



Alcune proposte riguardanti nuovi o forse dimenticati parametri per valutare le prestazioni dei trasporti rapidi urbani

Some suggestions about forgotten and may be new parameters to evaluate the performance of rapid transit systems

Dott. Ing. Franco DE FALCO^(*)

Sommario - Si avanza la proposta di razionalizzare i parametri che definiscono le prestazioni dei Trasporti Rapidi Urbani. Ciò è ottenuto convertendo le grandezze utilizzate nella descrizione del moto in meccanica nelle corrispondenti grandezze utilizzate nell'analisi del Trasporto Rapido Urbano ed introducendo i concetti di "Tempo Totale impiegato" per una data "Quantità di Trasporto" (quantità di moto).

Summary - A proposal is done to rationalize the parameters defining Rapid Transit Systems' general performances. This is achieved by converting Mechanical motion measures into corresponding Transport motion ones and introducing the concept of "Total time spent" for a given "Quantity of Transport (motion)".

1. Paradosso

Contro l'attuale pratica di menzionare solo il flusso di passeggeri (ovvero i posti) all'ora per confrontare le prestazioni dei Sistemi di Trasporto Rapido Urbano, in una precedente memoria [1], ho introdotto il seguente paradosso della Metro-Parata: un Sistema-Metro che consente il trasporto di 40.000 passeggeri/ora ha la stessa "Capacità di Trasporto" di una parata militare composta da righe di 20 uomini, distanziate di 2 metri una dall'altra a condizione che:

- i treni del Sistema-Metro, ciascuno con 1.000 passeggeri, si muovano alla velocità commerciale di 40 km/h con un intervallo spaziale di 1 km tra un convoglio e l'altro;
- la parata si muova ad una velocità marziale di 4 km/h con righe distanziate di 2 metri.

L'ambiguità connessa al paradosso viene rimossa se si considera che ogni km del percorso viene completato da ciascun soldato in 15 minuti ed in soli 1,5 minuti da ogni passeggero della Metro.

2. Considerazioni relative al trasporto rapido urbano

I Sistemi di Trasporto Rapido Urbano devono consentire il più alto numero possibile di viaggi, in ragione del fatto che la loro velocità è di gran lunga più elevata ri-

1. Paradox

Against the current practice of mentioning only the flow in passengers (or places) per hour when comparing Rapid Transit Systems performances, in a previous paper [1], I introduced the following Metro-Parade paradox: a Metro-System carrying 40.000 passengers/hour has an equal "transport capacity" of an army parading on foot, in rows of 20 men at a distance of 2 meters between rows, provided:

- the Metro train with 1000 passengers, runs at 40 km/h schedule speed with 1 km headway;
- the parade moves at 4 km/h.

Perplexity regarding this paradox would be removed by considering that each journey of 1 km will be completed in 15 minutes by each soldier and in 1,5 minutes by each Metro-passenger.

2. Mass transit issues

Rapid Transit Systems must produce the highest possible number of trips, characterized by the fact that their speed is much greater than that of pedestrians.

To provide such greater speed, a traction system must transfer an adequate power to the passengers so that the related mass is added to the passengers mass.

^(*) Già Professore Ordinario presso il Dipartimento di Idraulica, Trasporti e Strade (D.I.T.S.) della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Roma "La Sapienza".

Nato il 30 settembre 1920, è deceduto il 5 dicembre 2016, senza aver avuto la possibilità di veder pubblicato questo suo articolo, che è stato revisionato per la pubblicazione da Franco ACCATTATIS e Massimo MONTEBELLO, allievi del prof. DE FALCO.

^(*) Former Full time Professor of Transport Engineering at the University of Rome "La Sapienza" D.I.T.S. Department Italy.

Born in 1920, September 30, he died in 2016, December 5, without the opportunity to complete this paper, postfaced by Franco ACCATTATIS and Massimo MONTEBELLO, prof. F. DE FALCO's "pupils".

spetto a quella raggiungibile da un uomo che si muova a piedi.

Per ottenere velocità così elevate, un Sistema di trazione deve poter trasferire un'adeguata potenza ai passeggeri; conseguentemente la massa correlata all'apparato di produzione e trasferimento di tale potenza (tara del veicolo) deve essere aggiunta alla massa totale dei passeggeri.

In definitiva un Sistema di Trasporto Rapido Urbano è una macchina che converte energia elettromeccanica in energia di trasporto: il lavoro prodotto evidenzia il processo di conversione.

3. La carica di trasporto

Con riferimento al paragrafo 2, è importante stabilire che, in accordo con la Teoria Unificata dei Grafi di Legame nella dinamica dei sistemi [2], il viaggio, nella tecnica del trasporto passeggeri, corrisponde alla carica in Elettrotecnica e allo spostamento in Meccanica.

Come conseguenza dell'assunzione appena fatta, la variabile che esprime il flusso nel trasporto diviene la velocità.

4. Viaggi all'ora

Ora, sappiamo che i viaggi di 1 km che un Sistema può generare in un'unità di tempo (anno, giorno o, più generalmente, ora) possono essere espressi numericamente a partire dalla formula seguente:

$$Q = pNv \quad \text{in } | \text{posti-km/h} | \quad (1)$$

$$\left| \frac{\text{posti-km}}{h} \right| = \left| \frac{\text{posti}}{\text{treno}} \right| \times |\text{treni sulla linea}| \times |\text{velocità prestabilita in km/h}|$$

semplicemente dividendo i due membri della formula per 1[km], alterandone così non l'espressione formale ma quella dimensionale:

$$Q_0 = p \cdot N \cdot v \quad \text{in } | \text{viaggi di 1 km/h} | \quad (2)$$

$$\left| \frac{\text{viaggi di 1 km}}{h} \right| = \frac{|\text{posti per treno}| \times |\text{treni sulla linea}| \times |\text{velocità prestabilita in km/h}|}{|\text{lunghezza di viaggio di 1 km}|}$$

Il numero di viaggi di 1 km complessivamente prodotti dal numero di posti disponibili sulla linea in un'ora dipende dalle caratteristiche del sistema di trasporto (n.d.r.: il Prof. DE FALCO spiegò l'importanza di riconoscere i "posti-km/h" diversi dai "viaggi/h". Un viaggio può essere lungo 1 km (anche ≤ 1 km) o più km. Quando un viaggio è lungo 1 km esso corrisponde ai posti-km/h).

Per ottenere l'effettivo numero di viaggi all'ora sul medesimo sistema, dobbiamo introdurre la lunghezza media di viaggio "D" ed il fattore di riempimento "α", entrambi

Ultimately, a Rapid Transit System is a machine that converts electromechanical energy into transport energy: work being evidence of this process.

3. The transport charge

Referring to section 2, it is important to state that, according to the Bondgraph's unified theory in system dynamics [2], the passengers trip in Transport technics corresponds to the charge in Electrotechnics and to the displacement in Mechanics.

As a consequence of the above assumption, the flow variable in transport becomes the speed.

4. Trips per hour

Now we know the number of trips of 1 km that a system could generate in a time unit (year, day, most generally: in one hour) can be expressed by the formula:

$$Q = pNv \quad \text{in } | \text{places-km} / h | \quad (1)$$

$$\left| \frac{\text{places-km}}{h} \right| = \left| \frac{\text{places}}{\text{train}} \right| \times |\text{trains on line}| \times |\text{schedule speed in km/h}|$$

simply dividing each member of the formula by 1 [km], changing so not the formal expression but the dimensional one:

$$Q_0 = p \cdot N \cdot v \quad \text{in } | 1 \text{ km trips/h} | \quad (2)$$

$$\left| \frac{1 \text{ km trips}}{h} \right| = \frac{|\text{places per train}| \times |\text{trains on line}| \times |\text{schedule speed in km/h}|}{|\text{trip length of 1 km}|}$$

This number of trips of 1 km totally produced by the places available on the line in one hour depends on the characteristics of the Transport System.

(e.d.: Prof. DE FALCO explained us the importance to mark "places-km/h" different than "trips/h". A trip could be 1 km (also ≤ 1 km) or more km long. When a trip is 1 km long it corresponds to places-km/h).

To obtain the effective number of trips per hour, on the same system, we must introduce the mean trip length "D" and the fill factor "α" both of which depend on the travel demand of the urban area involved.

Dividing equation (1) by the mean-trip length, we obtain the trips per hour, but this is valid only if the total number of places available on the system is filled, assuming therefore, that each place, at the end of a trip, is occupied by another passenger.

This is generally not the case. In fact, in the design calculations of a system, the demand matrix, stop by stop, es-

dependenti dalla domanda di trasporto dell'area urbana interessata.

Dividendo l'equazione (1) per la lunghezza media di viaggio, otteniamo i viaggi per ora, ma tale risultato è valido solo se il numero totale di posti disponibili sul sistema è completamente saturato, ovvero assumendo che al termine del viaggio ciascun posto sia occupato da un nuovo passeggero.

In generale questo non avviene. Infatti, nei calcoli di progettazione di un sistema, la matrice di domanda, fermata per fermata, permette di definire la sezione caratterizzata dal carico massimo accettabile. Tale carico determina il numero di posti che il sistema dovrà garantire. Conseguentemente le altre sezioni della linea così come l'intera linea, avranno un minor fattore di riempimento.

Il fattore di riempimento "α", cioè il rapporto tra i posti occupati e i posti disponibili sulla linea, può essere ottenuto, così come la lunghezza media di viaggio, dalla matrice di domanda.

Avremo allora:

$$Q_e = \frac{\alpha \cdot p \cdot N \cdot v}{D} \quad \text{in | viaggi-medi di lunghezza } D/h \quad (3)$$

$$\left| \frac{\text{viaggi-medi}}{h} \right| = \frac{|\text{fattore di riempimento}| \times |\text{posti/treno}| \times |\text{treni sulla linea}| \times |\text{velocità prestabilita in km/h}|}{|\text{lunghezza media di viaggio in km}|}$$

Dimensionalmente il numero di viaggi/h, siano essi di lunghezza pari ad 1 [km] o a D [km], corrisponde, rispettivamente, ai posti a bordo ed ai posti effettivamente occupati.

5. Quantità di trasporto

Ora, se nel numeratore dell'equazione sopraindicata (3) associamo ai posti la massa "m" di un passeggero (corretta, qualora fosse necessario, dal fattore di riempimento) e la parte della massa del treno "M/p = μ" riferita ad un posto, l'espressione diventa:

$$Q_m = p \cdot N \cdot (\alpha \cdot m + \mu) \cdot v \quad (4)$$

che, nei termini della meccanica del moto lineare, rappresenta una quantità di moto.

Questo vuol dire che "Q₀", nell'equazione (2), misura la "Quantità di Trasporto offerta" e che, similmente, "Q_e", nell'equazione (3), può essere considerata la "Quantità di Trasporto effettiva", dove l'unità di misura di "Q₀" sono i posti/h e quella di "Q_e" i viaggi-medi/h.

6. Forza Trasporto-Motrice

Se moltiplichiamo la formula (4) per la forza motrice "f" relativa all'unità di massa, forza richiesta per superare la resistenza di attrito (di rotolamento ed aerodinamica: resistenza specifica all'avanzamento) e l'impedenza inerziale, otteniamo l'equazione:

$$W_m = f \cdot p \cdot N \cdot (\alpha \cdot m + \mu) \cdot v \quad (5)$$

establishes the section having the maximum load that could be accepted. This load determines the number of places needed in the system. Consequently the other sections of the line as well as the entire line, will have a minor filling rate.

The fill factor "α", which is the ratio between places occupied and places available on the line, could be obtained, as could the mean trip length, from the demand matrix.

Then we have:

$$Q_e = \frac{\alpha \cdot p \cdot N \cdot v}{D} \quad \text{in | mean-trips of length } D/h \quad (3)$$

$$\left| \frac{\text{mean-trips}}{h} \right| = \frac{|\text{fill factor}| \times |\text{places/train}| \times |\text{trains on line}| \times |\text{scheduled speed in km/h}|}{|\text{mean trip length in km}|}$$

Dimensionally the number of trip/h, either 1 km length or D kms length, corresponds with respectively, the aboard places and the occupied places.

5. Quantity of transport

If now in the numerator of the above equation (3) we associate to the places the mass "m" of one passenger (corrected if necessary by the fill factor) and to the part "M/p = μ" of the train mass referring to one place, this numerator will read:

$$Q_m = p \cdot N \cdot (\alpha \cdot m + \mu) \cdot v \quad (4)$$

and represents a quantity of motion (momentum) in terms of linear motion mechanics.

This means that "Quantity of Transport offered" is the measure "Q₀" in equation (2) and, likewise, "effective Quantity of Transport" can be considered the measure "Q_e" in equation (3), where "Q₀" is expressed in trips of 1 km length/h (or places/h and "Q_e" is expressed in mean-trips/h.

6. Transport Motive Force

Let us multiply the formula (4) by the mean force "f" per mass unit, required to overcome friction resistances (rolling and air drag force: specific motion resistances) and inertial impedances of trains. This will give the equation:

$$W_m = f \cdot p \cdot N \cdot (\alpha \cdot m + \mu) \cdot v \quad (5)$$

where we have a product of forces multiplied by speed and this represents the mean net input of mechanical power required by the trains in order to produce the Quantity of Transport expected from the system.

With regard to the previously mentioned Bondgraph's analogies, the above formula's forces (e.d.: fpN(αm+μ)) could be described as "Transport Motive Forces" (TMF) of the system.

This will allow us to say that the number of passengers on line represents implicitly this "TMF".

dove abbiamo un prodotto di forze per velocità e questo rappresenta il valore medio netto della potenza meccanica richiesta dai treni in modo da produrre le Quantità di Trasporto desiderata dal sistema.

Facendo riferimento alle analogie tipiche della già menzionata Teoria Generale dei Grafi di Legame, le forze che compaiono nella formula precedente potrebbero essere classificate come le “Forze Trasporto-Motrici” (TMF).

Questa interpretazione ci consentirà di dire che il numero di passeggeri sulla linea rappresenta, implicitamente, tale TMF.

Conseguentemente, la medesima formula che definisce la “Quantità di Trasporto” potrebbe altrettanto bene descrivere la quantità (grandezza) conosciuta come “Potenza di Trasporto” [3], misurata in termini di posti-km/h offerti ovvero in termini di viaggi-medi/h effettivi.

7. Flusso di trasporto

Se dividiamo “ Q_0 ” and “ Q_e ” per la lunghezza della linea “ L ” (espressa in km) otterremo:

$$\Phi_0 = \frac{Q_0}{L} = \frac{p \cdot N \cdot v}{L} = \frac{p \cdot N}{L} \cdot v \quad \text{in } | \text{posti/h} | \quad (6)$$

$$| \text{posti/h} | = \left| \frac{\text{quantità di trasporto offerta}}{\text{lunghezza della linea in km}} \right| = \left| \frac{\text{numero totale di posti sulla linea}}{\text{lunghezza della linea in km}} \right| \times | \text{velocità in km/h} |$$

$$\Phi_e = \frac{Q_e}{L} = \frac{\alpha \cdot p \cdot N}{L \cdot D} \cdot v \quad \text{in } | \text{viaggi-medi per ora per km} | \quad (7)$$

$$| \frac{\text{viaggi-medi}}{\text{orakm}} | = \left| \frac{\text{quantità di trasporto effettiva}}{\text{lunghezza della linea in km}} \right| = \left| \frac{\text{numero di viaggi-medi sulla linea}}{\text{lunghezza della linea in km}} \right| \times | \text{velocità in km/h} |$$

“ Φ_0 ” rappresenta il “Flusso di Trasporto offerto” dal sistema misurato in posti-km/h per km cioè in posti/h.

“ Φ_e ” rappresenta il “Flusso di Trasporto effettivo” misurato in viaggi-medi/h per km.

8. Equazione di continuità

Tenendo in mente le precedenti formule (6) and (7) notiamo che abbiamo il prodotto di una densità lineare di posti (ovvero di viaggi-medi) moltiplicato per la velocità, in altre parole possiamo riconoscere la ben nota equazione di continuità per il flusso di trasporto in un regime stazionario.

Per ottenere nuovamente la “Quantità di Trasporto”, non dobbiamo far altro che moltiplicare queste equazioni per la lunghezza della linea “ L ” cioè:

$$Q_0 = \Phi_0 \cdot L \quad (8)$$

$$Q_e = \Phi_e \cdot L \quad (9)$$

Consequently the same formula of the Quantity of Transport could also give the quantity known as Transport Power [3], always in terms of places km/h offered or in terms of real mean-trips/h.

7. Transport flow

Let us divide the quantities “ Q_0 ” and “ Q_e ” by the line length “ L ” (in km) and we obtain:

$$\Phi_0 = \frac{Q_0}{L} = \frac{p \cdot N \cdot v}{L} = \frac{p \cdot N}{L} \cdot v \quad \text{in } | \text{places/h} | \quad (6)$$

$$| \text{places/h} | = \left| \frac{\text{quantity of transport offered}}{\text{line length in km}} \right| = \left| \frac{\text{total places on line}}{\text{line length in km}} \right| \times | \text{speed in km/h} |$$

$$\Phi_e = \frac{Q_e}{L} = \frac{\alpha \cdot p \cdot N}{L \cdot D} \cdot v \quad \text{in } | \text{mean-trips per hour and km} | \quad (7)$$

$$| \frac{\text{mean-trips}}{\text{h.km}} | = \left| \frac{\text{effective quantity of transport}}{\text{line length in km}} \right| = \left| \frac{\text{mean-trips on line}}{\text{line length in km}} \right| \times | \text{speed in km/h} |$$

“ Φ_0 ” represents the “Transport flow offered” by a system measured places km/h per km i.e. in places/h.

“ Φ_e ” represents the “Effective Transport flow” measured in mean-trips/h per km.

8. Continuity Equation

Bearing in mind that in both above formulas (6) and (7) we have the product of a linear density of places (or of mean-trips) multiplied by speed, we may recognize the well known continuity equation for the transport flow at a steady state.

To obtain again, the Quantities of Transport, we multiply these equations by the line length “ L ” i.e.:

$$Q_0 = \Phi_0 \cdot L \quad (8)$$

$$Q_e = \Phi_e \cdot L \quad (9)$$

9. Parameters proposed

I would suggest the use of the following parameters to identify and describe in a general and easy manner a Rapid Transit System:

$$(2) Q_0 = p \cdot N \cdot v$$

“Quantity of Transport offered” in | places-km / hour | or in places/h per trips 1 km |

$$(3) Q_e = \frac{\alpha \cdot p \cdot N \cdot v}{D}$$

“Effective Quantity of Transport” in | mean-trips / hour |

9. Parametri proposti

Vorrei suggerire l'uso dei seguenti parametri per identificare e descrivere in maniera generale e semplice i Sistemi di Trasporto Rapido Urbano:

- (2) $Q_0 = p \cdot N \cdot v$ "Quantità di Trasporto offerta" in | posti-km / h | ovvero in | posti/h per viaggi di 1 km |
- (3) $Q_e = \frac{\alpha \cdot p \cdot N \cdot v}{D}$ "Quantità di Trasporto effettivo" in | viaggi-medi / h |
- (6) $\Phi_0 = \frac{Q_0}{L} = \frac{p \cdot N \cdot v}{L} = \frac{p \cdot N}{L} \cdot v$ "Flusso di Trasporto offerto" in | posti per h |
- (7) $\Phi_e = \frac{Q_e}{L} = \frac{\alpha \cdot p \cdot N}{L \cdot D} \cdot v$ "Flusso di Trasporto effettivo" in | viaggi-medi per h e per km |

Di conseguenza, il peso dell'equipaggiamento, la sua potenza, il volume delle opere civili necessarie (più generalmente parlando: tutte le grandezze in gioco che implicano dei costi) devono essere riferite alla Quantità di Trasporto.

Per esempio, in luogo di dividere il costo del treno per i posti disponibili, operazione che dà come risultato il costo per posto disponibile, sarebbe preferibile utilizzare il costo per posto-km/h.

I parametri suddetti sembrano essere più vicini ad una corretta e coerente rappresentazione dei Sistemi di Trasporto Rapido Urbano, tuttavia ancora non spiegano il paradosso della Metro-Parata e non prendono in considerazione il fattore di attrazione del sistema per il passeggero.

10. Fattore di attrazione del trasporto di massa

Dal punto di vista del passeggero l'attrazione di viaggiare su un Sistema di Trasporto Rapido Urbano è espressa esclusivamente in termini proporzionali alla velocità del viaggio o, meglio e per ragioni psicologiche, in termini proporzionali al tempo impiegato per ciascun viaggio.

11. Tempo totale impiegato

Nella pratica ferroviaria [4], le grandezze locomotive-ora, vetture-ora ed equipaggi-ora sono sempre considerate nelle operazioni necessarie, per esempio, al calcolo delle ore di lavoro di una locomotiva necessario per portare a termine un determinato lavoro di trazione.

Tornando ai Sistemi di Trasporto Rapido Urbano, introduciamo il concetto di posti-ora per ora ed il concetto di viaggi-ora spesi per una data Quantità di Trasporto (offerta od effettiva). Richiamiamo le equazioni:

$$(1) Q_0 = p \cdot N \cdot v$$

$$(2) Q_e = \frac{\alpha \cdot p \cdot N \cdot v}{D}$$

Poiché la Quantità di Trasporto è riferita ad un'ora, è evidente che il numero totale di posti-ora per ora avrà lo stesso valore del numero dei posti disponibili sulla linea.

$$(6) \Phi_0 = \frac{Q_0}{L} = \frac{p \cdot N \cdot v}{L} = \frac{p \cdot N}{L} \cdot v \quad \text{"Transport Flow offered" in | places per hour |}$$

$$(7) \Phi_e = \frac{Q_e}{L} = \frac{\alpha \cdot p \cdot N}{L \cdot D} \cdot v \quad \text{"Effective Transport Flow" in | mean-trips per hour and per km |}$$

Consequently the equipment's weight, its power and the civil engineering works' volume necessary to build a transport system, (generally speaking, all cost bearing quantities) should be referred to the Quantities of Transport.

For instance, instead of dividing the cost of a train by the number of places available, which gives the cost per place, one should preferably indicate the cost per place-km/h.

The above parameters appear to be closer to a correct and coherent easy representation of the mass transport systems, but they do not explain the Metro-Parade paradox, nor indicate the attractiveness of the system from the passengers' point of view.

10. Mass transit's factor of attraction

From the passenger's point of view, the attraction to travel in a Rapid Transit System is seen exclusively in terms which are proportional to the travel speed or, even better, for psychological reasons in terms which are proportional to the inverse of the time spent in travelling.

11. Total time spent

In railway practice [4], the quantities locomotive-hours, car-hours and crew-hours were always taken into account to calculate, for instance, the hours of duty of a locomotive to comply with a given haulage work.

Referring to the Mass Transit Systems, we introduce the concept of place-hours per hour and the concept of trip-hours per hour spent for a given Quantity of Transport offered or effective.

We should now recall the equations

$$(1) Q_0 = p \cdot N \cdot v$$

$$(2) Q_e = \frac{\alpha \cdot p \cdot N \cdot v}{D}$$

Since the Quantity of Transport refers to one hour, it is evident that the total number of place-hours per hour is the same as the number of places available on the line.

In the same manner the total number of mean-trips-hour is equal to the number of mean trips contained within the line

$$T_0 = p \cdot N \quad \text{"Total time spent for the Quantity of Transport offered } Q_0 \text{ in | places-h / h |} \quad (10)$$

Allo stesso modo, il numero totale di viaggi medi-ora sarà uguale al numero di viaggi medi possibili sulla linea.

$$T_0 = p \cdot N \text{ "Tempo totale speso per Quantità di Trasporto offerta } Q_0 \text{ in } | \text{posti-h} / \text{h} | \quad (10)$$

$$T_e = \frac{\alpha \cdot p \cdot N}{D} \text{ "Tempo totale speso per la Quantità di Trasporto effettiva } Q_e \text{ in } | \text{viaggi-h/h} | \quad (11)$$

Il riferimento alle grandezze definite dalle formule (10) e (11) è più significativo della semplice indicazione delle velocità di spostamento o del tempo di viaggio del passeggero.

Per esempio nel paradosso della Metro-Parata invece dell'affermazione riportata nell'ultimo capoverso del capitolo 1, è preferibile dire che "sia la Metro che la Parata hanno lo stesso Flusso di Trasporto di 40.000 passeggeri/h, ma il Tempo Totale impiegato è valutato in 1.000 passeggeri-ora per ora e per km per il sistema Metro contro il Tempo Totale per il sistema Parata di 10.000 soldati-ora per ora e per km".

Nella formula che definisce il Flusso di Trasporto riconosciamo l'equazione di continuità. Ora, tenendo conto delle equazioni (8) and (9) cioè $Q_0 = \Phi_0 \cdot L$ e $Q_e = \Phi_e \cdot L$ la conclusione è valida anche per le Quantità di Trasporto, così apprendiamo che il rapporto tra i posti disponibili in due Sistemi di Trasporto aventi uguale Quantità di Trasporto ed uguale lunghezza è uguale al rapporto inverso alla loro velocità. Così la preferenza deve essere data ad un sistema a maggior velocità.

Una velocità più elevata implica infatti un minor Tempo Totale speso ed una minor densità dei passeggeri viaggianti nel sistema.

12. Capacità di linea

Le quantità $p \cdot N$ e $\frac{\alpha \cdot p \cdot N}{D}$ apparendo in tutte le equazioni che stiamo considerando, possono essere correttamente definite come segue:

$$C_0 = p \cdot N \text{ Capacità offerta di una linea in } | \text{posti-linea} | \quad (12)$$

$$C_e = \frac{\alpha \cdot p \cdot N}{D} \text{ Capacità effettiva di una linea in } | \text{viaggi-medi} / \text{linea} | \quad (13)$$

Infine, le Quantità di Trasporto possono essere espresse per mezzo del prodotto delle capacità e delle velocità:

$$Q_0 = C_0 \cdot v \quad (14)$$

$$Q_e = C_e \cdot v \quad (15)$$

13. Fattore di carico

Nelle formule che abbiamo utilizzato nel capitolo 9, possiamo facilmente riconoscere che il rapporto

$$k = \frac{\alpha}{D}$$

tra il fattore di riempimento e la lunghezza del viaggio medio rappresenta il Fattore di Carico della linea considerata.

$$T_e = \frac{\alpha \cdot p \cdot N}{D} \text{ "Total time spent for the Effective Quantity of Transport } Q_e \text{ in } | \text{trips-hour} / \text{hour} | \quad (11)$$

Reference to the quantities given by the above formulas (10) and (11) is more impressive than the simple indication of the speed or of the travel time per passenger. For instance, in the Metro-Parade paradox it is much better to state, instead of what we said in the last paragraph of chapter 1: "Both Metro and Parade have the same Transport Flow i.e. 40.000 passengers/h, but we have a Total Time spent of 1000 passenger-hours per hour and per km in the Metro versus a Total Time spent of 10.000 soldier-hours per hour and per km on the Parade."

In the formula giving the Transport Flow, we recognized the equation of continuity. Now, taking into account the equations (8) and (9) i.e. $Q_0 = \Phi_0 \cdot L$ and $Q_e = \Phi_e \cdot L$ this is also valid for the Quantities of Transport, so that we notice that the ratio between places available in two Transport Systems of equal Quantity of Transport and equal length, it is also the inverse ratio of their speeds. Then preference must be given to the system of greater speed.

The greater speed actually produces a lesser Total Time spent and a minor density of passengers travelling on the system.

12. Line capacity

The quantities $p \cdot N$ and $\frac{\alpha \cdot p \cdot N}{D}$ appearing in all the equations being considered, may be correctly named as follows

$$C_0 = p \cdot N \text{ offered Capacity of a line in } | \text{places-line} | \quad (12)$$

$$C_e = \frac{\alpha \cdot p \cdot N}{D} \text{ effective Capacity of a line in } | \text{mean-trips} / \text{line} | \quad (13)$$

Finally the Quantities of Transport are expressed by the product of the Capacities by the speeds:

$$Q_0 = C_0 \cdot v \quad (14)$$

$$Q_e = C_e \cdot v \quad (15)$$

13. Load factor

In the formulas we used in Chapter 9, we may easily recognize that the ratio

$$k = \frac{\alpha}{D}$$

between the fill factor and the mean trip length represents the Load factor of the line considered.

Load Factor is the ratio between effective mean-trips per hour actually performed by the System considered and the trips (1 km long) theoretically made in one hour by the same System in its mass transit duty. Therefore:

Il Fattore di Carico è il rapporto tra i viaggi-medi effettivi per ora realmente eseguiti dal Sistema considerato ed i viaggi (di 1 km di lunghezza) teoricamente fatti in un'ora dal medesimo Sistema nella sua funzione di sistema di trasporto di massa.

$$k = \frac{\alpha}{D} = \frac{Q_e}{Q_0} \text{ Fattore di Carico} \quad (16)$$

$$Q_e = k \cdot Q_0 \quad (17)$$

In questo modo la "Quantità di Trasporto effettiva" risulta uguale alla "Quantità di Trasporto offerta" moltiplicata per il "Fattore di Carico".

14. Postfazione

Un sistema di trasporto rappresentato attraverso gli usuali parametri indicatori si basa su concetti monodimensionali. La misura dell'ingombro del veicolo, p.e., è riassunta in un singolo punto ovvero soltanto nella sua lunghezza statica. La linea è naturalmente monodimensionale, più o meno lunga, ed altrettanto lo è il mezzo mobile; ma questo, lo sappiamo, in funzione della sua velocità coinvolge, o meglio, implica più o meno spazio. I principali parametri, usati come indicatori di un sistema di trasporto, sono dati attualmente attraverso misure convenzionali su una sezione del circuito. Il parametro "portata" è dato dal prodotto di due componenti:

- 1) *la densità lineare (K)*, intesa come l'inverso del distanziamento spaziale (medio) tra i veicoli (o posti del veicolo);
- 2) *la velocità dei veicoli sulla sezione infinitesima (V)*. Ma la velocità, lo sappiamo, influenza la stessa distanza fra i veicoli in forma quadratica ed inoltre nel caso di veicoli liberi, come pure di pedoni, anche l'ingombro trasversale, coi noti risultati di congestione ed arresto del flusso per questa virtuale crescita (con la velocità) e per l'impenetrabilità dei corpi [5].

Il risultato "portata" ovvero l'inverso del distanziamento temporale dà solo una indicazione, altrettanto monodimensionale, delle quantità (di veicolo o di posti) in movimento rispetto al tempo, e - è questo il paradosso - fa sì che il flusso risulti poi indipendente dalla velocità. Inoltre, stanti le necessità del distanziamento spaziale per questioni di sicurezza (spazio di frenatura), la occupazione in spazio p.e. di una quantità di veicoli è assai differente, a parità di velocità e di flusso, se i veicoli costituiscono un treno oppure no. Detto altrimenti, l'ingombro lineare monodimensionale di un treno da sei pezzi ogni sei minuti è assai più corto (e sicuro rispetto alla linea), di un pezzo ogni minuto; quest'ultima considerazione è una delle più discusse e citate a base della definizione di metropolitana "Pesante" o "Leggera".

Un altro parametro convenzionalmente usato per dare indicazioni di un sistema di trasporto è quello della "quantità prodotta di spostamenti", intesa come il prodotto dei veicoli·km (o posti·km), riferiti ad un anno. Ciò al fine di stabilire le variazioni della produzione

$$k = \frac{\alpha}{D} = \frac{Q_e}{Q_0} \text{ Load Factor} \quad (16)$$

$$Q_e = k \cdot Q_0 \quad (17)$$

Finally the "Effective Quantity of Transport" is equal to the "Quantity of Transport offered" multiplied by the "Load Factor".

14. Postface

A transport system represented by usual parameters is based only on unidimensional concepts. A vehicle's overall dimensions are summarized, f.e., in a single point or only in its static length. The line is naturally unidimensional, more or less long, and the same it is for the vehicle; but this, we know, in function of its speed, could be revealed, or better, involves more or less space. The main parameters, used as usual transport system indicators, are actually explained by conventional measures on a track section. The parameter "flow" is the product of two components:

- 1) the linear density (K), understood as the inverse of the spatial (mean) distance between the vehicles (or places on vehicles);
- 2) the speed of vehicles on section (V). But the speed, we know, affect the same distance among the vehicles but in a square form and moreover in case of free vehicles, as well as pedestrians, also the cross overall dimensions, with known results of congestion and stop of flow caused by this virtual-growth (with the speed) and the body's impenetrability [5].

The result "flow" or the inverse of the time distance, gives only an indication, equally unidimensional, of the quantities (of vehicles or places) in motion with respect to time, and -it is the paradox- cause the flow follows independent of speeds. Moreover, because of the spatial distance for safety matter (braking distance); the space occupation for an amount of vehicles is very different (speed and flow being equal): if the vehicles form a train (or not); in other words, the unidimensional global size of a six vehicles train every six minutes is more "short" (and safe for the line) of the size derived by the partition of the same six vehicles, anyone every one minute; this last matter is one of the most discussed and cited on the basis of settlement subway "Heavy" or "Light". Another parameter conventionally used to characterize a transport system is the "amount produced of movements", understood as the product of vehicles·km(or places·km), related to 1 year. This to fix the changes of the production of the transport system with reference to the yearly balance.

The professor Franco DE FALCO, inspired by a greatest admiration for the efficiency of [6] the "Never Stop rail-

del sistema di trasporto in riferimento al bilancio annuale.

Il prof. Franco DE FALCO, ispirato da una grandissima ammirazione per l'efficienza del [6] "sistema ferroviario senza fermate Adkins-Lewis" (basato su $KV = \text{costante}$) è stato perennemente alla ricerca, trasferita anche a suoi allievi, di mettere insieme (p.e. mediante la teoria dei Bond-Graph) il concetto di "flusso" e di "produzione del trasporto" senza perdere quello di "velocità", cui aggiungere i concetti di "quantità di moto" e di "potenza di trasporto"; ovvero l'importanza di dovere considerare non tanto le vetture-km/anno, quanto la "produzione di trasporto" espressa in vetture-km/ora, da estendersi certamente al giorno (ove la ciclicità del trasporto urbano è certo compiuta) e poi, in sede di bilancio, all'anno, senza che si perda la concezione della velocità di un sistema di trasporto. Questa infatti, in un sistema di trasporto, è la componente più importante soprattutto dal punto di vista energetico e attrattiva per l'utente sotto forma di tempo risparmiato. Nuovi o vecchi parametri, quindi, da evidenziare sarebbero potuti essere o dovrebbero essere le tonnellate-km/h ed in particolare poi, nel caso di trasporto di passeggeri: i viaggi-km/h, i viaggi-km/h al giorno, ovvero la effettiva quantità di passeggeri trasportati da un sistema di trasporto, proporzionalmente ai posti offerti, soprattutto al fine di considerarne l'efficacia, in una parola: la produttività.

Il prof. Franco DE FALCO ci ha lasciati il 6 dicembre 2016 e quanto sopra scritto è da considerarsi come l'eredità di un Professore Ingegnere dei Trasporti a quelli che sono stati suoi allievi, che lo hanno avuto come docente nel periodo degli studi universitari e come maestro nell'attività professionale. Eredità destinata a diventare oggetto di studio e di pubblicazioni future anche da parte di Franco ACCATTATIS e Massimo MONTEBELLO, che hanno avuto il privilegio di poter revisionare questo suo ultimo articolo per Ingegneria Ferroviaria.

ways Adkins-Lewis system" (based on $KV=\text{constant}$) has been constantly searching (transferring also to his students) for collecting -possibly on the example of Bond-Graph theory- the concept of "flow" and of "transport production" without losing the concept of "speed", which adding the concepts of "momentum" and of "transport power"; or the importance to consider not so much vehicles-km/year, but the "transport production" expressed in vehicles-km/h, to extend certainly it to 1 day (where the cyclic nature of urban transport is certainly ended) and after, on balance occasion, to 1 year, without losing the concept of the speed of a transport system. This in fact, in a transport system, is the component the most important one, above all concerning the energy point of view, and the most attractive one to user in time saving form. New or old parameters, therefore, to highlight could have been or could be the tons-km/h and particularly, in case of passenger transport: trips-km/h, on day, or the real amount of carried passengers by a transport system, proportionally to offered places, mainly in order to regard the effectiveness of them in 1 word: the productivity.

The professor Franco DE FALCO left us on December 6th 2016 and all above written is to be considering as the heritage from a Transport Professor Engineer to them who have been his students, who have had as professor during the university studies and as master in professional activity. Heritage to be used as object of study and of future publications also by two of these his students, Franco ACCATTATIS and Massimo MONTEBELLO, who were proud to have the opportunity to revise this his last article for Ingegneria Ferroviaria.

BIBLIOGRAFIA - REFERENCES

- [1] F. DE FALCO (1985), "Analysys of Transport System performances in Rapid Transport Systems", Proceedings of the course given at the International Center of Transportations Studies – ICTS, Elsevier Science Publishers B.V. Amsterdam.
- [2] J.U. THOMA (1975), "Introduction to Bond Graphs and their applications", Pergamon Press, Oxford.
- [3] F. LEHNER (1949), "Menge, Arbeit, Leistung und Wirkungsgrad in Verkehr", - Verkehr u. Technik (V+T) 8, 11 (1949) and I, 2 (1950).
- [4] E. STAGNI (1943), "Un criterio per la scelta delle più convenienti composizioni di treno in caso di traffici intensi", Rivista Tecnica delle Ferrovie Italiane 7 (1943).
- [5] F. DE FALCO, G. CASTRO, F. ACCATTATIS (1979), "Intervallo minimo tra i treni di una ferrovia metropolitana", Ingegneria Ferroviaria, n. 6.
- [6] M. MONTEBELLO, A. ALEI (1995), "Sistema di Trasporto Pubblico Urbano «Metro Continua»", T&T Trasporti e Trazione, n. 2.