



## Accesso passeggeri ai sistemi tram-treno. Problemi e soluzioni

## Passenger access to tram-train systems. Problems and solutions

*Prof. Ing. Margarita NOVALES<sup>(\*)</sup>, Prof. Ing. Miguel R. BUGARÍN<sup>(\*\*)</sup>*

*Parole chiave:* tram-treno; accesso passeggeri; accesso da banchine differenti; veicolo a doppia altezza.

*Keywords:* tram-train; passenger access; different platform access; dual-height vehicle.

### 1. Sintesi

I sistemi tram-treno circolano su reti ferroviarie e su quelle urbane nel contesto di uno stesso viaggio, condividendo i binari e le stazioni/fermate con i treni convenzionali come pure con i veicoli metropolitani leggeri. Deve esserci quindi compatibilità tra alcune caratteristiche tecniche di entrambi i tipi di sistemi.

Una delle più importanti problematiche di compatibilità riguardanti il corretto esercizio del sistema è quella attinente all'accesso passeggeri, che deve essere sicuro, confortevole e veloce in ogni stazione o fermata in cui si ha la salita o la discesa dai rotabili.

Poiché, a causa delle differenze geometriche tra treni convenzionali e veicoli metropolitani leggeri, la geometria del marciapiede e la distanza rispetto all'asse binario sono differenti, devono, in conseguenza, essere ricercate soluzioni che consentano al veicolo tram-treno accesso ed egresso senza difficoltà in ogni stazione ferroviaria o fermata per veicoli metropolitani leggeri.

In questo articolo sono discusse differenti soluzioni, definendo la loro applicabilità a diverse situazioni in cui le reti ferroviarie pesanti e quelle leggere hanno caratteristiche differenti.

### 2. Introduzione

La metropolitana leggera è un sistema di trasporto metropolitano con le seguenti caratteristiche [1]:

- tecnologia ferroviaria: è un sistema guidato per mezzo del contatto tra ruota e rotaia ed il motore è generalmente elettrico;

### 1. Abstract

Tram-train systems run over railway networks and urban ones on the same journey, sharing the tracks and stations/stops with conventional trains as well as with light rail vehicles. Therefore, there needs to be compatibility between some technical characteristics of both kinds of systems.

One of the more important compatibility issues for the system to operate properly is the one related to passenger access. Indeed, passenger access has to be safe, comfortable and fast, at whatever station or stop which the boarding or alighting takes place.

Nevertheless, due to geometric differences between conventional trains and light rail vehicles, platform geometry and distance to the axis of the track will be different. Consequently, a solution has to be adopted in such a way that the tram-train vehicle can use every railway station or light rail stop without trouble.

In this paper, different solutions are going to be discussed, establishing its applicability to several situations in which railway and light rail networks have diverse characteristics.

### 2. Introduction

Light rail is a metropolitan transit system with the next characteristics [1]:

- railway technology: it is guided by means of the contact between the wheel and the rail and the motor is usually electric;
- it runs on the surface in the most part of its layout, although it can have stretches over structure or buried underground;
- right of way of B category: this right of way is longitudinally physically separated by curbs, barriers, grade separation, and the like from other traffic but with grade crossings for vehicles and pedestrians, including re-

<sup>(\*)</sup> Civil Engineer, PhD. Railways Associate Professor. University of A Coruña.

<sup>(\*\*)</sup> Civil Engineer, PhD. Railways Professor. University of A Coruña.

## OSSERVATORIO

- corre prevalentemente in superficie e può avere tratti in viadotto e in galleria;
- sede ferroviaria di categoria B: questa sede è in direzione longitudinale fisicamente separata dal restante traffico con cordoli, barriere, scarpe e simili, ma con attraversamenti sopraelevati per veicoli e pedoni, comprese semplici intersezioni stradali. Questa categoria favorisce lo svolgersi del trasporto in quanto servizio pubblico e gli dà maggiore efficacia rispetto al trasporto privato [2];
- veicoli leggeri: la massa per asse è minore di quella delle metropolitane convenzionali ed i veicoli hanno una limitata lunghezza per una appropriata loro integrazione con la strada; ciò comporta una capacità media del sistema.

I sistemi tram-treno si sono evoluti dai sistemi metropolitani leggeri. L'evoluzione è consistita nell'aver acquisito la capacità di circolare sui binari tradizionali oltre che su quelli urbani. In questo modo i sistemi tram-treno possono garantire all'area metropolitana servizi diretti di trasporto pubblico per il collegamento con il centro città (e viceversa).

La circolazione dei sistemi tram-treno su binari ferroviari non comporta l'eliminazione dei servizi ferroviari convenzionali su tali binari, bensì un utilizzo promiscuo degli stessi. Questo fatto comporta che, per alcuni aspetti tecnologici, i tram-treno debbano essere compatibili con i sistemi ferroviari convenzionali e con quelli di metropolitana leggera. Ne consegue, in alcuni casi, equipaggiamenti e sistemi di controllo più complessi per l'intero sistema per consentire un servizio commerciale misto.

Gli aspetti tecnologici più importanti da considerare sono: lo scartamento del binario, la resistenza strutturale, l'alimentazione, i sistemi di sicurezza e comunicazione, gli accessi per i passeggeri, l'interazione tra ruote e rotaie e la sagoma limite strutturale.

Una revisione generale di questi problemi è proposta in [1, 2, 3], mentre una revisione più dettagliata dell'interazione tra ruote e rotaie è disponibile in [3,4].

Lo scopo del presente articolo è quello di presentare uno studio dettagliato del problema dell'accesso dei passeggeri e delle sue differenti soluzioni.

### 3. Presentazione della problematica

I veicoli ferroviari convenzionali e leggeri hanno differenti caratteristiche geometriche. Le principali differenze riguardanti l'accesso dei passeggeri sono la larghezza della cassa e l'altezza del pianale, in quanto i veicoli ferroviari convenzionali sono normalmente più larghi di quelli metropolitani leggeri, mentre l'altezza del pianale è di circa 500-1000 mm per i treni convenzionali e di circa 350 mm per i moderni veicoli ferroviari leggeri. Queste altezze dei pianali e larghezze della cassa conducono a specifiche geometrie di banchina nelle linee urbane e ferroviarie, differenti tra di loro.

gular street intersections. This category gives transit a favoured roll on the basis of its public service and higher efficiency than private transportation [2];

- "light" vehicles: the weight by wheelset is lower than the one for conventional subway and vehicles have a limited length in order to get a proper street integration. These facts lead to an intermediate capacity of the system.

It is known that tram-train systems have evolved from light rail systems. This evolution is due to the ability to run over conventional railway tracks in addition to their own urban tracks. In this way, they can provide the metropolitan area with direct public transit services to the city centre (and vice versa). The running of tram-train systems over railway tracks does not imply the removal of conventional railway services over these tracks, but a mixed use of them. This fact leads to the necessity for some tram-train technological aspects to be compatible with conventional railways and light rail systems, which in some cases can give rise to equipment and managing complexity of the whole system that allows mixed commercial operations.

The most important technological aspects to be considered are: track gauge, structural strength, power supply, safety and communication systems, passenger access, interaction between wheel and rails, and structural gauge. A general revision of these problems can be consulted in [3, 4, 5], while a more detailed revision of interaction between wheel and rails is available in [5, 6].

The aim of this paper is to present a detailed study of the passenger access problem and its different solutions.

### 3. Background to the problem

Light rail and conventional railway vehicles have different geometric characteristics. The main differences in relation to passenger access are carbody width and floor height, as railway conventional vehicles are normally wider than light rail ones, while floor height is around 500-1000 mm for conventional trains and around 350 mm for modern light rail vehicles. These floor heights and carbody widths lead to specific platform geometry in railway and urban lines, which is different between them.

As an example, table 1 presents normal values of the geometric characteristics of different systems as in a typical Spanish light rail; ADIF (Administrador de Infraestructuras Ferroviarias) Spanish gauge tracks (that is, tracks from the Railway Administrator with 1668 mm of track gauge) with Renfe Operadora vehicles (Spanish passenger operator); and of FEVE (Ferrocarriles de Vía Estrecha, that is narrow gauge network) tracks with its own vehicles.

While railway and light rail networks are independent, these differences are not relevant for any of the systems. The problem arises when the same vehicle (the tram-train) is going to run over the two kinds of tracks using ur-

## OSSERVATORIO

Come esempio, la tabella 1 presenta i valori usuali delle caratteristiche geometriche di differenti sistemi come in una tipica metropolitana leggera spagnola, di ADIF (Administrador de Infraestructuras Ferroviarias) con binari a scartamento spagnolo (cioè binari dell'Amministrazione Ferroviaria con scartamento di 1668 mm) e veicoli di Renfe Operadora (operatore passeggeri spagnolo) e binari FEVE (Ferrocarriles de Vía Estrecha, che è la rete a scartamento ridotto) con i relativi veicoli.

**CARATTERISTICHE GEOMETRICHE TIPICHE DEI SISTEMI FERROVIARI METROPOLITANI SPAGNOLI, DELLA RETE FERROVIARIA SPAGNOLA A SCARTAMENTO NORMALE E A SCARTAMENTO RIDOTTO. *TYPICAL GEOMETRIC CHARACTERISTICS OF SPANISH LIGHT RAIL SYSTEMS, SPANISH TRACK GAUGE NETWORK, AND SPANISH NARROW TRACK GAUGE NETWORK***

Dimensioni - Dimension (mm)	Metropolitana leggera <i>Light rail</i>		Rete ferroviaria	
	Scartamento ridotto <i>Narrow gauge</i>	Scartamento normale <i>Standard gauge</i>	Scartamento ridotto <i>Narrow gauge</i> FEVE	Scartamento normale <i>Standard gauge</i> Renfe - ADIF
Larghezza della cassa (a) <i>Carbody width (a)</i>	2400	2650	2550	2900
Altezza della banchina (h) <i>Platform height (h)</i>		300	1050	550
Distanza banchina-asse binario <sup>(1)</sup> <i>Platform-track axis distance<sup>(1)</sup></i>	1250	1365	1400	1675
Distanza banchina-faccia interna attiva della rotaia <sup>(1)</sup> <i>Platform-active rail gage distance<sup>(1)</sup></i>	750	648	900	841

<sup>(1)</sup> Binario rettilineo. *Straight track.*

Poiché le reti ferroviarie e quelle delle metropolitane leggere sono indipendenti, queste differenze non hanno rilevanza per questi sistemi. I problemi sorgono quando lo stesso veicolo (il veicolo tram-treno) è destinato a circolare su due tipi di binario utilizzando fermate urbane come pure banchine ferroviarie per la salita e la discesa passeggeri.

Ovviamente l'accesso dei passeggeri deve essere agevole, sicuro e rapido in ogni stazione/fermata che verrà utilizzata dai veicoli tram-treno, tenendo in considerazione le persone con necessità particolari, come quelle su sedie a rotelle o i genitori con carriola, ecc.

Tuttavia, le differenze geometriche tra sistemi ferroviari leggeri e convenzionali determinano delle distanze verticali ed orizzontali eccessive nel raggiungere il veicolo tram-treno dalla banchina ferroviaria (se il veicolo tram-treno è progettato prendendo come modello la metropolitana leggera).

La tabella 2 e la fig. 1 mostrano i valori di queste di-

ban stops as well as railway platforms for passengers' boarding and alighting.

Obviously, passenger access must be easy, safe and fast in any one of the stops/stations which are going to be used by tram-train vehicles, taking into account people with special needs, as is the case of wheelchair users, or parents with a pram, etc. Nevertheless, geometric differences between light rail and conventional rail systems lead to excessive vertical and horizontal distances to reach the

**TABELLA 1- TABLE 1**

tram-train vehicle from a railway platform (if tram-train vehicle is designed taking light rail as model). Table 2 and fig. 1 shows the value of these distances, compared to desired ones, for the Spanish cases previously mentioned.

As shown on table 2, horizontal and vertical distances between the tram-train vehicle and the railway platforms are, in general, quite higher than recommended and absolute maximum values. So, it will be necessary to establish a technical solution to counteract this problem.

Unfortunately, there is not a general solution for any tram-train case, but a series of technical systems that applied to the infrastructure or to the vehicle can solve the problem properly in relation to the specific circumstances of each location and situation. In the next point these solutions and their application will be discussed.

For the study of possible solutions, it must be borne in mind that the tram-train system can either use existing urban and railway tracks, or it could be a new urban transportation system, which is going to be newly built taking

## OSSERVATORIO

stanze, comparate con i valori attesi per i casi spagnoli precedentemente menzionati.

DISTANZE TRA VEICOLO TRAM-TRENO TIPICO E BANCHINA FERROVIARIA NEI CASI SPAGNOLI. DISTANCES BETWEEN TYPICAL TRAM-TRAIN VEHICLE AND RAILWAY PLATFORM IN SPANISH CASES

Distanza - Distance (mm)	Valore massimo Maximum value		FEVE <sup>(2)</sup>	TT FEVE <sup>(3)</sup>	RENFE ADIF <sup>(4)</sup>	TT ADIF <sup>(5)</sup>
	Raccomandato Suggested	Massimo assoluto Absolute maximum				
Differenza di quota tra banchina e pianale del veicolo (dv) <i>Height difference platform-vehicle floor (dv)</i>	0	35	-	700	-	200
Distanza orizzontale tra banchina e cassa del veicolo <i>Horizontal distance platform-carbody (dh)</i>	40	75	-	-	-	-
Distanza orizzontale tra banchina e cassa del veicolo quando si utilizzano banchine ferroviarie esistenti <i>Horizontal distance platform-carbody when existing railway platforms are used</i>	75 <sup>(1)</sup>	275 <sup>(1)</sup>	125	200	225	350

<sup>(1)</sup> Massima distanza ammessa 275 mm, se esiste un punto specifico ad uso degli utenti con sedia a rotelle, con una distanza massima di 75 mm. *Maximum distance allowed 275 mm, if there is any specific point for the use of wheelchair users, with a maximum distance of 75 mm.*

<sup>(2)</sup> Distanze quando un tipico veicolo FEVE si ferma in una banchina FEVE. *Distances when a typical FEVE vehicle stops in a FEVE platform.*

<sup>(3)</sup> Distanze quando un tipico veicolo tram-treno a scartamento ridotto (larghezza della cassa pari a 2400 mm) si ferma in una banchina FEVE. *Distances when a typical narrow gauge tram-train vehicle (carbody width of 2400 mm) stops in a FEVE platform.*

<sup>(4)</sup> Distanze quando un tipico veicolo Renfe si ferma in una banchina ADIF. *Distances when a typical Renfe vehicle stops in an ADIF platform.*

<sup>(5)</sup> Distanze quando un tipico veicolo tram-treno (a scartamento normale o Spagnolo) con larghezza della cassa pari a 2650 mm si ferma in una banchina ADIF. *Distances when a typical tram-train vehicle (standard or Spanish gauge) with carbody width of 2650 mm stops in an ADIF platform.*

Come mostrato in tabella 2 le distanze verticali ed orizzontali tra il veicolo tram-treno e le banchine ferroviarie sono in generale maggiori dei valori raccomandati e di quelli massimi assoluti.

Sarà così necessario definire una soluzione tecnica per contrastare tale fenomeno.

Sfortunatamente non esiste una soluzione generale per ogni caso tram-treno, ma una serie di alternative tecniche che applicate all'infrastruttura o al veicolo possono risolvere il problema in modo adeguato in relazione alle specifiche circostanze di ogni sito e di ogni situazione. Nel punto successivo saranno discusse queste soluzioni e le loro applicazioni.

Nello studio delle possibili soluzioni deve considerarsi che il sistema tram-treno può utilizzare binari urbani o ferroviari esistenti oppure costituire un nuovo sistema di trasporto urbano, da costruire ex novo tenendo in

conto la compatibilità con la rete esistente.

TABELLA 2 – TABLE 2

On the other hand, even in the same tram-train system, there will be different situations in which different solutions may be applied. As an example, when running over the railway lines, the tram-train vehicle will have to use, in certain points, existing railway stations (in which the platforms and dimensions are adapted to conventional railway vehicles). Nevertheless, the tram-train will probably have to make additional stops in railway corridors, in order to make a better metropolitan service, and this situation will lead to the need to build new platforms dedicated only for tram-train use, which can be different from the railway platforms.

### 4. Possible solutions discussion

The solution to excessive horizontal and vertical distances between railway platforms and tram-train vehicles can be solved by means of two different approaches. The

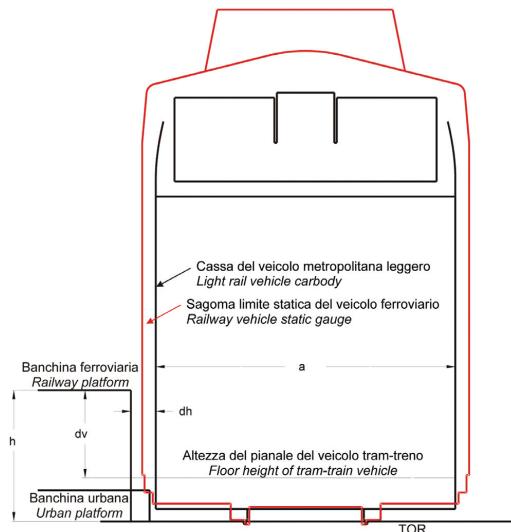


Fig. 1 - Differenze geometriche tra veicoli e banchine per ferrovie leggere e per ferrovie tradizionali. *Geometric differences between light rail and railway vehicles and platforms.*

considerazione la compatibilità con la rete ferroviaria esistente.

D'altro canto, anche nello stesso sistema tram-treno, vi saranno situazioni differenti per le quali soluzioni diverse potranno essere applicate. Ad esempio, il veicolo tram-treno in circolazione su linee ferroviarie dovrà utilizzare, in certi punti, stazioni ferroviarie esistenti (in cui le banchine e le dimensioni sono adattate ai veicoli ferroviari convenzionali). Tuttavia il veicolo tram-treno dovrà probabilmente effettuare fermate aggiuntive lungo i corridoi ferroviari, al fine di garantire un miglior servizio metropolitano e tale esigenza condurrà alla necessità di costruire nuove banchine dedicate all'utilizzo del solo veicolo tram-treno, queste ultime possono allora essere differenti dalle banchine ferroviarie.



Fig. 2 - Confronto tra l'integrazione urbana delle fermate delle ferrovie leggere con banchine basse ed alte. *Comparison of the urban integration of light rail stops with low and high platforms.*

first approach solves the problem by way of the infrastructure, while the second one does it by acting inside the vehicle.

### 4.1. Solutions in the infrastructure

#### 4.1.1. Use of railway platform height along the whole tram-line/network

The first obvious solution to excessive vertical distance between tram-train vehicle and railway platforms incorporates the use of the railway platform height along the whole tram-train network, combined with the use of a high floor tram-train vehicle.

Nevertheless, this solution has, at least, four important inconveniences:

- It is only applicable firstly, in the case of an existing urban network with high platforms or secondly, when a new urban network is going to be established. In the first case, this could be a good option, as citizens are used to the existence of high platforms in the streets. Nevertheless, in the second case it is not recommended due to integration problems of these kinds of platforms in the urban environment (see below). In the case of an existing urban network with low platforms the use of a high floor tram-train vehicle is not advisable, because it will lead to the impossibility of using existing urban stops, and so, to the necessity of building new ones in the streets, where space availability may be a problem.
- Urban integration of high platforms is a problem itself, and this is why modern light rail systems have adopted partial or complete low floor vehicles as a general solution. Although innovative design as the one of the Curitiba bus network (Brazil) can be applied, high platforms have an obvious higher impact on urban environment.
- In the case where there is lack of space in the streets, low platforms (almost with the same height as the sidewalk kerb), can be used by pedestrians in such a way that they can be perceived as an additional part of the sidewalk. This is not the case of high platforms, which will be only used by tram-train passengers, due to the inconvenience of height difference with the rest of the street.

In fig. 2 a comparison is presented between a Bordeaux light rail stop with low-platform, used as sidewalk too, and one in Cologne, in which it is necessary to have much more space to introduce the platform as an independent part of the street.

It does not solve the problem of excessive horizontal distance,

## OSSERVATORIO

### 4. Discussione delle possibili soluzioni

Il problema delle eccessive distanze orizzontali e verticali tra banchine ferroviarie e veicoli tram-treno può essere risolto per mezzo di due differenti approcci. Il primo approccio risolve il problema agendo sull'infrastruttura mentre il secondo agendo sul veicolo.

#### 4.1. Soluzioni riguardanti l'infrastruttura

##### 4.1.1. Utilizzo della quota di banchina ferroviaria lungo l'intera linea/rete tram-treno

La prima soluzione al problema dell'eccessiva distanza verticale tra veicolo tram-treno e banchine ferroviarie è di utilizzare la quota della banchina ferroviaria sull'intera rete tram-treno, assieme all'utilizzo di un veicolo tram-treno con pianale alto.

Tuttavia questa soluzione presenta almeno quattro inconvenienti importanti:

- Essa è esclusivamente applicabile in primo luogo al caso di una rete urbana esistente con banchine alte o, in secondo luogo, quando si pianifica una nuova rete urbana. Nel primo caso la soluzione proposta può rappresentare una valida opzione in quanto i cittadini sono abituati all'esistenza di banchine alte nelle strade. Nel secondo caso la soluzione non è raccomandata a causa dei problemi di integrazione del tipo di banchine nell'ambiente urbano (vedi di seguito).
- Nel caso di una rete urbana esistente con banchine basse l'utilizzo di un veicolo tram-treno a pianale alto non è consigliabile in quanto comporta l'impossibilità di utilizzare le fermate urbane esistenti e quindi la necessità di costruire nuove fermate lungo le strade ove la disponibilità di spazi può rappresentare un problema.
- L'integrazione urbana delle banchine alte rappresenta un problema in quanto i sistemi metropolitani leggeri hanno adottato come soluzione generale quella dei veicoli a pianale parzialmente o completamente ribassato. Sebbene possa essere effettuata una progettazione innovativa come quella della rete autobus di Curitiba (Brasi-

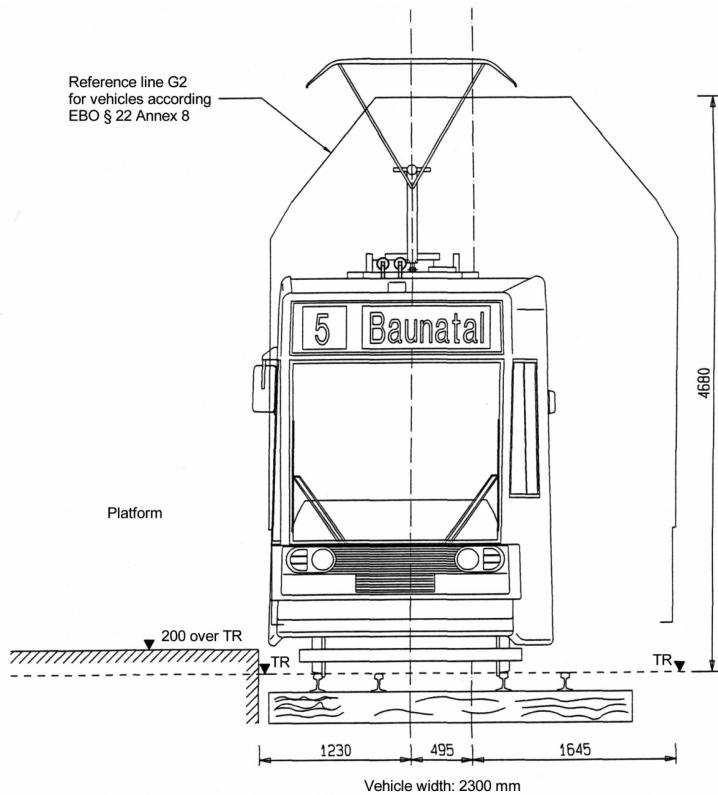
which will have to be counteracted by means of, for example, sliding platforms in the vehicle (see below).

Due to these inconveniences, this solution is not recommended in general, but it could be the best one to avoid one of the geometric incompatibilities between railway and urban stations in the case of existing urban network with high platforms.

##### 4.1.2. Track axis diversion in railway stations

This solution has been used in Kassel tram-train (fig. 3), but it has, as the previous one, several important inconveniences:

- It only solves the problem of excessive horizontal distance, but not the vertical one. It was not a problem in Kassel, with low railway platforms, but in a general case an additional solution must be applied in the vehicle (with retractable steps, for example) for solving height differences.
- The diversion of the track axis is achieved by the use of



(Fonte- Source [5])

Fig. 3 - Stazione a quattro rotaie. Four rail station.

## OSSERVATORIO

le), le banchine a pianale alto hanno ovviamente un maggior impatto sull'ambiente urbano.

- Nel caso in cui vi sia mancanza di spazio nelle strade, le banchine basse (quasi della stessa altezza del cordolo del marciapiede) possono essere utilizzate dai pedoni in modo che gli stessi le percepiscano come parte aggiuntiva del marciapiede. Questo non è il caso delle banchine alte che saranno utilizzate esclusivamente dai passeggeri del veicolo tram-treno a causa dell'inconveniente della differenza di quota rispetto al resto della strada.

In fig. 2 è presentato un confronto tra le fermate della ferrovia leggera di Bordeaux con banchine basse, utilizzate anche come marciapiedi, e quelle di Colonia ove è indispensabile avere molto più spazio per introdurre le banchine come parte indipendente della strada.

Essa non risolve il problema dell'eccessiva distanza orizzontale, che dovrà essere compensata per mezzo, ad esempio, di banchine scorrevoli a bordo del veicolo (vedere di seguito).

Per effetto di questi inconvenienti, questa soluzione non è in generale raccomandata, ma potrebbe essere la migliore per evitare l'incompatibilità geometrica tra stazioni ferroviarie ed urbane nel caso di rete urbana esistente con banchine alte.

### 4.1.2. Deviazione dell'asse binario nelle stazioni ferroviarie

Questa soluzione è stata utilizzata nel veicolo tram-treno Kassel (fig. 3) ma la stessa presenta, come la precedente, diversi importanti inconvenienti:

- essa risolve solo il problema dell'eccessiva distanza orizzontale ma non di quella verticale. Ciò non costituisce un problema per il veicolo Kassel, con banchine ferroviarie basse, ma nel caso generale un provvedimento integrativo deve essere applicato al veicolo (con gradini retrattili, ad esempio) per risolvere il problema delle differenze di altezza.
- la deviazione dell'asse del binario è ottenuta mediante l'uso di deviatoi su entrambi i lati della stazione, che rendono la sovrastruttura ferroviaria più complessa, più difficile da esercire e con maggiori necessità di manutenzione.

Così, nonostante il suo utilizzo nel veicolo Kassel e sebbene essa sia una delle opzioni incluse nella raccomandazione tedesca [5], questa soluzione non è applicabile in modo generale.

### 4.1.3. Banchine tram-treno in parallelo a quelle ferroviarie esistenti

Questa soluzione è rappresentata in fig. 4. Nuove banchine saranno adattate alle caratteristiche geometriche tram-treno, caratterizzate da una quota ridotta e da un'appropriata distanza dall'asse binario per evitare un'eccessi-

several points on both sides of the station, which makes the track superstructure more complex, more difficult to operate, and with necessity for more maintenance.

So, in spite of its use in Kassel, and although it is one of the options included in the German recommendation [7], this solution will not be applicable in a general way.

### 4.1.3. New tram-train platforms in parallel to existing railway ones

This solution is represented in figure 4. New platforms will be adapted to tram-train geometric characteristics, having low height and an appropriate distance to track axis to avoid excessive horizontal distance. In this way, this option solves both problems, which constitutes its main advantage. Another good property of this solution is the fact that there will not be fast trains running through tram-train stations without stopping.

On the other hand, it has important inconveniences, which are the following:

- Space is needed to build the new platforms. In many cases, this space will not be available, and consequently this solution will be avoided.
- The complexity of the superstructure due to the necessity of providing points on both sides of the stations to allow the tram-train vehicle to be derived to the appropriate platform. This fact has the same problems presented for the Kassel solution.
- Finally, a minor inconvenience is that the accessibility to railway platforms will be made worse, due to the existence of lateral tram-train ones. This can be solved by means of separate grade crossings over or under the tracks.

### 4.1.4. New tram-train platforms in series to existing railway ones

This solution is shown in fig. 5. As can be seen in this figure, the new low platform for tram-train vehicles can protrude horizontally in relation to existing railway platform, because structural gauge of railway vehicles in this zone is not as wide. If the structural gauge width reduction in lower parts of the railway vehicle is enough to compensate the differences in carbody width between railway and tram-train vehicles (including, if it is necessary, a sliding platform), this option solves the two geometric problems.

In this case, the availability of space for building the new platform is more probable, because along the railway track there is a land strip which is normally owned by the railway administration.

The inconveniences of this solution are as follows [8]:

- Low platforms will make trespass easier and passengers may assume it is safe to cross the tracks since this may be permitted in other zones of the route operated by tram-train vehicles.

## OSSERVATORIO

va distanza orizzontale. In tal modo questa opzione risolve entrambi i problemi, costituendo quindi il suo principale vantaggio. Altro aspetto positivo di questa soluzione è il fatto che non vi saranno treni veloci transitanti lungo le banchine tram-treno senza effettuare fermata.

D'altro lato essa ha importanti inconvenienti come di seguito illustrato:

- è necessario lo spazio per costruire le nuove banchine. In molti casi questo spazio non sarà disponibile e conseguentemente tale soluzione non sarà possibile;
- la complessità della sovrastruttura per effetto della necessità di prevedere deviatoi su entrambi i lati delle stazioni per consentire al veicolo tram-treno di accedere alla specifica banchina. Questa circostanza evidenzia gli stessi problemi emersi per la soluzione Kassel;
- infine un inconveniente minore è quello della peggiore accessibilità alle banchine ferroviarie per effetto della presenza di quelle laterali esistenti. Ciò può essere risolto mediante distinti attraversamenti sopra o sotto i binari.

### 4.1.4. Nuove banchine tram-treno in serie a quelle ferroviarie esistenti

La soluzione è mostrata in fig. 5. La nuova banchina bassa per veicoli tram-treno può sporgere in senso orizzontale relativamente alla banchina ferroviaria esistente, perché la sagoma limite strutturale dei veicoli ferroviari in questa zona non è altrettanto larga. Se la riduzione di larghezza della sagoma limite strutturale nelle parti inferiori del veicolo ferroviario è sufficiente a compensare le differenze di larghezza della cassa tra veicoli ferroviari e veicoli tram-treno (comprendendo se necessario una banchina scorrevole), questa opzione risolve entrambi i problemi geometrici.

In questo caso è più probabile che vi sia disponibilità di spazio per la costruzione di nuove banchine in quanto lungo la linea ferroviaria è presente una striscia di terreno che è solitamente di proprietà delle amministrazioni ferroviarie.

Gli inconvenienti di questa soluzione sono i seguenti [6]:

- le banchine basse rendono facili gli sconfinamenti ed i passeggeri possono ritenere possibile e sicuro attraversare i binari in quanto ciò può essere consentito in altre aree del percorso seguito dai veicoli tram-treno;
- i veicoli ferroviari convenzionali che transitano lungo banchine basse introducono pericoli aggiuntivi che non possono verificarsi in altri punti del percorso se-

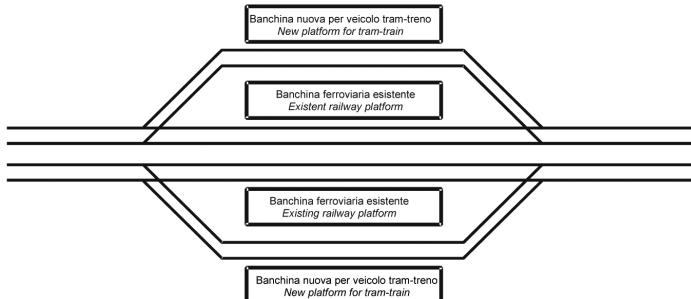


Fig. 4 - Nuove banchine tram-treno in parallelo a quelle esistenti. *New tram-train platforms in parallel to existing ones.*

- Conventional railway vehicles passing low platforms will also add hazards which may not occur on other parts of the route operated by tram-train vehicles.
- Where a low platform is positioned adjacent to tracks carrying conventional railway vehicles, these vehicles may overhang the platform. This introduces a new risk because people on the edge of the low platform may be struck by the conventional railway vehicle and it increases the risk of people being swept up by the slip stream of railway vehicles travelling at relatively high speeds.

In any case, these inconveniences can be counteracted by designing the low platforms bearing in mind the next principles [8]:

- They should be designed, built, operated and maintained in order to reduce risk so far as is reasonably practicable considering all hazards likely to occur at their specific locations.
- The platform edge is recognised to be a danger area and should be clearly identified as such to the public and ample platform width provided to avoid the need for people to occupy it except when boarding and alighting from tram-train vehicles. To reinforce this principle, platforms can be built with small projections along the platform edge at tram-train doorway positions or with lockable gates in access to platforms inhibiting access to edge of low platform when conventional railway vehicles pass. On the other hand, some conditions can be imposed to conventional railway vehicles that pass through the station without stopping, as speed limits or a requirement to sound horn when they are approaching the station.
- Crossing the tracks should be discouraged by all reasonably practical means. It is not practical to prevent people crossing the tracks at all locations, but there are some simple strategies to get that effect, for instance to stagger platforms to avoid the temptation of crossing the line other than at designated crossing points, or provide (or make use of existing) grade sep-

## OSSEVATORIO

guito dai veicoli tram-treno;

- Quando una banchina bassa è posizionata in adiacenza ai binari su cui transitano veicoli ferroviari convenzionali, questi veicoli possono sporgere sopra la banchina. Ciò introduce un nuovo rischio in quanto le persone sul bordo della banchina bassa possono essere colpiti dal veicolo ferroviario tradizionale ed aumenta anche il rischio che le persone possano essere trascinate dall'effetto scia dei veicoli ferroviari che viaggiano a velocità relativamente elevate.

In ogni caso questi inconvenienti possono essere compensati progettando le banchine basse sulla base dei principi seguenti [6]:

- esse dovrebbero essere progettate, costruite, esercite e manutenute, considerando tutti i rischi che possono verificarsi in corrispondenza di questi siti;
- è noto che il bordo della banchina rappresenta un'area pericolosa e dovrebbe essere quindi chiaramente segnalata come tale al pubblico, garantendo inoltre una adeguata larghezza di banchina per evitare che le persone si trovino nella condizione di dover occupare l'area del bordo banchina in situazioni differenti da quelle della salita e della discesa dai veicoli tram-treno. Per rafforzare tale principio, le banchine possono essere costruite con piccoli oggetti lungo il bordo banchina in corrispondenza dei vani delle porte del veicolo tram-treno o con cancelli serrabili di accesso alle banchine, inibendo l'accesso al bordo delle banchine basse quando transitano i veicoli ferroviari tradizionali. D'altro canto alcune prescrizioni possono regolare il transito senza fermata dei veicoli ferroviari convenzionali nelle stazioni, quali limitazioni di velocità o prescrizioni di segnalazione sonora all'avvicinarsi del veicolo alla stazione;
- l'attraversamento dei binari dovrebbe essere scoraggiato con ogni ragionevole mezzo. Non è pensabile impedire l'attraversamento binari da parte delle persone in tutti i siti, ma esistono delle semplici strategie per conseguire tale obiettivo, quali ad esempio sfalsare le banchine per evitare la tentazione di attraversare la linea in punti diversi da quelli di progetto, o prevedere (o utilizzare quelle esistenti) mezzi di separazione a livello degli attraversamenti ferroviari e progettare il tracciato in modo che questi siano in corrispondenza dei punti di attraversamento naturale", come pure utilizzare superfici di camminamento scomode sul binario alle estremità delle banchine basse;

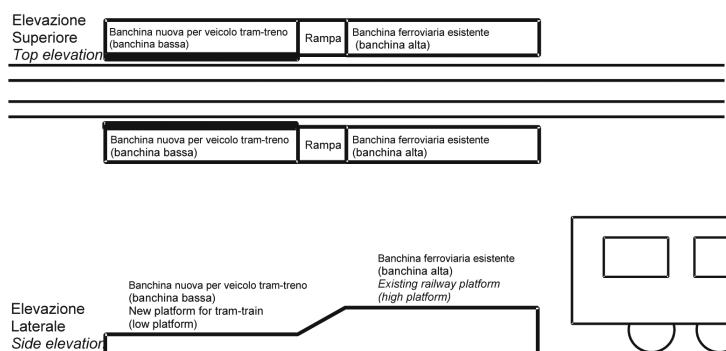


Fig. 5 - Nuove banchine tram-treno in serie a quelle esistenti. New tram-train platforms in series to existing ones.

inated means of crossing the line and design the layout so these are at the "natural crossing point", as well as using unfriendly walking surfaces on the track and at the ends of low platforms.

- Measures should be taken to avoid passengers becoming confused and behaving in a manner that would put them at risk through not realising that they are at a station used by conventional railway vehicles. These measures can be, for example, platform edge treatment and platform surface colouring, design stations to have a "railway character", platform signage and warning notices, visual warnings (such as flashing lights), etc.
- No new pedestrian crossings should be provided at shared track stations.
- Low platforms will normally be under CCTV surveillance and a means provided so that the station operator can take action, including public address warnings, if dangerous situations occur.

In any case, due to the advantages of this solution, and the capacity to avoid its main inconveniences with an appropriate design of low platforms, this option is one of the most recommended in general, although a detailed study must be done to determine whether the structural gauge compensates the width difference or not. This study has been made, for example, for Cádiz tram-train (Spain), and the conclusion is that it is not enough, which has lead to adopt a solution in the vehicle itself.

As an example of this application, figure 6 shows a tram-train low platform in series with a railway high one, protruding horizontally, in RijnGouweLijn (The Netherlands).

### 4.2. Solutions in the vehicle itself

#### 4.2.1. Tram-train vehicle with conventional train's width

Although this solution is not applicable in general, it can be a good option to avoid horizontal distances in

## OSSERVATORIO

- dovrebbero essere adottate delle misure per evitare che i passeggeri si confondano e si comportino in modo tale da ritrovarsi in situazioni di rischio non realizzando che essi si trovano in una stazione utilizzata da veicoli ferroviari convenzionali. Queste misure possono essere ad esempio il trattamento del bordo della banchina e la colorazione della superficie della banchina, la progettazione delle stazioni in modo che abbiano un "carattere ferroviario", segnaletica di banchina e annunci di avviso, segnalazioni visive (quali luci lampeggianti), ecc.;
- nessun nuovo attraversamento pedonale deve essere previsto nelle stazioni con binari condivisi;
- le piattaforme basse sono solitamente sorvegliate dal sistema TVCC e l'operatore di stazione è dotato di idonei mezzi, compresi gli annunci al pubblico, da utilizzare in caso di situazioni di emergenza.

In ogni caso, per effetto dei vantaggi di questa soluzione e della capacità di evitare i suoi principali inconvenienti con un idoneo progetto delle piattaforme basse, questa opzione è in generale una delle opzioni più raccomandate, sebbene debba essere eseguito uno studio dettagliato per determinare se la sagoma limite strutturale compensi o meno la differenza di larghezza. Questo studio è stato ad esempio effettuato per il veicolo tram-treno di Cadiz (Spagna) e la conclusione è stata che ciò non è abbastanza, il che ha portato ad adottare una soluzione sul veicolo stesso.

Come esempio di questa applicazione, la figura 6 mostra una banchina bassa per veicolo tram-treno in serie a una banchina ferroviaria alta, sporgente in senso orizzontale, presso RijnGouweLijn (Olanda).

### 4.2. Soluzioni riguardanti il veicolo

#### 4.2.1. Veicolo tram-treno con larghezza tipica del treno convenzionale

Sembra questa soluzione non sia applicabile in generale, essa può essere una buona opzione per evitare distanze orizzontali in alcuni casi specifici delle reti urbane nuove, se il veicolo ferroviario convenzionale non è eccessivamente largo.

Questo è il caso di diversi veicoli ferroviari a sagoma limite stretta come quelli di FEVE in Spagna che hanno una larghezza di cassa di circa 2550 mm. Questo valore non è eccessivo per percorrere binari urbani, in quanto i moderni veicoli metropolitani leggeri raggiungono valori fino a 2650 mm. In ogni caso permane la necessità di risolvere il problema della differenza di altezza.

Questa opzione è raccomandata nel caso dei sistemi tram-treno che sono destinati a percorrere reti urbane nuove sviluppate allo stesso tempo del tram-treno, quando sono utilizzati binari ferroviari a scartamento ridotto.



(Fonte - Source: Wikimedia Commons. Autore: Adam WOODCRAFT)

Fig. 6 - Banchina tram-treno in serie a una banchina ferroviaria alta, sporgente in senso orizzontale, presso RijnGouweLijn (Olanda). *Tram-train low platform in series with a railway high one, protruding horizontally, in RijnGouweLijn (The Netherlands).*

some specific cases for new urban networks, if the conventional railway vehicle is not excessively wide.

This is the case of several narrow gauge railway vehicles, as those of FEVE in Spain, which have a car-body width of around 2550 mm. This value is not excessive for running over urban tracks, as modern light rail vehicles reach values of up to 2650 mm. In any case, it is still necessary to solve the problem of height difference.

Therefore this option is recommended in the case of tram-train systems which are going to run over new urban networks developed at the same time as the tram-train, when narrow gauge railway tracks are going to be used.

#### 4.2.2. Tram-train vehicle with retractable platforms or steps

Karlsruhe tram-train vehicles use retractable steps (fig. 7) to solve vertical and horizontal distances, while Saarbrücken ones use retractable platforms to solve only horizontal distances. These solutions are, in addition, contemplated in the German recommendation [7].

The advantage of these solutions is that they solve the problem inside the vehicles, avoiding the need to do any work in the infrastructure (which may cause the railway administrators to be reluctant to choose this option).

The main inconvenience is that they make the vehicles more complex, which leads to higher maintenance and manufacturing costs. In any case, this technology has been well tested nowadays and it should not present any major problems.

Therefore, these are recommended solutions in the case that it is not possible to solve the problem in the infrastructure.

## OSSERVATORIO

### 4.2.2. Veicolo tram-treno con banchine o gradini retrattili

I veicoli tram-treno di Karlsruhe utilizzano gradini retrattili (fig. 7) per risolvere il problema delle distanze orizzontali e verticali, mentre quelli di Saarbrücken utilizzano banchine retrattili per risolvere il solo problema delle distanze orizzontali. Queste soluzioni sono contemplate nella raccomandazione tedesca [5].

Il vantaggio di queste soluzioni è che esse risolvono il problema all'interno dei veicoli, evitando la necessità di effettuare lavorazioni sull'infrastruttura (che potrebbe indurre l'amministrazione ferroviaria ad essere riluttante ad accettare l'opzione).

Il principale inconveniente è che rendono i veicoli più complessi, determinando maggiori costi di manutenzione e di costruzione. In ogni caso questa tecnologia è oggi ben sperimentata e non dovrebbe presentare particolari problemi.

Queste sono soluzioni raccomandate nel caso che non sia possibile risolvere il problema agendo sull'infrastruttura.

### 4.2.3. Veicolo tram-treno con pianale a doppia altezza

L'ultima opzione per risolvere il problema agendo sul veicolo stesso consiste nell'utilizzare un veicolo con pianale a doppia altezza (fig. 8), in modo tale che il pianale alto è utilizzato per accedere dalle stazioni ferroviarie mentre il pianale ribassato è usato per le fermate urbane. In generale saranno presenti dei sistemi per segnalare quali porte si apriranno ad ogni stazione/fermata.

Ovviamente sarà necessario dotare il veicolo di rampe o sistemi di elevazione per consentire alle persone con esigenze particolari di muoversi lungo il veicolo senza problemi.

Questa soluzione risolve esclusivamente il problema delle distanze verticali, essendo necessario l'utilizzo di altri sistemi, quali ad esempio le banchine scorrevoli, per risolvere il problema delle distanze orizzontali. D'altro canto essa ha l'inconveniente di rendere il veicolo più complesso, il che determina maggiori costi di manutenzione e costruzione.

In ogni caso questa può essere una soluzione appropriata in alcuni casi specifici. Infatti questa è l'opzione adottata per il veicolo tram-treno di Cadiz (Spagna) dove saranno utilizzate le stazioni ferroviarie sotterranee esistenti e dove non vi è spazio per banchine aggiuntive. Il veicolo avrà due differenti altezze del pianale rispetto al piano del ferro, la prima di 380 mm da utilizzare nelle fermate urbane, la seconda di 850 mm da utilizzare nelle fer-

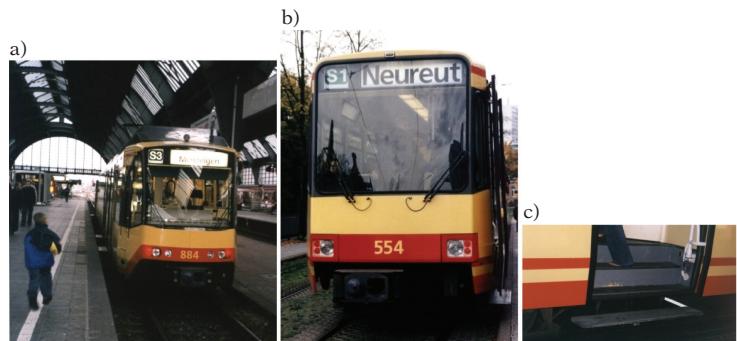


Fig. 7 - Veicolo tram-treno di Karlsruhe con gradini retrattili a) stazione ferroviaria; b) fermata urbana; c) dettagli. *Karlsruhe tram-train with retractable steps: a) railway station; b) urban stop; c) detail.*

### 4.2.3. Tram-train vehicle with dual-height floor

The last option to solve the problem in the vehicle itself consists on using a vehicle with dual-height floor (fig. 8), in such a way that the high floor is used to access from railway stations, while the low floor is used for urban stops. In general, there will be some system for signalling which doors are going to open at every station/stop.

Obviously, it will be necessary to provide the vehicle with some ramps or elevator systems to allow people with special needs to move along the vehicle without problem.

In addition, this solution only solves the problem of vertical distances, being necessary to use some other mechanism, as for example sliding platforms, to solve the problem of horizontal distance. On the other hand, it has the inconvenience of making the vehicle more complex, which will lead to greater costs of maintenance and manufacturing.

In any case, this can be an appropriate solution in some specific cases. In fact, this is the option adopted in Cádiz tram-train (Spain), where underground existing railway stations are going to be used, and there is no space for additional platforms. The vehicle will have two different floor heights over the top of the rail, the first one of 380 mm, to be utilised in urban stops, and the second one of 850 mm, to be used in railway stops. There will be an elevator between those zones to allow wheelchair user to move inside the vehicle.

## 5. Conclusions

In this paper passenger access problem to tram-train systems and its solutions has been explained. To conclude a synopsis of possible situations and solutions is going to be made.

### Possible situations:

1. Urban stops:
  - 1.1. Newly built urban stops
  - 1.2. Existing urban stops

## OSSERVATORIO

mate ferroviarie. Vi sarà un sistema di sollevamento tra quelle zone per consentire ai passeggeri su sedia a rotelle di muoversi all'interno del veicolo.

### 5. Conclusioni

In questo articolo è stato trattato il problema dell'accesso dei passeggeri ai sistemi tram-treno e le sue soluzioni.

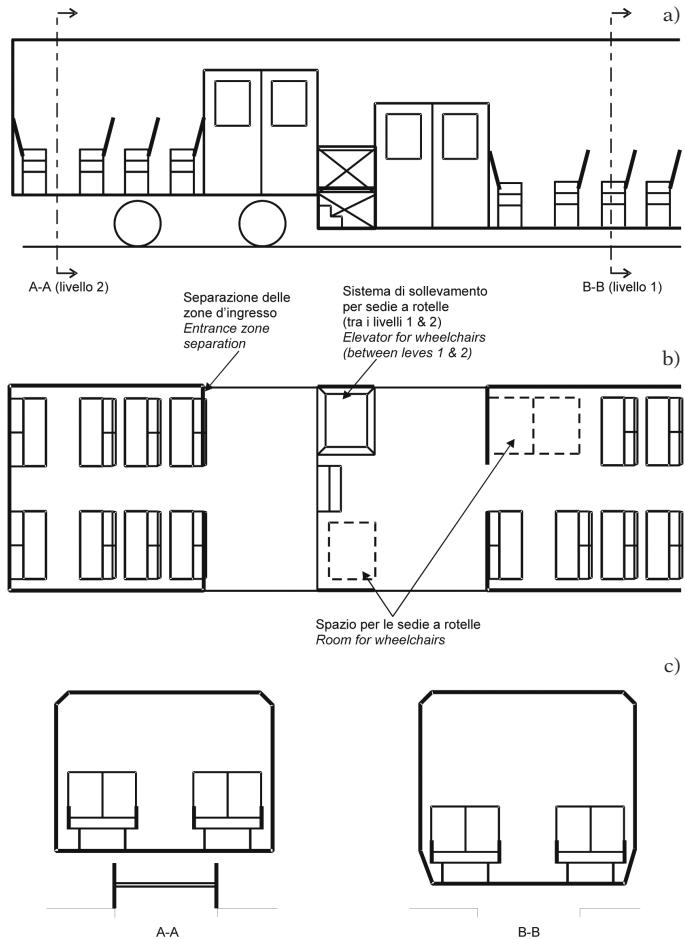
In conclusione viene presentato un quadro delle possibili situazioni e delle relative soluzioni.

#### Possibili situazioni:

1. Fermate urbane:
  - 1.1. Fermate urbane di recente costruzione.
  - 1.2. Fermate urbane esistenti.
2. Stazioni ferroviarie:
  - 2.1. Stazioni ferroviarie di recente costruzione.
  - 2.2. Stazioni ferroviarie esistenti con una nuova banchina aggiuntiva o con la sola banchina ferroviaria.

#### Possibili soluzioni:

1. Soluzioni riguardanti l'infrastruttura:
  - 1.1. Utilizzo della quota della banchina ferroviaria lungo tutta la linea/rete tram-treno. Tale soluzione risolve solo il problema delle distanze verticali. Soluzione possibile sebbene non raccomandata.
  - 1.2. Deviazione dell'asse binario nelle stazioni ferroviarie. Tale soluzione risolve solo il problema delle distanze orizzontali. Soluzione possibile sebbene non raccomandata.
  - 1.3. Banchine tram-treno nuove in parallelo a quelle ferroviarie esistenti. Tale soluzione risolve il problema delle distanze orizzontali e di quelle verticali. Soluzione possibile se esiste abbastanza spazio disponibile nelle aree delle stazioni ferroviarie. Tale soluzione non è considerata una soluzione ottimale a causa dei suoi inconvenienti.
  - 1.4. Banchine tram-treno nuove in serie a quelle ferroviarie esistenti. Tale soluzione risolve il problema delle distanze orizzontali e di quelle ver-



(Fonte - Source: [7])

Fig. 8 - Veicolo a doppia altezza: a) elevazione laterale; b) elevazione superiore; c) sezioni trasversali A-A e B-B. Double height vehicle: a) side elevation; b) top elevation; c) A-A and B-B cross-sections.

### 2. Railway stations:

- 2.1. Newly built railway stations.
- 2.2. Existing railway stations with a new additional platform or only with the railway platform.

#### Possible solutions:

1. Solutions in the infrastructure:
  - 1.1. Use of railway platform height along the whole tram-train line/network. It only solves vertical distances. Possible solution although not recommended.
  - 1.2. Track axis diversion in railway stations. It only

## OSSERVATORIO

ticali. Questa è considerata la migliore soluzione a meno che non vi sia spazio disponibile (ad esempio nel caso di stazioni sotterranee).

### 2. Soluzioni riguardanti il veicolo stesso:

- 2.1. Veicolo tram-treno con larghezza ferroviaria. Tale soluzione risolve solo il problema delle distanze orizzontali. Essa è raccomandata nel caso che il veicolo tram-treno verrà utilizzato su linee ferroviarie convenzionali a scartamento ridotto con larghezza della cassa ridotta (fino a 2650 mm).
- 2.2. Veicolo tram-treno con banchina o gradini retrattili. Tale soluzione risolve il problema delle distanze orizzontali e di quelle verticali. Questa è la soluzione raccomandata nel caso i cui non sia possibile risolvere il problema sull'infrastruttura.
- 2.3. Veicolo tram-treno con altezza duale del pianale. Tale soluzione risolve solo il problema delle distanze verticali. Questa non è la soluzione raccomandata sebbene possa essere l'unica soluzione disponibile in certe situazioni (come nel caso del veicolo tram-treno di Cadiz in Spagna).

#### *Soluzioni raccomandate:*

1. Caso delle linee ferroviarie convenzionali a scartamento ridotto:
  - 1.1. Rete urbana di recente costruzione. Soluzione: veicolo tram-treno con la stessa larghezza di cassa dei veicoli ferroviari convenzionali, ma con pianale ribassato. Le stazioni ferroviarie esistenti da utilizzare devono essere dotate di banchina bassa di nuova costruzione in serie a quella esistente. Nelle nuove fermate lungo la linea ferroviaria devono essere costruite nuove banchine basse.
  - 1.2. Rete urbana esistente con banchine basse. Soluzione: veicoli tram-treno simili a quelli metropolitani leggeri (per altezza del pianale e larghezza della cassa). Le stazioni ferroviarie esistenti da utilizzare devono essere dotate di banchina bassa di nuova costruzione in serie a quella esistente. Nelle nuove fermate lungo la linea ferroviaria devono essere costruite nuove banchine basse.
  - 1.3. Rete urbana esistente con veicoli a pianale alto. Soluzione: veicoli tram-treno a pianale alto con la stessa larghezza di cassa di quelli metropolitani leggeri. Gradini retrattili per risolvere il problema delle distanze orizzontali e di piccole differenze nelle distanze verticali.
  - 1.4. Rete urbana di nuova costruzione con veicoli a pianale alto. Soluzione: veicoli tram-treno a pianale alto con la stessa larghezza di cassa delle ferrovie convenzionali se non eccessiva per la circolazione su strada. In un altro caso, veicoli tram-

solves horizontal distances. Possible solution although not recommended.

- 1.3. New tram-train platforms in parallel to existing railway ones. It solves vertical and horizontal distances. Only possible if there is enough available space around railway stations. It is not considered an optimum solution due to its inconveniences.
- 1.4. New tram-train platforms in series to existing railway ones. It solves vertical and horizontal distances. It is considered the best solution unless there is not available space (for example, in the case of underground stations).

#### 2. Solutions in the vehicle itself:

- 2.1. Tram-train vehicle with railway width. It only solves horizontal distances. It is recommended in the case that tram-train is going to use narrow gauge conventional railway lines with narrow carbody width (up to 2650 mm).
- 2.2. Tram-train vehicle with retractable platforms or steps. It solves vertical and horizontal distances. It is the recommended solution in the case that it is not possible to solve the problem in the infrastructure.
- 2.3. Tram-train vehicle with dual-height floor. It only solves vertical distances. It is not recommended, although it can be the only solution available in certain situations (as the case of Cádiz tram-train in Spain).

#### *Recommended solutions:*

1. Case of narrow gauge conventional railway lines:
  - 1.1. Newly built urban network. Solution: tram-train with the same carbody width as the conventional railway vehicles, but with low-floor. Existing railway stations to be used must be provided with newly built low platform in series with the existing one. In new stops over the railway line new low platforms must be built.
  - 1.2. Existing urban network with low platforms. Solution: tram-train vehicles similar to light rail ones (in floor height and carbody width). Existing railway stations to be used must be provided with newly built low platform in series with the existing one. In new stops over the railway line new low platforms must be built.
  - 1.3. Existing urban network with high-floor vehicles. Solution: high-floor tram-train vehicles with the same carbody width as light rail ones. Retractable steps to solve horizontal distances and small differences in vertical distances.
  - 1.4. Newly built urban network with high-floor vehi-

## OSSERVATORIO

treno a pianale alto con larghezza inferiore e banchine retrattili per risolvere il problema della distanza orizzontale dalle banchine ferroviarie.

2. Caso delle linee ferroviarie a scartamento superiore al normale
  - 2.1. Rete urbana di nuova costruzione o esistente con veicoli a pianale ribassato. Soluzione: veicoli tram-treno a pianale ribassato con larghezza di cassa pari a 2650 mm. Le stazioni ferroviarie esistenti da utilizzare devono essere dotate di banchine basse di nuova costruzione in serie a quelle esistenti. Se ciò non è possibile, devono essere utilizzate banchine basse in parallelo a quelle esistenti. Se anche ciò non è possibile il veicolo tram-treno deve essere dotato di scalini retrattili.
  - 2.2. Rete urbana esistente con veicoli a pianale alto. Soluzione: veicoli tram-treno a pianale alto con la stessa larghezza di cassa di quelli ferroviari leggeri. Gradini retrattili per risolvere il problema delle distanze orizzontali e delle piccole differenze nelle distanze verticali.
  - 2.3. Rete urbana di nuova costruzione con veicoli a pianale alto. Soluzione: veicoli tram-treno a pianale alto con larghezza di cassa di 2650 mm. Gradini retrattili per risolvere il problema delle distanze orizzontali e delle piccole differenze nelle distanze verticali.

cles. Solution: high-floor tram-train vehicles with the same carbody width as conventional railways if it is not excessive for running over the street. In another case, high-floor tram-train vehicles with shorter width and retractable platforms to solve horizontal distance to railway platforms.

### 2. Case of wide gauge conventional railway lines:

- 2.1. Newly built or existing urban network with low-floor vehicles. Solution: Low floor tram-train vehicle with carbody width of 2650 mm. Existing railway stations to be used must be provided with newly built low platforms in series with the existing ones. If this is not possible, low platforms in parallel to existing one must be used. In this is not possible either, tram-train vehicle with retractable steps.
- 2.2. Existing urban network with high-floor vehicles. Solution: high-floor tram-train vehicles with the same carbody width as light rail ones. Retractable steps to solve horizontal distances and small differences in vertical distances.
- 2.3. Newly built urban network with high-floor vehicles. Solution: high-floor tram-train vehicles with carbody width of 2650 mm. Retractable steps to solve horizontal distances and small differences in vertical distances.

## BIBLIOGRAFIA – REFERENCES

- [1] M. NOVALES, A. ORRO, M.R. BUGARÍN, “*The tram-train: state of the art*”, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F, Journal of Rail and Rapid Transit, 2002, 216(N1), 1-13.
- [2] M. NOVALES, A. ORRO, M.R. BUGARÍN, “*Madrid tram-train feasibility study conclusions*”, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F, Journal of Rail and Rapid Transit, 2003, 217(N1), 1-10.
- [3] M. NOVALES, “*Analysis and development of technological adaptations in infrastructure and vehicles for implantation of tram-train systems over tracks of Spanish Metric Gauge Railway Administration (FEVE)*”, Ph.D. Dissertation (in Spanish), University of A Coruña, 2004.
- [4] M. NOVALES, A. ORRO, M.R. BUGARÍN, “*Use of a genetic algorithm to optimize wheel profile geometry*”, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F, Journal of Rail and Rapid Transit, 2007, 221(N4), 467-476.
- [5] Ausschuss für Bahnbau, Schienenfahrzeug- Ausschuss. “*Einsatz von Stadtbahn- Fahrzeugen im Mischbetrieb nach BOStrab und EBO*”. Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV), July 1995.
- [6] Safety and Standards Directorate. *Guidance Note GE/GN-8502, “Operation of trams and light rail or metro vehicles over Railtrack controlled infrastructure”*. London, 1999, Railtrack.
- [7] E.K. MORLOK, “*Entranceway and car body design: EBD 2.1 - an integrated railcar design for mixed high level (including mini-HL) and low level platform lines that meets both ADA accessibility requirements and freight service clearance requirements*”, May 2002, University of Pennsylvania.