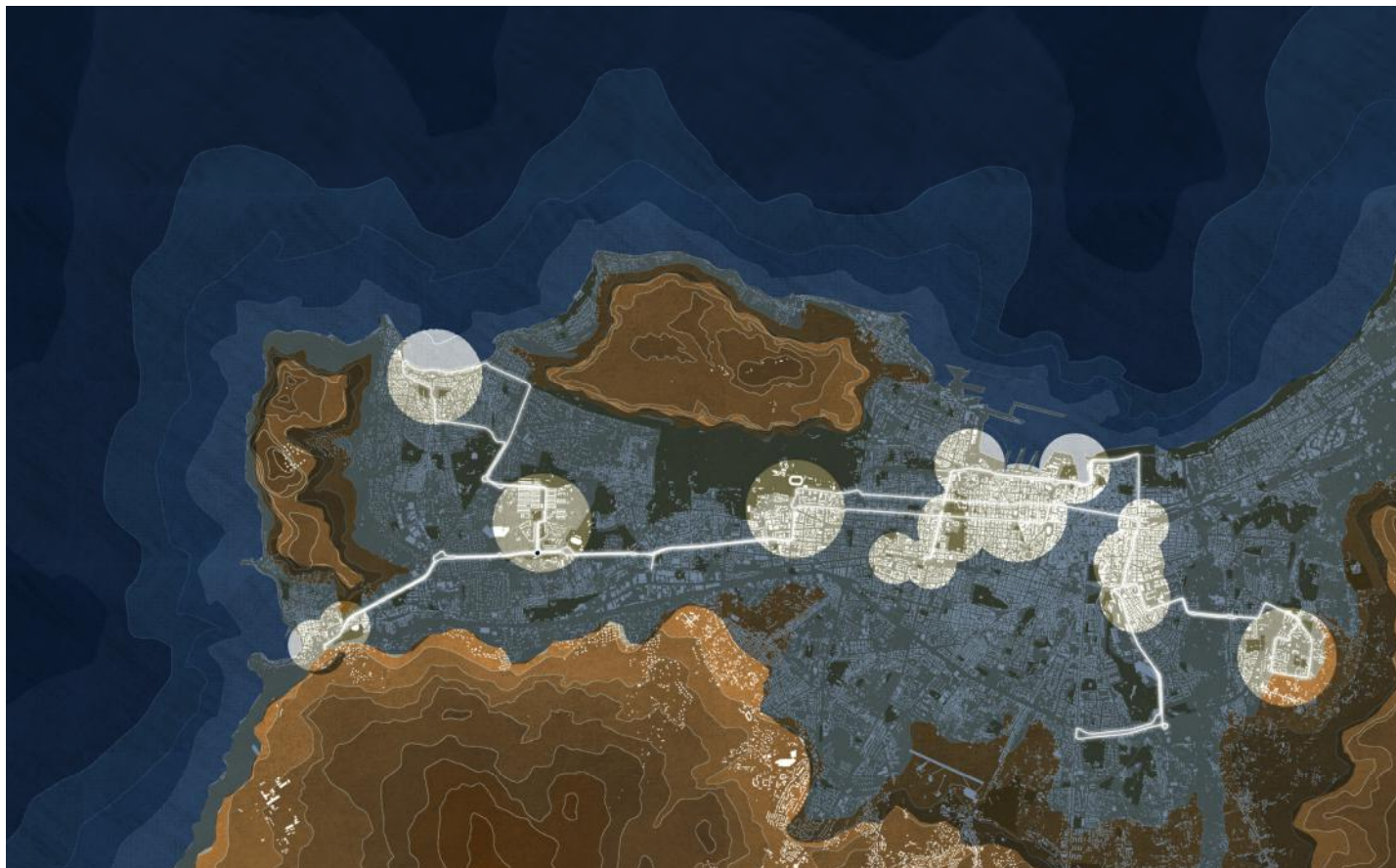




PALERMO ARCIPELAGO VERDE

IL TRAM E UNA NUOVA GEOGRAFIA DELLA CITTÀ

Concorso internazionale di progettazione, con procedura aperta, per la progettazione del "sistema tram Palermo - fase II" progetto generale e progetto 1° stralcio. Seconda fase di concorso.

RELAZIONI TECNICHE

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

R.2

INDICE

1.	INTRODUZIONE	3
2.	ASPETTI FUNZIONALI DEL TRACCIATO TRANVIARIO	4
2.1	CARATTERISTICHE PRESTAZIONALI	4
2.1.1	Raccordi planimetrici	4
2.1.2	Rettifili	4
2.1.3	Raccordi altimetrici	5
2.2	SCELTE DI TRACCIATO	5
2.2.1	Tratta A	6
2.2.2	Tratta B	6
2.2.3	Tratta C	7
2.2.4	Tratta D	7
2.2.5	Tratta E	8
2.2.6	Tratta F	9
2.2.7	Tratta G	9
2.3	STRATEGIE DI RIMESSAGGIO E DI MANUTENZIONE	10
3.	CONSIDERAZIONI TRASPORTISTICHE E RICADUTE SULLA CITTA' DELLA NUOVA INFRASTRUTTURA TRANVIARIA	11
3.1	RICONFIGURAZIONE DEL SISTEMA DI TRASPORTO PUBBLICO DI SUPERFICIE	11
3.2	LE FERME COME HUB INTERMODALI	12
3.3	PARCHEGGI SCAMBIATORI	14
4.	SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE	16
4.1	PRINCIPI GENERATORI DI SOLUZIONI D'INSERIMENTO URBANISTICO DELL'INFRASTRUTTURA TRANVIARIA NEL CONTESTO URBANO	16
4.2	IL PROTOCOLLO ENVISION PER LA CERTIFICAZIONE AMBIENTALE	19
4.3	CARATTERISTICHE TECNOLOGICHE, ARCHITETTONICHE E FUNZIONALI, ATTINENTI ALLE EMERGENZE INFRASTRUTTURALI	21
4.3.1	Ambito strutturale	21
4.3.2	Ambito funzionale	22
4.3.3	Ambito architettonico	23
4.3.4	Ambito tecnologico	25
4.3.5	Ambito ambientale	27

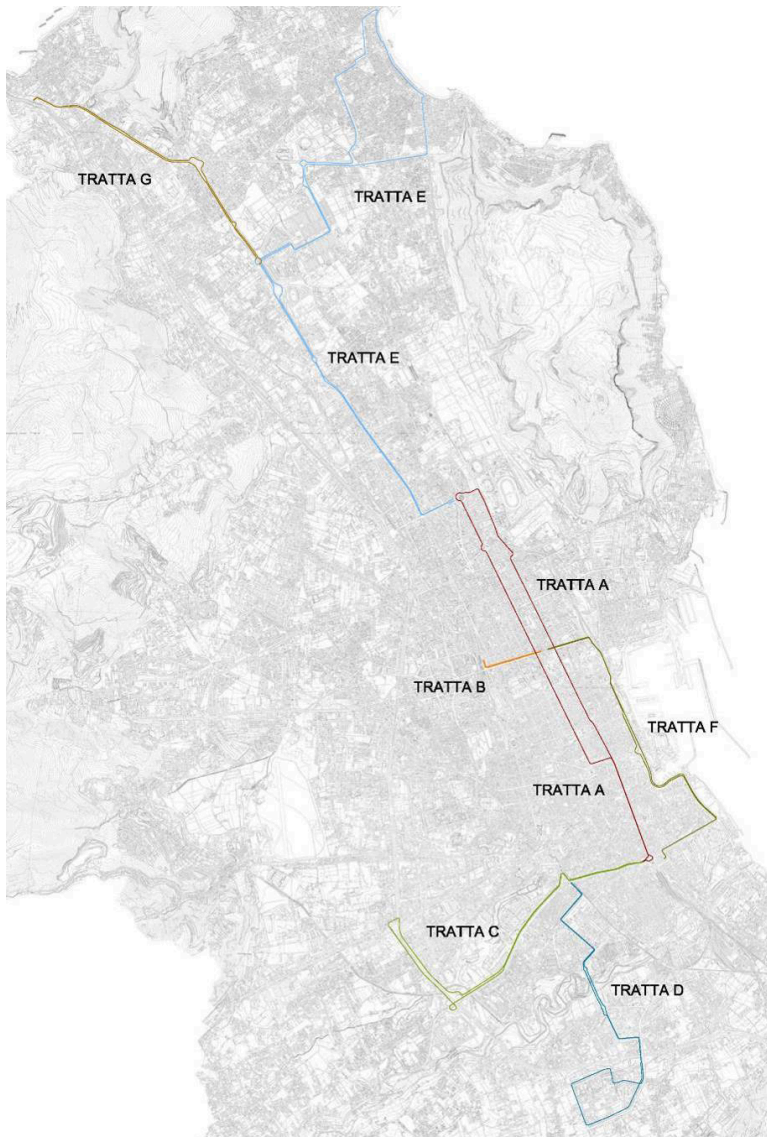
4.4	MINIMIZZAZIONE DELLE OPERE CIVILI NEL CENTRO URBANO/STORICO DELLA CITTÀ DI PALERMO	29
5.	RISPARMIO ED EFFICIENTAMENTO ENERGETICO/ECONOMICO	31
5.1	CONCEPT E STRATEGIA DEL MODELLO ENERGETICO	31
5.1.1	Ricorso a fonti rinnovabili	31
5.1.2	Riduzione del consumo diretto	32
5.1.3	Riduzione del consumo indiretto	34
5.2	IMPLEMENTAZIONE E GESTIONE INTELLIGENTE DEL SISTEMA SEMAFORICO A SERVIZIO DELLE LINEE	34
5.3	TECNOLOGIA DI EFFICIENTAMENTO ENERGETICO DEL MATERIALE ROTABILE	35
6.	ACCESSIBILITÀ E UTILIZZO	35
6.1	ACCESSIBILITA' DEL SUOLO	36
6.2	ACCESSIBILITA' FERMATE	36
6.2.1	Fermate inclusive e adattive	36
6.2.2	Differenti scenari di allestimento delle fermate	37
6.3	ACCESSIBILITA' E CONFORT DEL MATERIALE ROTABILE	39
7.	FACILITÀ ED ECONOMICITÀ DI GESTIONE	41
7.1	ADOZIONE DI UN SISTEMA/MODELLO BIM	41
7.1.1	Adozione di una Piattaforma comune e integrazione completa di tutti i sistemi	41
7.1.2	Ottimizzazione ed automazione dei processi progettuali	42
7.1.3	Aumento dell'affidabilità degli elaborati e del progetto complessivo	42
7.1.4	Maggiore Accessibilità, trasparenza e facilità di condivisione dei documenti progettuali	43
7.1.5	Supporto alla stazione appaltante nel processo di digitalizzazione	43
7.1.6	Cenni alle procedure attuative	44
7.2	MANUTENZIONE DEGLI IMPIANTI DI SISTEMA E DEGLI IMPIANTI DI TRAZIONE ED ALIMENTAZIONE	45
7.2.1	Manutenzione Preventiva	46
7.2.2	Manutenzione correttiva	47
7.2.3	Riduzione dei costi di manutenzione	47
8.	VALUTAZIONE DEL CICLO VITA DELLE OPERE	48
8.1	PROGETTO	49
8.2	ESERCIZIO	49
8.3	DISMISSIONE	50

1. INTRODUZIONE

La presente relazione tecnica descrive la soluzione del “**sistema tram**” proposto dal punto di vista funzionale ed organizzativo, illustrando i criteri di progetto finalizzati alla sostenibilità ambientale, al risparmio ed efficientamento energetico/economico, all'accessibilità/utilizzo dell'infrastruttura, alla facilità ed economicità di gestione delle soluzioni di progetto, nonché alla valutazione del ciclo di vita delle opere.

Di seguito si riporta uno schema planimetrico delle 7 tratte in progetto:

Figura 1: Planimetria dei tracciati tranviari in progetto



2. ASPETTI FUNZIONALI DEL TRACCIATO TRANVIARIO

2.1 CARATTERISTICHE PRESTAZIONALI

La progettazione di una rete tranviaria si prefigge l'obiettivo di consentire in modo ottimale il moto, inserendo l'infrastruttura nel territorio mediante una successione di elementi geometrici che ne definiscono il tracciato della stessa.

Quest'ultimo è costituito da rettifili e curve circolari, opportunamente raccordati mediante curve di transizione al fine di garantire una migliore iscrizione del veicolo in curva.

2.1.1 Raccordi planimetrici

Nel progetto della tranvia di Palermo si è adottata per le curve di transizione la *clotoide*, che si presta favorevolmente ad essere utilizzata in presenza di raggi ridotti come quelli tranviari.

La scelta dei raggi delle curve circolari in sede di concorso è stata condotta valutando puntualmente la situazione ottimale tenendo in conto sia che ampi raggi di curvatura contribuiscono ad abbattere i tempi di percorrenza e a limitare l'usura dei cerchioni e delle rotaie e sia che allo stesso tempo l'adozione sistematica di raggi minimi di valore elevato può irrigidire il tracciato, rendendo il costo di costruzione della rete tranviaria insostenibile e l'inserimento nel territorio problematico.

Nelle curve, dove il tracciamento lo consente, vanno utilizzati i seguenti parametri:

- valore massimo di accelerazione trasversale di 1 m/sec^2
- contraccollo, variazione dell'accelerazione nell'unità di tempo, impostato a 0.40 m/sec^3 .
- tempo di percorrenza della clotoide fissato a 2.5 secondi.

Lo sviluppo minimo della parte circolare è normalmente impostato con valori superiori a 12 m, per evitare che le turbative dinamiche prodotte al transito del raccordo d'ingresso alla curva non si assommino a quelle indotte dalla curva di transizione d'uscita, fornendo quindi un elevato standard qualitativo al comfort dei viaggiatori.

Tuttavia il giusto equilibrio tra le necessità di una tranvia veloce in un contesto urbano caratterizzato da strade strette ed incroci al limite dei 90 gradi, ha indotto ad adottare, solo nelle situazioni più difficili, un contraccollo maggiore, fino ad un massimo di $0,50 \text{ m/sec}^3$, che determina un tempo di percorrenza della curva clotoideale non inferiore ai 2 secondi e di abbassare il limite dello sviluppo circolare fino a 8 m.

2.1.2 Rettifili

La ricerca dei rettifili è prioritaria ovunque la geometria del tracciato lo permetta. Nei limiti del possibile, in corrispondenza delle fermate si è cercato di utilizzare sempre un rettifilo o comunque, in entrata e in uscita dalla banchina si è sempre previsto un rettifilo di almeno 7.50 m oltre la stessa.

2.1.3 Raccordi altimetrici

Il raccordo tra due livellette di differente pendenza, è stato eseguito mediante una curva parabolica di raggio R_v che, tenendo conto della velocità del convoglio e della differenza delle pendenze, comporti che:

- nessuna parte della cassa veicolo abbia contatti con la superficie di rotolamento;
- venga garantito il comfort nei confronti dell'accelerazione centrifuga verticale a_v che non deve superare il valore limite di 0.2 m/s^2 e di 0.315 m/s^2 in via eccezionale.

L'equazione del raccordo parabolico verticale è la seguente:

$$y = x^2/2R$$

L'accelerazione centrifuga verticale sul raccordo è:

$$a_v = V^2/R$$

essa si è rivolta verso il basso nei raccordi concavi, verso l'altro in quelli convessi, sommandosi alle forze gravitazionali. In ragione del valore limite dell'accelerazione pari a $0,2 \text{ m/s}^2$, si deduce un valore minimo di R_v pari a:

$$R > v^2/0,2 \text{ (v in m/s) ovvero } R > V^2/2,592 \text{ (V in km/h)}$$

La pendenza massima in linea ammissibile è posta pari al 8% con carico eccezionale ma nelle tratte in progetto non si presentano pendenze superiori al 5% a meno del cavalcavia autostradale esistente della Tratta D, in cui si presenta una pendenza del 7% circa.

La pendenza massima in stazione/fermata, nei binari di manovra e nei capolinea è uguale all'1%, al fine di evitare la deriva di un veicolo i cui freni non sono bloccati.

2.2 SCELTE DI TRACCIATO

Sulla base delle indicazioni/prescrizioni fornite dalla commissione di valutazione in Fase I del presente concorso, sono stati definiti geometricamente i 7 tracciati tranviari, distinti nelle tratte A, B, C, D, E, F e G, con le prime 3 tratte facenti parte del 1° stralcio funzionale dell'appalto.

Di seguito si riporta una tabella riassuntiva delle 7 tratte tranviarie in progetto:

Tratta	Sviluppo [km A/R]	Descrizione	N° Fermate /Terminal
A	11.21	Stazione Centrale/Piazza A. De Gasperi	26
B	1.65	Stazione Notarbartolo/Via Duca della Verdura	5
C	9.57	Stazione Centrale/Calatafimi	18
D	9.27	Stazione Orleans/Bonagia	16
E	20.40	Piazza A. De Gasperi /Mondello	31
F	8.40	Stazione Centrale/Via Duca della Verdura	21
G	7.70	Zen/Sferracavallo	18

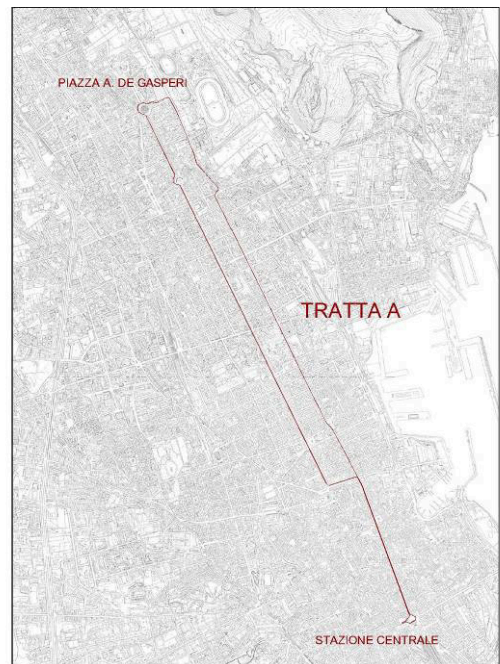
Ciascuna tratta, nel rispetto delle caratteristiche prestazionali su menzionate (raccordi, rettili, pendenze, ecc.), è stata studiata in dettaglio nel suo sviluppo planimetrico, tenendo in conto

dell'ottimale inserimento della stessa all'interno del contesto urbano, storico, paesaggistico e non per ultimo geometrico-funzionale. Infatti sulla base degli spazi disponibili, sia nei tratti correnti che nelle intersezioni, delle interferenze con opere infrastrutturali esistenti (incroci, rotatorie, restringimenti, parcheggi, aree a verde, accessi) e della fruizione del contesto circostante sono stati individuati i tracciati dei singoli binari, scegliendo di volta in volta il senso di marcia (bi/uni direzionale), il lato di percorrenza (sede tranviaria unica centrale, unica laterale, separata centrale, separata laterale), le manovre di scambio, i cambi di corsia, le nuove semaforizzazioni. Le fermate sono state disposte ad una distanza tra loro compresa tra 300÷500 m, ubicate in isolati che presentino lo spazio sufficiente ad ospitare le banchine, in relazione alla capacità delle stesse, e al link con il contesto territoriale presente (commerciale, storico, fruizione pubblica, turistico, ecc.). Di seguito si riassumono le scelte di tracciato condotte per ciascuna tratta.

2.2.1 Tratta A

La tratta A interessa le seguenti viabilità: Piazza Giulio Cesare (doppio binario) – Via Roma (doppio binario) – Via Puglisi Bertolino (unico binario direzione Nord) – Via Marchese di Villabianca (unico binario direzione Nord) – Via Marchese di Roccaforte (unico binario direzione Nord) – Piazza Leoni (unico binario direzione Nord) – Viale del Fante (unico binario direzione Nord) – Via Alcide De Gasperi (unico binario direzione Nord) – Viale Croce Rossa (unico binario direzione Sud) – Via Libertà (unico binario direzione Sud) – Via Ruggero Settimo (unico binario direzione Sud) – Via Cavour (unico binario direzione Sud).

Il tratto a doppio binario è stato previsto in affiancamento al lato dx (direzione nord) dell'attuale sede stradale lasciando quindi la viabilità veicolare a senso unico sulla parte rimanente della carreggiata. La disposizione laterale della sede tranviaria consente sia di evitare promiscuità di traffico che di poter garantire geometricamente ($R > 18$ m) la svolta su via Cavour del binario in sx, in un incrocio stretto a 90°. In tutto il resto del tracciato la sede tranviaria ad unico binario è stata disposta sempre lateralmente, con fermate sui marciapiedi in dx esistenti.



2.2.2 Tratta B

La tratta B interessa Via Notarbartolo e Via Duca della Verdura con doppio binario separato sui lati della carreggiata. Questa soluzione consente di lasciare il traffico veicolare al centro della sede stradale con corsie promiscue laterali e quindi la possibilità di eseguire tutte le attuali



manovre di svolta sulle numerose strade perpendicolari. I nuovi binari raggiungeranno poi il terminal della Stazione Notarbartolo, insistendo sulla stessa sede tranviaria della esistente linea tranviaria (Linea 4).

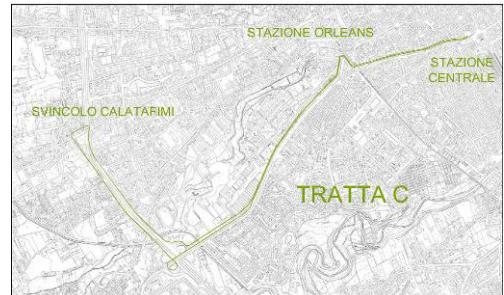
2.2.3 Tratta C

La tratta C interessa le seguenti viabilità: Viale Regione Siciliana (Calatafimi) – Via Ernesto Basile – Stazione Orleans – Corso Tukory – Piazza Giulio Cesare.

La tratta è un anello che collega la stazione centrale e la stazione Orleans con l'esistente Linea 4 (Svincolo Monreale/Calatafimi). Lungo Corso Tukory il tracciato prevede un doppio binario separato sui lati della carreggiata per poi riavvicinarsi al centro della viabilità esistente in corrispondenza di Corso Re Ruggero. Questa soluzione consente di lasciare il traffico veicolare al centro della sede stradale con corsie promiscue laterali e quindi la possibilità di eseguire tutte le attuali manovre di svolta sulle numerose strade perpendicolari.

Dalla Stazione Orleans lungo Via Basile fino all'altezza con il parcheggio Università le sedi tranviarie viaggiano al centro della doppia carreggiata separate dall'esistente aiuola spartitraffico. Le fermate saranno pertanto comuni per le 2 direzioni e disposte sulle aiuole centrali, ciò al fine di evitare la promiscuità del traffico e consentire un più rapido e sicuro attraversamento pedonale del viale.

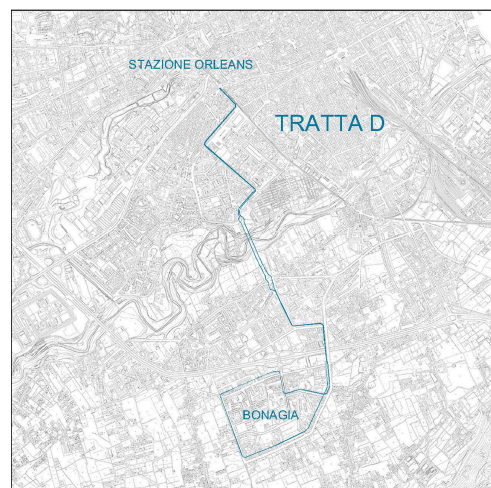
Successivamente, mediante una regolazione semaforica, le sedi tranviarie si separano ai lati della carreggiata per raggiungere Viale Regione Siciliana tramite le rampe di svincolo autostradale, per poi procedere lungo i margini esterni delle strade di servizio laterali dell'autostrada.



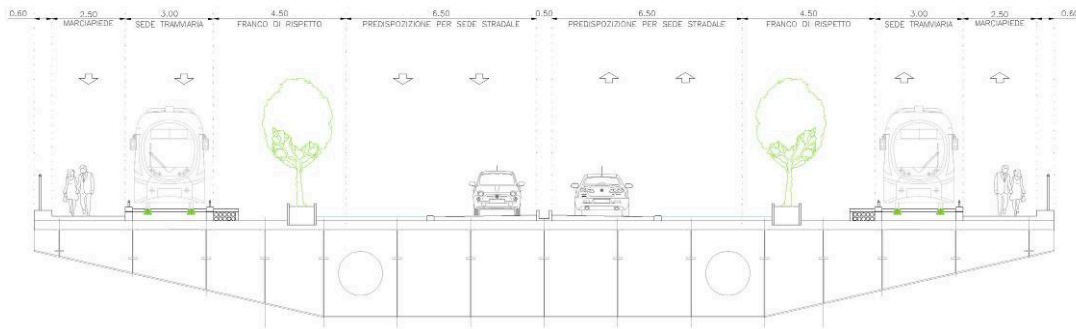
2.2.4 Tratta D

La tratta D interessa le seguenti viabilità: Stazione Orleans (doppio binario) – Via Lodato (doppio binario) – Via Lazzaro (doppio binario) – Via Tricomi (doppio binario) – Via Parlavecchio (doppio binario) – Attraversamento fiume Oreto (doppio binario) – Via Villagrazia (doppio binario) – Via San Filippo (doppio binario) – Via Carlo Perrier (doppio binario) – Via del Levriere (unico binario) – Via dell'Antilope (unico binario) – Via dell'Ermellino (unico binario) – Via del Bassotto (unico binario).

La tratta è un anello che collega la stazione Orleans con il quartiere periferico Bonagia; il tratto a doppio binario è stato previsto in affiancamento al lato dx (direzione sud) dell'attuale sede stradale lasciando quindi la viabilità veicolare a doppio senso di circolazione sulla parte rimanente della carreggiata. La disposizione laterale della



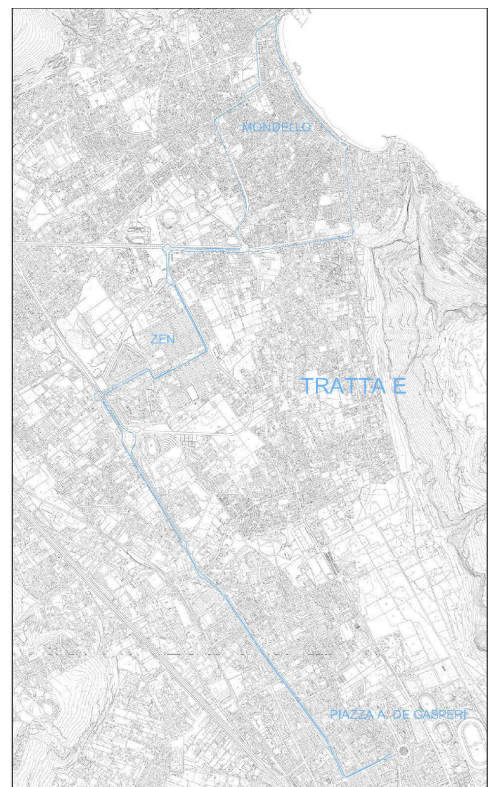
sede tranviaria consente sia di evitare promiscuità di traffico che di garantire geometricamente ($R > 18\text{ m}$) la svolta su via Tricomi, un incrocio stretto a 90° . Prima dell'attraversamento del fiume Oreto i binari si separano lateralmente in modo da presentare sul ponte una sezione trasversale con la seguente sequenza dall'interno verso l'esterno: auto-verde-tram-ciclabile-pedoni:



Tale scelta è stata perseguita al fine di dare maggior risalto all'aspetto visivo dei passeggeri del tram e per distanziare gli utenti deboli (pedoni e ciclisti) quanto più possibile dai mezzi più inquinanti quali le autovetture. Su via San Filippo poi i binari si riavvicinano al centro carreggiata fino alla loro separazione all'incrocio tra via Levriere e via del Bassotto, procedendo sempre lateralmente lato dx del senso di marcia. In questo modo, l'infrastruttura tranviaria delimita con la propria sede il quartiere Bonagia oggetto di rivalutazione urbana a partire dal presente appalto. In tutto il resto del tracciato la sede tranviaria ad unico binario è stata disposta sempre lateralmente, con fermate sui marciapiedi in dx esistenti.

2.2.5 Tratta E

La tratta E interessa le seguenti viabilità: Piazzale De Gasperi (doppio binario) – Via Alcide De Gasperi (doppio binario) – Viale Strasburgo (doppio binario) – Via S. Lorenzo (doppio binario) - Via Lanza di Scalea (doppio binario) – Via Luigi Einaudi (doppio binario) – Via Patti (doppio binario) – Via Senocrate di Agrigento (doppio binario) – Viale Sandro Pertini (doppio binario) – Viale dell'Olimpo (doppio binario) – Piazza Castelforte (doppio binario) - Viale Venere (unico binario) – Viale Margherita di Savoia (unico binario) – Viale Regina Elena (unico binario) – Via Mondello (unico binario) – Via Palinuro (unico binario) – Via Ascanio (unico binario) – Viale Galatea (unico binario) – Via Mattei (unico binario) – Piazza Castelforte (doppio binario). Il doppio binario è mantenuto separato ai lati della carreggiata centrale di via A. De Gasperi per poi portarsi lateralmente in sx (direzione nord)



su Viale Strasburgo; in questo modo si evita la promiscuità di traffico agevolando l'accessibilità all'infrastruttura del contesto residenziale/commerciale dell'area attraversata. Da via S. Lorenzo in poi invece le sedi tranviarie si separano ai margini della carreggiata al fine di poter attraversare le rotatorie presenti percorrendo l'anello giratorio come le autovetture senza quindi “tagliare” il traffico veicolare. Da Piazza Castelforte, il tracciato forma un anello che attraversa Mondello percorrendo la carreggiata lateralmente in dx ad unico binario evitando interferenze con il traffico veicolare esistente.

2.2.6 Tratta F

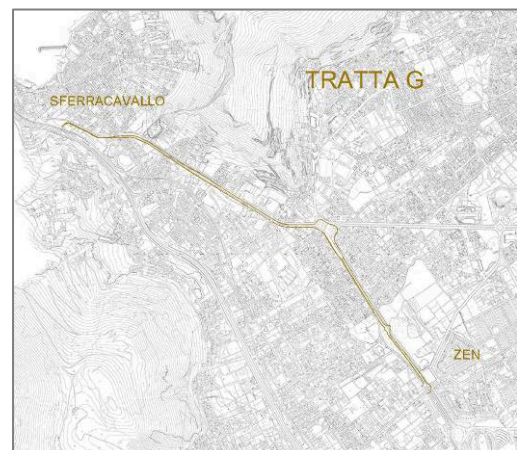
La tratta F interessa le seguenti viabilità: Via Balsamo – Via Lincoln – Foro Umberto I – Via Francesco Crispi – Via Duca della Verdura.

Il tratto di tranvia su via Lincoln è a binario unico con senso di marcia alternato fino all'incrocio con il Foro Umberto I; tale scelta, di circa 400 m di sviluppo, si è ritenuta opportuna in quanto via Lincoln presenta una carreggiata poco ampia ed attraversa una zona ricca di attività commerciali che richiedono parcheggi e soste temporanee di carico/scarico merci, che sarebbero quindi pregiudicate inserendo entrambi i binari tranviari. Lungo il Foro Umberto I i binari viaggiano al centro della doppia carreggiata separati dall'esistente aiuola spartitraffico. Le fermate saranno pertanto comuni per le 2 direzioni e disposte sulle aiuole centrali, ciò al fine di evitare la promiscuità del traffico e consentire un più rapido e sicuro attraversamento pedonale del viale. Superata “Porta Felice”, mediante un segnalamento semaforico, i binari si riportano all'esterno delle carreggiate per l'intera tratta al fine di poter attraversare le rotatorie esistenti percorrendo l'anello giratorio come le autovetture senza quindi “tagliare” il traffico veicolare ed agevolando l'accessibilità all'infrastruttura del contesto turistico/portuale dell'area attraversata.



2.2.7 Tratta G

La tratta G interessa le seguenti viabilità: Via Lanza di Scalea – Piazza Bolivar - Via Nicoletti – Via Sferracavallo – Via del Cedro – Via Palazzotto. Tutta la tratta si sviluppa con i binari disposti lateralmente alle carreggiate al fine di poter attraversare le rotatorie esistenti percorrendo l'anello giratorio come le autovetture senza quindi “tagliare” il traffico veicolare ed agevolando l'accessibilità all'infrastruttura del contesto residenziale dell'area attraversata. I binari si ricongiungono poi al centro della viabilità con sede promiscua lungo via del



Cedro e via Palazzotto in quanto tali strade presentano una esigua larghezza stradale.

2.3 STRATEGIE DI RIMESSAGGIO E DI MANUTENZIONE

Dalle analisi riportate nello studio di fattibilità si evince la necessità di prevedere la realizzazione di un nuovo deposito, da localizzare in adiacenza a viale Olimpo per far fronte all'aumento del parco rotabile necessario al corretto funzionamento di tutte le tratte.

In estrema sintesi, riportando dallo studio di fattibilità, il parco rotabile ad oggi operativo sulle tratte esistenti si compone di 17 convogli; prevedendo l'acquisto di almeno altre 11 vetture, il parco rotabile complessivo salirebbe a 28 vetture per le sole tratte esistenti.

La capienza massima in termini di convogli ricoverabili nei depositi esistenti è pari a 40, di cui 24 nel deposito Roccella e 16 nel deposito Leonardo da Vinci.

Pertanto l'accoglimento di queste vetture negli attuali depositi ridurrebbe la disponibilità residua di spazi a 12 vetture (40 – 28).

Questa dotazione è chiaramente insufficiente per accogliere il parco vetture aggiuntive (circa 50 vetture) stimato per l'ampliamento del sistema tranviario con le nuove 7 tratte.

Da cui la proposta avanzata nello Studio di Fattibilità, di realizzare un nuovo deposito, che chiameremo per brevità Olimpo, con capacità pari a circa 40 vetture.

In virtù dell'articolazione del piano di intervento previsto dall'amministrazione comunale con la programmazione di due stralci funzionali per la realizzazione di gruppi di tratte in sequenze temporali diverse, si rende tuttavia necessario uno studio più approfondito delle fasi transitorie.

Riassumendo, la strategia per il controllo, rimessaggio e manutenzione dei veicoli deve tenere conto dei seguenti vincoli:

1. durante la fase di esecuzione prioritaria delle tratte A,B e C non sarebbe possibile raggiungere il sito previsto per il nuovo deposito, lungo viale dell'Olimpo, a meno di non realizzare una lunga tratta di servizio esclusivamente dedicata al collegamento (Ipotesi molto dispendiosa e poco funzionale).
2. la postazione del sistema di controllo e supervisione dell'esercizio di tutte le tratte deve essere unica e centralizzata ed è attualmente collocata nel deposito Leonardo da Vinci.
3. da un'analisi del lotto "a pianta trapezoidale" allocato in prossimità del Viale dell'Olimpo, si evince che lo spazio disponibile (c.a. 20000mq) non è verosimilmente sufficiente ad accogliere un deposito funzionalmente completo per il rimessaggio e la manutenzione di 40 vetture.

Sulla base di tali vincoli si articola dunque la proposta seguente:

Durante l'esecuzione dello stralcio I, le tratte A, B e C verranno configurate come una naturale estensione della rete esistente mediante un opportuno sistema di scambi e brevissime tratte di servizio, permettendo il collegamento funzionale con i depositi esistenti. Il posto di Controllo sarà mantenuto nella sua sede attuale effettuando le migliorie richieste per la corretta integrazione ed il controllo delle nuove tratte.

Tutti i nuovi veicoli (11+4+8) saranno ricoverati e mantenuti nei depositi esistenti. Quando, durante il piano di espansione della flotta (+11), lo spazio disponibile non dovesse dimostrarsi

sufficiente, si dovrà prevedere, con dovuto anticipo, ad un'espansione dell'area di rimessaggio del deposito Roccella.

Lo spazio di rimessaggio in aggiunta dovrà essere in grado di alloggiare fino a circa 30 vetture (circa 4000mq) e potrebbe essere ottenuto mediante esproprio dell'area immediatamente a Sud-Est dell'area esistente, lungo via Chiaravelli.

Un'ulteriore verifica dovrà essere effettuata sull'ideoneità degli impianti esistenti (Officina, Strutture di Ispezione, Lavaggio) ad accogliere l'aumento della flotta.

Durante l'esecuzione dello stralcio II (tratte D,E,F,G) si procederà all'appalto e costruzione del deposito Olimpo, con capacità di rimessaggio di circa 22 vetture, come da elaborati progettuali, a servizio delle sole linee E,G (14+7 vetture).

Le vetture delle linee D e F (8+6), anche per ragioni di prossimità, faranno invece riferimento al deposito Roccella adeguatamente ampliato come sopra descritto.

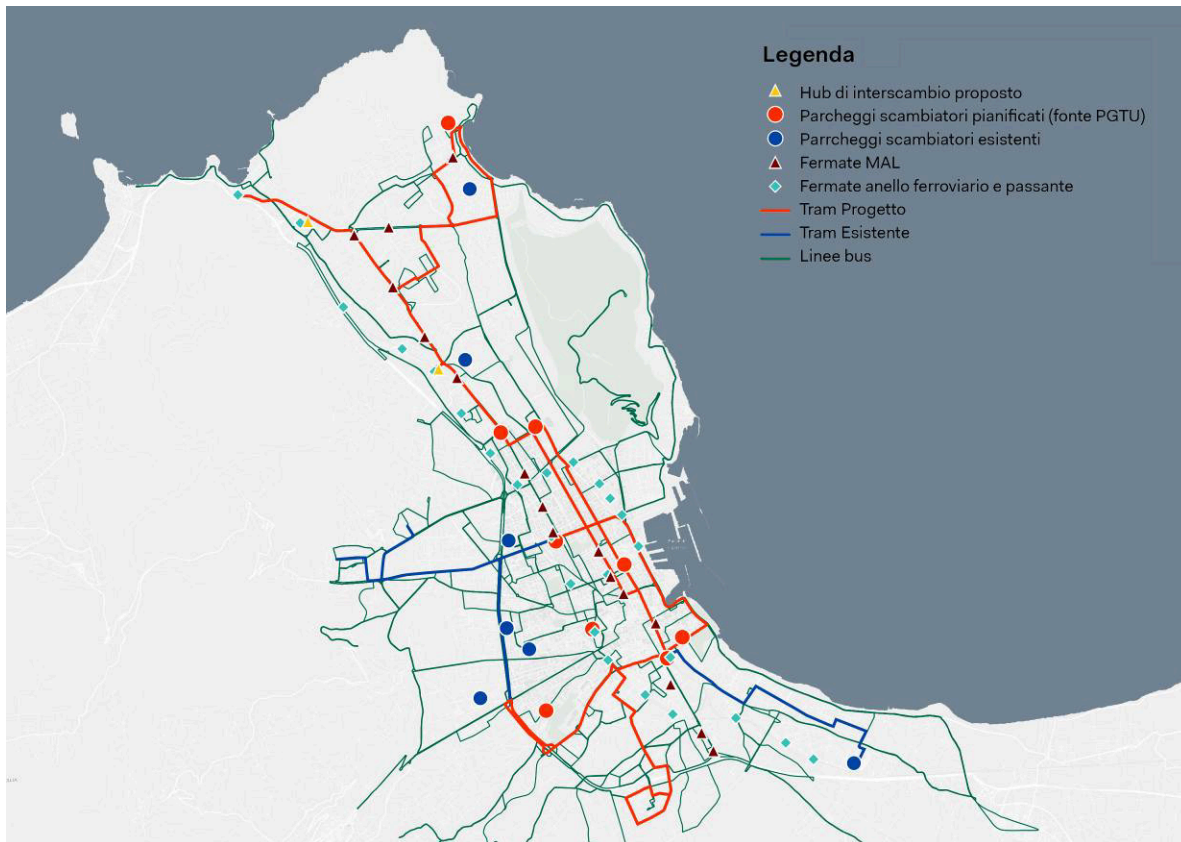
Il Posto di controllo potrà infine essere integralmente trasferito nel più moderno deposito Olimpo, una volta completato, con maggiori spazi disponibili per gli uffici e tecnologie verosimilmente più avanzate (al futuro stato dell'arte) mantenendo così la centralizzazione del controllo.

3. CONSIDERAZIONI TRASPORTISTICHE E RICADUTE SULLA CITTA' DELLA NUOVA INFRASTRUTTURA TRANVIARIA

3.1 RICONFIGURAZIONE DEL SISTEMA DI TRASPORTO PUBBLICO DI SUPERFICIE

Il sistema tranviario non deve essere letto come un elemento "concorrente" della rete urbana su gomma; all'opposto, entrambi i servizi sono perfettamente integrati per lavorare a sistema tra loro. L'inserimento di un nuovo elemento di offerta di trasporto pubblico, implica infatti la necessità di un'attenta analisi delle potenziali interferenze con le linee già presenti, finalizzata ad un processo di riorganizzazione complessiva del sistema di trasporto pubblico di superficie in modo da razionalizzarne il servizio. Lo scenario di progetto tiene conto inoltre della rivoluzione trasportistica generata dall'introduzione del servizio del passante ferroviario e dal relativo anello ferroviario che circonda il centro storico cittadino.

Figura 2: Mappa Rete di Trasporto Pubblico + Tram



Il sistema tranviario si inserisce come livello intermedio del sistema di mobilità cittadino, elemento di unione tra il sistema primario (passante ferroviario/anello ferroviario e metropolitana leggera) e quello costituito dalle linee bus. Il sistema tranviario avrà appunto un ruolo di messa a sistema tra il livello primario e quello più prettamente locale. L'introduzione del servizio tranviario dovrà quindi accompagnare un'importante riorganizzazione del servizio di trasporto di superficie su gomma strutturando linee "di quartiere" quindi con percorrenze circoscritte al quartiere e/o ad un ambito territoriale circoscritto che vanno a capolineare in corrispondenza di una fermata del servizio tranviario. Questo comporterà la rimodulazione dell'attuale offerta di trasporto andando a ridurre alcune percorrenze e andando così a servire contesti ora scoperti o con frequenze di passaggio limitate.

3.2 LE FERIMATE COME HUB INTERMODALI

Le fermate del nuovo servizio tranviario non sono pensate come mero elemento di supporto al servizio tranviario ma come veri e propri micro-hub di mobilità. Ogni fermata è infatti configurata come spazio in cui fornire diversi servizi di mobilità integrata, come servizi di bike sharing e altri servizi di mobilità condivisa, oltre a innovativi servizi di info-mobilità atti a comunicare, in tempo reale, informazioni su linee transittanti, tempi di attesa e eventuali modifiche / interruzioni del servizio. Una APP dedicata guiderà l'utente nell'utilizzo di tali sistemi capace di integrare sistemi di mobilità ordinaria e quelli di mobilità condivisa (car-sharing e bike sharing), offrire informazioni

riguardanti lo stato del servizio di trasporto e identificare le opzioni di percorso migliore grazie ad una completa integrazione. L'obiettivo è quello di strutturare una piattaforma unica capace di integrare tutta l'offerta di trasporto pubblico (seppur in capo a enti gestori differente), in modo da offrire all'utente la possibilità di usare qualunque mezzo possibile per raggiungere una destinazione determinata, secondo il concetto di Mobility as a Service, così da rendere più appetibile il servizio su tutto il territorio comunale e oltre.

Le mappature seguenti evidenziano che, qualora le singole fermate delle nuove linee tranviarie offrissero un servizio integrato di micromobilità, il territorio direttamente servito da servizi di mobilità andrebbe a raddoppiarsi in termini di estensione.

Figura 3: Analisi Isocrona pedonale (15 min a piedi)

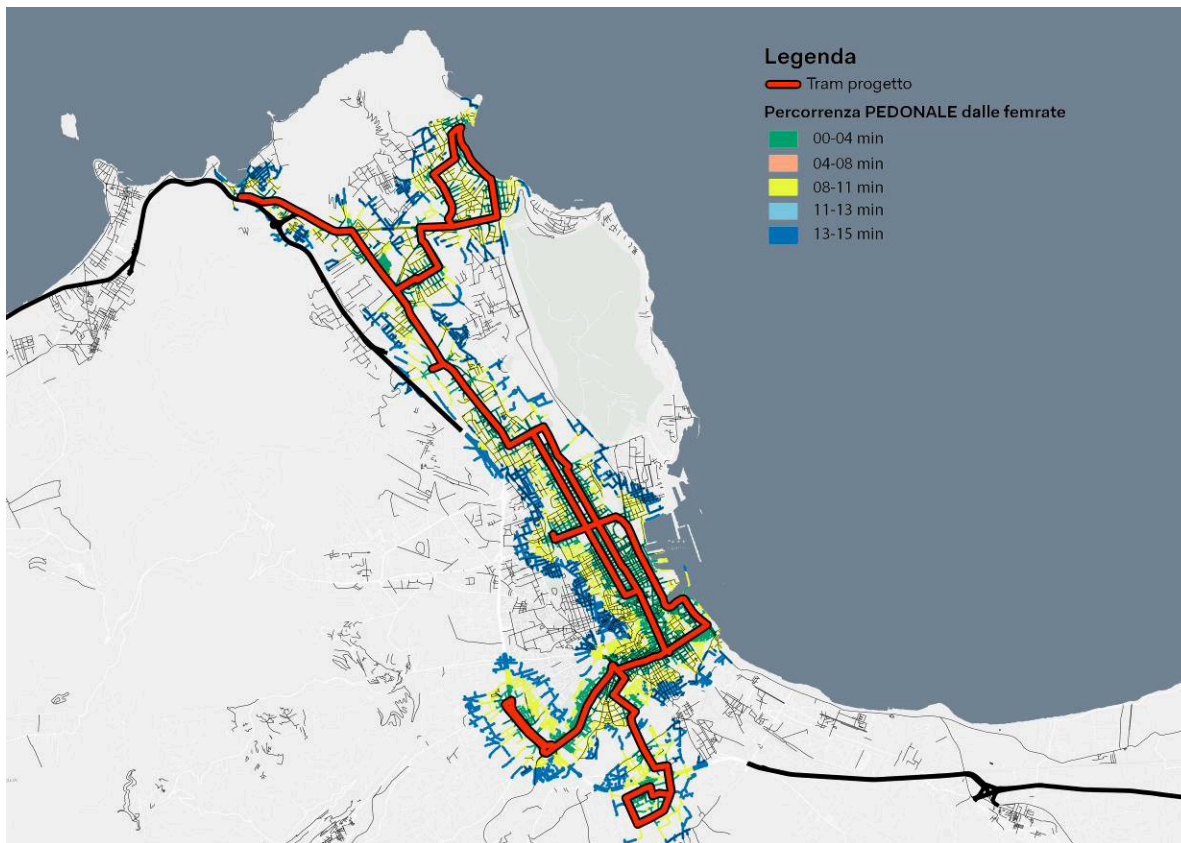
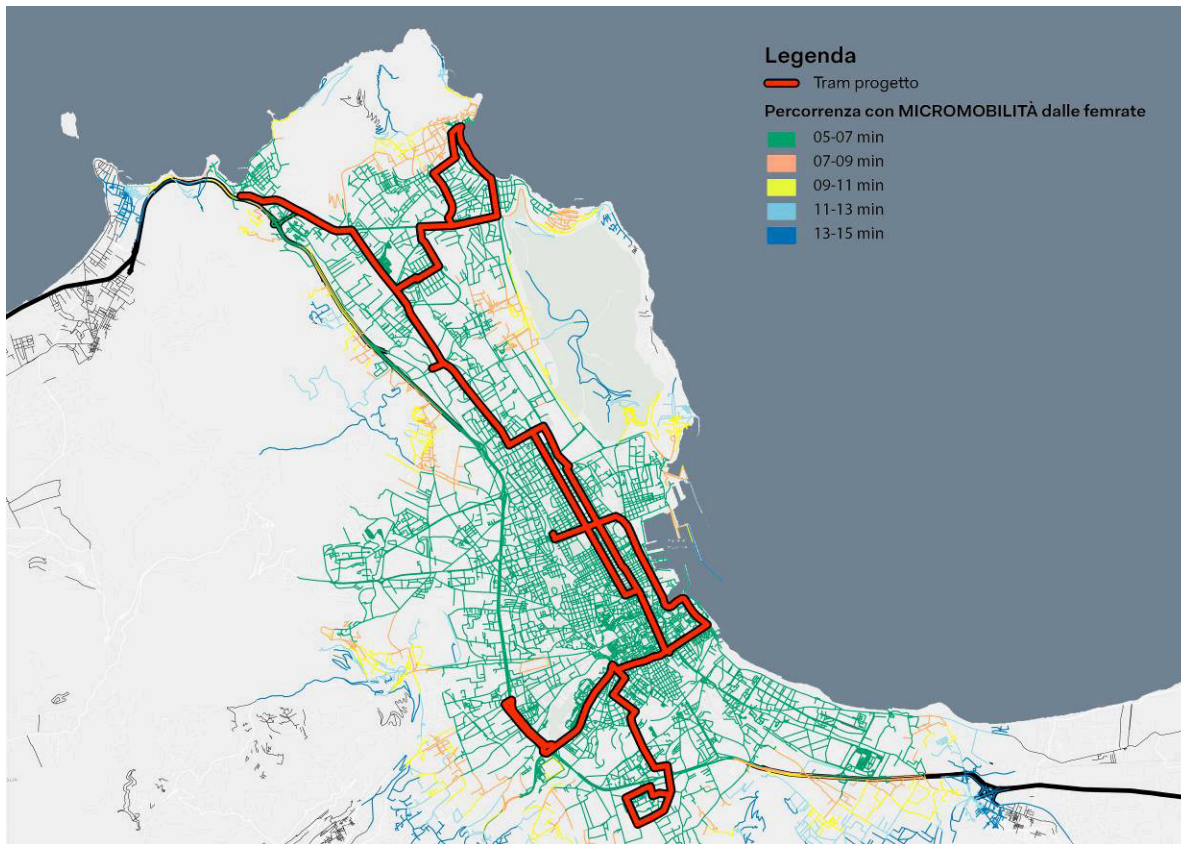


Figura 4: Analisi Isocrona Micromobilità



3.3 PARCHEGGI SCAMBIATORI

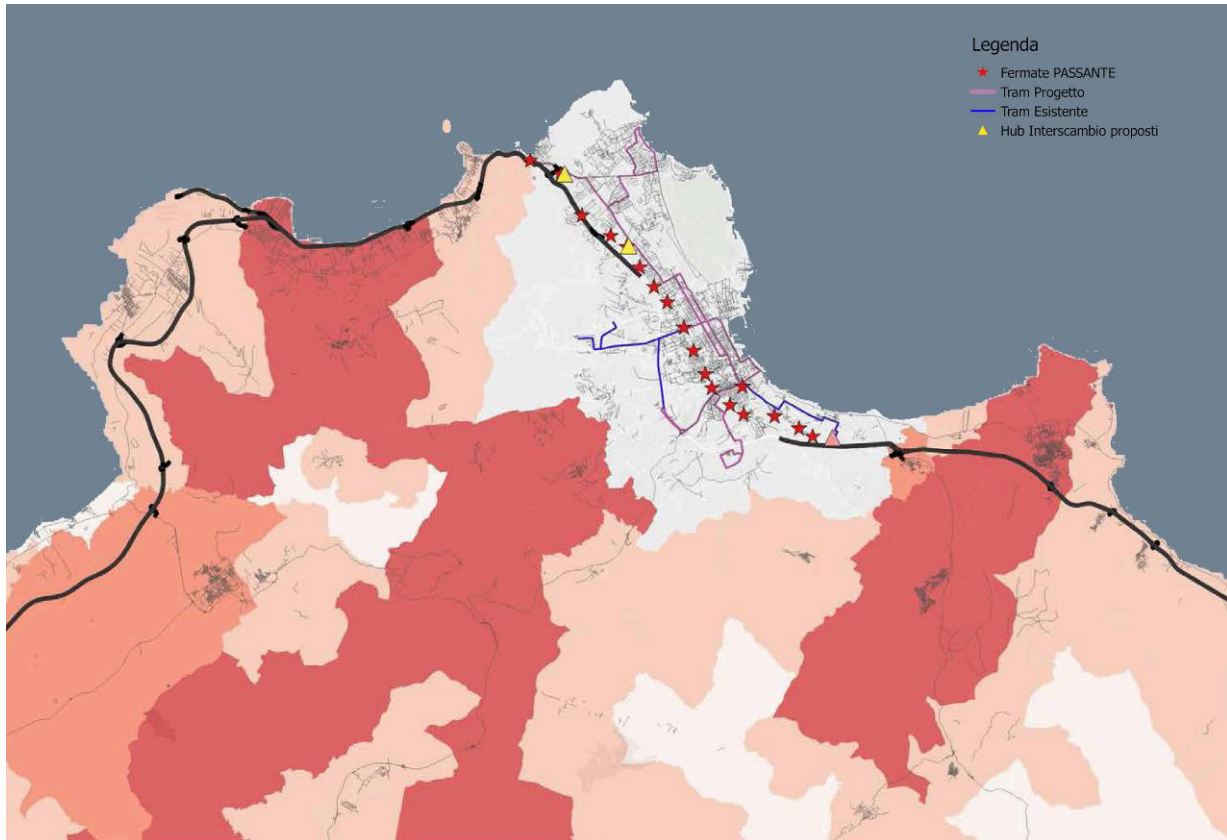
Una cospicua porzione dei residenti dei poli urbani di secondo ordine che quotidianamente gravitano sulla città di Palermo si reca in città utilizzando l'auto privata come mezzo prevalente (circa l'80% degli spostamenti interni alla città avviene con l'auto privata, quota che si incrementa per i pendolarismi fuori dall'ambito urbano). Bagheria, Monreale e Carini sono i Comuni di prima fascia che registrano i flussi più importanti a cui seguono Villabate, Misilmeri, Ficcarazzi, Capaci e Ciaculli e, infine, altre realtà locali minori.

L'assetto tranviario di progetto attraversa l'intero tessuto urbano, dagli ambiti periferici ai quartieri più centrali della città. Proprio in corrispondenza delle porzioni urbane più periferiche, la rete tranviaria vede l'opportunità di strutturare parcheggi scambiatori, opportunamente localizzati e capaci quindi di catturare quote del traffico privato diretto in Città favorendo ulteriormente l'interscambio modale gomma-ferro.

La definizione e il posizionamento degli hub di sosta è legata alla domanda di pendolarismo che quotidianamente si sviluppa dai paesi limitrofi verso la città di Palermo. La mappa sottostante evidenzia la quota di scambio che si genera tra i singoli paesi, gravitanti attorno a Palermo, e la città stessa: i colori più caldi indicano gli ambiti territoriali caratterizzati da un maggior livello di mobilità di relazione con Palermo per motivi di lavoro e di studio. I valori più elevati di

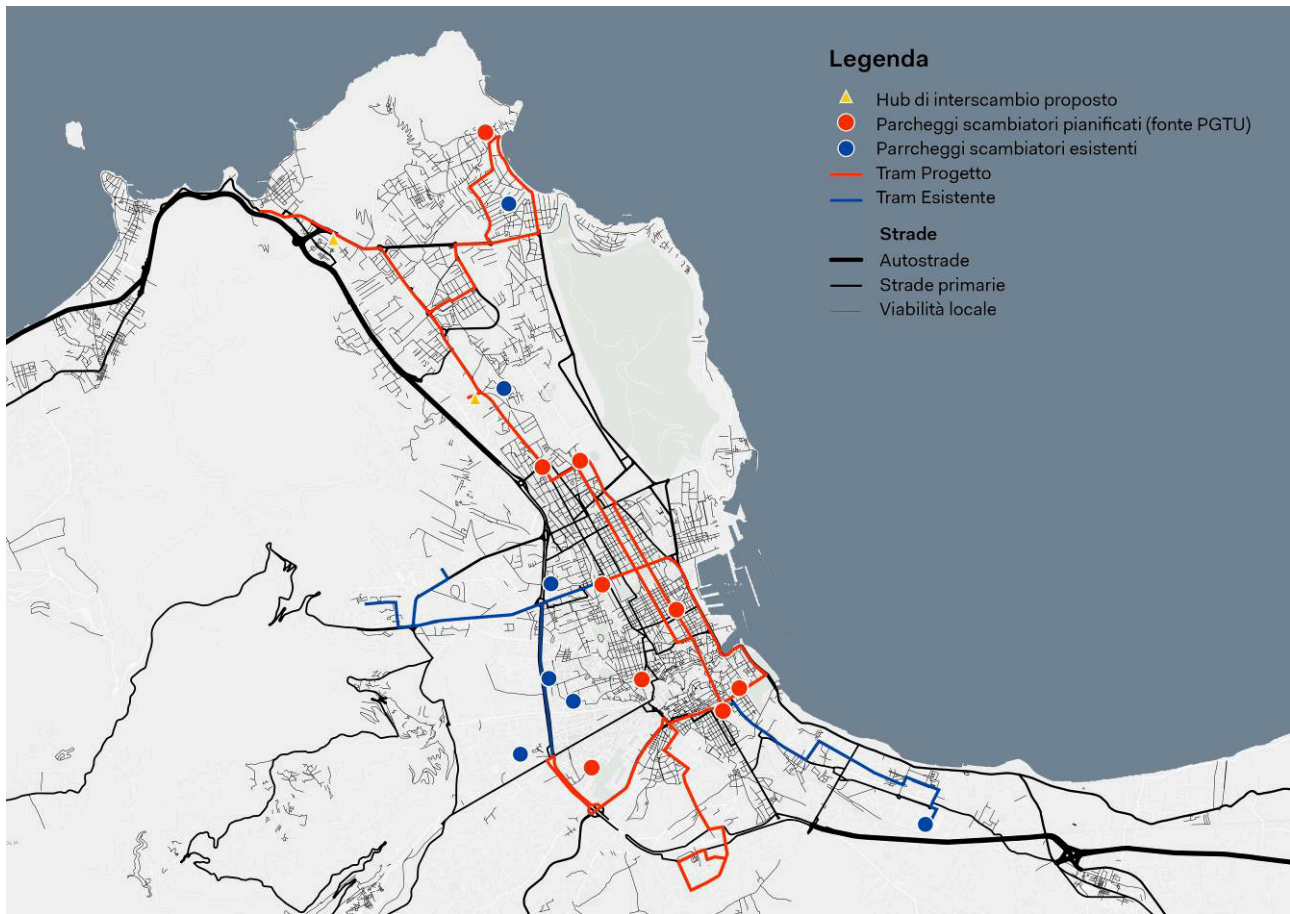
pendolarismo si attestano proprio lungo l'asse autostradale sia verso nord che verso sud, unitamente ad un cospicuo contributo da est.

Figura 5: Analisi pendolarismo



A sud è già presente un parcheggio scambiatore nei pressi della fermata Roccella (Passante Ferroviario e tram); la proposta di progetto si pone l'obiettivo di identificare almeno altri due poli di interscambio per intercettare le provenienze da nord, ipotizzando la introduzione di due nuove strutture all'altezza di Serracavallo (in corrispondenza della fermata del passante Tommaso Natale e del tram) e nell'ambito del distretto commerciale "Palermo Nuova Città", in corrispondenza della fermata del Passante Ferroviario San Lorenzo Colli. Questi nuovi hub assolvono alla duplice funzione di nodi di interscambio modale con i servizi del nuovo Passante Ferroviario e il sistema tranviario e, essendo direttamente connessi al sistema primario di circolazione del Viale delle Regioni, al fine di catturare traffico privato diretto in città e garantire un luogo di sosta dei veicoli strutturato e direttamente connesso al sistema del trasporto pubblico primario.

Figura 6: Parcheggi scambiatori



4. SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE

4.1 PRINCIPI GENERATORI DI SOLUZIONI D'INSERIMENTO

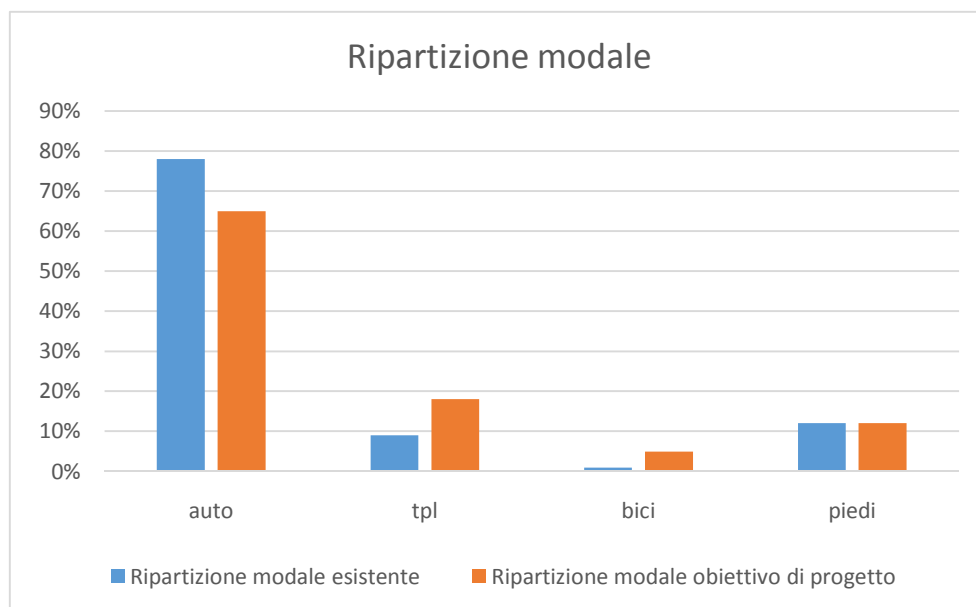
URBANISTICO DELL'INFRASTRUTTURA TRANVIARIA NEL CONTESTO URBANO

Mediamente, i sistemi tramviari emettono quattro volte in meno CO₂ per passeggero/km rispetto ad un servizio esercito da autobus tradizionali e quasi dieci volte in meno rispetto all'auto privata. I tram possono ripristinare il dinamismo di una città introducendo un sistema di trasporto sostenibile e offrire all'utente un servizio migliore e più efficiente.

L'obiettivo preposto dal progetto è quello di ridurre almeno del 17-18% l'uso dell'auto privata per gli spostamenti quotidiani, privilegiando l'uso combinato del mezzo pubblico con la mobilità dolce (piedi + bici). Questo permetterebbe di ridurre di almeno 10.000 veicoli al giorno i mezzi circolanti in città, collocando la città di Palermo fra le città italiane di analoghe dimensioni e popolazione, che hanno saputo intraprendere virtuosi orientamenti nella gestione della mobilità.

Si riporta a seguire una stima delle performance ambientali all'interno di un confronto diretto fra lo scenario di progetto e la condizione attuale, nell'ipotesi di mantenere stabile l'attuale configurazione demografica (scenario con domanda di mobilità invariata). I dati di mobilità utilizzati

per la analisi quantitative derivano sia dal Piano Urbano del Traffico di Palermo, adottato con deliberazione n.365 del 29/10/2013, sia dai dati rilevati dall'osservatorio PUMS del 2015.



	<i>Dati al 2015</i>		<i>Obiettivo scenario di progetto</i>		<i>Differenza</i>	
Auto	78%	220045	63%	177729	-52316	-19%
Trasporto pubblico	9%	25390	18%	50780	25390	100%
Bici	1%	2821	4%	11284	8463	300%
Piedi	12%	33853	15%	42316	8463	25%

In funzione di quanto riportato nel Piano Urbano del Traffico di Palermo vengono identificate le esigenze di mobilità e la lunghezza degli spostamenti quotidiani di un utente medio.

Lunghezza media spostamenti (da Modello Comunale Palermo - dati 2007)

Lunghezza	%	Lunghezza media spostamento	
< 2.5	19%	1,25	0,2375
2.5 - 5	29%	3,75	1,0875
5 - 7.5	20%	6,25	1,25

7.5 - 10	14%	8,75	1,225
10 - 12.5	10%	11,25	1,125
12.5 - 15	4%	13,75	0,55
15 - 20	3%	17,5	0,525
> 20	2%	30	0,6
<i>Distanza Media Spostamento in Auto (in km)</i>			6,6

La riduzione dell'uso quotidiano dell'auto in funzione delle stime di previsione sviluppare porta ad un beneficio in termini ambientali quantificato nella tabella successiva.

In particolare si sottolinea una riduzione pari a quasi 45.000 kg di CO₂ in atmosfera e 2 Tonnellate/anno di PM₁₀, andando a far risparmiare alla collettività in termini di costi circa 1,8 Milioni di euro / anno.

	<i>Stato di Fatto</i>	<i>Scenario di Progetto</i>	<i>Variazione</i>
<i>Spostamenti Giornalieri in Auto</i>	220.045	177.729	-42.316
<i>Distanza Giornaliera Percorsa</i>	1.452.297	1.173.009	-279.288
<i>NOx emessi [Kg/giorno]</i>	618	499	-119
<i>NOx emessi [t/anno]</i>	173	140	-33
<i>Costo Collettività [€/anno]</i>	706.203	570.395	-135.808
<i>CO2 emessa [Kg/giorno]</i>	236.847	191.300	-45.548
<i>CO2 emessa [t/anno]</i>	66.317	53.564	-12.753
<i>Costo Collettività [€/anno]</i>	7.951.440	6.422.317	-1.529.123
<i>PM10 emessi [Kg/giorno]</i>	43	35	-8
<i>PM10 emessi [t/anno]</i>	12	10	-2
<i>Costo Collettività [€/anno]</i>	107.723	87.007	-20.716
<i>PM2.5 emessi [Kg/giorno]</i>	34	27	-7
<i>PM2.5 emessi [t/anno]</i>	9	8	-2
<i>Costo Collettività [€/anno]</i>	859.561	694.261	-165.300

Totale Costo Collettività [€/anno]	9.624.926	7.773.979	-1.850.947

4.2 IL PROTOCOLLO ENVISION PER LA CERTIFICAZIONE AMBIENTALE

Al fine di sottolineare la grande vocazione all'innovazione ed alla sostenibilità ambientale, il progetto si propone ambiziosamente di farsi promotore del cambiamento culturale all'approccio progettuale delle infrastrutture, candidandosi all'ottenimento del **protocollo Envision**.

Il cambiamento di approccio alle costruzioni è già stato avviato da tempo anche se fatica ancora a trovare applicazione estensiva in Italia. La riduzione delle risorse, economiche e naturali, ha portato negli ultimi anni a ripensare il patrimonio edilizio ed infrastrutturale dell'uomo in tutto il mondo. Questa trasformazione si deve tradurre in un diverso modo di progettare le città e i singoli territori, guardando non solo all'estetica, alla durabilità e alla sicurezza, ma anche all'impatto con l'ambiente e con le comunità che lo popolano.

Il protocollo Envision si propone come primo strumento al mondo di certificazione ambientale e valutazione indipendente in grado di supportare imprese, progettisti, amministrazioni pubbliche e cittadini nella progettazione di infrastrutture.

Envision è ancora agli albori della sua storia in Italia, ma è già ben conosciuto in Nord America dove è nato dalla collaborazione tra ISI, Institute for Sustainable Infrastructure (Organizzazione non profit con sede a Washington) e lo Zofnass Program for Sustainable Infrastructure presso la Graduate School of Design alla Harvard University.

Guardando in modo olistico allo sviluppo di strade e ferrovie, acquedotti e altre infrastrutture, Envision si presenta come complementare al più noto protocollo LEED, diventato oramai da anni sinonimo di garanzia per gli edifici sostenibili.

Il principio del protocollo è quello di conferire all'intervento un riconoscimento ufficiale ed una valutazione ove possibile quantitativa dell'applicazione di principi di sostenibilità da parte di un organismo indipendente di terza parte.

Partendo da una checklist e da una scorecard di autovalutazione l'organismo certificatore valuta il livello di achievement raggiunto dal progetto. Il protocollo è articolato in 60 criteri di sostenibilità, suddivisi in 5 categorie volte a valutare:

- la convenienza del progetto in generale e la misura in cui questo influenza positivamente le comunità interessate (**Quality of Life**);
- l'impegno del team di progetto a coinvolgere gli attori attivi sul territorio nel processo progettuale così come recentemente introdotto dal nuovo Codice dei LL.PP attraverso la pratica del Dibattito Pubblico – Dlgs 50/2016 (**Leadership**);
- la riduzione e l'efficientamento dell'uso delle risorse, dell'energia e dell'acqua (**Resource Allocation**);

- la riduzione dell'impronta ecologica e dell'impatto dell'intervento sull'ambiente circostante (**Natural World**);
- la mitigazione del riscaldamento globale, la riduzione dell'inquinamento dell'aria e della vulnerabilità dell'infrastruttura nel breve e nel lungo periodo (**Climate and Risk**).

Il potenziamento della linea tranviaria di Palermo con la costruzione delle 7 nuove tratte, caratterizzata da una componente infrastrutturale inserita all'interno di un contesto urbano sensibile, si presta in maniera ottimale all'essere valutato dal punto di vista dei suoi impatti sul territorio.

A tal proposito, tutte le filosofie messe in campo nel progetto proposto, in termini di salvaguardia dei suoli, di riduzione dell'inquinamento dell'aria e dell'acqua, di aumento del benessere e del coinvolgimento della popolazione, di impatto positivo sul contesto in generale, risultano in perfetta sintonia con quelle poste alla base del protocollo, e potrebbero quindi consentire il riconoscimento di un alto livello di achievement.

Tutto ciò si tradurrebbe in una chiara ed indipendente garanzia prestazionale con positive ricadute di immagine sul progetto stesso.

Inoltre le esperienze positive registrate negli Stati Uniti dimostrano che grazie al protocollo Envision è possibile ridurre notevolmente i pretesti che di solito vengono addotti per osteggiare la realizzazione di un'infrastruttura, in quanto è prevista una condivisione con la comunità locale sin dall'inizio del suo concepimento, così come nello sviluppo progettuale dell'infrastruttura. Tutto questo si iscrive perfettamente nella filosofia del Débat Publique portata avanti con lodevole intento dal comune di Palermo nel 2016 e che vedrà altri momenti di approfondimento nei prossimi mesi del 2018 su questo tema.

La filosofia del sistema Envision, infine si traduce nella garanzia dei tempi decisionali e realizzativi, nella definizione dei fattori fondamentali per attrarre capitali privati e per rendere redditizi gli investimenti pubblici.

*Concludendo, nel panorama del green building, Envision è sicuramente uno strumento innovativo che si propone di trasformare, in maniera graduale, l'ecosistema culturale, decisionale ed economico che sostiene lo sviluppo delle infrastrutture. Un progetto articolato come la realizzazione delle nuove 7 tratte tranviarie a Palermo si configurerebbe come un importante banco di prova e troverebbe il supporto concreto dei promotori di Envision, candidandosi come grande opportunità per formare un ampio numero di professionisti (**Envision Sustainability Professional o Envision SP**) in grado di condurre progettisti e investitori lungo il percorso previsto dal protocollo con grandi benefici per tutti i soggetti coinvolti.*

4.3 CARATTERISTICHE TECNOLOGICHE, ARCHITETTONICHE E FUNZIONALI, ATTINENTI ALLE EMERGENZE INFRASTRUTTURALI

L'inserimento dell'infrastruttura tranviaria in concorso, come è normale aspettarsi, crea significative interazioni/impatti sull'ambiente urbano sia con riguardo alle componenti architettonico-funzionali che a quelle tecnologico-strutturali, determinando per ciascuna delle tratte in progetto una profonda trasformazione dell'uso e della percezione degli spazi urbani, della qualità di vita, della sicurezza.

Proprio per tale importante segno che la nuova infrastruttura deve lasciare sulla Palermo del futuro, *la realizzazione del sistema tranviario deve rappresentare l'occasione oltre che per rigenerare/riqualificare/valorizzare i contesti urbani attraversati mediante "interventi di riqualificazione urbana sostenibile", anche per risolvere le emergenze infrastrutturali che la città presenta.*

La realizzazione della nuova infrastruttura incontra interferenze con opere d'arte, sottoservizi, strutture correnti, infrastrutture stradali, che potranno e dovranno essere oggetto di adeguamento/risanamento/rinforzo al fine di migliorare i livelli di servizio e sicurezza della città, di minimizzare gli oneri di manutenzione delle opere, di aumentare il ciclo di vita delle stesse.

Di seguito si affrontano più in dettaglio gli aspetti che la nuova infrastruttura proposta affronta per la risoluzione delle emergenze infrastrutturali.

4.3.1 Ambito strutturale

Da sopralluoghi in sito, da dati bibliografici di archivio, da considerazioni riportate in sede di Studio di Fattibilità relativamente ad ispezioni condotte anche dall'Ufficio comunale di protezione civile sulle strutture esistenti interessate dalle tratte tranviarie in progetto, *si evidenziano diffuse situazioni di degrado delle parti in c.a. determinate dall'elevato grado di ossidazione delle armature metalliche con conseguenti gravi espulsioni del cls di ricoprimento e perdita potenziale della capacità portante delle strutture.* Ciò in particolare si evince nelle opere di attraversamento idraulico e stradale, quali ponti, tombini, strutture scatolari di varia destinazione, muri, sottoservizi, condotte, ecc.

Pertanto la progettazione della nuova infrastruttura tranviaria deve *rappresentare l'occasione per prevedere interventi di consolidamento e/o, per situazione estreme, di ricostruzione delle opere con importanti fenomeni di ammaloramento, anche alla luce dei nuovi carichi che le stesse dovranno rispondere a sostenere con il sistema tranviario.*

Al fine di avere un quadro completo delle strutture interessate ai tracciati tranviari in progetto, si procederà dapprima ad un lavoro preliminare di definizione della situazione attuale (impalcati, fondazioni, solette, muri, sotto e sopra servizi, impianti) attraverso una attività integrata di esame della cartografia, di ricognizioni in sito, di contatto e di acquisizione di informazioni presso i relativi Enti.

Individuati i casi critici, si svilupperà un processo di conoscenza e qualificazione delle strutture esistenti, che deve avvalersi dapprima di un rilievo geometrico, una mappatura dei materiali e degli

elementi costruttivi e un'analisi dei quadri fessurativi; successivamente si pianificheranno le "indagini di diagnostica" ed infine si provvederà alla progettazione degli interventi di risoluzione delle emergenze strutturali.

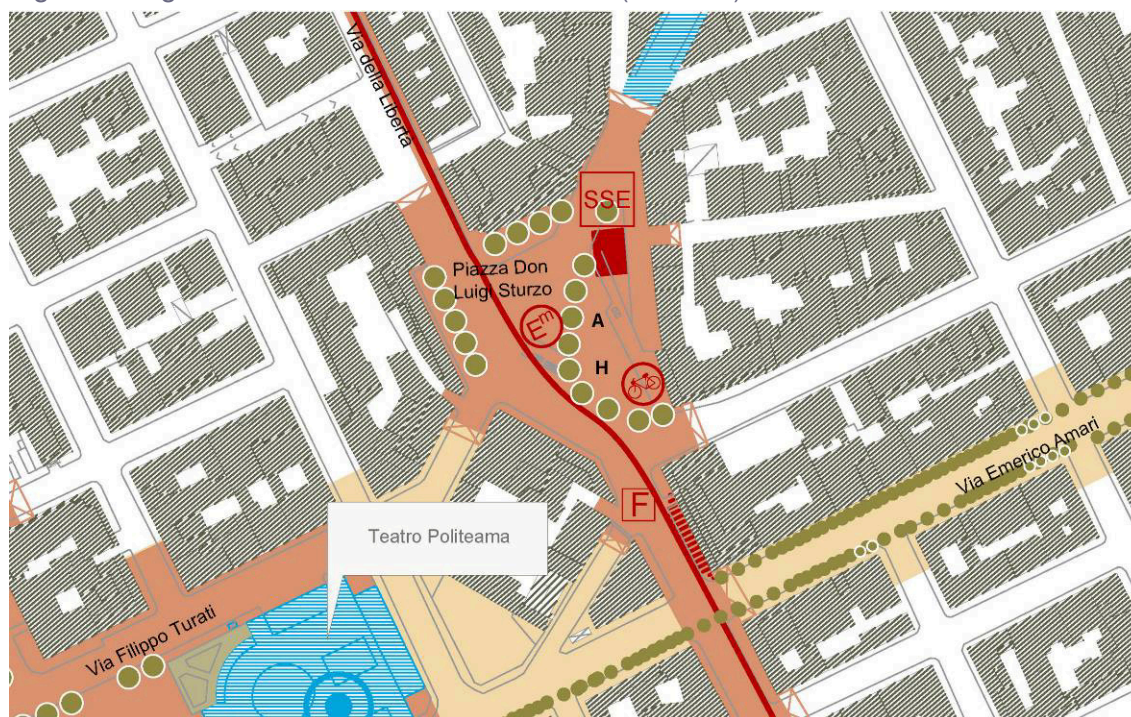
4.3.2 Ambito funzionale

La nuova infrastruttura tranviaria, a meno di piccoli tratti fuori sede, interagisce pesantemente con le infrastrutture stradali esistenti, occupando sempre parte della piattaforma stradale e per cui il traffico ferroviario presenta le stesse interferenze urbane di quello veicolare. Quindi il sistema tranviario **rappresenta una occasione per risolvere le emergenze funzionali e prestazionali della rete di viabilità esistente**; in particolare la realizzazione dei tracciati in progetto all'interno dei contesti urbani della città, consente di ripristinare la funzionalità della pavimentazione stradale, di delimitare la necessaria larghezza per le corsie di marcia dei veicoli (auto, bus), degli stalli di sosta, dei marciapiedi e delle piste ciclabili, di rigeometrizzare le intersezioni a raso e a rotatoria per migliorare le manovre di svolta e di visibilità (oltre che adeguare le stesse alla norma vigente), di gestire opportunamente gli accessi alle viabilità private e ai passi carrai, di ridefinire le semaforizzazioni esistenti, gli attraversamenti pedonali/ciclabili, le aree a verde, le aiuole spartitraffico, ecc.

Nelle aree interessate dai nuovi impianti tranviari verranno pertanto ricalibrati gli assi stradali, individuando e delimitando gli spazi destinati al trasporto pubblico, alla viabilità, alla sosta, alla pedonalità e ciclabilità; le opere relative alla viabilità e alle sistemazioni superficiali comprendono: pavimentazioni stradali e degli spazi pedonali, cordonature di delimitazione dei vari spazi (viabilità, sedi tranviarie, ecc.), elementi di arredo, opere di drenaggio, opere edili degli impianti di illuminazione pubblica, opere edili degli impianti semaforici.

A titolo di esempio, come si evince più in dettaglio negli elaborati di rigenerazione urbana del progetto proposto, si riporta lo schema di risoluzione delle criticità funzionali del nodo di Piazza Sturzo, interessato dalla nuova Tratta A:

Figura 7: Rigenerazione urbana Piazza Sturzo (Tratta A)



Come si nota dalla planimetria riportata, la linea tranviaria dà spunto ad una riorganizzazione funzionale, oltre che architettonica, del nodo in esame, definendo la nuova sede stradale e tranviaria, i marciapiedi, la pedonalità/ciclabilità e non per ultimo il “suolo” dell’area oggetto di intervento.

4.3.3 Ambito architettonico

Il progetto offerto “Palermo Arcipelago Verde” interpreta le sette nuove tratte del tram come occasione di rinnovamento e cura per il contesto urbano, puntando i riflettori su aree, la cui rigenerazione e maggiore dotazione di servizi siano in grado di creare, nel tempo, una città policentrica, maggiormente a misura degli abitanti che quotidianamente la vivono.

Nella realizzazione delle nuove sedi tranviarie gli interventi di costruzione coinvolgono il suolo esistente della città urbana, ovvero marciapiedi, arredi urbani, fermate di bus e taxi, parcheggi, soste, ecc. per cui risulta necessaria, e di qui l’occasione di rinnovamento e cura del contesto urbano, di riqualificare la città.

Il progetto si identifica attraverso un nuovo suolo organico, in grado di facilitare lo spostamento delle persone e lo svolgimento delle attività sulla sua superficie. *La ripavimentazione individua una quota precisa (circa + 15 cm) dedicata ai pedoni, sulla quale si colloca anche il tram.* La scelta di assimilare la quota del tram a quella dei pedoni e dei ciclisti nasce dal privilegiare la mobilità dolce e la vita negli spazi pubblici della città, comprese le attività - commerciali e di servizio - che si svolgono in corrispondenza dell’attacco a terra degli edifici.

Il progetto prevede un sistema di arredo urbano pensato per i diversi tipi di utenza, dagli adulti ai bambini e delle famiglie, dai disabili agli anziani, degli sportivi, con la volontà di rispondere in maniera flessibile ad esigenze e requisiti differenti.

Le nuove fermate/terminal delle nuove tratte tranviarie sono da considerare punti di riferimento cittadino la cui architettura identifica la nuova mobilità della città, adattata alle differenti tipologie di ambito, alla loro frequenza media, all'ambiente naturale o costruito, al loro orientamento in relazione alla situazione climatica.

Figura 8: Assonometria Terminal Tipo

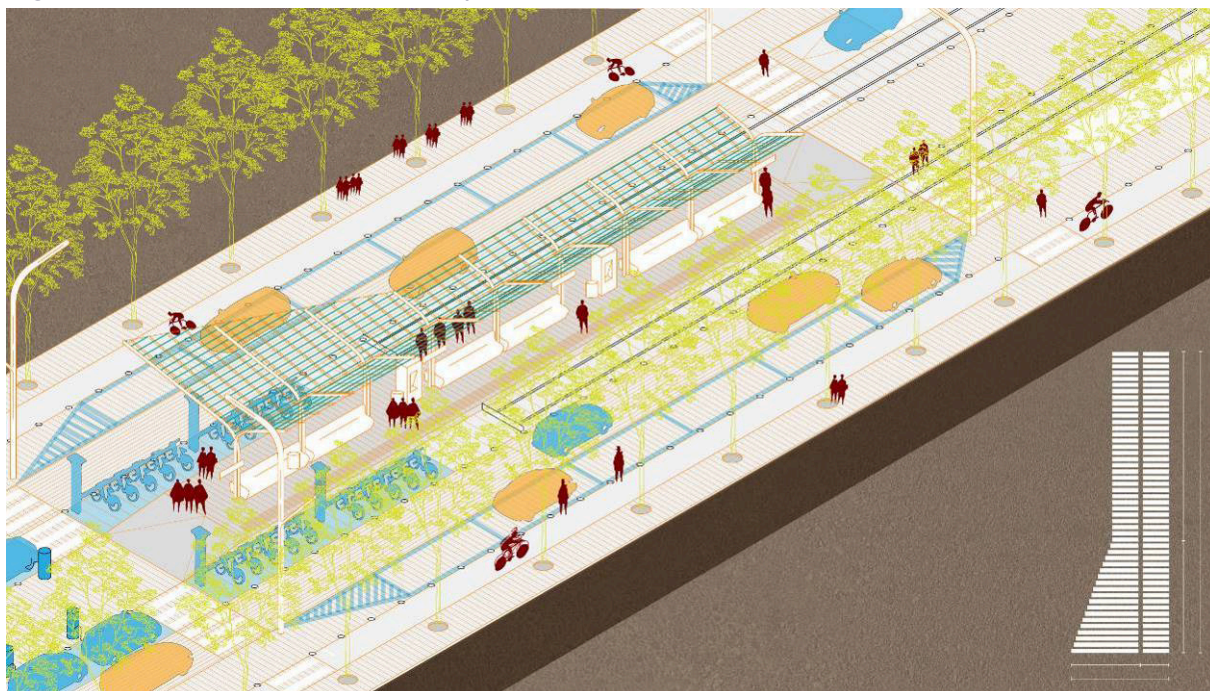
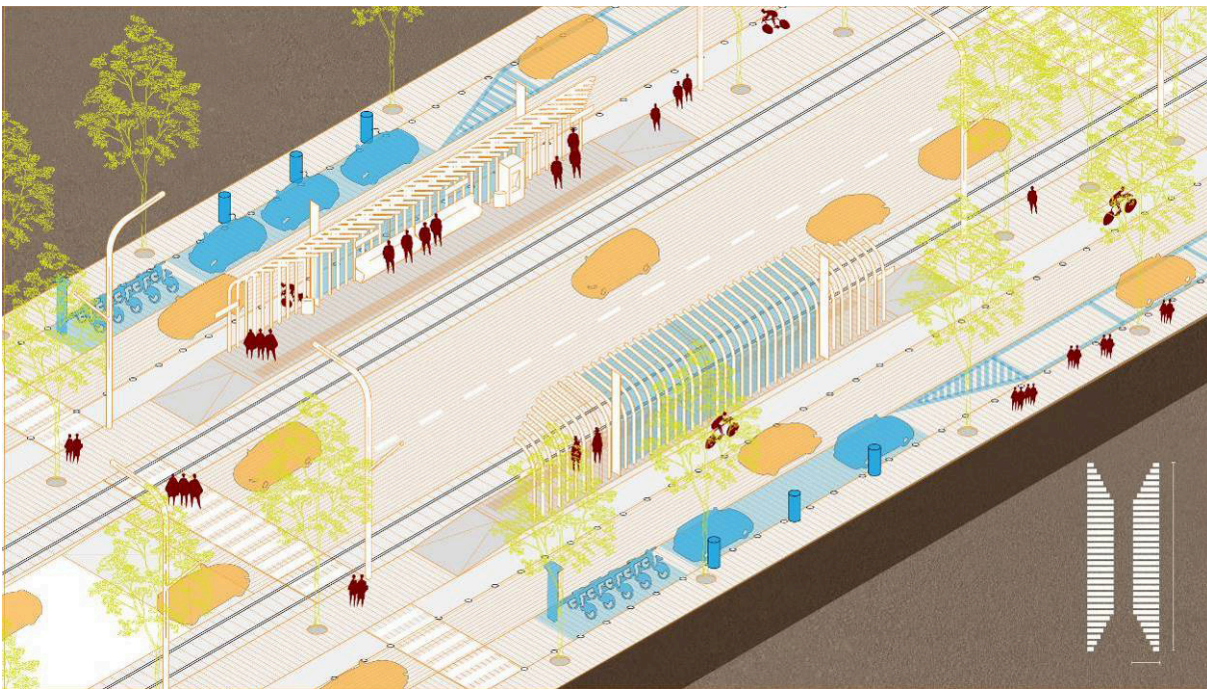


Figura 9: Assonometria Fermata Tipo



4.3.4 Ambito tecnologico

Riguardo alla componente tecnologica, come caratteristica di riqualificazione delle infrastrutture esistenti della città, *il progetto proposto del nuovo sistema dei tram fornisce delle innovazioni sotto più aspetti relativi alla qualità dei servizi e della sicurezza*. Nello specifico il progetto propone i seguenti interventi:

Aspetto strutturale. In riferimento agli interventi di adeguamento/miglioramento/ricostruzione delle opere in c.a. oggetto di fenomeni di ammaloramento e/o da adeguare a seguito dei nuovi carichi agenti, si utilizzeranno materiali con: *classe di esposizione* commisurate alle condizioni ambientali per garantire durabilità all'opera, con particolare riferimento alla presenza di acqua e alle condizioni bagnato/asciutto (comunque non inferiore a $R_{ck} 28/35 \text{ N/mm}^2$); *classe di consistenza* stabilita in relazione al necessario grado di lavorazione richiesto; *copriferro* commisurato alla vita nominale dell'opera e all'ambiente di riferimento. Tutte le strutture a contatto con il terreno, saranno opportunamente *impermeabilizzate* con sistemi di ultima generazione che ne garantiscano la durabilità oltre che la facilità di stesa.

Relativamente al rifacimento delle pavimentazioni, *si rivedranno gli spessori delle sovrastrutture stradali* al fine di ottenere un pacchetto idoneo al traffico stradale, onde evitare rapidi ammaloramenti della sede stradale come spesso si ritrova lungo le strade della città. Nei tratti di sovrapposizione tra vecchia/nuova pavimentazione si prevederà la stesa di *geogriglie* al fine di uniformare la distribuzione dei carichi tra le differenti sovrastrutture (in termini di rigidezza) e quindi evitare fenomeni fessurativi diffusi.

Aspetto funzionale. La ridefinizione del sedime delle nuove linee tranviarie permette di eseguire degli *interventi manutentivi straordinari sui sottoservizi esistenti* per circa il 20% della rete, oltre ad

aver l'opportunità di creare le infrastrutture (cavidotti per reti) per alimentare i servizi della *Smart City*.

La nuova infrastruttura del trasporto pubblico palermitano, oggetto della presente proposta è stata pensata quale rete intelligente in grado di riqualificare i quartieri attraversati mediante l'interconnessione con i servizi e con le reti delle tecnologia. Le attuali soluzioni tecniche e tecnologiche a disposizione sono in grado di trasformare una linea tranviaria in un sistema di città integrata con l'ambiente urbano attraverso l'integrazione tra l'intermodalità trasportistica e i sistemi informatici intelligenti, nel quadro di una multi-modalità gestibile in tempo reale che consente una relazione aumentata con le risorse e le prerogative della città.

Aspetto di mobilità. Il nuovo sistema tranviario sarà strutturato come un vero fornitore di servizi legati alla mobilità di cui il servizio tranviario sarà solo una parte: alle singole fermate l'utente non troverà esclusivamente una pensilina con gli orari ma avrà a disposizione un *hub per la mobilità* dove trovare veicoli elettrici / biciclette / servizio bus / informazioni sul contesto territoriale. Questo permetterà di garantire un ventaglio di possibilità di spostamento che può coprire tutte le casistiche ed esigenze del singolo utente. Dalla nuova "App" mentre mi muovo sul tram da una parte all'altra della città potrò prenotare una bicicletta o un veicolo elettrico (solo in alcune stazioni strategiche) capace di portarmi alla destinazione finale senza dover utilizzare il veicolo privato.

Aspetto costruttivo. Nelle tratte più urbanizzate, per la realizzazione dell'armamento tramviario con platea in calcestruzzo si propone una metodologia costruttiva che prevede un *sistema di posa automatica dei binari*. Il sistema prevede l'installazione dell'armamento per mezzo di un convoglio costituito da due macchine; la prima posa la platea in calcestruzzo in modo guidato ed automatico con getto cassero in continuo, la seconda esegue l'installazione guidata e automatizzata degli elementi di fissaggio delle rotaie nel calcestruzzo fresco. In seguito alla realizzazione della platea e dell'inserimento degli attacchi, dopo un tempo minimo di maturazione del calcestruzzo opportunamente additivato con accelerante di presa, vengono installate e saldate le rotaie.

Con questo sistema si possono raggiungere maggiori velocità di posa dell'armamento e maggiore precisione di esecuzione, che determinano nel complesso un netto miglioramento funzionale del sistema armamento.

Un **ulteriore aspetto critico** da affrontare nell'esecuzione delle linee è l'eliminazione preventiva di ogni interferenza con le reti dei sottoservizi, intervento che non può essere improvvisato risolvendo i problemi che si incontrano di volta in volta durante la realizzazione della sede tranviaria; soprattutto se si pensa ai possibili ritardi legati al reperimento di pezzi speciali e all'intervento di squadre specializzate.

Alla luce di ciò è opportuno, fin dagli stadi più embrionali del progetto, *approfondire il problema delle interferenze tra sede tranviaria e sottoservizi, mediante una mappatura il più dettagliata possibile delle varie reti insistenti nelle aree interessate dalla costruzione della tranvia.*

A questo scopo, già nelle fasi di sviluppo e completamento del progetto preliminare si dovrà provvedere al reperimento di tutto il materiale cartografico in possesso degli Enti Gestori delle reti pianificando incontri con i tecnici degli stessi per eventuali aggiornamenti non riportati sulle carte;

Si dovranno prevedere sopralluoghi lungo la futura sede tramviaria, volti ad individuare problematiche legate alla presenza, fuori terra, di manufatti che denunciano la presenza di sottoservizi importanti.

In fase di progetto definitivo bisognerà verosimilmente procedere alla verifica ed all'approfondimento di quanto prodotto mediante una serie di attività e di indagini integrative sulle reti esistenti, tra cui:

- Rilievo plano altimetrico delle aree interessate;
- Indagini georadar a maglia fitta (strisciate longitudinali e trasversali);
- Rilievo dei pozzetti;
- Tomografia elettrica;
- Video ispezione;
- Saggi e/o sondaggi.

Il rilievo plano-altimetrico costituirà la nuova base cartografica sulla quale verrà montata la mappatura dei sottoservizi: conterrà inoltre informazioni sul posizionamento di pozzetti e/o camerette, alberature, impianti di illuminazione pubblica, ogni tipo di struttura fuori terra esistente (chioschi, cabine telefoniche, pensiline bus, ecc.).

Sulla suddetta “base” verranno montati i risultati delle *indagini georadar*, la rete delle tubazioni individuate da tale strumento. Oltre ad una corretta ubicazione planimetrica delle infrastrutture, il georadar darà informazioni sulla profondità delle stesse definendo in tal modo un primo quadro sulle infrastrutture compatibili o meno con lo scavo della rete tranviaria. Con la successiva ispezione ed il rilievo dei pozzetti e delle camerette principali sarà possibile ricavare ulteriori informazioni sull'ubicazione e sulla tipologia dei sottoservizi, incrociando le quali con le cartografie fornite dagli Enti gestori sarà quindi possibile identificare le tubazioni individuate tramite georadar.

4.3.5 Ambito ambientale

La qualità dell'ambiente che ci circonda rappresenta un fattore fondamentale nell'elevare gli indicatori della salute delle persone. Dal punto di vista ambientale, gli aspetti che il progetto offerto propone di affrontare sono di seguito sintetizzati.

Inquinamento. L'obiettivo proposto dal progetto è quello di *ridurre l'uso dell'auto privata privilegiando l'uso combinato del mezzo pubblico con la mobilità dolce*. La riduzione della mobilità veicolare permette di ottenere notevoli benefici ambientali in termini di emissioni atmosferiche e allo stesso benefici in termini economici per la collettività.

Suolo. Gli interventi sul suolo immaginati lungo le nuove tratte del tram e all'interno delle aree di rigenerazione urbana hanno come obiettivo di *intercettare, rallentare e incanalare le acque meteoriche e garantire una città capace di convivere con questo prezioso elemento*. Pavimentazioni permeabili, pendenze ed elementi del suolo modellati per incanalare i flussi, aiuole disperdenti (rain gardens), zone piantumate, bacini di ritenzione idrica, contenitori sotterranei di accumulo sono alcune delle soluzioni applicate al nuovo suolo urbano, che lavorano su differenti gradi di permeabilità.

Verde. Il progetto proposto prevede *l'integrazione e lo sviluppo dei sistemi vegetali con funzione ornamentale/mitigativa/dissuasiva/produttiva* che comporta, oltre agli evidenti vantaggi di tipo paesaggistico, una riduzione significativa di CO₂. Le stesse opere a verde determinano infine un *aumento delle superfici permeabili* che assieme alle scelte di pavimentazione, come già evidenziato, contribuiscono ad un aumento del volume di acque recuperate e quindi riutilizzate.

Cantiere. Le tratte tramviarie previste in progetto sono linee prettamente urbane, per cui risulta significativo l'impatto che la realizzazione degli interventi ha sulla viabilità esistente. Pertanto, in sede di progettazione, si darà *particolarmente cura alla parzializzazione del traffico, garantendo sempre il traffico aperto minimizzando le interruzioni temporanee ed i rischi per gli utenti della strada e dei lavoratori*. Il concorrente propone inoltre interventi volti a minimizzare sia le esposizioni agli agenti fisici (rumore e vibrazioni) sia gli effetti dovuti a diffusione di polveri, garantendo contemporaneamente che siano preservati per tutto il tempo possibile i necessari accessi alla mobilità pubblica, senza eccessiva penalizzazione degli spazi. Entro tale intento si inserisce il criterio di suddividere l'area cantierabile in sottocantieri di estensione limitata, che rappresenta una scelta ottimale dal punto di vista del contenimento delle emissioni acustiche: tale strategia fornisce infatti la possibilità di intraprendere azioni di tipo locale, confinando le zone di volta in volta più rumorose con elementi schermanti mobili (barriere fonoisolanti) e disponendo della possibilità di avvicinare quanto più possibile tali barriere alle sorgenti, condizione di migliore abbattimento acustico. Brevemente, gli accorgimenti tecnici e procedurali che si eseguiranno per la limitazione dei fattori rumore e vibrazione sono:

- Utilizzo di recinzione di cantiere provvista di speciali dotazioni acustiche che garantiscano adeguato fonoisolamento e fonoassorbimento;
- Implementazione di "*cronoprogramma dinamico*" allo scopo di concentrare le attività caratterizzate da maggiori emissioni acustiche nei periodi della giornata già di per sé rumorosi, cercando di assecondare l'andamento temporale dei livelli sonori, seguendo l'obiettivo di preservare la popolazione esposta da un'eccessiva differenza di livelli acustici tra i due scenari, rispettivamente di cantiere in esercizio e cantiere inattivo (che comporterebbe un potenziale superamento del livello differenziale). A titolo di esempio, date inoltre la tipologia dei ricettori individuati e la particolare utenza che caratterizza l'area, le attività maggiormente rumorose potranno essere concentrate durante i periodi in cui si hanno i maggiori flussi di traffico veicolare nelle fasce orarie (esempio dalle 11.00 alle 13.00 e dalle 17.00 alle 18.00).
- Utilizzo di attrezzature certificate con sorgenti di emissione;
- Esecuzione di misure fonometriche di tipo presidiato per verificare che le condizioni di esercizio previste dalle simulazioni e i conseguenti livelli acustici siano rispettati ed adozione di eventuali interventi aggiuntivi o alternativi, qualora si verificasse qualsiasi incongruenza in senso peggiorativo rispetto ai dati attesi;
- Allestimento di eventuali postazioni fisse per il monitoraggio in continua presso ricettori sensibili.

Materiale rotabile. Oltre agli specifici interventi di mitigazione ambientale di cui la realizzazione delle linee tranviarie fornisce occasione per la città, anche la scelta del materiale rotabile incide

nella risoluzione delle problematiche ambientali. La nostra proposta di materiale rotabile presenta i seguenti requisiti:

- Rotabile progettato per minimizzare il rumore anche in presenza di binari vecchi.
- Utilizzazione di frenata elettrica, senza pertanto causare abrasione delle pastiglie, riducendo l'emissione di polveri e eliminando rumori fastidiosi.
- Sistemi di energy-saving e di recupero energetico in frenata: l'energia di frenatura viene recuperata immediatamente e utilizzata per alimentare i sistemi ausiliari di bordo o restituiti nel sistema di alimentazione per essere utilizzato da altri tram.
- Le sottostazioni possono catturare l'elettricità che i tram hanno recuperato dalla frenata e non utilizzare.
- Recuperabilità del 99% alla fine del ciclo di vita (riciclabilità + recupero di energia).
- Vernici / rivestimenti a base d'acqua.
- Risparmio energetico del 10-15% con monitoraggio dell'energia e guida ecologica.
- Motori a magneti permanenti per trazione ad alte prestazioni: Efficienza del 98%.
- Sensori di CO2 per regolare il flusso d'aria basato sul carico del passeggero.

4.4 MINIMIZZAZIONE DELLE OPERE CIVILI NEL CENTRO URBANO/STORICO DELLA CITTÀ DI PALERMO

Il progetto, rispondendo alle richieste dalla Stazione Appaltante ed alle esigenze della città nel nuovo modo di immaginare la Palermo del futuro, prevede la possibilità di adottare per tutte le tratte in progetto la soluzione catenary-free, cioè una tecnologia senza catenaria.

Tale tecnologia, oltre a ridurre l'impatto ambientale eliminando i sostegni della linea di contatto, ottimizza la sicurezza e l'affidabilità del servizio ed aiuta a preservare l'estetica del centro cittadino. La tecnologia di alimentazione *catenary-free* proposta è di tipo APS® (Alimentation par le Sol): l'alimentazione dei rotabili è garantita da una terza rotaia incastonata tra le rotaie di corsa lungo l'asse della pista. I segmenti conduttivi della terza rotaia vengono spenti/accesi/spenti mentre il tram procede, garantendo così la totale sicurezza per i pedoni, in quanto tutti i segmenti non coperti dalla vettura risultano disattivati.

I vantaggi specifici di questa tecnologia, oltre a quelli già evidenziati, includono la piena compatibilità con tutti i tipi di superfici stradali, facili estensioni di linea, libertà di definizione del tracciato, mitigazione dell'interferenza sulla normale circolazione veicolare e ciclo-pedonale e minimizzazione dell'impatto visivo dovuto alla presenza di elementi verticali, quali pali e linee aeree.

Sempre rispondendo alle richieste dalla Stazione Appaltante, *il progetto prevede comunque l'utilizzo di vetture ibride*, cioè dotate anche di pantografi per consentire l'utilizzo dei nuovi mezzi anche nei tratti provvisti di sola catenaria (ad esempio i tratti esistenti) e per le movimentazioni all'interno dei depositi/officine.

La piena compatibilità del sistema APS con l'alimentazione a catenaria offre inoltre un'ulteriore opportunità di scelta strategica alla Stazione Appaltante.

Dato che la tecnologia APS risulta ad oggi inevitabilmente più costosa rispetto al normale sistema a catenaria, in presenza di specifici vincoli di spesa, la Stazione Appaltante a sua totale discrezione, potrebbe ad esempio decidere di optare in una prima fase temporale per una soluzione a catenaria per alcune tratte (od eventualmente spezzoni di tratte) che non attraversano il Centro storico o corrono in zone di minore pregio artistico ed architettonico.

Questa soluzione permetterebbe di dare priorità ad interventi di rigenerazione urbana, di grande importanza strategica per la riqualificazione di intere aree cittadine e di mettere al contempo in esercizio l'estensione dell'intera rete tranviaria, posticipando solo temporaneamente l'installazione del sistema APS, che potrebbe essere completato in un secondo momento.

Altre peculiarità della proposta con ricadute positive in termini di mitigazione dell'impatto dell'infrastruttura sono:

1. **Adozione della tecnologia HESOP®**
2. **Adozione del sistema di posa automatica APPITRACK®**

La tecnologia **HESOP® (Harmonic and Energy Saving Optimizer)** consiste in un innovativo sistema di conversione e regolazione dinamica della tensione in grado di *riutilizzare più del 99% dell'energia normalmente perduta durante la frenatura dei veicoli*. L'energia di frenata recuperata viene scambiata direttamente con la rete elettrica.

Oltre agli ovvi benefici di natura ambientale ed economica (minori consumi = meno spese e minori emissioni per la produzione di energia), il sistema HESOP® consente di aumentare la distanza tra le sottostazioni elettriche, permettendo riduzione del loro numero: ad esempio 5/7 sottostazioni potrebbero essere sostituite da 4/6 sottostazioni di tipo HESOP®.

Uno studio accurato della ricollocazione delle sottostazioni potrebbe essere condotto nelle prossime fasi progettuali mitigando ulteriormente l'impatto delle opere civili ed eliminando le sottostazioni di più difficile inserimento nel contesto urbano.

Il sistema di posa APPITRACK® permette invece l'installazione dell'armamento ferroviario mediante un convoglio costituito da due macchine di cui la prima posa la platea in calcestruzzo in modo guidato ed automatico, mentre la seconda procede all'installazione automatizzata degli elementi di fissaggio delle rotaie nel calcestruzzo fresco.

Con questo sistema si possono raggiungere importanti velocità di posa dell'armamento (in media 150-200 m/giorno contro i 25 m/giorno del sistema manuale), maggiore precisione di esecuzione e quindi miglioramento funzionale del sistema di armamento.

Il sistema di posa APPITRACK® ha notevoli vantaggi applicativi nelle tratte più urbanizzate e difficilmente raggiungibili (es. il centro storico) in quanto garantisce un minore impatto della cantierizzazione, tempi di esecuzione più brevi, permette un impiego più limitato di attrezzature e autocarri ed offre la possibilità di lasciare diversi passaggi sia pedonali che carrabili per i pubblici esercenti e commercianti nelle aree prospicienti al cantiere. Il tutto in aggiunta a ridotte emissioni sonore e di polveri.

5. RISPARMIO ED EFFICIENTAMENTO ENERGETICO/ECONOMICO

5.1 CONCEPT E STRATEGIA DEL MODELLO ENERGETICO

L'obiettivo del progetto è quello di far tendere il bilancio energetico della nuova infrastruttura tranviaria all'emissione zero di sostanze inquinanti nell'ambiente.

La strategia per aumentare la sostenibilità energetica del progetto si fonda su principi di riduzione dei consumi, produzione da fonti rinnovabili e acquisto di crediti verdi e l'utilizzo di fonti di approvvigionamento energetico certificate come rinnovabili.

In dettaglio, le direttrici di intervento saranno:

1. **Ricorso a fonti rinnovabili**: Combinazione dell'acquisto di certificati verdi e produzione in sito di energia rinnovabile per sopperire al fabbisogno energetico.
2. **Riduzione dei consumi diretti**: riduzione dei consumi legati all'esercizio dell'infrastruttura mediante utilizzo di tecnologie efficienti come illuminazione a LED, recupero dell'energia in frenata e monitoraggio dello stile di guida.
3. **Riduzione dei consumi indiretti**: Attenzione ai materiali impiegati nel progetto, alle fasi di cantiere e applicazione di protocolli di sostenibilità

5.1.1 Ricorso a fonti rinnovabili

La strategia legata all'impiego delle fonti rinnovabili si articola in livelli crescenti di intervento. Il caso base prevede una combinazione di acquisto di energia verde e produzione di energia rinnovabile sul sito del progetto. Il secondo caso, presenta uno scenario di più ambizioso sul lungo termine, dove viene ridotta l'energia acquistata, con aumento della produzione di energia rinnovabile off-site (nei dintorni di Palermo) o on-site con tecnologie avanzate.

A. LINEA BASE – OFFSET, ONSITE E CIRCULAR ECONOMY

- Acquistare solo energia verde prodotta da fonti rinnovabili
- Acquistare crediti verdi per le emissioni che si creano
- Produzione di energia rinnovabile on-site

Oltre all'acquisto di energia pulita, l'infrastruttura è fornita di sistemi specifici per la produzione di energia.

Ciò avviene attraverso l'utilizzo di pannelli fotovoltaici sulle coperture degli edifici funzionali (deposito e officina) e sulla copertura delle pensiline delle fermate, laddove possibile. L'output energetico così generato permette di sopperire al fabbisogno dell'intera infrastruttura per circa il 15%.

In integrazione al fotovoltaico, per il riscaldamento/raffrescamento di edifici di servizio, potrà essere previsto il ricorso a fonti geotermiche. Questa tecnologia, applicata al nuovo deposito "Olimpo" consentirebbe ad esempio la parziale autosufficienza della struttura in termini di riscaldamento e raffrescamento. L'efficienza del sistema dovrà essere

attentamente indagata nelle fasi successive di progetto, anche in funzione delle condizioni ambientali e geomorfologiche esistenti.

B. LINEA ATTIVA - ONSITE + OFFSITE

Piani di sostenibilità a lungo termine, per aumentare l'autosufficienza del sistema, prevedono di incrementare la capacità di generazione di energia sia lungo l'infrastruttura, sia attraverso aree esterne, ad esempio mediante:

1. campi fotovoltaici ad alto rendimento nei dintorni di Palermo
2. impianti di bio-raffineria in grado di trasformare materie prime di origine biologica in biocarburanti di alta qualità per la produzione di energia, sempre nei dintorni di Palermo.
3. installazione di pannelli fotovoltaici amorfi sul sedime dei binari. (Tecnologia Solar Roadway) Questa tecnologia, ad oggi in fase di sviluppo e sperimentazione, prevede l'adozione di un sistema modulare di pannelli fotovoltaici calpestabili e carrabili con cui realizzare intere porzioni di strade ed autostrade. Una percentuale importante del sedime della linea tranviaria (50%) potrebbe essere ricoperto con questa pavimentazione. Lo sviluppo tecnologico atteso nei prossimi anni potrebbe ridurre significativamente i costi di fabbricazione di questi elementi (ad oggi ancora elevati) soprattutto se le applicazioni sperimentali attuali (ad Hangzhou Cina e in Normandia) dovessero fornire risultati convincenti in termini di durabilità ed efficienza energetica.

5.1.2 Riduzione del consumo diretto

La seconda direzione per aumentare la sostenibilità energetica del progetto è la riduzione del consumo alla fonte. La proposta include:

- 1. Adozione di tecnologia e ottiche LED**
- 2. Sistemi per il recupero di energia in frenata**
- 3. Sistemi di monitoraggio e assistenza alla guida**

Tecnologia e ottiche LED

Il progetto dell'illuminazione artificiale integrata alla linea è incentrato sull'impiego della tecnologia a LED, in ragione dei risultati ottenibili in termini di efficienza energetica, di sicurezza di prestazioni, affidabilità, flessibilità e durabilità del sistema. Il progetto illuminotecnico garantirà il rispetto delle normative vigenti, comprese quelle riguardanti l'aspetto dell'inquinamento luminoso (Norme UNI 10819 e Norme UNI11248 e EN 13201).

Ogni fermata utilizzerà lampade a led a basso consumo, integrate con un sistema di sensori di presenza che limitano l'intensità luminosa in corrispondenza delle fermate se non vi sono persone presenti.

Il risultato ultimo è quello di ottenere negli ambiti di intervento una illuminazione uniforme atta ad evitare zone d'ombra.

L'adozione di tecnologia LED sarà estesa anche all'illuminazione degli ambienti interni ed esterni di depositi e altri edifici funzionali.

Sistemi per il recupero di energia in frenata

Il progetto prevede l'adozione del sistema brevettato HESOP (Harmonic and Energy Saving Optimizer), ovvero un innovativo sistema di conversione con regolazione dinamica della tensione che riutilizza più del 99% dell'energia normalmente perduta durante la frenatura dei veicoli.

L'energia di frenata recuperata viene scambiata direttamente con la rete elettrica.

Il sistema HESOP garantisce anche un esercizio affidabile regolando le fluttuazioni e consente di risolvere problemi quali modifiche alla tensione di esercizio, aumento del traffico e ciclo di vita delle apparecchiature.

L'energia recuperata può essere reinserita in rete o riutilizzata negli impianti di fermata quali illuminazioni, semaforizzazione, ecc.

Il totale recupero dell'energia di frenatura riduce la necessità di dissipare il calore a bordo del treno, consentendo l'eliminazione dei reostati di frenatura e quindi del peso del tram stesso.

Per le specifiche tecniche ed altri dati di HESOP® si rimanda all'Allegato B.

Programma Monitoraggio Stile Di Guida

Si propone di implementare un sistema di monitoraggio dello stile di guida, combinato con corsi di formazione specializzati per i manovratori e conducenti delle linee.

Recenti studi hanno infatti confermato l'importanza giocata sui consumi dallo stile di guida del conducente.

I veicoli ferroviari dovrebbero idealmente essere operati in modo da consumare la minore quantità di energia possibile. Uno stile di guida ottimale consiste in una accelerazione costante fino al raggiungimento della velocità di crociera, lasciare che il veicolo avanzi per rotolamento, quindi frenare in modo uniforme fino ad arrestarlo completamente su uno spazio di frenata abbastanza lungo, con una decelerazione costante, tenendo conto del comfort dei passeggeri. Inoltre, una frenata lunga ed uniforme, permette di utilizzare al meglio il sistema di recupero dell'energia in frenata.

Il modo migliore per misurare il consumo di energia dei singoli operatori è quello di installare dispositivi di misurazione sui veicoli. Il monitoraggio dello stile di guida permette inoltre di evidenziare criticità di percorso e correggere eventuali inefficienze del sistema. Il monitoraggio sarà integrato con corsi di formazione specialistici per correggere inefficienze nella guida e trasmettere agli operatori i migliori modi di conduzione dei veicoli ferroviari, in funzione della morfologia del percorso, dell'orario di guida ed altri fattori.

Studi sperimentali, effettuati con dati raccolti dal monitoraggio, hanno evidenziato che stili di guida ottimali permettono fino ad un risparmio teorico del 50% (kWh/km). Una stima verosimile calata nel reale contesto urbano palermitano si attesta probabilmente attorno al 5-7,5% di possibile risparmio energetico.

Inoltre, il rapido sviluppo tecnologico di sistemi di guida assistita mediante Intelligenza artificiale (AI) osservato in questi ultimi anni lascia presumere che saranno disponibili a breve sul mercato sistemi elettronici in grado di coadiuvare attivamente il conducente in una condotta di guida efficiente.

5.1.3 Riduzione del consumo indiretto

La riduzione nel consumo indiretto di energia potrà essere ottenuta monitorando ed intervenendo su tutte le attività che in senso lato giocano un ruolo attivo o passivo nella costruzione e nell'esercizio dell'infrastruttura.

A questo scopo è sicuramente di aiuto l'implementazione del protocollo di sostenibilità Envision.

Attività di mitigazione potranno includere l'utilizzo di materiali riciclati e riciclabili con bassa embodied energy, la minimizzazione dei tragitti per la fornitura di inerti e altri prodotti.

I materiali utilizzati dovranno rispondere ai principi dell'economia circolare, e si dovrà effettuare una valutazione specifica sul ciclo di vita (Life Cycle Assessment) di ognuno al fine di privilegiare materiali riciclati e con alte caratteristiche di riciclabilità.

Particolare attenzione dovrà essere prestata anche alle fasi di cantiere, al fine di adottare tutte quelle best practices ben note e definite nei protocolli "green" atte a mitigare l'impatto ambientale ed energetico delle fasi cantieristiche.

5.2 IMPLEMENTAZIONE E GESTIONE INTELLIGENTE DEL SISTEMA SEMAFORICO A SERVIZIO DELLE LINEE

Il sistema di controllo semaforico delle linee è realizzato tramite un **sistema di gestione "intelligente"** con lo specifico compito di realizzare un coordinamento funzionale nella regolazione delle intersezioni stradali lungo la tranvia, una gestione centralizzata di tutti i parametri, e consentire inoltre una visione globale del traffico pubblico e privato.

Tale gestore ha il compito di:

- attuare i criteri di preferenziamento del trasporto su ferro
- effettuare la regolazione dei piani semaforici in funzione dei dati di traffico
- colloquiare con il sottosistema di localizzazione
- trasmettere e gestire le informazioni riguardanti flussi di traffico verso l'UTC comunale

E' così possibile implementare gli algoritmi per generare "onde verde" semaforiche con variazioni dinamiche in funzione dei dati di localizzazione dei tram in modo tale da consentire a quest'ultimi l'attraversamento degli incroci senza fermata.

In particolare l'impianto di localizzazione (a cura del Sottosistema di Controllo e Comando) invia al sistema di gestione i dati di localizzazione dei veicoli. L'apparato di localizzazione periferico, per ciascun senso di marcia e attraverso contatti liberi da tensione (digitali output), *rende disponibili al regolatore semaforico di ciascun incrocio informazioni sulla presenza del tram nelle varie situazioni* (anticipo, orario, ritardo, in prossimità dell'incrocio, oppure con richiesta forzata della fase semaforica di bordo e liberazione dell'incrocio).

Per il raggiungimento di tali scopi, in condizioni di normale esercizio il riferimento per la circolazione dei veicoli è rappresentato dalla tabella oraria, mentre in condizioni anomale il sistema permette l'applicazione di due diverse logiche di regolazione:

- il mantenimento della frequenza di passaggio dei veicoli, e quindi la creazione di una nuova tabella oraria "traslata nel tempo";
- il rispetto della tabella oraria originaria, e quindi l'assegnazione a ogni veicolo di una tabella corrispondente a una corsa differente.

Gli elementi che compongono il sistema di asservimento semaforico sono:

- un sistema di localizzazione del veicolo mediante trasmissione continua via radio;
- un sistema di richiesta di attuazione per il preferenziamento semaforico tramite tre loop di terra (1-priorità, 2-comando, 3-rilascio). Eventualmente il primo trasponder di priorità può essere associato, in caso di spazi ridotti, con quello di comando dell'incrocio precedente o con quello di localizzazione nella fermata precedente.
- una unità di elaborazione che svolge attività di sincronizzazione semaforica, richiesta di attuazione e comando dei segnali semaforici tranviari dell'incrocio;
- una unità periferica multifunzione per la regolazione dell'incrocio stradale;
- semaforo a barre per il tram e il semaforo a tre luci per i veicoli gommati.

5.3 TECNOLOGIA DI EFFICIENTAMENTO ENERGETICO DEL MATERIALE ROTABILE

Il sistema di trazione delle vetture proposte dal concorrente è caratterizzato in ciascuna cabina motorizzata dal sistema Onix 850, con una coppia di motori a magneti permanenti (PMM, Permanent Magnet Motors) chiusi, che garantiscono:

- Protezione dall'ambiente esterno e condizioni climatiche sfavorevoli
- Sistema di raffreddamento ad auto-ventilazione, con ventilatori multi-velocità a basso rumore
- Semplicità di manutenzione, senza unità di raffreddamento, filtri e pulizia interna
- Potenza nominale: 150 kW
- Alta efficienza, 97%, grazie ai semiconduttori a bassa perdita
- Alti livelli di affidabilità, garantita dall'azione degli inverter su ciascun motore e dai microprocessori per il sistema controllo e diagnostica
- Bassi livelli di rumore, con bassa velocità di rotazione.

La climatizzazione interna avviene con sistema HVAC con miglioramento del consumo dell'energia ottenuto mediante la regolazione del flusso di aria climatizzata in base al carico di passeggeri e alla gestione della stessa allo stazionamento del tram.

6. ACCESSIBILITÀ E UTILIZZO

Elementi fondamentali nella proposta del "sistema tramviario" avanzata dal concorrente sono l'innovazione ed il confort reale e percepito da parte dell'utente, sia all'esterno e in approccio alla linea che all'interno della stessa.

6.1 ACCESSIBILITA' DEL SUOLO

Il suolo cittadino è una superficie che deve rispondere ai flussi delle persone, prima che a quelli dei mezzi di trasporto.

Il progetto legato alle sette tratte tramviarie si connota attraverso un nuovo suolo organico, in grado di facilitare lo spostamento delle persone e lo svolgimento delle attività sulla sua superficie.

La ripavimentazione individua una quota precisa (circa + 15 cm) dedicata ai pedoni, sulla quale si colloca anche il tram. Le auto, nella maggioranza dei casi, continuano a transitare a quota zero, tranne in occasione delle fermate dove, tramite il dispositivo di traffic calming rallentano e si portano alla quota dei pedoni (+ 15 cm). Opportuni scivoli, raccordi e dissuasori rendono agevole e sicuro lo spostamento dei vari vettori nello spazio. La scelta di assimilare la quota del tram a quella dei pedoni e dei ciclisti nasce dal privilegiare la mobilità dolce e la vita negli spazi pubblici della città, comprese le attività - commerciali e di servizio - che si svolgono in corrispondenza dell'attacco a terra degli edifici.

6.2 ACCESSIBILITA' FERMATE

Le nuove fermate marcano e scandiscono nuovi percorsi che strutturano e riqualificano la città: sono da considerare quali punti di riferimento la cui architettura connota l'identità complessiva della nuova rete del tram di Palermo.

6.2.1 Fermate inclusive e adattive

Il concept architettonico delle fermate è stato definito attraverso la concezione di una famiglia di elementi riconoscibili e adattabili ai differenti quadri di riferimento prestazionale, ovvero in base alle tipologie ambiti: quartiere denso, centro città, zone a dominante storico-patrimoniale, zone di interconnessione modale, ambiti fronte mare, zone rur-urbane e peri-urbane, alla loro frequenza media (o in orario di punta), all'ambiente naturale o costruito, al loro orientamento in relazione alla situazione climatica (esposizione a sole, vento, pioggia, aria, rumore...).

Le fermate e, nello specifico, le banchine di attesa, sono state dimensionate in relazione alle indicazioni dello studio di fattibilità del bando di gara e del materiale rotabile (con h = 350 mm dal piano di rotolamento del ferro) ed in relazione ai vincoli della viabilità esistente.

Le dotazioni della banchina sono rigorosamente organizzate attraverso una trama funzionale che integra, anche in termini prestazionali architettonici (linguaggio, materiali e cromie) gli arredi e le cabine tecnologiche a cielo aperto, i sistemi di info-viaggio (tempi di attesa, disguidi, rallentamenti, ecc), le informazioni su cartografie e mappe della città (mappa del trasporto pubblico – rete tramviaria, anello, passante ferroviario, metropolitana...) la segnaletica fissa (nome della fermata) i distributori automatici biglietti, le sedute e gli appoggi ischiatici, i gettacarte, i pannelli pubblicitari, segnaletica verticale e orizzontale di vario ordine e grado, compresi i percorsi pedotattili per l'accessibilità ai non vedenti.

L'intenzione è quella di sviluppare un'architettura espressiva, in grado di porre in risonanza il nuovo manufatto con l'ambiente circostante e concepire lo spazio della fermata, su tutta la sua lunghezza, in maniera discreta ed elegante, attraverso la declinazione dei dispositivi della

copertura esposta agli agenti atmosferici e climatici la cui conformazione - parametrizzata rispetto all'orientamento, ai venti dominanti, alla presenza di alberi, alle visuali - fornisce un dispositivo accogliente e amichevole per il viaggiatore. Uno spazio che funge da cerniera urbana tra due modalità di trasporto (quella tramviaria e quella pedonale) la cui identità leggera offre trasparenza, comfort e sicurezza.

Le nervature strutturali della copertura, la cui ripetizione costituisce la forma d'insieme, possono presentare diverse dimensioni, più o meno complete a formare lo scheletro generale della fermata. L'intenzione del linguaggio architettonico è quello di costituire un design connotato e poroso, che alterna vuoti e pieni, facilmente identificabili e adattabili ai vari contesti.

Tali strutture sono immaginate in elementi prefabbricati il cui singolo elemento strutturale presenta un'anima in acciaio e una scocca estetica strutturalmente collaborante declinabile in una rosa materiali, in grado così di adattarsi ai differenti scenari del paesaggio urbano, quali ad esempio: legno lamellare, acciaio verniciato a polvere. In taluni casi l'elemento singolo è stato pensato in fibro-cemento ad altissima performance con l'impiego di materiali riciclati e costruiti in previsione del proprio ciclo vita.

Trattandosi di installazioni urbane, gli elementi e i materiali dovranno essere in grado di soddisfare un quadro prestazionale particolarmente esigente che si spinge fino al trattamento delle superfici con pellicole/vernici anti graffito.

Tali elementi strutturali verticali sono dimensionati in ragione delle loro funzioni (dal parapetto alla copertura) creando il riparo necessario alle esigenze dei viaggiatori, saranno forniti di illuminazione artificiale e di apposita segnaletica e comunicazione grafica, la medesima struttura vedrà integrata nel proprio disegno tutte le vestizioni complementari della fermata (parti vetrate verticali e orizzontali, vani tecnici a servizio degli apparati tecnologici).

Tali elementi strutturali potranno altresì ospitare pannelli fotovoltaici integrati nelle parziali superfici vetrate favorendo l'ombreggiamento all'intradosso della pensilina e fornendo energia verde supplementare da considerare nel bilancio dell'infrastruttura generale.

L'illuminazione artificiale, tramite sensori, si adatta alle condizioni ambientali (differenti ore del giorno e stagioni); il sistema di controllo immaginato consente una modulazione della stessa in relazione ai fattori d'occupazione della banchina da parte dei viaggiatori e dell'illuminazione naturale.

6.2.2 Differenti scenari di allestimento delle fermate

Le fermate si adatteranno ai differenti luoghi attraversati in modo da rispondere al meglio agli scenari d'utilizzo attesi (flussi, target d'utenza, prestazioni dei nodi intermodali, ecc.), rispondendo ai vincoli e ai quadri normativi di riferimento prestazionali (gestionali e manutentivi) indicati per i lavori delle infrastrutture nel nostro paese.

Per venire incontro a tali esigenze sono stati definiti differenti scenari di allestimento delle fermate, ovvero *Small*, *Medium*, *Large* ed *X-Large*, attraverso i quali gestire le esigenze di adattabilità delle fermate. Tale trattazione identifica le fermate più semplici con le funzionalità essenziali, che via via

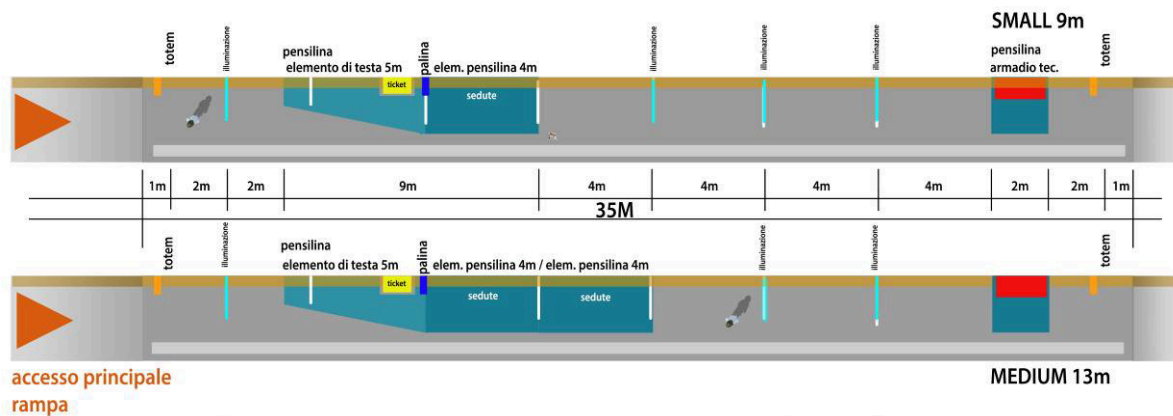
diventano più complesse e più ricche di elementi, e sono esemplificative di situazioni urbane particolari ed eccezionali.

Le fermate, sempre fornite di due accessi contrapposti dedicati ai disabili e alle fasce deboli, presentano tutte indipendentemente dalla taglia una dotazione base di funzionalità che saranno sempre garantite: un sistema di illuminazione artificiale d'ambiente della banchina (modulabile) con una zona rinforzata agli accessi, una palina illuminata di notte e visibile a 100 mt di distanza dall'accesso principale, il nome della fermata ripetuta 2 volte sulla lunghezza della banchina in alto, un pannello informativo su schermo dinamico collocato al centro della banchina. Sulla parte coperta (all'incirca ad 1/4 della lunghezza) verranno collocati: un distributore automatico di biglietti posto all'incirca verso l'accesso principale, un vano tecnico per le correnti deboli e forti e una zona di sedute (da 2 a 4), possibilmente una mappa della rete del TPL palermitano.

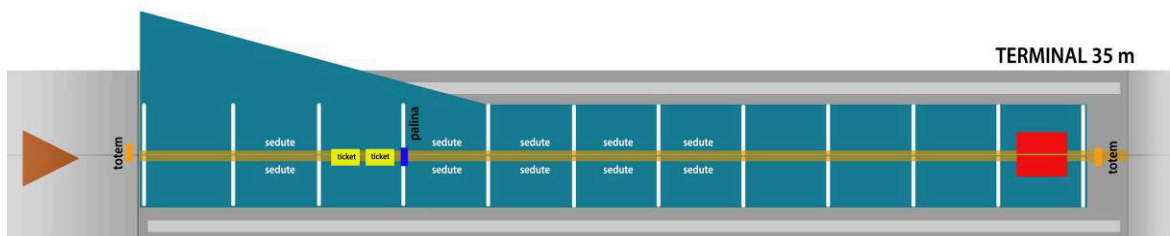
Le parti non coperte della fermata sono delimitate da dissuasori e parapetti ad altezza limitata che consentono l'attesa in banchina in tutta sicurezza.

Le fermate pertanto daranno vita, a partire dalla versione base, alle configurazioni:

- a) **Fermata a frequentazione minima - Small**: una banchina di dimensioni di base: lunghezza 35 mt x 3 mt di larghezza (con punte minime di 2 mt per le fermate e con 4,5 mt di larghezza per i terminal)
- b) **Fermata a frequentazione normale - Medium**: le sedute vengono raddoppiate (fino a 6) e le zone coperte sono rappresentate da 1/3 della lunghezza totale della banchina.



- c) **Fermata a frequentazione alta - Large**: le sedute sono in un numero da 8 a 10 e lo spazio coperto è pari a 1/2 della lunghezza totale della banchina con maggiori cartografie del trasporti, carta della zona e del quartiere, informazioni a viaggiatori bilingue.
- d) **Fermata a frequentazione densa/alta - XLarge**: fermata emblematica del centro città o prossima a zone con forte potenziale di sviluppo urbano, lo spazio coperto è pari a 3/5 o 4/5 della lunghezza totale della banchina con un numero elevato di sedute (intorno ad una dozzina). Le informazioni ai viaggiatori saranno adattate ai siti serviti e completate per informazioni sulla vita culturale della città di Palermo.



- Design modulare multi-articolazione che consente di adattarsi a qualsiasi rete e infrastruttura
- Peso ridotto delle vetture (struttura in alluminio) che consentono un minor consumo di energia
- Ampie porte vetrate e aree di salita e discesa, finestre panoramiche, ampi passaggi in prossimità delle articolazioni e nessuno scalino interno, divisione di vetro della cabina di guida che consenta ai passeggeri di vedere il percorso in anticipo
- Aree dedicate per sedie a rotelle e passeggini
- Appoggia schiena zona posti non seduti
- Rastrelliera biciclette

Figura 10: Visioni degli interni



- Sistema di illuminazione interna ed esterna a LED
- Impianto di climatizzazione ad alte prestazioni
- Sistema avanzato di informazioni per i passeggeri, con WiFi
- Veicolo modulare a pianale integralmente ribassato con un piano di calpestio a una altezza di 326/342 mm dal piano del ferro per le porte intermedie/frontali.
- Assistenza in tempo reale mediante il monitoraggio video a bordo e alle fermate.
- Integrazione del sistema di tramvia con la segnaletica stradale della città.
- Sistema di prevenzione (Automatic Train Control) di errori di manovra e di marcia nei tratti a "guida a vista"
- Il veicolo può essere predisposto con 2 cabine di guida alle due estremità, separate dal vano passeggeri, per una guida bidirezionale.
- Ciascuna delle linee avrà una propria rete in fibra ottica con topologia ad anello che garantirà, in caso di guasto in un tratto di linea, la richiusura del traffico dati sul ramo di rete attivo.
- Il Sottosistema consente all'operatore del PCC di effettuare la diffusione di annunci sonori di servizio o per gli utenti del mezzo, nelle fermate e/o sui veicoli, tramite pannelli informativi e altoparlanti posti nelle fermate.

Nel suo complesso le vetture proposte dal concorrente contribuiscono alla qualità della vita nelle città, con un livello di rumore di 5 dBA inferiore a quello generato dal traffico automobilistico (cioè quasi quattro volte in meno).

Relativamente invece all'impatto sull'ambiente delle vibrazioni sull'ambiente esterno, il complesso sede/armamento è stato progettato prendendo a riferimento quanto già ampiamente sviluppato in campo europeo, ovvero con i sostegni delle rotaie a gola, del tipo 60R2 (Ri 60-13), appoggiati e quindi annegati su di una solida base in calcestruzzo.

Nelle successive fasi di progettazione saranno sviluppati ulteriori studi, con particolare attenzione alle zone di attraversamento del Centro Storico, sempre mirati al contenimento delle vibrazioni indotte dal sistema tranviario, per garantire il minimo impatto del sistema stesso sulla vivibilità dell'area ed il minimo rischio di danneggiamenti a edifici e monumenti storici circostanti le linee. Nell'ambiente cittadino i livelli delle vibrazioni non dovranno eccedere i limiti di legge e normativa presso i ricettori prossimi alle linee tranviarie. Tali valori dipendono dalla destinazione d'uso della costruzione e dalla posizione relativa rispetto alla linea.

7. FACILITÀ ED ECONOMICITÀ DI GESTIONE

7.1 ADOZIONE DI UN SISTEMA/MODELLO BIM

La progettazione di una infrastruttura quale una estesa rete tranviaria si configura come una grande opportunità di crescita ed innovazione per i soggetti coinvolti nel processo progettuale e si presta, in virtù della propria interdisciplinarietà e complessità, ad un approccio integrato di tipo **BIM (Building Information Modelling)**.

L'adozione di una metodologia fondata su un modello BIM non solo presenta innumerevoli vantaggi ma rappresenta il miglior approccio progettuale ad una problematica così complessa. Peraltro, recependo queste necessità, il Codice dei contratti pubblici include specifici provvedimenti attuativi per la digitalizzazione degli appalti, tra cui l'obbligo per le stazioni appaltanti di richiedere l'uso dei metodi e degli strumenti elettronici di cui sopra per i lavori complessi relativi a opere di importo a base di gara pari o superiore a 100 milioni di euro, a decorrere dal 1° gennaio 2019.

Per tutte queste ragioni, la proposta progettuale qui descritta includerà fin delle prime fasi progettuali l'approccio BIM, con l'intento di promuovere i seguenti obiettivi:

- Adozione di una Piattaforma di sviluppo comune a tutti i progettisti e integrazione completa di tutti i sistemi e sottosistemi civili, impiantistici e rotabili.
- Ottimizzazione ed automazione dei processi progettuali
- Aumento dell'affidabilità degli elaborati e del progetto complessivo
- Maggiore Accessibilità e facilità di condivisione dei documenti progettuali
- Supporto alla stazione appaltante nel processo di digitalizzazione

7.1.1 Adozione di una Piattaforma comune e integrazione completa di tutti i sistemi

Progetti grandi, complessi ed interdisciplinari richiedono il contributo progettuale integrato di numerosi soggetti, ciascuno titolare di una conoscenza specifica, che non necessariamente operano nello stesso ufficio ma si possono trovare anche in città diverse a chilometri di distanza. La creazione di una piattaforma unica di sviluppo invita tutti i soggetti a condividere un piano progettuale comune, adeguarsi ai medesimi standard e seguire un processo produttivo parallelo con tappe di "allineamento" e "sincronizzazione" pianificate e serrate. Questo modo di operare,

sebbene oneroso soprattutto nelle fasi iniziali per tutti i soggetti coinvolti, *aumenta l'esigenza di interazione e permette uno sviluppo del progetto più armonioso evitando che parti dello stesso restino ad un livello di definizione troppo basso o altre si specializzino troppo senza l'avvenuto consenso di tutte le parti*. Inoltre tutti i sistemi e sottosistemi che concorrono al funzionamento dell'infrastruttura devono essere implementati nel modello a livelli sempre più dettagliati seguendo l'evoluzione del progetto. Questo approccio “gerarchico” su scala macroscopica assicura che i vari sottosistemi siano inseriti correttamente ed interagiscano in modo opportuno a mano a mano che vengono implementati.

Come già accennato, l'adozione di una piattaforma comune rappresenta al contempo un importante strumento per la creazione ed imposizione di standard condivisi. L'adozione di questi standard permetterà di gestire più agevolmente dati in formati differenti su piattaforme complesse, una problematica tipica di progetti che vedono coinvolti soggetti operanti in ambiti e discipline diverse (es. ambito civile e impiantistico-ferroviario). Ad esempio, attraverso lo standard ISO16484-5 potrà essere introdotto un linguaggio comune ai soggetti coinvolti nella progettazione e realizzazione dei sistemi.

L'adozione di un protocollo comune di interscambio dati “aperto” (**tipo BACnet**) agevolerà ulteriormente la comunicazione e l'interoperabilità.

Senza addentrarsi ulteriormente nei tecnicismi, vale la pena sottolineare come *l'implementazione di un modello digitale completo di tipo BIM costituisce fin da oggi la necessaria base di partenza per lo sviluppo le innumerevoli potenzialità che saranno rese possibili dall'evoluzione tecnologica del settore nei prossimi anni*.

7.1.2 Ottimizzazione ed automazione dei processi progettuali

Il modello BIM deve essere inteso come “**modello virtuale**” che raccoglie tutte le informazioni utili al processo progettuale sottoforma di parametri.

La parametrizzazione permetterà il confronto di diversi scenari e opzioni di progetto attraverso indicatori significativi estratti dai modelli BIM agevolando la scelta delle migliori soluzioni, in termini di flussi, di affluenza, ecc. e ponderando al contempo gli aspetti economici ma anche ambientali e paesaggistici.

La parametrizzazione permetterà anche una agevole georeferenziazione degli elementi, nonché l'automatizzazione di numerosi processi ripetitivi, come ad esempio la creazione di modelli di prototipi per fermate, terminal e di tutti gli elementi standardizzabili.

7.1.3 Aumento dell'affidabilità degli elaborati e del progetto complessivo

La necessaria creazione di un modello BIM urbano permetterà la corretta georeferenziazione di tutti gli elementi attraverso l'uso dati geografici Open, di nuovi servizi Cloud, di software quali Autodesk Infravorks 360 e di rilievi effettuati attraverso laser scanner e droni, aumentando così la precisione ed affidabilità del progetto.

Inoltre, lo sviluppo di un modello completo permetterà un maggiore controllo e la **verifica** pressoché “**in tempo reale**” delle interferenze tra discipline ed eventualmente, qualora fossero disponibili presso gli enti gestori dati affidabili ed interoperabili, con tutti i sottoservizi ed infrastrutture esistenti.

Un'agevole verifica degli standard progettuali potrà essere effettuata ad intervalli regolari dai BIM Manager preposti, attraverso l'applicazione dei tutti i protocolli di controllo qualità previsti dagli standard.

7.1.4 Maggiore Accessibilità, trasparenza e facilità di condivisione dei documenti progettuali

La progettazione di infrastrutture impone momenti di confronto pubblico in cui occorre presentare le scelte progettuali a tutti i portatori di interessi in modo chiaro e comprensibile. Il BIM e gli strumenti innovativi per la progettazione possono sensibilmente concorrere al raggiungimento di questi obiettivi.

Se la visualizzazione tridimensionale inserita nel contesto urbano permette ad esempio una maggiore e più immediata comprensione del progetto ai “non addetti ai lavori”, l'interrogazione del database permette di ottenere informazioni precise e puntuali di qualunque parte dell'opera o suo sottosistema. Dunque un *modello BIM ben implementato rappresenta uno strumento efficace di dialogo, facilmente adattabile a tutte le esigenze e contesti, dalla presentazione alla cittadinanza all'interfaccia con specialisti e fornitori.*

Inoltre, tutti dati informatizzati implicheranno maggiore trasparenza, tracciabilità dei vari attori delle transazioni amministrative e di cantiere, con benefiche ricadute sulla procedura di appalto.

Il capitolato sarà comunicato anche ai subappaltatori e ai sub-fornitori cui è fatto obbligo di concorrere nella proposizione delle modalità operative di produzione, di gestione e di trasmissione dei contenuti informativi attraverso il piano di gestione informativa (UNI 1337).

La documentazione di gara sarà agevolmente resa disponibile tra le parti per mezzo di formati digitali coerenti con la natura del contenuto.

In aggiunta, Il modello permetterà una verifica più accurata e pressoché in tempo reale di costi e quantità grazie alla possibilità di estrazione di tabelle dettagliate e grazie alla possibilità di interfaccia diretta con programmi come STR Vision.

7.1.5 Supporto alla stazione appaltante nel processo di digitalizzazione

La gestione di procedure informatizzate complesse non può essere improvvisata. Tutti i soggetti toccati dal processo di informatizzazione si trovano oggi di fronte a grandi sfide che richiedono investimenti in formazione e innovazione.

Anche le stazioni appaltanti non sono escluse da questo processo; un gruppo di progettazione esperto nell'approccio BIM è sicuramente il più valido alleato in questa delicata fase di transizione.

Oltre che nelle fasi progettuali, *l'implementazione di un modello BIM permette vantaggi importanti anche nelle successive fasi di gestione dell'Infrastruttura. L'ottenimento di un modello BIM ordinato, completo, aderente al vero e ricco di tutte le informazioni dei vari sottosistemi che lo compongono rappresenta per i futuri soggetti gestori una importantissima opportunità di risparmio e controllo del prodotto da gestire.*

Il modello BIM rappresenta infatti un unico database onnicomprensivo, un repository di tutta l'informazione progettuale organizzata, gerarchizzata e accessibile mediante interrogazione ed estrazione di tabelle.

L'interrogazione del modello BIM permetterà di sfruttare i contenuti e l'incredibile quantità di informazioni condensate (dati, calcoli, specifiche, ecc.) ad esempio per agevolare l'utilizzo dell'infrastruttura, pianificare la manutenzione e meglio qualificare gli interventi di manutenzione e riparazione. In particolare, nel caso della sistemistica si potrà ad esempio:

- programmare gli interventi per ogni apparato o tipologia di apparato;
- predisporre una gestione della manutenzione di tipo predittivo;
- definire la ciclicità di ogni piano di intervento in base ad intervalli di tempo o ai cicli di funzionamento;
- definire il tempo di preavviso per l'invio di avvisi automatici;
- assegnare l'intervento ai manutentori;
- gestire i ricambi necessari per l'intervento.

Grazie all'utilizzo dei protocolli di interoperabilità potranno poi essere rappresentati nel sistema di controllo tutti gli impianti di automazione attraverso la virtualizzazione degli oggetti che costituiscono l'infrastruttura

Attraverso lo scambio di informazioni sarà possibile creare un modello BIM virtuale che contenga tutti i dati del modello reale. Un modello "**intelligente**", in grado di riconoscere i conflitti e le interferenze e sul quale sarà possibile effettuare modifiche importanti, nel tempo.

7.1.6 Cenni alle procedure attuative

Nel seguito si fornisce una breve descrizione del processo organizzativo e gestionale che sarà messo in atto per la definizione di un proficuo ambiente BIM.

Prima di procedere con le successive fasi progettuali, si procederà alla stesura di un **BEP (BIM Execution Plan)** per definire e formalizzare procedure, usi e obiettivi del modello. Il BEP dovrà necessariamente essere scritto in cooperazione con la Stazione Appaltante, al fine di esplicitare e condividere gli obiettivi e le metodologie operative.

Il BEP dovrà dettagliare tutti gli aspetti contrattuali ed operativi come ad esempio:

- Elenco degli obblighi contrattuali e/o procedure standard
- Struttura del modello e scomposizione; formato e peso dei singoli files, sistemi di riferimento, unità di misura ecc.
- Descrizione dello sviluppo e dei livelli di approfondimento (LOD) nelle diverse fasi

- Modalità di aggiornamento ed interazione

Contemporaneamente sarà organizzata una squadra BIM con precisi ruoli e responsabilità (organigramma ben definito), saranno nominati uno o più BIM Manager, i vari BIM Coordinator e le modalità di interazione. Saranno chiaramente identificati gli utilizzi BIM (BIM uses) durante la pianificazione, la progettazione, la realizzazione e la fase di gestione sulla base degli obiettivi del cliente.

Tenendo conto dell'esigenza di beneficiare dell'approccio BIM in ogni suo aspetto, e fino alla fase di gestione, il modello sarà sviluppato verosimilmente in 7D, passando attraverso i vantaggi del 4D (studio temporale delle fasi di cantierizzazione e messa in esercizio) e 5D (controllo dei costi).

7.2 MANUTENZIONE DEGLI IMPIANTI DI SISTEMA E DEGLI IMPIANTI DI TRAZIONE ED ALIMENTAZIONE

La gestione della manutenzione si basa su tre principi:

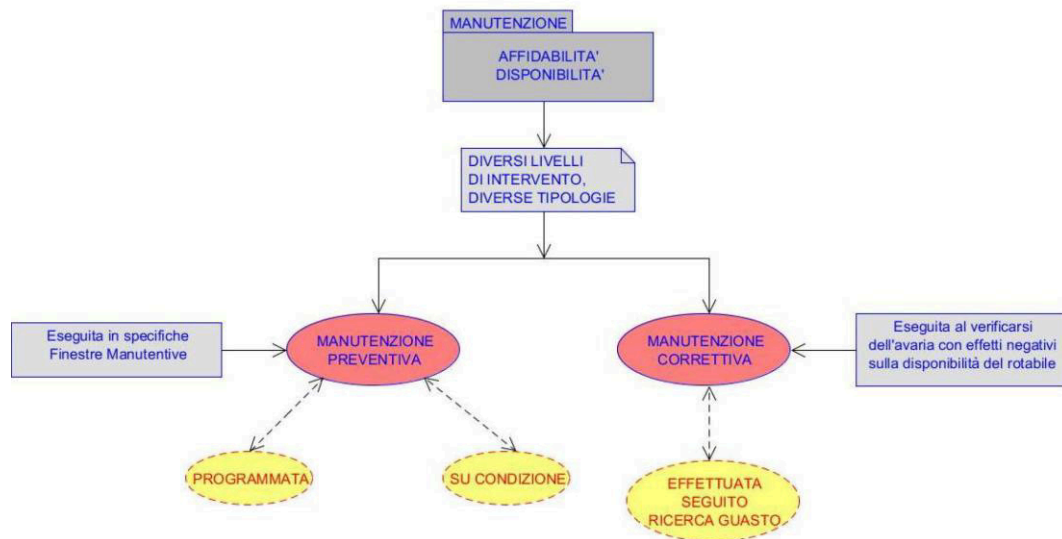
- fornire alti livelli di affidabilità, di disponibilità e di sicurezza del sistema di trasporto in modo da soddisfare le aspettative dei passeggeri e rispondere agli impegni contrattuali;
- adottare una organizzazione della manutenzione che tenga conto delle varie fasi di vita di ogni apparato allo scopo 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 definendo in maniera chiara i compiti e gli obiettivi del personale addetto ed ottimizzare le sinergie tra i vari servizi, quest'ultimi suddivisi in tre settori di attività:

- il materiale rotabile;
- gli impianti fissi;
- i sistemi tecnologici ed informativi.

Di seguito si riporta un diagramma di manutenzione per illustrare la gestione della stessa:

Figura 11: Diagramma manutentivo



Per attuare l'approccio qui sopra descritto è necessaria una struttura organizzativa che integra operativamente il personale già esistente sulle linee in esercizio ponendo sempre l'attenzione sui seguenti aspetti:

- priorità alla manutenzione preventiva con l'obiettivo di diminuire gli interventi di manutenzione correttiva a medio ed a lungo termine, così come la manutenzione straordinaria;
- ottimizzazione dell'impiego giornaliero del personale ripartito fra attività preventive e correttive;
- flessibilità delle squadre di manutenzione, organizzate in modo pluridisciplinare, per fare fronte a carichi di lavoro imprevisti;
- multidisciplinarietà, cioè variabilità dei compiti delle squadre.

7.2.1 Manutenzione Preventiva

La manutenzione preventiva del materiale rotabile viene eseguita in funzione dei chilometri percorsi e viene pianificata in modo che le vetture rientrino in officina per manutenzione ad intervalli omogenei in modo da garantire un impiego equilibrato del parco mezzi.

Per le infrastrutture (segnalamento, controllo e comando dei veicoli, alimentazione e energia di trazione, via di corsa, impianti di stazione, ecc.), le varie operazioni di manutenzione preventiva sono programmate a calendario oppure, nel caso, attuate in funzione di parametri di riferimento.

La manutenzione preventiva delle infrastrutture, tenuto conto degli obblighi in materia di sicurezza, si distingue in 2 tipologie:

- *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 toltà 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.

La manutenzione preventiva appena descritta è definita anche “**programmata**”, in quanto permette di monitorare costantemente lo stato funzionale di tutti gli organi del treno, di intervenire lì dove ci sono criticità mantenendo alta l'efficienza e l'affidabilità del rotabile, mediante procedure di controllo periodiche. Qualora durante un controllo dello stato di un componente, si riscontra che questo sia particolarmente degradato secondo quanto riportato dalle specifiche tecniche, o comunque tale da non garantire il buon funzionamento fino alla successiva finestra manutentiva, o addirittura si presenta in scadenza al momento del controllo allora si parla di manutenzione “**su condizione**”.

7.2.2 Manutenzione correttiva

Le attività consistono in una serie di operazioni volte al ripristino delle condizioni tecniche e funzionali del rotabile dopo l'accadimento di un guasto rimuovendo la situazione di avaria e quindi di indisponibilità. Le attività di manutenzione correttiva si riconducono essenzialmente alla tempestiva riparazione del guasto, anche se talvolta, qualora il guasto non fosse direttamente incidente sull'affidabilità del rotabile è preferibile demandare l'attività alla successiva sosta utile o finestra manutentiva al fine di non determinare l'indisponibilità operativa del rotabile per il servizio commerciale.

Il vero punto di forza sono le maestranze dei manutentori ferroviari che in ogni momento devono essere in grado di avere il giusto approccio sistemico con il tipo di avaria verificatasi al fine di rendere il rotabile disponibile e affidabile per il servizio commerciale.

7.2.3 Riduzione dei costi di manutenzione

La pianificazione ottimizzata della manutenzione su esposta aiuta a ridurre gli interventi manutentivi, a identificare proattivamente i problemi di servizio prima che si verifichino e a consentire gli aggiornamenti durante il ciclo di vita del veicolo. In poche parole, tale gestione ed organizzazione della manutenzione determina una **riduzione dei costi della stessa (circa il 18%)**, garantendo alti livelli di efficienza energetica, sicurezza, affidabilità, comfort per i passeggeri.

Nel bilancio complessivo dei costi contribuiscono inoltre i seguenti fattori:

- migliore accessibilità ai componenti critici
- facile comunicazione con i processori del sottosistema
- durata estesa della ruota
- soluzioni di controllo remoto degli interruttori idraulici-magnetici che eliminano la necessità della presenza sul sito

pagina **48** di 50

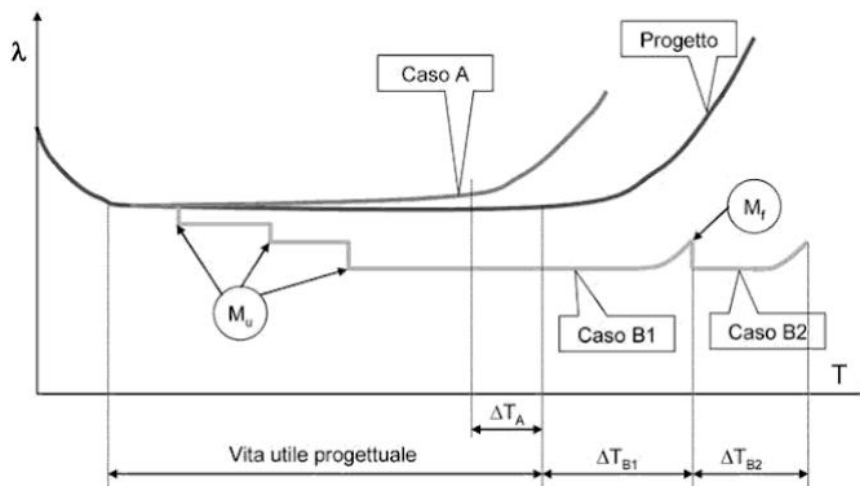
8.1 PROGETTO

La prima fase di intervento per influire sul ciclo di vita dell'infrastruttura tranviaria è la fase di Progettazione. La scelta dei parametri geometrici del tracciato (rettifili, raggi minimi di curvatura, tipologia di raccordi planimetrici, pendenze trasversale e longitudinali), la tipologia degli scambi, la qualità del materiale, sia rotabile che costruttivo delle opere in c.a., le tecnologie di protezione delle opere, sono tutti elementi da definire in sede di progettazione che influiscono fortemente sulla vita utile dell'infrastruttura. Dalla scelta di tutti i suddetti fattori progettuali viene definito il ciclo di vita utile del sistema tenendo in conto dell'evoluzione nel tempo dell'affidabilità e del tasso guasto.

Il concorrente, come già ampiamente illustrato nei capitoli precedenti, fornisce un progetto di elevata qualità tecnica e di scelta dei materiali più affidabili che consentono maggiore durabilità e minor oneri di manutenzione.

8.2 ESERCIZIO

Come già espresso in precedenza, il sistema (impianto, opera o macchina che sia) nasce dalla fase progettuale, con una propria curva specifica di "tasso di guasto", la quale è strettamente dipendente sia dai contenuti del progetto (resistenza dei materiali, tipologia delle lavorazioni, modalità di assemblaggio e di collaudo, ecc.) sia dalle condizioni di esercizio e di severità del processo costruttivo che in sede di progetto sono prefigurate (condizioni ambientali, cicli di manutenzione preventiva, ore di funzionamento, ecc.).



Se le condizioni di funzionamento durante il ciclo di vita sono più severe di quanto assunto in fase di progettazione la curva rappresentativa dell'affidabilità potrebbe risultare assai diversa da quella in progetto e quindi avere tassi di guasto maggiori e vita utile minore (caso A).

Un approccio standard alla manutenzione mediante interventi durante la vita utile del sistema (M_u) possono correggere alcuni dati progettuali e portare il sistema ad un inferiore tasso di guasto (caso B1). Nel caso in cui invece si sviluppi una "*pianificazione ottimizzata della manutenzione*", come proposta dal concorrente, l'esecuzione di interventi straordinari (M_f) prima della loro fine vita,

consentono di anticipare i guasti e/o malfunzionamenti per riportare il sistema in condizioni di stabilità e determinare significativi allungamenti del ciclo di vita utile (caso B2).

Il sistema offerto, sintetizzando quanto già detto in precedenza, fornisce le seguenti caratteristiche di manutenibilità:

- *Accessibilità*: è garantita la facilità di accesso ad ogni parte del sistema soggetto a riparazioni, ispezioni, revisioni, sostituzioni.
- *Estraibilità*: consta nella possibilità di effettuare lo smontaggio di una parte del sistema senza la necessità di smontare altre parti non direttamente interessate all'intervento.
- *Manipolabilità*: facilità di trasporto delle parti smontate oggetto di manutenzione.
- *Pulibilità*: facilità di raggiungere singole parti oggetto di pulizia.
- *Testabilità*: è consentito, con il supporto di strumentazione di misura installata direttamente a bordo del sistema o trasportabile ed allacciabile ad esso, di testare (collaudare) la funzionalità del sistema o di diagnosticare eventuali avarie delle componenti.
- *Intercambiabilità*: la possibilità di sostituire le parti smontate con parti intercambiabili, compatibili per forma e funzione assegnata.
- *Modularità*: consente la sostituzione di un assieme completo di componenti a bordo macchina e con personale anche non specializzato, anziché sostituire i soli componenti danneggiati, rimandando quindi ad una sola revisione in officina per la sostituzione degli stessi.

8.3 DISMISSIONE

La cultura della manutenzione intelligente induce a trovare le condizioni economiche e tecniche per rinnovare il sistema e riutilizzarlo, sia con la stessa funzione originale che come componente o materiale da costruzione.

Il sistema proposto dal concorrente risulta recuperabile del 99% alla fine del ciclo di vita.