

Il tram-treno sulla rete TPL a scartamento ridotto della Sardegna: vantaggi e problematiche applicative

Tramtrain operation on Sardinia's narrow gauge local railway network: advantages and implementation problems

Mario Olivari, Dipartimento Ingegneria del Territorio, Università di Cagliari

Il report intende fare il punto sugli aspetti tecnici ed economici dell'esercizio di linee di trasporto pubblico locale tranviarie e ferroviarie con veicoli bimodali quali i tramtreno, diffusi in Germania in diverse aree urbane interessate da linee tranviarie e ferroviarie di ambito regionale. Vengono esaminati analiticamente i punti di forza dei nuovi mezzi e le problematiche che insorgono, specie in Italia, per la loro omologazione sulle tratte tranviarie urbane, ove il mezzo marcia in modo tram, e su quelle extraurbane ferroviarie ove il mezzo marcia in modo treno. Nella seconda parte del report viene prospettata un'applicazione di gestione di linee di TPL con un sistema misto metrotram/tramtreno nelle aree metropolitane delle città di Cagliari e Sassari le quali, avendo linee tranviarie urbane e linee ferroviarie extraurbane integrate nello scartamento e nei collegamenti, si prestano all'applicazione di un tipo di esercizio misto metrotram/tramtreno.

The aim of this report is to outline the economic and technical aspects of mass transit operation using bimodal vehicles such as tramtrains, popular in several urban areas in Germany where tramway and regional rail networks coexist. The advantages of these new vehicles are analytically investigated as well as the problems related with type-approval, especially in Italy, for tramtrain operation on urban tram-ways and on non-urban railways.

The second part of the study describes a potential application of local mass transit using a mixed metrotram/tramtrain system in the metropolitan areas of Cagliari and Sassari: these two cities are both equipped with urban tramway and suburban railway networks sharing common gauges and links, well-suited to operation of a mixed metrotram-tramtrain system.

Il tram-treno è un mezzo di trasporto collettivo a guida vincolata atto a collegare la città al suo territorio utilizzando sia la rete urbana marciandovi con caratteristiche tranviarie (velocità $\approx 60\text{km/h}$), sia la rete ferroviaria marciandovi con caratteristiche ferroviarie (velocità $\approx 100\text{km/h}$), senza rotture di carico.

Elemento chiave di un sistema di trasporto collettivo basato sul tram-treno è la possibilità di offrire una connessione diretta dell'hinterland con il centro cittadino eliminando gli interscambi fra treno e mezzo urbano; ciò rende il servizio di trasporto con tram-treno gradito all'utente, ad elevata accessibilità, competitivo ed efficiente.

Ove si rilevino le appropriate condizioni di infrastrutturazione e di domanda è auspicabile uno studio di fattibilità che verifichi la possibilità di servire l'utenza extraurbana e quella urbana con un sistema di trasporto integrato che coniughi al meglio il modo tranviario con il modo ferroviario con un unico mezzo: il tram-treno. Questo mezzo di trasporto collettivo, completamente nuovo per l'Italia, offre ai pianificatori un modo innovativo di organizzare e pensare il servizio di trasporto di massa per le aree metropolitane a bassa densità insediativa: infatti tale sistema di trasporto

offre numerosi aspetti positivi:

- aumenta l'offerta del trasporto collettivo pubblico
- ottimizza l'utilizzo delle infrastrutture ferrotranviarie esistenti o dismesse
- rende fruibile la città nei suoi ambiti più suggestivi con veicoli dotati di grandi vetrate panoramiche
- incentiva l'attrazione commerciale della città mantenendo in superficie (anziché interrarle in galleria) grandi quantità di flussi di persone (2000-3000pax/h-sdm)
- minimizza l'impatto ambientale: la propulsione elettrica evita la produzione di emissioni inquinanti; nuovi metodi di posa dell'armamento e dell'alimentazione elettrica (APS)⁽¹⁾, evitano vibrazioni, rumorosità ($\approx 20\text{dB}$ meno dei bus) e impatto visivo in area urbana.

Inoltre le ricadute positive sull'organizzazione e gestione del trasporto collettivo locale sono molteplici, quali:

- **riduzione dei costi di investimento** mediante l'utilizzo di infrastrutture ferrotranviarie esistenti o dismesse, superando le difficoltà connesse all'individuazione di sedi appropriate ed ai tempi di realizzazione di nuove infrastrut-

(1) Alimentation par Sol.

ture di corsa;

■ **riduzione dei costi di esercizio** rispetto ai veicoli ferroviari perché è necessario un solo operatore a bordo (il driver); semplice l'adeguamento a fluttuazioni di domanda variando la composizione dei tram-treno mediante sistemi di aggancio automatico;

■ **incremento del numero di stazioni/fermate** lungo la linea ferroviaria mantenendo stessi tempi di percorrenza o riducendoli grazie a prestazioni più elevate in accelerazione e decelerazione dei tram-treno. Il sistema si rende, nel complesso, più accessibile "avvicinando" le stazioni all'utenza;

■ **riduzione generalizzata dei tempi di percorrenza**; il tempo di viaggio (quasi porta-a-porta) risulta competitivo con quello dell'auto privata. Va aggiunto, rispetto al treno, un migliore incarrozzamento dei viaggiatori dovuto al maggior numero di porte per fiancata e ad una maggior facilità di accesso ai convogli, ormai tutti a pianale ribassato;

■ **maggior frequenza e puntualità** del sistema metrotranviario rispetto a quello ferroviario con riduzione dei tempi medi d'attesa;

■ **flessibilità e adattabilità** dei sistemi tram-treno in grado di circolare nelle zone pedonali centroubane; facile l'interscambio su linee ferroviarie o la marcia su tracciati urbani in sede promiscua o protetta;

■ **tariffazione integrata** abbinata al sistema interoperabile urbano.

Problematiche da risolvere

La pianificazione di un sistema tranviario interoperabile ove il tram-treno giochi un ruolo chiave è complessa, dal momento che essa tocca aspetti normativi, tecnologici, politici, economici, amministrativi.

Uno dei principali problemi da affrontare è quello di adattare il modello alle realtà locali, per cui sono essenziali confronti con esperienze estere (in Italia non esistono linee di tram-treno) per individuare le possibili soluzioni ottimali. La mancanza, in Italia, di una normativa specifica è uno degli ostacoli principali alla realizzazione di questi sistemi. Sono, comunque, allo studio presso gli enti ministeriali dei trasporti a impianti fissi - USTIF⁽²⁾ - standard e norme a cui poter fare riferimento.

All'estero, l'esperienza maturata in sedici anni con il "Karlsruhe model" (il 25.9.1992 fu aperta all'esercizio la linea Karlsruhe-Bretten, prima linea al mondo esercita in modo tram-treno) ha evidenziato come sia possibile superare queste problematiche permettendo una notevole evoluzione nella tecnica dei veicoli interoperabili; ciò dovrebbe essere di stimolo e di esempio per le amministrazioni italiane interessate.

Si esaminano, a questo punto, gli aspetti di cui bisogna tener conto nella pianificazione di un servizio di TPL utilizzando il tram-treno.

Aspetti tecnico-normativi

Scartamento – Peso assiale

Affinché il rotabile possa circolare su reti tranviarie e ferroviarie è necessario che su entrambe le reti lo scartamento sia lo stesso; al problema di diversità di scartamento potrebbe ovviarsi installando una terza rotaia.

La massa per asse dei mezzi costituisce a volte un problema in quanto le vecchie ferrovie a sr da riutilizzare con mezzi tram-treno presentano limiti di carico (9-10t/asse) derivati da armamento leggero che impongono a volte la costruzione di mezzi speciali fuoriserie.

Profilo cerchioni e rotaie

Le dimensioni delle ruote variano tra tram e treno (diametro, larghezza cerchione, distanza tra i bordini, conicità); tali differenze derivano dal fatto che le rotaie tranviarie, dovendo consentire ai tram di correre su strade urbane insieme ad altri veicoli, hanno un profilo particolare, a gola stretta, per mitigare i problemi derivanti agli altri utenti dalla presenza di tali manufatti nella superficie stradale. Il diametro delle ruote tranviarie è inferiore a quello delle ruote ferroviarie: di solito è compreso nel range 550-750mm a nuovo, pur esistendo ruote di diametro di 375mm per mezzi moderni a pianale ribassato. Ne deriva che i tram-treno devono essere studiati con un profilo di ruota specifico per adattarsi all'infrastruttura ferroviaria e tranviaria su cui andranno ad operare.

Alimentazione

L'alimentazione delle reti tranviarie italiane è differente da quella delle reti ferroviarie: le tramvie sono generalmente alimentate a 750V cc, le ferrovie a 1,5/3,0kV cc o a 15/25kV ca; pertanto il mezzo, nel caso di reti ferro-tramviarie già elettrificate, dovrà essere bitensione.

Non è infrequente però, nelle realtà urbane italiane, la presenza di reti ferroviarie non elettrificate connesse o facilmente connettabili con reti tramviarie urbane; in questo caso il tram-treno dovrà essere un ibrido in grado di prendere la potenza per il motore elettrico dalla linea elettrica in area urbana su rete tranviaria e motorizzato con un diesel per la marcia sulla rete ferroviaria non elettrificata in area extraurbana. Mezzi ibridi sono già in circolazione in Europa: a Kassel (DE) marcia il *Regio Citadis* di Alstom, mentre ormai diffusissimi sono i duali bitensione (cc su rete tranviaria in area urbana, ca su rete ferroviaria in area extraurbana). È da citare anche il tram-treno tutto-diesel *Regio Sprinter* di Siemens che marcia su rete tramviaria e ferroviaria sempre con trazione diesel a Zwickau (DE).

Sagoma veicolo

Il tram è generalmente di larghezza inferiore al treno (tram 2,4-2,6m, treno 2,9-3,0m); ciò determina problemi di collegamento tra il mezzo tranviario e la banchina ferroviaria (1650mm distanza bordo banchina-asse binario nel caso ferro a scartamento europeo); il problema è generalmente superato dotando i tram-treno di pedane retrattili per l'incarrozzamento dei pax azionate dal conducente.

(2) Uffici Speciali per i Trasporti a Impianti Fissi.

Resistenza al crash

La resistenza strutturale del veicolo rappresenta un ostacolo alla omologazione della marcia di un tram-treno su rete ferroviaria: le recenti norme UIC prevedono infatti per il treno una resistenza al tamponamento di 1500kN mentre per il tram tale valore è dell'ordine dei 200kN; peraltro la II generazione di tram-treno arriva ad un valore discretamente elevato di circa 800-900kN. Il problema potrebbe essere superato incrementando la sicurezza attiva della marcia del tram-treno su sede ferroviaria dotando la linea e i mezzi di sistemi di sicurezza moderni (ad es., distanziamento assistito da SSC) o, alternativamente chiudendo l'esercizio al modo ferroviario sulla relativa linea per fasce orarie. In tal modo la tratta ferroviaria sarà percorsa da soli mezzi ibridi senza promiscuità con il traffico ferroviario ordinario.

Omologazioni

Allo stato, non esiste in Italia una normativa specifica per l'omologazione del tram-treno: nelle tabelle seguenti si riportano, comunque, le normative di riferimento valide per reti urbane e reti ferroviarie.

Il tram-treno è un ibrido che risponde parzialmente sia alle normative che prescrivono le caratteristiche costruttivo-prestazionali dei veicoli tranviari sia a quelle dei veicoli ferroviari; pertanto bisogna rifarsi ad un mix normativo dei due sistemi. In sintesi, allo stato, in Italia, per la circolabilità del tram-treno sulle reti urbane (modo tram) e ferroviarie (modo treno), con riferimento ai punti tra parentesi di tabella 2, sembra necessario soddisfare:

(A) Certificazione come Tranvia e Metropolitana

(B) Certificazione USTIF-TIF 5 con applicazione di norme specifiche FS per la rete ferroviaria (da verificare con USTIF)

(C) Omologazione Cesifer completa di tipo ferroviario

(D) idem come al punto (B) con TIF 5 che dovrebbe mettere a punto uno standard applicabile di integrazione delle norme Tramviarie e Metro con le normative per rotabili ferroviari.

Se la linea ferroviaria è dedicata (tratta senza presenza di altri rotabili o riservata per fasce orarie) si ritiene che la certificazione sia più facilmente praticabile.

Gli organi competenti USTIF-TIF5, da una parte, e Cesifer-RFI dall'altra, sono già stati coinvolti. Il Ministero dei Trasporti auspica la concretizzazione di un caso "reale", che intravede come un Operatore che adotti il veicolo e consenta di elaborare durante lo sviluppo del Contratto norme/direttive che permettano la Certificazione del Prodotto e, conseguentemente, l'uso del tram-treno su reti ferroviarie ed urbane.

In Germania, paese all'avanguardia nell'utilizzo del

Tabella 1 - Normativa italiana di possibile riferimento

	Rete ferroviaria	Rete ferro urbana
Normativa vigente	Cesifer-RFI TCCS PR OR 01 001 A Procedura per l'omologazione sulla rete ferroviaria italiana di materiale rotabile	TIF 5 – DG N201; CEI 9-68 e UNI 11174 Materiale rotabile per tranvie e tranvie veloci - Caratteristiche generali e prestazioni
Specifiche di sagoma limite	UIC 505-1	CEI 9-68, UNI 11174
Larghezza	≈ 3000mm	Max 2650mm
Altezza	Max 4310mm	Max 4000mm
Luce libera sopra binario	80mm	55mm
Massa per asse	16-20 t	10-12 t
Velocità max	100km/h	70-80km/h
Spazio di frenatura	700m da 100km/h	69m da 70km/h
Carico a compressione	1500kN	600kN
Ruote	UIC 510-518-812	UNI 8350-7464

Tabella 2 - Matrice degli standard di omologazione-certificazione

Profilo Missione Norme applicabili	Rete urbana (A)	Rete Concessa (B)	Rete RFI (C)	Servizio Misto Urbana & Concessa (D)
USTIF-TIF5-DG N201 CEI 9-68-UNI 11174	Si	Si+norme Cesifer/FS	No	TIF 5 DG201
Cesifer-RFI TCCS PR OR 01 001 A	No	i.c.s.	Si	Cesifer se linea non dedicata

tram-treno, consapevoli delle caratteristiche bimodali del veicolo, gli organi preposti EBO⁽³⁾ (German Railways Construction & Operation Regulation) e BOStrab⁽⁴⁾ (German Tram Construction & Operation Regulation) hanno emesso normative e prescrizioni congiunte, utilizzando anche tecniche di *risks assessment* e *risks mitigation* al fine di consentire l'uso del veicolo.

Sicurezza

La marcia del tram-treno in modo tram non presenta particolari problematiche di sicurezza: sostanzialmente il mezzo attua la marcia a vista, assistita da ulteriori facility quali: protezioni laterali della sede (via di corsa riservata), riduzione del numero di attraversamenti, semaforizzazione con priorità al mezzo alle intersezioni, fermate attrezzate, ecc., atte a ridurre le interferenze del sistema con il restante traffico veicolare e pedonale.

In modo ferroviario, esistendo sulle linee sistemi di distanziamento e controllo della marcia, il tram-treno deve essere dotato degli appropriati sistemi che gli consentano di realizzare il livello di sicurezza richiesto.

(3) *Eisenbahn-Bau und Betriebsordnung.*

(4) *Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen.*

Figura 1 – Schema reti ferrotranviarie a sr nell’area metropolitana di Sassari (2008)

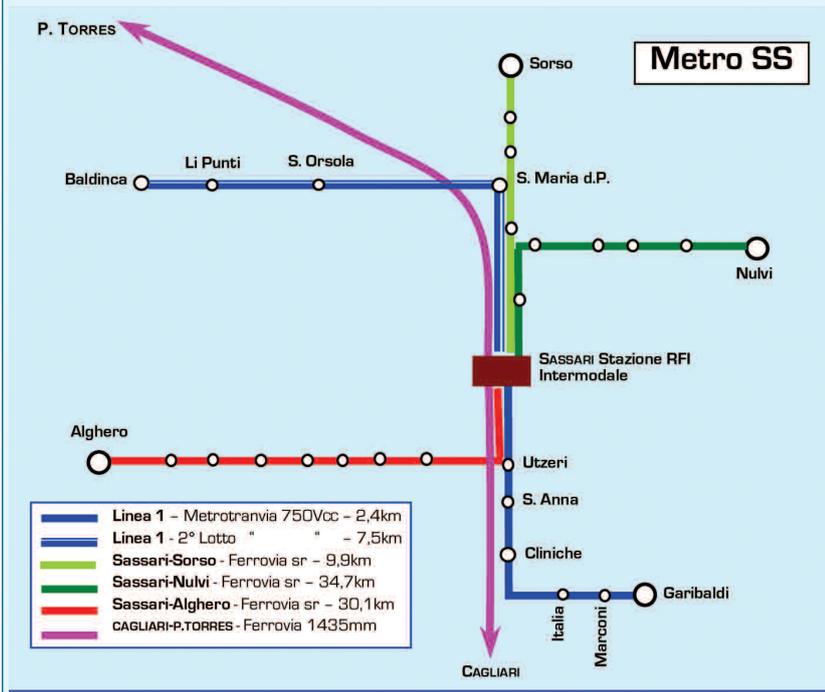
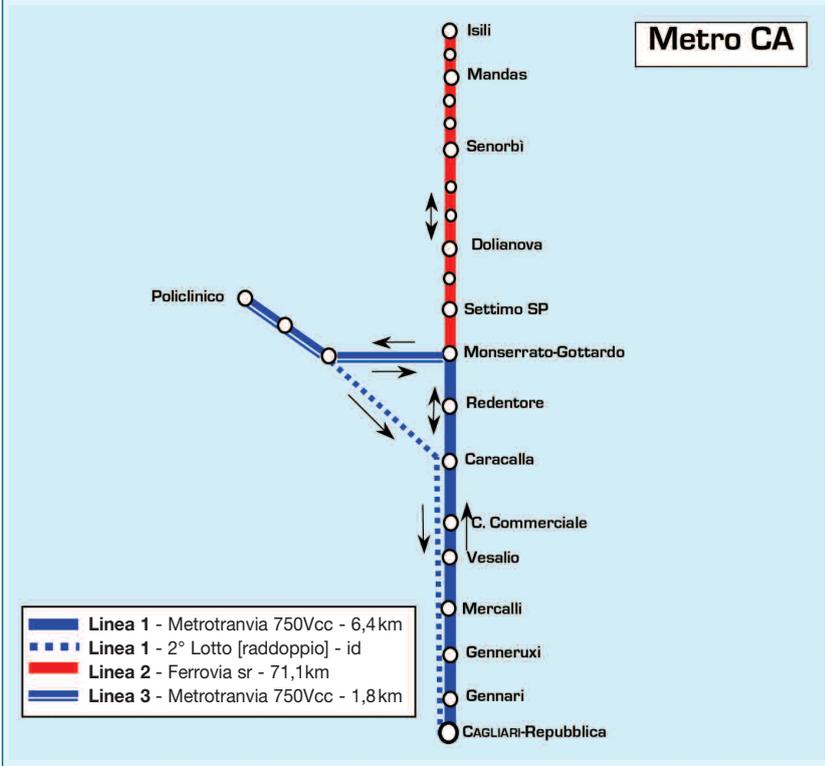


Figura 2 – Schema reti ferro-tranviarie a sr nell’area metropolitana di Cagliari (2008)



Aspetti pianificatori (economico, amministrativi, culturali, ambientali) da esaminare

Di seguito si indica una checklist i cui aspetti andranno valutati con analisi di tipo multicriteri.

■ **Aspetti Generali:** cultura del trasporto collettivo nell’area d’intervento

■ **Contesto Istituzionale:** grado di consenso delle amministrazioni regionali e locali, reperibilità dei finanziamenti, gestione del servizio, esistenza di una Authority dei trasporti pubblici

■ **Caratteristiche Rete Urbana e Regionale:** layout delle reti esistenti, popolazione servita, distanze tra le stazioni/fermate e le aree urbane servite, disponibilità sedi stradali nelle aree centroubane, impatti visivi e ambientali in genere, connessione con centri attrattori di mobilità, individuazione quota di mobilità centro-orientata servita e tolta al mezzo individuale, confronto tempi di viaggio

■ **Caratteristiche del trasporto collettivo del territorio:** reti gommato urbano/extraurbano, altre reti su ferro, connessioni e integrazioni tra reti

■ **Costi & Comparazioni:** confronti con soluzioni alternative (ad es., treno extraurbano+metrotram urbano).

Possibili applicazioni in Sardegna

Nell’ambito della riorganizzazione dei servizi di TPL della regione Sardegna l’applicazione del concetto del tram-treno potrebbe interessare le due maggiori aree urbane dell’Isola: Cagliari e Sassari.

Su di esse si sviluppano, infatti, reti ferroviarie e tranviarie che risultano già integrate e connesse. Entrambe le reti presentano lo stesso scartamento di 950mm sia in area urbana che in area extraurbana; in area urbana le reti tranviarie, recentemente rinnovate o costruite ex-novo, sono entrambe elettrificate a 750V in cc, mentre in area extraurbana, le reti (a binario unico) non sono elettrificate ed esercite con materiale vario diesel, per la massima parte tecnologicamente superato. È da rilevare, inoltre, che a Sassari la rete a scartamento ridotto ha un nodo di connessione con la linea a scartamento ordinario di RFI che collega la città turritana con Olbia, P. Torres e Cagliari (v. schemi nelle figure 1 e 2).

Ovviamente le linee delle reti urbane, che potranno essere ulteriormente sviluppate in un disegno di rete, saranno esercite con i moderni metro-tram già in linea integrati da mezzi ibridi per i collegamenti con il territorio.

Per le aree succitate, la scelta di un sistema di TPL misto tram-treno/metrotram si giustifica col fatto che esistono caratteristiche territoriali degli hinterland e delle stesse aree urbane qualificate da basse concentrazioni insediative, residenze estensive e diffuse, sistemi produttivi non

concentrati che portano a ritenere inadatti, per servizi urbani, i costosissimi sistemi in sotterranea che si giustificano se presso le fermate delle linee esistono elevate densità di land-use che possano assicurare al sistema un corrispondente elevato flusso di pax (v. tabella 3). In detta tabella sono riportate le portate max indicative dei principali sistemi di trasporto di massa utilizzati in area urbana per tipiche capienze di pax e intervalli tra i mezzi.

È appena il caso di ricordare che i valori di portata dei vari sistemi riportati in tabella, sono in realtà flussi di posti occupati da pax passanti davanti a un osservatore fisso; essi si possono realizzare (in un qualunque punto della linea) solo se i mezzi viaggiano a pieno carico da capolinea a capolinea con pax che salgono al capolinea origine riempiendo i veicoli fino al carico max e scendono tutti al capolinea di destinazione, oppure se ad ogni fermata si attua sui veicoli un ricambio completo di tutti i pax che occupano tutti i posti disponibili; tra le due situazioni-limite descritte esiste una vastissima gamma di possibili situazioni intermedie che rende il discorso delle portate non semplice e da approfondire in una memoria dedicata.

Comunque, le portate orarie effettive del sistema sono generalmente al di sotto dei valori indicati in tabella e dipendono da numerose variabili: dal tasso di ricambio dei pax lungo linea o, in altre parole, dalla distanza media viaggiata dai pax a bordo del sistema (n. medio di fermate per pax),

Tabella 3 - Tipici valori di flusso dei sistemi di trasporto di massa urbani

Sistema	Flussi max/min a pieno carico [pax/h-sdm]	Intervallo servizio min-max [min/vei]	Frequenza max-min [vei/h]
Autobus - Filobus 12m (90pax)	2700 - 1080	2 - 5	30 - 12
Metrotram - Tramreno (220pax)	6600 - 2640	2 - 5	30 - 12
Metro leggero (400pax)	12.000 - 4800	2 - 5	30 - 12
Metropolitana classica (1200pax)	36.000 - 14.400	2 - 5	30 - 12

Figura 3 - Il tram-treno ibrido E-DE Regio Citadis (Alstom) a Kassel, DE, in modo tram su sc. 1435mm



Figura 4 - Il tram-treno ibrido E-DE Regio Citadis (Alstom) a Kassel, DE, in modo treno



Figura 5 – Il tramtreno E-DE Combino Duo (Siemens) a Nordhausen, DE, in modo tram su sc. 1000mm



Figura 6 – Il tramtreno E-DE Combino Duo (Siemens) a Nordhausen, DE, in modo treno



dallo schema O/D degli afflussi/deflussi alle fermate lungo linea, dagli intervalli di servizio realizzabili in esercizio (velocità commerciali), per citare le principali.

I mezzi e l'organizzazione del servizio

Le due maggiori aree urbane della Sardegna, illustrate nello stato attuale di infrastrutturazione, sono oggetto di uno studio di pianificazione e riqualificazione urbana da parte della Regione che prevede la costruzione di una rete metrotanviaria al servizio degli spostamenti interni all'Area Vasta ove la cura del ferro si presta per cultura, disponibilità di spazi, domanda esistente, a soddisfare la mobilità del territorio in modo efficace e economico.

Sistemi a infrastrutturazione più costosa (70÷100M Euro/km-linea metro, 10÷12MEuro/km-linea tram) come quelli sotterranei (metropolitane) hanno necessità di alte densità insediative presso le fermate d'accesso alle linee tali da garantire un elevato flusso di passeggeri che giusti-

fichi l'entità dell'investimento.

Ritornando alla situazione locale, l'utilizzo del tram-treno potrebbe costituire l'occasione per un completo rinnovo delle linee ferroviarie a sr (attualmente utilizzate in servizio di TPL), sia dal punto di vista infrastrutturale sia dal punto di vista del materiale rotabile. Infatti le linee risalgono addirittura all'Ottocento e in alcune tratte hanno ancora i binari originali.

Il mezzo da utilizzare dovrebbe essere un ibrido Elettrico-Diesel-elettrico il quale marcia prendendo la potenza dalla linea aerea di contatto in area urbana (ove viaggia in modo tram) mentre in area extraurbana stacca la trazione elettrica e attiva il motore diesel-elettrico per viaggiare in modo treno.

Tali mezzi, di cui nelle figure 3-6 si dà un esempio, entrando nella rete urbana rendono direttamente accessibili per l'utenza del territorio servito i principali attrattori di traffico di livello regionale (ospedali, Università, ecc.) situati nell'area centrale delle Aree metropolitane.

Essi possono costituire, infine, un "rinforzo", in particolari fasce orarie, al servizio di trasporto collettivo urbano esercito con metrotram tradizionali.

Bibliografia

- BOZZO R., GENOVA R., "I sistemi Stadt-Bahn: un modello di ferrovia cittadina", *Mobility Lab*, 17, 2007.
- BUCK CONSULTANTS INTERNATIONAL, "LiRa: International Network of Light Rail Cities", Nijmegen, December 2000.
- DE FALCO F., "Il progetto di una metro come sistema: criteri di dimensionamento ...", *Metropolitane – problemi progettuali e costruttivi*, Patron, 1979.
- HATTORI S., "Trams making way for light rail transit", *Japan Railway & Transport Review*, 38, March 2004.
- ITDP, *Bus Rapid Transit Guide*, New York, US, June 2007.
- KOTÁL B., PERNICKA J., "Resurrecting Cagliari's tramways", *Transurban*, 2, 2007.
- PODESTÀ C. (Ed.), "Rapid Transport Systems", Proc. Course ICTS, Amalfi, 1983, Elsevier, 1985.
- SASSO A., GENOVA R., "Lo sviluppo dei sistemi interoperabili su ferro: il tram-treno", *Mobility Lab*, 16, 2007.

Siti web

- www.metroitaliane.it
www.metrotram.it
www.mondotram.it
www.nvv.de
www.railway-technology.com
www.stadtwerke-nordhausen-gmbh.de/#
www.tramway-bordeaux.veoliaenvironnement.com/technologies/alimentation-sol.aspx
www.transportation.bombardier.com
www.transport.alstom.com
www.transport-strasbourg.org
www.webdoc.siemens.it/CP/TS/Home/default.htm
www.wikipedia.org