



## Trasformazione a tramvia di un sedime ferroviario. Il caso studio del sistema tram-treno nell'area metropolitana di Brescia

### *Transformation of a railway facility into a tramway. The case study of a tram-train system in the metropolitan area of Brescia*

Prof. Ing. Giulio MATERNINI<sup>(\*)</sup>  
Dott. Ing. Stefano RICCARDI<sup>(\*)</sup>  
Ing. Margherita CADEI<sup>(\*)</sup>

#### 1. Premessa

Il sistema tram-treno, nella sua accezione più completa, è definito come *“un sistema di trasporto che integra fra loro linee ferroviarie e tranviarie utilizzando veicoli progettati per circolare principalmente nelle reti tranviarie e in grado di circolare, senza rotture di carico, su entrambi i tipi di infrastruttura”* [1].

La sua nascita è avvenuta nel 1957 nella città tedesca di Karlsruhe, in cui una ferrovia regionale venne riqualificata e collegata con la rete tranviaria cittadina. Successivamente, a partire dai primi anni '90, anche nel resto d'Europa sono stati elaborati numerosi studi di fattibilità di tale sistema, arrivando oggi a contare una dozzina di sistemi in esercizio.

Non esiste un unico modello di riferimento del sistema: va individuata la soluzione più appropriata da caso a caso. La fattibilità di un sistema tram-treno deve essere valutata quindi attentamente, partendo dall'analisi del territorio urbano, dello stato di fatto delle infrastrutture esistenti e della domanda di trasporto, senza trascurare considerazioni in merito ai costi/benefici delle stesse.

Alla luce della recente predisposizione<sup>(1)</sup> delle “Linee guida per i sistemi tram-treno”, si propone una prima loro ipotesi di applicazione al caso dell'area metropolitana ad ovest di Brescia. Il caso di studio ipotizza la possibilità di trasformare una tratta di una ferrovia regionale (La linea Brescia - Iseo - Edolo) in una “tramvia”, tramite l'uti-

#### 1. Prefact

A tram-train system (TT) is defined as a “transport system able to integrate railway lines and tramway lines through the use of vehicles which are specially designed to mainly circulate on tramlines, but also on both tram and railway facilities, without causing passengers breaking bulks” [1].

The tram-train (TT) system was conceived in the German city of Karlsruhe in 1957, when the local railway line was regenerated and connected to the urban tram line, creating a continuous itinerary to the historical city centre. Progressively, since the beginning of the '90, in Europe many feasibility studies were elaborated about the realisation of such kind of system and a total number of 12 TT systems were put into operation.

There is not a unique TT system scheme to be taken as reference: the most suitable solution must be found according to the local conditions. Then, the feasibility of a TT system must be thoroughly evaluated, analysing the urban function, identifying the existing facilities, estimating the transport demand and undertaking cost/benefit analysis.

The present paper propose a possible application of a new transport system (tram-train) for the western metropolitan area of Brescia, in compliance with the new national guidelines<sup>(1)</sup>. The proposed system would transform an existing regional railway (the Brescia-Iseo-Edolo line) to a

<sup>(\*)</sup> Dipartimento di Ingegneria Civile, Architettura, Territorio, Ambiente e di Matematica (DICATAM), Università degli studi di Brescia.

<sup>(1)</sup> Il Gruppo di Lavoro incaricato a predisporre le “Linee Guida per i Sistemi Tram Treno” è stato istituito con il Provvedimento Prot. R.D. 156 del 10 giugno 2011 firmato dall'Ing. Amedeo FUMERO - Capo Dipartimento per i Trasporti, la Navigazione ed i Sistemi informativi e statistici, ed è costituito da Rappresentanti delle seguenti Organizzazioni: Agenzia Nazionale per la Sicurezza delle Ferrovie (ANSF); ASSTRA; Confindustria; Rete ferroviaria Italiana (RFI); UNIFER.

<sup>(\*)</sup> Dept. of Civil Engineering, Architecture, Land, Environment and Mathematics (DICATAM), University of Brescia.

<sup>(1)</sup> The working group charged with arranging the National Guidelines, was established by the document “Prot. R.D. 156 del 10 giugno 2011” signed by eng. Amedeo FUMERO (Head of Department of Transport, Navigation, Statistics Information Systems) and was composed by representatives of the following organisations: Agenzia Nazionale per la Sicurezza delle Ferrovie (ANSF); ASSTRA; Confindustria; Rete ferroviaria Italiana (RFI); UNIFER.

lizzo di rotabili leggeri di tipo tranviario con rodiggio ferroviario.

Nel presente elaborato vengono quindi forniti i primi spunti metodologici riguardo l'applicazione delle diverse tipologie di sistema adottabili e le principali problematiche tecniche che ne scaturiscono. Viene analizzato quindi l'inserimento di nuove fermate lungo la linea oggetto di studio, del deposito e viene fornita una analisi sommaria dei costi di costruzione e di esercizio.

## 2. Introduzione

La nascita e il primo sviluppo del sistema tram-treno (TT) sono strettamente legati alla città tedesca di Karlsruhe che introduce un primo esempio di veicolo TT nel 1957 quando la linea ferroviaria locale Albtalbahnhof viene riconfigurata con la posa di binari a scartamento ordinario e viene connessa con la rete tranviaria cittadina, creando un percorso continuo fino al centro storico. Dobbiamo però aspettare fino alla seconda metà degli anni '70 per vedere nuovamente una riqualificazione di questo tipo. Viene infatti in quegli anni recuperata una ferrovia che si dirama verso nord, utilizzata solamente per un modesto traffico merci.

Il vero sviluppo del sistema TT a Karlsruhe è stato nel 1992 [2], quando si è realizzato un servizio che utilizzava tanto i binari della rete tramviaria urbana quanto quelli della rete ferroviaria nazionale (DB), peraltro regolarmente utilizzati nel normale esercizio ferroviario.

Questo ha comportato la realizzazione di veicoli bi-modalità, atti a marciare con i 750 V c.c. urbani e i 15 kV c.a. delle ferrovie [3].

Nell'ultimo decennio la rete di Karlsruhe si è notevolmente sviluppata e conta ora 10 linee che si diramano dal centro cittadino per tutta la provincia.

Gli obiettivi che hanno portato a sviluppare sistemi TT, nei quali convivono aspetti tranviari e ferroviari sono:

- eliminazione delle rotture di carico: l'interoperabilità su reti tranviarie e ferroviarie permette servizi diretti tra le aree suburbane e quelle centrali, con vantaggi in termini di tempo e confort per i viaggiatori;
- miglioramento dell'accessibilità: lungo la linea ferroviaria scarsamente utilizzata possono essere realizzate economicamente nuove fermate di tipo tranviario<sup>(2)</sup>;
- economie di realizzazione: l'utilizzo di infrastrutture ferroviarie esistenti permette di limitare i costi di realizzazione di nuove infrastrutture;
- economie di gestione: possono essere adottate modalità tecniche di esercizio flessibilmente adeguate ai servizi da offrire.

Questi obiettivi si traducono in vantaggi concreti sia per l'utenza che per il gestore, in modo tale da poter pun-

tram line, through the use of light tram-like vehicles characterized by a railway compatible wheel arrangement.

*Different kinds of tram-train systems are analysed here, giving some first methodological inputs, highlighting the most important technical problems and providing a summary estimate of realization/operating costs.*

## 2. Introduction

*The Tram-Train (TT) system was conceived in the German city of Karlsruhe. Since the second post war period the city showed great sensitivity towards the environmental problems and a series of traffic analysis were done, in order to exploit the existing but scarcely used (or disused) regional railway networks.*

*The first example of TT vehicle dates back to year 1957, when the local railway line Albtalbahnhof was re-configured by installing ordinary gauge rails and was connected to the urban tramline, realizing a continuous itinerary up to the historical city centre. Another similar renewal project was undertaken only later, in the second half of the seventies, when a railway line, which was scarcely used only for the freight traffic, was restored linking the northern part of the region.*

*A significant step in the TT system development was reached in 1992 [2], when a new kind of service, based on the use of both the tramline rails and the regularly used national railway network (Deutsche Bahn - DB), was implemented.*

*This step brought to the realization of bi-modal vehicles, able to recur either to the DC 750V urban power supply or to the AC 15kV railway one. In the last decade the TT network has been considerably improved and can count now on 10 lines linking the urban centre to the whole province [3].*

*The TT system development is based on the following objectives:*

- *elimination of the so-called "passengers break-bulks". The inter-operability on both the railway and the tramline network allows direct links between the central and the suburban zones, offering advantages to travellers in terms of time savings and comfort;*
- *improvement of the accessibility. Along a TT line new tram stops<sup>(2)</sup> can be realized to offer a more capillary service;*
- *economic advantages from the realization point of view. The renewal of existing railway facilities allow to reduce the initial investment costs;*
- *economic advantages from the management point of view. The TT system is characterized by flexible operating conditions.*

*The objectives mentioned above can be translated into tangible advantages for either the users or the transport*

<sup>(2)</sup> Riducendo tuttavia la capacità della linea.

<sup>(2)</sup> Reducing the line capacity.

tare a un significativo trasferimento modale dal trasporto individuale privato a quello pubblico su ferro, reso maggiormente competitivo dall'inserimento del nuovo sistema.

Lo sviluppo dei sistemi TT in Europa è in continua evoluzione anche a causa delle diverse normative vigenti e in fase di pubblicazione. Nel 2002 in Europa erano in esercizio solamente due sistemi di tipo TT: Karlsruhe (con annesso il sistema di Heilbronn) e Saarbrücken; due erano in fase di realizzazione (Chemnitz e Kassel) e 57 in fase di studio di fattibilità. Dopo dieci anni, in Europa [4, 5], sono attivi 12 sistemi TT e non tutti sono tali in senso stretto<sup>(3)</sup>, alcuni infatti sono definibili come treni-tram, nei quali è il treno a entrare nell'ambito urbano (ne è un esempio Zwickau), per altri (come ad esempio Parigi t4) si tratta di riutilizzo a tranvia di linee ferroviarie dismesse (fig. 1).

### 3. Caratteristiche tecniche e criticità del sistema tram-treno

L'interfacciarsi dei due sistemi, tranviario e ferroviario, dettato dall'utilizzo promiscuo dell'infrastruttura nel caso di sistema TT in senso stretto, porta al generarsi di almeno sette criticità [6] legate all'armamento, allo scartamento, al distanziamento (non trattato nel presente elaborato), alla trazione, all'interfaccia veicolo banchina e all'accessibilità passeggeri ed alla sicurezza attiva e passiva.

#### 3.1. Armamento

Gli armamenti ferroviari e tranviari adottano gli stessi principi di funzionamento ma differiscono per la geometria.

<sup>(3)</sup> Una classificazione dei sistemi in esercizio in Europa secondo le linee guida italiane (illustrate nel capitolo 3) risulterebbe difficoltosa e talvolta imprecisa. Si decide quindi, rifacendosi alle fonti bibliografiche [3], di suddividere i principali sistemi per una loro classificazione in: "sistema TT proprio" (inteso come sistema con effettiva condivisione del binario tra rotabili ferroviari e rotabili leggeri), "sistema TT improprio" (inteso come sistema nel quale non c'è integrazione una effettiva condivisione del binario tra rotabili ferroviari e rotabili leggeri) e "treno-tram" (inteso come sistema nel quale è il treno a utilizzare l'infrastruttura tranviaria urbana). I sistemi TT3 secondo le linee guida italiane sono generalmente riconducibili a sistemi di tipo proprio. I sistemi di tipo TT1 e TT2 secondo le linee guida italiane sono generalmente riconducibili a sistemi di tipo improprio.

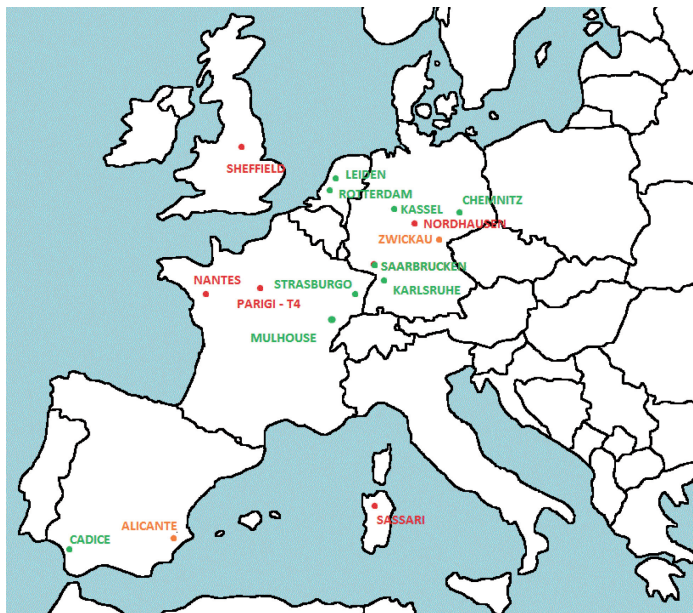


Fig. 1 – Tram-treno, distribuzione europea aggiornata a giugno 2013 dei più significativi sistemi in esercizio, dei sistemi in esercizio sperimentale o progetti da considerarsi interessanti per le loro caratteristiche. Suddivisi in sistemi "TT propri" (verde), "TT impropri" (rosso) e "treno – tram" (arancio).

Fig. 1 - Main TT system in Europe in June 2013 (existing, under experimentation or projects of interest). "proper TT systems" are displayed in green, "improper TT systems" in red and "train-tram systems" in orange.

company which manages the TT service. The result can be a significant modal shift from the private modes of transport to the public transport running on rails, which nowadays can count on innovative and more competitive systems.

It is not easy to outline a complete state of the art concerning the existing TT systems in Europe, as it is an ever-changing scenario, characterized by different Countries which refer to different set of national laws. In 2002 only two TT systems were already present in Europe: in Karlsruhe (including the Heilbronn TT system) and in Saarbrücken. Other two TT systems were under development and 57 new systems were object of feasibility studies. After 10 years, in Europe [4, 5] a total number of 12 TT systems

<sup>(3)</sup> A classification of the existing TT service in Europe according to the Italian Guidelines (see chapter 3) would be difficult and in some cases incorrect. Using the classification available in the literature [3] TT systems are divided in: "proper TT systems" (where the permanent way is shared between trains and tram), "improper TT systems" (where the permanent way is not completely shared between trams and trains) and "train-tram systems" (where the train uses the urban tram facilities). TT3 systems generally correspond to the "proper TT systems", while TT1 and TT2 systems usually correspond to the "improper TT systems".

tria degli elementi della sovrastruttura e per le tipologie di deviatore. L'esercizio di sistemi TT in Europa dimostra che le problematiche sorte dalla differenza di armamento ferroviario e tranviario possono essere superate creando un profilo di ruota speciale adatto sia all'armamento tranviario che a quello ferroviario [7,8], come ad esempio la soluzione di Karlsruhe (fig. 2).

### 3.2. Scartamento

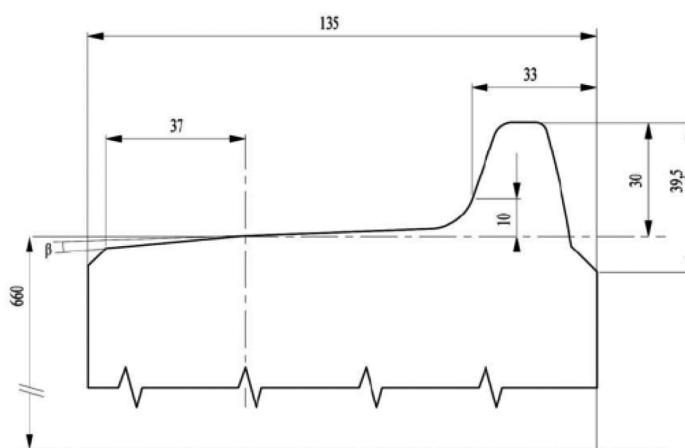
Condizione necessaria per garantire la circolazione indistinta di veicoli sui due tipi di infrastruttura è la presenza di uno scartamento uguale tra le due reti [9]. Nel caso ferrovia e tranvia abbiano lo stesso scartamento, o nel frequente caso di assenza dell'infrastruttura tranviaria, la soluzione è banale non ponendosi problemi di compatibilità per la realizzazione di un sistema di tipo TT. Nel caso in cui la differenza esista, va valutato di caso in caso se ci si trova di fronte a una differenza elevata o esigua. Si aprono quindi due diversi scenari con diverse soluzioni tecniche adottabili [10].:

- differenza di scartamento elevata, come ad esempio nel caso di Zwickau. È possibile superare il problema di compatibilità tra le due reti inserendo una terza rotaia per permettere la circolazione sia di rotabili a scartamento standard che a scartamento ridotto;
- differenza di scartamento esigua, come ad esempio nel caso di Roma, Milano o Torino. La differenza di soli 10 mm, non sufficiente per l'inserimento di una terza rotaia, impone di dotare il veicolo di un dispositivo di scartamento variabile.

### 3.3. Trazione

Le diverse tipologie di trazione esistenti in campo ferroviario e tranviario portano al generarsi del problema del tipo di trazione da adottare nella progettazione di un sistema di tipo TT, che debba interfacciarsi con infrastrutture ferroviarie e tranviarie concepite con alimentazione differente. Questi problemi sono stati agevolmente risolti utilizzando veicoli in grado di poter viaggiare sotto diversi tipi di alimentazione (ibridi o politensione<sup>(4)</sup>).

<sup>(4)</sup> Definiamo come veicolo politensione un veicolo atto a circolare sotto diverse tensioni di linea, per veicolo ibrido si intende invece un veicolo che affianca alla trazione elettrica un impianto di generazione composto da un motore diesel.



(Fonte - Source: ALESSANDRINI A. (settembre 2005), "Il modello tram-treno oltre la sperimentazione", Ingegneria ferroviaria, Roma, Collegio Ingegneri Ferroviari (CIF), numero 9.

Fig. 2 - Il profilo del cerchione adottato a Karlsruhe - quote in mm.

Fig. 2 - Wheel profile adopted in Karlsruhe (dimensions are expressed in mm).

were present, even if not all of them could be considered "strict" TT systems<sup>(3)</sup>; some of them can be defined as train-tram and foresee the trains entering the urban areas (such as for example Zwickau); other systems (such as for example Paris T4) foresee the exploitation of existing disused railway facilities by introducing trams (fig. 1).

## 3. Technical features and criticalities

The shared use of the facility in case of "proper TT systems" between trams and trains generate at least seven criticalities [6], such as for example the wheel-rail coupling, the gauges, the kind of power supply, the interface vehicle-platform, the accessibility and issues relating to safety.

### 3.1. The wheel-rail coupling

Tramway and railway permanent ways are based on the same operating principles, but differ in terms of rails geometry and kind of switches. Some European experiences show that the problems deriving from the presence of different kind of superstructures can be overcome by realizing a particular wheel section, able to adapt to the tramway and railway rails and switches, [7,8] such as the one conceived in Karlsruhe (fig. 2).

### 3.2. The gauge

There should be coincidence between the tramway and the railway gauges in order to avoid incompatibility problems [9]. If both tramway and railway have the same gauge or if the tramway is not present (and this is the most frequent situation), the TT system can be implemented with-

### 3.4. Interfaccia veicolo – banchina e accessibilità

Condizioni necessarie perché un sistema di trasporto sia competitivo ed efficiente sono la sua fruibilità senza difficoltà per tutte le tipologie di utenza e il contenimento dei tempi di salita e di discesa, in modo tale da avere soste più brevi, a vantaggio della velocità commerciale del sistema. Nel caso di un TT, data la sua natura duale, si è chiamati a interfacciarsi con diverse geometrie della banchina, in risposta ai diversi standard adottati in ambito ferroviario e tranviario. Si aprono quindi due problematiche distinte legate all'utilizzo di infrastrutture ferroviarie e tranviarie da veicoli di tipo TT, una legata all'altezza delle banchine in relazione all'altezza del pianale del rotabile, l'altra legata alla distanza del veicolo dalla banchina a causa delle diverse sagome [11, 12].

Nel caso non sia presente un'infrastruttura tranviaria cittadina e non sia in progetto la costruzione della stessa il problema legato all'altezza delle banchine risulta risolvibile dotando il sistema di veicoli TT con dimensioni di sagoma (sia in relazione all'altezza del pianale che alla larghezza del veicolo) compatibili con le banchine ferroviarie esistenti, in modo tale da limitare i costi legati alle opere civili di adeguamento delle banchine stesse.

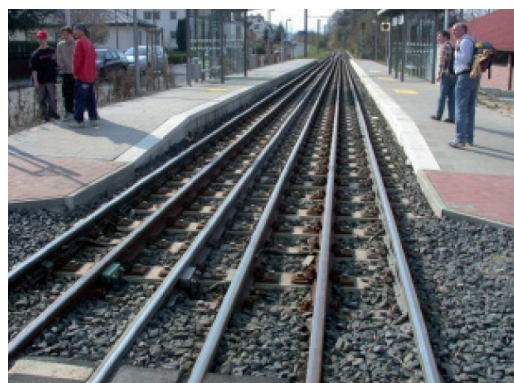
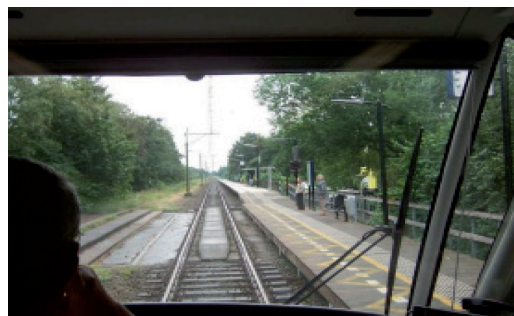
Qualora non sia possibile adottare veicoli che ben si interfaccino alle banchine ferroviarie esistenti o nel caso che sia presente una tranvia cittadina sarà necessario apportare modifiche alle fermate esistenti.

Una prima soluzione, più onerosa e di maggior ingombro, è quella di creare banchine differenziate, con binari dedicati ai rotabili ferroviari e binari dedicati ai veicoli TT con caratteristiche tranviarie.

Una ulteriore soluzione è quella di dotare le fermate di banchine ad altezza variabile, in modo tale da consentire ai veicoli ferroviari la fermata nel punto con banchina a maggior altezza sul piano del ferro e ai veicoli TT la fermata in corrispondenza delle zone ribassate delle banchine (fig. 3 sopra).

Per ovviare al problema della distanza orizzontale dalle banchine sarà possibile dotare i veicoli TT di dispositivi di pedana mobile in grado di coprire lo spazio vuoto esistente tra la porta e la banchina. L'utilizzo di pedane mobili genera problemi legati ad eventuali malfunzionamenti delle stesse ed al pericolo che l'utente possa accidentalmente mettere il piede lateralmente alla pedana mobile tra il veicolo e la banchina.

Una ulteriore possibile è quella di creare fermate con binari costituiti da un fascio di più rotaie in modo tale che veicoli con sagome differenti possano impegnare la fermata su binari differenti per consentire un miglior accostamento alle banchine (fig. 3 sotto).



(Fonte - Source: "Technical problems and solutions for implementation of tram-train system", Atti seminario tecnico sui sistemi tram-treno di Torino 28 settembre 2009, intervento di Margarita NOVALES).

Fig. 3 - Banchina ad altezza variabile e binario costituito da un fascio di rotaie.

Fig. 3 - Example of platforms characterized by different heights (left) and example of track bundle (right).

out particular gauge problems. On the contrary, if the gauges differ, the technical solution for the implementation of a TT system can be one of the following two [10]:

- in case of a significant differences between the two kind of gauges (such as for example in Zwickau), a third rail could be introduced in order to allow the circulation of either standard or reduced gauge vehicles;
- in case of slight differences between the two kind of gauges (such as in Rome, Milan and Turin, where the tramway gauge is only 10 mm narrower than the railway one) there is not space enough to insert a third rail. There are two possible solutions: the first one consists in providing vehicles with variable gauge devices; the second one foresees the experimentation of a tramway reduced gauge axle (1.435 mm) equipped with the tram-train wheel running on standard gauge rails (1.445 mm). The first solution is more expensive than the second one and is in contrast with the principle of convenience on which a TT system is based.

### 3.5. Sicurezza attiva e passiva

Il possibile incidente tra un veicolo ferroviario e un veicolo tranviario potrebbe aver conseguenze molto gravi a causa delle diverse masse e tipologie strutturali e quindi delle diverse resistenze delle casse. Il problema va affrontato in termini di sicurezza passiva e di sicurezza attiva.

La sicurezza passiva è dettata dalla necessità di avere un veicolo con una struttura dotata di adeguata resistenza ai carichi statici e capace in caso di urto di fornire una adeguata risposta di protezione alle persone presenti a bordo. Quindi gli elementi di sicurezza passiva intervengono solo nel momento della collisione tra due veicoli.

In base allo scenario considerato e alle caratteristiche dei veicoli circolanti sulla linea è bene valutare di caso in caso le scelte progettuali da adottare in tema di resistenza strutturale delle casse tenendo presente che non sarà possibile rispettare per i veicoli TT le prescrizioni di sicurezza passiva dei rotabili ferroviari (tra le quali anche 1.500 kN di resistenza alla compressione) senza snaturare il concetto di TT come veicolo leggero. L'adozione di criteri meno severi in termini di sicurezza passiva dovrà essere compensata con dovuti provvedimenti di sicurezza attiva.

Per sicurezza attiva si intende quell'insieme di dispositivi, sistemi od apparati del veicolo o del complesso infrastrutturale che dovrebbero impedire il verificarsi di un incidente, con una funzione quindi soprattutto preventiva.

Nel momento della collisione gli elementi di sicurezza attiva non forniscono alcun beneficio. Per perseguire l'obiettivo di una elevata sicurezza attiva si utilizzano dotazioni relative al veicolo e di rete tra cui l'adeguamento dei sistemi di segnalamento e di protezione.

Nel caso di un TT con presenza di infrastruttura tranviaria vanno distinti i due contesti operativi del veicolo: in ambito urbano il conducente procederà con regime di marcia a vista ed il livello di sicurezza sarà dettato principalmente dalle capacità di frenatura del mezzo; in ambito ferroviario invece il veicolo deve essere in grado di utilizzare il segnalamento ferroviario. La maggiore capacità di frenatura dei veicoli TT costituisce, in generale, un elemento di sicurezza attiva.

### 4. Aspetti normativi in Italia

In Italia gli unici riferimenti normativi per la circolazione sull'Infrastruttura Ferroviaria Nazionale (IFN) di materiale rotabile per "trasporto leggero" sono le Disposizioni RFI 01/2003 (Disposizioni per i requisiti normativi regolamentari e tecnici del materiale rotabile) e 30/2007 (Modifiche e integrazioni alla disposizione 1/2003 recante i requisiti normativi regolamentari e tecnici del materiale rotabile).

### 3.3. The kind of power supply

*A TT system usually exploits existing facilities, i.e. railways or tramways which are characterized by different kind of power supply. In the course of time this compatibility problem was solved realizing vehicles able to adapt to different supplies, such as hybrids or multi-voltage vehicles<sup>(4)</sup>.*

### 3.4. The interface vehicle-platform and accessibility

*A good quality transport service should be accessible for each kind of user and should grant reasonable times to get on/off the vehicles in order to have briefer stops and to speed up the whole system. The original kind of facility exploited by the TT system can be characterized by different interfaces vehicle-platform, as the facility reflects the original tramway or railway building standards. As a consequence, there could be two main problems relating to the geometry: the height of the platform respect to the vehicle floor and the gap between the platform edge and the vehicle door [11,12].*

*If the original facility is a railway (without existing/ planned urban tramlines) the problem can be solved by purchasing TT vehicles able to fit properly with the platform, avoiding considerable costs for the platform adaptation. On the contrary, when it is not possible to use appropriate TT vehicles or when an urban tramline is present, the adaptation works are unavoidable. The works extent can considerably vary and can generate different costs: a possible solution (even if very expensive and bulky) could be to double the rails and to separate the platforms at the station, so that one platform is dedicated exclusively to the train stop and the other one to the tram stop.*

*Another solution could consist in aligning the tramway and the railway stops linking two platforms at different heights (fig. 3 left). This solution allows the trains to stop at the higher parts of the platform and the trams at the lower ones. In order to reduce the gap between the platform edges and the vehicles doors, TT vehicles can be equipped with a movable steps. These devices could be object of malfunctioning or could cause unsafe situations for passengers.*

*Another possible solution consist in realizing stops characterized by bundles of rails so that different kind of vehicles can stop at the correct distance respect to the platform (fig. 3 right).*

### 3.5. Issues relating to safety

*The collision between a tram and a train could have serious consequences because of the different kind of*

<sup>(4)</sup> A "multi-voltage vehicle" is a vehicle able to circulate under different line voltages; a "hybrid vehicle" is a vehicle powered by an electric engine combined to a diesel powered generator.

Per ammettere la circolazione di materiale rotabile di derivazione tranviaria sull'Infrastruttura Ferroviaria Nazionale emergono le criticità seguenti: scartamento, profilo ruota cerchione, alimentazione, geometria della sago-  
ma, sicurezza.

La finalità delle "linee guida per i sistemi tram-treno" [1] è quella di "fornire indicazioni per la progettazione e l'esercizio di un sistema tram-treno attraverso l'individuazione dei requisiti fondamentali che il sistema deve soddisfare per garantire le necessarie condizioni di sicurezza".

### 4.1. Linee guida italiane

Le linee guida vengono applicate ai sistemi TT e ne disciplinano le specificità, inserendosi nel quadro normativo generale. Va tenuto in considerazione che i sistemi TT "devono garantire un livello di sicurezza almeno pari a quello dei sistemi ferroviari e tranviari già operanti, in linea con i principi di cui al D.lgs. n. 162/2007 e del DPR 753/80, secondo i rispettivi campi di applicazione. Le analisi di sicurezza globale del sistema devono essere condotte in conformità con il regolamento CE n. 352/2009 e CEI EN 50126".

Nelle disposizioni introduttive viene definito il sistema TT come: "sistema di trasporto che integra tra loro linee ferroviarie e tranviarie o tranvie veloci utilizzando veicoli progettati per circolare principalmente nelle reti tranviarie e in grado di circolare, senza rotture di carico, su entrambi i tipi di infrastruttura, normalmente con il fine di connettere il territorio extraurbano con la città. Il sistema può essere sviluppato per stadi successivi a partire dall'estensione del servizio tranviario ad una rete ferroviaria priva di circolazione ferroviaria, sino a sistemi in cui si realizza un servizio di trasporto in condizioni di intercircolazione su infrastrutture diverse, con veicoli compatibili con le infrastrutture stesse."

Nella sua accezione più completa quindi un sistema di tipo TT, secondo le linee guida, può comprendere: veicoli TT, infrastruttura tranviaria, infrastruttura ferroviaria, tram, veicoli ferroviari.

Vengono quindi definite tre diverse tipologie di TT legate all'uso dell'infrastruttura:

- sistema tram - treno 1 (TT1): comprendente un'infrastruttura ferroviaria esercitata solamente con veicoli TT;
- sistema tram - treno 2 (TT2): comprendente un'infrastruttura ferroviaria esercitata con veicoli ferroviari e veicoli TT in fasce orarie distinte;
- sistema tram - treno 3 (TT3): comprendente un'infrastruttura ferroviaria esercitata promiscuamente con veicoli ferroviari e veicoli TT.

Per ciascuno vengono forniti i requisiti legati all'eser-

masses and structural types of the involved vehicles, characterized by boxes with different levels of resistance to compression.

This problem can be faced adopting either active or passive safety approaches. The approach based on passive safety principles mainly consists in realizing vehicles able to protect passengers in case of collision, for example, resisting to given levels of compression. Train boxes are heavier and more resistant than the tram ones. Therefore, TT vehicles, which are conceived to be light vehicles, should have intermediate performances in order to grant adequate levels of safety. The lower level of safety which characterizes TT vehicles respect to trains should be compensated through the introduction of active safety devices.

The approach based on active safety mainly consists in reducing the likelihood of crash or malfunctioning through the use of devices, systems or equipment following preventive strategies. As regards the TT systems, active safety actions could consist in improving the signalling and protection systems.

In case of TT systems characterized by the presence of tram facilities, two vehicle operating conditions should be considered: in urban areas, vehicles are driven by sight, therefore the most important active action is given by the driver capability to brake. In railway context, vehicles should grant a proper interface with the signalling system. Alongside this, TT vehicles have been equipped with an improved braking system, which represents the most important active safety device installed on board.

### 4. Regulation aspects in Italy

In Italy, at the moment, the only laws concerning the railway circulation on the National Railway Facility (IFN) for "light transport" are the RFI 01/2003 "Dispositions for the technical and standard requirements for rolling stocks" and 30/2007 "Modification and integration to the Disposition 01/2003 concerning the technical and standard requirements for rolling stocks". The application of these regulations to TT vehicles running on the IFN brings to the criticalities described at the previous paragraph, namely: the wheel-rail coupling, the gauges, the kind of power supply, the interface vehicle-platform, the accessibility and safety issues.

Specific guidelines were then released [1], in order to provide the standard requirements for the TT vehicles circulation under safety conditions.

#### 4.1. The Italian guideline

The national guidelines reports the definition of a TT system, which is "a transport system able to integrate railway lines and tramway lines (including high speed tramlines) through the use of vehicles which are appositely designed to mainly circulate on tramlines, but also on railway facilities without causing passengers "breaking bulks"

cizio, all'infrastruttura, alle linee tranviarie ed ai veicoli TT, secondo la struttura indicata nella tabella 1.

Le linee guida forniscono le informazioni di base per la verifica di fattibilità di un sistema TT, contenute in due allegati:

- *Allegato A* – Aspetti da prendere in considerazione in fase di pianificazione preliminare di un sistema TT: tipologia di sistema, linea ferroviaria su cui si svolgerà l'esercizio del veicolo TT, rete tranviaria interessata dal servizio TT, caratteristiche dei tram attualmente in esercizio.
- *Allegato B* – Principali aspetti da prendere in considerazione in fase di progettazione di un sistema TT: caratteristiche della domanda prevista, caratteristiche dell'offerta di trasporto prevista, soggetti coinvolti, caratteristiche delle infrastrutture esistenti, interventi previsti sulle infrastrutture esistenti, regime di circolazione e controllo della marcia sull'infrastruttura ferroviaria e su quella tranviaria interessate dal servizio TT, caratteristiche principali dei tram, dei veicoli ferroviari e dei veicoli TT, verifiche di integrazione tra veicoli TT e infrastrutture.

Le raccomandazioni qui elencate e sintetizzate sono riprese nel caso applicativo di Brescia, oggetto del paragrafo che segue.

## 5. Il caso di Brescia

L'area metropolitana bresciana conta poco più di mezzo milione di abitanti [13,14] e si è da poco dotata di un sistema di trasporto collettivo rapido e innovativo, la metropolitana (su ferro) leggera automatica, entrata in esercizio a marzo 2013, che garantisce un elevato servizio di trasporto tra la parte nord della città e quella sud e sud-est [15,16].

Il percorso del sistema in questione si snoda nel capoluogo effettuando il servizio su tratte in galleria profonda (in centro storico), in galleria artificiale, in trincea e su viadotto (in periferia). L'ipotesi iniziale di estensione

TABELLA 1 – TABLE 1

### REQUISITI TECNICI LEGATI ALL'ESERCIZIO, ALL'INFRASTRUTTURA, ALLE LINEE TRANVIARIE E AI VEICOLI TRAM-TRENO OPERATIONAL, INFRASTRUCTURAL AND THE TT VEHICLES FEATURES

Generalità <i>Features</i>	
Requisiti relativi all'esercizio <i>Operational aspects</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Imprese di trasporto</li> <li>• <i>Transport companies</i></li> <li>• Regime di circolazione</li> <li>• <i>Circulation-related aspects</i></li> <li>• Personale di condotta</li> <li>• <i>Personal (drivers)</i></li> <li>• Sistemi di sicurezza</li> <li>• <i>Safety systems</i></li> </ul>
Requisiti relativi all'infrastruttura ferroviaria nazionale, alle linee interconnesse all'infrastruttura ferroviaria nazionale e alle linee non interconnesse all'infrastruttura ferroviaria nazionale <i>Infrastructural (relating to the IFN, to the lines interconnected to the IFN and to the lines that are not interconnected to the IFN)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Accessibilità</li> <li>• <i>Accessibility</i></li> <li>• Interfaccia sala binario</li> <li>• <i>Wheel-rail coupling</i></li> <li>• Attraversamenti</li> <li>• <i>Level crossings</i></li> <li>• Sistema di controllo della marcia</li> <li>• <i>Ride control system</i></li> <li>• Sistemi di sicurezza per impossibilità di presenza contemporanea di treni e TT</li> <li>• <i>Safety systems preventing the simultaneous presence of TT vehicles and trains</i></li> <li>• Punto di collegamento reti</li> <li>• <i>Networks link points</i></li> </ul>
Requisiti relativi alle linee tranviarie <i>Infrastructural (relating to the tramway lines)</i>	<p>Per la compatibilità dei veicoli TT rispetto all'infrastruttura tranviaria si deve fare riferimento alla UNI 7156 e alla UNI 11174, per le parti applicabili all'infrastruttura</p> <p><i>The compatibility aspects of the TT vehicles with the tramway facilities are described in the technical regulations UNI 7156 and UNI 11174</i></p>
Requisiti relativi ai veicoli TT <i>TT vehicles</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Accessibilità</li> <li>• <i>Accessibility</i></li> <li>• Sistema frenante</li> <li>• <i>Braking system</i></li> <li>• Dispositivi di illuminazione</li> <li>• <i>Lights</i></li> <li>• Interfaccia sala binario</li> <li>• <i>Wheel-rail coupling</i></li> <li>• Sistemi di localizzazione</li> <li>• <i>Localisation systems</i></li> <li>• Organi di aggancio</li> <li>• <i>Coupling devices</i></li> <li>• Registrazione dati di bordo</li> <li>• <i>Onboard data recording</i></li> <li>• Requisiti strutturali delle casse</li> <li>• <i>Boxes structural requirements</i></li> <li>• Dimensioni e sagome limite</li> <li>• <i>Dimensions</i></li> <li>• Sistema di controllo della marcia e dispositivo</li> <li>• <i>Ride control system</i></li> <li>• Vigilante</li> <li>• <i>Vigilant</i></li> <li>• Vetri</li> <li>• <i>Windows</i></li> <li>• Visibilità del personale di condotta</li> <li>• <i>Drivers visibility</i></li> </ul>

(Fonte - Source: Tratto ed elaborato da: MOLINARO E. (2013). "Le linee guida per i sistemi tram-treno" 5° Convegno Nazionale Sistema Tram, "Ingegneria ed economia di sistema nel Trasporto Pubblico Locale a via guidata" AIIT, ASSTRA, CIFI, vol. Unico, In: 5° Convegno Nazionale Sistema Tram, 31 gennaio-1 febbraio 2013, Roma"

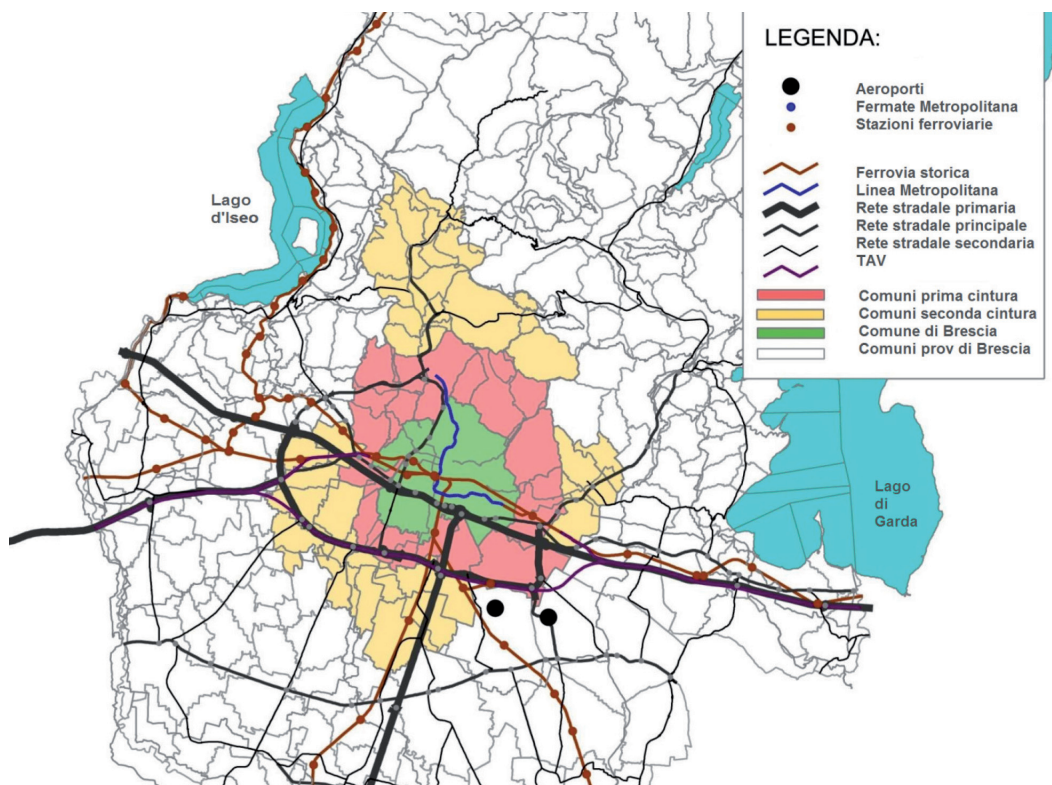


Fig. 4 - Sistema infrastrutturale dell'area metropolitana bresciana.  
Fig. 4 - Transport facilities in the metropolitan area of Brescia.

del sistema prevedeva un possibile sviluppo in direzione ovest, con capolinea al centro Fiera, a creare un sistema a "T rovescia", tuttavia gli elevati costi di costruzione ne hanno rimandato la realizzazione (fig. 4).

L'ipotesi formulata dal presente studio interessa la zona ovest dell'area metropolitana (cioè l'area non interessata dal progetto della metropolitana leggera di Brescia), attualmente attraversata dalla linea ferroviaria Brescia – Iseo – Edolo, ad un unico binario a scartamento ordinario, non elettrificato, che collega il capoluogo alla Valcamonica. La ferrovia, attualmente in gestione a Trenord, presenta delle potenzialità elevatissime, in quanto il suo tracciato è un asse di forza che interessa i principali quartieri ad ovest di Brescia e talune aree industriali dismesse che dovranno essere oggetto di riqualificazione urbanistica.

Nell'ottica di una carenza di risorse da investire per la costruzione di nuove infrastrutture, la proposta è quella di utilizzare il sedime ferroviario esistente con un servizio di tipo tranviario (con alternative differenti circa il mantenimento sulla tratta dell'attuale servizio ferroviario), in mo-

and linking the rural territories to urban areas. Such kind of systems can be implemented following consecutive steps, starting from the extension of a tramline service to a disused railway facility and then realizing the actual sharing of different facilities and vehicles". Therefore, the ultimate definition of a TT system, according to the guidelines, can include tramway or railway facilities, TT vehicles, trams and trains circulating on the same set of facilities.

The Guidelines identify 3 kind of TT services:

- tram-train type 1 (TT1): if the railway facility is exclusively used by tram-train vehicles;
- tram-train type 2 (TT2): if the railway facility is used either by railway vehicles and tramway vehicles running in different time windows;
- tram-train type 3 (TT3): if the railway facility is used either by railway vehicles and tramway vehicles running in a mixed way.

Each TT type is better described, providing the operational, infrastructural and the TT vehicles features, as highlighted in the following table 1.

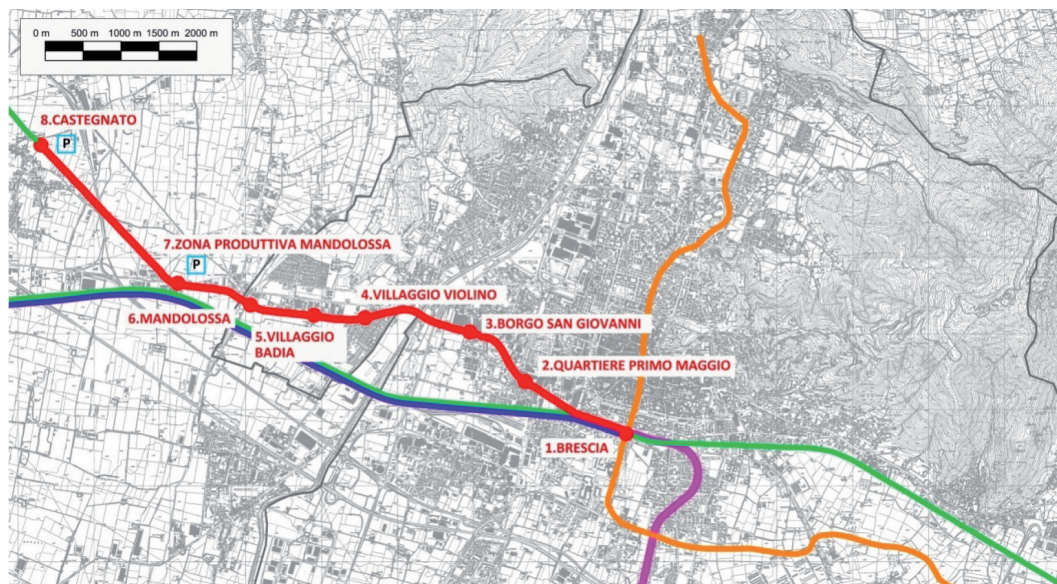


Fig. 5 - Linea Brescia-Castegnato (rosso), linea metropolitana leggera automatica (arancio), parcheggi di interscambio modale (P), linea storica Milano-Venezia (verde), alta velocità (blu).

Fig. 5 - The Brescia-Castegnato line section that is object of regeneration (red) and the automatic light-rail line of Brescia (orange).

do tale da creare un sistema di tipo TT<sup>(5)</sup>, inteso non in senso stretto. Va infatti sottolineato che Brescia è sprovvista di tramvia cittadina e quindi i problemi tecnici precedentemente illustrati che scaturiscono dalla messa in esercizio di un sistema TT sono notevolmente ridotti.

La tratta interessata dall'ipotesi di riqualificazione (fig. 5) è quella compresa tra la Stazione Ferroviaria di Brescia e la stazione di Castegnato, a circa 10 km ad ovest del capoluogo [17, 18].

L'ipotesi prevede la possibilità di effettuare il servizio tranviario con otto fermate (Quattro di queste sono già esistenti e necessitano solamente di interventi di ammodernamento e di compatibilizzazione al sistema TT e quattro sono di progetto, necessarie per fornire un servizio più capillare e dalle caratteristiche tranviarie), collocate nei quartieri ad ovest di Brescia [19]. Tali fermate sono:

<sup>(5)</sup> Il sistema sarebbe simile alla linea T4 di Parigi (comunemente riconosciuta come TT e classificata come "sistema TT improprio"), nella quale si è riconvertita una ferrovia secondaria utilizzando materiale rotabile leggero (Avanto). Le linee guida italiane stabiliscono che un sistema tram treno, nella sua accezione più completa, possono comprendere i veicoli TT, l'infrastruttura tranviaria, l'infrastruttura ferroviaria, i tram ed i veicoli ferroviari. Nell'allegato A (Aspetti da prendere in considerazione in fase di pianificazione preliminare di un sistema tram-treno), è contemplata la possibilità di non presenza di una rete tranviaria o di non collegamento con quest'ultima.

The two attachments in the guidelines also provide the basic elements for the feasibility verification of a TT system:

- Attachment A – Aspects to be considered in the planning phase: type of system, railway facilities on which the TT system will circulate, tramway facilities exploited by the TT service, features of the circulating trams.
- Attachment B – Main aspects to be considered in the design phase: estimated transport demand/offer, involved stakeholders, features of the existing facilities, estimation of the interventions to be done on the existing facilities, circulation-related aspects and ride control systems on the railways/tramways involved in the service, main trams, trains and TT vehicles features, verification of the integration between the TT vehicles and the facility.

These aspects have all been considered during the TT system project elaboration for the Brescia metropolitan area and are here briefly listed.

## 5. The case of Brescia

The metropolitan area of Brescia has about half million inhabitants [13,14] and recently (march 2013) experienced the activation of a light automated metro line (fig. 4), an innovative rapid collective transport system able to grant high transport levels between the northern and the southern/south-eastern part of the city [15,16].

- *Brescia FS (km 0+000) - esistente*

La linea Brescia – Iseo – Edolo ha attualmente capolinea presso la stazione FS di Brescia, in particolare ai binari del piazzale ovest.

Il nuovo sistema TT, con capolinea in tali binari, sarebbe in grado di garantire un interscambio con i servizi ferroviari di scala nazionale, nonché con la metropolitana leggera automatica.

Il capolinea presso la stazione permetterebbe inoltre di raggiungere il centro storico in 15 minuti a piedi o di interfacciarsi con le principali linee di autobus urbano ed extraurbano.

- *Quartiere Primo Maggio (Comparto Milano) (km 1+100) – nuova realizzazione*

Tale quartiere si sviluppa a sud della linea ferroviaria Brescia – Iseo – Edolo ed ha una popolazione residente di circa 3.000 persone. La nuova fermata ipotizzata servirebbe anche la zona immediatamente a nord della linea TT, dove è presente un'area industriale dismessa nella quale si prevede saranno edificati 157 mila m<sup>2</sup> (dei quali già 61 mila realizzati o in fase di costruzione) di superficie lorda di pavimento.

In tale area oggi la durata del percorso dell'autobus per raggiungere la stazione FS è di circa 6' con una massima frequenza di 12'. Il sistema TT ipotizzato avrebbe la stessa frequenza dell'autobus ma una durata del percorso di 1'15".

- *Borgo S. Giovanni (Fiumicello) (km 2+500) - esistente*

Questo quartiere si sviluppa a cavallo della ferrovia Brescia – Iseo – Edolo, in corrispondenza della fermata "Borgo San Giovanni" e conta un bacino d'utenza di circa 7000 persone.

Attualmente si sta realizzando una riqualificazione di un area industriale dismessa e il completamento di un nuovo isolato ad uso residenziale. In tale area oggi la durata del percorso dell'autobus per raggiungere la stazione FS è di circa 9' con una massima frequenza di 12'. Il sistema TT ipotizzato avrebbe la stessa frequenza dell'autobus ma una durata del percorso di 3'15".

- *Villaggio Violino (km 4+000) – nuova realizzazione*

Tale villaggio è delimitato a Nord dalla linea Brescia – Iseo – Edolo e a sud dalla linea storica Milano – Venezia. Il villaggio ha visto il suo sviluppo grazie alla cooperativa la Famiglia di Padre Marcolini negli anni '50.

Attualmente il quartiere conta circa 4.000 abitanti ed è servito da 2 linee di autobus urbano. La nuova fermata ipotizzata per il servizio TT potrebbe essere collocata in prossimità del centro commerciale S. Anna, dove la linea corre in rilevato.

In tale area oggi la durata del percorso dell'autobus per raggiungere la stazione FS è di circa 35' o di circa 26' a seconda della linea utilizzata, con una attesa media che varia tra i 7'30" e i 10'. Il sistema TT ipotizza-

*The line crosses the city of Brescia and is characterized by part of the route running in deep galleries (in the inner city), in artificial galleries, in cutting and on viaduct (in the peripheral area).*

*A possible light-rail line extension was initially provided for in the south-western part of the city, placing the terminus at the exhibition centre to obtain a sort of "backward T", but the considerable realization costs spent for the first part of the light-rail line deferred the extension project.*

*The TT system project proposal (which this article focuses on) concerns the western part of the metropolitan area (the same that is the focus of the abandoned light-rail line extension project), which at the moment is covered by a rural railway service (the Brescia-Iseo-Edolo line). This line links the city of Brescia with the Camonica Valley and is characterized by a single track and standard gauge and is not electrified. The line is managed by the company TreNord Spa; it is poorly used but has great potential as its layout runs close to important residential districts and some disused industrial areas, which could be subject to urban regeneration processes, thanks also to the activation of a TT service.*

*In times of scarce resources to be invested for the realisation of new facilities, the exploitation of an existing railway through the use of a tram-like service (under different configurations concerning the circulation of trains along the line), that is, the realisation of a TT system, even if without the presence of a tramway facility<sup>(5)</sup>, seems to be an interesting opportunity. It should be noted that Brescia has not an urban tramway, therefore the compatibility problems described in the previous paragraph are significantly reduced.*

*The section of the Brescia-Iseo-Edolo line that is the focus of this redevelopment proposal (fig. 5) is located between Brescia central station and Castegnato station and is about 10 km long [17, 18].*

*The proposed solution foresees the possibility to offer a tramway system characterised by eight stops (four of them already exist and only need to be adapted to the new TT vehicles; the other four are new stops which have been introduced to have a more capillary tram-like service), located in the western urban districts of Brescia [19]. The stops are the following:*

- Brescia FS (km 0+000) – existing stop

*The Brescia-Iseo-Edolo line has its own terminus on*

<sup>(5)</sup> *The proposed system would be similar to the one introduced in Paris (the T4 line, which is commonly known as TT line and is here classified as "improper TT system"), where a secondary railway has been regenerated through the introduction of light rolling stocks (Avanto). The Italian guidelines establish that a tram-train system, in its most complete configuration, can include TT vehicles, tramway facilities, railway facilities, trams and trains. As stated in the attachment A, entitled "Aspects to be considered in the planning phase", it is possible to have a TT system where a tramway facility is not present or which is not connected to it.*

to, con un tempo di attesa medio di 6', avrebbe una durata del percorso di 5'15".

- *Villaggio Badia (km 4+600) – nuova realizzazione*

Posto a nord della linea ferroviaria Brescia – Iseo – Edolo, conta circa 3500 abitanti.

Attualmente il quartiere è servito da una linea di autobus. La nuova fermata potrebbe essere collocata nei pressi del passaggio a livello (ormai dismesso) di via Colombaie, in grado quindi di servire, data la sua posizione, anche parte del Villaggio Violino.

In tale area oggi la durata del percorso dell'autobus per raggiungere la stazione FS è di circa 24', con una attesa media di 10'. Il sistema TT ipotizzato, con un tempo di attesa medio di 6', avrebbe una durata del percorso di 6'40".

- *Mandolossa (km 5+500) - esistente*

La località Mandolossa è sita tra la tangenziale sud di Brescia e la strada SpBs11 (ex SS11) Padana Superiore ed è attraversata dalla ferrovia Brescia – Iseo – Edolo, che in questa località ha una fermata tuttora esistente. Attualmente la località è servita da una linea di autobus. La popolazione residente in tale frazione è di circa 1.300 persone.

In tale area oggi la durata del percorso dell'autobus per raggiungere la stazione FS è di circa 20', con una attesa media di 10'. Il sistema TT ipotizzato, con un tempo di attesa medio di 6', avrebbe una durata del percorso di 8'.

- *Zona Produttiva Mandolossa (km 6+500) – nuova realizzazione*

L'ipotesi di collocare una fermata nella zona produttiva della frazione Mandolossa (sulla SS11 Padana Superiore) nasce dalla necessità di creare un parcheggio di interscambio nel quale dovranno essere, come detto in precedenza, attestate talune delle linee di autobus extraurbano che ora hanno capolinea presso la Stazione FS. L'utenza di tali linee, seppur costretta a un interscambio modale, potrà raggiungere il centro cittadino in tempi minori, considerando che attualmente le linee di autobus percorrono un itinerario fortemente congestionato nelle ore di punta. Il parcheggio di interscambio servirà l'utenza privata che attualmente giunge da ovest e dalla tangenziale sud di Brescia che collega le stazioni autostradali.

- *Castegnato (km 9+000) - esistente*

Il capolinea ovest della linea TT sarà collocato presso l'esistente stazione di Castegnato. Oltre servire l'omonimo paese (che conta una popolazione di circa 8.000 persone), grazie ad un parcheggio di interscambio opportunamente attrezzato, potrà agevolmente servire l'utenza proveniente dai limitrofi paesi della Franciacorta, nonché l'utenza che utilizza il proprio mezzo privato, percorrendo la SpBS510 Sebina Orientale.

*the western platform of Brescia central station from where it is possible to interchange with other railway services (belonging to the national network) or with the urban automatic light-rail line (its stop is located just a few metres from the central station). The location of the terminus at Brescia central station also makes it possible to reach Brescia historical centre in 15 minutes, either on foot or using other urban bus lines.*

- *Quartiere Primo Maggio (Milan Compartment) (km 1+100) – new stop*

*The Primo Maggio district lies south of the Brescia-Iseo-Edolo line, with a population of about 3,000. The new stop would also serve the area just north of the line, where there is a disused industrial zone which will be the subject of urban regeneration, leading to the realization of about 157,000 m<sup>2</sup> of floor space (61,000 m<sup>2</sup> have already been or are about to be built). From this district, with the present bus network, it takes about 6 minutes to reach Brescia central station and the maximum bus frequency (in rush hour) is 12'. The proposed TT system would have the same frequency, but it would take only 1'15" to reach Brescia station.*

- *Borgo S. Giovanni (Fiumicello district) (km 2+500) - existing stop*

*The Fiumicello district is located above the Brescia-Iseo-Edolo line, around Borgo S. Giovanni station, and has about 7,000 inhabitants.*

*At the moment a disused industrial area in the district is being redeveloped and a new residential block is under completion. Therefore, thanks to the realization of a TT service, the upgrading of the existing railway stop, which is at the focal point of the district, would make it possible to satisfy present and future transport demands.*

*From this district, with the present bus network, it takes about 9 minutes to reach Brescia central station and the maximum bus frequency (in rush hour) is 12'. The proposed TT system would have the same frequency, but it would take only 3'15" to reach Brescia station.*

- *Villaggio Violino (km 4+000) – new stop*

*The Villaggio Violino district is bordered by the Brescia-Iseo-Edolo railway to the north and by the Milan-Venice railway to the south. The district dates back to the 50s and was realized by the so-called "Cooperativa La Famiglia" owned by Father Marcolini.*

*At the moment the district has about 4,000 inhabitants and is served by 2 urban bus lines. The new TT stop would be located close to "S. Anna" shopping centre.*

*From this district, with the present bus network, it takes about 26 or 35 minutes (depending on the bus line) to reach Brescia central station and the average waiting time (in rush hour) is 7'30" or 10'. With the proposed TT system there would be an average waiting time of 6' and it would take 5'15" to reach Brescia station.*

### 5.1. Obiettivi e vantaggi

Gli obiettivi che si vogliono perseguire con l'inserimento di un servizio TT ad ovest dell'area metropolitana bresciana sono:

- miglioramento dell'accessibilità del capoluogo. Grazie a un servizio rapido e frequente sarà possibile raggiungere il capoluogo dalla periferia ovest in tempi ridotti;
- miglioramento dell'interscambio tra il mezzo di trasporto individuale e quello collettivo;
- miglioramento dei tempi e del confort di viaggio.

I vantaggi dell'utilizzo di un sistema di questo tipo sono:

- economie di realizzazione: non sono necessari interventi rilevanti sull'infrastruttura se non l'inserimento di nuove fermate dalle caratteristiche tipicamente tranviarie e l'elettificazione della linea, nonché i raddoppi di binario per l'incrocio dei rotabili. Saranno inoltre necessari parcheggi di interscambio presso due stazioni, nonché la costruzione di un deposito per il ricovero notturno dei mezzi e la manutenzione ordinaria;
- basso impatto ambientale: la trazione elettrica garantisce un inquinamento atmosferico nullo e una relativa silenziosità al sistema;
- economie di gestione: l'inserimento di un nuovo sistema di trasporto su ferro deve essere accompagnato da una riorganizzazione del sistema di trasporti su gomma. È ipotizzabile l'eliminazione di almeno due linee di autobus urbano e la modifica del tracciato di alcune linee di autobus extraurbano, garantendo un risparmio economico stimabile in circa 1.500.000 € anno.

### 5.2. Scenari applicativi

Le alternative di sistema ipotizzabili sono del tipo TT3 (nel caso in cui venga mantenuta la circolazione di tram e treni nella tratta di linea Brescia-Castegnato, creando quindi un sistema di tipo "proprio") o del tipo TT1 (nel caso in cui la tratta di linea venga utilizzata solo per la circolazione tranviaria, creando quindi un sistema di tipo "improprio"). Il sistema TT1 (soprattutto nella sua prima ipotesi) limita notevolmente le difficoltà tecniche (soprattutto legate alla sicurezza ed al segnalamento) e lascia quindi ipotizzare una sua più facile ed economica applicazione. Questa scelta risulta tuttavia più difficile se vista nell'ottica del gestore dell'infrastruttura ferroviaria, il quale dovrebbe variare la gestione attuale del servizio.

#### 1. Tram – Treno tipo 3

- *Circolazione promiscua di treni e tram da Brescia a Castegnato.*

Un prima ipotesi prevede l'inserimento di un servizio di trasporto leggero di tipo tranviario in promiscuità con il servizio ferroviario esistente nella tratta tra Brescia e Castegnato, in modo da creare un sistema TT3.

- Villaggio Badia (km 4+600) – new stop

*The Villaggio Badia district is located north of the Brescia-Iseo-Edolo railway and has about 3,500 inhabitants*

*At the moment the district is served by 1 urban bus line. The new TT stop could be placed near the disused level crossing in Via Colombaie, so that not only Villaggio Badia, but also the Villaggio Violino district would be served.*

*From this district, with the present bus network, it takes about 24 minutes to reach Brescia central station and the average waiting time (in rush hour) is 10'. With the proposed TT system, with an average waiting time of 6', it would take only 6'40" to reach Brescia station.*

- Mandolossa (km 5+500) - existing stop

*Mandolossa is located between Brescia South ring road and the provincial road "SpBs11 (former SS11) Padana Superiore". It is crossed by the Brescia-Iseo-Edolo railway, where a stop already exists. It has a population of about 1,300 inhabitants and an urban bus line is present.*

*From this district, with the present bus network, it takes about 20 minutes to reach Brescia central station and the average waiting time (in rush hour) is about 10'. With the proposed TT system, with an average waiting time of 6', it would take about 8' to reach Brescia station.*

- Zona Produttiva Mandolossa (km 6+500) – new stop

*The hypothesis of realizing a new stop in the industrial estate of Mandolossa derives from the need to have an interchange car park where the rural bus lines can have their terminus (at the moment their terminus is at Brescia Central Station). With this solution, users would have to make a modal change, but would reach Brescia station more quickly as existing bus lines cover a highly congested itinerary, especially during rush hour.*

*The interchange car park could also serve commuters from the west and from the South ring road, linking the motorway toll booths.*

- Castegnato (km 9+000) – existing stop

*The TT line terminus would be at Castegnato station. This station would serve Castegnato town, with 8,000 inhabitants. Thanks to a new interchange car park, this stop would easily serve users from the other neighbouring Franciacorta towns and also commuters using their own private vehicles from the provincial road SpBS510 Sebina Orientale.*

### 5.1. Objectives and advantages

*The objectives that are pursued by the introduction of a TT service in the metropolitan area of Brescia are the following:*

- *improvement of the accessibility to the city of Brescia.*

Questa ipotesi genera talune criticità legate soprattutto alla sicurezza e alla gestione della circolazione, nonché alla gestione dei passaggi a livello.

### 2. Tram – Treno tipo 1

- *Linea dedicata al tram da Brescia a Castegnato e capolinea dei treni a Castegnato.*

È possibile ipotizzare lo spostamento del capolinea della linea ferroviaria a Castegnato, isolando così la tratta ed esercitandola esclusivamente con veicoli di tipo tranviario. Una soluzione di questo tipo, seppur in grado di limitare notevolmente i problemi di sicurezza e di esercizio, potrebbe risultare inadeguata per l'utenza pendolare dall'alta Valcamonica e dal Sebino (che sarebbe obbligata ad una rottura di carico per raggiungere il capoluogo) se non fosse studiato approfonditamente l'interscambio modale in modo da non creare disagio all'utenza.

- *Linea dedicata al tram da Brescia a Castegnato. Treni Trenord devianti sulla linea storica Milano – Venezia all'altezza della fermata Zona Produttiva Mandolossa.*

È possibile ipotizzare la deviazione dei treni dalla linea Brescia – Iseo – Edolo alla linea storica Milano – Venezia, in modo tale da isolare la tratta di linea esercitandola solamente con rotabili di tipo tranviario. L'ipotesi va vista nella previsione che con la messa in servizio della linea AV/AC la linea storica Milano-Venezia possa perdere importanza. Il passaggio dei treni da una linea all'altra potrebbe avvenire tra la stazione Castegnato e Mandolossa, dove le due linee corrono parallele e poco distanti, realizzando il relativo raccordo. La soluzione ha come limite tecnico principale la necessità per i treni in direzione Iseo da Brescia di attraversare il binario opposto sulla linea Milano-Venezia per raccordarsi con la Brescia – Iseo – Edolo.

- *Linea dedicata al tram da Brescia a Iseo. Treni Trenord devianti sulla linea provinciale Bornato – Rovato Borgo e sulla Milano-Venezia per raggiungere la stazione di Brescia.*

È possibile prevedere lo spostamento del capolinea della linea tranviaria da Brescia a Iseo. I treni diretti a Brescia dalla Valcamonica potranno deviare sulla linea Bornato – Rovato Borgo e immettersi presso quest'ultima stazione sulla linea storica Milano Venezia per giungere fino a Brescia. In questa configurazione sarà necessario mantenere un servizio con elevata frequenza nella tratta di linea Brescia-Castegnato e dovranno essere inseriti rotabili di collegamento tra Brescia e Iseo con una frequenza minore.

Questa soluzione risulta essere maggiormente onerosa in termini di costruzione in quanto implica l'acquisto di ulteriori rotabili, l'elettrificazione di un totale di 25 km di linea e la riqualificazione della tratta Bornato-Rovato, attualmente utilizzata prevalentemente per un servizio merci.

*Thanks to the presence of a rapid frequent service, it will be possible to reach the city with reduced travel time;*

- *improvement of the interchange between private and collective transport modes;*
- *improvement of the travel times and comfort.*

*The advantages of such a system are the following:*

- *economic advantages from a realization point of view: any significant intervention is required, with the exception of the realisation of the four new tram-like stops, the electrification of the line, the lay-bys, the interchange parking at two stations and the realisation of the depot for the vehicles recovery/maintenance operations;*
- *low environmental impacts: the electric powered vehicles have zero emissions of pollutant gasses and are silent;*
- *economic advantages from a management point of view: the introduction of a new rail system should be done together with a reorganisation of the road transport systems. It is plausible the elimination of at least two urban bus overlapping lines and the layout redefinition for some other extra-urban bus lines, saving up to 1.500.000 € per year.*

### 5.2. Design alternatives

*The possible design alternative are mainly two: one alternative is a TT3 system (if there is a mixed circulation of trams and trains in the line section going from Brescia and Castegnato, that is if a "proper TT system" is realised); the second alternative is a TT1 system (if the above mentioned line section is exploited only by trams, that is if an "improper TT system" is realised).*

*The TT1 alternative (in its first configuration, as described below) significantly reduce the technical difficulties (especially in terms of safety devices and signalling system) and implies lower costs. However, this solution requires the transport company to adapt its way to manage the service.*

#### 1. Tram-train type 3

- *Mixed circulation of tram and trains between Brescia and Castegnato*

*A first design alternative consists in introducing a light tram-like transport service running on the existing railway line between Brescia and Castegnato with a mixed circulation of trams and trains to create the so-called TT3 system.*

*This hypothesis generates some criticalities, mainly relating to safety and the management of traffic and level crossings.*

#### 2. Tram-train type 1

- *Exclusive circulation of trams between Brescia and Castegnato. Railway terminus at Castegnato station*

*Under this alternative, the railway terminus would be located at Castegnato station (instead of Brescia central*

### 5.3. Stima del carico massimo nell'ora di punta nell'ipotesi di TT3 e di TT1

L'introduzione di un nuovo sistema di trasporto moderno e veloce con sede propria potrebbe portare a un trasferimento modale che andrebbe a interessare i mezzi di trasporto individuali, grazie in particolare al risparmio di tempo di percorrenza soprattutto in determinate ore di punta della giornata.

Il livello di attrattività del nuovo servizio, una maggior puntualità, velocità commerciale e frequenza sono condizioni fondamentali perché sia competitivo con i mezzi individuali, oltre al grado di confort, uno tra i motivi principali che spingono l'utenza alla scelta dell'automobile.

Le linee urbane di autobus esistenti (tre nell'area metropolitana ad ovest di Brescia come indicato in fig. 6) dovranno essere riviste nel loro tracciato, convergendo nella nuova linea su ferro proposta.

L'utenza del trasporto collettivo è suddivisibile in tre categorie:

1. utenti a distanza non superiore a 500 m da una fermata del TT e che quindi nell'area di influenza di accesso;
2. utenti a distanza superiore ma lontani dal centro cittadino, per i quali l'adduzione alla ferrovia con auto-

station), isolating the link through the exclusive circulation of tram-like vehicles. This kind of solution would be characterized by reduced safety problems and favourable operating conditions, but would be disadvantageous to commuters from the Camonica Valley and Lake Iseo: as a matter of fact, commuters would experience modal change delays in reaching the city of Brescia, therefore, the modal interchange should be studied thoroughly.

- Exclusive circulation of trams between Brescia and Castegnato. Trenord's trains circulation deviated to the Milan-Venice railway at Zona Produttiva Mandolossa Station

*Under this alternative the regional railway service (Brescia-Iseo-Edolo regional line) could exploit the existing facility up to Castegnato station and then be deviated to the Milan-Venice railway line for the last part of the itinerary.*

*The forthcoming HS/HC line will decrease the traffic on the old Milan-Venice line; therefore the deviation of trains to this line would not cause relevant overloading problems. The deviation could be made between Castegnato and Mandolossa stations, where the two railway lines run parallel. The main limit of this configuration consists in the fact that regional trains from Brescia to*

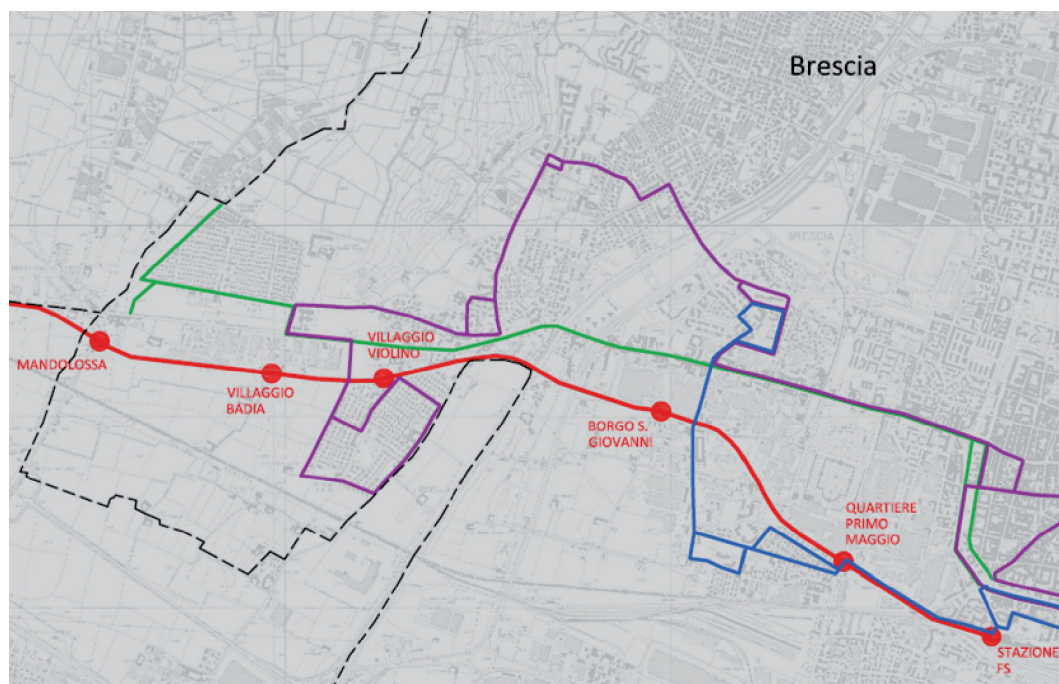


Fig. 6 - Linee di autobus urbane esistenti nell'area interessata dal nuovo servizio tranviario. In rosso il sistema TT proposto.  
Fig. 6 - Existing urban bus lines in the area object of study. In red the proposed TT system.

bus e lo scambio risultino competitivi rispetto all'attuale servizio autobus;

2. utenti distanti dalle fermate e ragionevolmente vicini al centro da non ritenere competitivo l'interscambio modale tra il mezzo di adduzione e il TT e che quindi continueranno a prendere l'autobus seppur con le dovute modifiche di tracciato.

Analizzando i dati forniti da Brescia Mobilità S.p.A. (anno 2012) relativi ai diagrammi di carico per l'ora di punta mattutina di un giorno feriale scolastico per le tre linee di autobus urbano esistenti e considerando le fermate dell'autobus che potrebbero interessare il servizio TT, cioè quelle che ricadono nel raggio di influenza delle fermate del TT, emerge che:

- la linea 3 ha un carico massimo di 392 phd<sup>(6)</sup> trasferibili al TT;
- la linea 9 ha un carico massimo di 62 phd trasferibili al TT;
- la linea 12 ha un carico massimo di 204 phd trasferibili al TT.

Analizzando singolarmente le principali fermate in ambito urbano la messa in servizio del nuovo sistema TT garantirebbe, per le fermate Villaggio Badia e Villaggio Violino, un aumento della frequenza, unito a un maggior confort e a tempi di percorrenza sensibilmente ridotti. Per la stazione di Borgo S. Giovanni il trasferimento modale si limita ai soli passeggeri provenienti da sud, in quanto la restante quota di utenza, a causa della locazione della stazione, continuerebbe a utilizzare l'autobus urbano (con un nuovo itinerario). Per la fermata Quartiere Primo Maggio andrebbero fatte indagini origine destinazione più specifiche: per tempi di percorrenza così brevi è accettabile l'utilizzo del TT solamente per destinazioni che prevedono l'interscambio modale presso la Stazione FS.

In totale, una volta ridisegnato il sistema di linee su gomma, si stima che utilizzeranno il nuovo mezzo di trasporto su ferro poco più di 650 phd.

Al dato del traffico urbano su gomma va sommata la totalità dei passeggeri attualmente utilizzando la linea ferroviaria Brescia - Iseo - Edolo nella tratta Brescia-Castegnato, cioè 140 passeggeri ora direzione (secondo dati forniti da Trenord), raggiungendo quindi circa 800 passeggeri ora per direzione nell'ora di punta.

Al flusso passeggeri così calcolato è possibile aggiungere un flusso indotto generato dall'attrattività del sistema, comprendente sia una nuova quota di mobilità non sistematica generata dal nuovo collegamento rapido con la città sia la quota parte di automobilisti che potrebbero ritenere non più conveniente l'utilizzo del proprio mezzo per gli sposta-

*Iseo would cross the opposite track on the Milan-Venice line, in order to join up with the Brescia-Iseo-Edolo line.*

- Exclusive circulation of trams between Brescia and Iseo. Trenord's trains deviated to Bornato-Rovato Borgo regional line and then to the Milan-Venice railway up to Brescia central station

*Under this alternative, the new TT system could have its terminus at Iseo station. Trains going to Brescia could be deviated to the existing regional line Bornato-Rovato Borgo and then deviated again onto the Milan-Venice line changing at the Rovato station.*

*The TT service between Iseo and Brescia would be characterized by high frequencies. This solution seems to be the most expensive, as it implies the purchase of new vehicles, the installation of a power supply for about 25 km and the almost complete upgrading of the Bornato-Rovato line, which at the moment is used only for freight.*

### 5.3. Estimation of the maximum peak-hour passengers' flow

*The introduction of a new rapid transport service such as a TT system, characterized by a dedicated permanent way, could bring to a modal split relating not only to the collective means of transport but also to the individual ones, thanks to the possibility to save travel time during the peak hours.*

*The attraction generated by the new system mainly relies on its features: punctuality, operating speed and frequency are fundamental conditions for its success against the other modal alternatives. Another essential feature is the high level of comfort on board, which should push users to choose the collective systems instead of the passenger cars.*

*The layout of the existing (fig. 6) urban bus lines (three in the western metropolitan area of Brescia) is going to be redesigned in order to converge to the new proposed line.*

*The present bus lines are used by three kind of potential TT users:*

- *users living within 500m around the TT system stops, who would walk to reach them;*
- *users living far from the stops (more than 500m) and from the city centre which are disposed to use adduction bus lines to reach the nearest TT stops;*
- *users living far from the stops but near to the city centre, who would keep on use a bus line to reach the city.*

*In particular, the analysis of the passengers transported by the three existing bus lines during the morning peak hour of a working day, just considering the bus stops situated close to the TT line, showed that:*

- *bus line n.3 has a peak flow of 392 passengers/hour\*direction who could be diverted to the new TT service;*

<sup>(6)</sup> Phd: Passeggeri/Ora/Direzione.

menti nel suburbio, essendo inclusi nell'area di influenza delle stazioni o dei parcheggi di interscambio. Si suppone, in analogia a varie esperienze, un incremento del 20% rispetto al valore stimato dei passeggeri nell'ora di punta.

Il dato che emerge dall'analisi è quindi un flusso di 960 passeggeri ora per direzione.

Nell'ipotesi di fermare alcune linee di autobus extraurbano alla fermata Zona produttiva Mandolossa, è possibile stimare un ulteriore trasferimento di 320 passeggeri.

Il carico massimo risultante nell'ora di punta in direzione Brescia è quindi stimabile in 1280 passeggeri circa.

La stima approssimativa effettuata si basa su ipotesi derivanti dalla situazione attuale, in futuro potranno essere presenti motivi di incremento della stima, dati dai nuovi carichi urbanistici. Tra le prospettive di futuro incremento va citato il possibile prolungamento del TT verso Sud, in direzione Montichiari, che offrirebbe nuove relazioni dirette con un estremo della tratta Brescia-Castegnato. Va inoltre ricordata la possibilità di evoluzione del sistema da TT3 a TT1, che comporterebbe un ulteriore trasferimento di passeggeri fino a un totale stimabile di circa 1500 passeggeri ora per direzione nell'ora di punta.

### 5.4. Definizione del servizio

La definizione del servizio è basata sulla valutazione della domanda e porta ad assumere la necessità di interventi sull'infrastruttura quali l'inserimento di nuove fermate, raddoppi di incrocio, opere delle fermate, elettrificazione, ecc..

La scelta della lunghezza del veicolo è strettamente correlata al numero di passeggeri che si vuole trasportare. Nel caso della linea Castegnato-Brescia si ipotizza di scegliere rotabili con: capacità di circa 300 passeggeri; lunghezza tra i 35 e i 40 metri; altezza del pianale più consona alle caratteristiche delle banchine, in modo tale da agevolare le modalità di imbarco/imbarco passeggeri. Nel caso in oggetto, che non prevede circolazione urbana di tipo tranviario, è preferibile non utilizzare veicoli a pianale completamente ribassato, tipicamente tranviari urbani, in quanto si creerebbero notevoli difficoltà di imbarco/imbarco legate alle banchine ferroviarie. La misura ideale per l'altezza della soglia delle porte sul piano del ferro per la linea Brescia - Castegnato sarebbe quella dello standard ferroviario di 55 cm. Le porte di accesso dovranno inoltre essere numerose e ampie per garantire dinamiche di imbarco/imbarco rapide e agevoli.

Il dimensionamento del numero di rotabili viene invece effettuato nelle condizioni più gravose, considerando il numero di passeggeri per ora direzione nell'ora di punta di un giorno ferialo scolastico.

Per ogni tratta tra due fermate si è ipotizzato, per semplicità e in prima approssimazione, un diagramma trapezoidale con una fase di moto uniformemente accele-

- bus line n.9 has a peak flow of 62 passengers/hour\*direction who could be diverted to the new TT service;
- bus line n.12 has a peak flow of 204 passengers/hour\*direction who could be diverted to the new TT service.

Alongside this, the analysis of the main stops located in urban area showed that the new TT system should be able to increase the frequencies at the Villaggio Badia and at the Villaggio Violino stops, to improve comfort and to reduce the global travel time. At the Borgo S. Giovanni stop the modal split would concern the only passengers coming from the southern districts, as the other ones would keep on using the urban bus lines (which needs to be modified after the TT system start up). At the Quartiere Primo Maggio stop more in-depth Origin/Destination surveys should be done: as a matter of fact, the short distance between this stop and the Brescia FS station makes the use of the TT system convenient only if the passengers are going to make modal inter-changes at the Brescia station.

Therefore, the total estimated peak hour flow deriving from the former urban bus lines is about 650 passenger/hour\*direction.

In addition to this flows, the passengers coming from the existing regional railway Brescia-Iseo-Edolo (characterized, in the link Castegnato-Brescia, by 140 passenger/hour\*direction) should be taken into consideration, reaching a total number of 800 passenger/hour\*direction during the peak hour.

Alongside this, it should be considered that a new potential flow of passengers could be generated by the TT system capability to attract new users, such as non-systematic users which could choose the new system because of its performances. Similarly, former passenger car users living by the stops or by the interchange parking, could find the new system more competitive than the individual means of transport and then be diverted on the TT system. This component can be estimated increasing by 20% the passenger flow calculated so far, reaching the value of 960 passenger/hour\*direction.

If the terminus of the rural bus lines was set outside the city at the Mandolossa TT stop, it would be possible to further increase by 320 passenger/hour\*direction the passenger flow estimated so far, reaching the total value of 1280 passenger/hour\*direction during the peak hour.

This approximate estimation is based on the present situation, therefore in the future, when the new light metro line will be put into operation and when the interchanges between the Metro and the TT system will be empowered, forecasting also new residential loads, the estimated value could even increase.

Another future scenario, able to increase the number of estimated transported passengers, is represented by the extension of the TT system southwards towards the Montichiari Airport.

Finally, the possible evolution of the initial TT3 system

rato, una a regime costante e una di frenatura di moto uniformemente decelerato. Sono state inoltre considerate le limitazioni di velocità imposte dal tracciato.

Si è scelta, in prima approssimazione, come accelerazione per i veicoli di tipo TT il valore di  $1,1 \text{ m/s}^2$  fino a  $40 \text{ km/h}$ , e  $0,5 \text{ m/s}^2$  fino alla velocità massima consentita sulle tratte.

Per i convogli ferroviari, che si intercaleranno ai veicoli TT, si è ipotizzata una accelerazione minore rispetto ai veicoli TT, assumendo per semplicità un valore medio pari a  $0,4 \text{ m/s}^2$  fino alla velocità di regime.

I tempi di fermata dipendono strettamente dal tipo di materiale rotabile utilizzato. Nel caso in esame si ipotizzano rotabili che garantiscano l'incaricamento a raso (vedi paragrafo 4.5.2 per l'analisi dell'interfaccia veicolo – banchina). In queste condizioni possiamo ipotizzare indicativamente in 30 secondi il tempo di fermata per il rotabile di tipo TT. Il tempo di sosta al capolinea, tenendo conto del tempo di cambio banco e pausa del macchinista, nonché di una certa possibilità di recuperare ritardi, è ipotizzabile in 4 minuti. Il tempo di giro minimo risulta quindi essere  $2.016,8 \text{ secondi}$ , circa 34 minuti. Senza tenere conto di altre condizioni necessarie per la definizione dell'orario, la velocità commerciale e quella di esercizio per il sistema TT risulterebbero così:

$$V_{\text{commerciale}} = (\text{lunghezza corsa}) / (\text{tempo corsa}) = (9.060 \text{ m}) / (768,4 \text{ s}) = 11,79 \text{ m/s} = 42,44 \text{ km/h}$$

$$V_{\text{esercizio}} = (\text{lunghezza giro}) / (\text{tempo giro}) = (18.120 \text{ m}) / (2.016,8 \text{ s}) = 8,98 \text{ m/s} = 32,3 \text{ km/h}$$

Dall'analisi della domanda di trasporto si è stimata una domanda nell'ora di punta di circa 1.280 phd ed è ragionevole assegnarla interamente alla sezione di massimo carico.

Assumendo una capacità tipica dei veicoli TT pari a 300 passeggeri (la brevità del percorso consente di non distinguere tra posti a sedere e posti in piedi), si ha:

$$\text{Treni / ora} = (\text{Flusso max}) / (\text{Capacità veicolo}) = (1.280 [\text{p/hd}]) / (300 [\text{p/v}]) = 4,3 [\text{v/h}]$$

$$\text{Distanziamento temporale fra i veicoli} = (3.600 [\text{s}]) / (4,3 [\text{v/h}]) = 837,2 [\text{s}]$$

$$\text{Numero di veicoli in linea} = (\text{Tempo di giro} [\text{s}]) / (\text{Distanziamento temporale tra i veicoli} [\text{s}]) = (2.016,8 [\text{s}]) / (837,2 [\text{s}]) = 2,4$$

Si ottengono approssimando all'unità 3 veicoli necessari in linea nell'ora di punta. Viene quindi ricalcolato il distanziamento temporale:

$$\text{Distanziamento temporale effettivo} = \frac{\text{Tempo al giro} [\text{s}]}{\text{Numero di veicoli in linea}} = \frac{2.016,8 [\text{s}]}{3} = 672,2 [\text{s}]$$

Risultano quindi necessari 3 veicoli con distanziamento temporale di poco superiore agli 11 minuti nell'ora di punta.

to a TT1 could bring to a total estimation of 1.500 passenger/hour\*direction.

#### 5.4. Definition of the service

The definition of the service is based on the evaluation of the passenger demand and requires the realization of new stops, lay-bys, platform adaptations and the power supply.

The selection of the vehicles length is strongly related to the estimated number of passengers: in the Brescia-Castegnato link the selected vehicles are 35-40m long and are able to carry up to 300 passengers. The floor height is going to be selected according to the platform layout: in the link object of study, considering that in Brescia there is not any tramline, it is recommended not to use completely depressed floor vehicles, as the platforms are mainly railway-like. The ideal solution could be to have vehicles with a floor placed 55 cm above the track surface. Doors should be numerous and wide, in order to easier get on/off board of the TT vehicles.

The minimum number of required vehicles refers to the worst operating conditions, i.e. to the peak hour in a typical school/work day. The number of vehicles able to satisfy the transport demand can be estimated by analyzing the service during the whole day, by evaluating the time required to make a complete itinerary of the line and then by finding where it is necessary to insert lay-bys.

For each link between two adjacent stops, as first approximation, the motion diagram is characterized by a trapezoidal shape and is composed by an initial acceleration phase, a constant motion phase and a final deceleration phase which equals the acceleration one, without considering the coasting phase, during which the vehicle moves thanks to its inertial force and progressively decelerates without using the braking system. The resistance to the acceleration (which should be increasing rather than constant) was not considered, even if present, while the physical constraints to speed were taken into consideration.

The acceleration values for TT vehicles were set to  $1,1 \text{ m/s}^2$  for speeds up to  $40 \text{ km/h}$  and to  $0,5 \text{ m/s}^2$  for speeds up to the maximum allowed value. The acceleration value for trains was set to  $0,4 \text{ m/s}^2$  up to the steady-state speed value.

The stop duration strictly depends on the kind of vehicle. Under the hypothesis to use TT vehicles characterized by a floor which allow to get on/off the vehicles on-the-edge respect to the platform, the stop lasts about 30 seconds. The stop at the terminus lasts about 4 minutes, considering the time the driver needs to reach the cabin in the opposite direction, the drivers' break time and the eventual delay recovery. The minimum lap time is then 2016,8 seconds, corresponding to about 34 minutes. According to these assumptions, the commercial speed  $V_c$  and the operating speed  $V_e$  can be calculated as follows:

Si deve tener conto che, per consentire un cadenzamento regolare al servizio, il tempo di giro deve risultare multiplo intero dell'intervallo delle corse. La regolarità del cadenzamento è importante per l'utenza, ed è utile che i tempi dei passaggi siano facilmente memorizzabili da parte degli utenti.

Il tempo di giro deve essere incrementato fino al primo multiplo intero di 12 minuti. Poiché il tempo di giro minimo è 2.016,8 s = 33,6 min, andrà incrementato a 36 min = 2.160 s. L'incremento, pari a 144 s, potrà essere distribuito sui tempi di sosta ai capolinea o per recuperare eventuali ritardi, ottenendo così una maggiore probabilità di regolarità delle corse.

Per il numero di veicoli in linea si avrà allora:

Numero di veicoli in linea = (Tempo al giro [s]) / (Distanziamento tra i veicoli [s]) = (2.160 [s]) / (720 [s]) = 3

La capacità effettivamente offerta risulta di poco superiore a quella richiesta, pari a 1.500 phd.

Nelle fasce orarie con domanda inferiore a 1.500 phd potrà essere eventualmente aumentato l'intervallo, adottando comunque un cadenzamento mnemonico.

Definito il numero di rotabili, la frequenza (1 tram ogni 12 minuti nell'ora di punta) e i tempi di percorrenza si può tracciare il diagramma orario del servizio.

Il diagramma è stato costruito col vincolo di collocare un incrocio nella stazione di Borgo S. Giovanni, che già dispone del binario di raddoppio, e di prevedere due ulteriori punti di incrocio in corrispondenza di due fermate (esistenti o nuove).

In rosso sono indicati i TT dispari (direzione Castegnato-Brescia), che hanno un tempo di percorrenza di 12,8 minuti (calcolato in regime di marcia tesa - cioè con accelerazione, decelerazione e velocità massime - e con tempi di fermata di 30 secondi).

In blu sono indicati i TT pari (direzione Brescia-Castegnato), che hanno un tempo di percorrenza di 15,8 minuti (calcolato anch'esso in regime di marcia tesa, ma con tempi di fermata a Borgo S. Giovanni e Mandolossa portati a 90 secondi per esigenze di incrocio e per le altre fermate a 45 secondi).

Il tempo di sosta a Castegnato e a Brescia è di 4,4 minuti. Il tempo totale al giro è quindi di 34 minuti.

Si dovrà tenere conto, nel caso di TT3, anche della circolazione dei treni ordinari (con tempo di percorrenza di 7,5 minuti, che richiede almeno altri due punti di incrocio. Nel diagramma sono stati ipotizzati alla fermata Villaggio Violino e Zona Produttiva Mandolossa; si deve osservare che l'inserimento di tale punto di incrocio consentirebbe il transito di un treno ordinario ogni 12 minuti in una sola direzione o di una coppia, nelle due direzioni, ogni 36 minuti, ma risulta necessaria una revisione degli orari di circolazione dei treni ordinari.

Tenuto conto dei suddetti vincoli il grafico per il servizio

$$V_e (\text{Path length}) / (\text{Travel time}) = (9.060 \text{ m}) / (768,4 \text{ s}) = 11,79 \text{ m/s} = 42,44 \text{ km/h}$$

$$V_e (\text{Complete itinerary length}) / (\text{lap duration}) = (18.120 \text{ m}) / (2.016,8 \text{ s}) = 8,98 \text{ m/s} = 32,3 \text{ km/h}$$

The transport demand analysis brought to the estimation of 1.280 passengers/hour\*direction and it is plausible to assign all of them at the most loaded section. Assuming the TT vehicles maximum capacity of 300 passengers, we can calculate the following entities:

$$N \text{ of trains/h} = (\text{Maximum flow}) / (\text{Vehicles capacity}) = (1.280 [\text{p/hd}]) / (300 [\text{p/veh}]) = 4,3 [\text{veh/h}]$$

$$\begin{aligned} \text{Time separation between vehicles} \\ = (\text{One hour} / (N \text{ of trains/h})) = (3.600 [\text{s}]) / (4,3 [\text{veh/h}]) = 837,2 [\text{s}] \end{aligned}$$

$$N \text{ of vehicle in line} = (\text{Lap duration}) / (\text{Time separation between vehicles}) = (2.016,8 \text{ s}) / (837,2 \text{ s}) = 2,4$$

Rounding up the number of vehicles in line, the minimum value is 3, with a frequency of about 11 minutes during the peak hour. The effective time separation between vehicles is then re-calculated as follows:

$$\text{Actual time separation between vehicles} = (\text{Lap duration}) / (\text{rounded } N \text{ of trains/h}) = (2.016,8 \text{ s}) / (3) = 672,2 \text{ s}$$

In order to offer a regular frequency of the vehicles, it should be taken into consideration also that the lap time duration should be a whole multiple of the interval between the different runs. A regular frequency is very important for users, especially when the interval between the different runs is higher than 5-6 minutes. Alongside this, the timetables should be easy -to-remember for users, therefore, under the hypothesis to set the frequency to 12 minutes, the number of passages goes up to 5 per hour. As a consequence, the lap duration should be increased up to the smallest whole multiple of 12 minutes (corresponding to 720 seconds), i.e. 36 minutes, corresponding to 2.160 s. The difference between this last lap duration and the one previously calculated (144 seconds) can be used to increase the terminus stops duration or to recover slight delays along the links. So, the actual capacity of the system described above is slightly higher than the estimated one and is of 1.500 passenger/hour\*direction. During the off-peak time windows the interval between two passages can be increased.

Once the number of vehicles, the frequency and the travel times are known, it is possible to realize the service motion diagram. In addition to the hypothesis described above, another constraint was represented by the necessity to make vehicles meet and cross at the existing Borgo S. Giovanni station (where a lay-by is already present) and at other two stops. The "odd" TT vehicles (running in the direction Castegnato-Brescia) cover the path in 12,8 minutes, considering maximum values of speed/acceleration/deceleration and stops lasting 30 seconds. Instead, the "even" vehicles (running in the direction Brescia-Castegnato) cover the same distance in 15,8 minutes, considering longer stops at stations (45 seconds instead of 30 seconds). The stops at

TT sulla linea Brescia-Castegnato potrebbe essere quello riportato in fig. 7.

C'è l'esigenza di disporre di treni di riserva, sia per la pronta sostituzione di un treno che non risulti atto all'esercizio all'avvio giornaliero del servizio o che manifesti un'avaria in linea, sia per consentire di eseguire le necessarie operazioni di manutenzione preventiva e correttiva sulla flotta, senza sottrarre risorse all'esercizio. La valutazione del numero di treni di riserva dipende dai parametri di disponibilità e di manutenibilità dei treni nonché, evidentemente, dalla numerosità della flotta. Nel caso in esame si può senz'altro supporre che un solo treno alla volta sia sottoposto ad operazioni di manutenzione, mentre per la riserva attiva, valutabile nel 15% della flotta, per materiale rotabile di buona qualità, sarebbe necessario un altro treno. Un esame approfondito del materiale prescelto e delle condizioni di circolazione potrà permettere di valutare l'opportunità di prevedere un solo treno di riserva, a fini di riduzione dei costi, accettando un ragionevole rischio dell'avaria di un treno contemporanea alla presenza in manutenzione di un altro treno.

### 5.5. Alcuni elementi progettuali

La progettazione di massima di un sistema di trasporto TT, come quello in oggetto nel caso di studio, comporta l'analisi preliminare di alcuni elementi indispensabili per la buona riuscita del sistema. Sono necessari interventi sull'infrastruttura esistente, vanno valutate le problematiche di elettrificazione della linea e il problema dell'accessibilità, intesa come interfaccia veicolo banchina e come attraversamento del fascio binari in stazione e dei passaggi a livello. Non vengono approfondite le tematiche legate alla sicurezza e al segnalamento.

#### 5.5.1. Banchine

Per la messa in esercizio del nuovo sistema TT sarà necessario prevedere quattro nuove fermate.

Le banchine avranno lunghezza pari a 80 metri, in modo tale da permettere la sosta di un convoglio costituito da due veicoli TT accoppiati, secondo le necessità dettate dall'analisi dell'esercizio.

La larghezza delle banchine dovrà essere tale da garantire le dinamiche legate all'incarozzamento in completa sicurezza e in modo agevole, con un facile accesso all'utenza.

Per le fermate saranno quindi possibili tre schemi: a binario semplice, con una banchina (Villaggio Badia, Quartiere Primo Maggio), a due binari, con due banchine (Mandolossa, Villaggio Violino, Castegnato, Zona produttiva Mandolossa), a tre binari, con due banchine (Borgo S. Giovanni).

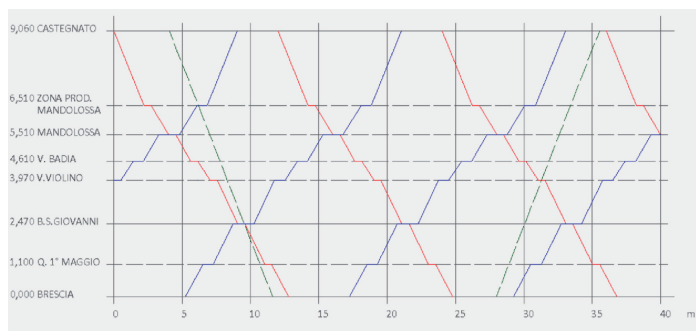


Fig. 7 - Grafico orario del servizio.  
Fig. 7 - Service timetable.

the line terminus is 4,4 minutes (either at the Castegnato and at the Brescia stations), therefore the whole lap duration is of 34 minutes.

The regular railway service, whose circulating trains cover the whole distance in 7,5 minutes, makes necessary the introduction of other 2 lay-bys (at the Villaggio Violino and at the Zona Produttiva Mandolossa stops) allowing one single train passage every 12 minutes or a couple of trains (running in opposite directions) every 36 minutes. Once the TT system will be put into operation, the ordinary trains timetable will inevitably be object of variations.

It is also necessary to consider the availability of reserve TT vehicles, either to promptly substitute them in case of necessity, or to better manage the ordinary maintenance operations of the vehicles without affecting the service. The number of reserve TT vehicles depends on many factors, such as their initial number, their inner maintenance requirements, etc.. In the proposed system, it is assumed that the maintenance operations are made at one vehicle at a time. In addition to this, as "active reserve" another TT vehicle would be necessary (corresponding to the 15% out of the fleet). Only an accurate analysis of the rolling stock and of the operating conditions will bring to the final decision of purchasing just one reserve vehicle, reducing the investment costs and assuming a reasonable level of risk (corresponding to two out of order vehicles at the same time).

### 5.5. Some project characteristics

The preliminary design of a TT transport system, such as the one object of the case study, implies the analysis of some fundamental elements, namely: the necessity of renewing the existing facility, the power supply adaptation, the accessibility to the service (in particular the interface platform-vehicle and the track pedestrian crossings) and the level crossing. The present document did not take into consideration the issues relating to safety and the signing systems.

L'altezza delle banchine nel caso di sistema TT3, conformemente agli standard ferroviari, sarà posta per tutte le stazioni a 55 cm sul piano del ferro (attualmente le banchine hanno l'altezza ormai obsoleta di 35 cm, che non garantisce facilità di imbarco).

La continuità della superficie del pavimento del veicolo con quella della banchina di fermata, secondo le indicazioni normative<sup>(7)</sup>, deve garantire, in condizioni normali, una distanza tra ciglio della banchina e veicolo massima di 70 mm ed un dislivello verticale compreso tra - 50 mm e + 20 mm.

La scelta dell'altezza (fig. 8) deriva dal fatto che i nuovi rotabili ferroviari ATR entrati in esercizio sulla linea Brescia – Iseo – Edolo hanno il pianale all'altezza di 55 cm e quindi in questo modo sarà garantito un imbarco a raso.

L'accesso per gli ALn 668 presenti in linea potrebbe risultare più complicato, in quanto hanno il pianale a 80 cm, tuttavia questo materiale, ormai datato, andrà via via in dismissione e si ipotizza che verrà del tutto accantonato entro la possibile entrata in esercizio del sistema TT.

I rotabili TT non presenteranno problemi di quota del pianale in quanto sarà scelto a 55 cm, avranno tuttavia un'incompatibilità orizzontale con la banchina.

Assumendo una distanza orizzontale delle banchine dal filo di scartamento di 90 cm, le distanze delle porte di ingresso dei diversi rotabili dalla banchina stessa risultano essere quelle indicate in figura. Si ritengono accettabili i valori di 11,75 e 17,85 cm ma la distanza di 29,25 cm tra i rotabili TT generalmente in commercio e la banchina risulta inaccettabile.

Si potrebbe colmare tale vuoto (di circa 30 cm) con delle pedane mobili, che fuoriescono dal sottocassa del veicolo.

In questo modo è possibile garantire continuità tra la pavimentazione del veicolo e quella della banchina, riducendo il gap ad un massimo di 7 cm come indicato dalla normativa.

#### 5.5.2. Elettrificazione della linea

La valutazione dell'elettrificazione della linea è un fattore importante che incide sull'aumento di potenzialità della linea stessa. I principali vantaggi che derivano dall'elettrificazione sono: le elevate prestazioni raggiungibili in termini di accelerazione e quindi indirettamente di velocità commerciale, la possibilità del parziale recupero di energia in fase di frenatura, la riduzione della rumorosità, l'assenza di gas di scarico e le economie di esercizio.

A fronte dei numerosi vantaggi, il principale svantaggio nel caso della trazione elettrica è che gli impianti fissi di alimentazione richiedono una spesa iniziale per la loro realizzazione ed hanno un costo di manutenzione sostanzialmente indipendente dall'entità di traffico.

<sup>(7)</sup> UNIFER – Materiale rotabile per tranvie e tranvie veloci – caratteristiche generali e prestazioni.

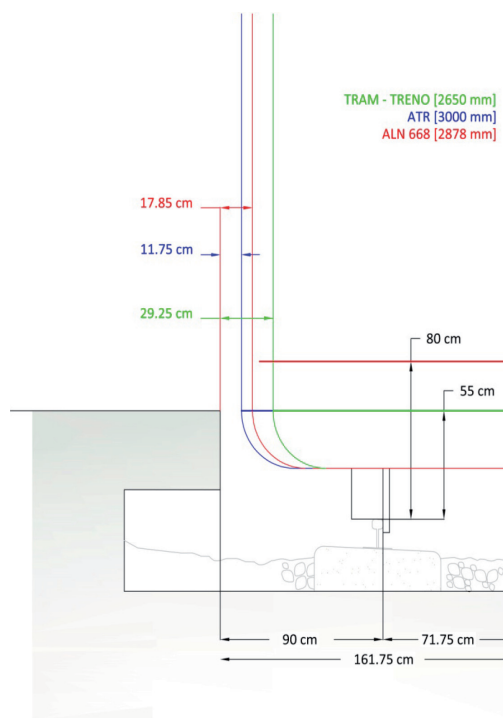


Fig. 8 - Distanze orizzontali e verticali tra il pianale dei diversi rotabili e le banchine.

Fig. 8 - Distances between the longitudinal side of the vehicles and the platform edge per type of circulating vehicles.

#### 5.5.1. Platforms

The project foresees the realization of four new railway-like stops and the adaptation of the existing ones.

Platforms are 80m long, corresponding to two coupled TT vehicles, in order to easily get on/off the vehicles and under safety conditions.

In order to increase accessibility, where the lay-by is not necessary, the platform should be realized on the side characterized by the highest passengers' inflows.

Three different stop schemes are foreseen: the first one is characterized by a single track and a single platform (at the Villaggio Badia and Quartiere Primo Maggio stops); the second one by two parallel tracks (lay-by) and two platforms (at the Mandolossa, Villaggio Violino, Castegnato, Zona Produttiva Mandolossa stops); the third one by three parallel tracks (or bundle of tracks) and two platforms (at the Borgo S. Giovanni stop).

The platform height, according to the railway standards, will be set at 55 cm at every stop. As a matter of fact, the present platforms are only 35 cm above the track surface and do not facilitate the boarding operations.

Per il caso in esame della tratta Brescia – Castegnato, visti i volumi stimati, la frequenza del servizio tipicamente tranviaria e le prestazioni attese dai rotabili, la scelta dell'elettificazione della linea risulta inevitabile.

Se si elettrificasse la linea con la tensione ferroviaria di 3.000 V cc piuttosto che con la tensione tranviaria di 750 V cc:

- sarebbe possibile limitare le cadute di potenziale lungo le linee feeder e di contatto rispetto alla tensione di 750 V cc, con la conseguente limitazione del numero di sottostazioni;
- il tracciato in sede propria non porrebbe vincoli all'utilizzo della tensione più elevata
- nella prospettiva futura di collegamento di tipo TT tra Brescia e l'aeroporto di Montichiari utilizzando tratte RFI elettrificate con tensione 3.000 V cc.

Se si utilizzasse la tensione tranviaria di 750 V cc:

- si avrebbe maggior compatibilità in ambito urbano.

### 5.5.3. Deposito

Per la linea Brescia-Castegnato si ipotizza di collocare il deposito nei pressi della stazione di Castegnato. Il deposito in questione garantirà il ricovero dei rotabili su tre binari. L'officina avrà unicamente la funzione di manutenzione di primo livello; per interventi di entità superiore i convogli verranno indirizzati presso il deposito - officina sito in località Iseo, trainati fino allo stesso tramite locomotori diesel data l'assenza di elettrificazione della linea Brescia – Iseo – Edolo.

### 5.5.4. Passaggi a livello

Attualmente sulla linea sono presenti nove passaggi a livello. Sono analizzabili diversi scenari per la gestione degli attraversamenti dei PL a seconda della tipologia TT ipotizzata (con circolazione promiscua di tram e treni o con circolazione esclusiva di tram).

Una soluzione valida per entrambe le ipotesi, che garantirebbe di eliminare parte delle interferenze con il traffico veicolare, sarebbe la creazione di sottopassi alla linea. Per motivi di ingombro delle opere tali interventi non risultano possibili per tutti i casi esistenti.

Nell'eventualità di interruzione del servizio passeggeri per la costruzione del manufatto sarebbe possibile limitare i costi per le opere civili a circa 1.500.000 € a base d'asta per ciascun sottopasso. Nell'eventualità di scelta di non interruzione del servizio andrebbe considerato anche l'importo per il sostegno dei binari tramite la tecnologia a travi Essen e la spinta del monolite, stimabile in circa 250.000 €.

Nell'ipotesi di completa promiscuità di circolazione tra rotabili ferroviari e rotabili tranviari (TT3) l'unica soluzione ammessa, vista l'impossibilità di chiusura differenziata con barriere per i rotabili ferroviari e semaforizzata per i rotabili tranviari (non applicabile per problemi

According to the UNIFER law<sup>(6)</sup> the distance between the vehicle floor and the platform should be lower than 70 mm and should have a different height ranging between -50 mm and + 20 mm.

Alongside this, the recently introduced trains circulating on the Brescia-Iseo-Edolo railway (ATR) are characterized by a floor 55 cm high, therefore, platforms should be adapted in order to allow on-the-edge boarding operations. There are also more dated trains (ALn 668) still circulating on the line, which have a floor 80 cm high, which should likely be disused by the start up of the TT system.

The selected TT vehicles are 55 cm high, therefore they are compatible with the new platforms. On the contrary, there could be problems with the distance between the longitudinal side of the vehicles and the platforms edge, as reported in fig. 8. As a matter of fact, according to the kind of vehicles circulating on the line, doors are placed at different distances from the platforms edge and the distance is particularly considerable for TT vehicles (29,25 cm). In order to reduce the gap between the vehicle floor and the platform (up to 70 mm, as stated in UNIFER law) a possible solution could be the use of movable steps.

### 5.5.2. Power supply

To provide the line with electricity power supply represents an important evolution of the existing facility and could increase the line potential: as a matter of fact, the power supply is able to improve the overall performances of the system, such as the acceleration, the commercial speed, the possibility to partially recover energy during the braking phase, to reduce the noise and the pollutant gas emission and the economic advantages during the operating phase of the service.

The main disadvantage consists in the high initial investment costs and in operative costs which do not vary with the traffic volume.

If a tramway 750V DC voltage was installed, there would be a higher compatibility with eventual electrified lines within the urban area. Instead, if a railway 3kV DC voltage power supply was installed:

- it would be possible to limit the potential drops along either the feeder or the contact power line, reducing the number of electric power substations;
- the rural context would allow higher voltage than the urban one;
- the potential future extension of the Castegnato-Brescia line to the Montichiari Airport, exploiting the existing 3kV railway facility, would grant the compatibility of the rolling stock.

<sup>(6)</sup> UNIFER – Materiale rotabile per tranvie e tranvie veloci – caratteristiche generali e prestazioni.

di carattere normativo legati alla sicurezza, causati dalla difficoltà di percezione di via libera dell'utente stradale in approccio a segnali differenti), risulta essere il mantenimento dei P.L. protetti da barriere. In questo caso risulta necessario intervenire per ridurre il tempo di chiusura dei P.L. per non creare pesanti interferenze con la circolazione stradale.

Le linee guida sui sistemi TT stabiliscono, per i sistemi TT3, in materia di PL che:

*"I passaggi a livello devono essere dotati di sistemi conformi al Codice della Strada (D.Lgs. n. 285/1992 e s.m.i., D.P.R. n. 495/1992 e s.m.i., D.P.R. n. 610/1996) e alla normativa vigente definita da ANSF, ai sensi del D.Lgs. n. 162/2007. Nel rispetto dei vincoli di sicurezza indicati dal D.Lgs. n. 162/2007, è ammesso che, grazie a un sistema di riconoscimento del tipo di veicoli in approccio al passaggio a livello (veicoli ferroviari o veicoli TT), le modalità e il tempo di chiusura del passaggio a livello stesso siano differenziati per i diversi veicoli e commisurati alle velocità massime e alle prestazioni di frenatura dei veicoli stessi."*

La chiusura del passaggio a livello potrà quindi teoricamente essere comandata da un sistema di riconoscimento del tipo di rotabile, e il segnale ferroviario di via libera di prima categoria dovrà essere collocato a una distanza tale da consentire l'arresto in sicurezza dei due tipi di rotabili nel caso di mancata chiusura del passaggio a livello, nel rispetto della norma UNI11117 – *Sistema di protezione per passaggi a livello di ferrovie e tranvie extraurbane*.

Nell'ipotesi di circolazione esclusiva di rotabili tranviari (TT1) la gestione dei passaggi a livello viene notevolmente semplificata. La norma UNI 8379 – *Sistemi di trasporto a guida vincolata (ferrovia, metropolitana, metropolitana leggera, tranvia veloce e tranvia)* definisce le caratteristiche dei sistemi di trasporto a guida vincolata in riferimento alle caratteristiche del servizio di trasporto svolto e del regime di circolazione. Il TT di tipo 1 per il caso bresciano rispetta le caratteristiche di tranvia veloce, avendo sede protetta e ridotte interferenze con il traffico veicolare e pedonale, e quindi velocità commerciali e portate superiori alla tranvia tradizionale. Per quanto concerne le caratteristiche degli attraversamenti la normativa permette per le tranvie veloci la creazione di attraversamenti protetti con segnaletica orizzontale e verticale con semaforo stradale a tre aspetti, "via libera", "preavviso di arresto" e "via impedita", comandabile dal convoglio in avvicinamento, in maniera che risulti prioritaria la circolazione dei veicoli a guida vincolata rispetto ai flussi di altri veicoli e dei pedoni. Il tempo di "via impedita" per il traffico stradale è ipotizzabile in circa 30 secondi, per un totale di 5 minuti ogni ora, che rappresenta solamente l'8,3 % del tempo.

#### 5.5.5. Primi elementi sui costi dell'intervento

Uno dei vantaggi principali del sistema TT, come detto, è l'economia di realizzazione. Per fare una valutazione del tutto indicativa dei costi di realizzazione del sistema nella tratta Brescia-Castegnato si devono considerare gli interventi relativi a:

#### 5.5.3. Depot

*The depot is going to be placed east of the Castegnato station. The building will have three terminal tracks to recover the whole TT vehicles fleet and a workshop for the ordinary maintenance works will be realized. For extraordinary interventions the existing depot/workshop near to the Iseo station will be used and vehicles will be pulled by diesel-powered trains (as the railway Brescia-Iseo-Edolo from Castegnato to Edolo is not electrified).*

#### 5.5.4. Level crossings

*There are 9 level crossings along the existing railway. With the introduction of the new TT service, the level crossings could be managed according to different scenarios: in case of mixed circulation of trains and TT vehicles or in case of exclusive circulation of TT vehicles.*

*A possible solution for both the scenarios could be the realization of underpasses, in order to eliminate the interferences with the motorized traffic, even if such kind of intervention would require a more detailed analysis of the overall dimensions. Underpasses can be realized mainly in two ways: interrupting the service or maintaining the operation of the service during the works. In the first case, for each underpass, a total expenditure of about 1.500.000,00 € (amount to be put out to auction); in the second case, in addition to the costs of the underpasses, also the costs for the Essen bridge technology application should be considered (about 250.000,00 €).*

*Under the scenario of a mixed circulation of TT vehicles and trains, as it is not possible to use at the same time level crossings with gates for trains and with traffic lights for TT vehicles (the law does not allow such heterogeneous solutions for safety reasons), the existing gates are kept all along the line. Therefore, in order not to excessively affect the motorized traffic circulation, it is necessary to reduce the gates timing. The draft version of the forthcoming "Guidelines on the TT system" establish that, in case of TT3 systems, the gates timing at level crossings can be differentiated according to the kind of approaching vehicles and to their maximum speed or braking systems. In order to do that, also automatic identification systems can be used. As regards the line object of study, an automatic identification system could theoretically be introduced, considering that, at the same time, the track open sign should be placed at a distance able to safely make rolling stock stop in case of malfunctioning of the gates (according to the UNI 11117 regulation). In practice, the gates closure period would result too much long because of the high frequency of the vehicles, making the TT3 scenario unadvisable respect to a TT1 one.*

*Under the scenario of an exclusive circulation of TT vehicles, the level crossing management would be easier than the previous alternative. According to the UNI 8379, which define the binded transport systems features, the TT1 system proposed for Brescia is treated as rapid*

- opere civili: si può assumere cautelativamente per le quattro stazioni di nuova realizzazione un importo forfettario a base d'asta compreso tra 300.000 €, con opere minime per l'attesa dei passeggeri (banchine, pensiline ecc.) e 1.500.000 €, con fabbricati di stazione, cadauna. Per la riqualificazione delle quattro esistenti un importo forfettario a base d'asta compreso tra 200.000 € e 500.000 € (la variabilità degli importi è legata alle differenti scelte progettuali adottabili per la costruzione o per la riqualificazione delle stazioni). Per il sottopasso si può assumere un importo a base d'asta di circa 1.500.000 €. Pertanto l'importo totale forfettario a base d'asta risulta essere compreso tra 3.500.000 € e 9.500.000 €;
- armamento: per la costruzione dei tre raddoppi presso la fermata esistente Mandolossa e presso quelle di progetto Villaggio Violino e Zona produttiva Mandolossa è necessaria la realizzazione in tutte le località di un binario lungo 90 metri, armato con rotaie UNI 50. È necessaria l'installazione sull'esistente tracciato di due deviatori (tipo s60/170/0,12). Si può assumere l'importo arrotondato a base d'asta di 550.000 €;
- elettrificazione: per tutta la tratta Brescia-Castegnato si dovrà realizzare la linea di contatto a binario semplice e nelle stazioni dotate di raddoppio dovranno essere elettrificati entrambi i binari. Si ipotizza una linea di contatto a catenaria, regolata mediante contrappesi, sostenuta da mensole applicate a pali disposti ad intervalli di 50 metri. Nelle stazioni con raddoppio la configurazione dei pali, a doppia mensola, sarà adattata al tracciato di raccordo ai deviatori. Per le opere in linea si assume un importo parametrico di 300 €/m, mentre per le stazioni con raddoppio di assume un importo forfettario a base d'asta di 30.000 €.  
Si dovranno realizzare inoltre due sottostazioni di conversione 130 o 20 kV / 3.000 V c.c.. Si ipotizzano sottostazioni contenute in moduli prefabbricati, da installare su platea nei pressi della linea ferroviaria e da collegare con cavi interrati al punto di consegna MT più vicino. Per le sottostazioni si assume il prezzo unitario complessivo a base d'asta di 1.800.000 €.  
Si può assumere per l'elettrificazione l'importo arrotondato a base d'asta di 6.000.000 €;
- materiale rotabile: sulla base di quanto si è appreso relativamente a recenti forniture di questo genere ed applicando una maggiorazione data dalla piccola entità della flotta ed alle modifiche allo standard dei costruttori si può stimare un prezzo unitario complessivo a base d'asta di 3.500.000 €, per un totale a base d'asta stimabile in 14.000.000 €.
- Deposito: si dovranno realizzare un capannone per il ricovero di sei rotabili, un fabbricato destinato all'officina per interventi di primo livello e per i servizi destinati al personale, un impianto di lavaggio e un posto di rifornimento sabbia. Saranno necessari inoltre i binari di accesso a tali strutture. Si può assumere l'importo

tramway. For this kind of service, the UNI 8379 allows signalized level crossings or level crossings with gates. The best configuration for Brescia would be the presence of signalized crossing, characterized by traffic lights regulated on board by the approaching vehicles. The "track closed" sign timing for motorized traffic would be about 30 seconds, for a total closure time of 5 minutes per hour.

### 5.5.5. First considerations about the investment costs

The most significant advantage of a TT system, from the realization point of view, consists in its economic convenience. A first brief evaluation of the realization costs of the proposed solution for Brescia, in order to compare it with other binded transport system, considered the following cost items, which are expressed as amount to be put out to auction (excluding VAT).

- Civil works: as regards the realization of the new stations, a precautionary expenditure of 300.000,00 € can be estimated, including only platforms and sheds. The expenditure can grow up to 1.500.000,00 € if the stations require also the eventual realization of buildings. As regards the adaptation of the already existing stations, the expenditure corresponds to an amount ranging from 200.000,00 € to 500.000,00 €, in relation to the project choices. The realization of an underpass implies an expenditure of about 1.500.000,00 €. Therefore, the investment costs for the civil works range from 3.500.000,00 € to 9.500.000,00 €.
- Permanent way: the three lay-bys at the Mandolossa, Villaggio Violino and at the Zona Produttiva Mandolossa stations, consist each of 90 m long tracks (using UNI 50 rails). In addition, two s60/170/0,12 switches for each lay-by are foreseen, implying a total expenditure of 550.000,00 €, including also ballast, concrete sleepers, small parts and labour.
- Electrification: the whole line between Castegnato and Brescia must be electrified. The electrification costs about 300,00 €/lm for a total line length of 9 kms. -Alongside this, at the stations where the three lay-bys are foreseen, a forfeit amount of 90.000,00 € are estimated (30.000,00 € each). Finally, the realization of two power substations implies an expenditure of 1.800.000,00 € each. Therefore, the investment costs for the electrification consists of about 6.000.000,00 €.
- Rolling stock: the estimated cost for a TT vehicles, including a price rise due to the small purchased fleet and the eventual adaptation costs, is about 3.500.000,00 € each, therefore a total expenditure of 14.000.000,00 € for the rolling stock is foreseen.
- Depot: according to the technical solutions described at paragraph 5.4, the realization of the depot implies an expenditure ranging from 4.600.000,00 € to 6.100.000,00 €, according to the kind of civil works.  
Excluding the signing, the telecontrol systems, the safety

arrotondato a base d'asta compreso tra 4.600.000 e di 6.100.000 €.

Sommando i diversi costi si ottiene un totale compreso tra 28.650.000 € e 36.150.000 € circa a base d'asta, escludendo dalla trattazione i costi relativi al segnalamento, al telecontrollo (sia degli enti relativi alla circolazione, sia dell'elettrificazione), la cui definizione richiederebbe di prendere in esame i sistemi e gli apparati con i quali è equipaggiata la linea e di sviluppare ipotesi progettuali che esulano dall'obiettivo del lavoro. Si escludono inoltre i costi relativi alla sicurezza e alla progettazione.

### 5.5.6. Primi elementi sui costi di esercizio

Per la valutazione dei costi di esercizio si ipotizzano nei giorni lavorativi 13 ore con 10 corse all'ora nelle due direzioni e 4 ore con 5 corse all'ora nelle due direzioni. Nei giorni festivi e il Sabato si ipotizzano 5 corse all'ora nelle due direzioni per tutto l'arco della giornata. Considerando la lunghezza della tratta di circa 9 km il valore dei tram\*km/anno per il caso dell'area metropolitana bresciana è stimabile in circa 430.000 tram-km/anno.

Si ipotizza un costo totale di esercizio compreso tra 8 e 11 €/tram-km, considerando le caratteristiche della linea e dell'esercizio.

Il totale dei costi di gestione annui stimato sarà quindi compreso circa tra 3.440.000 e 4.730.000 €.

Si ipotizza per semplicità un ricavo di circa 0,3 €/passaggero, considerando sia i titoli di viaggio ordinari che gli abbonamenti (considerando di mantenere per i biglietti del nuovo sistema l'attuale tariffa del TPL di Brescia pari a 1,4 €).

Si sono stimati un numero di passeggeri all'anno variabile tra 1.200.000 e 2.500.000 in relazione al sistema TT adottato. I ricavi dai titoli di viaggio sono quindi stimabili in prima approssimazione in un intervallo compreso tra 360.000 € e 750.000 € all'anno.

Oltre ai ricavi dai titoli di viaggio è necessario considerare il risparmio in chilometri da parte del gestore dato dalla modifica delle attuali linee.

La modifica delle linee urbane garantirebbe un risparmio annuale stimabile di circa 500.000 €.

Lo spostamento del capolinea delle linee extraurbane da Brescia a Mandolossa garantirebbe un risparmio stimabile di circa 1.000.000 € all'anno.

Lo spostamento del capolinea dei treni, provenienti dalla Valcamonica, da Brescia a Castegnato garantirebbe un risparmio chilometrico stimabile in 120.000 km/anno. Pertanto anche in questo caso si avrebbe un risparmio di cui tenere conto.

## 6. Conclusioni

La linea ferroviaria Brescia – Iseo – Edolo, nella tratta Brescia-Castegnato, costituisce un'importante risorsa per

devices and the design costs, a total expenditure ranging from 28.650.000,00 € to 36.150.000,00 € is then estimated as initial investment costs.

### 5.5.6. First considerations about the operating costs

*The service should respect the following timetable: during the working days 10 runs per hour are foreseen (in both the directions) for 13 hours per day, while for the remaining 5 hours per day 5 runs per hour are foreseen; during the non-working days 5 runs per hour are foreseen all the day long. Considering that the line is about 9 km long, the whole fleet covers about 430.000 tram-km/year. The operating costs are about 8÷11 €/tram-km, taking into account the line layout and operating conditions, therefore the estimation of the annual operating costs is about 3.440.000,00 ÷ 4.730.000,00 €.*

*The operating revenues can be estimated in 0,30 €/passenger, considering either ordinary or season ticket fares and setting the present TPL fare at 1,40 €/ticket. The estimated amount of passenger per year can vary between 1.200.000 to 2.500.000, therefore the total revenues vary between 360.000,00 € and 750.000,00 €. In addition to the operating revenues described above, the savings deriving from the adaptation of the whole existing PT network should also be considered, namely: about 500.000,00 € could be saved by reducing the overlapping urban bus lines; about 1.000.000,00 € by setting the terminus of the rural bus lines outside the city at the Mandolossa TT stop; finally, as qualitative consideration, the introduction of a TT1 system (moving the terminus of the regional railway from Brescia to Castegnato) could bring to further savings in terms of km covered by trains (about 120.000 km/year).*

## 6. Conclusions

*The existing railway facility linking Brescia to Iseo and Edolo represents an important resource for the territory, which unfortunately, at the moment, is not sufficiently exploited. The regeneration of the existing railway facility, introducing light tram-like TT vehicles and by increasing the number of stops, would provide a capillary service able to serve the western metropolitan area of the city of Brescia. In addition, after a necessary reorganization of the PTL network, the TT system would be well interconnected to the brand new automatic light-rail line (activated in March 2013), offering a high-quality integrated transport system, able to reduce the congestion problems of the area involved and improve service accessibility.*

*The TT solution which could be easily adapted to the Brescia reality is the TT1, which foresees the exclusive circulation of tram-like vehicles on the section of line between Brescia and Castegnato. This configuration would guarantee a maximum load of about 1,500 passengers/hour\*direction in rush hour, reaching a total of 2,500,000 passengers per year (other TT configurations, such as for example the*

il territorio non sufficientemente valorizzata. Il riutilizzo del sedime ferroviario con rotabili leggeri del tipo Tram - Treno (TT), implementando il numero di fermate, garantirebbe un servizio capillare in grado di servire l'area metropolitana ad ovest del capoluogo e di interfacciarsi presso la Stazione ferroviaria di Brescia con la metropolitana leggera automatica, entrata in esercizio nel marzo 2013. Unitamente al riassetto del trasporto collettivo urbano su gomma, il nuovo servizio risulterebbe una linea di forza di trasporto di alta qualità nell'area ad ovest di Brescia, che risolverebbe la congestione viaria in tale zona.

Il sistema più facilmente adattabile alla realtà bresciana è quella con la tratta Brescia-Castegnato a circolazione esclusiva dei rotabili TT (TT1). Questa configurazione infatti garantirebbe il massimo carico di passeggeri, stimabile in circa 1.500 phd nell'ora di punta, per un totale di circa 2.500.000 passeggeri annui. Se si realizzassero altre soluzioni con circolazione promiscua il traffico interessante la linea TT diminuirebbe a 1.200.000 passeggeri annui.

Sono necessari quattro convogli in linea per garantire l'esercizio con frequenza di dodici minuti. La circolazione esclusiva di rotabili leggeri permetterebbe la gestione dei passaggi a livello con l'utilizzo di impianti semaforici, eliminando le attuali barriere, limitando quindi le interruzioni al traffico veicolare. Si prevede inoltre la creazione di un sottopasso alla linea nei pressi del più significativi passaggio a livello. La circolazione in sede propria permetterebbe inoltre di semplificare le problematiche legate all'esercizio, al segnalamento e alla sicurezza.

I costi di costruzione (a meno di quelli relativi a segnalamento, progettazione e sicurezza) sono stati stimati tra 28.650.000 € e 36.150.000 €. Il costo di costruzione al chilometro risulterebbe notevolmente inferiore rispetto a quello necessario per la realizzazione di una metropolitana leggera automatica, pur garantendo un livello di servizio e di confort elevati.

Un possibile ulteriore sviluppo, che necessita di un approfondimento, del sistema TT nell'area metropolitana bresciana (come peraltro contemplato dal nuovo Piano di Governo del Territorio) potrebbe essere il collegamento con la prevista stazione della linea Alta Velocità / Alta Capacità adiacente all'aeroporto di Montichiari, creando così un servizio di trasporto ad alta qualità nell'area a sud del capoluogo (fig. 9).

Per tale collegamento si utilizzerebbero la linea Brescia-Cremona fino all'altezza di San Zeno Naviglio e la Brescia-Parma fino all'altezza di Borgosatollo, dove si affiancherebbe alla linea AV / AC e alla nuova SP19 per raggiungere l'aerostazione.

*TT3 solution, would guarantee a lower passenger load, of about 1,200,000 per year). In order to have a frequency of 12 minutes, four vehicles are required. The use of light tram-like vehicles would allow to have level crossings regulated by traffic-lights instead of barriers, avoiding the traffic flows interruption along the road network. The project foresees the further realisation of an underpass to the TT line at one of the most important level crossing. The circulation of the vehicles on dedicated permanent ways would allow to simplify various operating, signalling and safety problems.*

*The realization costs of the proposed solution for Brescia, (excluding VAT, costs relating to control-command and signalling systems, safety devices and design costs) are estimated to range between 28.650.000 € and 36.150.000 €. The kilometric costs would be extremely lower than the ones associated to the realisation of an automated light-metro system and would guarantee similar high levels of service and comfort.*

*A further development of the proposed system (consistently with the new urban plan of Brescia, called PGT) could be represented by the extension of the TT line from Brescia central station to Montichiari Airport where a new HS/HC station is planned, covering also the south-eastern area of the Province of Brescia with a high quality transport system (fig. 9). In order to do that, other two regional railways would be exploited: the Brescia-Cremona line (until the San Zeno Naviglio station) and the Brescia-Parma line (until Borgosatollo, where the line would run parallel to the HS/HC line and to the SP19 road) up to the Airport.*

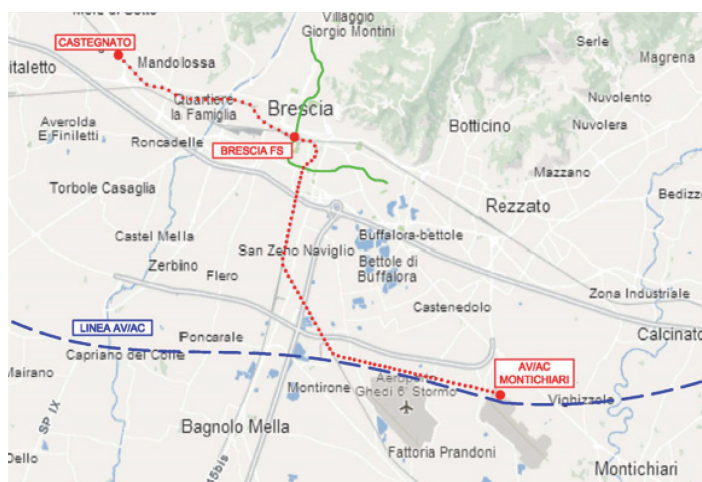


Fig. 9 - Linea tram-treno Brescia-Castegnato e Brescia-Montichiari (linea punteggiata rossa), linea metropolitana leggera automatica (linea verde), linea alta velocità (linea blu).

Fig. 9 - The new Brescia-Castegnato TT line and its possible extension connecting Brescia and the High Speed/High Capacity (HS/HC) Montichiari Station (red dotted line). The map shows also the new light metro line (green line) and the HS/HC line (blue dashed line).

BIBLIOGRAFIA - REFERENCES

- [1] Gruppo di lavoro ANSF, ASSTRA, Confindustria, RFI, UNIFER (2013), *"Linee guida sui sistemi tram-treno"* – Circ. n. 119/SIT/Ca.Da, 22 aprile 2013 – ASSTRA Allegato 1.
- [2] NOVALES M., (2001), *"Un nuovo concetto nel trasporto urbano: il tram-treno"*, Ingegneria Ferroviaria, Roma, Collegio Ingegneri Ferroviari (CIFI), numero 10.
- [3] SPINOSA A. (2010), *"Progetto tram-treno"*, 4 volumi, Roma.
- [4] MANTOVANI G. (2011), *"Tram-treno, stato dell'arte e prospettive in Toscana"*, Proceeding of the Conference held in Firenze on 13th November 2011.
- [5] KUHN A., (2009), *"Tram-train systems: keypoints from over 25 years of application"*, atti del Seminario tecnico sui sistemi tram-treno, Torino.
- [6] ROSA A., ASUNIS S., (2009), *"Sistemi tram-treno: introduzione e questioni aperte per l'applicazione"*, atti del Seminario tecnico sui sistemi tram-treno, Torino.
- [7] ALESSANDRINI A. (2005), *"Il modello tram-treno oltre la sperimentazione"*, Ingegneria Ferroviaria, Roma, Collegio Ingegneri Ferroviari (CIFI), numero 9.
- [8] Firema Trasporti (2009), *"Il tram-treno in Italia: l'interazione rotabile/via"*, atti del Seminario tecnico sui sistemi tram-treno, Torino, 28 settembre 2009.
- [9] RIZZETTO L. (2008), *"Simulazione della dinamica di marcia dei veicoli tram-treno"*, Terzo Convegno nazionale sistema tram *"Tram...Andare"*, Roma.
- [10] MALAVASI G. – RIZZETTO L. (2009), *"Un sistema interoperabile per l'introduzione dei tram-treno in Italia"*, atti del Seminario tecnico sui sistemi tram-treno, Torino.
- [11] NOVALES M., (2009), *"Technical problems and solutions for implementation of tram-train system"*, Atti del seminario tecnico sui sistemi tram-treno di Torino.
- [12] NOVALES M., BUGARIN M.R. (2011), *"Accesso passeggeri ai sistemi tram-treno: problemi e soluzioni"*, Ingegneria Ferroviaria, Collegio Ingegneri Ferroviari (CIFI), numero 2.
- [13] MATERNINI G. (eds) (2000), *"Verso un manuale per la pianificazione d'area metropolitana, in Metropoli e mobilità – Il caso di Brescia"*, volume 6, Brescia, Sintesi Editrice.
- [14] BUSI R., PEZZAGNO M., (2011), *"Una città di 500 km – Letture del territorio padano"*, Gangemi Editore, Brescia.
- [15] ZANIRATO L. (a cura di), (2010), *"Metro Brescia, un passo verso il futuro"*, Brescia.
- [16] ZANIRATO L. (a cura di), (2012), *"Stazione metropolitane, Underground/Upperpeople"*, Brescia.
- [17] MATERNINI G., RICCARDI S. (2010), *"Il sistema tram-treno per la riqualificazione di una linea ferroviaria locale. Il caso della Brescia-Iseo-Edolo"*, CD-ROM atti del 4° convegno Nazionale Sistema tram - *"Metro Tram Treno"* Evoluzione e flessibilità AIIT, ASSTRA, CIFI, Roma
- [18] MATERNINI G., TITA G. (2008), *"Problematiche di impatto ambientale nella riqualificazione di una linea ferroviaria in un'area metropolitana"*, - in DE LUCA M., MARZANO V. (a cura di), Reti e servizi ferroviari per le aree metropolitane italiane. Seminario scientifico 2007, Franco Angeli editore, Milano.
- [19] MATERNINI G., RICCARDI S., CADEI M. (2014), *"Effect of a new tram-train system realization as urban areas renewal project. The case of metropolitan area of Brescia"*, CSE Journal - City Safety Energy, Le Pensur Brienza (PZ), numero 1.