
ANALISI DI UN SISTEMA DI TRASPORTO PUBBLICO A GUIDA VINCOLATA A SERVIZIO DI UN'AREA VASTA

Massimo Losa

Università di Pisa, Dipartimento di Ingegneria Civile - losa@ing.unipi.it

Marino Lupi

Università di Bologna, DISTART – marino.lupi@gmail.com

Ilenia Balderi

Ingegnere libero professionista - ilenia82@hotmail.it

ABSTRACT

I sistemi di trasporto pubblico a guida vincolata, avendo costi di investimento significativi, sono solitamente utilizzati per soddisfare la domanda di mobilità delle grandi aree metropolitane.

Negli ultimi anni, lo sviluppo di centri urbani limitrofi di medie dimensioni ha determinato la formazione di aree abitate molto estese risultanti dalla espansione di tali centri sino a formare degli agglomerati urbani senza soluzione di continuità. Tali realtà vengono chiamate “aree vaste” per indicare che si tratta di aree appartenenti a comuni diversi e fra le quali vi è una significativa interazione di tipo socio-economico.

In conseguenza di questa forte interazione, all'interno delle aree vaste si genera una domanda di mobilità considerevole, dovuta al fatto che un grande numero di passeggeri deve spostarsi su distanze di qualche decina di chilometri.

In questi contesti, un sistema di trasporto collettivo a guida vincolata può diventare competitivo rispetto ad un tradizionale sistema di trasporto su gomma.

L'obiettivo del lavoro proposto è l'analisi delle caratteristiche, dei problemi di progetto e della convenienza finanziaria di un sistema di trasporto pubblico di massa a guida vincolata che si sviluppa in parte su linea tranviaria e in parte su linea ferroviaria a servizio di una “area vasta”.

L'analisi è stata eseguita su un caso prototipale, individuato per l'area vasta formata dalle città di Pisa e Livorno, per cui è proposto un veicolo innovativo, il tram-treno, in grado di circolare sia su binari ferroviari sia tranviari.

In questo lavoro, sulla base di un'analisi della domanda di mobilità all'interno dell'area vasta, sono state individuate le parti del territorio da servire con il nuovo sistema di trasporto e sono state definite le caratteristiche progettuali del sistema. Per valutare la redditività della gestione del nuovo sistema di trasporto è stata eseguita un'analisi finanziaria che, in particolare, ha messo in evidenza i valori positivi del margine operativo lordo.

Parole chiave: sistemi a guida vincolata, tram-treno, analisi finanziaria.

1. INTRODUZIONE

In considerazione delle sempre crescenti problematiche connesse all'uso dell'energia, si rende necessario contribuire al trasferimento di quote significative della domanda da sistemi di trasporto individuale a sistemi di trasporto collettivo a basso consumo energetico (per pass-km) che, in particolare, sono quelli che utilizzano veicoli a guida vincolata su ferro con basse resistenze al moto per unità di peso.

Nella prospettiva della sostenibilità ambientale, inoltre, i sistemi di trasporto collettivo a guida vincolata su ferro contribuiscono in modo significativo anche alla riduzione di emissioni di inquinanti essendo, quasi esclusivamente, a trazione elettrica.

In tale contesto, bisogna però rilevare che i sistemi di trasporto pubblico di massa a guida vincolata sono caratteristici dei centri urbani di grosse dimensioni dove l'entità della domanda di trasporto, le distanze da coprire, l'esigenza di spostamenti rapidi che non interferiscano con il traffico urbano individuale rendono tali sistemi l'unica soluzione percorribile. In ambito urbano si pongono inoltre numerosi vincoli sulla disponibilità di spazi in superficie adeguati alla realizzazione delle infrastrutture di tali sistemi di trasporto che rendono necessario il ricorso a soluzioni costose, in sotterraneo o in sopraelevata, per evitare l'interferenza con il traffico individuale stradale.

Nei centri urbani di medie dimensioni, per i sistemi di trasporto collettivo si utilizzano solitamente veicoli su gomma per il fatto che vengono meno alcuni dei requisiti esposti in precedenza: si hanno entità della domanda e distanze di spostamento ridotte; inoltre, in particolare in passato, risultavano accettabili le interferenze con il traffico individuale privato. Il collegamento tra i vari centri urbani, anche limitrofi, viene realizzato, solitamente, in parte su gomma e in parte per ferrovia tradizionale.

Negli ultimi anni, l'espansione dei centri urbani di medie dimensioni ha determinato la creazione di agglomerati di dimensioni maggiori tra i quali si verificano spostamenti giornalieri di entità considerevole che, diversamente da quanto succedeva anni addietro, non hanno più origine e destinazione nelle aree centrali delle varie aree urbane, ma sono distribuiti lungo il collegamento tra gli stessi centri urbani e hanno origine e destinazione in aree più periferiche.

In tal modo si generano nuovi centroidi di origine/destinazione, nei quali si concentra una quota significativa della domanda di trasporto, che devono essere collegati ai nuclei urbani originari e fra loro.

Per soddisfare le nuove esigenze di mobilità prodotte da queste trasformazioni urbanistiche (che per di più oggi si verificano con maggiore rapidità rispetto al passato) il sistema di trasporto collettivo, a servizio di una "area vasta", deve avere delle caratteristiche di flessibilità, ma anche di livello di servizio, che i trasporti collettivi tradizionali, divisi rigidamente in trasporti urbani ed extraurbani, non hanno.

In questo studio viene presentata un'analisi svolta per definire le caratteristiche principali di un sistema di trasporto collettivo a guida vincolata che soddisfi i requisiti di flessibilità prima richiamati e, in particolare, pensato per poter servire l'"area vasta" costituita dalle città di Pisa e Livorno. Lo studio, dopo una breve introduzione sulle principali caratteristiche dei più diffusi sistemi di trasporto collettivo urbano, esamina le caratteristiche principali del sistema prescelto: il "tram-treno". Successivamente sono esaminate le caratteristiche e le esigenze di domanda di

trasporto del territorio di cui si è tenuto conto per effettuare la scelta del sistema più adatto al particolare contesto e per definirne il “layout”. Individuate le caratteristiche del sistema, è stata sviluppata un’analisi finanziaria per valutare i principali parametri di redditività dell’investimento.

2. I SISTEMI DI TRASPORTO PUBBLICO A GUIDA VINCOLATA

I più diffusi sistemi di trasporto collettivo urbano a guida vincolata, fra quelli entrati in esercizio nei recenti decenni, possono essere raggruppati in 3 categorie principali: Metrotranvia (tranvia moderna), ferrovia urbana e metropolitana, metropolitana.

2.1 Tranvia moderna (metrotranvia)

È un sistema di trasporto a guida vincolata, prevalentemente in sede riservata, con vari gradi di protezione possibili (semplice striscia, cordolo, muretto, sede parallela a quella stradale ma completamente distinta), con eventuali realizzazioni anche in tratte suburbane. Rispetto alla tramvia tradizionale consente velocità commerciali maggiori e ha una capacità di linea superiore grazie ad adeguati provvedimenti atti a ridurre le interferenze del sistema con il restante traffico veicolare e pedonale (per esempio sistemi elettronici di priorità semaforica). All’interno di questa categoria possono rientrare sia i tram “moderni” ma di concezione più tradizionale, “tram su ferro”, sia quelli di tipo ibrido o sperimentale, detti “tram su gomma”.

Tram su ferro

Il tram su ferro rappresenta uno dei veicoli più antichi utilizzati per il trasporto pubblico di massa nei centri urbani; oggi, tali veicoli hanno subito profonde trasformazioni che ne hanno determinato un notevole successo: tanto che la tramvia è forse il sistema di trasporto collettivo di tipo vincolato più diffuso nel mondo. Le ragioni di questo successo sono molteplici ma, principalmente, legate alle caratteristiche tecniche dei nuovi tram.

Dal punto di vista della gestione, i moderni tram hanno capienze fino quattro volte maggiori degli autobus ed, essendo modulari, permettono di sopperire ai momenti di punta della domanda aggiungendo altre carrozze. Ciò consente di conseguire un risparmio nell’utilizzo di personale che, incidendo per il 70% sui costi di gestione, si traduce in risparmi economici sensibili.

Tram su gomma

Il tram su gomma è un mezzo flessibile che può funzionare in modalità vincolata (ne consegue una notevole affidabilità e precisione per l’accesso alle fermate e una minimizzazione dell’ingombro della via di corsa) e non vincolata (in modo simile al filobus). Le tipologie più diffuse sono le seguenti:

- tram su gomma a guida meccanica: il supporto del veicolo è affidato a ruote in gomma mentre la guida è assicurata da un’unica rotaia centrale (per esempio sistema “Translohr”);
- tram su gomma a guida ottica: la rotaia è virtuale, ossia è realizzata con una apposita vernice (doppio tratteggio ravvicinato, letto da una telecamera presente a bordo). La

- guida può essere automatica o semiautomatica (per esempio sistema “Civis”);
- tram su gomma a guida magnetica: anche qui la rotaia è virtuale, ma è realizzata con talloncini magnetici localizzati, ogni 4-5 metri, lungo la traiettoria e collocati nel manto stradale. In maniera simile al caso ottico, la guida può essere automatica o semiautomatica (per esempio sistema “Phileas”).

2.2 Ferrovia urbana e metropolitana

Le ferrovie urbane e metropolitane sono sistemi di trasporto a guida vincolata, generalmente in sede riservata e protetta, spesso costituiti, almeno in parte, da linee ferroviarie extraurbane o suburbane esistenti che vengono estese all’interno dell’ambito urbano tramite una capillarizzazione del servizio. Nell’ambito di questa categoria di trasporto collettivo urbano (metropolitano) ha ricevuto notevole attenzione, in anni recenti, il cosiddetto “tram-treno”.

Tram- treno

Con il termine “tram-treno” si definisce una famiglia di rotabili che, in ambito periferico, effettuano servizio su tratte ferroviarie tradizionali mentre, in ambito urbano, mediante opportuni raccordi, possono circolare su normali binari tranviari, costituendo di fatto un’estensione e “diffusione” dei collegamenti ferroviari esistenti. In tal modo, essi riescono a servire in modo capillare i centri urbani e a collegare fra di loro agglomerati distanti, riducendo drasticamente le rotture di carico che si verificano quando il servizio ferroviario viene attestato in una stazione di interscambio con la rete tranviaria cittadina.

In generale, il rilancio del trasporto pubblico su ferro, favorito dai progressi della tecnologia tranviaria, ai quali si aggiunge la capacità di utilizzare tratte ferroviarie esistenti e di riqualificare secondo un uso urbano zone periferiche, ha contribuito in maniera determinante allo sviluppo dei sistemi interoperabili tram-treno.

2.3 Metropolitana

È un sistema a guida vincolata in sede esclusiva (completa assenza di interferenze con altre correnti veicolari o pedonali); nella quasi totalità dei casi la linea è in galleria o viadotto. Le nuove linee di metropolitana costruite negli ultimi anni appartengono, soprattutto, al modello di metropolitana detta “leggera”, in cui i veicoli sono di limitata capacità e ingombro, ma caratterizzati da una significativa frequenza di esercizio (per esempio sistema “Val”).

3. CRITERI DI SCELTA DEL SISTEMA DI TRASPORTO PUBBLICO PIÙ ADATTO AL CONTESTO ESAMINATO

La scelta del sistema di trasporto pubblico è stata condotta partendo dalle caratteristiche del territorio, in particolare di domanda di trasporto e di dotazione infrastrutturale, che costituisce l’“area vasta” formata dalle città di Pisa e Livorno.

La principale difficoltà che si incontra quando si vuole prevedere un sistema di trasporto collettivo a guida vincolata in una città storica è costituita dai vincoli presenti in superficie per la carenza di spazi che possano essere dedicati alla realizzazione

dell'infrastruttura in sede propria. Come tutte le città storiche, sia Pisa che Livorno sono caratterizzate dalla presenza della linea ferroviaria, che le attraversa in zone centrali e che costituisce un corridoio preferenziale per la realizzazione di un sistema di trasporto collettivo a guida vincolata che serva la città senza interferire con il tessuto urbano.

Un'altra particolarità del territorio esaminato è costituita dalla presenza, senza soluzione di continuità, di insediamenti, di varia natura e densità, che si sviluppano sul litorale fra le due città. Il litorale costituisce un'area a forte domanda di spostamenti nel periodo estivo, ma anche a domanda sostenuta e crescente nel periodo invernale. "Centroidi" a forte domanda e in grossa espansione, in origine e destinazione, sono inoltre l'Aeroporto di Pisa e la stazione marittima di Livorno, che è localizzata nelle vicinanze dei moli dove avvengono gli attracchi delle grosse navi da crociera.

Dall'analisi della domanda di trasporto nel territorio, ma anche dell'offerta (linee ferroviarie esistenti) emerge quindi l'esigenza e l'opportunità di collegare con un sistema di trasporto collettivo a guida vincolata queste aree a forte domanda di spostamenti utilizzando parte delle linee ferroviarie esistenti che collegano già la stazione di Pisa Centrale con la stazione di Pisa Aeroporto e che, mediante la realizzazione di alcuni nuovi bracci di limitata estensione, potrebbero collegare queste ultime alla stazione di Livorno Calambrone e alla stazione marittima di Livorno. In considerazione delle caratteristiche prima descritte, di domanda e di offerta di trasporto, il sistema di trasporto più adatto per realizzare tale collegamento è proprio il tram-treno.

La scelta del sistema tram-treno ha inoltre permesso di prevedere nel tratto extraurbano, tra Pisa e Marina di Pisa, una nuova sede ferroviaria che consente maggiori velocità di esercizio rispetto alla linea tranviaria prevista in ambito urbano.

I motivi per cui si è preferito adottare un "tram-treno" rispetto ad un "tram su gomma" (altra ipotesi considerata che ha recentemente trovato un certo successo in altre città italiane) sono sostanzialmente di ordine psicologico, economico e tecnico.

Dal punto di vista psicologico, è stato osservato che l'utente sceglie di utilizzare un modo di trasporto alternativo all'auto privata se esso è competitivo e affidabile. Il sistema che utilizza il "tram-treno", essendo l'infrastruttura in sede propria, non ha interferenze con il traffico urbano, e risulta, agli occhi dell'utente, più affidabile rispetto ad un sistema che utilizza un "tram su gomma".

Dal punto di vista economico, potendo utilizzare in gran parte le infrastrutture ferroviarie esistenti, a parità di sviluppo complessivo, il sistema con "tram-treno" costa di meno di un sistema con "tram su gomma".

Dal punto di vista tecnico, l'esperienza ha messo in evidenza che il "tram su gomma" presenta problemi di svio in curva quando è senza alimentazione aerea. Questa circostanza può verificarsi soprattutto in ambito urbano, laddove può risultare problematico realizzare la linea di alimentazione aerea e il tram funziona con alimentazione diesel-elettrica.

4. CARATTERISTICHE TECNICHE DEL SISTEMA CON VEICOLO TRAM-TRENO

Il tipo di tram-treno scelto, nell'ambito di questo studio, è il Siemens Avanto.

Le principali caratteristiche tecniche del sistema, che ne costituiscono anche la peculiarità, vengono descritte qui di seguito riferendosi alle principali problematiche

poste dalla realizzazione di un sistema che utilizza un veicolo tipo tram-treno.



Figura 1 - Veicolo tram-treno Siemens Avanto

4.1 Scartamento

Lo scartamento dell'armamento deve, ovviamente, essere lo stesso sia per l'infrastruttura tranviaria sia per quella ferroviaria; nel caso di infrastrutture esistenti con scartamento diverso, si può prevedere l'installazione di una terza rotaia o di un binario a quattro rotaie.

Nel caso specifico dello studio, trattandosi di una nuova linea tranviaria che si innesta su una linea ferroviaria esistente, si è ipotizzato di adottare lo scartamento ferroviario, pari a 1435 mm, anche per la linea tranviaria.

4.2 Profilo dei cerchioni e delle rotaie

Il profilo trasversale dei cerchioni dei veicoli ferroviari è notoriamente diverso da quello dei veicoli tranviari (larghezza del cerchione, conicità). Le differenze nel cerchione tranviario sono necessarie per poter adattare il profilo alla forma e alla dimensione della gola delle rotaie tranviarie, che è relativamente stretta per evitare problemi agli utenti deboli della strada.

Anche il diametro delle ruote del tram è normalmente più piccolo, di solito compreso tra 500 e 750 mm, ma può essere anche minore (fino a 375 mm) su alcuni moderni veicoli a piano ribassato. Il profilo della ruota di un veicolo tipo tram-treno è particolare proprio perché deve adattarsi a due diversi tipi di rotaia, minimizzando rumorosità, usura e strisciamenti.

In particolare, le ruote dell'Avanto (Fig. 2) hanno una sagoma tale da poter essere accoppiate sia con una rotaia a fungo (UIC 60 o 50) sia con una rotaia a gola in completa sicurezza. Per le rotaie a gola si è ipotizzata l'adozione della tipologia RI 59 N in rettilineo e PH 37 in curva (fig. 3), aventi altezza pari a 180 mm, che ben consentono anche il transito di un rodiggio ferroviario.

4.3 Sagoma del veicolo

Un veicolo tranviario, rispetto ad un rotabile ferroviario, notoriamente ha una sezione trasversale di dimensioni inferiori che determina problemi di accoppiamento fra questi veicoli e le normali banchine ferroviarie. Le recenti banchine "alte" (600 mm dal piano

del ferro a livello europeo, 550 mm in Italia) sono poste ad una distanza dall'asse del binario pari a 1650 mm; la maggior parte dei tram in servizio negli ultimi dieci anni ha una larghezza uguale od inferiore a 2400 mm, risultando incompatibili con le dimensioni delle banchine ferroviarie.

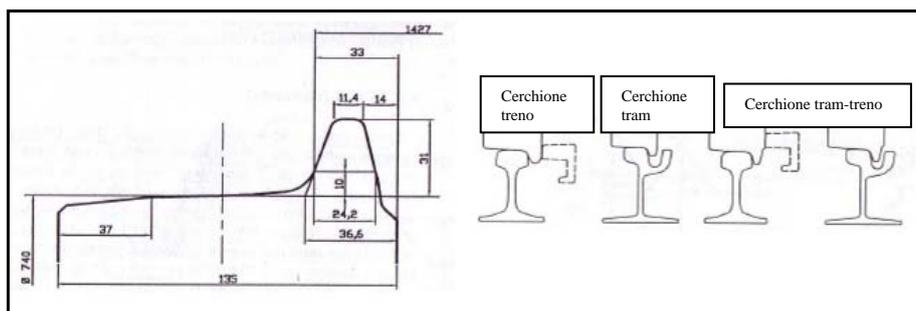


Figura 2 - Cerchione tram-treno e particolare dell'accoppiamento con le rotaie

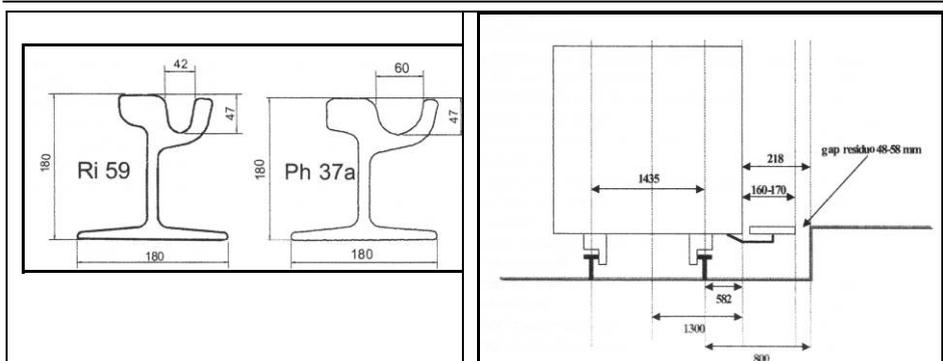


Figura 3. Rotaia a gola

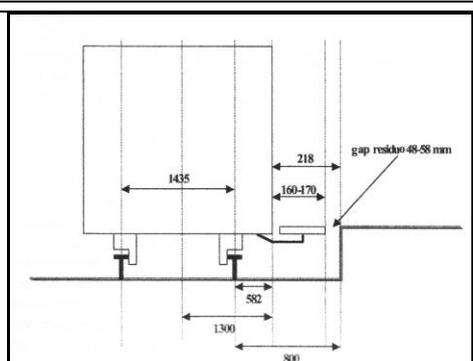


Figura 4. Dimensioni trasversali del tram-treno e della banchina

La sezione trasversale del veicolo "Avanto" ha una larghezza pari a 2650 mm in modo da avvicinare il bordo del veicolo alla banchina ferroviaria. Lo spazio orizzontale rimanente viene coperto con pedane retrattili solidali al veicolo e azionate dal conducente. Con l'adozione della sagoma maggiorata, la lunghezza delle pedane retrattili è inferiore a 180 mm che costituisce il limite al disotto del quale non si presentano problemi di natura meccanica per la loro realizzazione (fig. 4).

4.4 Resistenza strutturale

Il problema della resistenza strutturale del veicolo è legato al diverso valore di resistenza all'urto fissato dalle normative per i rotabili ferroviari e per quelli tranviari. Nel primo caso, le norme UIC richiedono una resistenza al tamponamento pari a 1500 kN mentre, ad esempio, i tram francesi convenzionali possono sopportare 200 kN e i tram-treni usati in Germania 600 kN. Risulta evidente che voler adottare il limite previsto per i veicoli ferroviari anche per quelli tranviari significa realizzare dei veicoli

più pesanti a discapito delle prestazioni.

Una possibile soluzione è quella di incrementare la cosiddetta sicurezza “attiva”, intesa come presenza di apparati di segnalamento atti a prevenire le collisioni. In pratica il problema viene risolto mediante un’analisi del rischio finalizzata a verificare che il sistema venga progettato e gestito in modo tale che il livello di rischio a cui sono esposti i passeggeri sulla linea tranviaria sia lo stesso di quello sulla linea ferroviaria.

4.5 Sistemi di alimentazione elettrica

Le reti tranviarie hanno sistemi di alimentazione differenti da quelli adottati in ambito ferroviario. Le tranvie esistenti sono alimentate in corrente continua con una tensione di 0.6 kV/0.75 kV mentre in ambito ferroviario si hanno reti in corrente continua con tensione di 1.5 kV/3 kV oppure in corrente alternata con tensione di 15 kV e frequenza 16+2/3 Hz o tensione di 25 kV e frequenza di 50 Hz. Ulteriori problemi si pongono nei confronti degli organi di presa della corrente, per i quali occorre valutare se utilizzare un singolo pantografo, in grado di interagire con entrambe le linee di contatto, oppure due pantografi distinti da azionare separatamente a seconda della rete di alimentazione.

Nel caso in esame, si è ipotizzato di estendere l’alimentazione ferroviaria a 3 kV in CC anche sulla linea tranviaria; in questo modo si ottiene una riduzione dei costi di investimento non essendo necessario l’inverter a bordo dei veicoli.

L’altezza della linea di contatto dal piano del ferro sarà pari a 5,20 m in ambito ferroviario e a 5,60 m in ambito tranviario.

4.6 Sistemi di sicurezza e segnalamento

I sistemi di segnalamento e sicurezza sono anch’essi diversi. In genere, sulla rete tranviaria l’agente di guida, stante le ridotte velocità e la promiscuità con il traffico veicolare, regola la marcia del rotabile a vista, senza l’ausilio di particolari sistemi di sicurezza. In ambito ferroviario, invece, il distanziamento tra i veicoli è regolato mediante appositi sistemi di segnalamento che possono avere un livello di automatizzazione più o meno spinto.

Nel sistema tram-treno, il segnalamento deve essere doppio e il macchinista deve essere abilitato ad entrambe le tipologie di guida. Allo stesso tempo, i veicoli devono essere equipaggiati con i sistemi necessari a dialogare con entrambi i tipi di segnalamento.

In sintesi, i principali aspetti positivi di questo sistema di trasporto sono:

- riduzione dei costi di investimento per la possibilità di utilizzare infrastrutture esistenti, in esercizio o dismesse, con il conseguente vantaggio di ridurre il consumo di aree urbane;
- possibilità di aumentare il numero di stazioni lungo la linea ferroviaria, migliorando l’accessibilità al sistema, mantenendo gli stessi tempi di percorrenza o, addirittura, diminuendoli per effetto delle migliori prestazioni dei moderni sistemi tranviari;
- riduzione dei tempi di percorrenza rispetto al sistema su gomma;
- maggior frequenza e puntualità del sistema tranviario rispetto a quello ferroviario con riduzione dei tempi di attesa;
- estrema flessibilità e adattabilità dei sistemi tram-treno in grado di circolare nelle zone pedonali coesistendo armoniosamente con i pedoni e riuscendo facilmente a

superare curve piuttosto strette, per poi percorrere linee ferroviarie tradizionali e tratti su tracciati urbani in sede protetta;

- una tariffazione integrata, abbinata al sistema interoperabile urbano, ne rende l'utilizzo semplificato ed elimina i tempi di attesa e di accesso;
- riduzione dei costi di esercizio e maggiore flessibilità rispetto ai veicoli ferroviari, essendo necessario un solo operatore a bordo ed essendo semplice variare la composizione dei convogli dotando i veicoli di sistemi ad "aggancio automatico".

Le problematiche da risolvere sono invece dovute al fatto che l'implementazione di un sistema tranviario interoperabile tipo tram-treno è complessa, dal momento che occorre considerare aspetti tecnologici, economici, amministrativi, normativi e politici. Uno dei principali problemi da affrontare è quello di adattare il modello alle realtà locali, per cui sono essenziali uno scambio di esperienze, per trovare le soluzioni ottimali possibili e ampliare il "know-how" a livello europeo favorendo lo sviluppo del concetto di trasporto sostenibile.

5. STIMA DELLA DOMANDA DI TRASPORTO

La stima della domanda di trasporto è stata eseguita sulla base delle seguenti ipotesi:

- l'utenza della linea del sistema di trasporto pubblico su gomma, che collega Pisa al Litorale, si riversi totalmente sul nuovo sistema;
- una quota degli utenti che utilizzano il sistema privato sulla direttrice del Litorale (Viale del Tirreno), si trasferisca sul sistema di trasporto pubblico;
- i nuovi insediamenti turistici, in previsione nell'area del Litorale, contribuiscano a generare un'incremento della domanda di trasporto collettivo.

La stima è stata eseguita facendo riferimento a 3 scenari: "basso", "medio" e "alto", corrispondenti alle ipotesi che gli spostamenti privati che si trasferiscono al sistema pubblico siano rispettivamente pari al 10%, 20% e 30% del totale.

A seconda dello scenario ipotizzato, si ottiene il numero di utenti giornalieri del nuovo sistema di trasporto pubblico riportato nella tabella 1.

Tabella 1- Domanda di trasporto stimata

Scenario	Basso	Medio	Alto
Utenti/giorno	7525	9805	12095

6. CARATTERISTICHE DELL'INFRASTRUTTURA

La configurazione finale dell'infrastruttura del sistema di trasporto collettivo a guida vincolata, oggetto dello studio, è rappresentato nella figura 5. Essa costituisce un anello, il cui sviluppo complessivo è pari a 45,522 km, dei quali 12,311 km sono costituiti da binari tranviari (attraversamento delle aree urbane del Litorale) e 33,211 km da binari ferroviari in gran parte esistenti (21,058 km).

La linea è a singolo binario; su di essa sono previste 32 fermate (in alcune di esse è prevista la possibilità di effettuare incroci e/o precedenze) e i veicoli circolano in entrambi i sensi di marcia.

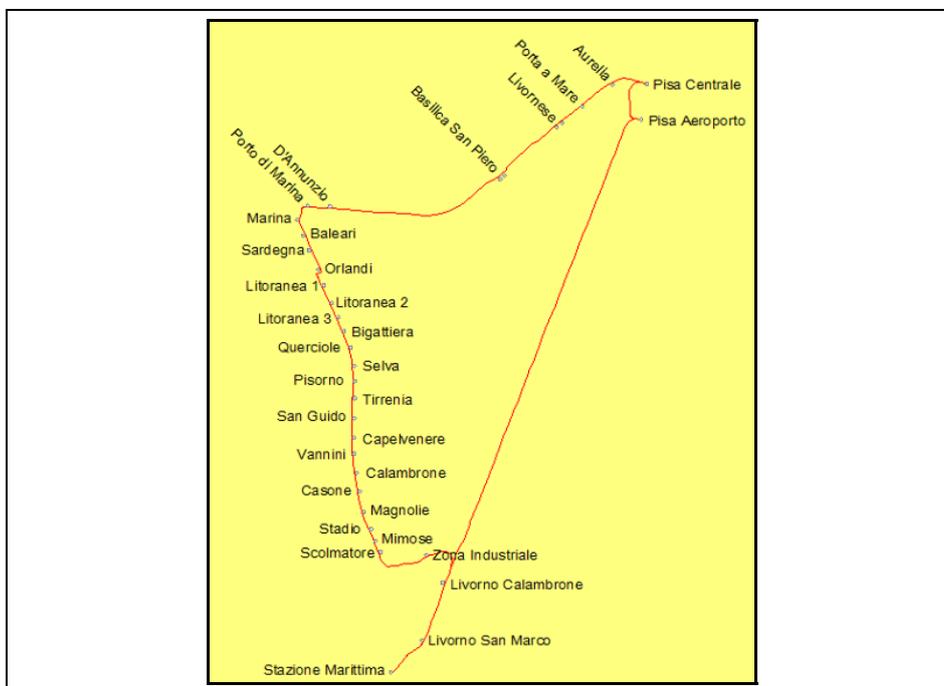


Figura 5. Planimetria dell'infrastruttura

7. ANALISI FINANZIARIA

Nello studio ci si è proposti di valutare, da un punto di vista finanziario, la redditività dell'investimento necessario per realizzare un sistema di trasporto collettivo a guida vincolata che utilizza veicoli tipo tram-treno.

In realtà, nella scelta degli investimenti infrastrutturali assume particolare importanza la valutazione del progetto secondo un'ottica più ampia: non strettamente legata al solo punto di vista del gestore come avviene in un'analisi finanziaria. Il progetto produce infatti cambiamenti ed effetti indotti sul tessuto sociale e sullo sviluppo dell'"area vasta" Pisa-Livorno ma, ovviamente, tali aspetti si valutano mediante un'analisi economica, e non strettamente finanziaria, più complessa e che tenga conto, in particolare, anche delle esternalità che sono sempre più determinanti nella decisione di costruire o meno un sistema di trasporto collettivo.

Tali valutazioni però esulano dall'obiettivo di questo lavoro, che è invece finalizzato alla valutazione del sistema da un punto di vista strettamente finanziario mentre l'analisi economica potrà essere oggetto di un futuro sviluppo dello studio.

L'analisi finanziaria è stata sviluppata tenendo conto dei costi d'investimento (realizzazione dell'infrastruttura e acquisto dei veicoli) e dei costi d'esercizio (manutenzione veicoli e linea, ammortamento dei costi di costruzione e dei veicoli, personale, energia).

Ai fini dell'analisi, è stato ipotizzato che il 30% del costo sia coperto con finanziamenti pubblici, mentre il restante 70% provenga da finanziamenti privati che

devono essere recuperati con la gestione del sistema di trasporto.

Tabella 2 - Costi di investimento

Descrizione	Quantità	Costo unitario	Costo totale (M€)
Linea tranviaria	12,311 km	12,5 M€/km	153,9
Linea ferroviaria	10,277 km	16,0 M€/km	164,4
Opere d'arte	0,216 km	37,5 M€/km	8,1
Mezzi	12	4,5 M€	54,0
			380,4

Il numero di mezzi necessari per l'esercizio è stato determinato ipotizzando un numero di corse giornaliere pari a 60, suddivise in 12 ore di morbida con una frequenza di una corsa ogni 20' e 4 ore di punta con una frequenza di una corsa ogni 10'.

Il numero di corse giornaliere è stato utilizzato per calcolare il costo di esercizio del sistema tenuto conto che per un sistema di trasporto con veicoli tipo tram-treno esso è stimabile in 5 euro/km. Considerato poi che la linea è a binario unico, saranno necessarie maggiori risorse per l'organizzazione e la gestione della circolazione che comportano un incremento del costo di esercizio stimabile pari a circa il 20%.

Il costo di esercizio, tenuto conto che lo sviluppo della linea è pari a 45,522 km, risulta pari a circa 12 M€/anno.

La stima dei ricavi è stata eseguita considerando un prezzo medio del biglietto pari a € 2,30, dal quale risulta un ricavo di circa 16,7 M€/anno nell'ipotesi prevista nello scenario medio di 9800 utenti giornalieri, ciascuno dei quali effettui 2 corse/giorno.

L'analisi finanziaria è stata eseguita ipotizzando che i tempi necessari per la realizzazione dell'infrastruttura siano pari a 4 anni e che la vita utile del sistema sia pari a 50 anni, con un tasso di inflazione annuo pari a 1,5% e un tasso di attualizzazione annuo pari al 5%.

I risultati dell'analisi eseguita sulla base delle ipotesi ora descritte evidenziano che:

- il Valore Attuale Netto (VAN) dell'investimento è pari a circa -143 M€ e quindi, essendo negativa la ricchezza incrementale generata dall'investimento, esso non è redditizio;
- il Margine Operativo Lordo (MOL), differenza tra i ricavi totali (ricavi da circolazione) e i costi di gestione, è sempre positivo evidenziando che i costi di gestione vengono coperti dai ricavi.

Le variazioni annuali del MOL e del VAN sono rappresentate nelle figure 6 e 7.

È opportuno sottolineare che, in genere, nel caso di investimenti i cui costi di realizzazione risultano molto elevati, gli indicatori di valutazione, come il VAN, presentano valori negativi. Questo è essenzialmente dovuto al fatto che non si riuscirà mai a recuperare il costo di costruzione nella vita utile dell'opera. Se si analizza invece il MOL si comprende che il progetto riesce a generare ricchezza: infatti si recuperano bene i costi di gestione in ogni anno della vita utile e, inoltre, ogni anno avanza una quota di ricavi che va a compensare l'esborso iniziale del costo di costruzione.

In ogni caso, bisogna tener conto che a fronte di un VAN negativo vi sono benefici che non sono considerati nell'analisi finanziaria, ma che diventano importanti quando si esegue l'analisi economica che è, attualmente, per ragioni socioeconomiche ed

ambientali, alla base delle scelte di nuovi investimenti nel settore dei trasporti collettivi.

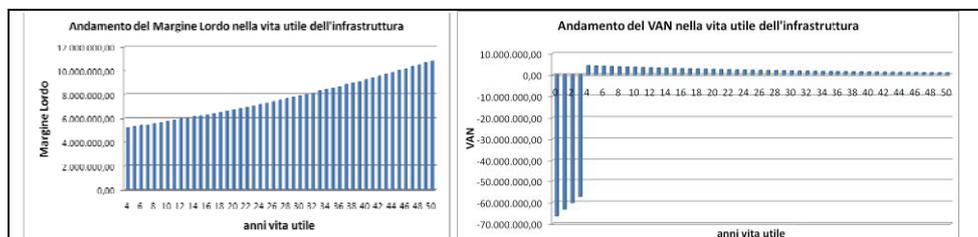


Figura 6. Margine Operativo Lordo

Figura 7. Valore Attuale Netto

8. CONSIDERAZIONI FINALI

In questa memoria sono stati evidenziati i principali fattori da considerare nella scelta di un sistema di trasporto collettivo a servizio di un'area vasta". Nel caso particolare, dell'area vasta Pisa-Livorno, soprattutto per gli aspetti connessi ai caratteri del territorio, è risultato che un sistema a guida vincolata su ferro, che utilizzi veicoli tipo tram-treno, è particolarmente adatto a soddisfare le esigenze di mobilità del territorio. L'analisi finanziaria ha evidenziato che un tale sistema di trasporto: se da un lato consente di recuperare i costi di gestione, risultando positivo il MOL, dall'altro appare non redditizio, se si considerano i costi di investimento, essendo il VAN negativo.

Per esprimere però un giudizio globale sull'opportunità di realizzare un tale sistema di trasporto, bisogna tener conto, mediante un'analisi economica, che esula dagli scopi di questo lavoro, di alcuni rilevanti benefici prodotti (di cui non si tiene conto nell'analisi finanziaria) che possono essere, sinteticamente individuati in:

- risparmio del costo di trasporto per gli utenti;
- riqualificazione urbanistica dell'ambito urbano e suburbano ;
- riduzione dell'inquinamento acustico e atmosferico;
- riduzione dell'incidentalità.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- TAROZZI, M. (2005) – “Le metrotramvie in Europa” - Le Strade n. 9;
 TAROZZI, M. (2006a) – “Tram su gomma: prime esperienze europee” - Le Strade n. 3;
 TAROZZI, M. (2006b) – “Trasporti urbani a monorotaia” - Le Strade n. 6;
 NOVALES, M., BUGARIN, M., ORRO, A. (2001) – “Un nuovo concetto nel trasporto urbano: il tram-treno” - Ingegneria Ferroviaria n. 10;
 CESETTI, F., CORSI, M. (2001) – “La metrotranvia di Palermo: gli elementi del progetto di sistema e cenni del progetto definitivo” - Ingegneria Ferroviaria n. 10;
 ALESSANDRI, A. (2005) – “Il modello tram-treno: oltre la sperimentazione” - Ingegneria Ferroviaria n. 9;
 ISFORT (2006) – “Trasporto su ferro scelta di sistema” - Trasporti Pubblici n. 11;
 METRO REPORT (2005) e (2006) – A Railway Gazette Publication;
 HONDIUS, H. (2007) – “Paris projects PROSPER despite diversity” - Railway Gazette international, n. 10.