nella linea B, 11 nella linea C, 12 nella linea D, 27 nella linea E, 9 nella linea F e 7 nella linea G. Alcune fermate nelle tratte a doppio binario si sdoppiano sul ramo di andata e sul ramo di ritorno. I marciapiedi delle banchine, in linea generale, sono lunghi 35 m. e larghe 3,00 m. nelle banchine centrali, mentre la larghezza nelle banchine laterali è, in linea generale, di 2,40 m. L'altezza sul piano ferro è pari a 300 mm. All'estremità sono previste rampe di 4,0 m lunghezza e pendenza inferiore al 6% per il raccordo con la viabilità adiacente.



3.11.1 Criteri di progettazione

Il tema delle fermate deve svolgere un ruolo di comunicazione e di relazione tra il tessuto urbano e paesaggistico e l'utenza cittadina, per questo si è scelto di differenziare la tipologia architettonica e di design rispetto alle fermate delle linee a carattere prettamente urbano.

Il gioco del contrasto tra "costruito e natura" che caratterizza tutta la linea ha suggerito il tema dell'elemento "cerniera" tra i due contesti, traducendosi in un "oggetto" permeabile alla vista dell' utente dalla città alla periferia e viceversa, facilitando l'orientamento e l'inserimento dell'oggetto stesso all'interno di un contesto così particolare.

La sintesi architettonica assorbe anche la funzione statica in uno schema "primordiale" costituito da elementi verticali con duplice funzione : statica e smaltimento acque meteoriche; e da un elemento orizzontale strutturale, di protezione e allo stesso tempo di coronamento.

L'orlo del a banchina è costituito da una soglia di granito. A tergo di tale soglia è posta una fascia tattile, in lastre di piastre e di pietra ricomposta, che rimarca a distanza di sicurezza dal tram, a beneficio soprattutto dei non vedenti (la sua "texture', è conforme a "codice LOGES" (Linea di Orientamento Guida e Sicurezza)

Le banchine di fermata sono collegate ai marciapiedi strada e agli altri spazi pedonali attraverso rampe che rispettano a vigente normativa in materia di elimitazione delle barriere architettoniche.

La dotazione principale della fermata, per ciascuna banchina, è a seguente:

- una pensilina con modulo unico della lunghezza di 7,5 metri oppure doppio modulo per una lunghezza totale di 15 metri;
- impianto di illuminazione, in aggiunta a quello dell'illuminazione pubblica stradale, con corpi illuminanti a Led sia per le pensiline sia per i tratti di banchina al di fuori di esse
- apparecchiature/dotazioni per l'informazione a pubblico:
- display che visualizza fra l'altro i tempo di attesa per il prossimo passaggio ;
- informazioni fisse (percorso della linea, orari);
- impianto di diffusione sonora;
- telecamere del sistema TVCC;
- "pulsante di help", con interfono, per comunicazioni di emergenza tra viaggiatori e centrale di controllo;
- complementi di arredo della fermata: panchine, ecc

3.11.2 Superamento barriere architettoniche nelle fermate

Le fermate e i capolinea del sistema tranviario palermitano si configurano come luogo in cui avviene lo scambio tra diverse modalità di trasporto: treno–tram, tram-autobus, tram–taxi, tram–autovettura privata e viceversa. I viaggiatori sono diversi per luoghi di provenienza, estrazione sociale e condizione fisica.

In tal senso la proposta del concorrente considera prioritario ed irrinunciabile, garantire la completa accessibilità delle nuove fermate anche alle persone con capacità motoria ridotta o impedita, per i non vedenti, per gli ipovedenti e per i sordi, per i bambini e a tutte le categorie di utenti deboli, mediante l'eliminazione di tutte le barriere architettoniche e sensoriali così come definite dalla legislazione vigente (DPR 503/1996) al fine di garantire, in maniera protetta e sicura, l'accesso sia al piano di banchina della fermata nonché all'interno del rotabile che svolgerà il servizio di trasporto pubblico.

La progettazione terrà altresì conto di quanto previsto dalla Norma UNI 11168-1: 2006 "Accessibilità delle persone ai sistemi di trasporto rapido di massa" che fornisce i criteri per la progettazione degli elementi destinati a garantire la più ampia accessibilità ai disabili alla deambulazione, ai disabili dell'udito e ai disabili della vista.

a) **Interventi proposti per garantire l'accessibilità ai disabili alla deambulazione**: al fine di agevolare l'accesso alle banchine di fermata da parte di persone con ridotta o impedita capacità motoria o sensoriale, tutte le banchine di fermata poste a quota + 30 cm dal piano ferro della tranvia, saranno servite da una coppia di rampe atte ad essere utilizzate nei due sensi di marcia, con pendenza inferiore all'8%. Una volta raggiunto il piano della banchina di fermata, l'incarrozzamento sul rotabile avverrà a raso stante che l'altezza della banchina di fermata è conforme a quanto prescritto dalla UNI 7156:2014 (punto 4.4) e dalla UNI 11174:2014 (punto 5.1.4). A tal fine la distanza in orizzontale fra la soglia della porta del rotabile e l'orlo della banchina, sarà inferiore ai 70 mm ed il dislivello fra la soglia del rotabile ed il piano della banchina sarà sempre compreso fra +50 mm e – 20 mm

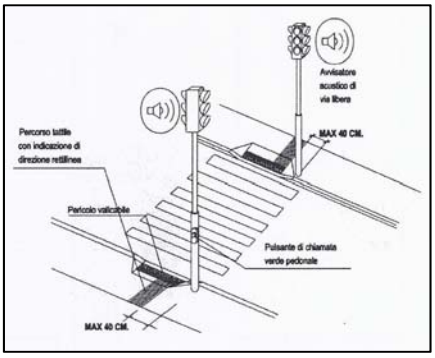
b) **Interventi proposti per le persone con disabilità sensoriale uditiva**, persone non udenti e/o ipoudenti: sono rivolti a favorire la trasformazione delle informazioni sonore in informazioni visive attraverso l'installazione, in ogni banchina di fermata, di un display informativo luminoso che comunichi le varie situazioni operative, tra cui l'arrivo del veicolo alle varie fermate.

c) **Interventi proposti per i disabili della vista**: afferiscono ad appositi accorgimenti e segnalazioni in ogni fermata (percorsi guida) che permettano l'orientamento e la riconoscibilità dei luoghi e delle fonti di pericolo, in conformità alle normative nazionali e regionali vigenti, nonché alle valutazioni espresse

dalle Associazioni che li rappresentano e tutelano quali la I.N.M.A.C.I. di Roma (Istituto Nazionale per la Mobilità Autonoma di Ciechi ed Ipovedenti). Una volta superato con una idonee rampe di accesso il dislivello per accedere al piano di fermata, gli utenti disabili visivi potranno raggiungere le porte di banchina e di salire sui rotabili in cui è previsto l'incarrozzamento a raso, seguendo una adeguata segnaletica tattile posta sul piano di calpestio della fermata, denominato LOGES,(acronimo di "Linea di Orientamento, Guida e Sicurezza) che consente ai disabili visivi di muoversi in totale autonomia e sicurezza lungo un percorso continuo e libero di ogni ostacolo e impedimento fino al punto di imbarco del rotabile tranviario.

Gli elementi modulari della pavimentazione sono articolati in codici informativi di semplice comprensione, che forniscono indicazioni direzionali e "avvisi situazionali" attraverso quattro differenti modalità: il senso tattile plantare; il senso tattile manuale (attraverso il bastone bianco), l'udito, il contrasto cromatico, di luminanza (per gli ipovedenti).

Il "percorso-guida" inizierà dal marciapiede esterno alla carreggiata stradale e proseguirà con l'attraversamento pedonale della strada e condurrà con continuità, una volta raggiunte le rampe di accesso alle banchine già descritte al punto precedente, gli utenti non vedenti e gli ipovedenti ad accedere alle porte di salita al tram seguendo il percorso tattile posto longitudinalmente rispetto all'intera lunghezza della banchina di fermata. L'attraversamento pedonale per i non vedenti e ipovedenti delle carreggiate stradali avverrà con l'ausilio di un impianto semaforico dotato di dispositivo acustico per non vedenti a chiamata, conforme ai requisiti previsti dalla Norma CEI 214-7 /1999 e successiva variante del 2001: "Impianti semaforici. Requisiti dei dispostivi acustici per non vedenti". L'impianto semaforico prevede altresì , per la richiesta del verde pedonale, un pulsante per i non vedenti posto sulla parte inferiore dell'involucro del dispositivo di chiamata.



Per gli attraversamenti pedonali al di fuori delle intersezioni semaforizzate, che si rendono necessari per incrementare a permeabilità della tranvia da parte dei pedoni, si è cercato di realizzare attraversamenti "segnalati" organizzati con percorsi obbligati a labirinti, ottenuti per mezzo di transenne. Il layout de labirinto è tale da "spezzare" il percorso diretto del pedone e da farlo volgere verso a direzione di provenienza del tram.

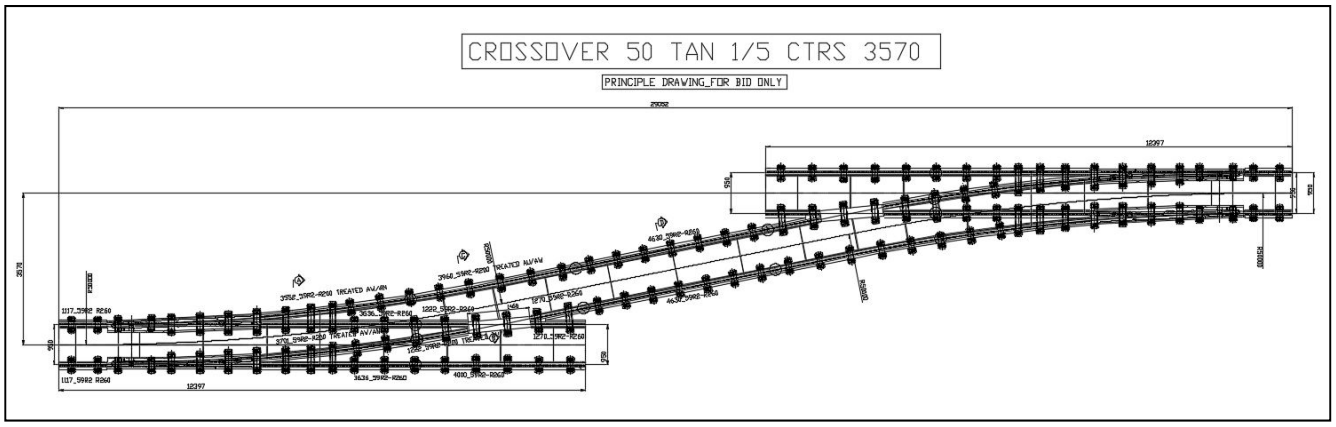
3.12 Apparecchi di binario : deviatoi – comunicazioni semplici e doppie

Lungo il tracciato delle nuove linee tranviarie sono previste 14 comunicazioni semplici e 6 doppie, al fine di permettere la circolazione dei rotabili tranviari in caso di temporanei disservizi o limitazioni di operatività al normale esercizio dell'impianto.

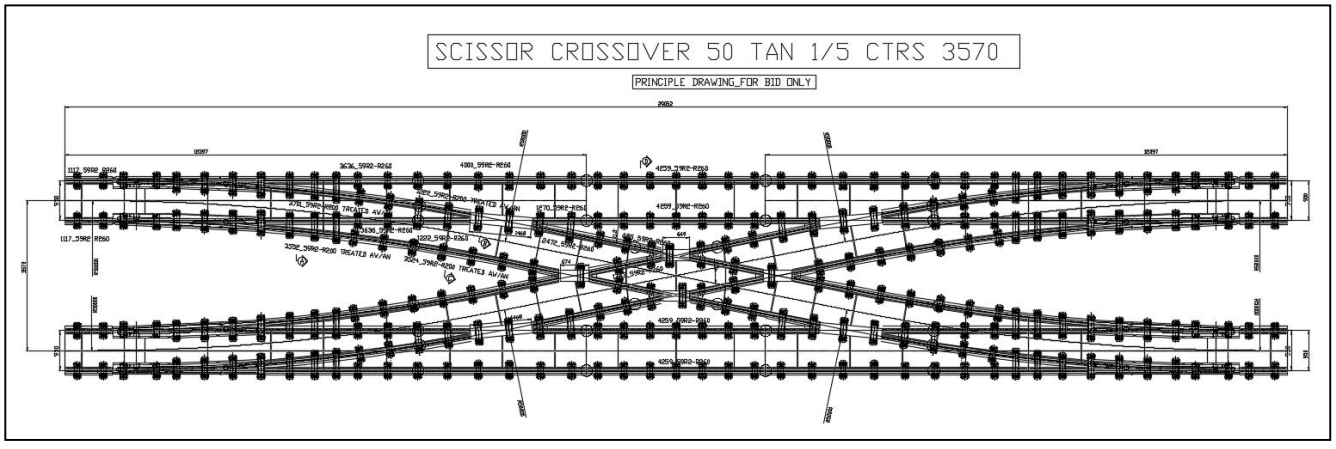
Le caratteristiche generali della comunicazione semplice e doppia sono le seguenti:

- Le comunicazioni sono costruite dalle rotaie a gola dello stesso profilo della rotaia in linea (59R2);
- Conservazione totale della superficie di contatto ruota/rotaia;
- Gli scambi sono inseriti nei tracciati senza sopraelevazione.

La comunicazione semplice è composta da due scambi standardizzati con R= 50 m con profilo di rotaia 59R2/50/0,200 in acciaio R260 (UNI EN 14811) e un tratto di binario di collegamento saldato in opera,



La comunicazione doppia è posta tra due binari è costituita da n. 4 scambi semplici standardizzati con R=50 m e rotaie 59R2/50/0,200 in acciaio R260, (UNI EN 14811), i cuori all'intersezione delle rotaie e tratti di binario di collegamento saldati in opera.



Nello scopo di ridurre le usure, le rotaie delle comunicazioni semplici e doppie, nel tratto curvo di raggio R= 50m riceveranno un trattamento anti usura e anti stridi.

Gli scambi sono composti da tre elementi distinti:

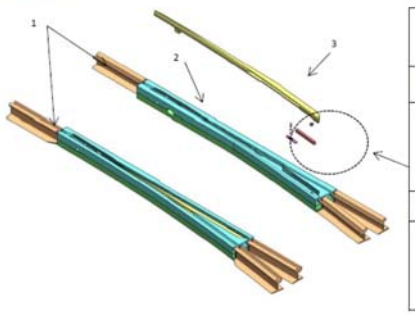
- Telaio monoblocco;
- Cuore monoblocco;
- Cassette di manovra;

Lo scambio è completo dei relativi organi di attacco (piastre – piastre speciali –attacchi elastici - piastre in

gomma - chiavarde - caviglie– ganasce, chiavarde e rondelle per le giunzioni).

Il Telaio monoblocco è ottenuto tramite ossitaglio e lavorazione meccanica, ed è fabbricato in due parti, la parte superiore del blocco è in acciaio ad alta resistenza ed è saldato alla parte inferiore in acciaio tipo S355.

Schema:



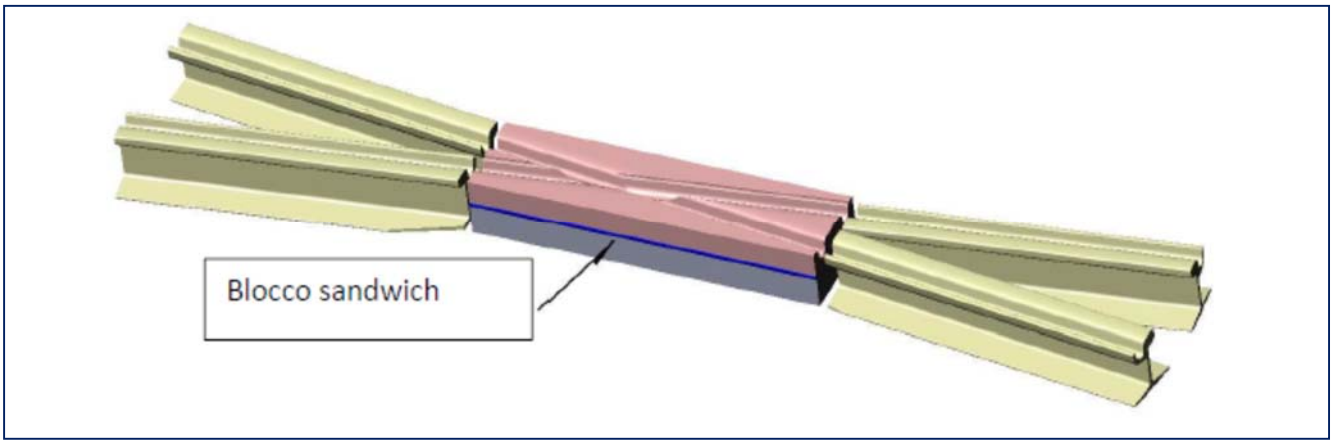
Numero	Designazione
1	Gambini saldati
2	Insieme Blocco (Parte superiore inferiore)
3	Ago
4	Chiavetta e sistema di fissaggio

Tutte le estremità del telaio sono fresate conformemente alle sezioni di rotaie adiacenti. Tutte le gole sono fresate con macchine a commando numerico.

Gli aghi sono fissati al tallone tramite una chiavetta (smontabile) permettendo una sostituzione veloce e una manutenzione facile degli aghi.

Per garantire il montaggio in sito degli apparecchi di binario, i telai, la parte intermedia e l'incrocio sono equipaggiati di tiranti di scartamento, i quali sono isolati elettricamente dai binari adiacenti.

Il Cuore monoblocco (incrocio) tranviario verrà realizzato in blocchi ''sandwich' realizzati in lamiera in Dillidur per la parte superiore mentre, per la parte inferiore, in lamiera spessa in acciaio comune, qualità S355.



Al blocco del telaio vengono saldati tramite saldature elettriche i gambini che saranno realizzati con rotaia 59R2 con qualità R200

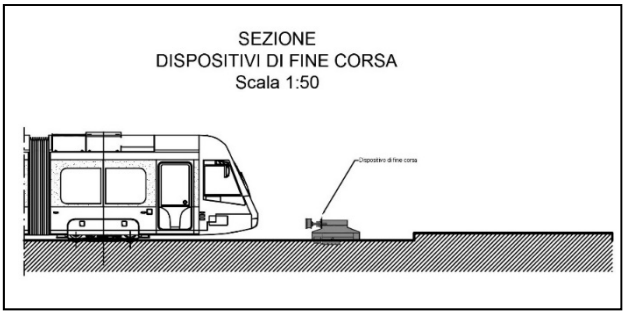
Le Casse di manovra saranno di tipo elettrico

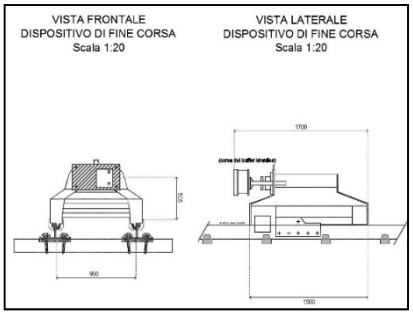
CASSA DI SCAMBIO IN OFFICINA (Sinistra) ED IN OPERA (Destra)

3.13 Dispositivi di fine corsa

In corrispondenza dei capolinea Stazione Centrale, interscambio S.Lorenzo Colli e Fermata Sferracavallo, sono previsti dispositivi di fine corsa da installarsi uno sul binario pari ed uno sul binario dispari, per arrestare i rotabili in caso di avaria.

I dispositivi di fine corsa sono del tipo "assorbimento d'urto" realizzati con profilati formati da una struttura ad assorbimento di energia.





3.14 Isolamento elettrico - correnti vaganti

Come noto infatti nei sistemi ferrotranviari in cui le rotaie di corsa assolvano anche la funzione di conduttore di ritorno, le correnti disperse rappresentano un problema difficilmente eliminabile, con potenziale corrosione degli impianti stessi, nonché delle strutture metalliche presenti in modo diffuso nel sottosuolo delle aree urbane. Risulta quindi determinante evitare qualsiasi contatto con elementi di elevata conducibilità elettrica quali essenzialmente i metalli.

Connesse all'esercizio tranviario sono inoltre da valutare le emissioni di campo elettromagnetico nell'intervallo 9kHz - 30MHz per il campo magnetico H (componente orizzontale) e 30MHz - 1 GHz per il campo elettrico E (componente verticale).

In conformità alle norme CEI EN 50121-2 (Emissioni dell'intero sistema ferroviario verso l'ambiente esterno), CEI 9-20/1 (Sistemi con tensione nominale di linea sino a 1500 V) CEI EN 50122-2 (Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane. Impianti fissi – Parte 2: protezione contro gli effetti delle correnti vaganti causate da sistemi di trazione a corrente continua) il binario verrà elettricamente isolato rispetto alle correnti circolanti nella rotaia.

Per limitare al meglio i problemi connessi alla presenza di correnti elettromagnetiche risultano determinanti i profili di rivestimento delle rotaie ma anche l'eliminazione di ponti di elevata conduttanza elettrica tra le rotaie e tra queste e l'ambiente.

Il sottosistema armamento realizzato su platea in calcestruzzo, vengono adottati i seguenti provvedimenti:

- Platea di armamento realizzata in calcestruzzo fibro-rinforzato con fibre strutturali sintetiche tipo Ruredil XF 54 T che garantisce un miglior isolamento contro le correnti vaganti.;
- Maglia di protezione delle correnti vaganti costituita da un rete metallica elettrosaldata posta all'intradosso della platea di armamento in calcestruzzo fibro-rinforzato;
- Sistema di fissaggio del binario in grado di garantire l'ancoraggio delle rotaie in modo continuo senza continuità elettrica con la base di calcestruzzo;
- Profili laterali in gomma lungo le rotaie con materiali a bassa resistenza, che attraverso loro forma e la posa, isolino la rotaia del binario rispetto alla piattaforma in calcestruzzo e rispetto al piano di finitura;
- Utilizzo di giunti isolanti sulla rotaia che riducano la lunghezza dei circuiti di ritorno delle correnti di trazione.

Questi provvedimenti contro le correnti vaganti consentiranno di ottenere il livello di isolamento del binario

indicato dalla norma CEI EN 50122 in fase di costruzione, nonché di monitorare il livello di isolamento del binario durante il periodo di esercizio della tranvia ed infine di monitorare i potenziali dei principali ferri delle armature presenti nella platea di armamento durante il periodo di esercizio tramite idonei posti di misura disposti lungo il tracciato della Linea.

4. OPERE D'ARTE

4.1 Ponte sul fiume Oreto

Il ponte sul fiume Oreto è un ponte stradale di prima categoria, ovvero realizzato al fine di potere ospitare diversi tipi di carico e permettere su di esso il transito in contemporanea di più tipologie di mezzi.

Il ponte è di tipo sospeso, con un impalcato a una travata in calcestruzzo armato retto da 33 coppie di stralli verticali appesi a due sistemi di funi tra i piloni principali dell'intera struttura.
Nella parte centrale della sua sede, infatti, è previsto il passaggio delle due corsie di tram nelle due direzioni di andata e ritorno per una larghezza di 7 metri, previste dalla tratta D oggetto dell'ampliamento del sistema tranviario della città di Palermo.

Per tutta la lunghezza del ponte, la cui unica campata centrale si sviluppa per oltre 220 metri di lunghezza nel superamento del fiume Oreto, il materiale rotabile si rifornisce di energia elettrica per il suo funzionamento tramite captazione effettuata da un terzo binario centrale a terra collocato tra i due atti alla circolazione.

Oltre al tram, il ponte, di larghezza totale pari a 25,5 metri misurata tra i parapetti esterni, ospita al suo interno due carreggiate carrabili da 3,75 m per mezzi gommati di qualunque tipo, due piste ciclabili unidirezionali e due marciapiedi pedonali per ulteriori 3 metri al fine di garantire a tutti il transito in entrambe le direzioni.

La scelta di questo tipo di ponte con aspetto leggero deriva da un approccio attento nei confronti dell'impatto dell'opera che si trova in pieno Parco Urbano con vincolo idrogeologico normato dal PRG.

L'altezza massima della struttura infatti non supera mai i 30 metri dal suolo nei due punti di massimo spicco dei piloni risultando quindi molto meno invadente rispetto ad una tipologia diversa come quella prospettata nello studio di fattibilità che riportava uno schema di ponte con una altezza totale di ben 61 metri.

Valicando il fiume, la realizzazione di questo ponte mette in connessione diretta l'ambito di via Villagrazia con il quartiere Montegrappa sulla via E.Tricomi adiacente all'Ospedale Civico di Palermo.

Il nuovo ponte in questo modo fornisce un ulteriore punto di attraversamento carrabile sul fiume oltre ai già esistenti Ponti: Corleone di viale Regione Siciliana, di via Oreto, di corso dei Mille e di via Messina Marine, offrendo quindi notevoli vantaggi a tutto il traffico cittadino.

La previsione di questo ponte è già inserita nel programma triennale delle Opere Pubbliche dell'anno 2015/17.

4.2 Sovrappasso carrabile su viale Regione Siciliana

Il sovrappasso carrabile su viale Regione Siciliana permette al tram della tratta C di superare il dislivello di circa 8 metri esistente con la via Ernesto Basile che la incrocia a una quota superiore.

Si tratta di un sovrappasso doppio diviso in due corsie parallele, ognuna per un verso di marcia, posizionate lateralmente alle carreggiate del viale della Regione Siciliana e che si sviluppano per una lunghezza di circa 160 metri con una pendenza costante del 6%.

Dopo un tratto iniziale di circa 82 m di salita su rilevato, le due rampe continuano il loro percorso sostenute ciascuna da quattro piloni a sezione trapezoidale a distanza costante di 21 m fino a raggiungere la via Basile alla quale si collegano tramite giunto di dilatazione.

Ogni rampa, della larghezza totale di 5,10 m, ospita, oltre alla sede tranviaria, anche una passerella

pedonale laterale protetta da parapetto su ambo i lati al fine di garantire un sicuro superamento del dislivello.

La struttura portante dell'opera è costituita da calcestruzzo armato con acciaio passivo rispettando i requisiti normativi in tema strutturale e le norme che regolano il codice della strada, pendenza delle rampe e raggi di curvatura.

4.3 Sovrappasso pedonale su viale Regione Siciliana

Il sovrappasso pedonale su viale Regione Siciliana all'altezza di via Palmerino, introdotto in questa fase progettuale, viene a essere il quarto dei tre già esistenti lungo la circonvallazione di Palermo, dopo quelli di via La Loggia, via Petralia Sottana e via Nazario Sauro.

Come i precedenti sovrappassi, questo presenta una struttura in acciaio divisa in due parti uguali, ognuna delle quali di circa 32,5 metri che nell'insieme superano le carreggiate sottostanti per un totale di 65 m.

Al centro di esse, nello spartitraffico di viale Regione Siciliana, è posto un pilastro per dimezzare la luce totale dell'attraversamento pedonale.

La passerella sospesa ha una larghezza di 2,8 metri permettendo un passaggio utile di 1,80 metri a pedoni e portatori di handicap su carrozzina.

L'intero percorso, a quota 6,5 m circa dal suolo, è coperto e protetto lateralmente dagli agenti esterni.

L'accesso alla struttura avviene tramite doppia rampa di scale e ascensore a norma per ogni lato della passerella.

4.4 Sovrappasso pedonale su via Giuseppe Lanza di Scalea

Il sovrappasso pedonale su via Giuseppe Lanza di Scalea ha la sua collocazione all'altezza della fermata Scalea lungo la tratta G del tram prevista dall'ampliamento del sistema tranviario proposto.

Questo sovrappasso si trova in prossimità della rotatoria di ingresso esistente davanti al centro commerciale Conca d'Oro in direzione Sferracavallo e permette l'attraversamento delle carreggiate sottostanti a pedoni e portatori di handicap su carrozzina, essendo dotata di ascensori dedicati oltre che di rampe di scale alle due estremità della stessa.

L'opera, di tipo scoperto, è in calcestruzzo armato con una larghezza massima di 3 metri di cui 2,44 m praticabili compresi tra i parapetti laterali di sicurezza in metallo. La lunghezza complessiva dell'impalcato è di 31,10 m con una pila di appoggio centrale.

5. DEPOSITI

5.1 Illustrazione dei due depositi esistenti

Il Sistema Tram della città di Palermo, ha lo scopo di collegare le periferie sud ed ovest al centro città, ed è costituito da tre linee denominate rispettivamente Linea 1 "Roccella" (km 6,7, 15 fermate), Linea 2 "Leonardo da Vinci (km 5,0, 13 fermate), Linea 3 "CEP-Calatafimi" (km 7,3, 16 fermate).

La linea 1 è servita da 9 tram mentre le linee 2 e 3 da 8 tram. Le linee 2 e 3 sono tra loro interconnesse mentre la Linea 1 risulta isolata.

Ciò ha imposto la realizzazione di due depositi distinti denominati "Roccella" e "Leonardo da Vinci".

Il Deposito Roccella, è localizzato all'estremità sud della linea 1 alla quale è collegato mediante un raccordo a singolo binario della lunghezza di circa 500 m.

Il Deposito Leonardo da Vinci, localizzato a circa 800 m

dal Terminal Armerina-San Paolo, capolinea della linea 2, è collegato alla stessa linea 2 mediante un raccordo diretto che attraversa perpendicolarmente la carreggiata sud di Via Castellana

Le principali funzioni dei depositi sono essenzialmente il rimessaggio dei veicoli, la manutenzione ordinaria e straordinaria degli stessi, nonché la manutenzione degli impianti fissi e la Direzione di Esercizio.

Nel Deposito Roccella sono presenti i seguenti corpi di fabbrica:

L'edificio Rimessa - Officina manutenzione di complessivi mq. 7.753, con relativi magazzini e locali tecnici, su un lato sono ricavati gli uffici, gli spogliatoi e i servizi. La struttura consente il rimessaggio al coperto di n. 18 veicoli tranviari, della lunghezza max. di 34 m. L'officina è dotata di due binari su fossa larga passante su pilastrini e un binario a raso.

L'edificio per il Lavaggio e Pulizia, con una superficie totale coperta di circa 490 mq con annessi locali tecnici, gli spogliatoi e servizi degli addetti al lavaggio mezzi. Annesso all'edificio è stato installato l'impianto di depurazione a ciclo chiuso.

Il tornio in fossa e i locali dedicati alla verniciatura, portineria - ufficiomovimento - PCD e la SSE.

Nel Deposito Leonardo da Vinci sono presenti i seguenti corpi di fabbrica:

L'edificio Rimessa - Officina manutenzione di complessivi mq. 5.171, con relativi magazzini e locali tecnici, su un lato sono ricavati gli uffici, gli spogliatoi e i servizi. La struttura consente il rimessaggio al coperto di n. 12 veicoli tranviari, della lunghezza max. di 34 m. L'officina è dotata di due binari su fossa larga passante su pilastrini e un binario a raso.

L'edificio per il Lavaggio e Pulizia, si sviluppa attorno a due binari paralleli, con una superficie totale coperta di circa 420 mq. Annesso all'edificio è stato installato l'impianto di depurazione a ciclo chiuso.

Portineria-ufficio movimento-PDC, il fabbricato si sviluppa su un unico piano, di superficie totale pari a circa 207 mq. Infine è presente la SSE.

I lay-out dei due depositi, per motivi legati all'inserimento nel territorio, sono risultati completamente differenti e rappresentativi di due tipologie "classiche" ossia quella "di testa" per il Deposito Leonardo e quella "ad anello" per il Deposito Roccella. In un lay-out "di testa"; tutte le manovre interne necessitano quindi dell'inversione di marcia, che rappresenta un notevole handicap nell'esercizio di un deposito, anche per la maggiore complessità e quindi onerosità del sistema di comando e controllo del movimento, per la maggiore onerosità sia in termini di installazione che in termini di manutenzione degli scambi.

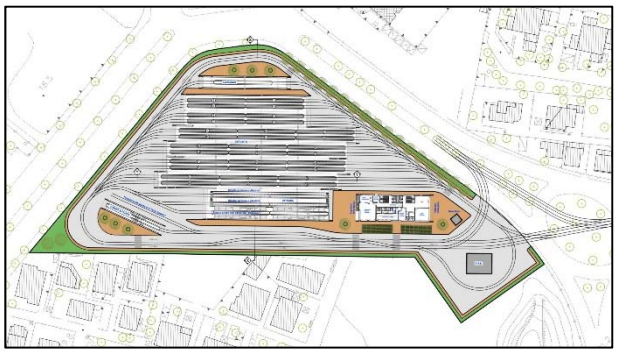
In considerazione delle caratteristiche dei due depositi per tram Palermo, e con lo scopo di ottimizzare l'esercizio dell'intero sistema, le funzioni principali sono state ripartite tra i due depositi assegnando in particolare, al deposito Roccella, la manutenzione straordinaria e le grandi riparazioni del veicolo, mentre al deposito Leonardo sono state assegnate la manutenzione ordinaria, la pulizia, il lavaggio e la Direzione di Esercizio.

Nel Deposito Roccella si svolgono le seguenti attività :
La Manutenzione correttiva; la Manutenzione preventiva ordinaria o di 1°livello; il Servizio di intervento esterno al deposito in caso di guasto in linea; la Revisione di carrelli e componenti; la Direzione di Deposito e alcune strutture del Global Service; la Manutenzione delle Opere Civili; la Manutenzione degli Impianti Civili; il Posto Centrale di Controllo e l'ufficio Movimento.

Nel Deposito Leonardo da Vinci si svolgono le seguenti attività :
La Manutenzione ordinaria del Materiale Rotabile; la Pulizia ed il Lavaggio; il Servizio di intervento esterno al deposito in caso di guasto in linea; la Direzione di Esercizio; la Direzione di Esercizio; la Direzione di Deposito e alcune strutture del Global Service; la Manutenzione TE/SSE, la Manutenzione IS/TLC; il Posto Centrale di Controllo e l'ufficio Movimento.

5.2 Deposito Olimpo

Il nuovo deposito Olimpo verrà realizzato all'interno di un lotto appositamente individuato dall'Amministrazione comunale di Palermo, della superficie di circa 22.800 m^2, posto nell'intersezione fra viale dell'Olimpo e viale Sandro Pertini.



La configurazione dell'area has consentito di progettare un lay-out "ad anello", con circolazione oraria dei rotabili

Tutte le manovre interne possono quindi essere eseguite senza inversione di marcia il che consente di avere tutti gli scambi posteriori tallonabili non elettrocomandati.

Tale scelta agevola le operazioni di manutenzione, anche quelle correttive e grandi riparazioni del materiale rotabile, con prove dei mezzi all'interno del deposito, senza interferire con l'esercizio delle linee tranviarie.

L'anello è collegato tramite bivi e scambi, con la tratta E del sistema tranviario di Palermo. Internamente al deposito, l'anello è direttamente collegato tramite i pettini di entrata e di uscita all'edificio Rimessa/Officina, mentre l'accesso al tornio in fossa e al lavaggio è regolato da scambi semplici.

5.2.1 Capacità di parcamento del nuovo deposito Olimpo

La capacità di parcamento del deposito Roccella è pari a 24 rotabili (di cui 18 al coperto e 6 non al coperto) , mentre quella del deposito Leonardo da Vinci è pari a 16 rotabili tranviari (di cui 12 al coperto e 4 non al coperto) per cui attualmente, la capacità totale di ricovero dei due depositi esistenti è pari a 40 rotabili tranviari.

Al termine della Fase 1 dell'ampliamento del sistema tranviario che prevede il prolungamento delle attuali linee esistenti con l'aggiunta delle tratte A, B, C, dalle risultanze del calcolo del dimensionamento della flotta (vedasi Relazione EE.3 "Piano economico e finanziario di massima") si evince che il numero di vetture necessarie è pari a 39. Stante che capacità di parcamento totale dei due depositi esistenti è pari a 40 vetture, risulta che per esercire la Fase 1 dell'ampliamento del sistema tranviario non è necessario ampliare nessuno dei due depositi esistenti.

Al termine della Fase 2, quando saranno realizzate tutte le sette tratte dell'ampliamento del sistema tranviario, dalle risultanze del calcolo del dimensionamento della flotta si evince che il numero di vetture necessare è pari a 56 rotabili per cui si è reso necessario prevede e progettare un nuovo deposito disposto lungo la tratta E nell'area appositamente individuata dall'Amministrazione comunale di Palermo, della superficie di circa 22.800 m^2, posta nell'intersezione fra viale dell'Olimpo e viale Sandro Pertini.

La capacità del nuovo deposito Olimpo è pari a 32 rotabili - tutti al coperto - per cui al termine della Fase 2 la capacità di parcamento (con rotabili tutti al coperto) sarà nel suo complesso pari a :

- Deposito Roccella = capacità 18 tram al coperto
- Deposito Leonardo da Vinci = capacità 12 tram al coperto
- Deposito Olimpo = capacità 32 tram al coperto

In totale le vetture tranviarie che possono essere ricoverate – al coperto - nei tre depositi è pari a 62 unità mentre il parco rotabile necessario per esercire l'intero sistema tranviario è a pari a 56 unità (quindi c'è una riserva di capacità di parcamento pari a 6 vetture).

5.2.2 Lay-out del deposito Olimpo

Nel Deposito Olimpo sono presenti le seguenti strutture/attrezzature:

- Edificio Rimessa - Officina;

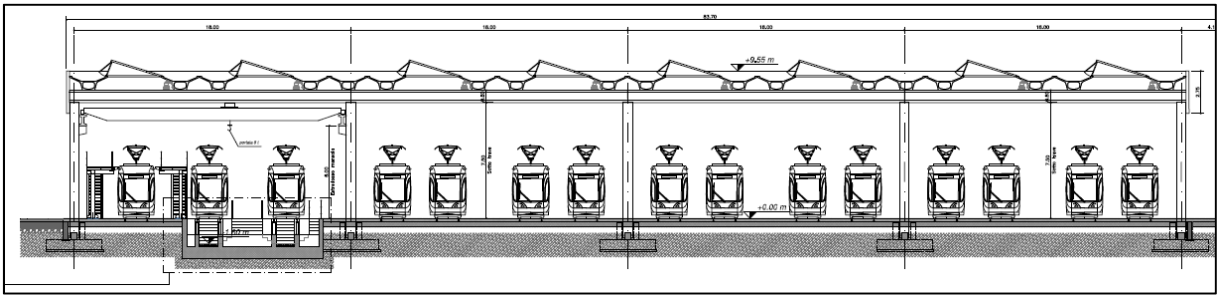
- Edificio Lavaggio Vetture, con Annesso l'impianto di Depurazione;
- Tornio in Fossa;
- Portineria;
- Edificio Uffici;
- SSE.

Edificio Rimessa – Officina

L'edificio, di circa mq. 6.700 sarà realizzato con strutture in c.a. prefabbricate su fondazioni in c.a. gettato in opera; le tamponature saranno in pannelli sandwich prefabbricati con finiture esterna che rimandano ai due depositi esistenti. I pilastri hanno passo trasversale di 18,0 m, mentre longitudinalmente il passo è variabile da 18 m a 28 m seguendo la figura irregolare della pianta. Tale interasse trasversale consente di non avere pilastri interni in officina, riuscendo a posizionare il carroponte direttamente sui pilastri di bordo. Nell'edificio sono previste le seguenti aree funzionali:

Rimessa : consente il rimessaggio al coperto di n. 32 veicoli tranviari, della lunghezza max. di m. 34.00, disposti su n. 12 binari elettrificati passanti, della lunghezza di m. 105.0 per otto binari e m 71.0 per i restanti quattro binari. L'interasse dei binari è pari a m 3.60 (3.90 nel caso di pilastro intermedio), l'armamento tranviario è inglobato nel solettone della pavimentazione dell'edificio, che termina al piano del ferro (senza marciapiedi interni) con la pavimentazione di tipo industriale. Per la chiusura della rimessa in corrispondenza dei binari, sono previsti portoni a funzionamento automatico, attivati all'inizio e alla fine del servizio (funzione antintrusione), porte flessibili, leggere ad apertura rapida, automatiche in PVC, comandate dagli stessi tram in ingresso e in uscita . La copertura a shed è munita di infissi fissi con porzioni apribili a mezzo di attuatori elettrici per il ricambio d'aria e/o l'evacuazione di fumi ed è predisposta per l'installazione di pannelli fotovoltaici.

Officina : area destinata all'ispezione ed alla manutenzione ordinaria e straordinaria dei veicoli. In officina sono presenti due binari su fossa larga su pilastrini e un binario a raso con passerelle "imperiali" laterali, per le lavorazioni in quota. La fossa, ha dimensioni di m. 68,60 x 8,55 e ogni binario consente la lavorazione di due vetture contemporaneamente. La fossa, nella parte adiacente al binario è a quota -1.00, mentre sotto al binario è a quota - 1.60. Un binario a raso è dotato di passerelle per lavorazioni sopra vettura quest'ultime sono dotate di sistemi anticaduta ed antifolgorazione. Tutti i binari dell'officina all'interno dell'officina non sono elettrificati ma sono serviti dal carroponte, che consente la movimentazione dei carrelli e di altri componenti pesanti. Sui binari in fossa viene effettuata la manutenzione ai componenti del sottocassa e ai cassoni laterali; sul binario a raso si eseguirà la manutenzione delle apparecchiature su tetto dei rotabili e per la manutenzione/ispezione dei carrelli. Tutti i binari sono attrezzati con prese per l'aria compressa, prese di energia elettrica; i binari in fossa anche con prese d'acqua. La copertura a shed, è munita di infissi totalmente apribili per il continuo ricambio d'aria e/o l'evacuazione di fumi.



Edificio – Uffici

L'edificio si sviluppa su tre livelli con differenti destinazioni d'uso, per uno sviluppo totale di circa 2000 mq sarà realizzato con strutture in c.a. su fondazione a platea in c.a. con pareti laterali par la parte interrata con setti in c.a. gettato in opera, mentre per le chiusure esterne in elevazione si adotteranno in pannelli sandwich

coibentati prefabbricati con finiture esterna che rimandano ai due depositi esistenti e infissi ad elevato risparmio energetico. I pilastri hanno passo trasversale di circa 15,0 m, longitudinalmente il passo è di 15 m per i pilastri centrali e circa 4,10 per la campata laterale.

Il collegamento verticale tra i piani è assicurato dalle scale e da ascensori. I solai intermedi sono realizzati con elementi prefabbricati. La copertura è una struttura precompressa di tipo "sandwich" costituita da uno strato portante di calcestruzzo, uno strato coibente in polistirene espanso completamente incapsulato nel cls e, all'estradosso da uno strato impermeabilizzante su cui sarà posizionata un pavimento galleggiante per proteggere l'impermeabilizzazione e consentire l'accesso per la manutenzione.

Nell'edificio sono previste le seguenti aree funzionali:

- piano interrato: loca i tecnici (sala quadri, telecomunicazioni, centrale idrica, locali trasformatori, gruppo elettrogeno e locale compressori);
- piano terra: magazzini, servizi per gli operai e sala riunioni;
- piano primo: uffici direzione e sala controllo, completano il piano il refettorio, e i WC

In copertura saranno disposti gli impianti esterni per la climatizzazione dei locali, gli impianti fotovoltaici e i pannelli termici per integrare la centrale termica.

Edificio pulizia e lavaggio

L'edificio, con una superficie totale coperta di circa 380 mq, è realizzato con strutture in c.a. prefabbricate su fondazioni in c.a. gettate in opera, le tamponature sono in pannelli sandwich prefabbricati con le medesime finiture dell'edificio rimessa.

L'edificio si sviluppa lungo un unico binario elettrificato, è destinato alle operazioni quotidiane di pulizia interna mediante attrezzature meccaniche manovrate manualmente e successivamente lavate esternamente mediante un dispositivo automatico a ponte mobile. Al termine del lavaggio il tram passa nella sezione di tunnel successiva, impegnando l'arco di asciugatura. Completa la dotazione del binario l'impianto per la carica di sabbia, posto in ingresso all'edificio.

Lungo il binario sono presenti griglie e canalette per la raccolta acque che sono poi convogliate all''impianto di depurazione, annesso all'edificio in vasche interrate. All'impianto vengono inoltre convogliate tramite apposita rete drenante, anche le acque industriali, provenienti dal capannone rimessa-officina e dal tornio in fossa. Le acque industriali confluiscono in una vasca in c.a. interrata esterna all'edificio. Detta vasca è compartimentata in modo che e acque in ingresso subiscano un trattamento di dissabbiazione, disoleazione e accumulo/equalizzazione delle sostanze inquinanti, dopodiché vengono rilanciate all'impianto di depurazione. Quest'ultimo è a ciclo chiuso e si compone di vasca di accumulo, vasca biologica per il primo trattamento di depurazione naturale, colonne di filtrazione a granulometria differenziata e a carboni attivi e vasca di rilancio contenente l'acqua depurata. Al termine del ciclo di depurazione l'acqua viene immagazzinata in opportune vasche interrate, per il riutilizzo nell'impianto di lavaggio.

Il depuratore è ispezionabile sia esternamente che internamente ed è accessibile dal piano terreno mediante scale alla marinara.

Edificio tornio in fossa

Il tornio in fossa, è stato ricavato all'interno dell'area funzionale destinata alla riprofilatura periodica delle ruote del materiale rotabile. Il fabbricato sempre realizzato con struttura prefabbricata presenta le medesime finiture dell'edificio rimessa. La lunghezza del binario anteriore e posteriore al tornio è adeguata per poter manovrare il tram e portare tutti e tre i carrelli nella zona di tornitura.

Il tornio in fossa è stato progettato per lavorare simultaneamente il profilo completo di 2 ruote di uno stesso assale, con attivazione da parte di un solo operatore.

La posizionare del tornio in fossa esternamente all'officina, consente di svincolarlo da fosse e binari necessari per altre operazioni. In questo modo una sua eventuale avaria e riparazione non influenza la

mobilità dei tram nell'officina.

In esterno sarà realizzato apposto tronchino attrezzato con il "terzo binario" per i lavori di manutenzione correttiva.

Edificio Portineria

La guardiola è ricavata in un edificio separato dagli uffici con superficie di circa 20 mq, ubicato in corrispondenza dell'ingresso principale. L'edificio sarà realizzato con struttura a telaio in cemento armato gettato in opera su fondazioni dirette. La tamponatura è in blocchetti di calcestruzzo alleggerito e la copertura è piana. La portineria, posizionata in angolo ha visione diretta sia sul cancello di ingresso che sulla area di attesa. Completano il piano i servizi igienici.

5.2.3 Gestione del servizio di manutenzione

Tra le operazioni che si svolgono all'interno del deposito ed in particolare nell'officina senza dubbio la manutenzione del Materiale Rotabile è quella più importante.

Il termine generico manutenzione indica tutte le attività necessarie a conservare nel tempo le caratteristiche di sicurezza, regolarità di funzionamento e comfort dei veicoli permettendone quindi il servizio commerciale.

La manutenzione è poi classificata in manutenzione preventiva e manutenzione correttiva. La manutenzione preventiva ordinaria viene eseguita direttamente sul tram completo, mentre la revisione dei componenti viene eseguita su componenti/sistemi smontati dal tram.

Le operazioni che possono essere pianificate rientrano nella categoria "manutenzione preventiva" mentre le operazioni che non possono essere pianificate rientrano nella categoria "manutenzione correttiva".

La manutenzione del materiale rotabile e degli impianti fissi verrà svolta dal Gestore utilizzando sinergicamente sia le attrezzature che gli impianti già presenti presso tutti le strutture adibite allo scopo, il deposito Olimpo pertanto integrerà e completerà le dotazioni e le attrezzature già esistenti, creando in ogni caso una sovrapposizione di attività che consentono di operare anche in caso di guasti o disservizi ad una struttura.

Per il materiale rotabile quindi le attività verranno ripartite in base alla necessità di utilizzare attrezzature ed impianti presenti nell'uno o nell'altro deposito; la manutenzione della flotta quindi potrà non solo usufruire di quanto già esistente a Roccella al Leonardo, ma potrà anche utilizzare in parte il personale già in forza.

Il personale di manutenzione dovrà inoltre essere integrato numericamente, proporzionalmente al numero di beni da gestire e delle effettive attività di manutenzione da prevedere. Al contempo dovrà essere prevista una fase di aggiornamento e formazione del personale già presente finalizzata ad una buona conoscenza dei nuovi impianti e loro esigenze manutentive.

Per tutti i sistemi, la manutenzione potrà usufruire infine di un'unica piattaforma informatica da integrare al nuovo contesto, con minori costi e tempi per la formazione del personale.

Considerando che con il completamento del sistema tranviario, il numero dei mezzi aumenterà in modo significativo, la progettazione del nuovo deposito Olimpo ha come scopo non solo il ricovero dei nuovi mezzi, ma di ampliare il servizio di l'officina in particolare per la manutenzione correttiva "pesante", grazie al nuovo tornio in fossa per la ritornitura dei cerchioni. Tali attività, che hanno una frequenza ridotta, potranno essere quindi realizzate in contemporanea su più mezzi, anziché gestire in successione tutti gli interventi.

Al contrario, le attività di manutenzione a frequenza più elevata sia di manutenzione preventiva (es. rifornimento sabbia e le scadenze fissate ogni 6.000 km o 18.000 km) sia di manutenzione correttiva (es. componenti guasti la cui sostituzione non richieda l'utilizzo di particolari attrezzature o impianti) potranno essere realizzate presso tutti i depositi, sia per evitare la sovrasaturazione del deposito Roccella, sia per garantire il necessario tasso di disponibilità dei veicoli.

Anche l'organizzazione delle attività di manutenzione degli impianti fissi prevede la condivisione dei principali

macchinari ed attrezzature usati per le linee già in esercizio (ad esempio la motoscala necessaria per le lavorazioni in quota oppure l'Unimog).

La politica di manutenzione si basa su tre principi:

- ottenere alti livelli di affidabilità, di disponibilità e di sicurezza del sistema di trasporto in modo da soddisfare le aspettative dei passeggeri e rispondere agli impegni contrattuali;
- adottare una politica di manutenzione che tenga conto delle varie fasi di vita di ogni apparato: progettazione, installazione, gestione e manutenzione, con l'obiettivo di ottimizzarne costi e funzionalità lungo tutto l'arco della vita dell'apparato stesso;
- produrre il servizio nel modo più economico e più efficace possibile.

A tale scopo, i servizi di manutenzione verranno organizzati in funzione delle diverse specializzazioni tecniche in modo da:

- ottimizzare le sinergie tra i vari servizi;
- definire in maniera chiara i compiti e gli obiettivi del personale addetto (materiale rotabile - impianti - sistemi tecnologici ed informativi).

Ciascun settore è caratterizzato da due livelli di intervento:

1° livello: mantenimento della continuità e della qualità del servizio, si tratta di interventi di manutenzione ordinaria che consentono, in caso di avarie, di ripristinare l'esercizio o di riportare nella norma i livelli di servizio offerti alla clientela.

2° livello: altri interventi al di fuori della manutenzione ordinaria, si tratta delle operazioni di manutenzione straordinaria e di quella preventiva ciclica realizzate in tempi differiti o a seguito di incidenti.

ORGANIZZAZIONE DELLA MANUTENZIONE PREVENTIVA

I cicli di manutenzione preventiva verranno pianificati sulla base dei cicli di manutenzione indicati dai fornitori, rivisti in collaborazione con essi nella fase di pre-esercizio.

La manutenzione preventiva del materiale rotabile avverrà in funzione dei chilometri percorsi; essa verrà pianificata in modo che i treni rientrino in officina per manutenzione ad intervalli omogenei in modo da garantire un impiego equilibrato del parco.

La manutenzione preventiva per l'infrastruttura (via di corsa, impianti di segnalamento, controllo e comando dei veicoli, alimentazione e energia di trazione, impianti di stazione, ecc.), sarà programmata a calendario oppure, nel caso, attuate in funzione di parametri di riferimento.

La pianificazione degli interventi di preventiva terrà conto degli obblighi in materia di sicurezza e distinguerà due tipologie di manutenzione preventiva delle infrastrutture:

- Manutenzione che implica l'accesso alla via di corsa, come quella sulla maggior parte degli impianti di fornitura dell'energia di trazione, sugli apparati posti lungo i binari e le banchine. Questi interventi manutentivi devono essere effettuati di notte quando non vi è circolazione di tram e, se necessario, con la tolta tensione.
- Manutenzione che non richiede l'accesso alla via di corsa: PCC, la maggior parte dei sistemi di comunicazione, una parte degli impianti per l'energia di trazione, ecc.; questi interventi non richiedono l'interruzione del servizio ai passeggeri.

ORGANIZZAZIONE DELLA MANUTENZIONE CORRETTIVA

Gestione delle priorità

Per ridurre gli interventi manutentivi durante il servizio e per non degradare la qualità del servizio, il Gestore organizzerà la manutenzione con le seguenti priorità:

Priorità 1: avarie effettive o potenziali (imminenti) che richiedono un intervento immediato, anche se ciò incide sulle disponibilità del sistema e può creare disagi ai passeggeri;

Priorità 2: avarie effettive o potenziali (imminenti) la cui riparazione può essere ritardata senza che vi sia impatto sulla disponibilità né sulla sicurezza del sistema.

L'efficacia e la gestione di questi due livelli di priorità dipende dalle competenze del personale che deve decidere se l'avaria è di priorità 1 o 2 (squadre di primo intervento in linea, PCC). Perciò, il Gestore dovrà mantenere ad un adeguato livello le competenze degli addetti, con una formazione continua e con l'analisi degli eventi manutentivi e dell'esercizio utilizzando in forma intensiva e come pratica comune il ritorno di esperienze.

Identificazione delle avarie e tempi di riparazione

L'identificazione di funzionamenti anomali avviene principalmente attraverso: lo SCADA (il PCC) o altri sistemi di controllo a distanza, le ispezioni delle squadre in linea e sui tram e le ispezioni effettuate regolarmente dalle squadre di manutenzione nell'ambito di interventi manutentivi programmati nel piano di manutenzione.

Il Gestore pone particolare importanza al ruolo delle squadre presenti in linea e sulle vetture, utili nel riportare verso il PCC ogni informazione su difetti o malfunzionamenti di apparati rilevati nel corso della loro quotidiana attività. Ad ogni segnalazione di avaria o malfunzionamento o difetto, il PCC attiverà immediatamente il settore manutenzione mediante le procedure stabilite. Quando l'anomalia è rilevata dallo SCADA, il supervisore del PCC attiva direttamente la manutenzione mediante le procedure concordate.

Quale che sia la fonte del segnale di anomalia, esso verrà registrato e numerato, con altri dati quali: chi ha generato il segnale, la data, l'impianto in causa, la descrizione del problema e il prevedibile impatto sul funzionamento del sistema.

Verrà realizzata la raccolta, la formattazione e la diffusione delle informazioni riguardanti i difetti o le avarie che hanno un impatto sulle prestazioni del sistema. Le informazioni concernenti i difetti o le avarie saranno oggetto di analisi congiunte fra i settori esercizio e manutenzione del Gestore, in modo che il problema venga analizzato in ogni suo aspetto e venga trattato in modo adeguato con lo scopo di migliorare il servizio ai passeggeri.

Sulla base delle analisi delle anomalie d'esercizio verrà valutata l'opportunità di modificare le procedure di intervento e/o di manutenzione per evitare il riprodursi di tali anomalie di esercizio.

PIANI DI MANUTENZIONE

Principale strumento di gestione delle attività di manutenzione è il Piano di Manutenzione vedi allegato al documento EE.3, che programma nel tempo gli interventi, individua ed alloca le risorse necessarie con l'obiettivo di ottimizzare l'affidabilità complessiva della Linea e di ogni singolo suo componente.

Il Piano di Manutenzione sarà revisionato dai costruttori e dovrà essere dettagliato e suddiviso per ogni componente delle Linee, indicando la frequenza e le modalità degli interventi di manutenzione preventiva ed i materiali di scorta necessari. Tratterà inoltre le modalità di intervento a seguito di guasto, le procedure che verranno adottate per contenere il disservizio provocato dal guasto, l'organizzazione delle squadre di pronto intervento, le modalità di effettuazione delle corse sostitutive di superficie in caso di disservizio grave.

La sua redazione come i suoi aggiornamenti saranno fatti annualmente e/o secondo le necessità.

5.2.4 Impiantistica

Reti dl scarico delle acque bianche, nere e dl processo lavorativo

Il progetto prevede a realizzazione di distinte reti di scarico, rispettivamente per le acque meteoriche ("bianche"), le acque luride civili ("nere") e quelle di processo lavorativo.

Le acque meteoriche, provenienti dalla copertura dei diversi edifici, dai piazzali e dalle strade interne al

deposito, vengono dapprima raccolte in pozzetti d'ispezione per il prelievo di campioni da parte della ASL e da questi, mediante apposta rete, convogliate alla vasca di riserva idrica antincendio e/o in fognatura. È prevista un'adeguata volanizzazione al fine di rispettare il limite di portata di ingresso in fognatura concessa dalla normativa vigente, anche in occasione dei maggiori eventi meteorici.

All'interno degli edifici sono realizzate reti di scarico delle acque nere che, separate dalle reti di scarico delle acque meteoriche, confluiscono nelle dorsali di fognatura che si sviluppano all'interno del deposito.

Le acque industriali saranno convogliate all'impianto di depurazione sopra descritto.

Impianti antincendio

L'impianto antincendio ha origine dalla vasca di riserva idrica interrata, avente una capacità di circa 100 mc, appositamente prevista a fine di garantire una sorgente idrica di tipo superiore, come previsto dalla norma UNI 9490; in essa verranno posizionate elettropompe dedicate per l'alimentazione dell'impianto con manichette e dell'impianto antincendio sprinkler.

All'interno del capannone rimessa-officina e tornio in fossa è previsto un impianto sprinkler (a umido) con testine a bulbo sensibile a 680°c. Le colonnine per l'attacco delle manichette verranno distribuite in modo uniforme lungo il perimetro. Negli uffici e

Impianti idrici - sanitari

La distribuzione dell'acqua ad uso idrico-sanitario viene derivata dalla esistente rete cittadina, con partenza dalla cameretta di collegamento all'acquedotto. La rete esterna è interrata. Da tale tubazione si collegano idraulicamente i fabbricati, i quali sono dotati di pozzetto o cantinato per l'installazione di un rubinetto d'intercettazione.

Dalla rete idrico-sanitaria si diramano singole tubazioni in acciaio zincato per l'alimentazione degli apparecchi sanitari dei servizi igienici e di tutte e altre utenze idriche a servizio dei vari edifici.

Gli impianti devono assicurare l'alimentazione di acqua potabile fredda e calda per i servizi igienici, lavaggio pavimenti ed utenze varie

Impianti termici

Tutti i fabbricati utilizzano, come fonte principale di calore, l'acqua surriscaldata prodotta dalla centrale termica. Da quest'ultima l'acqua surriscaldata viene condotta in appositi locali posti all'interno di ciascun fabbricato, dove sono ubicate le sottocentrali

La centrale termica è costituita da due generatori di calore ad olio diatermico, alimentati a gas metano, ciascuno con proprio camino indipendente.

Nella zona Rimessa, le condizioni climatiche interne invernali sono garantite da aerotermi a parete, i quali mantengono la temperatura media interna di progetto pari a 15 °C.

Nella zona Uffici le condizioni climatiche interne ai locai sono per la stagione invernale di 20°C, per quella estiva di 26°.

Nell'Officina le condizioni climatiche interne invernali di progetto di 18°C, sono mantenute da un impianto con termostrisce radianti, aerotermi e piastre radianti. Tale soluzione nasce sia dalla tipologia strutturale dell'edificio stesso sia per le necessità impiantistiche (trazione elettrica), tenuto conto delle esigenze del personale di servizio. Le termostrisce sono collocate a soffitto. Sopra i portoni d'ingresso si prevedono lame d'aria per limitare i disperdimenti di calore. Nelle fosse di lavoro sono installati radiatori.

Nell'edificio Tornitura, l'impianto di riscaldamento è garantito da aerotermi con alimentazione derivata dal circuito idraulico della rimessa; questi garantiranno una temperatura media della zona di 18°C

La progettazione è stata sviluppata con l'obiettivo di realizzare la massima integrazione di tutte le componenti che costituiscono il sistema con particolare attenzione a:

- massima affidabilità e disponibilità degli impianti in relazione alla destinazione di utilizzo;

- economicità di gestione, da intendersi come ottimizzazione delle risorse disponibili inizialmente in rapporto ai costi di esercizio (energia, manutenzioni, personale per la gestione, ecc.) da sostenere negli anni futuri;
- utilizzo di fonti energetiche alternative;
- salvaguardia dell'ambiente;
- rispetto di norme, leggi e regolamenti vigenti.

Gli impianti dovranno quindi avere elevata affidabilità e disponibilità, o in altre parole bassa probabilità di guasto e, in caso di guasto, capacità di garantire comunque il mantenimento di condizioni minime di esercizio.

Nella valutazione delle soluzioni energeticamente più vantaggiose sono stati presi in considerazione, oltre ai parametri facilmente quantificabili, anche altri fattori di non facile valutazione economica ma di fondamentale importanza per la salvaguardia dell'ambiente. Le soluzioni adottate, che consentono di massimizzare lo sfruttamento dell'energia sono:

- utilizzo di apparecchiature ad elevato rendimento di trasformazione energetica;
- utilizzo di fluidi caldi a bassa temperatura con conseguenti basse dispersioni;

La salvaguardia dell'ambiente è un principio fondamentale della progettazione di impianti ad alto contenuto energetico.

Negli impianti oggetto del presente progetto sono utilizzati, per minimizzare l'impatto ambientale, macchine frigorifere utilizzanti gas frigorigeni compatibili con l'ozono atmosferico e ad alto rendimento termodinamico. Inoltre viene sempre garantito il rispetto delle norme vigenti in materia di controllo sull'inquinamento acustico e atmosferico.

Gli impianti sono stati progettati in ogni loro parte e nel loro insieme in conformità alle leggi, norme, prescrizioni, regolamentazioni e raccomandazioni emanate dagli enti, agenti in campo nazionale e locale, preposti dalla legge al controllo e alla sorveglianza della regolarità della loro progettazione ed esecuzione:

Gli impianti al Deposito saranno alimentati da apposita cabina di trasformazione MT/bt prevista nell'ambito della sottostazione elettrica.

Le alimentazioni elettriche all'interno del deposito saranno realizzate con posa interrata e in canalizzazioni a vista

Sarà realizzato un impianto aria compressa a servizio dell'officina di manutenzione e rimessaggio, alimentato da due compressori alternativi a due stadi muniti di impianto di raffreddamento ad aria. L'impianto di aria compressa per le macchine utensili richiede che l'aria fornita ai punti di utilizzo sia nelle migliori condizioni possibili, e cioè pulita, asciutta e con il minimo di perdita di pressione. L'aria introdotta nell'impianto utilizzatore sarà pertanto essiccata e filtrata mediante un refrigeratore ad acqua munito di relativo separatore e scaricatore di condensa, al refrigeratore sarà applicato un termoregolatore che ridurrà al minimo lo spreco di acqua e eviterà sotto-raffreddamenti dannosi al funzionamento

La zona adibita ad uffici sarà dotata di impianto di climatizzazione: allo scopo di realizzare un buon compromesso tra livello di qualità ambientale e costi.