



**27247**



**118**

*2804.*

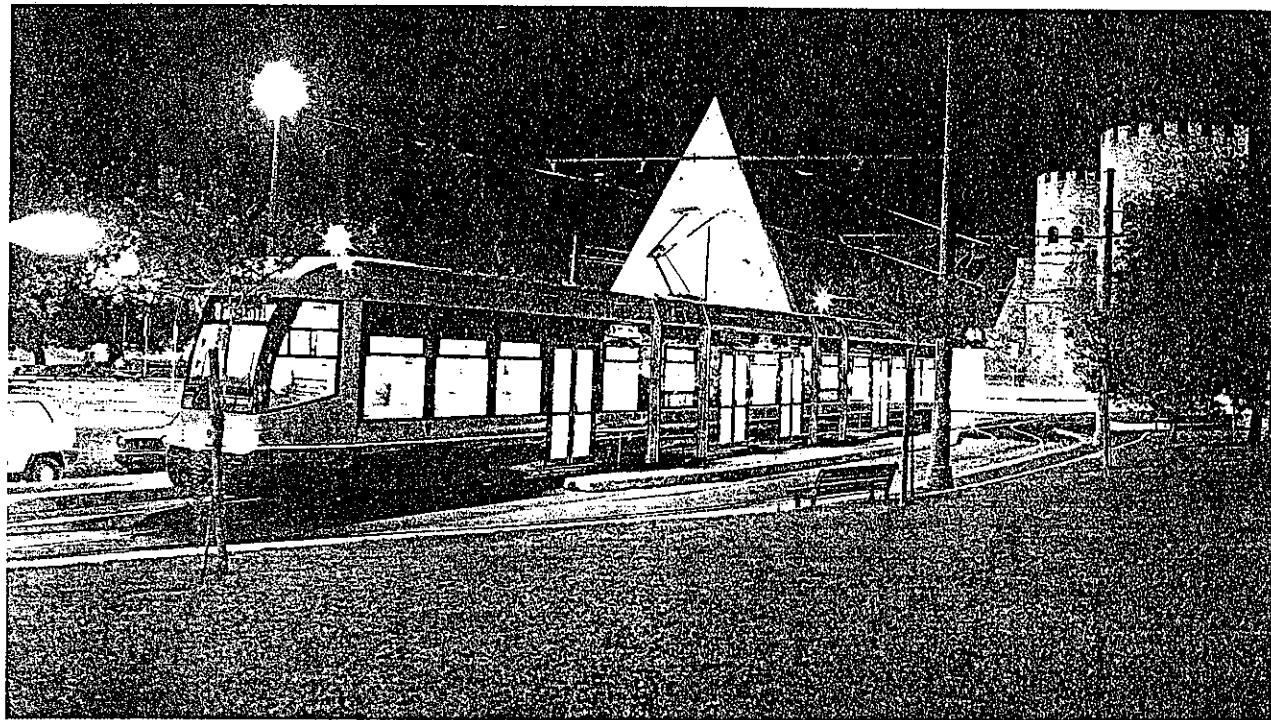
## **Ingegneria ferroviaria**

**Rome, vol. 54, n° 4, avril 1999, pp. 211-218, fig., tabl., bibliogr.**

Nouveaux tramways articulés à plancher surbaissé pour le réseau urbain de Rome.

**CR**

## SCIENZA E TECNICA



### I nuovi tram articolati, a pianale ribassato, per la rete urbana di Roma

*Dott. Ing. Gastone ROSSETTI\* e Dott. Ing. Antonio PENDENZA\*\**

**SOMMARIO** – Gli autori illustrano prestazioni e caratteristiche tecniche dei nuovi 28 tram di grande capacità in corso di fornitura all'A.T.A.C. da parte della FIAT Ferroviaria.

Le nuove vetture articolate, a pianale parzialmente ribassato di 31,250 m di lunghezza, da 279 posti sono destinate alle nuove linee tranviarie in programma a Roma e sono predisposte per l'installazione degli impianti di gestione e controllo del traffico, nonché di comando prioritario dei semafori.

#### Premessa

A distanza di circa 50 anni dall'arrivo delle vetture articolate Stanga-TIBB (in vista dell'Anno Santo del 1950) e dopo 8 anni dalla presentazione, da parte dell'A.T.A.C., del prototipo delle 60 vetture SOCIMI (v. articolo di Ingegneria Ferroviaria dell'Ottobre 1990) è pervenuta alle Officine Centrali A.T.A.C. la prima delle 28 vetture tranviarie

articolate costruite dalla FIAT Ferroviaria e dotate di apparecchiature elettriche di trazione e frenatura ad inverter, impianti ausiliari e sistema diagnostico della Elettromeccanica Parizzi, che entreranno in esercizio prima del Giubileo del 2000.

Le vetture derivano dal progetto, realizzato per l'ATM di Torino, di 54 tram, ampiamente sperimentate in esercizio a Torino fin dal 1989.

I tram sono destinati alla marcia in corsie protette sulle linee veloci e non, con distanziamento regolato da impianto centralizzato interfacciato con impianti semaforici in grado di accordare la priorità ai mezzi pubblici agli incroci.

\* Libero professionista.

\*\* Direttore di Esercizio ATAC.

## SCIENZA E TECNICA

### Caratteristiche generali

Il tram è a pianale parzialmente ribassato, con l'accesso dei viaggiatori nella zona a pavimento più basso, a 350 mm dal piano del ferro. In corrispondenza dei carrelli motori il pavimento ha un'altezza sul piano del ferro di 880 mm; ad esso si accede tramite tre gradini di altezza 176 mm.

L'esperienza di Torino ha dimostrato che la zona alta è privilegiata dai passeggeri che percorrono i percorsi più lunghi, essendo essa meno interessata dai flussi dei viaggiatori in salita o discesa. Il pianale basso costituisce il 70% della superficie a disposizione dei passeggeri.

La vettura (fig. 1) è articolata a 3 casse e 2 carrozzini, su 4 carrelli, 2 motori e 2 portanti, questi ultimi a ruote indipendenti. Le vetture sono bidirezionali e sono caratterizzate dalle seguenti prestazioni a carico massimo, su tratta piana e rettilinea (tab. 1).

TABELLA 1

Velocità massima (km/h)	70
Accelerazione residua alla vel. max (m/s <sup>2</sup> )	0,34
Accelerazione media da 0 a 40 km/h (m/s <sup>2</sup> )	1,03
Accelerazione media da 0 a 60 km/h (m/s <sup>2</sup> )	0,78
Accelerazione media da 0 a 70 km/h (m/s <sup>2</sup> )	0,6
Aderenza impegnata all'avviamento	0,20
Tempo di percorrenza su tratta di 400 metri (s)	42,3
Pendenza superabile all'avviamento (%)	81
Accelerazione corrispondente (m/s <sup>2</sup> )	0,26
Pendenza superabile all'avviamento in condizioni degradate (%)	50
Accelerazione corrispondente (m/s <sup>2</sup> )	0,16
Aderenza impegnata	0,17

In fig. 2 è rappresentato il diagramma di marcia sulla tratta piana di 400 metri.

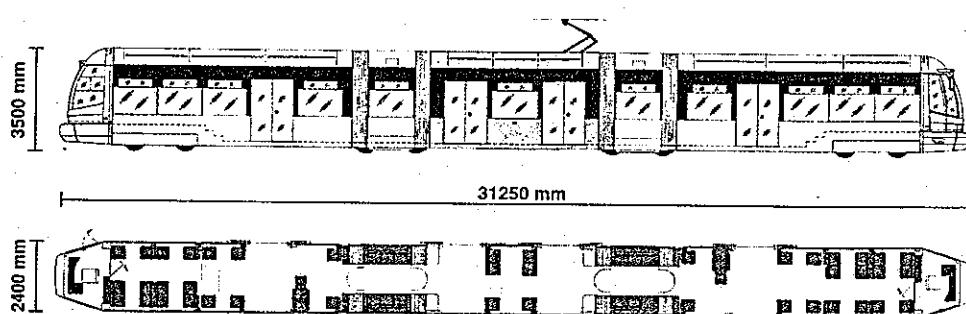


Fig. 1 - Figurino della vettura articolata a pianale parzialmente ribassato.

Nella tabella 2 sono riportate le prestazioni in frenatura con carico massimo, cerchioni nuovi, su tratta piana e rettilinea, con tensione di alimentazione nominale, fino ad un minimo di 500 V, con rotaie asciutte e pulite.

TABELLA 2

Frenatura di servizio	
Dec. media dalla velocità max (m/s <sup>2</sup> )	1,2
Max aderenza impegnata assi motori	0,17
Max aderenza impegnata assi portanti	0,12
Frenatura di emergenza	
Dec. media dalla velocità max (m/s <sup>2</sup> )	2,5
Max aderenza impegnata assi motori	0,26
Max aderenza impegnata assi portanti	0,16
Frenatura di soccorso	
Dec. media dalla velocità max (m/s <sup>2</sup> )	1,67
Max aderenza impegnata assi motori	0,10
Max aderenza impegnata assi portanti	0,12
Frenatura di parcheggio	
Max pendenza teorica di ritenuta con freno di parcheggio inserito (%)	110
Max aderenza impegnata assi portanti	0,12
Max aderenza impegnata assi motori	0,1
Situazioni degradate	
Solo freno elettrodinamico	
Decelerazione media (m/s <sup>2</sup> )	0,74
Solo freno a pattini	
Decelerazione media (m/s <sup>2</sup> )	0,6

Le diverse forze di frenatura sono dosate in funzione del carico in modo da mantenere le prestazioni complessive di frenatura praticamente costanti.

In assenza di frenatura elettrodinamica, la frenatura di servizio con solo freno meccanico è garantita per un tempo indefinito limitando la velocità massima a 40 km/h.

La ritenuta del tram su pendenza è a tempo indeterminato in quanto ottenuta con attuatori passivi dotati di molla.

Le dimensioni ed i

## SCIENZA E TECNICA

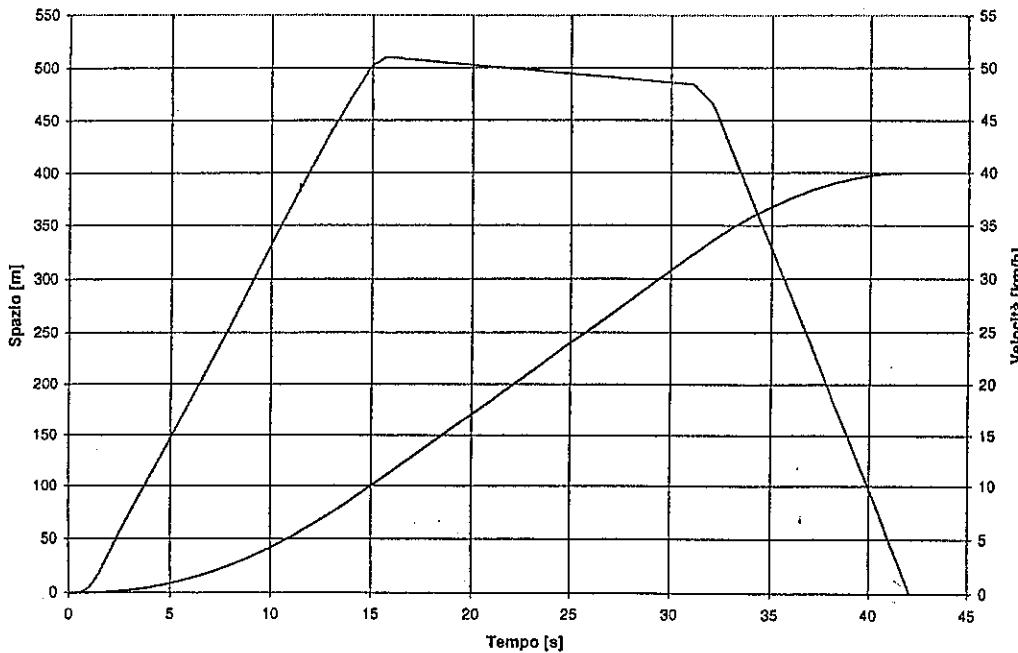


Fig. 2 – Diagramma di marcia. Prestazioni su tratta  $L = 400$  m per il tram ATAC-Roma a carico massimo e ruote nuove.

pesi della vettura sono riportati nella tabella 3.

TABELLA 3

Scartamento	1445 mm
Assi motori	4
Assi portanti (virtuali)	4
Ruote elastiche	
Diametro ruote a nuovo	680 mm
Spessore cerchioni	45 mm
Profilo cerchione	UNI 3332
Lunghezza totale, compresi dispositivi antiurto e antisormonto	31250 mm
Lunghezza pianale ribassato	20100 mm
Altezza pianale ribassato dal p.d.f.	350 mm
Altezza pianale rialzato dal p.d.f.	880 mm
Interperno casse di testa	6975 mm
Interperno cassa intermedia	6450 mm
Passo rigido dei carrelli	1750 mm
Raggio minimo delle curve	- 18 m in asse su strada - 15 m in asse in deposito
Peso a vuoto	41.920 kg
Peso a carico utile max (279 passeggeri)	61.123 kg
Peso carrello motore	5.100 kg
Peso carrello portante	2.600 kg
Peso per asse a C.U.M.	< 8.000 kg

Per quanto riguarda le condizioni ambientali il tram è in grado di espletare regolare servizio nelle seguenti condizioni climatiche e ambientali:

- temperature esterne comprese tra  $i - 15^{\circ}\text{C}$  ed  $i + 45^{\circ}\text{C}$ ;
- massima umidità relativa del 100%;
- composizione dell'aria ricca di pulviscolo o gas industriali.

Per quanto riguarda il livello di rumore, le previsioni progettuali, in accordo con la Norma ISO 3095 e 3381, con binari posti su ballast, finestrini e porte chiuse, assenza di pareti esterne riflettenti prevedono i seguenti risultati, peraltro in corso di verifica.

Livelli di rumore interno in dBA:

- alla velocità di 40 km/h dBA 65;
- alla velocità di 70 km/h dBA 68.

Livelli di rumore esterno:

- alla velocità di 40 km/h dBA 70;
- alla velocità di 70 km/h dBA 75.

### Cassa

La struttura delle 3 casse e dei 2 carrozzini è realizzata con profili estrusi, elementi strutturali e lamiere in lega di alluminio.

I vari elementi della struttura sono collegati mediante saldatura ad arco.

La struttura dell'imperiale è irrobustita per tener conto, oltre che dei carichi permanenti su essa gravanti, anche

## SCIENZA E TECNICA

del peso del personale addetto alla manutenzione.

Il telaio del tram è dotato, nella sua parte anteriore, del dispositivo antiscavalcamiento, che evita la penetrazione di una vettura nell'altra in caso di urto frontale, nonché di un assorbitore di energia che evita la deformazione della cabina di guida in caso di urto, a bassa velocità, con ostacolo fisso o di impatto con un mezzo leggero a velocità limitata.

La cassa è dimensionata per subire una forza di compressione assiale ad un'altezza di 800 mm pari a 500 kN.

### Il carrozzino

Il carrozzino è solidale con il carrello portante, che è dotato di articolazione sferica di supporto delle casse adiacenti. Nella parte alta del carrozzino una biella orizzontale vincola trasversalmente la cassa centrale.

La trave oscillante a cui è vincolato il carrozzino poggia, tramite sospensioni pneumatiche, sui due semitelai del telaio non sospeso, sistemati tra le ruote indipendenti.

I passaruote, all'interno della vettura, sono utilizzati per la sistemazione dei sedili longitudinali.

### Caratteristiche dell'abitacolo

I sedili sono rivestiti di tessuto resistente.

L'abitacolo è dotato di impianto di condizionamento estate-inverno che è in grado di realizzare:

- con 0 °C di temperatura esterna una temperatura interna media di 16 °C;
- con 35 °C di temperatura esterna una temperatura interna media di 30 °C.

L'illuminazione interna è a lampade fluorescenti a 220 V e garantisce un livello di 300 lux a 0,8 m dal suolo.

Inoltre l'abitacolo è caratterizzato da:

- altezza libera interna in corrispondenza del pianale alto: 1953 mm;
- larghezza della cassa: 2.400 mm;
- n. porte di servizio per ogni cabina: 1;
- 1 porta tra cabina e comparto passeggeri per ogni cabina;
- n. porte passeggeri per fiancata: 4 tutte in corrispondenza del pavimento ribassato;
- larghezza delle porte: 1.300 mm;
- altezza vano porte: 2.000 mm;
- porte ad azionamento elettrico, a due ante;
- apertura ad espulsione e scorrimento in fiancata, azionate per l'apertura dal passeggero sia dall'interno che dall'esterno;

- chiusura sempre comandata dal guidatore.
- Posti a sedere: 54+2 postazioni per carrozzella handicappati;
- posti in piedi: 212 (calcolati a 6,6 pers/m<sup>2</sup>);
- in assenza di portatori di handicap i posti in piedi sono 225 e quindi i posti totali 279;
- n. 2 indicatori di prossima fermata e di fermata prenotata a led;
- indicazione di prossima fermata anche acustica;
- telecamere per il controllo delle porte, del vano passeggeri, della zona posteriore (nel senso di marcia);
- n. 5 indicatori di direzione per ogni fiancata, di cui due frontali e 3 laterali;
- n. 6 indicatori di linea di cui 2 frontali e 2 + 2 laterali;
- finestre con apertura a vasistas sul terzo superiore, normalmente bloccate, ma apribili con chiave quadra;
- vetri filtrianti di colorazione verde, luce netta larga 1255 mm;
- altezza cassa 3.500 mm dal p.d.f.;
- altezza max con pantografo a riposo: 3.800 mm;
- colorazione esterna: verde Roma con due tonalità.

### Equipaggiamento elettrico di trazione e frenatura

Le caratteristiche dell'equipaggiamento elettrico sono le seguenti:

- azionamento di trazione e frenatura elettrica ad inverter con 4 motori asincroni;
  - configurazione di 4 rami in parallelo.
- Caratteristiche del motore di trazione:
- tensione di linea: 600 Vcc + 20% - 33%;
  - tensione di alimentazione: 470 V a stella;
  - potenza di trazione alla max velocità: 120 kW;
  - potenza max utile per trazione: 183 kW;
  - velocità max: 4.258 giri/minuto;
  - potenza di frenatura alla max velocità: 140 kW;
  - max potenza di frenatura: 195 kW;
  - corrente max in tutto il campo di velocità: 400 A;
  - velocità massima della vettura: 70 km/h regolabile "una tantum" di 5 in 5 km/h da 30 a 70 km/h;
  - max coppia di trazione allo spunto: 790 Nm;
  - max coppia di frenatura: 600 Nm.

Dispositivi antislittamento + antipattinaggio in trazione e frenatura

Pendenza max superabile: 83%

## SCIENZA E TECNICA

Circuiti elettrici a 3 tensioni:

- 600 Vcc per la trazione (parte di potenza), trasformata e regolata dall'inverter;
- 24 Vcc per la trazione (comando e controllo) e per alcuni ausiliari;
- 220/380 Vca per alcuni ausiliari;
- 2 convertitori ausiliari 600 Vcc/220/380 Vca da 45 kVA ciascuno;
- 2 convertitori carcabatterie e 2 gruppi batterie indipendenti;
- impianto pneumatico:  
compressore rotativo solo per l'alimentazione delle sospensioni pneumatiche ed il comando delle sabbiere.

Impianti frenanti:

- freno elettrodinamico a recupero d'energia;
- freno elettroidraulico agente sui dischi freno: uno per ogni asse sui carrelli motori, uno per ogni ruota sui carrelli portanti;
- freno a pattini elettromagnetici con due pattini per ogni carrello.

Sabbiere sul primo asse per ogni senso di marcia.

Tali sistemi realizzano tutte le funzioni frenanti previste dalle norme e cioè:

- freno di servizio;
- freno di soccorso;
- freno di emergenza;
- freno di stazionamento.

In fig. 3 è illustrato lo schema generale elettrico dell'alta tensione.

La tensione nominale di alimentazione è di 600 Vcc e tutti gli equipaggiamenti elettrici assicurano il mantenimento delle piene prestazioni all'interno di un intervallo di tensione compreso tra 500 e 720 Vcc mentre il funzionamento è garantito fino alla tensione di 400 Vcc.

### Equipaggiamenti ausiliari

La vettura è dotata dei seguenti impianti ausiliari:

- sistemi diagnostici di diverso livello;
- registratore di eventi;

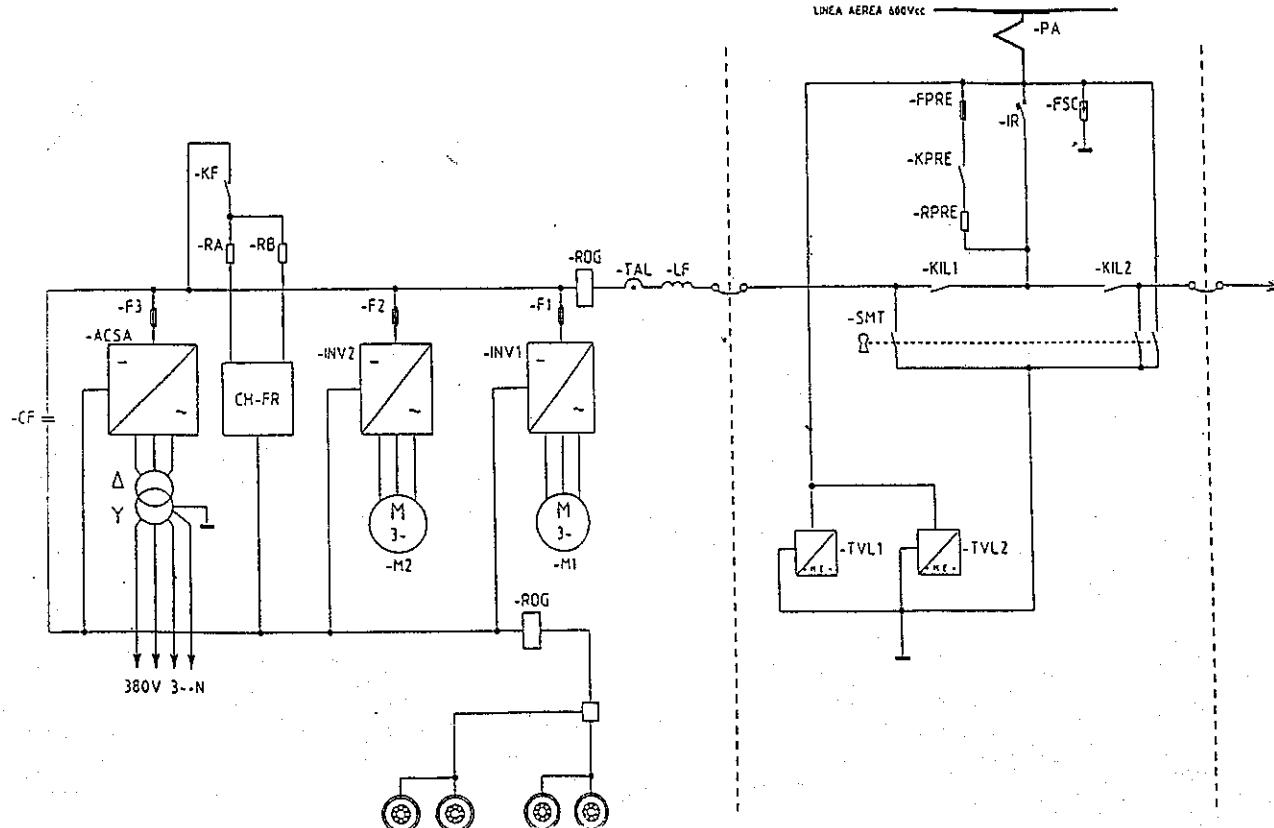


Fig. 3 – Schema elettrico Alta Tensione.

## SCIENZA E TECNICA

- dispositivo "uomo morto";
- annuncio fermata visivo ed acustico;
- impianto radiotelefonico;
- predisposizione degli impianti per l'aiuto all'esercizio;
- impianto radioazionamento scambi;
- impianti TV per il controllo di tutta la vettura;
- illuminazione interna ed esterna, normale e d'emergenza;
- indicatori di linea alfanumerici.

In particolare l'impianto di telecamere è costituito da:

- 4 telecamere esterne;
  - 4 telecamere interne;
  - 4 monitor per ogni cabina di guida.
- Tra gli impianti per l'aiuto all'esercizio vanno annoverati:
- l'impianto riconoscimento lato banchina;
  - l'impianto di autolocalizzazione e regolazione centralizzata della circolazione tram in linea;
  - l'impianto prioritario dei semafori integrato nel sistema comando scambi a radiofrequenza: esso attiva la segnalazione semaforica in modo che il veicolo ottenga via libera agli incroci.

### Carrello motore

Il carrello motore, di tipo tradizionale ad assi, con due motori asincroni che azionano i relativi assi mediante un riduttore a tre ingranaggi (fig. 4).

Ogni gruppo motopropulsore è interamente sospeso al telaio carrello sulla sospensione primaria.

La trasmissione del moto avviene tramite l'albero cavo e giunto elastico che realizza il collegamento tra l'albero cavo e l'assiale.

Sull'albero cavo è montato altresì il disco freno in modo da ridurre al minimo le masse non sospese.

La soluzione adottata migliora le caratteristiche di inscrivibilità in curva del carrello rispetto al carrello del TPR di Torino riducendo conseguentemente le usure ruota-binario.

Le caratteristiche principali del carrello sono:

- scartamento	1445 mm
- passo	1750 mm
- diametro ruote nuove	680
- diametro ruote max usura	630
- peso stimato	50 kN
- carico massimo per asse	inferiore a 8 t.

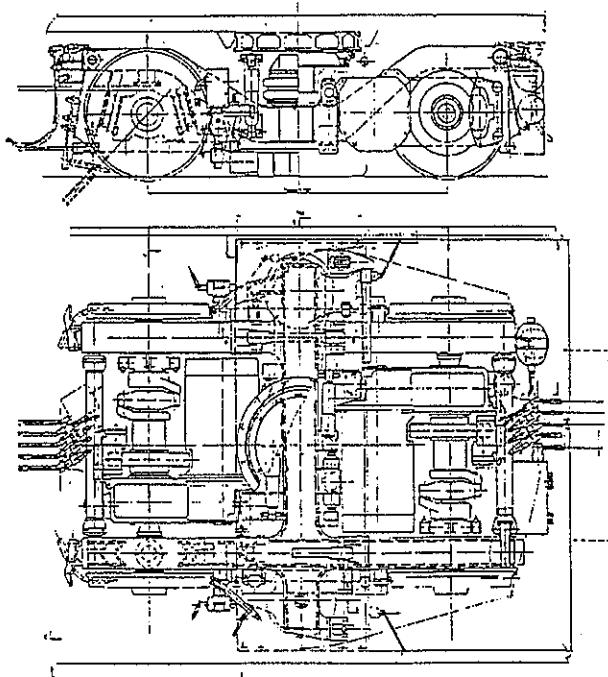


Fig. 4a - Carrello motore.

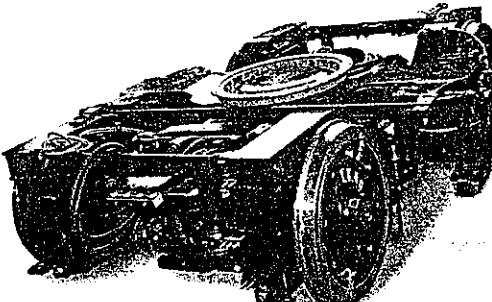


Fig. 4b - Carrello motore a passo ridotto (1750 mm).

### Carrello portante (fig. 5)

Il tram possiede due carrelli portanti a ruote indipendenti.

Sul carrello portante grava una cassa (detta "carrozzino") che a sua volta è articolata alle casse adiacenti del veicolo, mantenendo il pavimento ribassato anche nella zona della giostra.

Il carrello è strettamente derivato dai carrelli portanti montati sul TPR in servizio sulle linee dell'ATM Torino, con l'aggiunta di apposite barre antirollio destinate a contenere il movimento della cassa centrale.

Le caratteristiche principali del carrello sono:

- scartamento	1445 mm
- passo	1750 mm
- diametro ruote nuove	680

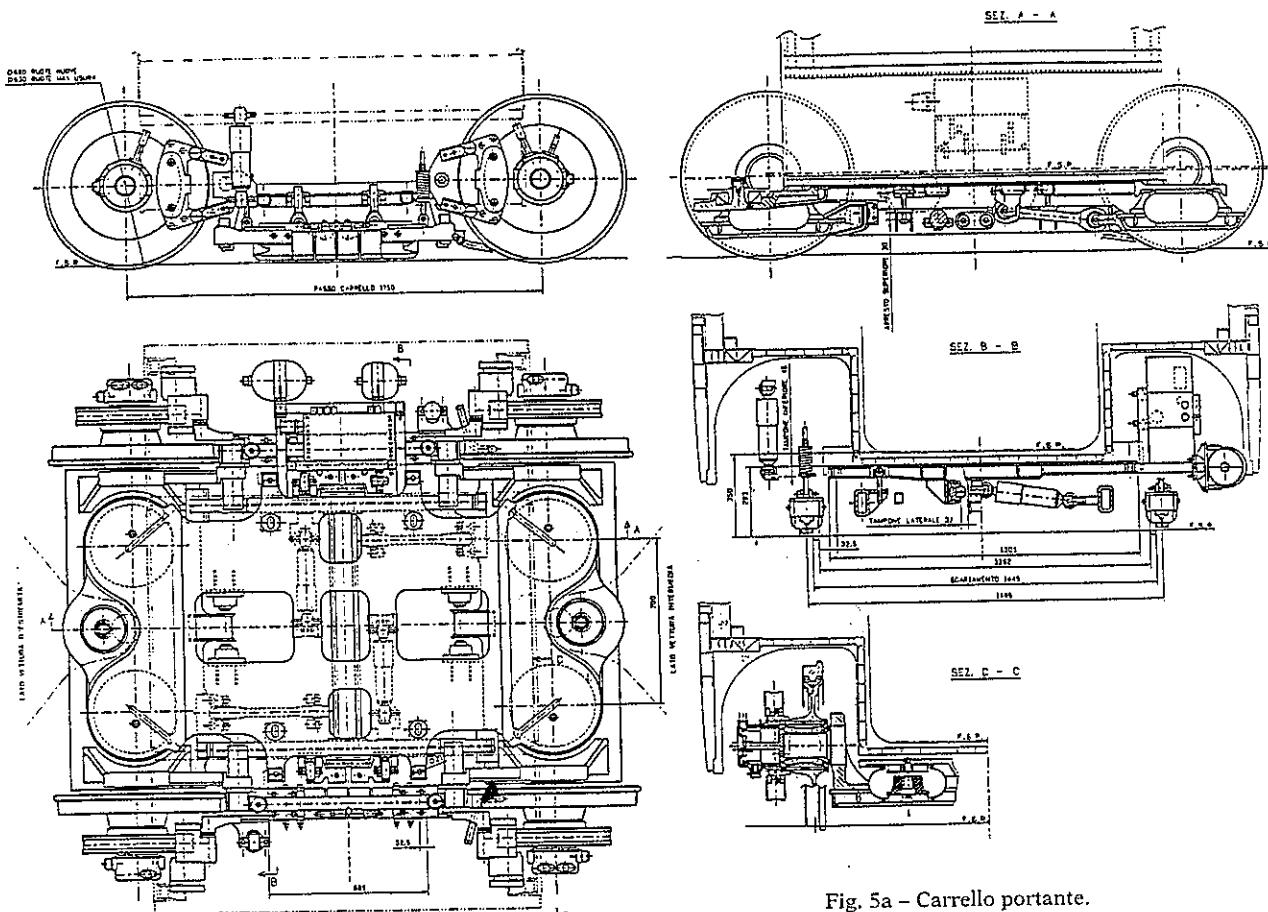


Fig. 5a – Carrello portante.

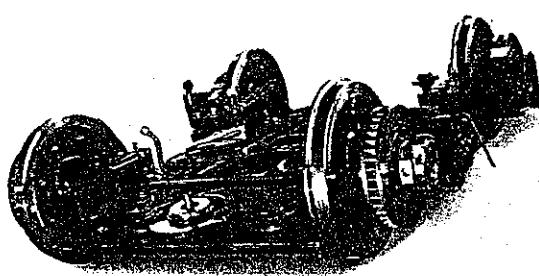


Fig. 5b – Carrello portante.

- diametro ruote max usura	630
- peso stimato	25 kN
- carico massimo per ruota	inferiore a 4 t.

## Alcune considerazioni

Come si è visto la velocità commerciale del tram a pieno carico, in piano ed in retta, sulla tratta di 400 m è di 40,3

km/h; per effetto dei tempi di sosta alle fermate, dei perditempo alle intersezioni, dei rallentamenti dovuti alle pendenze ed alle curve, in pratica, nelle linee tramvarie veloci, non si supera la velocità commerciale di 20 km/h.

A Roma la velocità commerciale dei tram dell'A.T.A.C., marcianti solo in parte su corsie protette e, nelle ore di punta, dell'ordine degli 11 km/h e raggiunge valori dell'ordine di 14-15 km/h nelle ore in cui il traffico automobilistico è molto ridotto.

Questi valori, insieme con la recente esperienza effettuata sulla linea 8 da Casaletto a Largo Argentina, portano a considerare che l'impiego di vetture tramvarie con elevate prestazioni non può, da solo, consentire il raggiungimento di elevati livelli di servizio.

La linea tramvaria veloce deve essere concepita come un "complesso sistema" nel quale i seguenti elementi necessari al raggiungimento della regolarità, affidabilità, velocità, capacità di trasporto e sicurezza, debbono essere utilizzati al meglio in una visione integrata:

- protezione delle corsie;

## SCIENZA E TECNICA

– razionale disegno delle fermate (lunghezza ed altezza banchine, accessibilità, protezione delle persone in attesa);

– impianto di regolazione centralizzata della marcia vetture tramviarie (per garantirne il giusto distanziamento), interfacciato con un sistema semaforico di regolazione di area, in grado di accordare priorità di transito agli incroci alle vetture tramviarie, senza ignorare le esigenze dei volumi di traffico privato che, nelle varie ore del giorno, interessano i singoli incroci (fig. 6);

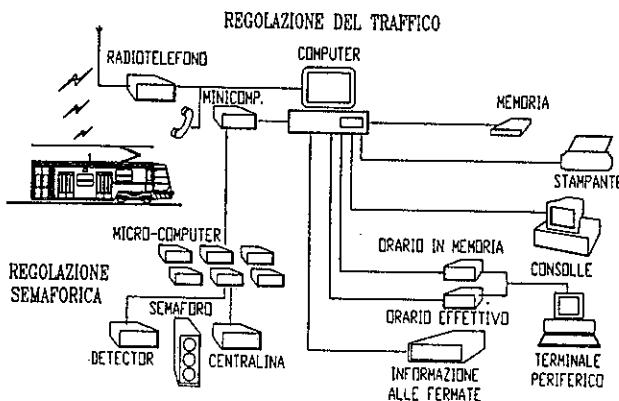


Fig. 6 – Regolazione centralizzata del traffico interfacciata con il sistema semaforico.

– interventi atti ad assicurare il servizio, sia pure ad un livello “degradato”, anche in caso di incidenti o guasti;

deviatoi per consentire l'utilizzo parziale della linea in caso di ostacoli dovuti ad incidenti e larghezza della corsia che consente la circolazione dei Bus in caso di guasti all'alimentazione della linea elettrica;

- adeguata capacità ed accessibilità delle vetture;
- informazione in tempo reale del tempo di attesa alle fermate.

Si ritiene che, soltanto una progettazione basata sull'impiego di tutti questi strumenti, in una visione di sistema, può consentire di realizzare linee di "trasporto rapido di massa" in grado di occupare il ruolo intermedio lasciato dal trasporto BUS e non ancora occupato dalla Metropolitana e di non affrontare i costi di costruzione di centinaia di miliardi/km che quest'ultima comporta, né i tempi lunghissimi di realizzazione, né i gravi disagi provocati dalle varie fasi di attuazione, ciò almeno fino ad una domanda di trasporto dell'ordine degli 8.500 pass/h (= 280 pass/vett. x 30 vett./h).

### BIBLIOGRAFIA

- [1] Fascicolo 72550 "Tram a pavimento ribassato per A.T.A.C. Roma" – Progetto esecutivo 33/59/III della FIAT Ferroviaria.
- [2] Dott. Ing. Piero Muscolino "I nuovi tram urbani di Roma" – Ingegneria Ferroviaria – Ottobre 1990.
- [3] Dott. Ing. Gastone Rossetti e Dott. Delia Moriconi "Proposta di linea metrotramviaria bitensione per la città di Roma" – Ingegneria Ferroviaria – Maggio 1995.

### Sommaire

#### LES NOUVEAUX TRAMWAYS ARTICULES, A PALIER BAISSE POUR LE RESEAU URBAIN DE ROME

Les auteurs illustrent les prestations et les caractéristiques techniques des 28 tramways de grande capacité en cours de fourniture à l'ATAC de la part de la FIAT Ferroviaire.

Les nouvelles voitures articulées, à palier partiellement baissé, de m 31,250 de longueur, de 279 places sont destinées aux nouvelles lignes de tramways en programme à Rome et elles sont prédisposées pour la mise en place des installations de gestion et de contrôle du trafic ainsi que de la commande prioritaire des feux.

### Summary

#### THE NEW WELL CAR ARTICULATED TRAMS FOR THE CITY RAIL NETWORK IN ROME

The authors illustrate technical characteristics and performances of the new 28 high capacity trams that Fiat Ferroviaria is going to supply to ATAC.

The new articulated coaches, 279 seats, equipped with a partially depressed center flat car that is 31.25 m long, are intended for the new tram lines in Rome and are predisposed for the installation of traffic management and control plants and semaphores high-priority control systems as well.

### Zusammenfassung

#### DIE NEUEN NIEDERFLUR-GELENKFAHRZEUGE IM RÖMISCHEN STRASSENBAHNNETZ

Es werden die Leistungsparameter und technischen Charakteristiken der 28 neuen Grossraumgarnituren, die FIAT Ferroviaria derzeit an ATAC ausliefer, beschrieben.

Die neuen Gelenkfahrzeuge, in teilweiser Niederflurausführung, sind 31,250 m lang und bieten 279 Personen Raum; sie sind für die in Rom geplanten neuen Strassenbahnen bestimmt und für den Einbau von Verkehrüberwachungs- und Verkehrsleitsystemen sowie die Prioritätsschaltung der Verkehrsampeln vorbereitet.