



## Il ripristino della regolarità di una linea di trasporto collettivo

### *Bringing back regularity on a collective transport line*

Valerio GIOVINE<sup>(\*)</sup>  
 Alessandra LIBARDO<sup>(\*\*)</sup>  
 Giulia GNOLA<sup>(\*\*\*)</sup>  
 Andrea SARDENA<sup>(\*\*\*\*)</sup>  
 Giorgio SALERNO<sup>(\*\*\*\*)</sup>

**Sommario** - L'utente di un servizio di trasporto collettivo a frequenza giudica e percepisce la qualità del servizio sulla base di pochi parametri. Primo fra tutti è la "frequenza", da cui dipende il tempo d'attesa e, quindi, il tempo di trasporto. Nel progettare il servizio viene calcolato un numero di veicoli che sia adeguato per soddisfare la domanda e si stabilisce un orario per le partenze dai capilinea in modo da avere lo stesso distanziamento tra di essi. Purtroppo è noto che durante lo svolgimento del servizio i distanziamenti raramente possono rimanere costanti. In questa nota non vengono esaminati i motivi per cui ciò accade, ma si individua una strategia efficace per porre rimedio in breve tempo a questa situazione e ripristinare la regolarità del servizio. Una conclusione importante cui giunge il presente lavoro è costituita dalla necessità di ricorrere a delle riserve di veicoli e personale, aspetto che sovente viene trascurato nella progettazione di un sistema TPL, anche se poi di fatto le si mettono in gioco sovradimensionando il servizio rispetto alla domanda attesa.

### 1. Introduzione

In questa nota si suggerisce un metodo per il ripristino della regolarità di una linea di trasporto collettivo a frequenza; il riferimento più significativo è quello di una linea urbana di autobus, sia in sede promiscua che in sede propria. Il metodo è applicabile agli altri sistemi di trasporto a frequenza con gli opportuni adattamenti. Il metodo è quello di ritardare la partenza di alcuni veicoli dai capilinea, anziché cercare di farli partire il prima possibile per riallinearsi all'orario programmato, così come sembra essere la strategia abituale.

**Abstract** - Collective transport transit user judge and perceive the quality of the service using few parameters. First, "frequency", on which depends waiting time and consequently time for transport (travel time). In the making of the service, is evaluated the number of vehicles to satisfy the demand of transport and a timeline is scheduled for departures from the terminal in order to have the same distances between them. It's unfortunately well known that during the service distances quite never remains stable. In this paper we study the reasons why this happen, but at the same time we suggest an effective strategy to solve this situation and fix back a regular service. A fundamental conclusion of this study is the understanding of the importance to have vehicles' and employees' reserves, an aspect that is often underestimated in a Local Public Transport project and simply solved with the creation of a surplus of service respect the real demand of transport.

### 1. Introduction

This article suggests how to re-shape regularity on a collective public transport line; the most important example is about a local autobus line, in private area or in his own. The same method can be applied to other frequency transport system making the correct corrections. The proposed procedure consider the delay of some vehicles departure from terminals instead of the current strategy that make them leave as soon as possible in order to respect of timetable. The scheme adopted to describe the line service

<sup>(\*)</sup> Responsabile Servizi per la Circolazione di RFI.

<sup>(\*\*)</sup> Direzione Pianificazione della Autorità di sistema portuale del mare Adriatico settentrionale.

<sup>(\*\*\*)</sup> Dipartimento culture del progetto dell'Università IUAV di Venezia.

<sup>(\*\*\*\*)</sup> Docente Università di Firenze a r.

<sup>(\*)</sup> Head of Services for the RFI Circulation.

<sup>(\*\*)</sup> Direction Planning of the Port system authority of the northern Adriatic Sea.

<sup>(\*\*\*)</sup> Culture Department of the project at the IUAV University of Venice.

<sup>(\*\*\*\*)</sup> Professor of University of Florence in R.

Lo schema adottato per descrivere il servizio di una linea è deterministico e ipersemplificato, ma si mostra adeguato perché in grado di cogliere l'essenza del fenomeno e di produrre una strategia costituita da poche e semplici regole, applicabili fin da subito nell'esercizio. Vengono inoltre indicate alcune linee di approfondimento importanti e necessarie, soprattutto in relazione all'uso esplicito delle riserve.

È bene tener presente un principio e un fatto: il principio è che la regolarità deve avere un costo e il fatto è che già adesso, proprio per garantire una forma di regolarità, la riserva viene implicitamente impiegata utilizzando un numero di veicoli maggiore di quello strettamente necessario. Si tratta quindi dell'utilizzo di una riserva "calda", mentre è certamente più economico gestire una riserva "fredda"<sup>(1)</sup>. A questo tema va collegata una necessaria applicazione ai contratti di servizio e alle relative penali per difetto di regolarità, nonché ai criteri di assegnazione del servizio, privilegiando le imprese che diano dimostrazione di aver previsto e studiato come utilizzare le riserve.

## 2. Lo schema base

### 2.1. Formalizzazione della linea e del servizio programmato

Il criterio abituale adottato nel progettare un servizio di trasporto collettivo a frequenza è quello di inserire in linea un numero di veicoli  $K$  sufficiente a soddisfare la domanda nella tratta più carica. Nell'esercizio, si cerca di mantenere un distanziamento  $h^*$ , uguale tra tutti i veicoli lungo la linea. Nel determinare  $K$  e  $h^*$  viene abitualmente aggiunto un margine di sicurezza per tener conto dell'aleatorietà del fenomeno.

L'ipotetica linea di trasporto collettivo posta a base dello studio sarà del tipo definito circolare, con un solo capolinea. Le tratte saranno  $N$ , numerate da 1 ad  $N$ , comprendendo tra esse un'ultima tratta fittizia che rappresenterà la sosta al capolinea. Ad ogni tratta viene associata una palina posizionata al termine della tratta stessa. Al capolinea, quindi, l'unica palina fisica esistente viene rappresentata fittiziamente con due paline distinte: la palina  $N - 1$ , cui si fa corrispondere l'ultima tratta fisica della linea e dove scendono i passeggeri, e la palina  $N$ , che corrisponde alla sosta dei veicoli, alla salita dei passeggeri e alla partenza dei veicoli dal capolinea. Questa palina potrà essere ugualmente indicata con il numero 0 per comodità di notazione e per evidenziare come la metrica, sia delle distanze che dei tempi, avrà inizio da questa.

<sup>(1)</sup> Il concetto di riserva "fredda" identifica una risorsa che non viene utilizzata, ma è mantenuta disponibile per sopperire a necessità che dovessero sopraggiungere. Con riserva "calda", invece, s'intende una risorsa che viene impiegata indipendentemente dall'effettiva necessità. Facendo riferimento ai veicoli, può corrispondere ad un maggior numero di essi in esercizio rispetto al "corretto" dimensionamento o da uno o più veicoli "accesi" sempre a disposizione. Ciò costituisce una possibile fonte di spreco.

*is intentionally simple and peculiar, because it shows better this phenomenon and the needing to provide basic and ready to use rules. There are also suggestions about some necessary focus that should be done, especially when we cite the use of reserves.*

*An important item has to be kept in mind: the main precept is that regularity costs and right now reserves are used implicitly adopting more vehicles than needed to grant regularity. We can say that in this case we use a form of "hot" reserve instead of a "cold"<sup>(1)</sup> and cheaper one. With this theme, we also have to link the application of services contracts and relative penalties for lacks in regularity, but also to criteria for the assignation of the service, giving more chances to companies that prove to have predicted and studied how to use reserves.*

## 2. Basic framework

### 2.1. Line formalization and scheduled program

*The common criteria adopted to project a frequency collective public transport is to use a number  $K$  of vehicles on the line enough to satisfy the demand in the heavier track. To optimize it, it's good to keep a  $h^*$  distance between all vehicles along the entire line during the exercise. To determine  $K$  and  $h^*$  it's usual to add a margin of error just to keep in mind the phenomenon of randomness. The hypothetical collective transport line used in this study will be a circular one, with only one terminal. Sections will be  $N$ , from 1 to  $N$ , and these will have one more fake section that stands for a break at the terminal. Each section will have one signpost fixed at the end of it. As consequence, the only real existing signpost appears fictitiously as two separated: signpost , that stands for the last physical track where all passengers leave, and signpost  $N$ , that stands for vehicles stop, going up of passengers and the leaving of all vehicles from the terminal. This signpost can be easily labeled as 0, both for convenience and to highlight that measures, of distance and time, starts from here.*

*All tracks, including the fake one at the terminal, will have the same length  $l^*$ . As consequence, the total amount of line  $L$  will be  $Nl^*$ . To evite useless complication related to measure units,  $l^*$  will always be considered 1 in numerical sample. Travel times scheduled in all tracks  $t_i^*$  ( $i = 1, \dots, N$ ) will be identified as  $t^*$ . The same simplification done for times will be adopted for lengths, applying 1 in numerical*

<sup>(1)</sup> The concept of "cold" reserve identifies a resource that is not used, but that is available in case of necessity. Whereas "hot" reserve identifies a resource used independently from the effective necessity. Considering vehicles, it could mean more of these in exercise respect the correct dimension, or one or more kept "on" and always available.

Tutte le tratte, compresa quella fittizia al capolinea, avranno la medesima lunghezza  $l^*$ . La lunghezza fittizia totale della linea  $L$  sarà quindi pari  $Nl^*$ . Nelle esemplificazioni numeriche,  $l^*$  sarà sempre convenzionalmente pari a 1, senza la necessità di curarsi delle unità di misura.

I tempi di percorrenza programmati su tutte le tratte  $t_i^*$  (con  $i = 1, \dots, N$ ) saranno identici e pari a  $t^*$ . Anche nel caso dei tempi, nelle esemplificazioni numeriche, si adatterà la medesima convenzione fatta per le lunghezze, ponendoli pari a 1 e non curandosi delle unità di misura. Di conseguenza,  $L$  ed  $N$  in questa trattazione avranno lo stesso valore numerico e saranno intercambiabili. Il tempo di percorrenza programmato  $t_N^*$ , ossia il tempo di attesa al capolinea prima della partenza, sarà anch'esso pari a 1. Ma, a differenza dei tempi delle altre tratte che verranno considerati immutabili, potrà essere modificato allo scopo di garantire la regolarità.

Il tempo sul giro programmato  $T^*$  sarà:

$$T^* = Nt^* \quad (1)$$

Si supporrà che il numero  $K$  di veicoli in servizio sia stato determinato in modo tale da soddisfare la domanda con un margine di sicurezza sufficiente per garantire il servizio regolare al variare aleatorio della domanda stessa e dei tempi di percorrenza. In questa trattazione, con la quale si propone una strategia per ridurre le anomalie del servizio, sarà esclusa l'ipotesi di utenti che non possano salire sul primo veicolo che si presenta loro alla fermata. I veicoli verranno messi in servizio egualmente distanziati l'uno dall'altro, per cui l'intervallo programmato  $h^*$  si ricaverà dalla relazione seguente:

$$h^* = T^* / K^* = t^*N / K \quad (2)$$

Da questa relazione si ricava la seguente:

$$h^* / t^* = N / K \quad (3)$$

Se questi due rapporti fossero  $<1$ , l'intervallo programmato sarebbe minore del tempo di percorrenza di una tratta ( $h^* < t^*$ ) e il numero di veicoli sarebbe superiore a quello delle tratte ( $K > N$ ). Di conseguenza in qualche tratta si troverebbero più veicoli. Queste condizioni sono del tutto inusuali, per cui si manterrà l'ipotesi che nel servizio programmato in ogni tratta non vi possa essere più di un veicolo e che l'intervallo programmato sia maggiore del tempo di percorrenza di una tratta. In termini formali:

$$h^* / t^* = N / K > 1.$$

## 2.2. Stato della linea e anomalie del servizio

Con stato della linea in un certo istante s'intenderà l'insieme delle posizioni  $s_K$  di ciascuno dei  $K$  veicoli lungo la linea. La posizione  $s_K$  è intesa come distanza dalla palina 0, per cui dovrà essere  $0 \leq s_K \leq L$ . La posizione così intesa, indica allo stesso tempo in quale tratta e in quale punto di essa si trova il veicolo. Ad esempio,  $s_3 = 9,5$  indica che il veicolo 3 si trova a metà della decima tratta e che alle sue spalle ci sono altri due veicoli tra esso e il capolinea. Nel caso di un veicolo al capolinea, dovrebbe essere sempre  $L - 1 < s_K \leq L$ . In tal caso, la parte decimale di  $s_K$  indicherebbe

items to evite measure problems. Doing this,  $L$  and  $N$  will acquire the same numerical value and could be exchange as well. Travel scheduled time  $t^*$ , that stands for the waiting time at the terminal before departure, will be 1 as others values. But this last value could be changed in order to grant regularity, whereas other tracks' times will always be unmodifiable.

Time on scheduled loop  $T^*$  will be:

$$T^* = Nt^* \quad (1)$$

It can be supposed that the numbers of vehicles  $K$  in service has been chosen in order to satisfy the demand with a considerable marginal error, enough to grant the regular service with unfixed demands and irregular travel times. This way supposes a strategy to reduce the variables of the service, but the hypothesis that passengers can't get on the first vehicles that arrives to their stops will be excluded. Vehicles will be submitted in service regularly and respecting an equal distance, so that the scheduled interval  $h^*$  will be taken from:

$$h^* = T^* / K^* = t^*N / K \quad (2)$$

And from this relation:

$$h^* / t^* = N / K \quad (3)$$

If both (2) and (3) were  $<1$  the in between scheduled time would be less than the travel time of the track itself ( $h^* < t^*$ ) and the number of vehicles would be huge than the one needed for tracks ( $K > N$ ). As consequence, in some tracks there would be more vehicles. These conditions are completely unusual. For that, will remain the hypothesis of no more than one vehicle per track in the planned service and that the interval scheduled will be more than the travel time of one track. Formally:

$$h^* / t^* = N / K > 1.$$

## 2.2. Line state and malfunction of the service

Line state in an instant means the amount of position  $s_K$  of each vehicle  $K$  along the line. Position  $s_K$  means distance from signpost 0, so it will be  $0 \leq s_K \leq L$ . In this way the position informs at the same time the track the vehicles is on and at which point. E.g.,  $s_3 = 9,5$  tells that vehicle 3 is in the middle of ten's track and that behind there are two other vehicles between him and the terminal. If one single vehicle is at the terminal, should always be:  $L - 1 < s_K \leq L$ . In this way, decimal value of  $s_K$  would show waited time at the terminal until that instant. In reality it may happen that waiting time at the terminal goes over planned interval, but it's important that in this procedure it won't happen. We underline that it's not important to identify the precise physical position of the vehicle, cause the procedure it's focused on the entire disposition on the line, even if the physical sequence would be modified moving one vehicle in a different position, as it can happen using the above suggested model.



rebbe il tempo trascorso in attesa al capolinea stesso fino a quell'istante. Nella realtà, a volte capita che il tempo di attesa al capolinea superi l'intervallo programmato, ma in questa trattazione è fondamentale che ciò non avvenga.

È opportuno notare come non sia necessaria l'identificazione fisica del singolo veicolo dal momento che interessa solo la disposizione complessiva degli stessi lungo la linea, anche nel caso ne venga modificata la sequenza fisica con il riposizionamento di un veicolo in una posizione diversa da quella in cui si trovava rispetto agli altri, così come può succedere applicando la metodologia suggerita.

Dato uno specifico stato della linea, l'effettivo distanziamento  $h_k$  del veicolo  $k$  dal veicolo precedente  $k+1$  si calcola con l'espressione (4):

$$h_k = s_{k+1} - s_k \quad \forall k \in (0, \dots, K-1) \quad (4)$$

Anche in questo caso s'introdurrà una convenzione sugli indici  $k$  analoga a quella posta per gli indici delle paline, per cui il primo veicolo che prenderà la partenza può essere indicato indifferentemente con l'indice  $K$  o con l'indice  $0$ . In tal modo, l'espressione (4) può rappresentare i distanziamenti tra tutti i veicoli, compreso quello tra l'ultimo veicolo che ha già lasciato il capolinea ( $k = 1$ ) e il successivo ( $k = 0$ ), sotto la condizione che quest'ultimo effettui una sosta al capolinea pari a quanto programmato  $h^*$ .

Si dirà che la linea si trova in uno stato "regolare" se il distanziamento tra tutti i veicoli in servizio sulla linea, espresso tramite la (4), è pari ad  $h^*$ . In modo formale: la linea si trova in uno stato regolare se e solo se

$$h_k = h^* \quad \forall k \in (0, \dots, K-1) \quad (5)$$

Qualora questa condizione non sia rispettata, si parlerà di una situazione "anomala". In questo lavoro non si prenderanno in esame le modalità e le cause che hanno provocato la situazione anomala, ma solo come riportare il sistema ad una situazione regolare nel minor tempo possibile.

### 3. Il ripristino della regolarità

#### 3.1. La formazione di "plotoni"

Nel caso non sia rispettata la condizione (5), siccome il numero di veicoli in linea è sempre  $K$ , vi sarà certamente almeno un distanziamento tra due veicoli successivi maggiore di quello programmato  $h^*$  ed almeno uno inferiore. Si definisce "plotone" un insieme di veicoli successivi tra i quali il distanziamento è ovunque inferiore ad  $h^*$ . Si possono avere più plotoni. Si presentano due casi limite di plotone: il primo è costituito da un solo veicolo quando questi abbia un distanziamento maggiore o uguale di  $h^*$ , sia davanti a sé che alle sue spalle; il secondo è costituito dall'insieme di tutti i veicoli in linea tra i quali si abbia un solo "buco", ossia con un distanziamento maggiore ad  $h^*$ .

La prassi corrente per riportare alla normalità lo stato di una linea è soprattutto quella di cercare di ripristinare l'orario programmato, il più delle volte affrettando la par-

Considering one specific state of the line, the real distance  $h_k$  of vehicle  $k$  from the previous  $k+1$  is:

$$h_k = s_{k+1} - s_k \quad \forall k \in (0, \dots, K-1) \quad (4)$$

Even in this case it will be introduced an explanation of index  $k$  as previously done for signposts' indexes, so that the first vehicle that leaves can be at the same time labeled  $k$  or  $0$ .

In this way, formula (4) shows distances between all vehicles, including the one between the last vehicle that has left the terminal ( $k=1$ ) and the one that follows ( $k=0$ ), posted that this last one has to stop at the terminal as long as planned  $h^*$ .

It can be said that the line is "regular" if the distance between all vehicles in service on the line, as expression (4) says, is  $h^*$ . Formally the line is regular only if:

$$h_k = h^* \quad \forall k \in (0, \dots, K-1) \quad (5)$$

If this condition won't be respected it can be an irregular situation. In this article won't be considered the reasons that cause the irregular situation but only ways to bring back the system to a standard situation in less time as possible.

### 3. Back to regularity

#### 3.1. The creation of the plotone

If condition (5) won't be respected, considering that the number of vehicles in line is always  $K$ , there would be at least one distance between two following vehicles more than the planned  $h^*$  and one lower.

We define "plotone" a group of following vehicles through which distance is always less than  $h^*$ . There can be more than one plotone at the same time. There are two case limits of plotone: the first one is composed of a vehicle that has more distance or the same than  $h^*$ , both in front and back; the second is made of all vehicles in line through which there is only one gap, with a distance that is more of  $h^*$ .

The current way to bring back to regularity the state of a line is the attempt to respect planned timetable, most of the time pushing for departures, not only when the distance from the previous vehicle is more than  $h^*$ , but also when is less. This should highlight the impossibility to achieve the objective in short times.

Nowadays almost all public collective transport companies give users real time information, so that it's extremely simple for everyone to check the state of a line. For instance, some information given by Atac of Rome have been checked. The choice to use Atac is due to two main items:

- people who writes are not regular users;
- Atac app gives you the forecasted time of arrival of a

tenza, non solo quando il distanziamento dalla vettura precedente è superiore ad  $h^*$ , ma, a volte, anche quando è inferiore. Dovrebbe risultare evidente come in questo modo non si possa raggiungere lo scopo in tempi brevi.

Oggi, quasi tutte le imprese di trasporto collettivo urbano forniscono informazioni in tempo reale all'utenza per cui è facile per chiunque verificare lo stato di una linea. In particolare, sono state monitorate alcune informazioni fornite dall'Atac di Roma. La scelta di monitorare l'Atac è dovuta a due motivi: 1) coloro che scrivono ne sono utenti abituali; 2) l'applicazione dell'Atac, oltre ad indicare il tempo di arrivo previsto ad ogni fermata di un veicolo selezionato, fornisce in un'unica schermata la posizione di tutti i veicoli sulla linea.

Nella Fig. 1 si può vedere la posizione dei veicoli della linea 64 alle 19 del 28/9/17. Si è scelta questa linea perché relativamente corta come numero di fermate e perché è una delle linee "storiche", nota perché unisce la Stazione Termini con San Pietro e, di conseguenza, affollata da turisti. I tempi di arrivo alle singole fermate sono quelli relativi al veicolo più in alto nella figura e in colore più chiaro, ossia l'ultimo partito dal capolinea o ancora in esso. È facile calcolare i distanziamenti tra due veicoli come differenza dei tempi indicati. È evidente come in quel momento la regolarità fosse fortemente compromessa: i distanziamenti attesi erano di 7, 13, 19, 27, 2 e 8 minuti<sup>(2)</sup>. È certamente poco accettabile da parte degli utenti ricevere nella stessa schermata da parte dell'azienda una dichiarazione di frequenza programmata che preveda distanziamenti di 5 o 6 minuti (cfr. le partenze previste), smentita contestualmente da una situazione di fatto come quella riportata, la quale invece comporta distanziamenti tra i veicoli molto differenziati e con valore medio di 12:40 minuti!

L'inadeguatezza della programmazione può essere verificata anche ricavando dalla tabella il tempo sul giro, che risulta essere maggiore di 70 minuti. Con soli 7 veicoli in linea risulta impossibile ottenere il distanziamento, presumibilmente considerato "giusto" e comunque dichiarato all'utenza, di 5 o 6 minuti.

<sup>(2)</sup> I due distanziamenti di 19 e 27 minuti, alle spalle e davanti al veicolo che si trova alla fermata Fornaci, non sono ricavabili dalla tabella per il modo particolare di trattare il passaggio dei veicoli al capolinea da parte del sistema informativo. Di essi non viene data la posizione finché non hanno preso la partenza. Per questo motivo, i due dati presentati sono stati stimati dagli autori

Partenze dal capolinea	Partenze dal capolinea
18:59 19:05 19:11 19:17 19:23	18:56 19:01 19:06 19:11 19:16
(Altri orari)	(Altri orari)
Fermate	Fermate
Seleziona una fermata oppure una vettura.	Seleziona una fermata oppure una vettura.
<ul style="list-style-type: none"><li>18:59 Termini (MA-MB-FS)</li><li>19:02 Repubblica (MA)</li><li>19:04 Nazionale/Torino</li><li>19:06 Nazionale/Quattro Fontane</li><li>19:07 Nazionale/Palazzo Esposizioni</li><li>19:09 Nazionale/Quirinale</li><li>19:12 P.za Venezia</li><li>19:13 Plebiscito</li><li>19:16 Argentina</li><li>19:17 C.so Vittorio Emanuele/S. A. Della Valle</li><li>19:19 C.so Vittorio Emanuele/Navona</li><li>19:20 Chiesa Nuova</li><li>19:21 C.so Vittorio Emanuele/Tassoni</li><li>19:23 Ponte Vittorio Emanuele</li><li>19:25 Lgt Sasia/S. Spirito (H)</li><li>19:29 Cavalleggeri/S. Pietro</li><li>19:31 Crocifisso/Porta Fabbrica</li><li>19:33 P.za Stazione S. Pietro (FL)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>-- P.za Stazione S. Pietro (FL)</li><li>-- Fornaci/Mura Aurelle</li><li>-- Fornaci</li><li>19:01 Cavalleggeri/Fornaci</li><li>19:03 P.za Della Rovere</li><li>19:04 P.za Della Rovere</li><li>19:07 Lgt Sangallo/Perosi</li><li>19:08 L.go Fiorentini</li><li>19:09 Accialotti</li><li>19:10 C.so Vittorio Emanuele/Tassoni</li><li>19:11 Chiesa Nuova</li><li>19:12 C.so Vittorio Emanuele/Navona</li><li>19:14 C.so Vittorio Emanuele/Argentina</li><li>19:15 Via Torre Argentina</li><li>19:19 Ara Coeli/Piazza Venezia</li><li>19:22 P.za Venezia</li><li>19:26 Nazionale/Quirinale</li><li>19:28 Nazionale/Palazzo Esposizioni</li><li>19:30 Nazionale/Quattro Fontane</li><li>19:32 Nazionale/Torino</li><li>19:34 Terme Diocleziane</li><li>19:36 Termini (MA-MB-FS)</li></ul>

Fig. 1 - La linea 64 dell'Atac di Roma, il 28/9/2017 alle 19:00.  
Fig. 1 - Atac's Rome line 64, September 28<sup>th</sup> 2017, 7pm.

selected vehicle but also a map that contains all vehicles' positions on the line.

You can see in Fig. 1 the position of all vehicles of the line 64 at 7pm of September 28<sup>th</sup> 2017. This line has been chosen because it's quite contained for the number of stops, but also because is one of the historical line, well known because it connects Termini Station to S. Pietro, crowded by tourist as well. Arrival times at each stop are related to the vehicle higher in the Fig. and light colored, the last to leave the terminal or that's still there. It's easy to calculate the distance between two vehicles as difference of the times indicated. It's obvious that in the considered moment regularity was highly compromised: waited distances were 7, 13, 19, 27, 2 and 8 minutes. Having on the same screen this information and a company's statement that declares planned distances of 5 or 6 minutes (see scheduled departures), is not well perceived by passengers, especially because the average of the distance through vehicles is 12:40 minutes!

The same deficiency of the program can be verified

<sup>(2)</sup> Distances of 19 and 27 minutes, back and front the vehicle that stands at stop Fornaci, are not obtainable from the chart because of the particular way the informative system works when vehicles pass at the terminal. Their position is not given until they've left. For this reason, the two datas have been estimated by the authors.

### 3.2. Regole per il ripristino della regolarità

La strategia proposta per ritornare rapidamente alla normalità è opposta a quella abituale: è necessario ritardare la partenza dal capolinea dei veicoli del plotone successivi al primo. In questo modo si può facilmente ripristinare il distanziamento  $h^*$  tra i veicoli del plotone e riavvicinare in modo più consistente l'ultimo veicolo del plotone con il primo del plotone successivo (o con la testa dello stesso plotone nel caso vi sia un solo plotone). Per entrare nel dettaglio, le regole da seguire sono le seguenti:

1. *Il primo veicolo del plotone parte subito*: la regola ha un'evidente ragion d'essere dal momento che il distanziamento dal veicolo precedente è maggiore di  $h^*$  e di conseguenza, non appena giungerà al capolinea, prenderà la partenza.
2. *I successivi veicoli vengono tutti ritardati*: ogni veicolo del plotone successivo al primo verrà trattenuto al capolinea fino a raggiungere il distanziamento programmato  $h^*$  dal veicolo precedente. Questa procedura è valida nel caso che il veicolo precedente abbia già lasciato il capolinea. Nel caso ciò non sia, verrà applicata la regola successiva.
3. *Quando è possibile, si retrocede un veicolo*: se un veicolo giunge al capolinea quando il precedente non ha ancora preso la partenza (a causa della regola precedente), allora uno dei due veicoli verrà messo fuori servizio<sup>(3)</sup> e sarà retrocesso lungo la linea reinserendolo dietro al veicolo in coda al plotone con un distanziamento pari a quello programmato  $h^*$ . Mettere fuori servizio e retrocedere il veicolo  $K - 1$  sarà possibile solo nel caso che così facendo non si crei un distanziamento maggiore di  $h^*$  tra il veicolo  $K - 2$  che si trova alle sue spalle ed il veicolo  $K$  che si trova in attesa di prendere la partenza. Affinchè ciò non accada, il veicolo  $K - 2$  dovrà giungere al capolinea in tempo per prendere la partenza dopo un tempo  $h^*$  dalla partenza del veicolo  $K$ . Siccome questo veicolo partirà all'istante  $h^* - s_1$ , l'arrivo del veicolo  $K - 2$  dovrà avvenire al massimo dopo  $2h^* - s_1$  e poiché il veicolo  $K - 2$  giungerà al capolinea all'istante  $L - 1 - s_{K-2}$ , per poter mettere un veicolo fuori servizio, dovrà essere rispettata la seguente condizione (6):

$$L - 1 - s_{K-2} \leq 2h^* - s_1 \quad (6)$$

La retrocessione di un veicolo ha l'effetto di modificare la configurazione dei plotoni ed eventualmente il numero degli stessi. Il plotone i cui veicoli si apprestano alla partenza dal capolinea diminuisce di un'unità, la quale viene aggiunta al plotone che segue. Però, nel caso in cui il buco tra i due plotoni fosse stato  $\geq 2h^*$ , il veicolo retrocesso formerebbe da solo un nuovo plotone. In ogni caso, nulla cambierebbe nell'applicazione delle regole.

taking the time on track from the panel, that results 70 minutes<sup>(2)</sup>. 7 vehicles in line are not enough to obtain the distances, presuming that the planned one is correct as declared to passengers, of 5 or 6 minutes.

### 3.2. Rules on how to re-establish regularity

The purposed strategy to obtain an easy going back to regularity is the opposite of the commonly adopted: departure time from the terminal for all vehicles of the plotone after the first should be delayed. Doing this, it could be easily rebuilt the distance  $h^*$  between plotoni's vehicles and bring the last vehicle of the plotone closer to the one that follows (or the head of the same plotone if there are not others). For more details, these are the rules that have to be respected:

1. The first vehicle of the plotone leaves immediately: the rule is quite obvious considering that distance from the previous vehicle is more than  $h^*$  and as consequence, as soon as will reach the terminal, won't be in time.
2. Following vehicles must be delayed: each vehicle of the plotone that follows the first will be kept at the terminal until when the planned distance  $h^*$  from the previous will be reached. This procedure is correct if the previous vehicle has just left the terminal, otherwise rule number 3 must be applied.
3. When possible, one vehicle should be brought back: if one vehicle reaches the terminal when the previous has not yet departed (because of the previous rule), one of them will be putted out of service<sup>(3)</sup> and will be brought back along the line and reintroduced after the last plotone's vehicle to reach the planned instant  $h^*$ . To put out of service and to bring back vehicle will be possible only if there won't be the creation of a distance more than  $h^*$  between vehicle that is behind it and vehicle  $K$  that waits to leave. To evite this situation, vehicle has to reach the terminal in time to leave after a time  $h^*$  after the leaving of the vehicle  $K$ . Considering that this vehicle will leave at the instant  $h^* - s_1$ , arrival of vehicle has to be at maximum after  $2h^* - s_1$  and since vehicle will arrive at instant  $L - 1 - s_{K-2}$  to put a vehicle out of service the following condition (6) has to be followed:

$$L - 1 - s_{K-2} \leq 2h^* - s_1 \quad (6)$$

The moving back of a vehicle has the effect to modify the form of plotoni but probably also their number. Plotone whose vehicles are going to leave from the ter-

<sup>(3)</sup> Ai fini del metodo i due veicoli sono intercambiabili; forse non lo sono i conducenti. Comunque si reputa che sia un caso in cui possa essere più produttivo lasciare che la decisione venga affidata ad una gestione sul campo.

<sup>(3)</sup> For this method, the two vehicles are substitutive: maybe the drivers are not. However, it seems better in this case to leave the decision to a manager that's physically on the location.



4. *Si potrebbe anche...* prendere in considerazione l'ipotesi di togliere un veicolo dal plotone e inserirlo in un buco diverso da quello in coda al proprio plotone, se questo potesse portare maggiori benefici all'utenza in termini di tempi di attesa e compatibilmente con i tempi richiesti per raggiungere la nuova posizione. Questa opzione non viene approfondita in questa sede, ma sarà sempre una possibilità da valutare da parte del gestore della linea per migliorare ulteriormente il processo.
5. *Quando  $h^*$  è impossibile:* se l'anomalia del servizio è tale da rendere impossibile mantenere il distanziamento programmato  $h^*$  tra tutti i veicoli, così come evidenziato dall'esempio della Fig. 1, se ne dovrà prendere atto e stimare in modo "provvisorio" un tempo sul giro realistico  $T^*_{\text{provv}}$ . Sulla base di questo valore si adotterà un distanziamento  $h^*_{\text{provv}} = T^*_{\text{provv}}/K$ . Inutile dire che in questi casi l'uso delle riserve si mostrerebbe indispensabile. Non a caso si è utilizzato il termine "provvisorio", volendo significare che il distanziamento  $h^*_{\text{provv}}$  deve essere considerato un valore da aggiornare continuamente, in modo da ridurlo quando possibile fino a riportarlo a quello programmato  $h^*$ .

Nel caso della linea circolare, applicando la procedura indicata, si avrebbe la certezza di ripristinare la normalità su tutta la linea al massimo in un tempo pari al tempo sul giro programmato  $T^*$ . Nel caso di una linea con due capilinea, adottando le medesime regole in ambedue, si dimezzerebbe il tempo necessario per raggiungere lo scopo.

Si può pensare di migliorare ulteriormente la rapidità nel raggiungimento della normalità, operando anche sui veicoli in linea e non solo su quelli al capolinea. Anche in questo caso il principio sarebbe quello di ritardare i veicoli in coda ai plotoni imponendo una sosta prolungata alle fermate o una velocità ridotta. Questa procedura, in aggiunta alle regole precedenti, renderebbe certamente più rapido il recupero della normalità, ma potrebbe non essere ben accetta agli utenti a bordo che potrebbero sentirsi penalizzati ingiustamente. Al contrario, applicando ai capilinea le regole indicate, i passeggeri non avrebbero motivi per lamentarsi.

#### 4. Considerazioni sul metodo proposto

Innanzitutto, è bene raccogliere ed esplicitare nuovamente i principi e presupposti alla base della trattazione:

- si considera acquisito che il contesto aziendale sia quello ormai abituale per le imprese di trasporto collettivo dove si ha la conoscenza costante della posizione di ogni veicolo, ad esempio tramite sistemi AVM, e si è in grado di modificare l'orario in tempo reale e di comunicarlo al personale di modo che venga messo in atto;
- la regolarità deve avere un costo aggiuntivo rispetto a quello che si avrebbe limitandosi ad immettere in linea il numero "giusto" di veicoli in modo da coprire la domanda nella tratta più carica;
- il costo aggiuntivo è costituito essenzialmente dall'introduzione di riserve di veicoli o di conducenti o di ambedue;

*minal goes down of a unit that is added to the plotone that follows. But if the gap between the two vehicles were  $\geq 2h^*$ , the moved back vehicle could create a plotone on his own. Anyway, nothing would change in rules' application.*

4. *It could be also... supposed to remove one vehicle from the plotone and add it in a different gap from one at the end of his own plotone, if this would bring more benefits to users in terms of waiting time and also considering times needed to reach the new position. We won't focus on this option here, but it's a chance that the manager's line could evaluate to increase the performances of the entire process.*
5. *When  $h^*$  is impossible: if the malfunction of the service is enough to block the planned distance  $h^*$  between all vehicles, as explained in figure 1, it should be adopted a sort of "temporary" time on the real route  $T^*_{\text{temp}}$ . Based on this value, will be adopted a distance  $h^*_{\text{temp}} = T^*_{\text{temp}}/K$ . It's obvious that in these cases the use of reserves it's necessary. The use of the terms "temporary" is not a coincidence, because it means that the distance  $h^*_{\text{temp}}$  must be considered a value to be updated continuously, in a way to evite as possible the bringing back to planned  $h^*$ .*

*In the case of the circular line, applying the procedure showed here, it could be for sure resettled the ordinary routine along all the line at maximum in a time  $T^*$  that is the same of a planned route. If there is a line with two terminals, using the same rules in both, time needed for the same scope could be split in half. It can be also thought an improvement of speed to reach the normal situation, acting on vehicles in line and not only at the terminal. Even in this way the main principle would be the delay of vehicles at the bottom of plotoni, forcing them in a long waiting time at stops or a lower speed. This procedure, added to the previous rules, would make faster the turning back to regularity, but it could be not well perceived by passengers on board, that would see an unfair situation. On the other side, applying to terminals the previous rules, passengers would have nothing to say or comment.*

#### 4. About the recommended method

*It's first of all important to gather and explain one more time principles and requirements that build the strategy:*

- *it's supposed that the company's context is the common one that quite all public transport ventures have, where you can check real time information of any vehicle's position, e.g. via AVM systems, and that allows to modify the timetable in real time and share it to the employees to make it immediately real;*
- *regularity must have an adding cost that is enough to cover the demand in the heavier track if the action*

- la ricerca della regolarità ha già un costo nella prassi corrente di mettere in linea un numero maggiore di veicoli oltre quelli strettamente necessari sulla base delle previsioni della domanda e dei tempi di percorrenza.

### 4.1. La non uniformità e l'aleatorietà

Nello schema ipersemplificato che è stato presentato, può sembrare eccessivo aver adottato l'uniformità delle distanze e dei tempi di percorrenza, nonché aver trascurato l'aleatorietà di questi ultimi (alla quale contribuisce l'aleatorietà dei tempi di sosta alle fermate).

Per quanto riguarda la lunghezza delle tratte, non sembrano esserci motivi per cui distanze differenti possano modificare le regole adottate e ovviamente non costituiscono valori aleatori.

A prima vista, invece, sembrerebbe obbligatorio prendere in considerazione la variabilità dei tempi di percorrenza e stimarne la distribuzione di probabilità. Ma la realtà sul campo sembra essere sostanzialmente diversa in quanto il gestore del servizio ha di fatto una conoscenza pressoché completa della situazione. Oltre a conoscere la posizione e la velocità di ogni veicolo, è informato dello stato del traffico ed anche dei tempi che i propri veicoli hanno impiegato effettivamente nell'immediato precedente. La conoscenza storica può far prevedere sufficientemente bene variazioni per l'immediato futuro. Si può inoltre verificare facilmente come le previsioni dei tempi d'arrivo fornite dal gestore del servizio di norma siano, nonostante tutto, sufficientemente attendibili.

### 4.2. L'introduzione delle riserve

Nella strategia proposta, lo strumento della riserva gioca un ruolo essenziale. Come detto, per avere un servizio regolare si deve essere disposti a sostenere un costo aggiuntivo. È evidente come sia necessaria una riserva relativa ai conducenti, almeno per garantire che il primo veicolo di un plotone possa partire immediatamente non appena giunto al capolinea, nel caso in cui le regole di gestione del personale impongano la sosta del conducente.

Nel caso invece in cui un veicolo giungesse al capolinea mentre il precedente fosse ancora in sosta e fosse soddisfatta la condizione per cui uno dei due veicoli possa essere "retrocesso", si potrebbe utilizzare il conducente che ha già effettuato una sosta, anche se ridotta. Nel caso ciò non fosse possibile per le regole di gestione del personale, si dovrebbe ricorrere ad un'ulteriore riserva.

Per quanto riguarda l'eventuale riserva dei veicoli, ne verrà valutata e calcolata l'esigenza in fase di programmazione del servizio. È da evidenziare che, rispetto alla prassi abituale di mettere in linea un numero superiore allo stretto necessario, il che significa mantenere una riserva sempre attiva, tenere veicoli e conducenti fermi al capolinea costituisce una strategia certamente più promettente, dal momento che verrà utilizzata solo in caso di necessità.

*limits to add the line the "correct" number of vehicles;*

- *the additional cost is basically made by the introduction of small reserves of vehicles or drivers or even both;*
- *the will to obtain regularity has currently a cost that is the positioning along the line of more vehicles than the mainly needed basing on forecast's demand and travel time.*

### 4.1. Irregularity and randomness

*In the oversimplified scheme above, it can appear extreme to adopt uniformity of spaces and travel times, especially because of the randomness of the times themselves (whose randomness have the contribute of the waiting time at stops). For what concerns tracks' lengths, there are no evident reason why different distances could modify the adopted rules and these are obviously not random values.*

*At first sight, instead, it seems mandatory to consider randomness of travel time and evaluate the probability distribution. But reality on the field seems to be extremely different, especially because the managing institution of the service has a complete knowledge of the situation. He knows the position and the speed of any vehicle, but he is also informed on the traffic situation and real effective times vehicles needed immediately before. Historical knowledge well behave to forecast variation for the imminent future to come. It can also easily be verified how prevision of arrival times given by the managing institution are commonly, despite everything, credible enough.*

### 4.2. Introduction of reserves

*In the proposed strategy, reserve's instrument plays a key role. As previously told, to obtain a regular service it's necessary to admit an additional cost. It's obvious that a drivers' reserve is needed, at least to make the first vehicle of a plotone leave immediately as soon as it reaches the terminal, especially if rules imposed by the managing institution impose drivers stop.*

*If the vehicle reaches the terminal whereas the previous is still waiting and if at the same time the condition that provides the retrocession of one of them would be satisfied, it could be well used the driver that has just stopped, even not all the planned time. If this is not possible for the rules of the managing institution, another reserve should be provided.*

*What concerns the possible reserve of vehicles, the necessity and demand will be evaluated during the planning of the service. It must be highlighted that this way to proceed, instead of the common one that provides more vehicles in line that the real number needed, and that means that an active reserve must be always kept, tells to main-*



Ulteriori e significativi vantaggi di scala si potrebbero ottenere in quei capilinea dove si attestano più linee.

Siccome il trasporto collettivo urbano è tipicamente esercito con una molteplicità di linee, di cui molte, anche se con capilinea diversi, hanno tratte in comune e si intersecano in più punti, potrebbe essere utile introdurre una riserva di rete. Per cui, con uno studio accurato di ottimizzazione del servizio, si potrebbe valutare la fattibilità di posizionare alcune riserve di veicoli e personale in punti strategici della rete.

È da notare che anche nel caso non vi fossero riserve disponibili, attenersi alla procedura suggerita rimane la migliore delle strategie, in quanto garantisce l'uniformità del distanziamento, anche nei casi in cui sia impossibile quello programmato.

È infine probabile che si debba agire anche sui contratti del personale, ma, oltre ad essere una misura necessaria, non sembra essere particolarmente problematica nell'auspicabile caso che vi siano buone relazioni sindacali all'interno dell'azienda e sempre ricordando che qualcosa in più su questo fronte si dovrà pur spendere, senza escludere, però, che sia possibile ottenere un guadagno complessivo.

### 4.3. Contratto di servizio, regolarità e penalità

Infine, è certamente compito delle agenzie per il trasporto pubblico predisporre un contratto di servizio che tenga conto non solo della quantità di trasporto prodotto e del rinnovo del parco dei veicoli, ma anche della regolarità del servizio. Sarebbe necessario introdurre adeguate penalità per un servizio inefficiente in relazione alla regolarità. Con il termine "adeguate" si intende parlare di penalità sufficienti ad invitare l'azienda esercente a ridurre al minimo le anomalie relative alla regolarità. Ancora più importante, però, è predisporre un bando di gara da cui risulti essenziale per l'assegnazione del servizio uno studio da parte dell'azienda che dimostri la sua capacità di gestire le riserve.

Naturalmente questo aspetto del problema non può essere discusso in questa sede, ma si ritiene opportuno segnalarlo in modo significativo.

## 5. Verifiche e sviluppi

In un successivo articolo verranno presentati i risultati del monitoraggio dei dati Atac con lo scopo di valutare la precisione della stima dei tempi di percorrenza da parte dell'azienda e di confrontare l'efficacia delle procedure suggerite con quella delle procedure attualmente utilizzate.

Da un punto di vista teorico, la cosa più interessante sarà quella di sviluppare quanto presentato al fine d'individuare gli algoritmi che consentano di ottimizzare le procedure di ripristino della regolarità considerando tutte le componenti, come la domanda, i tempi di attesa e di trasporto totale degli utenti, nonché le modalità da adottare per la gestione efficace delle riserve minimizzando i costi complessivi dell'intero servizio.

*tain vehicles and drivers stopped at the terminal and it is a promising strategy, even considering that will be used only in case of needings.*

*More and meaningful advantages could be obtained in terminal that host more than one line.*

*Collective public transport typically offers more than one line, and most of these, even with different terminals, have shared tracks in more than one point, so it could be useful to introduce a reserve for the network. With a detailed study directed to the optimization of the service, it could be considered the option to put some reserves and vehicles in strategic hotspots of the network.*

*Even if there aren't reserves available, following the suggested rule remains the best of strategies, because it grants uniform distance even when the planned one is impossible.*

*It's at the end possible that modifying employees agreement would be necessary, but probably it won't be a real problem if relationships through union's employees in the company are good enough, and keeping in mind that spending something more on this side would be necessary, without excluding a gain for everyone.*

### 4.3. Services contract, regularity and penalties

*The task of the institution for public transport is to arrange a services contract that includes not only the amount of transport created and the renewal of vehicles, but also regularity of service. It would be necessary to introduce appropriate penalties for inefficient services in terms of regularity. With "appropriate" we mean penalties that are enough to invite the company to reduce as possible malfunctions related to regularity. Even more important would be the opening of a call where the minimum requirement to win would be a company's study that shows his capability to manage reserves. This problem can't be obviously discussed here, but we wanted to recommend it meaningfully.*

## 5. Checks and developments

*In a following article will be showed the results of the supervision of Atac datas in order to evaluate the detail of the evaluation of travel times made by the company and to compare the efficacy of the procedure proposed with the currently commonly used.*

*From a theoretical perspective, the most important thing will be the development of what have been presented in order to identify the algorithm able to optimize the recreation of regularity, considering all the components, such as demand, waiting time and total travel time of the users, but also all the possible ways that can be adopted to have an effective and useful use of reserves minimizing the cost for the entire service.*

Non è difficile oggi presentare una bibliografia composta da decine di riferimenti: che poi si abbia anche il tempo di analizzarla a fondo, questo è un altro problema. Pertanto, si è scelto di verificare se nella letteratura recente o comunque più significativa si potessero trovare studi che presentino una soluzione simile a quella qui esposta. Dall'analisi della letteratura svolta, si può affermare l'originalità dell'approccio della ricerca.

Per evitare che quanto detto risulti un'affermazione apodittica, tra i tanti articoli in letteratura, si indica uno dei più recenti e significativi, corredato da un'ampia bibliografia (75 citazioni): sarà così possibile, da parte di chi voglia farlo, verificare l'assunto su di un numero di qualificato insieme di articoli [1].

*Nowadays it's not hard to present a bibliography with dozens of sources: but the problem is to have time enough to deeply focus on it. For this reason we've chosen to verify if the latest or meaningful literature considers and reports studies that show a similar or comparable procedure with the one proposed here. From the literature's analysis, it can be admitted the innovation of this research.*

*To avoid that what's exposed here appears as something that doesn't need any demonstration, we want to report, through the huge amount of literature, one updated and meaningful article which contains a wide bibliography (75 quotes): so that it will be possible, for who want, to verify the assumption on a relevant and qualitative number of articles [1].*

### BIBLIOGRAFIA - REFERENCES

- [1] MOREIRA-MATIAS et al., "An online learning approach to eliminate Bus Bunching in real-time", Applied Soft Computing, vol. 47, pp. 460-482, 2016.

## ISOTRACK Le soluzioni che contano per il ferroviario

**ISOTRACK**, la divisione trasporti di **Isoil Industria S.p.A.**  
dispone di una vasta gamma di strumentazione per risolvere qualsiasi problema di misura e controllo.



*La nostra gamma di prodotti per il settore ferroviario comprende:*

- Pick up
- Generatori e Sensori di velocità
- Sensori Radar
- Indicatori di velocità
- Registratori Statici d'Eventi (Scatola Nera)
- Display Multifunzione
- Sistemi di Videosorveglianza sui veicoli
- Misuratori di pressione, temperatura, portate e livello
- Barriere e Sensori ad infrarosso per la chiusura automatica delle porte



Cinisello B. - Mi (Italy)  
tel. +39 0266027.1  
www.isoil.com  
isotrack@isoil.it



**Le soluzioni che contano**