



Pavimento tutto basso: ne vale sempre la pena?

Fully low-floor: is it always worth it?

Dott. Ing. Sergio VIGANÒ^(*)

1. La prima generazione di tram a pavimento basso

I primi tram a pavimento basso risalgono alla metà degli anni ottanta⁽¹⁾. Nacquero a partire da un classico tram articolato a due casse su tre carrelli, di cui i due estremi motori, abbassando a circa 350 mm dal P.F. (Piano del Ferro) il pavimento in tutta la parte centrale del tram, fra i due carrelli motori, che restavano di tipo tradizionale. Così si presentavano tutti i primi tram a pianale ribassato (figg. 1 e 2): il prototipo dell'Officina Meccanica della Stanga (Firema) del 1984, primo tram al mondo a pavi-



Fig. 1 - Il prototipo realizzato nel 1984 da Firema, con il finanziamento del CNR per il carrello portante a ruote indipendenti e la collaborazione dell'ATM di Milano, che mise a disposizione due tram tipo "1928" incidentati e due carrelli potenziati (e con il freno a pattini eletromagneticci), è stato il primo tram al mondo con pavimento a 350 mm. *The prototype developed by Firema in 1984, thanks to CNR funding (for the carrying bogie with independent wheels) and the collaboration of ATM Milan, that made available two damaged "1928" type trams, as well as two bogies (with increased power and electromagnetic track brakes), was the first tram in the world with the floor at 350 mm.*

^(*) Metropolitana Milanese S.p.A. - Responsabile Servizio Progettazione Infrastrutturale.

NOTA - Memoria presentata nel 4° Convegno Nazionale Sistema Tram - "MetroTramTreno" - Evoluzione e flessibilità - Roma, 30 settembre-1 ottobre 2010.

⁽¹⁾ Per i primordi dei tram a pavimento ribassato dal punto di vista italiano è essenziale il riferimento [1] in bibliografia. Per un aggiornamento continuo sull'evoluzione tecnica e sul mercato dei tram, sono fondamentali i rapporti che Harry HONDUS pubblica periodicamente sulle riviste del riferimento [3].

1. The first generation of low floor trams

The first trams with low-floor date back to the mid eighties⁽¹⁾. They first originated from a classical articulated tram with two car bodies on three bogies, of which the outer ones motored, lowering the floor to approximately 350 mm from the T.o.R. (Top of Rail) in the whole central part of the vehicle, between the two motored bogies, that remained of the traditional type. This is how all the first low-floor trams appeared (figures 1 & 2): the prototype by Officina Meccanica della Stanga (Firema), presented in 1984, the first tram in the world with low-floor⁽²⁾, the Alsthom trams for Grenoble (1987), that for a certain period of time were the "standard" French trams (with repetitions for Paris and Rouen), the 54 trams called TPR's (trams with lowered floor) by the Fiat Ferroviaria-Ansaldo consortium for the Turin Transport Company (1989), the Socimi trams for Rome (1990).

The heart of these trams, that represented a great innovation, was the central carrying bogie with independent wheels, without wheelsets or with a double swan-neck "false wheelsets", that allowed to maintain the floor lowered in the whole area between the two motored bogies.

With the exception of the Firema prototype, all these trams had a double articulation between the two main car bodies; the usual articulation became a small body, integral with the carrying bogie with independent wheels. The ensemble of the small body and the related bogie formed a sort of small carriage. This solution was needed to keep the passage through the articulation as large as possible, in the space between the wheels of the carrying bogie; but it also had the advantage of generating an "ap-

^(*) Metropolitana Milanese S.p.A. – Manager of Infrastructure Design Office.

NOTE – Paper presented at the 4th Tram System National Congress - "MetroTramTrain" – Evolution and flexibility - Rome, 30th September -1st October 2010.

⁽¹⁾ From an Italian point of view, in the dawning of low-floor trams, reference [1] in the bibliography is essential. For continuous updating concerning the technical evolution and the tram market, the reports that Harry HONDUS periodically publishes in reference [3] magazines are fundamental.

⁽²⁾ Again in 1984, the supply of the 46 Geneva trams manufactured by Vevey, Düwag and BBC had begun but the floor was at 480 mm from the Top of Rail. The carrying bogie, having wheels with a very small diameter (375 mm), derived from the rollboks, i.e. the trucks for the transport of standard gauge wagons on the narrow gauge railways.

CONVEgni e CONGRESSI



Fig. 2 - Due classici tram a pavimento parzialmente basso della prima generazione: *a sinistra* il TSF (Tram Standard Français) di Alsthom (1987) delle tranne di Grenoble; *a destra* il tram Socimi serie 9000 dell'ATAC di Roma (1990). *Two typical first generation trams with partially low-floor: on the left, the TSF (Tram Standard Français) of the Grenoble trams, by Alsthom (1987); on the right, the 9000 series trams of ATAC Rome, by Socimi (1990).*

mento basso⁽²⁾, i tram Alstom di Grenoble (1987), che costituirono per un certo tempo il tram "standard" francese (con ripetizioni a Parigi e Rouen), i 54 TPR (tram a pianale ribassato) del Consorzio Fiat Ferroviaria-Ansaldo per l'Azienda Trasporti di Torino (1989), i tram Socimi di Roma (1990).

Cuore di questi tram, che rappresentarono una grande innovazione, era il carrello portante centrale a ruote indipendenti, senza sale o con "false sale" a doppio collo di cigno, che permetteva di mantenere il pavimento basso in tutta la zona fra i due carrelli motri di estremità.

Salvo il prototipo Firema, tutti questi tram presentavano lo sdoppiamento dell'articolazione fra le due casse principali; la tradizionale "giostra" diveniva una piccola cassa, solidale al carrello portante a ruote indipendenti. L'insieme della piccola cassa e del relativo carrello costituiva un cosiddetto "carrozzino". Questa soluzione serviva per mantenere il più ampio possibile il passaggio attraverso l'articolazione, nello spazio all'interno fra le ruote del carrello portante; ma aveva anche il vantaggio di generare un interperno "apparente" maggiore dell'effettiva distanza fra i centri di rotazione, per cui si potevano realizzare casse più lunghe a parità di fascia d'ingombro ammissibile.

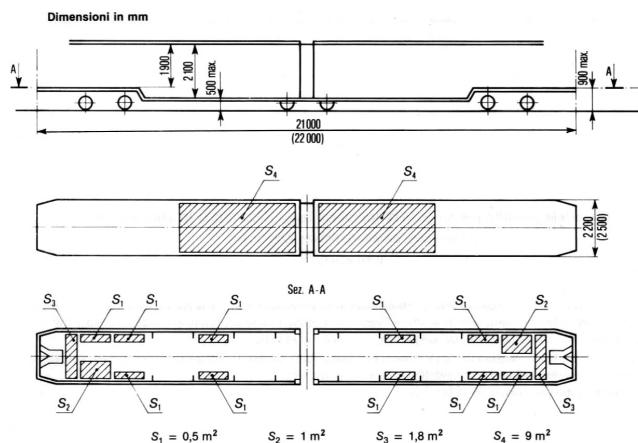


Fig. 3 - A livello normativo italiano, la prima generazione di tram a pavimento basso venne rispecchiata dalla norma UNI 8944:1986 (ritirata), di cui si riporta qui il figurino del rotabile. *With regard to the Italian rules, the first generation of low-floor trams was reflected in the UNI 8944:1986 standard (withdrawn), of which the vehicle layout is shown here.*

parent" distance between centres greater than the distance between the actual bogie pivots. Therefore, longer bodies could be arranged with the same acceptable swept path.

Inside these trams, two to three steps were required to overcome the difference in level of approximately half a metre between the lowered area and the "high" floor areas above the two motored bogies.

Concerning the rules, this type of vehicles was reflected in the UNIFER standard published in January 1986 as UNI 8944 (see reference [1] in the bibliography and fig. 3), today withdrawn and replaced by UNI 11174:2005 (in turn under revision).

⁽²⁾ Nello stesso 1984 era iniziata la fornitura dei 46 tram di Ginevra realizzati da Vevey, Düwag e BBC, ma il pavimento era a 480 mm dal piano del ferro. Il carrello portante, con ruote di diametro piccolissimo (375 mm), era derivato dai *rollblock* per il trasporto dei carri a scartamento ordinario sulle ferrovie a scartamento ridotto.

CONVEgni e CONGRESSI

All'interno di questi tram occorrevano due-tre gradini per superare il dislivello di circa mezzo metro fra la zona ribassata e le zone a pavimento "alto" al di sopra dei due carrelli motori.

A livello normativo, questo tipo di rotabile fu rispedito dalla norma UNIFER pubblicata nel gennaio 1986 come UNI 8944 (v. riferimento [1] in bibliografia e fig. 3), oggi ritirata e sostituita dalla UNI 11174:2005 (a sua volta in corso di revisione).

2. L'avvento del pavimento tutto basso

Nel volgere di pochi anni si assistette all'ulteriore evoluzione del pavimento basso esteso a tutta la lunghezza del tram. Già nel 1989 appariva il primo tram a pavimento tutto basso del mondo, il prototipo Socimi S-350 LRV, seguito a ruota in Europa da altri rotabili altrettanto rivoluzionari.

Il veicolo Socimi (fig. 4), presentato nel giugno 1989, aveva carrelli, entrambi motori, che ruotavano rispetto alla cassa per mezzo di una normale ralla a sfera. Malgrado il passo corto (1400 mm), la grande rotazione dei carrelli richiesta dai piccoli raggi delle curve tranviarie riduceva parecchio la larghezza del passaggio interno. Ciò avveniva già con lo scartamento ordinario; con lo scartamento ridotto, molto presente fra le tranvie europee, tale soluzione sarebbe stata impraticabile (fig. 6).

Per questo motivo il fortunato tram GT6N della MAN GHH⁽³⁾ (fig. 7), il cui prototipo fu presentato nel febbraio



Fig. 4 - Il rivoluzionario prototipo S-350 LRV di Socimi del 1989. Per la prima volta al mondo presentava il pavimento basso (350 mm dal piano del ferro) per tutta la lunghezza del rotabile, ma manteneva carrelli che ruotavano rispetto alla cassa. *The revolutionary S-350 LRV Socimi prototype dates 1989. For the first time in the world, it presented low floor (350 mm from T.o.R.) for the entire length of the vehicle, though maintaining pivoting bogies.*

2. The coming of fully low floor

In the course of a few years, a further evolution was witnessed: the low floor extended to the whole length of the tram. Already in 1989, the first tram in the world with fully low floor appeared, the Socimi S350 LRV prototype, closely followed by other equally revolutionary vehicles in Europe.

The Socimi vehicle (fig. 4), presented in June 1989, had both motored bogies pivoting, i.e. swivelling with respect to the body, as usual, through a normal roller bearing. Despite the short wheelbase (1400 mm), the large bogie rotation demanded by the small radii of the tramway curves considerably reduced the internal passage width. This already occurred with the standard gauge; with the narrow gauge, very frequent in the European tramways, such solution would have been unfeasible (fig. 6).

For this reason the lucky GT6N tram by MAN GHH⁽³⁾ (fig. 7), whose prototype was presented in February 1990, abandoned the traditional concept of bogies swivelling with respect to the body. It recovered the scheme of some Bremen trams, manufactured in the seventies by Wegmann⁽⁴⁾, characterized by a number of bogies equal to that of the carbodies, articulated between them, with bogies placed at the centre of the respective carbody. In order to negotiate curves, a certain degree of rotational movement must be left between the bogies and the bodies. The ensemble of the bodies would be unstable in the horizontal level, but the bodies are elastically dragged in rotation (through curves), and reset in the aligned position (in the straight stretches) thanks to the lateral stiffness of the secondary suspension springs, through which the bodies themselves lean on the bogies (directly, without bearings). Therefore the GT6Ns still maintained the bogies' ability to swivel with respect to the bodies, although within a limited extent ($\pm 2,3^\circ$).

After five prototypes that went to different cities, this tram, also produced in a four-body version (type GT8N), became the first mass-produced fully low-floor tram, thanks to the order of 78 GT8Ns for Bremen, followed by many other German cities such as Berlin, that in the years acquired 150 GT6Ns.

On the contrary, the TPIR (tram with fully lowered floor) prototype, manufactured by Firema with the collaboration of Fiat Ferroviaria in 1991, returned to a mechanical architecture similar to the Socimi prototype,

⁽³⁾ Nello stesso 1990 la produzione ferrotranviaria della MAN GHH fu rilevata dall'AEG Transportation, che nel 1996 conflì nell'Adtranz, la quale a sua volta nel 2001 venne acquistata dalla Bombardier.

⁽⁴⁾ In 1990, the rail production of MAN GHH was taken over by AEG Transportation, that in 1996 merged into Adtranz, which in turn was bought by Bombardier in 2001.

⁽⁴⁾ The rail production by Wegmann also merged into Bombardier.

CONVEgni e CONGRESSI



Fig. 5 - Il prototipo TPIR di Firema (con la collaborazione di Fiat Ferroviaria), esposto nelle manifestazioni per i 100 anni di tram elettrici a Milano, nel febbraio 1994. Dietro è visibile il TPR di Fiat-Ansaldo serie 5000 dell'ATM di Torino. *The TPIR by Firema (with the collaboration of Fiat Ferroviaria), exhibited during the event celebrating 100 years of electric trams in Milan, in February 1994. The Fiat-Ansaldo TPR (5000 series tram of ATM Turin) can be seen in the background.*

1990, abbandonava il concetto tradizionale dei carrelli che ruotano rispetto alla cassa, riprendendo lo schema di alcuni tram di Brema, realizzati negli anni settanta dalla Wegmann⁽⁴⁾, caratterizzato da un numero di carrelli uguali a quello delle casse, articolate fra loro, con i carrelli posti al centro della rispettiva cassa. Per permettere l'iscrizione in curva, deve essere lasciata una certa libertà angolare fra carrelli e casse. L'insieme di queste sarebbe labile nel piano orizzontale, salvo che le casse sono trascinate elasticamente in rotazione (in curva) e richiamate in posizione allineata (in rettilineo) tramite la rigidità laterale delle sospensioni secondarie, attraverso le quali le casse stesse poggiano sui carrelli (direttamente, senza ralle).

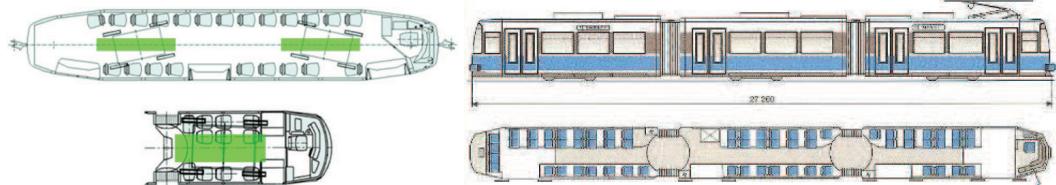


Fig. 6 - Lo schema a sinistra rappresenta la difficoltà di realizzare tram a pavimento tutto basso con carrelli che ruotano rispetto alla cassa: la grande rotazione dei carrelli richiesta dai piccoli raggi delle curve tranviarie riduce parecchio la larghezza del passaggio interno. La figura sotto mostra la situazione di un tram a pavimento tutto basso in cui sia lasciata una piccola libertà di rotazione fra carrello e cassa, come nel GT6N (fig. a destra). *The diagram on the left represents the difficulty in creating fully low-floor trams with pivoting bogies: the large rotation of the bogies demanded by the small radii of tramway curves considerably reduces the width of the internal passage. The figure on the below illustrates the situation of a fully low-floor tram where a slight rotation between the bogie and body is allowed, that is the case of GT6N (fig. on the right).*

zione in curva, deve essere lasciata una certa libertà angolare fra carrelli e casse. L'insieme di queste sarebbe labile nel piano orizzontale, salvo che le casse sono trascinate elasticamente in rotazione (in curva) e richiamate in posizione allineata (in rettilineo) tramite la rigidità laterale delle sospensioni secondarie, attraverso le quali le casse stesse poggiano sui carrelli (direttamente, senza ralle).

⁽⁴⁾ Anche la produzione ferrotranviaria della Wegmann è confluita nella Bombardier.

with the exception that it had two carbodies plus an articulation carriage; it also had more sophisticated electrical equipment (fig. 5).

The tramway in Strasbourg, inaugurated in 1994, led the way for different aspects. The rolling stock with a very distinctive design, were the well-known "Eurotrams" developed by Socimi and ABB (fig. 8), but completed by the latter following the downfall of the Milanese company.

The Eurotram marked the outset of the configuration of articulated vehicles with suspended bodies, i.e. trams alternating small carriages leaning on bogies and "suspended" bodies between the formers. For the sake of brevity, we will call these "multi-articulated"⁽⁵⁾ trams from hereonwards. In this way, as an example, the classic tram with two carbodies on three bogies, 22-30 m long, single-articulated if high-floored, double-articulated if partially low-floored, became a slightly longer vehicle (25-32 m) with five bodies and four articulations (!): three bodies – the small carriages – integral with the respective bogies and two suspended bodies.

The old way, the Eurotram, with its length of 33,1 m, would have been a three-carbody tram, whereas it was actually made of seven bodies with six articulations.

With reference to the running gears of the multi-articulated trams, often mechanical masterpieces (fig. 9), they continue to be referred as "bogies", but they actually do not have the essential feature of real bogies, that is the ability to swivel with respect to the body. As the

⁽⁵⁾ It is significant that there is not any universally recognised term to define trams built with bodies integral with their bogies (non-pivoting) and suspended bodies. In common language, if one says "low-floor tram", very often this vehicle configuration is meant. In order to break the misleading equation "low-floor tram = tram with non-pivoting bogies", trams with such configuration should be identified with a proper term. "Multiarticulated" tram is used by HONDIUS in the reference publications [3], but also in the reference VDV manual [4]: *Multigelenkfahrzeuge* in German, *multi-articulated vehicles* in English.

CONVEgni e CONGRESSI



Fig. 7 - I GT6N/GT8N di AEG-MAN (ora Bombardier) sono stati i primi tram a pavimento tutto basso ad essere prodotti in serie, a cominciare dalla fornitura per Brema del 1993. La foto riprende la prima unità della serie di 70 della MVG di Monaco di Baviera (1994). Caratterizzati da un numero di carrelli pari a quello delle casse, questi tram presentano una certa libertà di rotazione fra cassa e carrello ($\pm 2,3^\circ$). *The GT6N/GT8N by AEG-MAN (now Bombardier) were the first fully low-floor trams to be mass produced, starting from the supply to Bremen in 1993. The picture captures the first unit of the 70-tram series of MVG, Munich (1994). These trams, which feature a number of bogies equal to that of the carriages, present a certain degree of rotational freedom between the body and the bogie ($\pm 2,3^\circ$).*

Dunque il GT6N, pur in misura limitata ($\pm 2,3^\circ$), mantiene ancora una capacità dei carrelli di orientarsi rispetto alle casse.

Dopo cinque prototipi, andati a varie città, questo tram, realizzato anche in versione a quattro casse (tipo GT8N), nel 1993 divenne il primo tram a pavimento tutto basso ad essere prodotto in serie, grazie all'ordinazione di 78 GT8N da parte di Brema, seguita da molte altre città tedesche, fra cui Berlino, che negli anni è arrivata ad acquisire 150 GT6N.

Invece, il prototipo TPIR (tram a pianale integralmente ribassato) realizzato da Firema con la collaborazione di Fiat Ferroviaria nel 1991 riprendeva un'impostazione meccanica analoga al prototipo Socimi, salvo essere costituito da due casse più carrozzino d'articolazione; in più presentava un equipaggiamento elettrico più raffinato (fig. 5).

La tranvia di Strasburgo, inaugurata nel 1994, fece scuola per vari aspetti. I rotabili, di design molto ricerchato, erano i famosi "Eurotram", sviluppati da Socimi e ABB (fig. 8), ma portati a termine da quest'ultima a seguito del tracollo dell'azienda milanese.

Con l'Eurotram esordiva la configurazione dei rotabili articolati con casse sospese, ovvero costituiti da carrozzini poggianti sui carrelli e da casse "sospese" tra un carrozzino e l'altro. Nel seguito, per brevità, chiameremo questi tram "multiarticolati"⁽⁵⁾. In questo modo, per esem-

⁽⁵⁾ È significativo che non vi sia neanche un termine universalmente riconosciuto per definire i tram costituiti da carrozzini (o comunque casse con carrelli che non ruotano) e casse sospese.



Fig. 8 - Con l' "Eurotram" di Strasburgo (1994) è cominciata l'epoca dei tram "multiarticolati", costituiti da carrozzini poggianti sui carrelli e da casse sospese tra un carrozzino e l'altro. Nell'Eurotram i carrozzini di estremità ospitano soltanto le cabine di guida. *With the Strasbourg "Eurotram" (1994) the era of the "multi-articulated" trams began, made up of small carriages integral with non-pivoting bogies and suspended bodies between the formers. In the Eurotrams, the end small carriages house the driver's cabs only.*

"trucks"⁽⁶⁾ of the ancient two-axle trams, each bogie of multi-articulated trams must drag the respective body and part of the adjacent suspended bodies when on a curve, that is an ensemble of masses with a much greater inertia compared to that of the individual bogie.

This turns into greater consumption of the rolling surfaces (wheels and rails) and squealing in the bends.

3. Taking more chances ...

To make things even more difficult, whereas at the beginning the carriages comprising the running gears were very small, they became increasingly longer bodies. The driver's cab began to be placed at the vehicle end overhangs. That is the case, for example, of the ATAC "Roma 2" trams of Fiat Ferroviaria (1997, fig. 10).

But what is the use of creating a low-floor above the end motored bogies if these areas are *cul de sac*? (That is exactly what happens on the Roma 2.) At least a small door must be placed on the overhang: here comes Siemens' "Combino", AnsaldoBreda's "Sirio" (fig. 11), and similar very low-floor trams.

However, some operators consider the one-leaf door non-satisfactory for boarding; therefore some tram manufacturers are available to put a two-leaf door (fig. 12), and as a result there are greater and greater overhangs and increasingly challenging moments of inertia.

⁽⁶⁾ In his articles (reference [3] in bibliography), HONDIUS, calls the real bogies *bogies*, whereas for running gears that do not swivel with respect to the body he uses the term *truck*, that was once used also in Italy with reference to two-axle trams.

CONVEgni e CONGRESSI

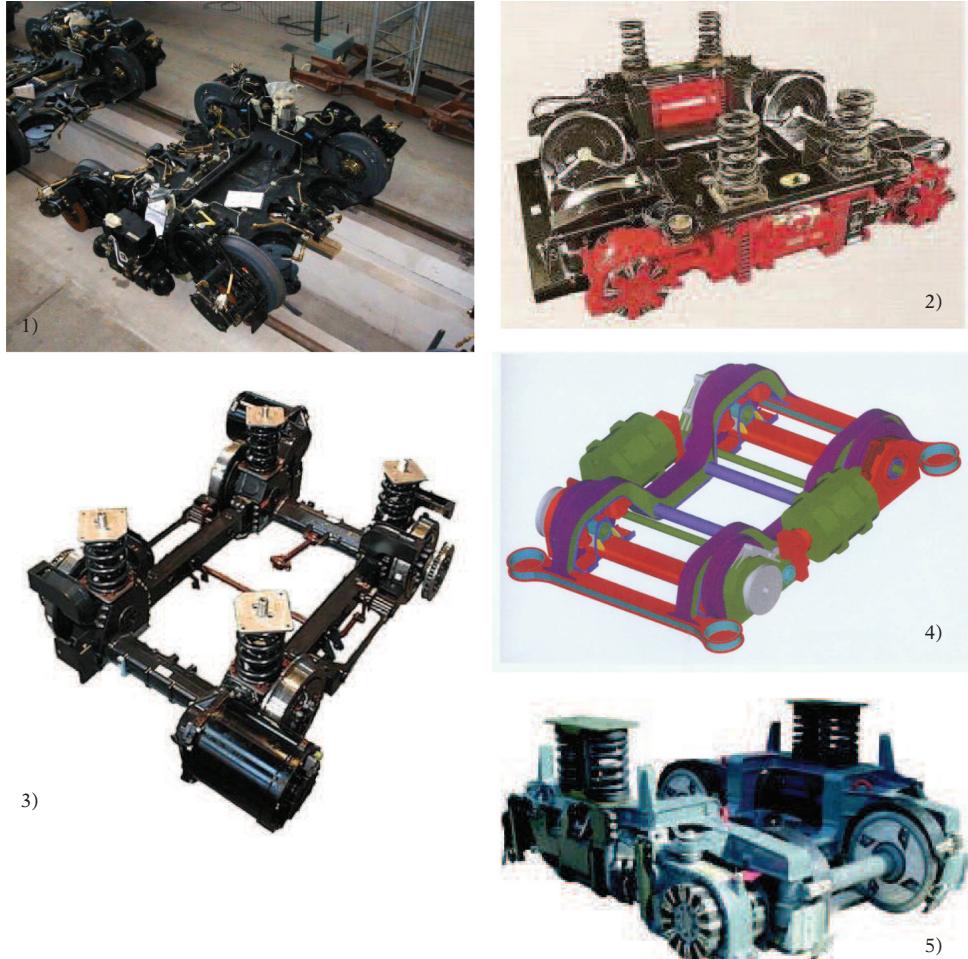


Fig. 9 - Carrelli motori di tram a pavimento tutto basso multiarticolati. Dall'alto a sinistra verso il basso a destra: 1) "Eurotram": ruote indipendenti senza sala, un motore di trazione per ciascuna ruota (foto ADtranz, ora Bombardier); 2) tram "Combino": ruote indipendenti, due motori di trazione collocati longitudinalmente sui fianchi del carrello, ciascuno azionante le due ruote dello stesso fianco (foto Siemens); 3) tram "Citadis" 302/402: carrello "Arpège" con ruote indipendenti, telaio articolato, senza sospensione primaria, due motori di trazione collocati a sbalzo, ciascuno azionante le due ruote di una falsa sala, con rimando del moto da un lato all'altro tramite una trasmissione con albero all'interno della falsa sala (foto Alstom); 4) tram "Sirio": ruote indipendenti, due motori di trazione collocati longitudinalmente sui fianchi del carrello, ciascuno azionante le due ruote di una falsa sala, con rimando del moto da un lato all'altro tramite una trasmissione con albero e differenziale "autosblocante" (disegno AnsaldoBreda); 5) tram "Flexity Outlook": carrello "FLEXX Urban 1000" con sale montate, due motori di trazione collocati longitudinalmente sui fianchi del carrello, ciascuno azionante una sala. Malgrado le ruote di piccolo diametro (570 mm a nuovo), si rende necessario un rialzo del pavimento in corrispondenza dei carrelli motori (foto Bombardier). Motored bogies of fully low-floor, multi-articulated trams. From top left to bottom right: 1) "Eurotram": independent wheels without wheelset, one traction motor per wheel (photo by ADtranz, now Bombardier); 2) "Combino" tram: independent wheels, two traction motors longitudinally placed on the bogie sides, each driving the two wheels of the same side (Siemens photo); "Citadis" 302/402 trams: "Arpège" bogie with independent wheels, articulated bogie frame, no primary suspension, two traction motors cantilever placed, each driving the two wheels of one false wheelset, the motion being transmitted from one side to the other via a shaft within the false wheelset itself (Alstom photo); 4) "Sirio" trams: independent wheels, two traction motors longitudinally placed on the bogie sides, each driving the two wheels of one false wheelset, the motion being transmitted from one side to the other through a transmission including a shaft and a "self-unlocking" differential (AnsaldoBreda sketch); 5) "Flexity Outlook" trams: "FLEXX Urban 1000" bogie, provided with wheelsets, two traction motors longitudinally placed on the bogie sides, each driving a wheelset. Despite the small diameter of the wheels (570 mm), the vehicle floor has to be raised above the motored bogies (Bombardier photo).

CONVEgni e CONGRESSI

pio, il classico tram a due casse su tre carrelli, da 22-30 m, con una articolazione se a tradizionale pavimento alto, due articolazioni se a pavimento parzialmente basso, diventava un rotabile poco più lungo (25-32 m) con cinque casse e quattro articolazioni (1): tre casse - i carozzini - solidali con i rispettivi carrelli e due casse sospese fra le precedenti.

L'Eurotram, lungo 33,1 m, alla vecchia maniera sarebbe stato un tram a tre casse, mentre in effetti era costituito da sette casse, con sei articolazioni.

Con riferimento ai rodigi dei tram multiarticolati, spesso capolavori di meccanica (fig. 9), si continua a parlare di "carrelli", ma in effetti essi non hanno una caratteristica fondamentale dei veri carrelli, ovvero quella di ruotare rispetto alla cassa. Come i "truck"⁽⁶⁾ dei vecchi tram a due assi, in curva i carrelli di un tram multiarticolato devono trascinare con sé in rotazione anche la rispettiva cassa e una quota parte delle casse sospese adiacenti, ovvero un insieme di masse con un'inerzia enormemente maggiore di quella del solo carrello.

Ciò si traduce in maggiori consumi delle superfici di rotolamento (ruote e rotaie) e stridio nelle curve.

3. Si azzarda sempre di più ...

Per rendere le cose ancora più difficili, quelli che all'inizio erano i carozzini sono diventati casse sempre più lunghe. Sugli sbalzi di estremità si è cominciato a mettere la cabina di guida, come per esempio sui tram dell'ATAC "Roma 2" di Fiat Ferroviaria (1997, fig. 10).

Ma a che serve fare il pavimento basso sopra i carrelli motori di estremità, se queste zone sono dei *cul de sac*, come - appunto - sul Roma 2? Bisogna mettere almeno una piccola porta sullo sbalzo: ecco il "Combinò" di Siemens, il "Sirio" di AnsaldoBreda (fig. 11), e altri.

Però alcuni esercenti considerano la porta a un'anta insufficiente per l'incarrozamento; e allora qualche costruttore si rende disponibile a mettere una porta a due ante (fig. 12), con il risultato di sbalzi sempre più grandi e momenti d'inerzia sempre più impegnativi.

Oltre a rendere ancora più critica l'iscrizione in curva,

È come se, nel linguaggio corrente, "tram a pavimento basso" portasse con sé anche quella configurazione di rotabile; il che non è interamente vero neppure per i tram a pavimento 100% basso. Per spezzare la fallace equazione "tram a pavimento basso = tram con carrelli che non ruotano", bisogna che i tram con tale configurazione siano identificati con un termine apposito. Tram "multiarticolato" è usato, fra gli altri, da HONDIUS nelle pubblicazioni del riferimento [3], ma anche nel manuale della VDV del riferimento [4]: *Multigelenkfahrzeuge* in tedesco, *multi-articulated vehicles* in inglese.

⁽⁶⁾ HONDIUS, nei suoi articoli (riferimento [3] in bibliografia), chiama *bogie* i veri carrelli, mentre per i carrelli che non ruotano rispetto alla cassa adopera il termine *truck*, che una volta si usava anche in Italia con riferimento ai tram a due assi.



(Foto Fiat Ferroviaria, ora Alstom)

Fig. 10 - Nel tram a pavimento tutto basso ATAC serie 9200 (detto "Roma 2") le cabine di guida sono a sbalzo rispetto ai carrelli di estremità, ma sugli sbalzi non vi sono porte. *The driver's cabs of the ATAC 9200 series fully low-floor trans (called "Roma 2") are placed on the overhangs, but these do not include any doors.*



Fig. 11 - Il "Sirio" di AnsaldoBreda (qui ritratto quello di Bergamo) appartiene alla nutrita schiera di tram multiarticolati con sbalzi di estremità così piccoli, perché oltre alla cabina di guida presentano una porta a singola anta. *The AnsaldoBreda "Sirio" (the one of the Bergamo tramways is pictured here) belongs to the strong array of multi-articulated trains with long end overhangs, because these include not only the driver's cab but also a single-leaf door.*

Besides making running through curves more critical, the lengthening of the overhangs of the car bodies integral with the non-pivoting bogies has emphasized the "skewing", i.e. the tendency of the bodies - mainly the end ones - to proceed with a marked angle with respect to the track.

The multi-articulated trams have the advantage of a more restricted swept path compared to traditional vehicles (given the same distance between the bogies). Nevertheless the skewing phenomenon makes the interface between thresholds of the doors and edges of the platform stops more complicated, because the distance between vehicles and platforms have to take into account not only the normal play, wear and kinematic

CONVEgni e CONGRESSI



Fig. 12 - I tram del tipo "Cityrunner" (predecessore dell'attuale "Flexity Outlook" di Bombardier), in esercizio dal 2001 a Graz (Austria), presentano una porta a due ante sugli sbalzi di estremità. The "Cityrunner" type trams (predecessors of the current Bombardier "Flexity Outlook"), in service in Graz (Austria) since 2001, have a two-door on the overhangs.

l'allungamento degli sbalzi delle casse sui carrelli ha accentuato la tendenza all' "intraversamento", con le casse – soprattutto quelle di estremità – che possono disporsi con un angolo accentuato rispetto al binario.

Se da un lato i tram multiarticolati vantano una fascia d'ingombro più ristretta in confronto ai rotabili convenzionali (a parità di distanze fra i carrelli), d'altro canto il fenomeno dell'intraversamento rende più complicato l'interfaccia fra soglie delle porte e bordi delle banchine delle fermate, perché la distanza fra rotabili e banchine deve tenere conto non solo dei normali giuochi, consumi e movimenti cinematici, ma anche di tale comportamento di marcia.

In definitiva, gli attuali tram multiarticolati tendono ad avere casse sui carrelli lunghe all'incirca come quelle sospese, per cui non si può più parlare di "carrozzini". Così, mentre le lunghe casse sospese dell'Eurotram erano completamente libere dai carrelli, per cui le porte e i sedili potevano essere disposti in maniera ordinata ed efficace, l'attuale frammentazione delle casse rende più difficile collocare le porte - a causa della continua alternanza di carrelli e di articolazioni - e comporta layout interni "tormentati". Molti sedili devono essere collocati in posizioni inusuali o rialzate (su cassoni, passaruote, ecc.), tanto che in qualche caso gli anziani considerano questi tram scomodi; il che è paradossale, visto che si tratta proprio di una delle categorie di utenti che i tram a pavimento basso vorrebbero favorire (lo stesso giudizio tocca anche alcuni autobus a pavimento tutto basso).

In una prima fase storica, i tram a pavimento tutto basso, multiarticolati, si tendeva prudentemente a considerarli adatti alle linee tranviarie nuove, o comunque con tracciati abbastanza fluidi e binari in condizioni ottime. Poi, per essere *à la page*, anche gli esercenti delle reti storiche, con tracciati tortuosi, piccoli raggi di curva, persino

movements, but also such travel behaviour.

As a matter of fact, the current multi-articulated trams tend to have their bodies integral with the non-pivoting bogies which are approximately as long as the suspended bodies. Therefore one cannot define them "small carriages" any more; they have the dimensions of an actual carbody. Thus, whereas the long suspended bodies of the Eurotram were completely free from the bogies, so that the doors and seats could be arranged in an efficient and tidy manner, the current fragmentation of the bodies makes the positioning of the doors more difficult, due to the continuous alternation of bogies and articulations, and it implies "tormented" internal layouts. Many seats must be placed in unusual or raised positions (on cubicles, wheelhouses, etc.), so much so that elderly people regard some of these trams as uncomfortable. This is a real paradox since elderly people are exactly one of the user categories that the low-floor trams would intend to support (also some fully low-floor buses are regarded in the same way).

During a first historical phase, the fully low-floor, multi-articulated trams used to be cautiously considered suitable for new tramways, or in any case with sufficiently fluid layout and track in excellent conditions. Later, to be *à la page*, also operators of historical networks, with winding layouts, small curve radii, even without transition curves (such as Milan tramways), bought trams built this way.

Transition curves (clothoids) are a prejudicial condition for the use of multi-articulated trams.

According to Alstom data, running on an 18 m radius curve without clothoids at 12,5 km/h with a tram provided with traditional pivoting bogies, the Y/Q ratio⁽⁷⁾ is $\sim 0,8$, whereas it is $\sim 1,2$ with a multi-articulated tram, that is to say at the safety limit. This practically means that, to negotiate a tight curve, a multi-articulated tram must slow down more than a tram with traditional bogies. As the radius increases, and all the more if the bend is provided with transition curves, the gap between the two types of trams tends to decrease. According to the same Alstom data (that however date back to the years of the multi-articulated trams "absolutism"), the behaviour appears to be the same already on a curve with a radius of 25 m provided with short clothoids. This could probably have been true with a track in excellent conditions, with an optimised wheel-rail interface (a wheel profile well adapted to the rail profiles) and with an efficient lubrication of the rolling surfaces, both on the rails and the vehicles⁽⁸⁾. How-

⁽⁷⁾ The ratio between the lateral Y force and the vertical Q load of a railway or a tramway wheel measures the risk that the wheel-flange overrides the rail, that is to say the risk of derailment.

⁽⁸⁾ Less optimistic data can be found in the study by eng. Josef KOLÁŘ, "Vývojové trendy v řešení nízkopodlažních článkových tramvají - Trends of development in conception of sectioned low-floor trams", Czech Technical University in Prague - Faculty of Mechanical Engineering.

CONVEgni e CONGRESSI

senza raccordi di transizione (come a Milano), hanno acquistato tram così fatti.

La presenza dei raccordi di transizione (clotoidi) è una condizione pregiudiziale per l'impiego dei tram multiarticolati. Secondo dati Alstom, percorrendo una curva di raggio 18 m senza clotoidi a 12,5 km/h con un tram con carrelli convenzionali che ruotano, il rapporto Y/Q ⁽⁷⁾ è ~0,8, mentre con un tram multiarticolato è ~1,2, ovvero al limite della sicurezza. In pratica ciò significa che, per affrontare una curva stretta, un tram multiarticolato deve rallentare di più di un tram con carrelli convenzionali. Man mano che il raggio aumenta, e tanto più se la curva è dotata di raccordi di transizione, il divario fra i due tipi di tram tende a ridursi. Secondo gli stessi dati Alstom (che però risalgono agli anni dell' "assolutismo" dei tram multiarticolati), il comportamento sarebbe uguale già su una curva di raggio 25 m con brevi clotoidi. Probabilmente questo poteva essere vero con un binario in ottime condizioni, con un'interfaccia ruota-rotaia ottimizzata (profilo ruota ben adattato al profilo delle rotaie) e con un'efficace lubrificazione delle superfici di rotolamento a terra e/o sui rotabili⁽⁸⁾. Comunque, ciò non si accorda con l'esperienza di alcuni tram multiarticolati, che hanno un comportamento in curva peggiore di qualsiasi tram a carrelli, persino dei tram anni settanta con carrelli monomotorici, sia in termini di velocità – se non rallentasse, il conducente, seduto nella parte più avanzata dello sbalzo, verrebbe sottoposto a contraccolpi tutt'altro che confortevoli – sia per il rumore. Infatti stridono terribilmente nel percorrere curve di raggio anche maggiore di 25 m.

Questo fenomeno causa una preoccupante disaffezione verso il sistema tranvia. Per i progettisti delle nuove tranvie, che si erano applicati a studiare il migliore inserimento dell'infrastruttura nell'ambiente urbano, sia dal punto di vista tecnologico che architettonico, e a convincere di ciò la popolazione residente (coi relativi comitati!), è frustrante vedere tutto vanificato dalle proteste dei cittadini esasperati per lo stridio di certi tram multiarticolati. E per le prossime tranvie sarà arduo convincere la cittadinanza che i tram moderni «non sferragliano più come quelli di una volta, ma sono silenziosissimi...».

La moda dei tram multiarticolati ha disgraziatamente coinciso con la tendenza dei grandi costruttori a standardizzare i loro prodotti. Le innumerevoli ricerche, sviluppate dall'industria fra gli anni ottanta e novanta per trovare nuove soluzioni per il pavimento tutto basso - e talvolta anche per assecondare le richieste di alcuni clienti -

⁽⁷⁾ Il rapporto fra lo sforzo laterale Y e il carico verticale Q di una ruota ferroviaria o tranviaria misura il rischio di sormonto del bordino della ruota sul fungo della rotaia, ovvero il rischio di svio.

⁽⁸⁾ Si trovano dati assai meno ottimistici nello studio dell'ing. Josef KOLÁŘ, "Vývojové trendy v řešení nízkopodlažních článkových tramvají i - Trends of development in conception of sectioned low-floor tramways", Czech Technical University in Prague - Faculty of Mechanical Engineering.

ever, this does not agree with the experience of some multi-articulated trams that have a worse behaviour on curves compared to any bogie tram, even trams with monomotor bogies dating back to the seventies, both in terms of speed – should it not slow down, the driver, sitting in the most advanced part of the overhang, would be subject to uncomfortable blows – and in terms of noise. In fact they squeal terribly as they run through curves with radii even exceeding 25 m.

This phenomenon causes worrying alienation towards the tramway system. For the developers of the new tramways, who had buckled down in studying a good integration of the infrastructure in the urban environment and convincing the resident population (including their committees!), it is frustrating seeing all this defeated by the protests of citizens exasperated by the squealing of some multi-articulated trams. For the next tramways, it will be harder to convince the citizenship that modern trams «do no longer rattle like old times ones, but are very silent ...».

Unfortunately, the multi-articulated tram fashion coincided with the trend of large manufacturers to standardize their products. The numberless researches developed by the industries in the eighties and the nineties to find new solutions for the fully low-floor generated a proliferation of products. As effectively written, many "prototype series"⁽⁹⁾ were produced, with obvious consequences in terms of costs and teething problems of all those innovative vehicles.

Following the concentrations which affected the world railway industry in the nineties, coagulated around a few multinational giants, these found themselves with almost all that variety of products. Wanting to streamline their product range in order to rationalize their production (keywords: "platform", "modular system"), it was unavoidable that each manufacturer would aim at a fully low-floor, multi-articulated tram as a "standard" product. Even more so because such vehicles are "modular" by nature and therefore easy to adapt (or presumably so) to the requirements of the different tramways. Furthermore, one can imagine that the imposition of a standard product within each of the new industrial groups, multinational aggregations of prestigious historical brands, was also functional to affirm "who is in charge now".

From the customers' point of view, if the largest world manufacturers were proposing trams built this way, they had to be the best!

Against the above-mentioned problems, what do fully low-floor trams offer more than the partially low-floor ones?

Grade level access from low platforms? No, because the latters also offer this possibility, since the doors are

⁽⁹⁾ Reference work [4] in bibliography.

CONVEgni e CONGRESSI

avevano generato una proliferazione di prodotti. Come è stato efficacemente scritto, erano state prodotte tante "serie di prototipi"⁽⁹⁾, con le naturali conseguenze in termini di costi e di problemi di gioventù di tutti quei rotabili.

A seguito delle concentrazioni che negli anni novanta hanno interessato l'industria ferroviaria mondiale, coagulatisi attorno a pochi colossi multinazionali, questi si sono ritrovati quasi tutta quella varietà di prodotti. Volendo sfoltire la gamma, per razionalizzare la produzione (parole d'ordine: "piattaforma", "sistema modulare"), era inevitabile che ciascun costruttore puntasse su un tram a pavimento tutto basso multiarticolato come prodotto "standard". Tanto più che tali rotabili sono per loro natura "modulari", e quindi facilmente adattabili (o presunti tali) alle esigenze delle diverse tranvie. Si può immaginare, inoltre, che l'imposizione di un prodotto standard nell'ambito di ciascuno dei nuovi gruppi industriali, coacervi multinazionali di prestigiosi marchi storici, fosse anche funzionale ad affermare "chi comanda ora".

Mentre, dal punto di vista dei clienti, se i maggiori costruttori mondiali proponevano tram così fatti, questi dovevano essere il meglio!

A fronte dei problemi prima evidenziati, cosa offrono i tram a pavimento tutto basso rispetto a quelli parzialmente bassi? L'accesso a raso da banchine basse? No, perché anche i secondi offrono questa possibilità, dato che le porte vengono collocate nelle zone ribassate. Resta l'assenza di dislivelli lungo il comparto viaggiatori. Però, anche questa caratteristica è relativa, giacché riguarda il solo corridoio, mentre le zone dei sedili sopra i carrelli sono spesso separate da fastidiosi dislivelli.

4. I tram a pavimento parzialmente basso non sono più quelli degli inizi!

L'insieme di circostanze sopra ricordate ha portato a trascurare che nel frattempo anche i tram parzialmente bassi stavano facendo grandi progressi. Il pavimento sopra i carrelli motori non era più attorno a 850 mm, come una volta. Sin dai primi anni novanta, una nuova generazione di carrelli motori, pur conservando l'architettura di un classico carrello con due motori di trazione completamente sospesi, hanno permesso di collocare il pavimento a 550±600 mm dal P.F. per cui è sufficiente un solo gradino e un po' di

placed in the lowered areas. The advantage of no differences in level along the passenger compartment remains. However, this feature is often relative since it usually concerns the aisle only, whereas the seating areas above the running gears are often separated by annoying steps.

4. Partially low-floor trams are no longer like the early times ones!

The circumstances referred to above have disregarded that in the meantime partially low-floor trams were also making great progresses. The floor above the motored bogies was no longer about 850 mm high like it once used to be. Since the early nineties, a new generation of motored bogies allowed to position the floor at 550±600 mm from the T.o.R., although still maintaining the architecture of a classic bogie with two completely suspended traction motors. Therefore, one step and a bit of ramp are sufficient to connect the low-floor areas with those above such motored bogies (figg. 13 and 16). Or rather, with reference to the latter areas, it is misleading to talk about "high" floor; it is better to define such vehicles as "medium-low" floored.

While the "flat" motored bogies of the different manufacturers are conceptually similar⁽¹⁰⁾, the carrying bogies



(Foto Alstom)

Fig. 13 - A sinistra: esempio di carrello motore di architettura tradizionale, ma "schiacciato", in modo da permettere il pavimento a meno di 600 mm dal piano del ferro (carrello tipo "Magdeburg"). A destra: interno di un tram a pavimento medio-basso nella zona al di sopra di un carrello motore di quel tipo; il dislivello, meno di 250 mm, è risolto con un gradino e un po' di rampa. On the left: an example of motored bogie with traditional architecture, but "crushed" in order to allow the floor to at less than 600 mm from T.o.R. ("Magdeburg" type bogie). On the right: the inside of a medium-low floor in the area above a motored bogie of that type; the difference in level of less than 250 mm can be overcome with a step and a bit of ramp.

⁽⁹⁾ Opera riferimento [4] in bibliografia.

⁽¹⁰⁾ Although so "crushed", these motored bogies use wheels with a relatively generous diameter. The most widespread values are 590/510 mm, new and at maximum wear respectively.

CONVEgni e CONGRESSI



Fig. 14 - Tram Alstom Citadis tipo 301 a pavimento mediobasso, con cui nel 2000 hanno esordito le tranvie di Montpellier. I due carrelli motori sono del tipo "Magdeburg" (fig. 13). *Alstom Citadis type 301 medium-low floor tram, with which the Montpellier tramways made their debut in 2000. The two motored bogies were of the "Magdeburg" type (fig. 13).*

rampa per collegare le zone basse con quelle al di sopra dei carrelli motori (figg. 13 e 16). Anzi, con riferimento a queste ultime, è fuorviante parlare di pavimento "alto"; meglio definire tali rotabili a pavimento "medio-basso".

Mentre i carrelli motori "a sogliola" dei vari costruttori sono concettualmente simili fra loro⁽¹⁰⁾, i carrelli portanti, posti nelle zone ribassate, possono essere di tipi diversi. Ne derivano diverse configurazioni di tram a pavimento medio-basso, ciascuna delle quali annovera belle realizzazioni:

- 1) tram a tre casse con rodigi portanti monoassiali, a ruote indipendenti, che si dispongono radialmente rispetto alla curva grazie a una sterzatura spontanea o tramite una timoneria comandata dalla rotazione relativa fra le casse. Esempi: tram per numerose città tedesche, tutti realizzati da Siemens⁽¹¹⁾ negli anni novanta (fig. 17);
- 2) tram con carrelli portanti "nani", rotanti rispetto alla cassa, con sale, ruote di piccolo diametro (410–450 mm) e passo ridotto. Esempio: il tram a tre casse su quattro carrelli, di cui i due estremi motori (carrelli tipo "Magdeburg", fig. 13) e due portanti sotto la cassa centrale, adottato dalle tranvie di Magdeburgo, Darmstadt, Braunschweig e Gera (fig. 16). Realizzato da Linke-Hofmann-Busch nel 1994 – ma alcune ordina-

⁽¹⁰⁾ Pur così "schiacciati", questi carrelli motori utilizzano ruote di diametro relativamente generoso. I valori più diffusi sono 590/510 mm, rispettivamente a nuovo e a massimo consumo.

⁽¹¹⁾ Questa categoria di tram a pavimento medio-basso, che ebbe una buona diffusione in Germania nella prima metà degli anni novanta, viene citata per completezza, ma di fatto non vi sono più state ordinazioni di tram così fatti dal 1996, in quanto Siemens non era più interessata a produrli. Infatti Siemens, che pure aveva incorporato la gloriosa "fucina" di tram Düwag, si è attenuta rigidamente alla scelta della standardizzazione, rappresentata dal tram Combino.

placed in the low-floor areas can be of different types. The result is various configurations of medium-low floor trams, each including nice productions:

- 1) three-body trams with single axle carrying running gears, with independent wheels, which draw up radially with respect to the curve thanks to a spontaneous steering or through steering gear controlled by the relative rotation between the bodies. Examples: trams for a great number of German cities, all produced by Siemens⁽¹¹⁾ in the nineties (fig. 17);
- 2) trams with "miniature" carrying bogies, swivelling with respect to the body, with real wheelsets, small diameter wheels (410–450 mm) and short wheelbase. Example: the tram with three bodies and four bogies, of which the outer two motored ("Magdeburg" type bogies, fig. 13) and the two carrying ones placed under the middle carbody, adopted by the tramways in Magdeburg, Darmstadt, Braunschweig and Gera (fig. 16). This vehicle was produced by Linke-Hofmann-Busch in 1994, although some orders continued until a few years ago. This product was acquired by Alstom together with the German company;
- 3) trams with carrying bogies with independent wheels and small articulation carriages (as in most first generation low-floor trams). Example: the "Citadis" types 301/401 (since 1999 – fig. 14);
- 4) trams with pivoting carrying bogies, with independent wheels having the same diameter as the motored ones⁽¹⁰⁾. Example: the NF2000 family that Bombardier acquired incorporating ADtranz, now called "Flexity Classic", with deliveries for Kassel, Essen, Schwerin, Dessau, Cracovia⁽¹²⁾, Dresden (which we will talk about further on), Frankfurt on Main, Bremen (since 1999 – fig. 19).

In types 1), 2) and 4) the carrying bogies are placed outside the articulations, therefore these are suspended. The swept path benefits from this, being narrower compared to trams with bogies in the middle of the articulations (given the same rolling stock length).

In the second half of the nineties Ansaldo Trasporti and Firema Trasporti had built a vehicle for the Oslo tramways, similar to type 4), even though with very particular features (all the eight axles were motored), set out by the extreme performances required by Oslo Sporveier (fig. 18).

⁽¹¹⁾ This category of trams with medium-low floor, that was quite widespread in Germany in the first half of the nineties, is mentioned for the sake of completeness, but there have actually not been any more orders for trams built this way since 1996, as Siemens was no longer interested in producing them. In fact Siemens, that had also incorporated Düwag, a glorious "mine" of trams, strictly kept to the choice for standardisation represented by the Combino tram.

⁽¹²⁾ The trams supplied to Cracovia by DWA (now Bombardier) and Kiepe from 1999 belong to the NF2000 family, but have a type 3) configuration.

CONVEgni e CONGRESSI



(Foto "Tramway de Montpellier – Site indépendant")

Fig. 15 - Insieme con la linea 2 di Montpellier (2006) sono entrati in servizio 24 Citadis tipo 302, a pavimento tutto basso, multiarticolati. 24 Citadis type 302 fully low-floor, multi-articulated trams were put in service together with Montpellier line 2, in 2006.

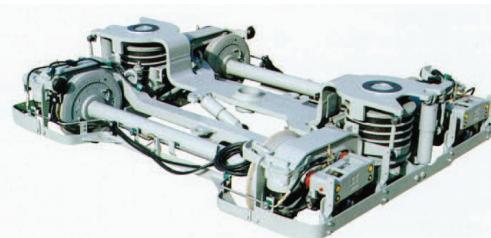
zioni sono di pochi anni fa – questo prodotto è stato acquisito da Alstom insieme con l'azienda tedesca;

- 3) tram con carrelli portanti a ruote indipendenti e carozzini (come nella maggior parte dei tram a pavimento ribassato della prima generazione). Esempio: i "Citadis" tipi 301/401 (dal 1999 – fig. 14);
- 4) tram con carrelli portanti rotanti, con ruote indipendenti di diametro uguale a quello dei carrelli motori⁽¹⁰⁾. Esempio: la famiglia di rotabili NF2000 che Bombardier ha acquisito incorporando l'ADtranz e che ora chiama "Flexity Classic"; realizzazioni per Kassel, Es-

The concentration process on a standard product platform carried out by the big manufacturers swept away peculiar vehicles, some of which to an oddness limit⁽¹³⁾. But such process, although absolutely justified, ended up putting in the shadows also very worthwhile products, especially if they did not feature 100% low-floor and modularity.

Some of the medium-low floor trams mentioned above survived the standardization process, but were barely tolerated by their producers themselves, just because some odd "conservative" persisted in ordering them. Just think about the difference of treatment: "standard" trams have had countless front ends changed⁽¹⁴⁾, to comply with all customers and their architects, thus the Marseille tram came to light with a transatlantic shape, the Rheims one with a champagne flute shape; beautiful for heavens sake, but they cannot be said to be "standard"! On the contrary, for those long-bodied trams, alien to the "modular system", nobody has ever wanted to put their hands on their motor-coach style noses, that were already outdated at the start. At the fairs, these products were exhibited as the poor relatives, crushed by the bombastic emphasis of the modular trams, which can be proposed in dozens of different versions.

With regards to adaptability, one of the main topics brought up in support of multi-articulated trams: it is true that standard trams are designed to be adapted without too much redesign to different lengths, widths, track gauges, ..., without prejudice to some basic modules. But it must be pointed out that:



(Foto Alstom)

Fig. 16 - Il tram di Magdeburgo poggia su due carrelli motori dell'omonimo tipo (fig. 13) e due carrelli "nani" (foto a destra), con ruote di diametro 450 mm e passo 1200 mm, posti sotto la cassa centrale. Sui 29,4 m di lunghezza, il pavimento è basso per il 60%, mentre è a 580 mm nelle zone di estremità. The Magdeburg tram leans on two motored bogies of the type having the same name (fig. 13) and two miniature carrying bogies (photo on the right), with 450 mm diameter wheels and 1200 mm wheelbase, place under the middle body. The floor is low on 60% of the 29,4 m length, whereas it is at 580 mm in the end areas.

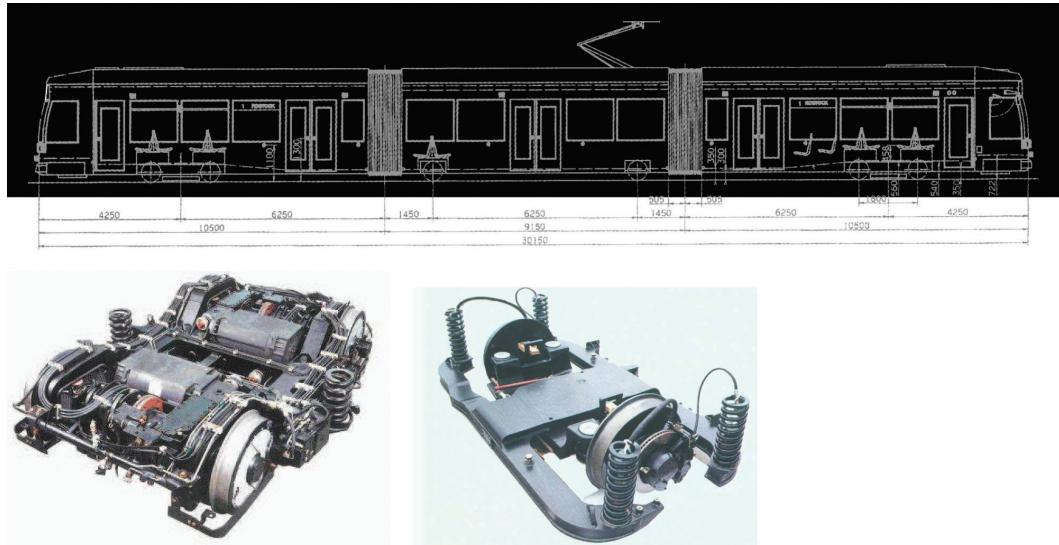
sen, Schwerin, Dessau, Cracovia⁽¹²⁾, Dresda (di cui parleremo più avanti), Francoforte sul Meno, Halle, Brema (dal 1999 – fig. 19).

⁽¹²⁾ I tram forniti dal 1999 a Cracovia da DWA (ora Bombardier) e Kiepe appartengono alla famiglia NF2000, ma hanno configurazione tipo 3).

⁽¹³⁾ Nevertheless, some particular tram survived because the main customers (if not the only ones) wanted it at all costs, that is the cases of the Wien ULF and the Zürich Cobra, both by Bombardier (but coming from quite different national industries).

⁽¹⁴⁾ The Combino constitute an exception; Siemens was hardly willing to customise its standard tram. Except for particular cases like the Düsseldorf one, the pleasing aspect of the cab front end of the Combino has never changed.

CONVEgni e CONGRESSI



(Disegno e foto Siemens)

Fig. 17 - I tram tipo NGT/MGT (rispettivamente a scartamento ordinario e metrico) della DÜWAG (ora Siemens) erano i principali rappresentanti della categoria, ora estinta, dei rotabili a pavimento medio-basso con rodigi portanti monoassiali a ruote indipendenti (foto a lato). Nella versione del tram per Rostock, qui raffigurata, il dislivello fra il pavimento basso (300 mm) e quello medio (560 m) è risolto solo attraverso una rampa. Il carrello motore è analogo a quello in fig. 13, salvo che nella versione a scartamento ordinario, com'è il caso di Rostock, il carrello Siemens è a boccole interne. *The NGT/MGT type trams (standard and metre gauge respectively) by DÜWAG (now Siemens) were the main representatives of the category, now extinct, of the vehicles with medium-low floor and single-axle, independent wheels running gears (photo on the right). In the version for Rostock, shown here, the difference in level between the low floor (300 mm) and medium level (560 mm) is overcome by means of a ramp. The motored bogie is similar that pictured in fig. 13, except that in the standard gauge version (that is the case of Rostock) the Siemens bogie is with internal axle boxes.*

Nei tipi 1), 2) e 4) i carrelli portanti si trovano al di fuori delle articolazioni, per cui queste sono sospese. Ne beneficia la fascia d'ingombro, più stretta rispetto ai tram con carrelli in corrispondenza delle articolazioni (a parità di lunghezza del rotabile).

Nella seconda metà degli anni novanta Ansaldo Trasporti e Firema Trasporti avevano realizzato per le tranvie di Oslo un mezzo simile al tipo 4), anche se con caratteristiche molto particolari (tutti gli otto assi motori), dettate dalle prestazioni estreme richieste dalla Oslo Sporveier (fig. 18).

Il processo di concentrazione su una linea di prodotto standard da parte dei grandi costruttori spazzò via rotabili particolari, qualcuno al limite della bizzarria⁽¹³⁾. Ma tale processo, pur assolutamente giustificato, finì per mettere in ombra – se non far sparire del tutto – anche prodotti

- long-bodied trams too can be designed in a modular way. So much so that, for example, the Citadis with a medium-low floor (types 301/401) and the multi-articulated ones (302/402) share many elements. In other words, they belong to the same modular platform (fig. 20);
- in the tenders called for by operators of the historical Italian networks, the great standard foreign trams in the end are not offered because they are not easily adaptable to the Italian constraints⁽¹⁵⁾.

To illustrate the industry's and the market's trends at the time of standardisation, we can mention the case of Montpellier, one of the many French cities where new generation tramways have been opened. In 2000 the first tramline in Montpellier started to operate with 30 beautiful and comfortable Citadis with medium-low floor, two motored bogies of the "Magdeburg" type (fig. 13) and carrying bogie with independent wheels (Citadis type 301, fig. 14). At the time of the construction of line 2, inaugu-

⁽¹³⁾ Tuttavia qualche tram molto particolare è sopravvissuto, perché lo hanno voluto a tutti i costi i principali (se non unici) clienti, com'è il caso dell'ULF di Vienna e del Cobra di Zurigo, entrambi di Bombardier (ma provenienti da filoni nazionali ben diversi).

⁽¹⁵⁾ The Sirio by AnsaldoBreda is an obviously different case, as it was designed bearing in mind also the Italian tramways.

CONVEgni e CONGRESSI

ti molto validi, specie se questi non presentavano i requisiti del pavimento 100% basso e della modularità.

Alcuni dei tram a pavimento medio-basso sopra richiamati, anche se sopravvissuti alla standardizzazione, erano a mala pena tollerati dai loro stessi costruttori, giusto perché qualche eccentrico "conservatore" si ostinava a ordinari. Si pensi alla disparità di trattamento: ai tram "standard" sono state cambiate innumerevoli testate⁽¹⁴⁾, per assecondare tutti i clienti e i loro architetti, per cui sono nati il tram di Marsiglia a forma di transatlantico, quello di Reims a forma di flûte di champagne, ... (per Milano ci si risparmia il tram a forma di panettone); belli, per carità, ma non li si dica "standard"! Invece per quei tram a casse lunghe, estranei al "sistema modulare", non si è mai voluto mettere mano ai loro moduli da torpedone, già vecchi in origine. Alle fiere questi prodotti venivano esibiti come i parenti poveri, schiacciati dalla magniloquente enfasi del tram modulare, che può essere proposto in decine di versioni diverse.

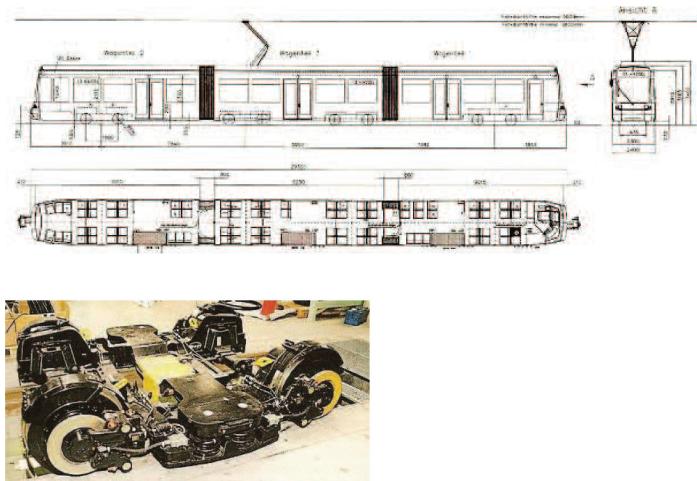
A proposito dell'adattabilità, uno degli argomenti principali portati a sostegno dei tram multiarticolati: è vero che i tram standard sono concepiti per adattarsi senza troppe riprogettazioni a diverse lunghezze, larghezze, scarimenti..., fermi restando alcuni moduli base. Ma si fa notare:

- che anche i tram a casse lunghe possono essere impostati in maniera modulare. Tant'è vero che, per esempio, i Citadis a pavimento medio-basso (tipi 301/401) e quelli multiarticolati (302/402) condividono moltissimi elementi, ovvero appartengono allo stesso sistema modulare (fig. 20);
- che, nelle gare indette dalle aziende delle reti storiche italiane, i grandi tram standard stranieri alla fine non vengono offerti, perché difficilmente adattabili ai vincoli nostrani⁽¹⁵⁾.



(Foto del carrello: Firema)

Fig. 18 - Tram a pavimento medio basso delle tranvie di Oslo realizzato nella seconda metà degli anni novanta da Ansaldo e Firema in trenta unità. La motorizzazione di tutti gli otto assi era dettata dalle prestazioni estreme richieste dalla Oslo Sporveier. Medium-low floor tram built in the second half of the nineties by Ansaldo and Firema for the Oslo tramways (30 units). All the eight axles were motorized to fulfil the extreme performances required by Oslo Sporveier.



(Disegno e foto Bombardier)

Fig. 19 - La configurazione base dei Flexity Classic è un rotabile di circa 30 m, con il 62% di pavimento basso, costituito da tre casse su quattro carrelli, di cui due portanti, posti sotto la cassa centrale e dotati di ruote indipendenti e false sale. The basic configuration of the Flexity Classic is an approximately 30 m long vehicle, with 62% of low floor, made of three car bodies on four bogies, two of which are carrying, and are equipped with independent wheels and false wheelsets.

⁽¹⁴⁾ Si segnala però l'eccezione del Combino; Siemens si è difficilmente resa disponibile a personalizzazioni del proprio tram standard. Salvo il caso particolare di Düsseldorf, il gradevole frontale del Combino non è mai cambiato.

⁽¹⁵⁾ Diverso è ovviamente il caso del Sirio di AnsaldoBreda, progettato con in mente anche le tranvie italiane.

rated in 2006, the frenzy for standardisation was at its top, therefore the 24 trams of the new line are still Citadis but with fully low-floor and multi-articulated (type 302, fig. 15). Despite the faultless infrastructure, the drivers of the latter trams complain about back ache due to the accelerations they undergo during travel.

CONVEgni e CONGRESSI

Per esemplificare le tendenze dell'industria e del mercato al tempo della standardizzazione, citiamo il caso di Montpellier, una delle ormai numerose città francesi in cui sono state realizzate tranvie di nuova generazione. Nel 2000 la prima linea di Montpellier entrò in servizio con 30 bellissimi e confortevoli Citadis a pavimento medio-basso, due carrelli motori tipo "Magdeburg" (fig. 13) e carrello portante a ruote indipendenti (Citadis tipo 301, fig. 14). All'epoca della realizzazione della linea 2, inaugurata nel 2006, si era in pieno furore di standardizzazione, per cui i 24 tram della nuova linea sono ancora Citadis, ma a pavimento tutto basso, multiarticolati (tipo 302, fig. 15). Malgrado l'infrastruttura ineccepibile, i conducenti di questi ultimi accusano mal di schiena a causa delle accelerazioni cui sono sottoposti durante la marcia.

5. La riscossa dei "veri" carrelli

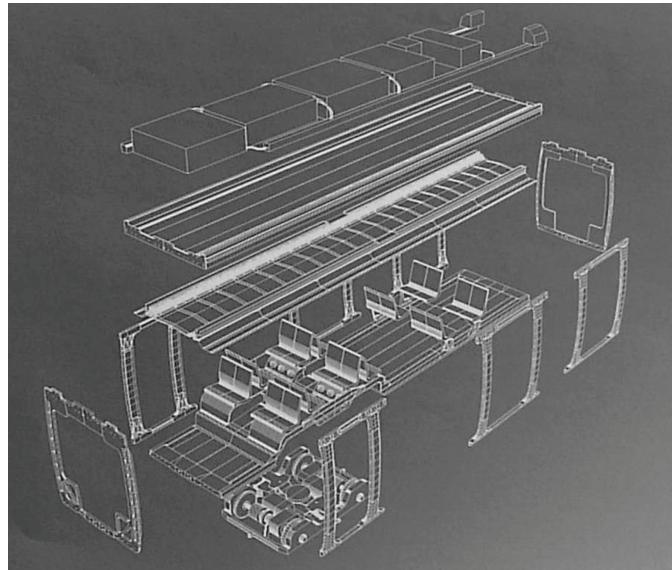
Abbiamo visto come la tendenza verso i rotabili multiarticolati si è affermata per un concorso di circostanze non solo tecniche ma anche di politica industriale e, come tutte le "mode", essa si è autoalimentata oltre il ragionevole.

Tutt'oggi continuano a esserci massive ordinazioni di tram multiarticolati, anche per reti tranviarie storiche. Basti pensare ai 99 "Flexity Outlook" che Bombardier sta fornendo alla BVG di Berlino (che pure a suo tempo aveva avuto non pochi problemi con i GT6N), nell'ambito di un contratto quadro che ne prevede fino a 210.

Tuttavia, finalmente qualcosa sta cambiando. Accanto agli esercenti che i tram multiarticolati non li hanno mai voluti, si stanno aggiungendo quelli che tali tram li hanno e che, non essendo soddisfatti, vogliono tornare ai carrelli che ruotano rispetto alla cassa, almeno per i carrelli motori di estremità.

Significativi, anche se particolari, sono i casi di Düsseldorf e Strasburgo (nuova generazione di rotabili, succeduta agli Eurotram d'origine), dove le caratteristiche di tipici rotabili a pavimento tutto basso multiarticolati - rispettivamente il Combino e il Citadis - sono state "smorzate" collocando un carrello portante ad entrambe le estremità, sotto le cabine di guida; tali carrelli, in entrambi i casi con ruote di piccolo diametro, ruotano rispetto alla cassa, per cui l'iscrizione in curva di questi tram si avvicina a quella dei rotabili convenzionali.

Un caso rilevante, opposto a quello di Montpellier, si è avuto a Dresda, dove la DVB esercisce una rete tranviaria di 132 km. Dopo la caduta del muro di Berlino, per un



(Disegno Alstom)

Fig. 20 - La modularità non è appannaggio soltanto dei tram multiarticolati; anche quelli a casse lunghe possono essere concepiti in maniera modulare. I Citadis a pavimento medio-basso (tipi 301/401) e quelli multiarticolati (302/402) condividono moltissimi elementi. *Modularity is not a prerogative of multi-articulated trams only. The long-bodied vehicles can also be conceived in a modular way. The Citadis with medium-low floor (types 301/401) and the multi-articulated ones (types 302/402) share many components.*

5. The revenge of the "real" bogies

We have seen how the trend towards multi-articulated trams spread for a combination of circumstances not only technical but also concerning industrial policy and, as all "fashions", it powered itself beyond reasonableness.

To-date, massive orders for multi-articulated trams continue to be placed, also for historical tramway networks. Just think about the 99 "Flexity Outlook" that Bombardier is supplying to BVG in Berlin (although BVG had experienced quite a number of problems with the GT6Ns), within a framework contract that provides for a maximum of 210 units.

Nevertheless, something is finally changing. Besides the operators that have never wanted multi-articulated trams, there are now those that have experienced these trams and, unsatisfied, want to return to pivoting bogies, at least for the outer motored bogies.

The unusual cases of Düsseldorf and Strasbourg (a new generation of vehicles, following the original Eurotrams) are significant: the features of typical fully low-floor, multi-articulated trams - the Combino and the Citadis respectively - were "smoothed out" by placing a carrying bogie at both vehicle ends, under the driver's cabs; such bogies, with small diameter wheels in both cas-

CONVEgni e CONGRESSI



Fig. 21 - I primi tram della DVB di Dresda dopo la riunificazione della Germania sono stati i rotabili multiarticolati (sebbene a pavimento parzialmente basso) dei tipi NGT6DD (cinque casse su tre carrelli) e NGT8DD (sette casse su quattro carrelli), forniti a partire dal 1995. Nella foto è ripreso un NGT6DD (lunghezza 33,5 m). *The first Dresden trams after the reunification of Germany were multi-articulated vehicles (even though partially low-floored) of types NGT6DD (five bodies on three bogies) and NGT8DD (seven bodies on four bogies), supplied since 1995. The photo shows an NGT6DD (33,5 m long).*

primo rinnovo della flotta la DVB ha puntato su rotabili multiarticolati, con versioni a cinque e sette casse, lunghe rispettivamente 33,5 m e 41 m, forniti a partire dal 1995 da DWA Bautzen (ora Bombardier), per complessive 83 unità (fig. 21). Per inciso: questi tram appartengono a una categoria ibrida, relativamente poco diffusa, di tram a pavimento medio-basso, ma multiarticolati; i carrelli motori, pur essendo di tipo convenzionale, non ruotano rispetto alla cassa⁽¹⁶⁾.

Dopo un'esperienza di qualche anno con questi tram, la DVB ha deciso che le nuove acquisizioni avrebbero avuto "veri" carrelli. Ne sono derivati i tram tipo NGTD12DD, che costituiscono una versione lunga dei Flexity Classic di Bombardier. Lunghi ben 45 m, sono costituiti da tre casse principali, ciascuna poggiante su due carrelli, più due brevi casse sospese. Quattro dei sei carrelli sono bimotori, collocati sotto le casse di estremità, con pavimento a 580 mm, mentre i due carrelli portanti a ruote indipendenti, del tipo in fig. 19, permettono di ottenere il pavimento basso per il 56% della lunghezza. Forniti a partire dal 2003 in lotti successivi, a oggi si sono raggiunte 43 unità (fig. 22).

Di questi rotabili, è stata sviluppata anche la versione "corta" ⁽¹⁷⁾ (30 m, tipo NGTD8DD, 40 unità), a tre casse su quattro carrelli. Curiosamente, essendo derivati dai precedenti, questi tram non presentano, come nella versione base dei Flexity Classic, i due carrelli portanti sotto la cassa centrale, bensì concentrano i carrelli sotto le cas-

⁽¹⁶⁾ Anche i tram tipo 06T della Škoda, come quelli di Cagliari, sono multiarticolati sebbene a pavimento parzialmente basso.

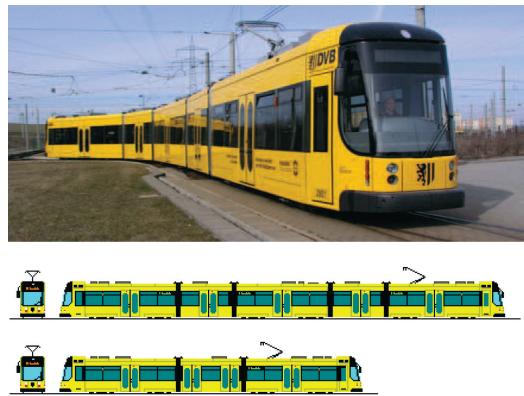
⁽¹⁷⁾ Esiste una versione veramente corta dei Flexity Classic: è il tram di Dessau (città della Sassonia-Anhalt), un classico due casse su tre carrelli, ma con articolazione a sbalzo rispetto al carrello portante.

es, are pivoting, therefore running through the curves of these trams comes close to that of traditional vehicles.

An important case, opposite to the Montpellier one, was in Dresden, where DVB runs a 132 km long tramway network. After the fall of the Berlin wall, DVB aimed at multi-articulated rolling stock to begin the renewal of their fleet, with versions made of five and seven bodies, 33,5 m and 41 m long respectively and supplied by DWA Bautzen (now Bombardier) starting from 1995, totalling 83 units (fig. 21). Incidentally: these trams belong to a not very widespread, hybrid category of trams; despite they feature medium-low floor, they are multi-articulated. Although the motored bogies are of a traditional type, they are not pivoting⁽¹⁶⁾.

After a few years of experience with these trams, DVB decided that the new acquisitions would have "real" bogies. The NGTD12DD tram type followed, that are a long version of the Flexity Classic by Bombardier.

A good 45 m long, they are built with three main bodies, each leaning on two bogies, plus two short suspended bodies. Four of the six bogies are bimotored, and are placed under the outer car bodies, with the floor at 580 mm, whereas the two carrying bogies with independent wheels, of the type illustrated in fig. 19, allow to obtain the low floor for 56% of the length. Supplied since 2003 in subsequent batches, to-date 43 units have been reached (fig. 22).

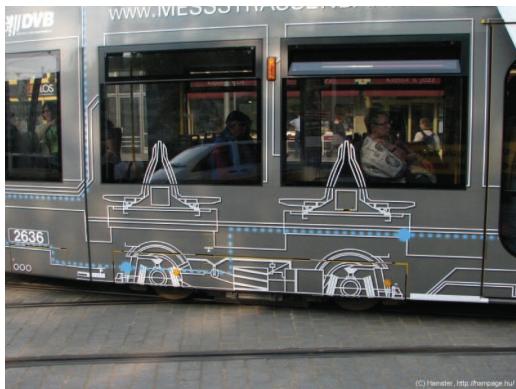


(Foto DVB)

Fig. 22 - Dal 2003 la DVB è passata a tram con "veri" carrelli. Il tipo NGTD12DD, lungo 45 m, di cui il 56% a pavimento basso, appartiene alla famiglia Flexity Classic di Bombardier ed è costituito da cinque casse su sei carrelli. I due carrelli portanti, a ruote indipendenti, sono del tipo in fig. 19. Starting in 2003, DVB switched to trams with "real" bogies. Type NGTD12DD, 45 m long, of which 56% with low floor, belongs to the Flexity Classic family by Bombardier, and is made of five bodies on six bogies. The two carrying bogies with independent wheels are of the type illustrated in fig. 19.

⁽¹⁶⁾ The Škoda 06T type trams, like the Cagliari ones, are also multi-articulated although with a partially low floor.

CONVEgni e CONGRESSI



(Foto Hamster, <http://hampage.hu>)

Fig. 23 - Nel 2006 è entrata in servizio presso la DVB anche una versione "corta" (30 m, tipo NGTD8DD), costituita da tre casse, di cui la centrale sospesa, su quattro carrelli. Un'unità di questo tipo porta una livrea che fa vedere in "radiografia" la disposizione del carrello motore rispetto al pavimento (580 mm) e ai sedili. *In 2006 also a "short" version (30 m, type NGTD8DD) started service at DVB, made of three bodies, of which the middle one suspended, on four bogies. A unit of this type was given a livery that provides a "X-ray" of the arrangement of the motored bogie with respect to the vehicle floor (580 mm high) and the seats.*

se di estremità, per cui quella centrale è sospesa (fig. 23).

Una posizione analoga è stata assunta dalla Baselland Transport AG. Mentre l'azienda delle tranvie della città di Basilea (BVB) è passata attraverso la problematica esperienza dei Combino i fratelli della BLT, che eserciscono le tranvie suburbane che dalla città si inoltrano attraverso il Cantone di Basilea Campagna, hanno stabilito che nel rinnovo della flotta i carrelli motori rotanti sarebbero stati un punto fermo. Dalle richieste dei Basiliensi è derivato il nuovo tram "Tango" della svizzera Stadler. Lungo 45 m e costituito da quattro casse principali e due carozzini (fig. 24), è un rotabile per il quale è stata posta molta enfasi sulla qualità di marcia; tutti e tre i carrelli motori ruotano, mentre i due portanti hanno $\pm 2,5^\circ$ di libertà di rotazione rispetto ai carozzini; le sospensioni secondarie sono pneumatiche⁽¹⁸⁾. Ne risulta un po' penalizzata l'altezza del pavimento, che sale a 545 mm sopra i carrelli portanti (rampe di raccordo) e a 956 mm sopra i carrelli motori, per cui occorrono i vecchi tre gradini per raggiungere le zone alte, che però sono di limitata estensione (75% di pavimento basso). Dopo avere sperimentato quattro prototipi per un anno circa, nel dicembre 2009 la BLT ha ordinato una prima serie di 15 unità, nell'ambito di un contratto

⁽¹⁸⁾ Mentre molti tram a pavimento basso della prima generazione erano dotati di sospensione secondaria pneumatica, nella grande maggioranza di quelli successivi, sia parzialmente che 100% bassi, per motivi di spazio si è preferito rinunciare alle molle ad aria.

A "short" version of these vehicles⁽¹⁷⁾ has been developed (30 m, type NGTD8DD, 40 units), with three bodies on four bogies. Oddly, despite they have been derived from the previous ones, these trams do not have two carrying bogies under the middle body, as in the basic Flexity Classic version, but the bogies are concentrated under the end bodies, therefore the middle one is suspended (fig. 23).

A similar position was taken on by Baselland Transport AG. While the tramway company of the city of Basel (BVB) went through the troublesome experience of the Combinos, the sister company BLT, that runs the suburban tramways that from the city penetrate the Basel-Landschaft Canton, decided that the renewal of the fleet would have pivoting motored bogies as a must. The outcome of the Baselers' requests was the new "Tango" tram by the Swiss company Stadler. 45 m long and made of four main bodies and two small articulation carriages (fig. 24), it is a vehicle for which the travel quality was much emphasised; all three motored bogies are pivoting, whereas the two carrying ones have a $\pm 2,5^\circ$ freedom degree with respect to the articulation carriage; the secondary suspensions are pneumatic⁽¹⁸⁾. The floor height is penalised, as it rises to 545 mm above the carrying bogies (transition ramp) and to 956 mm above the motored bogies, therefore the old three steps are necessary to reach the high areas, that are however of a limited size (75% of low floor). After having experimented four prototypes for approximately one year, in December 2009 BLT ordered a first batch of



(Foto Swiss Traffic)

Fig. 24 - Tram "Tango" della Baselland Transport AG (BLT). I tre carrelli motori ruotano rispetto alle casse; i due carrelli portanti hanno $\pm 2,5^\circ$ di libertà di rotazione rispetto ai carozzini. *"Tango" tram of Baselland Transport AG (BLT). The three motored bogies are pivoting; the two carrying bogies have a rotational freedom of $\pm 2,5^\circ$ with respect to the articulation carriages.*

⁽¹⁷⁾ There is a really short version of the Flexity Classic: it is the tram of Dessau (a city in the Saxony-Anhalt region), a classic vehicle with two car bodies on three bogies, but with the carrying bogie off-centre with respect to the articulation.

⁽¹⁸⁾ While many first generation trams with low floor were equipped with a secondary pneumatic suspension, mostly in the later ones, both partially and 100% low-floor, air springs were given up for space reasons.

CONVEgni e CONGRESSI



Fig. 25 - Tram tipo 15T ("ForCity") di Škoda, presentato a Innotrans 2008. Da qui al 2018 ne verranno costruiti 250 per la DPHMP di Praga. Il particolare a destra mostra il carrello che ruota rispetto alla cassa. Type 15T ("ForCity") tram by Škoda, presented at Innotrans 2008. From now to 2018, 250 will be produced for DPHMP of Prague. The pivoting bogie is shown in the detail on the right.

to quadro che ne prevede 60, distribuiti su dieci anni.

Sempre nel dicembre scorso, la Stadler si è aggiudicata la commessa per 32 Tango (più opzioni) da parte della TPG di Ginevra. A quell'epoca la TPG stava ancora ricevendo da Bombardier il secondo loto di 18 tram multiarticolati Flexity Outlook, che seguivano la serie di 21 fornita nel 2004-2005.

Anche nella Repubblica Ceca si è assistito a uno stretto connubio fra desiderata di un grande esercente tranviario e prodotto del costruttore "nazionale". Per il rinnovo del parco tranviario di Praga, più di 900 vetture, tutte risalenti ai tempi del comunismo, anche se ammodernate, la DPHMP aveva previsto di acquistare un gran numero di tram a pavimento basso, cominciando nel 2006 con tram Škoda tipo 14T, rotabili a pavimento parzialmente basso multiarticolati. La fornitura delle 60 unità previste da quel primo contratto è proseguita fino al 2009. Ma questi tram si sono scontrati con le caratteristiche piano-altimetriche tormentate di quella grande rete (140 km) e con la mancanza di raccordi di transizione. Con un tram multiarticolato è impossibile affrontare le curve alle velocità sorprendenti che caratterizzano le tranvie della splendida capitale boema, così come di tante altre città dell'Europa centro-orientale.

Realizzato che bisognava tornare ai carrelli che ruotano, è stata bandita una nuova gara per 250 tram con questo requisito, da fornirsi nell'arco dal 2009 al 2018. La Škoda se l'è aggiudicata con il nuovo tipo 15T, un tram a tre casse su quattro carrelli, tutti motori. Il pavimento da 350 mm sale a soli 450 mm al di sopra dei carrelli, attraverso rampe. Alle estremità le zone rialzate sono piccole, perché gli sbalzi sono molto corti, per cui la zona al di sopra del carrello di testa è per lo più occupata dalla cabina

15 units, within a framework contract that provides for 60 units, distributed over ten years.

Again in December 2009, Stadler was awarded the order for 32 Tangos (plus options) by the TPG company in Geneva. At the time, TPG was still receiving the second batch of 18 Flexity Outlook multi-articulated trams from Bombardier, that followed the series of 21 supplied in 2004-2005.

A close combination was also witnessed in the Czech Republic between the expectations of a large tramway operator and a product of the "national" manufacturer. DPHMP had planned to purchase a great number of low-floor trams for the renewal of the Prague tramway fleet, more than 900 vehicles all dating back to the Communism period, even though modernised. The renewal started in 2006 with the Škoda type 14T tram, partially low-floor, multi-articulated vehicles.

The supply of the 60 units provided for in that first contract continued until 2009. But these trams clashed with the tormented piano-altimetric characteristics of the vast network (140 km) and with the lack of transition curves. A multi-articulated tram cannot face curves at the surprisingly high speeds that characterise the tramways of the splendid bohemian capital, as well as many other cities in mid-western Europe.

Once it was realised that a return to pivoting bogies was needed, a new tender was called for 250 trams with this requirement, to be supplied within a period from 2009 to 2018. Škoda was awarded the tender with the new type 15T, a tram with three car bodies on four bogies, all motored. The floor rises from 350 mm to just 450 mm above the bogies by means of ramps. The raised areas at

CONVEgni e CONGRESSI

di guida. Presentato a Inno-trans 2008 (fig. 25), al tipo 15T è stata attribuita la denominazione commerciale "ForCity".

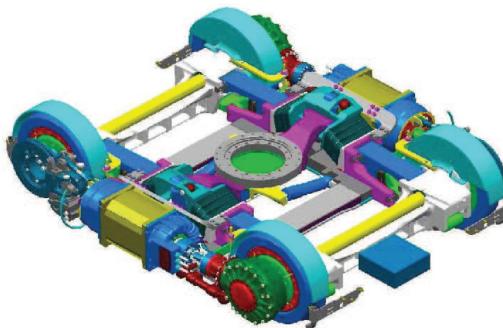
Allo stesso tempo stanno entrando in servizio a Riga i primi 15T di una serie di 20 (con opzione per altri 32). In questo caso, data l'orografia pianeggiante della capitale della Lettonia, un carrello non è motorizzato.

Ancorché non si tratti di "veri" carrelli, si segnala il ritorno dello schema dei GT6N/GT8N. Dopo anni di sostanziale oblio, l'architettura con un carrello in mezzo a ciascuna cassa è stato ripreso dal "Combino Plus", ovvero la nuova generazione del tram standard di Siemens, dopo la disavventura delle casse in lega leggera avviate del Combino originario (le casse del Combino Plus sono in acciaio ad alta resistenza). I carrelli sono ancora quelli del vecchio Combino (fig. 9), che avevano dato buona prova, ma ora hanno un certo grado di libertà rispetto alle casse. Queste sono accoppiate due a due, in unità lunghe 18 m; nell'articolazione fra le due casse di ciascuna unità è collocato un sistema idraulico di stabilizzazione della marcia (ricordiamo che, con questa configurazione di rotabile, l'insieme delle casse è richiamato elasticamente in posizione).

La prima fornitura del Combino Plus è stata di 40 esemplari tipo GT12N per Budapest; con i loro 54 m, sono i tram più lunghi del mondo. Proprio il desiderio di onorare questo contratto, acquisito nel 2003 (ancora in epoca di vecchio Combino), ha indotto Siemens a recedere dall'intenzione inizialmente manifestata di uscire completamente dal settore dei tram. Il Combino Plus è stato recentemente ribattezzato "Avenio".

Dopo anni di incrollabile fede nei tram multiarticolati, a sorpresa nel 2009 Alstom ha presentato il nuovo carrello "Ixège" (fig. 26), un carrello che ruota per realizzare rotabili a pavimento tutto basso con casse lunghe. Denominata "X-04" (dove "X" è il numero delle casse: 2, 3 o 4), questa nuova gamma di rotabili intende migliorare la qualità di marcia sulle tranvie con binari non perfetti o dove siano richieste velocità elevate (tram-treni). La limitatissima altezza del carrello, che pure è dotato di entrambi gli stadi di sospensione (più le ruote elastiche), si deve anche all'adozione di motori di trazione a magneti permanenti.

Dopo un'estesa sperimentazione, compresa la circolazione sulla rete tranviaria di Katowice (Polonia), le prime applicazioni del nuovo carrello sono 37 tram per Istanbul



(Disegno Alstom)

Fig. 26 - Il nuovo carrello motore "Ixège", che combina la rotazione con il pavimento basso, dovrebbe equipaggiare tram e tram-treni a pavimento tutto basso per linee con binario non perfetto e/o velocità elevate. *The new "Ixège" motored bogie, combining the pivoting feature with low floor, is intended to equip low-floor trams and tram-trains for lines with imperfect tracks and/or high speeds.*

the ends are small because the overhangs are very short, therefore the area above the head bogie is mostly occupied by the driver's cab. Presented at Inno-trans 2008 (fig. 25), type 15T was attributed with the trade name of "ForCity".

At the same time the first 15Ts belonging to a series of 20 (with an option for further 32) are starting service in Riga. In this case one bogie is not motorized, given the flat terrain of the capital of Latvia.

Even though it does not concern "real" bogies, also a return to the GT6N/GT8N scheme can be reported. After years of substantial oblivion, the architecture with a bogie in the middle of each body has been taken up again with the "Combino Plus", that is the new generation standard tram by Siemens, after the misadventure with the bolted aluminium bodies of the original Combinos (the bodies of Combino Plus vehicles are in high-strength steel). The bogies are still the same as the old Combinos (fig. 9), that had performed good, but now they are given a certain degree of freedom with respect to the bodies. The carbodies are coupled two by two, in 18 m long units; the travel is stabilised by means of a hydraulic system placed in the articulation between the two carbodies of each unit (it is to be remembered this vehicle configuration implies that the ensemble of the carbodies is called back into position elastically).

The first supply of the Combino Plus consisted of 40 type GT12N units for Budapest; with their 54 m, they are the longest trams in the world. Just to fulfil this contract, awarded in 2003 (still at the time of the old Combino), Siemens dropped the intention expressed at the beginning to exit the tram field completely. The Combino Plus was recently renamed "Avenio".

After years of unshakable faith in multi-articulated trams, Alstom unexpectedly presented the new "Ixège" bogie (fig. 26) in 2009, a pivoting bogie designed to equip vehicles with long bodies and fully low-floor. Named "X-04" (where "X" stands for the number of bodies: 2, 3 or 4), this new range of vehicles intends to improve ride quality on tramways with imperfect tracks or where high speed is required (tram-trains). The very limited height of the bogie, although it is provided with both suspension stages (plus elastic wheels), is due to the adoption of traction motors with permanent magnets. After vast experimentation, including circulation on the tramway network of Katowice (Poland), the first new bogies were applied to 37 trams for

CONVEgni e CONGRESSI

e una serie di tram-treni Citadis Dualis per la SNCF. Nei primi, con ruote del diametro di 590 mm, il pavimento al di sopra dei carrelli Ixège è a 450 mm dal piano del ferro; nei tram-treni, con ruote del diametro di 740 mm, il pavimento è a 530 mm.

Non sarebbe stato più semplice valorizzare i tram a pavimento medio-basso che hanno sempre fatto parte della gamma di Alstom? Ricordiamo che i "vecchi" carrelli tipo Magdeburg (così come gli analoghi carrelli motori di Siemens e Bombardier) già permettevano di avere il pavimento a circa 580 mm. Il relativamente piccolo guadagno in altezza, conseguito a costo di una notevole complicazione del carrello Ixège, permette di risolvere i dislivelli all'interno dei rotabili tramite rampe, senza gradini, per cui i rotabili stessi possono essere classificati a pavimento tutto basso. Evidentemente il nuovo prodotto, lanciato anche con un occhio di riguardo all'est Europa, intende accontentare comunque i clienti che continuano a richiedere il 100% di pavimento basso.

Alstom dichiara che è il primo carrello "pivotante" (come dicono in franco-anglo-italiano) che unisce anche la caratteristica del pavimento basso. E i prototipi Socimi del 1989 e Firema-Fiat del 1991?⁽¹⁹⁾ L'industria italiana era partita da lì, 20 anni fa!

Tornando ai rotabili a pavimento medio-basso, il ritorno di interesse verso di essi è dovuto anche al concetto del tram-treno. Nessuno se l'è sentita di mandare un tram multiarticolato su una ferrovia a 100 km/h. L' "Avanto" di Siemens, i "Regio Citadis" e "Citadis Dualis" di Alstom, i "Flexity Link" e "Flexity Swift" di Bombardier, il "Tren-tram" di Vossloh-Alstom per Alicante sono di fatto grossi tram a pavimento medio-basso, che sfruttano i carrelli motori "a sogliola" a suo tempo sviluppati.

Da una brochure di uno dei tram citati prima, prodotto da un grande costruttore che fino a ieri, con la stessa enfasi, vantava le qualità del tram standard multiarticolato, si legge: «La disposizione del carrello (che ruota, *ndr*) comporta che sui binari siano esercitate forze laterali molto ridotte in confronto alla convenzionale architettura di tram multiarticolato. *Omissis* (il nome del tram, *ndr*) ... ha eccellenti caratteristiche di marcia, anche su rotaie usurate. I benefici sono ottima qualità di marcia, minima sollecitazione della struttura meccanica in curva e, di conseguenza, ridotta usura ruota-rotaia ...», con l'inevitabile conclusione che il tram in questione è il meglio.

A parte lo sconcerto nel vedere definita "convenzionale" l'architettura dei tram multiarticolati da parte di un costruttore che fa tram da sempre, non può che fare pia- cere che abbiano "scoperto" i carrelli. Meglio tardi che mai!

Istanbul and a series of Citadis Dualis tram-trains for SNCF. In the formers, with 590 mm diameter wheels, the floor above the Ixège bogies is at 450 mm from T.o.R.; in the tram-trains, with 740 mm diameter wheels, the floor is at 530 mm.

Would it not have been easier to enhance the medium-low floor trams that have always been part of the Alstom range? Let us remember that the "old" Magdeburg type bogies (as well as the similar Siemens and Bombardier motored bogies) already allowed the floor to be at 580 mm. The relatively small advantage in height, achieved at the cost of the great complication of the Ixège bogie, allows to overcome the differences in level within the vehicles by means of ramps, without steps, therefore the vehicles themselves may be classified as fully low-floor ones. The new product, also launched with special attention to eastern Europe, evidently intends to please customers that continue to request a 100% low floor.

Alstom declares that it is the first "pivoting" bogie (as they say both in French and English) that also puts together the low-floor feature. What about the Socimi prototype of 1989 and the Firema-Fiat one of 1991?⁽¹⁹⁾ The Italian industry started there 20 years ago!

Going back to medium-low floor vehicles, the return of interest towards them is due also to the tram-train concept. Nobody has felt like running a multi-articulated tram on a railway at 100 km/h. The Siemens "Avanto", the "Regio Citadis" and "Citadis Dualis" by Alstom, the "Flexity Link" and "Flexity Swift" by Bombardier, the Alicante "Tren-tram" by Vossloh-Alstom are in fact big medium-low floor trams that exploit the "flat" motored bogies developed at the time.

From a brochure describing one of the above-mentioned trams produced by a large manufacturer that up until yesterday praised the qualities of the standard multi-articulated tram emphatically, one can read: «The bogie arrangement (pivoting, *ndr*) means that greatly reduced lateral forces are exerted on the tracks compared to the conventional design of a multiple-articulation tram. *Omissis* (the name of the tram, *ndr*) ... has excellent running characteristics, even on worn rails. The benefits are maximum ride quality, minimum stressing of mechanical structure in curves and thus reduced wheel-on-rail wear ...», with the unavoidable conclusion that the tram concerned is the best.

Besides the bewilderment in seeing the multi-articulated tram architecture defined as "traditional" by a manufacturer that has produced trams for more than a century, it can only be a pleasure that they have "discovered" the bogies. Better late than never!

⁽¹⁹⁾ I carrelli dell'S-350 LRV di Socimi e del TPIR di Firema-Fiat erano anche dotati di sospensione secondaria con molle ad aria!

⁽¹⁹⁾ The bogies of the Socimi S-350 LRV and the Firema-Fiat TPIR were also equipped with a secondary suspension with air springs!

CONVEgni e CONGRESSI

6. E in Italia?

Abbiamo dunque visto come, dato l'interesse di alcune fra le maggiori reti tranviarie europee⁽²⁰⁾, alcuni dei maggiori costruttori sono tornati a sviluppare tram con i carrelli - almeno quelli motori - che ruotano.

In Italia sembra che non ci si sia ancora accorti; quasi nessuno "osa" pensare a qualcosa di diverso dal tram a pavimento tutto basso e, quindi, multiarticolato. Eppure, considerate le tortuosità delle tranvie attraverso i tessuti urbani italiani, sarebbe il caso di pensarci...

Finché i capitolati continuano a porre il 100% di pavimento basso come requisito assoluto, i tram a pavimento medio-basso non hanno chance. Queste modeste note vogliono essere un contributo affinché i decisorî - politici, addetti ai lavori, costruttori - abbiano un approccio verso il pavimento basso meno semplicistico.

Speriamo di avere dimostrato che l'equazione "pavimento basso = tram multiarticolato", oltre ad essere fallace da sempre, non è neanche più *trendy*.

6. What about in Italy?

We have seen how, given the interest of some of the largest European tramway networks⁽²⁰⁾, some of the largest manufacturers have returned to developing trams with pivoting bogies, at least the motored ones.

It appears that we still have not realised in Italy; almost nobody "dares" thinking about something different to a tram with fully low-floor and, "inevitably", multi-articulated. And yet, considering the windings of the tramways through the Italian city centres, it would be the case to think about it ...

Until tenders continue to put 100% low-floor as an absolute requirement, medium-low floor trams will not have any chance. These modest notes want to be a contribution so that the decision makers - politicians, field experts, manufacturers - have a less simplistic approach towards low-floor.

Let us hope we have proved that the equation "low-floor = multi-articulated tram", besides having always been misleading, is no longer even *trendy*.

BIBLIOGRAFIA – REFERENCES

- [1] Giovanni Klaus KOENIG, "Il tram a pianale ribassato: storia e sviluppi", in Ingegneria Ferroviaria, maggio 1985, e "Tram d'avanguardia", in iTreni, n. 100, gennaio 1990.
- [2] Sergio VIGANÒ, "Tram oggi e domani", in iTreni, n. 153, ottobre 1994.
- [3] Harry HONDIUS, articoli vari che appaiono periodicamente nelle riviste Stadtverkehr e Metro Report (pubblicazione trimestrale di Railway Gazette), a seconda che si prediliga la lingua tedesca o quella inglese.
- [4] "Stadtbahnen in Deutschland – Light Rail in Germany", Verband Deutscher Verkehrsunternehmen · VDV-Förderkreis e.V., Düsseldorf, 2000.

⁽²⁰⁾ Nei sistemi di *light rail* nordamericani il pavimento basso è ancora relativamente poco diffuso, comunque in forma di parzialmente basso

⁽²⁰⁾ In the North-American light rail systems the low-floor is still relatively little widespread, and in any case as partially low-floor.