

## SCIENZA E TECNICA

# La qualità trasportistica dell'orario ferroviario

## The transportation quality of the timetable

Dott. Ing. Francesca CIUFFINI<sup>(\*)</sup>

**SOMMARIO** – Viene affrontato il tema della qualità trasportistica dell'orario, legata all'attrattività dei servizi offerti nei confronti dei potenziali fruitori del treno: la qualità dell'orario è cioè associata alla possibilità di ottimizzare il fattore tempo della collettività e migliorare, a parità di tariffe, la quota modale a favore del ferro. Vengono a tale scopo messi in evidenza i possibili *trade-off* progettuali, che si possono presentare nella definizione di una struttura d'orario, nonché i possibili vantaggi e svantaggi nei confronti dei diversi segmenti di domanda potenziale. Nell'affrontare la questione della necessità di quantificare tali vantaggi e svantaggi e misurare questo genere di qualità, viene evidenziata una possibile area di approfondimento e sviluppo sul versante della modellistica.

### 1. Premessa

L'orario è un importante fattore di scelta modale: determinando l'accessibilità spaziale, l'accessibilità temporale e la velocità, cioè le prestazioni del treno per ciascuna relazione origine-destinazione, esso incide sul fattore tempo, che è considerato in genere, assieme al prezzo, il principale parametro di scelta modale<sup>(1)</sup>.

Ogni viaggiatore che abbia la possibilità di scegliere (tra il treno o un altro mezzo di trasporto) effettuerà la sua scelta modale, confrontando queste prestazioni, e il prezzo, con quelli delle modalità alternative: se l'orario non è adeguato, se cioè le prestazioni non sono sufficientemente competitive sullo spostamento che deve fare, aumentano le probabilità che egli non scelga il treno.

L'attrattività relativa di un servizio ferroviario è data quindi anche dalla qualità dell'orario: un servizio può avere successo se è stato fatto un buon orario, cioè un orario che soddisfi e sia in grado di attrarre il maggior numero di viaggiatori.

È importante dunque che nella definizione di un piano di trasporto, anche nel medio-lungo periodo, sia posta

**SUMMARY** – The present paper deals with the transportation quality of the timetable, tied to the attractiveness of the services offered for the potential train passengers: the timetable quality is associated to the possibility of optimizing the community time factor and improving, for the same fares, the modal share in favor of the train. In this aim the possible design trade-offs, that can arise in the definition of a timetable structure, and the possible advantages and disadvantages towards the different potential demand segments are highlighted. The subject of the necessity to quantify these advantages and disadvantages and to measure this type of quality is hereby faced and a possible deepening and development area concerning modeling is highlighted.

### 1. Introduction

The timetable is an important factor of modal choice: it determines the space accessibility, the time accessibility and the speed, that is the train performances for each origin-destination relation, thus influencing the time factor that is usually considered, together with the price, the main parameter of modal choice<sup>(1)</sup>.

Each traveller who has the ability to choose between a train or another mean of transport will make a modal choice by comparing the train's performance and price with other modes that are offered: if the timetable offered does not meet his or her needs, meaning that if the performance offered is not competitive enough for the type of journey, the train will most likely not be selected.

The appeal related to a railway service is determined first of all by the quality of the timetable: a service is likely to gain a good success if there is a well-defined timetable that is capable to both satisfy and attract the largest possible quantity of travellers.

It is important therefore, while defining a transportation plan, also in the middle-long term period, to give

<sup>(\*)</sup> RFI SpA – Direzione Commerciale ed Esercizio Rete.

<sup>(1)</sup> Questo vale per un servizio ferroviario, ma anche più in generale per un qualsiasi trasporto pubblico di linea. Nel caso dei servizi ferroviari l'accessibilità spaziale risultante dipende anche dall'accessibilità delle stazioni sede di fermata, sia in funzione della loro collocazione urbana che del grado di connessione con gli altri mezzi di trasporto.

<sup>(\*)</sup> RFI SpA – Direzione Commerciale ed Esercizio Rete.

<sup>(1)</sup> This is valid for a railway service and more in general for any kind of public transportation service. In the case of railway services the resulting space-accessibility depends even on the accessibility of the stations both in terms of their urban location and degree of connection with the other transportation systems.

## SCIENZA E TECNICA

attenzione alla qualità dell'orario: che siano cioè considerati, oltre agli aspetti relativi alle frequenze e all'architettura generale di rete, anche gli aspetti relativi alla struttura d'orario; che siano individuate le possibili alternative progettuali e sappiano essere valutati, per ognuna di queste, vantaggi e svantaggi sui diversi segmenti di domanda potenziale.

Viene qui presentato il tema della qualità "trasportistica" dell'orario, mettendo in evidenza quali alternative progettuali si possono presentare nella definizione della sua struttura, in termini di possibili *trade-off* tra obiettivi prestazionali differenti.

Viene inoltre affrontata la questione della possibilità o meno di misurare questo genere di qualità, evidenziando una possibile area di approfondimento e sviluppo sul versante della modellistica di supporto alla pianificazione trasportistica.

### 2. Sul concetto di "qualità trasportistica" dell'orario

Solitamente, quando si parla di qualità dell'orario, viene fatto principalmente riferimento alla sua stabilità: un orario è di qualità se i servizi sono puntuali. Qui stiamo parlando invece di qualità in termini di prestazioni temporali garantite dal servizio e quindi di attrattività nei confronti dei viaggiatori, stiamo cioè parlando di una qualità di natura trasportistica: un servizio è di qualità, da questo punto di vista, se riesce a fornire prestazioni competitive, rispetto a quelle delle altre modalità (e la puntualità è il rispetto di tali prestazioni). In sintesi possiamo dire che la qualità trasportistica di un orario è data dalla sua capacità di essere più o meno attrattivo nei confronti della domanda<sup>(2)</sup>.

La qualità di un orario dipende dunque dalle prestazioni che esso riesce a realizzare: in generale, più i servizi diventano accessibili (sia spazialmente che temporalmente) e veloci, migliore è l'orario<sup>(3)</sup>. Si presenta però, a questo punto, il problema del "punto di vista" di chi valuta la qualità dell'orario. Gli effetti di un orario in termini di prestazioni variano infatti a seconda della relazione O/D considerata, perché quello che conviene ad alcuni viaggiatori può non andar bene ad altri. Se si velocizza un treno eliminando alcune fermate, si "accontentano" i viaggiatori che potranno beneficiare del servizio più veloce, ma si "scontentano" quelli delle fermate eliminate, che in-

some good attention to the "transportation quality" of the timetable. In other words one has to consider, beside frequencies and network architecture, also the aspects of timetable structure. Moreover other possible design alternatives must be determined, and for each of them advantages and disadvantages must be evaluated over different segments of potential demand.

This article examines the issue of the timetable quality, highlighting the design alternatives that may arise in its definition in terms of possible *trade-offs* between different performance targets.

This article finally addresses the question of whether or not to measure such quality, highlighting a possible deepening and development area on the side of modelling for the support of the transportation planning.

### 2. The concept of the "transportation quality" of the timetable

Usually, when talking about quality of rail services, reference is made to punctuality, a service is valuable if it's punctual. We are talking instead of quality in terms of time performance guaranteed by the service and therefore of attractiveness for the travellers. In other words we are talking about transport quality: a service is a quality service, from this point of view, if it is able to provide competitive performance compared to other modes (and punctuality is the compliance to such performances).

Synthetically we can say that the quality of a timetable is given by its ability to be more or less attractive with respect to the demand<sup>(2)</sup>.

The quality of a timetable depends therefore upon the performances that the timetable is able to provide: the more the services become accessible (under both space and time aspects) and faster, the better the timetable becomes<sup>(3)</sup>. At this point however a problem arises in terms of the "point of view" of who is evaluating the quality of the timetable. As a matter of fact the effects of a timetable in terms of performance vary according to the O/D considered, and what may result convenient for some may not be as convenient for others. If the speed of the train is increased by eliminating some of the stops, passengers who would benefit from the faster service would be "satisfied". On the other hand some other passengers would

<sup>(2)</sup> Il concetto di qualità che vi è dietro è quello del marketing, che considera la qualità come uno dei più importanti strumenti di posizionamento di un prodotto. Nel settore dei servizi, in un'ottica di marketing, la qualità è intesa come la misura di quanto un servizio reso corrisponda in termini di prestazioni alle aspettative della clientela, KOTLER, 1993 [8].

<sup>(3)</sup> Per il significato di tali prestazioni e la loro connessione col fattore tempo si veda [6].

<sup>(2)</sup> The background quality concept is the marketing one that considers quality as one of the most important parameters for positioning product. In the service sector quality, from a marketing point of view, quality is intended as the measure of how much a service matches in terms of performances with the customer expectations, KOTLER, 1993 [8].

<sup>(3)</sup> Refer to [6] for the meaning of such performances and their connection to the time factor.

## SCIENZA E TECNICA

vece verranno penalizzati da una minore accessibilità del servizio. Viceversa, se andiamo ad aggiungere fermate ad un servizio veloce.

Ecco che allora per valutare la qualità di un orario è necessario:

- tenere conto dei diversi punti di vista, cioè degli effetti dell'orario sulle diverse relazioni O/D, considerando che il miglioramento di una prestazione su alcune relazioni può comportare, altrove, il peggioramento di altre;
- valutare la consistenza della domanda potenziale sulle diverse relazioni O-D, per capire il peso dei diversi interessi;
- valutare le prestazioni risultanti in relazione a quelle delle modalità concorrenti, verificando ad esempio se la riduzione o l'aumento dei tempi di percorrenza incidano o meno sulla competitività relativa dei servizi.

Laddove l'obiettivo sia quello della massimizzazione della quota modale a favore del ferro, il migliore orario è quello che consente il miglior uso collettivo del fattore tempo, in rapporto a quanto offerto dalle modalità concorrenti.

Ecco dunque emergere un concetto: la qualità dell'orario è una qualità di natura trasportistica, da misurare in termini di *uso collettivo del fattore tempo*.

Ci vogliamo allora soffermare su questo obiettivo di qualità trasportistica, mettendo in evidenza quali sono le variabili di progetto nella definizione di un orario e le alternative progettuali che ne possono conseguire. La qualità di un orario, a servizio di un determinato territorio, può variare infatti a seconda delle scelte che si fanno nella sua progettazione.

### 3. Le scelte progettuali per la definizione dell'orario

Un orario può essere di due tipi: cadenzato, cioè con servizi standardizzati che si ripetono a cadenze regolari, oppure di tipo tradizionale, con le corse l'una diversa dall'altra ed un'offerta in genere irregolare e discontinua<sup>(4)</sup>.

Se un orario è di tipo cadenzato, esso è definibile a livello di sistema, attraverso una "griglia di tracce" che si ripete regolarmente nel tempo. Definire l'orario significa in questo caso individuare:

- 1) i *prodotti standard*;
- 2) la loro *frequenza*;
- 3) la loro *combinazione reciproca*, cioè la *struttura dei prodotti*<sup>(5)</sup>.

<sup>(4)</sup> I due diversi tipi di orario sono anche definiti periodici e non periodici.

<sup>(5)</sup> Dalla definizione di questi elementi, risulta individuata la geometria della griglia, così come illustrato in [2] e [3].

be penalised because of a diminished accessibility to the service. An opposite situation verifies if we add stops to a fast train service.

In order to properly evaluate the timetable quality it is then necessary to:

- take into account the different points of view, in other words the effects of the timetable over the different O/D relations, by considering that the improvement of a performance over certain relations may have a negative impact over others;
- evaluate the consistency of the potential demand over the different O/D relations in order to better understand the weight of different interests at stake;
- evaluate the out coming performances in relation to other competing modes: for example if the reduction or increase of travel time would have or not an impact over the relative competitiveness in terms of services.

In a case where the objective is to maximise the modal share in favour of rail, the best timetable is the one that allows the best collective use of the time factor with respect to what is offered by competing modes.

Here a new concept arises: the timetable's quality is one related to transport, to be measured in terms of *collective use of the time factor*.

We would now like to concentrate our attention upon this objective of transport quality, by evidencing which are the design variables in the definition of a timetable, and the design alternatives that could arise. The quality of a timetable servicing a predefined region, as a matter of fact, could vary according to the choices made during its design phase.

### 3. Design choices for the definition of the timetable

A timetable can be cadenced, that is with standardized services repeated at regular time steps, or traditional that is characterised by dishomogeneous runs and a usually irregular and discontinuous offer<sup>(4)</sup>.

If the timetable is a cadenced one, it is then definable at the system level by means of a "path grid" which repeats itself over time. Define the timetable in this case means that one needs to determine:

- 1) the *standard products*;
- 2) their *frequency*;
- 3) their reciprocal *combination*, i.e. the *structure of the products*<sup>(5)</sup>.

<sup>(4)</sup> The two different types of timetable are even defined as periodical and not-periodical.

<sup>(5)</sup> The definition of these elements allows to defining the grid geometry, as illustrated in [2] and [3].

## SCIENZA E TECNICA

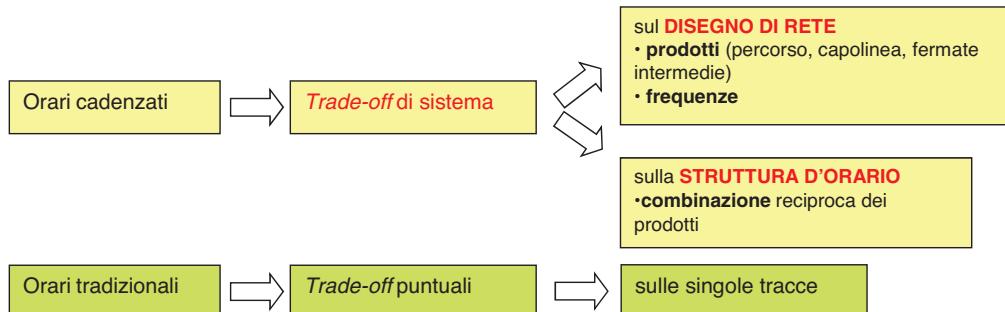


Fig. 1 – *Trade-off* puntuali e di sistema. *Punctual and system Trade-offs.*

Individuare i singoli prodotti significa definire per ciascuno di essi:

- gli attestamenti (cioè i capolinea);
- il percorso (quando tra due attestamenti sia possibile più di un itinerario);
- le fermate intermedie.

Poiché i prodotti sono standardizzati, queste caratteristiche sono definite una volta per tutte: il singolo prodotto si ripete nel tempo sempre con le medesime caratteristiche. La frequenza ci dice con quale intervallo temporale, con quale "cadenza", avviene la ripetizione.

I singoli prodotti possono poi tra loro combinarsi in maniera diversa: a parità di prodotti e frequenze può cioè essere definita più di una struttura. Ma anche qui, una volta che questa sia stata stabilita, essa rimane stabile nel tempo. Se ad esempio in un determinato nodo, è prevista una coincidenza tra due prodotti, questa sarà sistematica, si ripeterà ogni volta cioè con la stessa sequenza e lo stesso tempo di attesa.

Se un orario è di tipo tradizionale, esso viene invece definito a livello puntuale, viene cioè progettato traccia per traccia. Le variabili di progetto sono direttamente le singole tracce.

Quando si progetta un orario, ci si trova di fronte a delle decisioni da prendere, ogniqualsiasi si presentano delle alternative progettuali: che sono di sistema, cioè relative alla griglia cadenzata, nel caso di orari strutturati, oppure di tipo puntuale, cioè relative alle singole tracce, nel caso di orari tradizionali. Le possibili alternative progettuali possono configurarsi come veri e propri *trade-off*, tra obiettivi prestazionali differenti.

Nel caso della progettazione di sistema, possiamo distinguere tra i *trade-off* che riguardano il disegno della rete (cioè la scelta dei prodotti e delle loro frequenze) e quelli che riguardano la struttura dell'orario, cioè la combinazione reciproca dei diversi prodotti, a parità di frequenza e velocità dei servizi (fig. 1).

Alcuni di questi *trade-off* si possono presentare anche

Identifying the single products implies defining the following for each:

- the terminals;
- the path (i.e. when it is possible to develop more than one itinerary between two terminals);
- intermediate stops.

Because the products are standardised, these characteristics are defined once and for all: the single product repeats itself over time, always carrying the same characteristics. The frequency can tell us the "time interval" or the cadence at which occurs the repetition.

The standalone products can then be combined in different ways: in other words with the same products and frequencies one can define more than one structure. But, once the structure has been defined, it remains stable over time. For example if at a determined node, a connection of two products has been scheduled, such connection will be a systematic one, it will be repeated every time with the same sequence and with the same wait time.

If a timetable is a traditional one it is defined at a punctual level, that is its design is based on the single paths. The design variables are directly the single paths.

When designing a timetable, one has to deal with decisions every time the design alternatives are developed. These alternatives can be either punctual ones, in other words relative to the single paths in the case of traditional timetables, or system ones, in other words relative to the cadenced grid in the case of structured timetables. The possible design alternatives can be configured as genuine *trade-off*. In the case of a system design, one can distinguish among trade-offs pertinent to network design (i.e. choice of products and their frequencies), and the trade-offs pertaining to the timetable's structure, meaning the reciprocal combination of different products, based upon the same frequency and speed of services (fig. 1).

Some of these *trade-offs* can present themselves also at the punctual level, while others have a meaning only when considered under a system design. To put the issue in a

## SCIENZA E TECNICA

a livello puntuale, mentre altri hanno senso solamente considerando una progettazione di sistema. Per consentire un inquadramento più generale, andiamo allora ad operarne una possibile schematizzazione, facendo riferimento al caso dei sistemi strutturati.

### 3.1. Trade-off sul disegno di rete

*Accessibilità spaziale vs. accessibilità temporale* – Come collegare nel miglior modo possibile i punti della rete? La definizione dei prodotti di traffico parte dall'individuazione dei percorsi e dei possibili attestamenti dei servizi, nonché delle relative frequenze (fig. 2).

È un problema che riguarda qualsiasi rete di trasporto collettivo<sup>(6)</sup>. Si pensi ad una rete di autobus urbani, che devono collegare tra loro i vari quartieri della città: quali sono i quartieri, le zone da collegare? Dove devono passare le linee? E quali frequenze prevedere per le linee individuate?

All'aumentare del numero delle linee aumentano le relazioni servite e dunque l'accessibilità spaziale del servizio. All'aumentare della frequenza sulle singole linee aumenta l'accessibilità temporale sulle relazioni da queste servite.

La determinazione di linee e relative frequenze implica dunque un relativo *trade-off*, dato dal fatto che non si progetta mai a risorse infinite: poche linee ad alta frequenza oppure molte linee, con un maggior numero di relazioni servite, ma a frequenze più basse? Da una moltitudine di possibili origini e destinazioni, si devono individuare le possibili linee di forza, "collettivamente" rilevanti, e la loro "forza" relativa.

Avendo a che fare con servizi su ferro, i gradi di libertà sono ovviamente di meno, perché gli itinerari sono vincolati alle linee esistenti, ma la natura del problema è la medesima: si tratta di capire, in base alla struttura della domanda potenziale, le principali relazioni da servire e con quali frequenze, considerando che l'aumento di servizi su una determinata direttrice può comportare una riduzione altrove, quando vi siano vincoli produttivi e/o economici che lo impongono.

*Accessibilità vs. velocità* – Il problema si presenta al progettista che debba definire su una determinata direttrice un "monoprodotto" a frequenza data e di questo determinare la struttura delle fermate: ad esempio dovendo valutare quali fermate attribuire ad un servizio IC o ad un servizio ES o ad un servizio regionale di tipo diretto.

All'aumentare del numero delle fermate aumenta l'accessibilità del servizio, cioè il numero delle relazioni servite, secondo la seguente relazione:

$$R = N^2 - N \quad (1)$$

more general framework, one can present a schematization of possible *trade-offs*, while referring to the case of structured systems.

### 3.1 Trade-off on the network design

*Space vs. time accessibility* – How to connect through the best possible way points on the network? The definition of traffic products starts by identifying the paths and the possible termination of the services, in addition to their frequencies (fig. 2).

This is a problem that encompasses any mass transit network<sup>(6)</sup>. One can think about a city bus network which interconnects various points of the city: which are the subdivisions and urban zones to be connected? Where do the bus lines have to pass? Finally what type of frequencies has to be forecast for the identified lines?

By increasing the number of lines, the number of relations also increases, thus increasing the space accessibility. By increasing the frequency over the single lines the time accessibility increase over the served relations

The identification of lines and relative frequencies implies a trade-off. This occurs because no project design is carried out by using an infinite number of resources: few lines with high frequency or a high number of lines with a higher number of served relations, but with a lower frequency: which one to choose? From a multitude of possible destinations and origins one has to identify the possible "collectively" relevant strength of lines, and their relative "strength".

Having to deal with services on rail, the number of degrees of freedom (DOFs) is obviously less, because the itineraries are constrained to existing lines, but the nature of the problem is the same: based on the structure of the potential demand, the task is to understand the main relations to be served and their frequency. Moreover one has also to take into account that an increase of services over one route can cause a reduction elsewhere, whenever con-

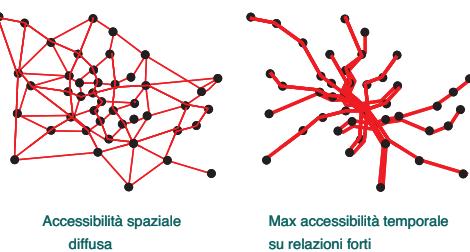


Fig. 2 – Accessibilità spaziale vs. accessibilità temporale. *Space vs. Time accessibility*.

<sup>(6)</sup> A proposito di questo *trade-off*, si veda anche VAN OORT, VAN NES, 2009 [18].

<sup>(6)</sup> With regard to this *trade-off*, see even VAN OORT, VAN NES, 2009 [18].

## SCIENZA E TECNICA

dove  $N$  è il numero delle fermate, capolinea inclusi<sup>(7)</sup>.

Ma a parità di materiale rotabile ed infrastruttura aumentano pure i tempi di percorrenza. Se al contrario si vuole velocizzare il servizio, sempre a parità di altre condizioni, si paga in termini di accessibilità.

Ad ogni fermata in più, aumentando il numero delle relazioni servite (fig. 3), cresce la domanda potenziale cui il treno può ambire, ma allo stesso tempo diminuendo la velocità, diventano meno attrattivi i servizi che collegano le località più lontane e si perde in domanda su queste relazioni. Il contrario per ogni fermata in meno. Per avere degli ordini di grandezza, si consideri che ogni fermata costituisce un "perditempo" complessivo di circa 2-5 minuti<sup>(8)</sup>.

Il problema allora è capire quanta domanda si riesce ad acquisire e quanta se ne perde per ogni fermata aggiunta o eliminata e il problema di ottimizzazione da risolvere diventa: quale struttura delle fermate consente il punto di ottimo cioè il miglior bilancio tra domanda persa ed acquisita?<sup>(9)</sup>

Per poter rispondere è necessario fare riferimento alla distribuzione della domanda complessiva sulle varie relazioni e confrontare i vari tempi di percorrenza con quelli delle modalità concorrenti.

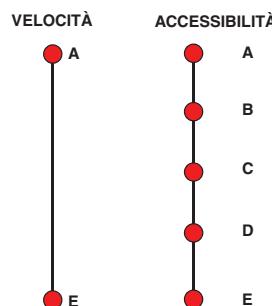
A parità di prestazioni del servizio ferroviario, inoltre, le cose cambiano a seconda di quanto sia polarizzata o meno la domanda (in relazione alla struttura del territorio) e a seconda dei tempi di percorrenza con le altre mo-

	A	B	C	D	E
A					A-E
B					
C					
D					
E	E-A				

	A	B	C	D	E
A		A-B	A-C	A-D	A-E
B	B-A		B-C	B-D	B-E
C	C-A	C-B		C-D	C-E
D	D-A	D-B	D-C		D-E
E	E-A	E-B	E-C	E-D	

Fig. 3 – Velocità vs. accessibilità spaziale del servizio. Speed vs. Space accessibility of service.



<sup>(7)</sup> Il numero delle relazioni O/D è pari al numero di "caselle" della matrice, meno quelle contenute nella diagonale.

<sup>(8)</sup> Comprendo cioè di tempo di sosta e perditempo per arresto ed avviamento. A parità di tempo di sosta, si tratta di un valore tanto minore quanto migliore è lo "spunto" del mezzo di trazione, minore la velocità di marcia a regime e leggero il materiale rotabile. Si hanno pertanto i valori maggiori sui treni AV e i minori sui treni di tipo regionale.

<sup>(9)</sup> Per questo *trade-off* si vedano anche VAN OORT, VAN NES, 2009 [18] e SCHÖBEL, 2006 [15].

straints that are either productive and/or economic are imposed.

*Accessibility vs. speed* – The designer has the problem to define on a predetermined route a "mono-product" with a given frequency, and of such product determine the layout of the stops: for example the designer has to evaluate what types of stops are to be assigned to InterCity services, or to a Eurostar (ES) service, or to a regional direct type service.

By increasing the number of stops the accessibility to the service, that is the number of served relations, also increases according to the formula:

$$R = N^2 - N \quad (1)$$

where  $N$  is the number of stops, including terminals<sup>(7)</sup>.

Conversely, holding constant the rolling stock and the infrastructure, the travel times increase. On the other hand if one wishes to increase the speed of service, *ceteris paribus*, a limitation to accessibility would arise.

With the addition of stops, while increasing the number of served relations (fig. 3), the train would experience a rise in its potential demand, but at the same time would see a reduced speed service for connections to remote locations, becoming thus less attractive, producing a reduction of demand for such locations. The opposite occurs when the number of stops is reduced. In order to get some order of magnitude, one has to consider each stop as a "waste of time" of about 2 to 5 minutes<sup>(8)</sup>.

The issue then is to understand the amount of demand that one is able to acquire, and how much demand is conversely lost when stops are either added or removed. Thus the optimisation problem becomes as follows: what type of array of stops would give the point of optimum, that is, the best equilibrium between lost and gained demand<sup>(9)</sup>. In order to answer such question, one has to refer to the distribution of the overall demand over the various relations, and compare the various travel times with those of competing modes. Moreover, using the same service performances, things tend to change depending of the amount of demand that is polarised (in accordance with the territory layout), and depending also upon the travel times of other competing modes. By all means one has to always deter-

<sup>(7)</sup> The number of O/D relations is equal to the overall number of boxes of the matrix minus the boxes along the diagonal.

<sup>(8)</sup> Comprising the lay-over time and the waste of time for stop and starting. Being the lay-up time the same, the waste of time is as lower as better is the traction starting performance, as lower is the regime running speed and lighter the rolling stock. We have then higher values for HS trains and lower values for Regional trains.

<sup>(9)</sup> With regard to this *trade-off* see even VAN OORT, VAN NES, 2009 [18] and SCHÖBEL, 2006 [15].

## SCIENZA E TECNICA

dalità. In ogni caso si deve sempre stabilire se è di più la domanda che si acquisisce perché si servono nuove relazioni o quella che si perde sulle relazioni di estremità per l'aumento dei tempi di percorrenza.

Un altro esempio riguarda le eventuali fermate urbane da parte dei treni veloci a lunga percorrenza: devono questi ultimi fermare solo nella stazione principale di un nodo (es. Roma Termini e Milano Centrale) oppure anche presso le stazioni porta (es. Roma Tiburtina e Milano Rogoredo)?

Nel primo caso è certamente velocizzato il treno ma non sono "velocizzati" quei viaggiatori che, abitando in determinate zone della città, troverebbero più vantaggioso servirsi delle altre stazioni, anche per le differenti opzioni di interscambio con i sistemi metropolitani.

E il problema si pone in maniera analoga per i treni veloci Nord-Sud: conviene ad esempio servire solo Tiburtina, per velocizzare queste relazioni, oppure prevedere comunque anche l'attestamento intermedio a Termini, per la sua migliore accessibilità urbana?

Per rispondere, occorre anche qui avere chiari vantaggi e svantaggi in termini di tempo complessivo sui diversi segmenti di domanda potenziale (a seconda del quartiere di origine o destinazione) e il peso relativo di questi ultimi.

*Velocità vs. frequenza* – In alternativa al monoprodotto, che è veloce o è accessibile, è possibile optare per una diversificazione e specializzazione dei servizi, proprio allo scopo di sfruttare al meglio le caratteristiche di ciascuno. Ad esempio con due diversi prodotti di traffico, uno di tipo "interpolo" e un altro con maggior numero di fermate: che consentano di ridurre i tempi di percorrenza tra i poli principali con treni più veloci e al contempo garantire i servizi anche tra le località minori, con treni che invece fanno più fermate.

Se però la frequenza complessiva è data, la differenziazione dei prodotti comporta una riduzione di frequenza sulle relazioni servite solo dal prodotto a maggiore accessibilità. Si pone dunque a questo punto un *trade-off* tra la velocità su alcune linee e la frequenza su altre.

È un problema che si presenta quando il territorio è gerarchizzato e bisogna studiare la combinazione di prodotti più opportuna. È un problema inoltre che si presenta spesso sulle linee ferroviarie di tipo metropolitano, che oltre ai treni di questo tipo ospitano anche treni regionali a "sbraccio" maggiore: a quantità complessiva data, se si opta per la frequenza del servizio sul tratto metropolitano, si paga in termini di velocità ridotta sulle relazioni più lontane. Viceversa, se si vuole velocizzare il servizio a carattere regionale, si deve ridurre la frequenza sulle relazioni metropolitane.

Se dunque vi sono vincoli alla frequenza complessiva, è necessario fare delle scelte e il problema è capire quale soluzione corrisponda ad un ottimo collettivo in termini di fattore tempo.

mine if it is greater the demand generated by serving new routes rather than the loss of demand over termination relations due to the travel time increase.

Another example arises from the potential urban stops for long distance high speed trains: do these trains have to stop only at the main stations of a node (e.g. Roma Termini and Milano Centrale) or could they stop also at the so called entry stations (e.g. Roma Tiburtina and Milano Rogoredo)?

When considering the first alternative the train gains certainly in speed, but speed is not gained by those passengers who live in certain locations of a city, and who would find more convenient the utilisation of other stations, also for the different interchange options with metropolitan services.

The issue is also posed for high speed trains running on the North-South corridor: would it be more convenient to have service at Roma Tiburtina only, in order to get a gain in speed, or would it be more convenient to include the intermediate terminal option in Roma Termini due to its higher urban access?

In order to answer such question, one must clearly bear in mind the advantages and disadvantages in terms of overall time over the different potential demand segments (according to the origin and destination subdivisions) and the related weight of the latters.

*Speed vs. frequency* – As an alternative to the mono-product, which is either fast or accessible, it may be possible to choose a diversification and a specialisation of services, specifically with the aim to utilise the characteristics of each at their best. As an example, one can consider two distinct traffic products, one defined as a "end to end" and the other one defined with a greater number of stops: the main goal is to reduce the time required to travel from one main terminal and the other by using higher speed trains, and at the same time guarantee services also to minor locations through trains that make more frequent stops.

If however the overall frequency is given, the product differentiation produces as a result a reduction of frequency on the routes only served by the greater accessibility product. A *trade-off* thus arises between the speed on certain lines and the frequency on others.

Such a problem arises when the territory has been structured as a hierarchy, and it becomes necessary to study the best product combination. Moreover this is a problem that arises typically on metropolitan lines. Such lines, in addition to host urban trains, often also allow passage of regional trains with higher outreach: for a given overall quantity, by selecting the frequency over the metropolitan section, the *trade-off* appears in terms of reduced speed over farther routes. On the other hand, if regional services were to be increased in terms of velocity, the frequency over metropolitan routes must be reduced.

## SCIENZA E TECNICA

La risposta ancora una volta dipende dalla struttura della domanda e dal confronto competitivo con le altre modalità, che in effetti non è solo in termini di percorrenza ma di fattore tempo complessivo: la frequenza allora diventa importante perché è in base ad essa che varia lo sfasamento temporale tra orari del treno ed esigenze di orario dei singoli viaggiatori.

### 3.2. Trade-off sulla struttura d'orario

*Integrazione di frequenza vs. integrazione di rete* – E non è ancora finita, perché avendo deciso di optare per una differenziazione dei prodotti di traffico, si deve decidere la loro posizione reciproca, in corrispondenza dei nodi principali. Il problema si pone principalmente quando le frequenze dei servizi sono basse, elevati dunque gli intervalli tra un treno e l'altro ed elevato il numero di gradi di libertà per l'individuazione della posizione reciproca delle “tracce orarie”.

Immaginando ad esempio di avere due servizi a frequenza oraria, uno di tipo interpolo a più lunga percorrenza e un servizio di tipo locale a “sbraccio” minore: vanno messi il più distanziati possibile allo scopo di realizzare una “integrazione di frequenza” oppure tra loro vicini, in uno dei poli, allo scopo di garantire una “integrazione di rete”<sup>(10)</sup>? Il concetto è meglio comprensibile facendo riferimento allo schema di fig. 4, dove i prodotti, rappresentati in forma di tracce orarie, hanno una pendenza variabile a seconda della velocità.

Nel caso 1, è realizzata una integrazione di frequenza: per spostarsi tra A e B si hanno di fatto due treni l'ora, sebbene a diverse prestazioni.

Nel caso 2, è realizzata invece una integrazione di rete: lo scambio in B consente una alimentazione dalle località minori verso i poli principali del tratto sottostante.

Nel caso 3, l'integrazione di rete è realizzata in A, dove il servizio locale serve da “distributore” della domanda proveniente da sopra e diretta verso le località minori.

Un problema analogo si può presentare anche quando i due treni sono a medesime caratteristiche, cioè con le stesse fermate, ma che provenendo da direttive differenti vanno a percorrere uno stesso ramo: li dobbiamo ben distanziare, per aumentare la frequenza nel tratto comune o farli arrivare

If therefore constraints to the overall frequency are present, it becomes necessary to make some design choices, and the problem is then to understand which solution would correspond to an optimum collective in terms of time factor.

Once again the answer depends on the demand's structure and on the competitive comparison with other modes that is both in terms of running time and overall time factor: frequency then becomes important because it will constitute the basis of the phase displacement between train schedules and passenger's schedule needs.

### 3.2 Trade-off about the time-table's structure

*Frequency vs. network integration* – It is not over yet: having opted for a differentiation of traffic products, one has to decide their reciprocal position, in correspondence to the principal nodes. The problem arises primarily when the frequencies of the services are low, thus the intervals between the transit of one train and the next one are high, and high is also the number of DOFs needed to identify the reciprocal positions of the “train-paths”.

For example if one imagines to have two services available on an hourly basis, one kind being an inter-regional node over a long distance, and the other being local with a minor outreach, the question would be: would such services have to be placed at the greatest possible distance in order to create a “frequency integration”, or should they be placed near to each other, in one of the two poles, in order to guarantee a “network integration”<sup>(10)</sup>? The idea behind it is better understood by considering the scheme represented in fig. 4, where the products, represented here

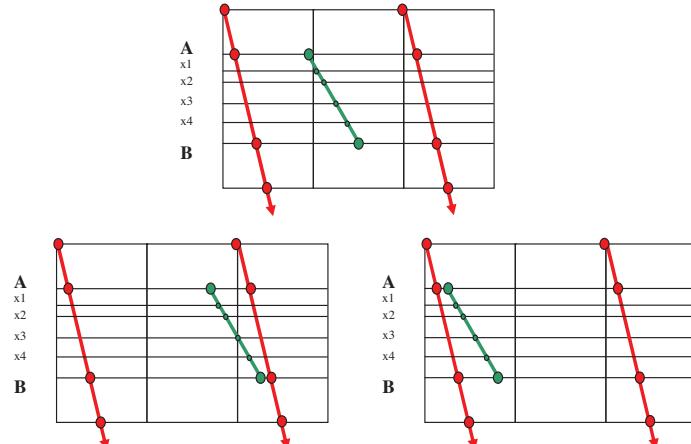


Fig. 4 – Integrazione di frequenza vs. integrazione di rete. Frequency vs. Network integration.

<sup>(10)</sup> Per una completa definizione si veda [5].

<sup>(10)</sup> See [5] for a complete definition.

## SCIENZA E TECNICA

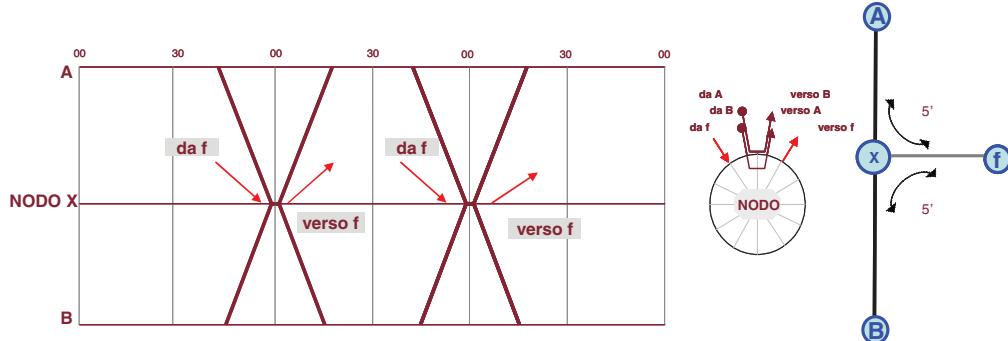


Fig. 5 – Nodo di scambio ideale. *Ideal interchange node.*

nel nodo il più possibile vicini, allo scopo di realizzare per entrambi la coincidenza con un altro servizio?

La risposta ancora una volta dipende dalla struttura e dalla quantità della domanda complessiva sulle diverse relazioni (quelle servite nel tratto comune e quelle che beneficerebbero dello scambio nei nodi) e dal confronto delle prestazioni risultanti con quelle delle modalità concorrenti.

*Integrazione vs. velocità* – Per sfruttare le potenzialità dell'integrazione di rete occorre realizzare, nei nodi individuati, delle adeguate coincidenze: tra treni diversi (cioè a diverso numero di fermate) di una stessa direttrice o tra treni analoghi di direttrici differenti.

Non è sempre possibile realizzare delle buone coincidenze dappertutto, soprattutto se i servizi hanno frequenze non elevate: realizzare una buona coincidenza in un nodo può significare perderne un'altra altrove o averla con un tempo di attesa eccessivo.

Un sistema nato proprio per ottimizzare l'integrazione tra i diversi servizi è il sistema definito Orario Cadenzato Coordinato (OCC) o sistema *rendez-vous*<sup>(11)</sup>, cioè ad appuntamento nei nodi.

Un sistema di questo tipo parte dal principio che un nodo ideale per la realizzazione delle coincidenze prevede un "orologio"<sup>(12)</sup> del tipo indicato in fig. 5, con tutti gli arrivi prima e tutte le partenze dopo un minuto scelto convenzionalmente, che rappresenta il tempo di simmetria del sistema. Più partenze e arrivi sono addensati vicino a

in a form of train-paths, have a variable slope according to the speed.

Case 1. A frequency integration was created. To move between A and B, two trains per hour are available. There are however different performances.

Case 2. A network integration has been created. An interchange at B allows a feeding process from minor locations towards the principal poles of the underlying segment.

Case 3. The network integration has been created at A, where the local service serves as a "distributor" of demand coming from above and routed to secondary locations.

A similar problem arises even when two trains have the same characteristics, that is, they both stop at the same stations but have originated from different routes, and now travel along the same branch: should we increase their distance between each other, so that we can increase the frequency over the common route? Or should we attempt to have them arrive at the node the closest possible in order to provide for both a connection with another service?

The answer will once again depend upon both the structure and the quantity of the overall demand related to the different routes (i.e. those serviced by the common corridor, and those who could benefit from the node interchange). The answer to the previous question will also depend upon the comparison of resulting performances with those of competing modes.

*Integration vs. speed* – In order to exploit the possibilities of network integration, one has to create adequate connections in the identified nodes: either between different types of trains (i.e. trains with a different number of stops) running on the same route or similar trains from different routes.

It is not always possible to create a good connection everywhere, especially if the services do not have a high frequency. To create a good connection at a node could imply the loss of another connection somewhere else, or have it with an excessive waiting time.

(11) Si veda per questo [4] e in particolare sull'Orario Cadenzato Coordinato o Integrato (OCI) si veda anche PELLANDINI, 2003 [13]. Per l'ottimizzazione di un orario periodico si veda invece LIEBCHEN, 2006 [10].

(12) L'orologio indica i minuti di partenza/arrivo dei servizi in una data stazione. Se i servizi sono di tipo cadenzato e dunque si ripetono nel tempo sempre con le medesime caratteristiche, l'orologio sintetizza l'offerta complessiva presso la stazione considerata.

## SCIENZA E TECNICA

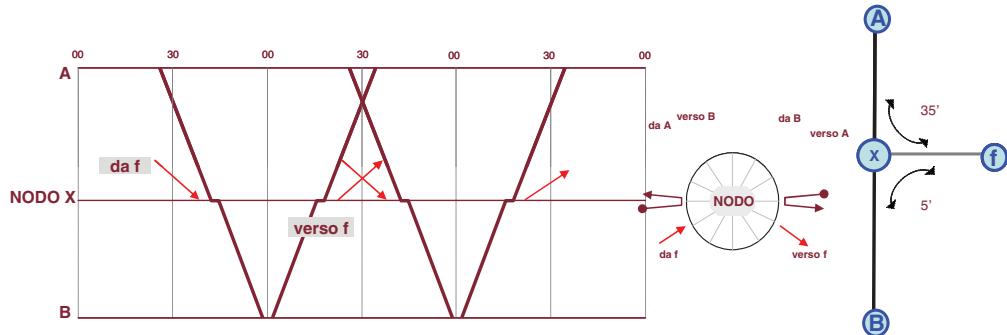


Fig. 6 – Nodo di scambio non ideale. Non ideal interchange node.

questo minuto, minori saranno inoltre i tempi di attesa tra un treno e l'altro<sup>(13)</sup>.

Al contrario un nodo come quello di fig. 6 consente di realizzare buone coincidenze solo in una direzione, mentre per l'altra i tempi di attesa sono più elevati.

Nell'esempio di fig. 7 i sistemi principali, che sono a frequenza oraria, si incrociano sempre sullo zero o sul trenta dell'orologio, in corrispondenza dei principali nodi di scambio, dove si riesce dunque a realizzare un nodo di scambio ideale. Questo significa che tra i nodi di scambio principali il tempo di percorrenza è di tipo "modulare"<sup>(14)</sup>.

Per realizzare questa evenienza può accadere che sia necessario allungare di qualche minuto la percorrenza dei treni, per adattarli ai tempi modulari di sistema. In questo caso si tratta di scegliere se è opportuno ridurre la velocità per sfruttare le potenzialità dell'integrazione ed aumentare l'accessibilità spaziale del sistema a rete.

Viceversa può accadere che sia necessario ridurre i tempi di percorrenza e che ove questo non sia possibile agendo su fermate o materiale rotabile, sia necessario intervenire sull'infrastruttura.

Non sempre ovviamente è possibile realizzare questa "forzatura" sia verso l'alto che verso il basso, e qualche nodo potrà non risultare integrale. La scelta importante che spetta al progettista, sempre con l'obiettivo della ottimizzazione del fattore tempo, è allora quella dell'individuazione di una priorità tra i nodi, considerando anche l'integrazione.

<sup>(13)</sup> Il minuto scelto convenzionalmente ed usato a livello europeo è il minuto zero, che va bene fino a frequenze bi-orarie. Se i servizi da mettere tra loro in coincidenza sono a frequenze orarie va bene anche il minuto trenta, se i servizi sono a frequenze semi-orarie va bene anche un orologio 15-45.

<sup>(14)</sup> Nel caso dell'esempio, dove la frequenza è oraria il tempo modulare è la mezz'ora. Se la frequenza fosse invece bi-oraria, il modulo sarebbe di 60 minuti. Il tempo di percorrenza tra un nodo e l'altro in termini di moduli è definito "tempo di sistema".

A system specifically designed to optimise the integration among different services is a system defined as Cadenced and Coordinated Schedule (CCS), or *rendez-vous* system<sup>(11)</sup>, that is node meeting system.

This type of system is based on the principle that an ideal node used to create the connections includes a "clock"<sup>(12)</sup> as the one shown in fig. 5, with all the arrivals before and the departure times set after a conventional minute. Such minute represents the symmetry time of the system. The more departures and arrivals are cluttered about this point of time, the shorter will be the waiting times between one train and the other<sup>(13)</sup>.

Conversely a node such as the one represented in fig. 6 allows one to create good connections only in one direction, while for the other the waiting times are longer.

In the example shown in fig. 7 the primary systems set at an hourly frequency, cross each other always at zero, or at the half hour of the clock, in correspondence of the primary interchange nodes. An ideal interchange node can then be created. This means that between the primary interchange nodes the travel time is a "modular" type<sup>(14)</sup>.

<sup>(11)</sup> In this regard see [4] and see even PELLANDINI, 2003 [13] on the Cadenced and Coordinated or Integrated Schedule. For the optimization of the periodical timetable see even LIEBCHEN, 2006 [10].

<sup>(12)</sup> The clock indicates the starting/arriving minutes of the services in a given station. If the services are cadenced thus repeating in time with the same characteristics, the clock summarizes the overall offer of the considered station.

<sup>(13)</sup> The conventional minute is zero. It is good up to bi-hourly frequencies. If services to be connected are cadenced with hourly frequency, also 30 minute is ok. For half an hour frequency also 15-45 clock is ok.

<sup>(14)</sup> In the example case, where the frequency is an hourly frequency, the modular time is of half an hour. If the frequency were a bi-hourly frequency the module would be of 60 minutes. The travel time between one node and the other in terms of modules is defined as "system time".

## SCIENZA E TECNICA

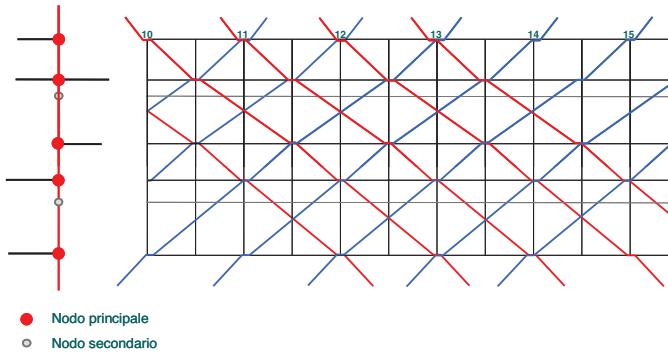


Fig. 7 – Orario Cadenzato Coordinato (OCC). *Cadenced and Coordinated Schedule (CCS)*.

ne con i sistemi su gomma, e la forzatura può riguardare solo i tempi di percorrenza tra i nodi ritenuti principali.

L'altra scelta che spetta al progettista, nei nodi non integrali, è quella di individuare una priorità delle coincidenze.

Da sottolineare che il secondo approccio, quello che prevede la forzatura dei tempi a quelli di sistema, è quello seguito ad esempio dalle ferrovie svizzere e tedesche, dove spesso gli interventi sulle linee sono finalizzati al raggiungimento, anche progressivamente nel tempo, dei tempi di percorrenza e quindi degli orologi più opportuni per la realizzazione di un sistema a rete<sup>(15)</sup>.

La scelta italiana di creare sulla dorsale AV un sistema di servizi veloci, ma anche ad elevata frequenza, rende meno rilevante il problema dell'integrazione, degli appuntamenti con i sistemi regionali: anche i servizi fuori appuntamento possono beneficiare di buone coincidenze con i servizi AV, essendo questi ultimi ad elevata frequenza. L'integrazione è comunque importante tra gli stessi sistemi regionali e con gli altri servizi a più bassa frequenza.

*Frequenza vs. velocità* – La scelta tra frequenza e velocità si presenta ad esempio nelle linee a semplice binario dove l'aumento della frequenza comporta un aumento del numero degli incroci e dunque un aumento del tempo di percorrenza. Quest'ultimo può essere in realtà determinato anche dai tempi di sistema, dalla necessità cioè di avere, tra un incrocio e l'altro, tempi di percorrenza dati<sup>(16)</sup> che possono essere superiori a quelli realmente necessari per percorrere il tratto tra le due stazioni sede di incrocio.

L'aumento della frequenza può dunque essere ottenuto a prezzo di un aumento del tempo di percorrenza com-

To create such event it could be necessary to increase the travel time of the trains by a few minutes in order to adapt them to the modular times of the system. In this case one has to decide whether to reduce the speed in order to exploit the potentials of integration and increase the space accessibility of the network system.

Conversely it may be necessary to reduce the travel times, and where this is not possible, either by acting on stops or rolling stock, it may be necessary to intervene on the infrastructure.

Obviously it is not always possible to implement such "forcing"

either upward or downward, and some nodes may not turn out to be integral. The important choice bearing upon the designer, with a constant look on how to optimise the time factor, is then that of identifying a priority between nodes. In such case the forcing may be related only to the travel times between the principal nodes.

The other choice that bears upon the designer, when considering the non-integral nodes, is that of identifying a priority among the connections.

What needs to be evidenced is that the second approach, which bounds the times to the system ones, is the same one adopted by the Swiss and German railways. In those contexts interventions on the lines have the scope to adhere to the travel times (over time if found necessary), and consequently to more appropriate clocks used then to develop a networked system<sup>(15)</sup>.

The solution chosen by Italy to develop on the High Speed backbone a fast service system, with an elevated frequency as well, reduces the importance of the integration problem, and rendezvous with regional services: even services that do not have a rendezvous could benefit from acceptable connections to High Speed services, being the latter available with a high frequency. Integration still has its importance between the same regional services, and with other services offered at a lower frequency.

*Frequency vs. Speed* – The choice between frequency and speed is found for example on single track lines where an increase to the frequency produces an increase in train crossings, thus increasing the travel time. The latter could also be determined by the system's times, in other words by the need to abide to given travel times<sup>(16)</sup> between a train crossing and the next. Such travel times could be

<sup>(15)</sup> Si veda per questo LEUSCHEL-STOHLER, 2003 [9].

<sup>(16)</sup> La metà dell'intervallo di cadenzamento meno i tempi di incrocio.

<sup>(15)</sup> In this regard see LEUSCHEL-STOHLER, 2003 [9].

<sup>(16)</sup> Half the headway minus the crossing times.

## SCIENZA E TECNICA

plessivo anche non di poco conto. In alternativa, ma vi è bisogno di intervenire sull'infrastruttura, è in alcuni casi possibile con piccole velocizzazioni o con la realizzazione di nuovi punti di incrocio o di raddoppi selettivi, cioè limitati a brevi tratti di linea, forzare le tracce ad una struttura di cadenzamento più opportuna, che consenta di limitare tale inconveniente.

*Diversificazione dei prodotti vs. integrazione* – Ne parliamo alla fine, ma questo problema, nel disegno di una rete, è forse a monte di tutti gli altri, nel senso che riguarda un po' la filosofia che sottende la costruzione di un intero orario, e riguarda sia il disegno della rete, che la struttura d'orario che si vuole realizzare: si vogliono pre-diligere i collegamenti diretti tra le varie località, diversificando i servizi in termini di attestamenti e/o in base alla "gerarchia" delle fermate, o si vogliono sfruttare le possibilità dell'integrazione, realizzando un sistema di tipo *rendez vous*?

Il problema riguarda tanto i collegamenti tra località appartenenti a direttrici differenti che tra località a differente gerarchia lungo una stessa direttrice.

Si vuole ad esempio collegare i poli di secondo livello (es. Orvieto, Parma, Latina) con i poli di primo livello (es. Milano, Roma, Napoli) e tra loro, mediante collegamenti diretti (ad esempio con treni IC) o al contrario si preferisce puntare sull'integrazione tra treni veloci e treni locali, realizzando dunque per queste relazioni collegamenti che prevedono un trasbordo?

Questo significa che deve essere chiara la "funzione" di ciascun prodotto di traffico, fermo restando che uno stesso prodotto può assolvere a funzioni differenti (ad esempio di collegamento locale ma anche di adduzione a treni veloci). Quanto più i prodotti sono indifferenziati, più numerose sono le funzioni cui essi vanno ad assolvere.

### 4. Valutare la qualità di un orario

#### 4.1. Il confronto delle alternative progettuali

Nel progettare la struttura di un orario possiamo quindi trovarci di fronte a una serie di possibili alternative, in relazione ai *trade-off* che abbiamo esaminato.

Nel caso di orari tradizionali, la portata delle scelte è relativamente limitata, o meglio non sono necessarie scelte importanti, perché si progetta traccia per traccia, "accontentando" (in momenti diversi della giornata) un po' tutti. Nel caso di orari strutturati, si deve progettare invece un intero sistema e si devono assumere scelte rilevanti: si deve decidere una volta per tutte come servire al meglio le diverse relazioni e tra queste quali devono avere i maggiori benefici. Le scelte progettuali per la definizione della migliore struttura d'orario, cioè quella che ottimizza il fattore tempo collettivo, relativamente a una rete o porzione di essa, sono molteplici e di tipo non banale. Le cose tra l'altro si complicano, tanto più ampio, interconnessa e gerarchizzata è la rete. È soprattut-

higher if compared to the actual ones needed to cover the distance between two stations that handle train crossings.

The frequency increase can be therefore obtained in exchange to accepting an increase of the overall travel time which may not be neglected. Alternatively in some cases it may be possible to force the train-paths to a more appropriate cadenced structure, thus eliminating the mentioned inconvenient, by intervening on the infrastructure that is by implementing small changes in velocity, carrying out crossings or double tracking selected segments of the line (i.e. limited length).

*Diversifying products vs. integration* – We mention it at the end, but this problem, when designing a network, is probably the master one, meaning that it is related somehow to the philosophy behind the development of a timetable as a whole. The problem is related both to the network design and to the desired timetable structure: would one prefer to establish a direct connection to various locations, thus diversifying the services in terms of termination and based upon a "hierarchy" of stops? Or would one consider the possibilities offered by the integration approach, by implementing as a result a "rendezvous" system?

The issue encompasses both connections between locations that are on different corridors, and locations that are subjected to a different hierarchy along the same corridor.

To better illustrate, would one wish to connect secondary poles (e.g. Orvieto, Parma, Latina) with primary poles (e.g. Milan, Rome, Naples) and between them, by means of direct connections (e.g. with InterCity trains)? Or would one instead prefer to invest on integration between high speed and local train services, by creating along these relations services that include a change-over?

The above discussion means that one have to have clear the "function" of each traffic product, understanding that the same product can be employed in different situations (for example, a train can serve as a local train but also as a feeder to high speed trains). The more the products are non-differentiated, the higher is the number of functions that they have to perform.

### 4. Evaluating the quality of a timetable

#### 4.1. Comparing design alternatives

In designing the structure of a timetable we may therefore find ourselves in the need to select between a series of alternatives related to the *trade-offs* discussed above.

In the case of traditional timetables, the importance of the choices is relatively limited. In other words important choices are not necessary, because one designs on a path-by-path basis, thus "satisfying" somehow everyone. In the case of structured timetables, an entire system has to be designed, and relevant choices have to be adopted: once and for all it has to be decided how to best serve the various relations and which relations have to gain the highest

## SCIENZA E TECNICA

to nel caso dei sistemi cadenzati che ha senso pertanto, e diventa necessario, poter valutare la qualità trasportistica dell'orario.

Se vogliamo capire qual è la struttura d'orario che, nel rispetto di vincoli dati, riesce ad ottimizzare il fattore tempo della collettività, dobbiamo essere in grado di:

- individuare a livello di rete le alternative progettuali di struttura, commercialmente più ragionevoli - a seconda della distribuzione territoriale della domanda - e compatibili con i vincoli produttivi (infrastruttura e materiale rotabile);
- valutare, per ognuna di queste alternative, vantaggi e svantaggi sui diversi segmenti di domanda potenziale;
- quantificare la portata di questi vantaggi e svantaggi in termini di fattore tempo collettivo.

Il confronto delle alternative è tra le diverse strutture d'orario che stiamo ipotizzando, ma deve poter essere esteso anche ad orari tradizionali. In particolare ci può interessare confrontare la qualità di un nuovo sistema d'orario e quella di un orario tradizionale preesistente.

### 4.2. Indicatori, modelli e dati: alcune questioni da approfondire

La valutazione della qualità dell'orario, in termini di maggiore o minore attrattività nei confronti della domanda, sta proprio nella quantificazione relativa di vantaggi e svantaggi sui diversi segmenti.

Laddove sia a disposizione una base dati significativa sulla domanda da servire, il confronto può essere fatto:

- mediante opportuni indicatori di qualità, che sintetizzino le prestazioni risultanti in termini di fattore tempo collettivo;
- oppure in base agli effetti sulla ripartizione modale attesa, con l'ausilio di modelli di domanda appropriati.

Un possibile indicatore della qualità trasportistica è ottenibile mutuando il concetto di "potenza di trasporto", in termini di prodotto tra domanda (potenziale) attraiibile e velocità (commerciale) del servizio, per l'insieme delle relazioni O-D considerate<sup>(17)</sup>. Tale indicatore, di cui si ricerca la massimizzazione, è adatto ad individuare (nel *trade-off* velocità-accessibilità,) la migliore struttura delle fermate di un determinato prodotto di traffico. L'utilizzo di tale indicatore potrebbe altresì essere esteso anche alla valutazione della qualità nel caso degli altri *trade-off*, generalizzando, per ciascuna relazione O-D, le prestazioni di sistema in termini di fattore tempo: ad esempio trasformando opportunamente l'intervallo tra le corse in sfasamento temporale o tempo di attesa, da sommare al tempo di percorrenza stazione-stazione, per il calcolo della velocità commerciale relativo alle singole

benefits. The design choices used to define the best possible timetable structure for a network or part of it (i.e. the one that optimises the collective time factor), are many and not trivial. Moreover things get more complex as a network becomes more ample, interconnected, and with a hierarchy. It makes therefore more sense, and thus becomes necessary, to consider the quality of transport in a timetable in the context of cadenced systems.

If we wish to understand which timetable structure, considering the given constraints, is able to optimise the collective (or overall) time factor, we must be able to:

- identify at the network level the design alternatives of the structure, commercially more reasonable – in accordance with the specific demand distribution – and compatible with the productive constraints (infrastructure and rolling stock);
- evaluate, for each of these alternatives, advantages and disadvantages over different portions of potential demand;
- quantify the importance of such advantages and disadvantages in terms of the overall time factor.

The comparison between alternatives falls within the different timetable structures being considered, but such comparison must also be extended to traditional timetables. Specifically it could be interesting to compare the quality of a new timetable with that of a pre-existing traditional one.

### 4.2. Indicators, models, and data: some issues to be further explored

In terms of a greater or smaller attractiveness to demand, the evaluation of a timetable stands precisely in the quantification of advantages and disadvantages over diverse segments.

If there is a baseline of data meaningful in terms of demand, the comparison can be done:

- by means of appropriate quality indicators that synthesize the resulting performances in terms of overall time factor
- or based upon the effects on the expected modal apportionment, with the aid of appropriate demand models.

A possible transportation quality indicator can be achieved using the concept of "transportation power" defined as product between attractable (potential) demand and service commercial speed for the O-D relations considered<sup>(17)</sup>. Such indicator, of which the maximization is researched, is suitable to detect (in the speed-accessibility trade-off) the best structure of the stops of a railway product. The utilization of such indicator could be even ex-

<sup>(17)</sup> Rif. PRIT Emilia Romagna [14]

<sup>(17)</sup> Rif. PRIT Emilia Romagna [14]

## SCIENZA E TECNICA

relazioni O-D<sup>(18)</sup>. La possibilità di utilizzare in tal modo tale indicatore è al momento oggetto di specifico approfondimento.

Per quanto riguarda la possibilità di usare i modelli di domanda, per confrontare differenti strutture d'orario, ci troviamo di fronte ad un'area della modellistica le cui applicazioni possono essere ulteriormente sviluppate. Un importante passo avanti è stato fatto con i modelli *schedule-based* (NUZZOLO, CRISALLI, CANGEMI, 1999) che superano il concetto della frequenza, andando a considerare le penalità derivanti dallo sfasamento tra orari di partenza/arrivo desiderati dai viaggiatori ed orari effettivi del singolo treno. L'ulteriore passaggio è quello di considerare l'orario non a valle, nella fase di assegnazione, bensì a monte nella fase di ripartizione modale. Questo allo scopo di verificare non solo l'effetto di differenti architetture di rete (itinerari e livelli di servizio complessivi), ma anche per valutare l'attrattività relativa, in termini di ripartizione modale attesa, di differenti alternative d'orario, anche a frequenze complessive date.

In effetti, quando si parla di progettazione di rete, è spesso al primo tipo di problemi che viene fatto riferimento, cioè a quelli relativi al disegno della rete, alla parte cosiddetta "strategica" della pianificazione, con la progettazione dell'orario invece solitamente vista come momento intermedio di progettazione "tattica"<sup>(19)</sup>.

Quando si parla ad esempio del "piano di trasporto" (o del "modello di esercizio" o del "piano di rete"), ci si riferisce spesso alla individuazione delle linee e dei relativi volumi di traffico, senza riferimento alla struttura dell'orario.

Qui, invece, l'orario è inteso come parte integrante del piano di trasporto, di cui di fatto diventa sinonimo, quando i sistemi sono di tipo strutturato e a rete: l'orario diventa "il" piano di trasporto e può essere definito ad un livello di pianificazione più alto.

L'ultima questione è quella dei dati. Solitamente, i dati utilizzati per simulare gli effetti di differenti configurazioni di piano, fanno riferimento alla mobilità di tipo sistematico e spesso sono limitati alla sola fascia di punta. Ma se vogliamo valutare qual è l'orario che riesce complessivamente ad essere più attrattivo nei confronti dei viaggiatori, dobbiamo poter estendere le nostre analisi all'intera giornata, comprendendo sia le andate che i ritorni, e considerare anche le altre componenti di mobilità non sistematica. Anche qui si sconta a volte una visione dell'orario prevalentemente di tipo tradizionale, calibrato

tended to the quality assessment in the case of the other trade-offs, by generalization, for each O-D relation, the system's performance in terms of the time factor: for example one could conveniently transform the time interval between train runs into time displacement or waiting times, to be then added to the station-station travel time for the calculation of the commercial speed relevant to the single O-D relations<sup>(18)</sup>. The possibility to use in such a way this indicator is at the moment under consideration.

In regard to the possibility of utilising demand models to compare different timetable structures, we find ourselves in a modelling area where applications could be further developed. An important step forward has been made with *schedule-based* models (NUZZOLO, CRISALLI, CANGEMI, 1999) which overcome the concept of frequency. These models consider the penalties generated by the phase displacement between arrival/departure times desired by travellers and actual times of the single train. The additional step to take is that of considering the timetable not at its final stage (i.e. assignment phase), but at its initial stage, that is, during its modal repartitioning phase. This has the main scope to not only verify the different architectural types of networks (itineraries, and overall service levels), but also to evaluate the relative attractiveness, in terms of planned modal allocations, of different timetable alternatives, even with given overall frequencies.

As a matter of fact, when dealing with network design, often one refers to the first type of problems, that is, to those problems relative to the network design in the so called "strategic" part of the planning. The timetable planning is usually seen instead as an intermediate stage within in the "tactical" design<sup>(19)</sup>.

When for example we talk about the "transport plan" (or about the "operation model", or about a "network plan") we are referring to the identification of the lines and related traffic volumes, without any reference to the timetable structure.

Here instead the timetable is seen as an integral part of the transport plan, of which becomes a synonym, when the systems are structured and networked: the timetable becomes "the" transport plan, and may be defined at a higher level of planning.

The last issue pertains to data for model calibration. Usually the data used to simulate the effects of different plan configurations refer to the systematic type of mobility, and often they are limited to the peak times. But

<sup>(18)</sup> Si veda per questo ad esempio WARDMAN [19], che trasforma la frequenza in equivalenti unità di tempo, considerando due possibili comportamenti del viaggiatore, a seconda che questo si rechi in stazione per prendere un treno ad un orario prefissato oppure in maniera *random*, per prendere il primo treno utile.

<sup>(19)</sup> Per i tre livelli del *planning* (strategico, tattico e operativo) si veda ad esempio VAN DER VELDE, 1999 [17] e GUIHAIRE, KAO, 2008 [7]

<sup>(18)</sup> See for instance WARDMAN [19] that transforms the frequency in equivalent time units by considering two possible behaviors of the traveler: reaching the station to take a train at a specified time or in a *random* way, that is, to take the first useful train.

<sup>(19)</sup> See for instance VAN DER VELDE, 1999 [17] and GUIHAIRE, KAO, 2008 [7] for the three *planning* levels (strategic, tactical and operational).

## SCIENZA E TECNICA

principalmente sulle esigenze dei pendolari e nelle ore di punta. Al contrario, un orario di tipo cadenzato, con un'offerta regolare e continua nel tempo, mira ad acquisire mercato anche su segmenti di domanda differenti e nel corso dell'intera giornata, ma questo dovrebbe venire in qualche modo preventivamente quantificato.

### 4.3. Orario tradizionale o cadenzato?

Poiché stiamo parlando di qualità dell'orario in termini di attrattività nei confronti della domanda potenziale, ci dobbiamo chiedere a questo punto: in generale, cosa è più attrattivo per i viaggiatori, e dunque commercialmente più efficace, un orario cadenzato o un orario tradizionale? E come può essere misurata la qualità relativa di queste due differenti opzioni d'orario?

In base a quanto abbiamo visto fin qui, va da sé che la risposta la possiamo avere solamente confrontando differenti ipotesi d'orario (per mezzo di indicatori o in termini di ripartizione modale attesa): un orario preesistente di tipo tradizionale e una o più ipotesi di struttura d'orario innovativo. I vantaggi, o gli svantaggi, possono infatti essere diversi, in termini di fattore tempo complessivo, a seconda dell'orario preesistente e a seconda della struttura d'orario che riusciamo a realizzare, dati i vincoli e le condizioni al contorno. E questo è vero anche a sostanziale parità di offerta complessiva, andando a considerare cioè un orario cadenzato che sistematizza l'offerta esistente, eventualmente colmando i "vuoti" di offerta, ma senza andare a modificare eccessivamente il livello di produzione di partenza.

La possibilità di attrarre o meno nuova domanda dipende inoltre dalla distribuzione della domanda complessiva nel corso della giornata e dalla struttura territoriale.

In generale, ragionando in termini di prestazioni risultanti, possiamo comunque dire che i vantaggi di un orario cadenzato sono soprattutto sul fronte della migliore accessibilità temporale e spaziale che essi consentono di offrire. Per contro, un sistema cadenzato presenta caratteristiche di maggiore rigidità, e più difficilmente si presta a rispondere ad esigenze puntuali, quali possono essere quelle dei pendolari nelle fasce di punta, o all'inserimento dei cosiddetti "treni spot"<sup>(20)</sup>. Viceversa un sistema di tipo tradizionale, maggiormente flessibile, più difficilmente riesce ad essere interconnesso a rete e paga in definitiva in termini di una più limitata accessibilità spazio-temporale<sup>(21)</sup>.

if we want to evaluate which timetable is able to become the most appealing to the passengers, we have to extend our analyses to the entire day, thus including both the outbound and inbound trips, as well as considering the other components of non-systematic mobility. Also here it is taken for granted a vision of the timetable to be typically as a traditional one, calibrated primarily over the needs of the commuters and over peak times. A cadenced timetable instead, with a steady and continuous offer over time, aims to acquire market also on portions of different demands and during the entire day. This however should be somehow preventively quantified.

### 4.3. Traditional or cadenced timetable?

Because we are talking about the quality of a timetable in terms of its appeal to potential demand, at this point we have to ask ourselves: what is more attractive in general? A cadenced or a traditional timetable? And how can one measure the relative quality of these two different timetable options?

Based on what we have seen up to now, it is clear that we can get an answer only by comparing the different timetable hypotheses (by means of either indicators, or in terms of expected modal apportionment): a pre-existing traditional type of timetable and one or more hypotheses of an innovative timetable structure. The advantages, or the disadvantages, can be in fact different in terms of overall time factor, depending on the pre-existing timetable, and depending on the timetable structure that we are able to implement, given the constraints and the boundary conditions. And this is true also even at substantially equal total supply, that is, when one considers a cadenced timetable that is able to systematically arrange the existing supply, eventually filling up supply "gaps", but without excessively modifying the initial production level.

The possibility to either or not attract new demand also depends on both the overall demand distribution during the day and the territorial structure.

In general, when thinking in terms of resulting performances, we can say that the advantages of a cadenced timetable are especially in terms of the better space and time accessibility. Conversely, a cadenced system shows the characteristics of a greater rigidity, thus having the lack of responding to punctual needs, such as those of the commuters during peak times, or the insertion of "spot trains"<sup>(20)</sup>. Vice versa a traditional type of system, being more flexible, presents a greater difficulty to interconnect

<sup>(20)</sup> Da sottolineare che un orario cadenzato, può essere comunque costruito in maniera tale da "ospitare" una certa dose di flessibilità: per consentire ad esempio l'inserimento dei treni "spot", per rinforzare l'offerta di punta o per personalizzare alcuni treni specifici.

<sup>(21)</sup> In paesi come la Svizzera e la Germania, ma anche in Olanda e Austria, prevale in genere la scelta dell'opzione caden-

<sup>(20)</sup> It has to be underlined that a cadenced timetable can be anyway constructed in such a way to "include" a certain amount of flexibility: to allow for instance the introduction of "spot" trains to enrich the peak time offer or to customize some specific trains.

## SCIENZA E TECNICA

A proposito di accessibilità spaziale, STOHLER e MONTANARO [16] mettono in particolare in evidenza che miglioramenti su questo fronte sono possibili laddove, oltre al cadenzamento, sia realizzato anche un sistema di interconnessioni regolari, mediante il coordinamento degli orari nei nodi (OCC) e dove dunque sia considerato prioritario l'obiettivo dell'integrazione di rete<sup>(22)</sup>. Sulla base di quanto esaminato nel paragrafo relativo all'integrazione, possiamo forse dire che la messa a rete del sistema è proprio il modo per superare il *trade-off* accessibilità spaziale vs. accessibilità temporale: si concentra l'offerta su un numero inferiore di linee, ma queste vengono tra loro interconnesse, in maniera tale da servire il maggior numero possibile di relazioni, se non in maniera diretta, con uno scambio in un tempo di attesa ragionevole.

A proposito di accessibilità temporale, WARDMAN et al. [19], hanno messo in evidenza le caratteristiche dell'orario cui riconducono i miglioramenti su questo genere di prestazioni: l'uniformità degli intervalli e la cosiddetta *clockfacedness*<sup>(23)</sup>, che consentono di ridurre statisticamente i tempi di attesa e il possibile sfasamento d'orario rispetto alle esigenze dei viaggiatori. A questo proposito, essi hanno condotto una serie di indagini SP (*stated preference*), su alcune relazioni della rete britannica, mettendo a confronto l'orario esistente e alcuni possibili orari cadenzati<sup>(24)</sup> ed hanno valutato i benefici in termini di domanda acquisibile, sulla base di modelli basati sull'elasticità al fattore tempo.

### 5. Conclusioni

Con l'articolo qui presentato è stato proposto il concetto della "qualità" trasportistica dell'orario e sottolineato l'importanza di una sua valutazione. La qualità dell'orario è qui riferita alle prestazioni, in termini di fattore tempo, che l'orario consente di realizzare. Si tratta cioè di una qualità di natura trasportistica, che ha a che fare col

zata e coordinata a livello di intera rete. In Inghilterra e Francia, sono stati storicamente privilegiati orari di tipo tradizionale, sebbene recentemente vi sia stato un crescente interesse verso orari di tipo cadenzato, realizzati su alcune direttive, a volte però con cadenzamenti in partenza e via via "persi" lungo il percorso. In Italia i cadenzamenti sono realizzati su gran parte delle direttive principali, sia nella lunga percorrenza che nel trasporto locale, ma non sempre con una forte connotazione di rete. L'offerta cadenzata, inoltre, inizia generalmente dopo le ore di punta del mattino.

<sup>(22)</sup> Si veda per questo anche LORENZINI-RICCI, 2005 [11].

<sup>(23)</sup> Orari che si ripetono ogni ora agli stessi minuti. Non tutte le frequenze la consentono: ad esempio con una frequenza di 40 minuti la clockfacedness non è realizzata. Le frequenze che generalmente vengono considerate nella progettazione di un sistema cadenzato ferroviario sono di 120, 60, 30, 7,5 minuti.

<sup>(24)</sup> Con ipotesi diverse relativamente agli attributi dell'orario, legati appunto all'accessibilità temporale.

itself into a network, thus paying a greater price in terms of more limited space-time accessibility<sup>(21)</sup>.

In regard to space accessibility, STOHLER and MONTANARO [16] especially bring to evidence that improvements over it are possible wherever, through cadence (headway), a regular interconnection system is also created. Such system is regulated through coordination of the node's timetables (CCS), where the objective of network integration is considered to be a priority<sup>(22)</sup>. Based on what was examined in the paragraph relative to integration we can say that the implementation on a network of the system is exactly the way to overcome the space accessibility vs. time accessibility *trade off*: the supply is concentrated over a reduced number of lines, but these are interconnected with each other, in order to provide service to the larger number of relations possible, either in a direct manner or through an exchange of reasonable waiting time.

In regard to time accessibility, WARDMAN et al. [19] have brought to evidence the characteristics of the timetable to which refer the improvements over this type of performances: the uniformity of the time intervals and the so called *clockfacedness*<sup>(23)</sup>, both of which allow to statistically reduce the waiting times and the possible phase displacement of the timetable with respect to the passengers' needs. With this regard, they have conducted a series of investigations SP (*stated preference*) over some relations of the British Rail, by comparing the existing timetable<sup>(24)</sup>, with some of the possible cadenced ones, and have thus evaluated the benefits in terms of acquirable demand, in accordance to models based on the elasticity with respect to the time factor.

### 5. Conclusiones

With this article we have introduced the concept of the transport "quality" of the timetable, and highlighted the importance of its evaluation. The quality of a timetable is here referred to the performances, in terms of time factor, that the timetable is able to produce. It is therefore a qual-

<sup>(21)</sup> In countries like Swiss and Germany but even in Austria and Netherland, the choice of the cadenced option, coordinated at the level of the whole network, usually prevails. In England and France traditional timetables have been historically preferred even though recently there has been an increasing interest for cadenced timetables, implemented over some routes with initial headways that are sometimes "lost" during the trip. In Italy the headways are implemented on the most part of the main routes, both for the long run trips and for local transport, not always with a strong network connotation. Moreover the cadenced offer usually begins after the morning peak hours.

<sup>(22)</sup> In this regard see even LORENZINI-RICCI, 2005 [11].

<sup>(23)</sup> Timetables repeating every hour at the same minutes. Not all the frequencies make it possible: for instance the *clockfacedness* is not implemented with a frequency of 40 minutes. The frequencies that are generally considered in the design of a cadenced railway system are 120, 60, 30 and 7,5 minutes.

<sup>(24)</sup> With different hypotheses regarding the timetable characteristics, tied to the time accessibility.

## SCIENZA E TECNICA

fattore tempo dei viaggiatori e che va distinta dalla qualità intesa come puntualità (quest'ultima, secondo questa chiave di lettura, è da considerare come rispetto delle prestazioni dichiarate).

Ma poiché gli effetti di un orario, in termini di prestazioni, variano a seconda della relazione O/D considerata (quello che conviene ad alcuni può non andar bene ad altri), la qualità dell'orario va valutata in termini di uso collettivo del fattore tempo: il migliore orario è quello che riesce a soddisfare (e quindi attrarre) il maggior numero di viaggiatori e a massimizzare pertanto la quota modale rispetto alle modalità concorrenti.

È importante allora poter valutare la qualità trasportistica di un orario, che può variare se varia il disegno della rete (prodotti e frequenze), ma anche semplicemente al variare della struttura dei servizi, cioè la loro combinazione reciproca: quello che interessa sapere è, in fin dei conti, se un orario è migliore di un altro. La valutazione che occorre poter fare cioè è di tipo comparativo. In particolare vogliamo poter confrontare un orario preesistente e una nuova ipotesi di orario oppure alternative d'orario differenti, in termini di maggiore o minore attrattività nei confronti della domanda, oltre che poi ovviamente in termini di efficienza economica, fattibilità e stabilità.

Le possibili alternative d'orario, da valutare nel confronto di qualità, sono sul tipo di orario (tradizionale e cadenzato) e poi sulle specifiche alternative di progetto che si possono presentare caso per caso. A questo proposito, si è tentato di "scomporre" i problemi che si pongono al progettista, in una serie di "problemi elementari", presentati in termini di possibili *trade-off* tra obiettivi differenti: ad esempio, quello classico tra velocità e accessibilità, ma ce ne possono essere tanti altri. Alcuni di questi *trade-off* riguardano più in generale il disegno della rete, altri riguardano invece la struttura dell'orario e si possono porre anche a prodotti individuati e frequenze complessive date.

Il numero delle alternative possibili è tanto maggiore quanto più ampia, interconnessa e gerarchizzata è la rete. Esso cresce peraltro al diminuire della frequenza dei servizi.

Nel presentare i possibili *trade-off*, è stato fatto riferimento al caso dei sistemi strutturati, dove è non un orario di dettaglio bensì appunto la "struttura" di un orario che deve essere determinata, su una determinata direttrice, rete o porzione di essa.

Confrontando tra loro le possibili alternative di progetto, è possibile mettere in evidenza vantaggi e svantaggi per i diversi segmenti di domanda. Il passo successivo è poter quantificare la portata di questi vantaggi e svantaggi, ma per fare questo occorre dotarsi di una base dati significativa e di modelli adeguati, che consentano di ricavare opportuni indicatori di qualità o, ancora meglio, verificare gli effetti sulla ripartizione modale attesa, a seconda della struttura d'orario ipotizzata.

ity related to its transport nature which has to deal with the passengers' time factor, and has to be distinguished from the quality intended as punctuality (the latter, according to this interpretation, has to be considered as a compliance with the stated performances).

The effects of a timetable however vary according to the considered O/D relation, in terms of performances (what may be convenient for someone, may not be convenient for others).

As seen before the quality of a timetable is evaluated in terms of collective use of the time factor: the best timetable is the one capable to satisfy (and then attract) the largest possible quantity of travellers and maximize the modal share with respect to the competing modes.

It is important therefore to evaluate the transportistic quality of the timetable, which may vary if the network design varies (products and frequencies), or just if the structure of the services, i.e. their reciprocal combination, varies: what one is interested to know is, after all, whether or not a timetable is better than another. In other words the evaluation that needs to be done is that of a comparison. In particular we want to be able to compare a pre-existing timetable with either a new hypothesis of a timetable, or with different timetable alternatives, in terms of greater or smaller attractiveness with respect to demand and obviously in terms of economic efficiency, feasibility and stability.

The possible timetable alternatives, to be evaluated with respect to quality, are based on the timetable type (traditional or cadenced), and on the specific project alternatives that may arise on a case by case basis. With this regard, it has been attempted to "decompose" the problems presented to the designer into a series of "elementary problems". The latter are presented in terms of possible trade-offs among different objectives: for example, the classic trade-off between speed and accessibility, but there are many more. Some of these trade-offs are related more in general to the network design, while others are related to the timetable structure. Again these *trade-offs* can also apply when products are selected and overall frequencies given.

The number of alternatives becomes larger as the network becomes larger, interconnected, and with a hierarchy structure. Conversely the same number increases when the frequency of services decreases.

In presenting possible *trade-offs*, we have referred to the case of structured systems. In this case what needs to be determined over a network, corridor, or part of it is not a detailed timetable, but rather the "structure" of a timetable.

Comparing between each other the possible design alternatives, it is possible to bring to evidence the advantages and disadvantages related to different demand segments. The next step consists in the ability to quantify the importance of such advantages of disadvantages, but in order to do this one needs to be equipped with a meaningful database and adequate models that are able to provide convenient quality indicators or, even better, to verify

## SCIENZA E TECNICA

A questo proposito, sono state evidenziate alcune questioni da approfondire, sul versante dell'applicazione dei modelli di domanda e su quello delle basi dati da utilizzare.

È soprattutto quando si progetta un orario di tipo strutturato, che ha senso, e diventa necessario, poterne valutare e misurare la qualità: le scelte da fare riguardano non una singola traccia, bensì un intero sistema d'orario e si deve decidere una volta per tutte come servire al meglio le diverse relazioni.

Per contro, proprio perché l'orario è strutturato, è più semplice prendere in considerazione, a livello di sistema, più ipotesi d'orario ed è più semplice procedere ad una valutazione della loro qualità relativa, perché sono costanti nel tempo le prestazioni associate all'orario. E a proposito di dati, sempre per lo stesso motivo, diventa sufficiente conoscere i volumi di domanda complessiva nell'intera giornata.

La possibilità di individuare e confrontare le possibili alternative d'orario a livello di sistema, verificandone (e quantificandone se possibile) gli effetti, in termini di vantaggi e svantaggi sui diversi segmenti di domanda, diventa un importante vantaggio - di metodo - dell'opzione cadenzata: la progettazione dell'orario può essere impostata in una logica di sistema e ottimizzazione e può essere considerata già a livello di piano di trasporto, con la possibilità di manovrare fino in fondo, e in maniera consapevole, tutte le leve che andranno a determinare l'efficacia dei servizi offerti.

the effects over the expected modal apportionment, depending of the utilised timetable structure.

In this regard, some issues that need to be further explored have been presented, both on the side of the application of demand models and on the side of the databases to be used.

It makes sense, and thus it becomes necessary, to be able to measure the timetable quality most of all when one is designing a structured type of timetable: the choices to be made regard not a single path, but an entire timetable system, and one has to make the final decision on how to better serve the different relations.

Conversely, precisely because the timetable is structured, it is more convenient to consider at the system level various timetable hypotheses. Moreover it is simpler to perform an evaluation of their relative quality, because the performances related to the timetable are constant in time. With regard to data, always for the same reason, it becomes sufficient to know about the overall demand during the day.

The ability to identify and compare the possible timetable alternatives at the system level, thus verifying (and quantifying if possible) the effects in terms of advantages and disadvantages over different demand segments and time periods becomes one of the primary advantages (of method) of the cadenced option: the design of a timetable can be set up in a system and optimisation logics, and can be considered already at the transportation planning level, with the possibility to completely operate all the levers that will determine the effectiveness of the supplied services.

### BIBLIOGRAFIA - REFERENCES

- [1] E. CHERCHI, "Il valore del tempo nella valutazione dei sistemi di trasporto", Franco Angeli 2003.
- [2] F. CIUFFINI, "Geometria dei sistemi di orario cadenzato", Sistemi di trasporto, 1, Napoli 2001.
- [3] F. CIUFFINI, "Sistemi di offerta ad orario cadenzato: parte I La teoria", La Tecnica Professionale, 2, CIFIL, Roma 2003.
- [4] F. CIUFFINI, "Sistemi di offerta ad orario cadenzato: parte II La progettazione di rete", La Tecnica Professionale, 3, CIFIL, Roma 2003.
- [5] F. CIUFFINI, "L'integrazione tra i servizi di trasporto passeggeri", La Tecnica Professionale, 5, CIFIL, Roma 2002.
- [6] F. CIUFFINI, "L'orario come fattore di scelta modale", La Tecnica Professionale, 7-8, CIFIL, Roma 2007.
- [7] V. GUIHAIRE, J.K. HAO, "Transit network design and scheduling: a global review", Transportation Research Part A, Elsevier Science 2008.
- [8] P. KOTLER, W.G. SCOTT, "Marketing Management", UTET, Torino 1993.
- [9] I. LEUSCHEL, W. STOHLER, "L'horaire 2003 des Grandes Lignes de la Deutsche Bahn AG", Revue General des Chemins de Fer, 2, Paris 2003.
- [10] C. LIEBCHEN, "Periodic Timetable Optimization in Public Transport", Operation Research Proceedings 2006, K.H. Waldmann und U.M. Stocker (eds.), pp. 29-36, Springer Verlag, Karlsruhe 2006.
- [11] C. LORENZINI, S. RICCI, "Soglie di convenienza e coordinamento nei nodi di scambio dei servizi ad orario cadenzato", Ingegneria Ferroviaria, 3, CIFIL, Roma 2005.

## SCIENZA E TECNICA

- [12] A. NUZZOLO, U. CRISALLI, F. GANGEMI, "A behavioural choice model for the evaluation of railway supply and pricing policies", *Transportation Research Part A*, Elsevier Science 2000.
- [13] G. PELLANDINI, "Orario Cadenzato Integrato", *Ingegneria Ferroviaria*, 7-8, CIFI, Roma 2003.
- [14] PRIT 98-2010, Piano Regionale Integrato dei Trasporti Emilia Romagna.
- [15] A. SCHÖBEL, "Optimization in Public Transportation: stop location, delay management and tariff zone design", Springer Verlag, Gottingen 2006.
- [16] W. STOHLER, G. MONTANARO, "Cologne-Francfort dans le réseau ferroviaire allemand et européen", *Le Rail*, 97, 2002.
- [17] D.M VAN DE VELDE, "Organisational forms and entrepreneurship in public transport. Part 1: classifying organisational forms", *Transport Policy*, 6, Elsevier Science, London 1999.
- [18] N. VAN OORT, R. VAN NES, "Line Length Versus Operational Reliability: Network Design Dilemma in Urban Public Transportation", *Transportation Research Record* 2112, pp. 104-110, 2009.
- [19] M. WARDMAN et al., "Consumer benefits and demand impacts of regular train timetables", *International Journal of transport management*, 2, 2004.

---

### Sommaire

#### LA QUALITÉ DE TRANSPORT DE L'HORAIRE FERROVIAIRE

L'article examine le thème de la qualité de transport de l'horaire ferroviaire, liée à l'attractivité des services offerts aux utilisateurs potentiels du train: la qualité de l'horaire est ainsi associée à la possibilité d'optimisation du facteur temps de la collectivité et d'amélioration, à parité de tarifs, du quota modal en faveur du fer. Dans ce but, l'article met en relief les compromis de projet qui peuvent se présenter dans la définition d'une structure d'horaire, ainsi que les possibles avantages et désavantages par rapport aux différents segments de la demande potentielle. L'article met enfin en évidence une possible zone d'approfondissement et de développement au niveau de la modélisation, tout en affrontant la question de la nécessité de la quantification de tels avantages et désavantages et mesurer ce genre de qualité.

### Zusammenfassung

#### DIE FAHRPLANSQUALITÄT IM EISENBAHNVERKEHRSWESEN

Die Qualität eines Fahrplans ist mit der Attraktionsfähigkeit für die potentiellen Kunden eng verbunden. Diese Qualität ist Teil der Möglichkeit einer Zeitbenutzungsoptimierung für Volksgemeinschaft und dazu ermöglicht sie, mit unveränderten Tarifen, den Anteil der Bahn am gemeinen Verkehr zu verbessern. Es werden mögliche und nutzbare Kompromisslösungen im Fahrplanausbau erwähnt. Es werden auch Vorteile und Nachteile für verschiedene Kundensektoren analysiert. Um diese Vorteile und Nachteile numerisch rechnen zu können, wird ein Vertiefungs- und Entwicklungsfeld aus der Modellwissenschaft vorgestellt.