

Un sistema di modelli per la previsione della domanda passeggeri sui servizi ferroviari AV

Forecast of passengers demand on HS rail services: a system of models

Dott. Ing. Roberto DALL'ALBA^(*)

Dott. Ing. Vito VELARDI^(*)

Sommario - Il presente articolo descrive l'attività svolta per lo sviluppo di un sistema di supporto per la previsione della domanda e la progettazione dei servizi ferroviari AV (le linee, gli orari e le tariffe), per conto della società NTV, dall'Associazione Temporanea di Imprese (di seguito ATI) costituita dalle società Net Engineering S.p.A. (mandataria), TSC Transportation System Consulting S.r.L. e Gruppo Clas S.r.L. (mandanti).

L'approccio utilizzato è stato quello dell'ingegneria di sistema basato sull'individuazione delle componenti tecniche e socio-economiche che caratterizzano il sistema della mobilità in un determinato territorio e sulla simulazione delle interazioni tra tali componenti tramite un insieme di modelli matematici molto sofisticati.

Il sistema di modelli implementato (DSS), sviluppato completamente ex novo⁽¹⁾, consente di prevedere ex-ante come si modificano gli equilibri di un sistema di trasporto al variare di una o più componenti chiave. Nel caso in studio lo scopo era quello di prevedere la distribuzione futura della domanda fra i diversi modi di trasporto (strada, aereo, treni tradizionali ed AV) in conseguenza dell'ingresso di un nuovo servizio ferroviario al fine di supportare le valutazioni di fattibilità economico finanziarie dell'investimento.

1. Introduzione

La più recente ed importante opera infrastrutturale del Paese è sicuramente rappresentata dai circa mille chi-

Summary - This article describes the activities carried out for the development of a support system for the forecasting of demand and the planning of HS railway services (lines, timetables and fares), on behalf of the company NTV, by the Associazione Temporanea di Imprese (hereinafter ATI) formed by the companies Net Engineering S.p.A. (leader), TSC Transportation System Consulting S.r.l. and Gruppo Clas S.r.l. (members).

The approach used was that of system engineering based on the identification of socio-economic and technical components that characterise the mobility system in a given area and on the simulation of interactions between these components through a set of highly sophisticated mathematical models.

The models system implemented (DSS), developed completely from scratch⁽¹⁾ allows forecasting ex-ante how the balance of a transportation system changes as one or more key components vary.

In the case study the aim was to forecast the future distribution of demand between the various transport modes (road, air, traditional and HS trains) as a result of the entry of a new rail service in order to support the economic and financial feasibility assessments of the investment.

1. Introduction

The latest and most important infrastructure project in the Country is definitely represented by about a thousand

^(*) NET Engineering S.p.A.

⁽¹⁾ Questo DSS è stato implementato "in house" utilizzando: MS Access come DB; Visual Basic e Visual C come linguaggi di programmazione sulla base dell'esperienza sviluppata negli anni dagli autori e dal gruppo di lavoro. Non si è fatto quindi ricorso ad alcun software disponibile sul mercato per le applicazioni in ambito trasportistico. Il software allo stato attuale presenta le massime condizioni di versatilità ed utilizzabilità, ma per una sua eventuale commercializzazione è necessaria una specifica attività di ingegnerizzazione.

^(*) NET Engineering S.p.A.

⁽¹⁾ This DSS was implemented "in house" using: MS Access as DB; Visual Basic and Visual C as programming languages on the basis of experience developed over the years by the authors and by the work group. Therefore no use was made of software available on the market for transportation-related applications. The software currently has maximum versatility and usability conditions, but requires specific engineering activity for its possible marketing.

SCIENZA E TECNICA

lometri di linee di Alta Velocità/Alta Capacità. In pochi anni l'Alta Velocità ha modificato gli usi e i costumi di milioni di persone, contraendo le distanze e diminuendo i tempi degli spostamenti. Nel corso del 2008 sono entrate in esercizio le linee Napoli-Salerno e Milano-Bologna ed alla fine del 2009, si sono aggiunte la Firenze-Bologna, il completamento della Torino-Milano (tratto Novara-Milano) ed il tratto finale della Roma-Napoli.

Parallelamente a ciò è entrato nel mercato dell'Alta Velocità Nuovo Trasporto Viaggiatori (NTV), un nuovo operatore privato, che ha avviato i suoi primi servizi nell'Aprile 2012, secondo un programma parziale, per arrivare poi all'attuale servizio completo nell'aprile del 2013. L'Italia, pertanto, costituisce oggi un caso unico a livello internazionale, in quanto è il primo paese in cui, a seguito della liberalizzazione del mercato passeggeri, un operatore interamente privato, NTV, eroga servizi di trasporto ad Alta Velocità in concorrenza con il precedente monopolista Trenitalia.

Trenitalia e NTV svolgono servizi di trasporto passeggeri in un mercato aperto alla libera concorrenza, ove le prestazioni offerte non sono regolate sotto il profilo tariffario e non sono sussidiate. In tal modo possono essere valorizzati al massimo i benefici per i viaggiatori, derivanti dalla competizione in termini di:

- orari e frequenza;
- stazioni di origine e destinazione dei servizi, e fermate intermedie;
- differenziazione dei livelli tariffari;
- livello del confort e altri servizi di bordo (catering, entertainment, ecc.);
- servizi ancillari offerti (servizi di trasporto da e per le stazioni, iniziative di fidelizzazione, ...).

La decisione di effettuare un così importante investimento, per l'avvio dei servizi AV in concorrenza a Trenitalia, ha richiesto un'attenta analisi preventiva del mercato, della stima della domanda potenzialmente interessata ai servizi offerti, della progettazione di tali servizi (linee, frequenze, prezzi etc.), della previsione di crescita futura della domanda in contesti socio economici variabili e delle conseguenti valutazioni economiche.

Il DSS realizzato, ha quindi come primo obiettivo quello di verificare diverse ipotesi di assetto di nuovi servizi ferroviari AV offerti nel mercato complessivo del trasporto viaggiatori tenendo conto delle caratteristiche delle altre modalità di trasporto: orari e prezzi dell'aereo, la concorrenza dell'auto sulle relazioni di breve e medio raggio, gli orari ed i prezzi dei servizi ferroviari esistenti sia AV sia tradizionali intercity e di lunga percorrenza. Ma il sistema di modelli è stato sviluppato anche per tener conto dell'andamento dell'economia, delle scelte residenziali, di lavoro, di tempo libero, di turismo dei diversi segmenti della popolazione anche conseguenti alla significativa riduzione dei tempi e dei costi del trasporto dovuti all'Alta Velocità.

kilometres of High Speed / High Capacity lines. In a few years High Speed has changed the habits and customs of millions of people, shrinking distances and reducing transfer times. In the course of 2008 the Napoli-Salerno and Milan-Bologna lines started service and at the end of 2009, the Florence-Bologna, the completion of the Turin-Milan (Novara-Milano section) and the final section of the Rome-Naples were added.

Parallel to this a new private operator entered into the market of New High-Speed Passenger Transport (NTV) that launched its first services in April 2012, according to a partial programme, to then reach the current full service in April 2013. Italy, therefore, constitutes a unique case internationally, as it is the first country where, as a result of the liberalisation of the passenger market, a fully private operator, NTV, provides High Speed transportation services in competition with the former monopolist Trenitalia.

Trenitalia and NTV provide passenger transport services in a market open to free competition where the services offered are not disciplined under the tariff profile and are not subsidised. This way the benefits for travellers can be exploited to the maximum, arising from competition in terms of:

- *timetables and frequency;*
- *stations of origin and destination and intermediate stops;*
- *differentiation of fare levels;*
- *comfort level and other on-board services (catering, entertainment, etc.);*
- *ancillary services offered (transportation services to and from the stations, customer loyalty initiatives, etc.).*

The decision to make such an important investment for the launch of HS services in competition with Trenitalia, has required prior careful analysis of the market, of the estimation of the demand potentially affected by the services offered, of the planning of such services (lines, frequency, pricing etc.), of the future demand growth estimation in variable socio-economic contexts and the consequent economic assessments.

The implemented DSS therefore has as first objective the verification of several hypotheses for the planning of new HS railway services offered in the overall passenger transport market, taking into account the characteristics of the other transport modes: flight timetables and prices, automotive competition on short and medium range connections, timetables and prices of existing rail services both HS and traditional long-distance and intercity. But the model system was also developed in order to take account of the economic trend, of residential, work, leisure, tourism choices of the different segments of the population also resulting from the significant reduction in time and transport costs due to High Speed.

The article is organised as follows: first of all, the methodology used is described, hence the representation both of the study area with its zoning and the provision of alternative multimodal transport in terms of infrastructures and services is presented, then the reconstruction of

SCIENZA E TECNICA

L'articolo è organizzato nel seguente modo: è innanzitutto descritta la metodologia utilizzata, è esposta quindi la rappresentazione sia dell'area di studio con la relativa zonizzazione sia dell'offerta di trasporto multimodale alternativa in termini di infrastrutture e servizi, successivamente è presentata la ricostruzione della domanda di mobilità e le approfondite indagini, quantitative e qualitative, necessarie per stimare la domanda e per effettuare la calibrazione del complesso sistema di modelli.

Sono infine esposti i modelli sviluppati per prevedere l'impatto dei nuovi servizi AV e conseguentemente stimare i flussi passeggeri previsti quali:

1. il modello di *scelta del modo di trasporto, del servizio e della corsa* che fornisce le percentuali di ripartizione tra i diversi modi (Auto, Aereo, Treno) e servizi (Intercity/Frecciabianca/Alta Velocità, 1^a classe/2^a classe, Trenitalia/NTV) nonché tra le diverse corse caratterizzate da orari di partenza differenti, disponibili per ciascuna coppia Origine-Destinazione (O/D);
2. il modello di *stima della domanda indotta* che fornisce l'ulteriore domanda AV dovuta al miglioramento del livello dei servizi AV (nuovi servizi, maggiore frequenza, riduzione dei tempi di viaggio, etc.);
3. il modello di *evoluzione della domanda di mobilità*, che consente di prevedere la variazione della domanda di mobilità totale (cioè su tutti i modi di trasporto: auto, ferrovia, aereo) a scala nazionale, in funzione delle variazioni del Prodotto Interno Lordo (PIL) ed di altri indicatori macroeconomici;

L'articolo termina quindi con un'analisi del mercato tesa a mostrare l'impatto, del completamento della rete e dei nuovi servizi AV, sul sistema di trasporto. In particolare è illustrata la distribuzione della domanda tra le diverse modalità di trasporto sul corridoio Torino-Milano-Napoli-Salerno, quale è stato l'effetto sulle tariffe, sulla qualità e sui servizi accessori.

2. La metodologia

Il sistema sviluppato, di supporto alla progettazione ed al marketing operativo, è di assoluto livello scientifico nel panorama internazionale [1] [2] e rappresenta un unicum in Italia. Esso è rappresentato schematicamente in fig. 1, il nucleo centrale è costituito dai modelli di domanda e di offerta di trasporto, ma una parte assolutamente rilevante è rappresentata dalle basi dati che alimentano i modelli e che periodicamente sono aggiornate. Da un lato quindi i dati rappresentativi dell'offerta di trasporto nazionale sulle medie e lunghe percorrenze, relative ai collegamenti stra-

the mobility demand is expressed and the extensive quantitative and qualitative investigations, necessary to estimate the demand and to calibrate the complex model system.

The models developed to forecast the impact of new HS services and consequently estimate the expected passenger flows are finally presented, such as:

1. *the choice model of transport, travel and service mode that provides the percentages of allocation between the different modes (Car, Plane, Train) and services (Intercity/Frecciabianca/High-Speed routes/1st class/2nd class/Trenitalia/NTV) as well as between the different routes having different departure times, available for each Origin-Destination pair (O/D);*
2. *the estimate model of induced demand providing further HS demand due to the improvement of the HS service level (new services, greater frequency, reduced travel time, etc.);*
3. *the evolution of mobility demand model that allows forecasting the variation of the total mobility demand (i.e. on all transport modes: car, train, plane) at national level, depending on changes in the Gross Domestic Product (GDP) and other macroeconomic indicators;*

The article ends with an analysis of the market aiming at showing the impact of network and of new HS services completion on the transport system. In particular it illustrates the distribution of the demand between different transport modes on the Turin – Milan – Naples – Salerno corridor, what was the effect on rates, quality and ancillary services.

2. Methodology

The system developed to support design and operational marketing, is of absolute scientific level in the international

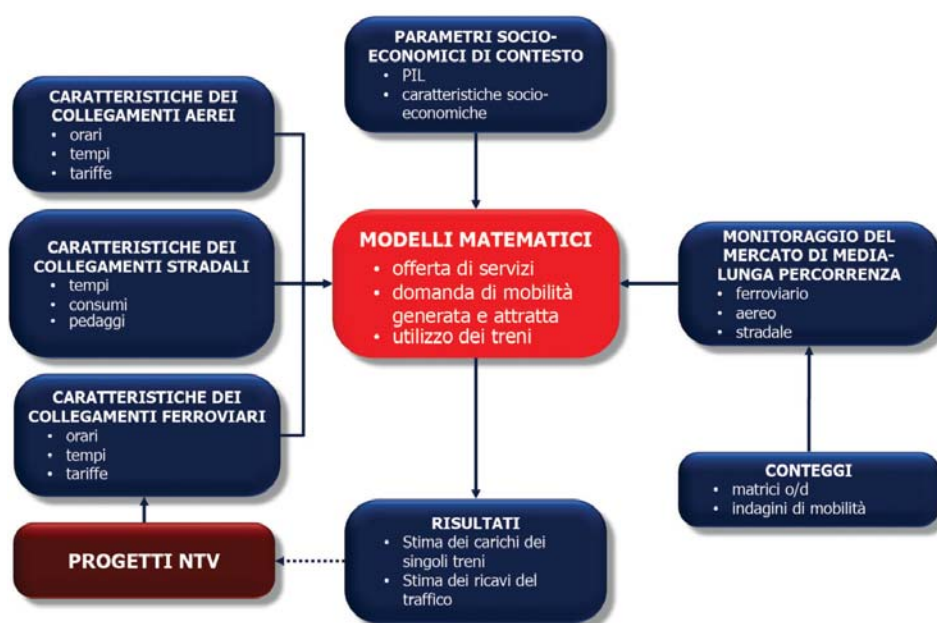


Fig. 1 - L'approccio sistemico alla progettazione del servizio NTV.
Fig. 1 - Systemic approach to the NTV service design.

SCIENZA E TECNICA

dali (tempi, pedaggi e consumi medi), ferroviari e aerei (orari, tempi e tariffe), dall'altra i dati sulle caratteristiche della popolazione e sull'economia del Paese (PIL, prezzi dei carburanti, ...) con le relative previsioni di crescita.

Il sistema di modelli è adatto a supportare oltre ai classici scenari di pianificazione di lungo periodo anche ipotesi di intervento tattico-operativo, ovvero scenari di breve periodo con diverse configurazioni ad esempio dei servizi offerti, degli orari e dei prezzi di vendita.

I modelli di simulazione comprendono:

- modelli di offerta per le diverse modalità di trasporto;
- modelli di domanda.

Per esigenze di calcolo, il territorio nazionale è stato suddiviso in 251 zone di traffico (zonizzazione). Queste rappresentano: in alcuni casi intere province; in altri comuni; in altri ancora (è il caso ad esempio delle grandi aree metropolitane di Napoli, Roma, Milano,...) quartieri di città. I modelli di offerta attraverso una schematizzazione in archi e nodi (fig. 2), permettono di stimare i tempi e i costi tra le (251 x 251) coppie di zone Origine-Destinazione degli spostamenti (OD), per le diverse modalità di trasporto, individuando, attraverso sofisticati algoritmi di rete e sulla base di ipotesi sul comportamento dei viaggiatori, le alternative di percorso più brevi o, meglio, più convenienti.

Le diverse alternative, ciascuna caratterizzata da tempi, costi, livelli di confort, etc., sono scelte dai viaggiatori in base ad attitudini e preferenze individuali. I modelli di domanda simulano il processo di scelta che va dalla decisione di effettuare o meno il viaggio, alla scelta della destinazione, del modo e del servizio (orario di partenza e

panorama [1] [2] and is unique in Italy. It is shown schematically in Fig. 1, the main core consists of the demand models and transport offer, but an absolutely relevant part is represented by the databases that feed the models and which are updated periodically. Therefore on the one hand the data representing the national transport offer on medium and long distances, related to road connections (times, tolls and average fuel consumption), rail and air (schedules, times and fares), on the other the data on the characteristics of the population and on the economy of the Country (GDP, fuel prices, ...) with the relative growth forecasts.

In addition to classic long-term planning scenarios the model system is suitable to support also tactical-operational intervention hypothesis, or short-term scenarios with different configurations such as of services offered, timetables and sales prices.

Simulation models include:

- supply models for the different transport modes;
- demand models.

For the sake of calculation, the country has been divided into 251 traffic zones (zoning). These are: in some cases entire provinces; in others municipalities; in others (such as is the case of the large metropolitan areas of Naples, Rome, Milan,...) city neighbourhoods. Through schematisation into arcs and nodes the supply models (fig. 2) allow estimating the time and cost between the (251 x 251) Origin-Destination zone pairs of transfers (OD), for the different transport modes, identifying the shorter or, better, cheaper alternative route, through sophisticated network algorithms and on the basis of assumptions about the behaviour of travellers.

The different alternatives, each characterised by time, cost, comfort levels, etc., are chosen by travellers on the basis of attitudes and individual preferences. The demand models simulate the choice process that goes from the decision to make the trip or not, to the choice of the destination, mode and service (departure time and class) used. The system consists of several demand sub-models (fig. 3):

- the first that estimates the overall level and temporal distribution;
- a choice model of mode and route, which simulates the competition between different modes;
- an induced demand model that simulates the overall demand increase due to the improvement of performance of the networks.

The demand evolution model necessary for the construction of future scenarios is described in a specific section below.

The choice model of the mode and



Fig. 2 - Modelli di offerta.
Fig. 2 - Supply models.

SCIENZA E TECNICA

classe) utilizzato. Il sistema è composto da più sottomodelli di domanda (fig. 3):

- il primo che stima il livello complessivo e la distribuzione temporale;
- un modello di scelta del modo e della corsa, che simula la competizione tra i diversi modi;
- un modello della domanda indotta, che simula l'incremento di domanda complessivo per effetto del miglioramento delle prestazioni delle reti.

Il modello di evoluzione della domanda, necessario per la costruzione degli scenari futuri, è descritto in uno specifico paragrafo successivo.

Il modello di scelta del modo e della corsa simula appunto come i viaggiatori, che si spostano su una determinata relazione O/D, scelgono tra le alternative (auto, aereo e treno) e tra le corse disponibili (nel caso in cui il modo primario scelto, sia il treno o l'aereo). Al variare delle caratteristiche di un modo (ad esempio le tariffe, o i tempi di viaggio) il modello simula come cambiano le scelte modali degli utenti e quindi come si modificano i flussi stradali, i carichi a bordo dei treni e degli aerei.

Il modello della domanda indotta stima, invece, l'incremento del numero di spostamenti complessivo per effetto del miglioramento delle prestazioni dell'offerta, ad esempio per una riduzione dei tempi di viaggio.

Un sistema di modelli così ampio e articolato fonda le sue basi su approfondite ed estese campagne di indagini sia motivazionali, del tipo RP "Reveled Preferences" e SP "Stated Preferences", sia quantitative tramite un monitoraggio continuo del mercato del trasporto passeggeri a livello nazionale. Dal 2009 ad oggi sono state effettuate diverse campagne di indagini comportamentali, un numero consistente di indagini di mercato sul territorio nazionale e conteggi di traffico sulle reti di trasporto di media e lunga percorrenza. Il monitoraggio del mercato ha permesso di validare le previsioni di traffico e in alcuni casi ritrarre le ipotesi alla base dei modelli, per affinarne le capacità previsive.

Nel seguito sono descritti con maggiore dettaglio i singoli componenti del sistema di modelli adottato e quindi:

- l'area di studio e la zonizzazione;
- la rappresentazione dell'offerta di trasporto comprensivo della rete dei servizi di accesso/egresso;
- i modelli di stima della domanda di mobilità;
- la stima degli attributi di livello di servizio (ALS);
- il modello di ripartizione della domanda per modo-servizio-corsa-classe;

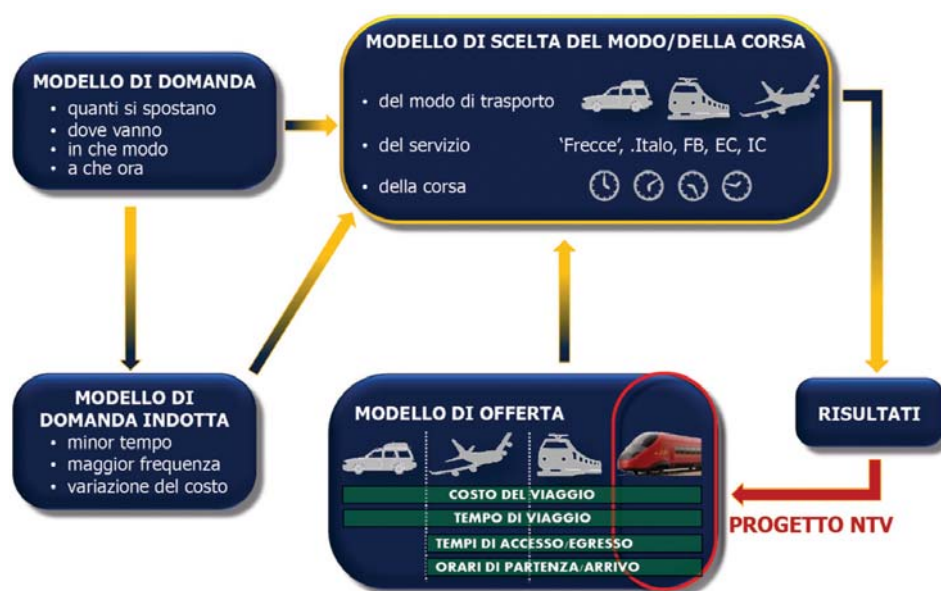


Fig. 3 - Modelli di domanda.
Fig. 3 - Demand models.

route simulates precisely how travellers, moving on a determined O/D connection, choose among the alternatives (car, plane or train), and between the runs available (in case the primary mode chosen, is the train or plane). As the mode characteristics vary (e.g. fares, or travel time) the model simulates how the modal choices of users change and therefore how flows on road trains and planes change.

The induced demand model instead estimates the increase in the total number of transfers as a result of the improvement of the performance of the supply, for example, a reduction in travel times.

Such a broad and articulated system of models bases its foundation on thorough and extensive investigation campaigns both motivational, the RP type "Reveled Preferences" and SP "Stated Preferences", and quantitative through continuous monitoring of the passenger transport market at a national level. From 2009 to date various behavioural surveys campaigns, a large number of market research surveys in the country and traffic counts on medium and long distance transport networks have been carried out. Market monitoring has allowed validating traffic forecasts and in some cases re-calibrating the assumptions underlying the models, to refine the forecasting ability.

Below the individual components of model systems adopted are described in greater detail, and therefore:

- the study area and zoning;
- the representation of the transport supply comprehensive of the access / egress services network;
- estimation models of mobility demand;
- the estimate of level of service attributes (LoS);
- mode-service-run-class choice model;
- the induced demand model;

SCIENZA E TECNICA

- il modello della *domanda indotta*;
- il modello di *evoluzione della domanda di mobilità*.

Sono anche illustrate le *indagini* svolte e i risultati delle *calibrazioni* che attestano la bontà del sistema di modelli a riprodurre i flussi di traffico misurati.

E' infine sintetizzata un'analisi del mercato complessivo con un approfondimento su quello ferroviario per concludere con un esame del mercato dell'Alta Velocità.

3. L'area di studio e la zonizzazione del territorio nazionale

Il modello nasce da subito come un modello nazionale, isole escluse, ma nel corso degli anni è stato incrementato il livello di dettaglio con cui sono rappresentate porzioni del territorio non ricadenti direttamente nell'area di influenza della rete AV.

Allo stato attuale, il territorio nazionale è suddiviso in 251 *zone di traffico*.

Le zone di traffico sono state individuate, in primo luogo, in funzione del grado di accessibilità ai servizi Alta Velocità (AV):

- zone servite direttamente dall'AV (Torino, Milano, Bologna, Firenze, Roma, Napoli, Salerno, Venezia, ...);
- zone con accesso ferroviario IC o ES ai servizi AV (Latina, Formia, Rimini, Vicenza,...);
- zone con accesso ferroviario regionale o interregionale ai servizi AV (Lodi, Avellino,);

ed in secondo luogo in relazione alla loro appartenenza a direttrici ferroviarie particolarmente rilevanti e suscettibili di sviluppi futuri sia in termini infrastrutturali sia con riferimento alla qualità dei servizi offerti.

Inoltre, i principali comuni metropolitani (>500.000 abitanti) appartenenti alla rete AV sono stati suddivisi in più zone sub-comunali. E precisamente:

- Comune di Torino 6 zone;
- Comune di Milano 10 zone;
- Comune di Roma 13 zone;
- Comune di Napoli 8 zone.

Ad ogni zona sono associati i dati necessari per l'applicazione dei modelli di domanda (popolazione, occupati, indicatori di reddito, ecc.).

Nella fig. 4 è riportata la schematizzazione della zo-

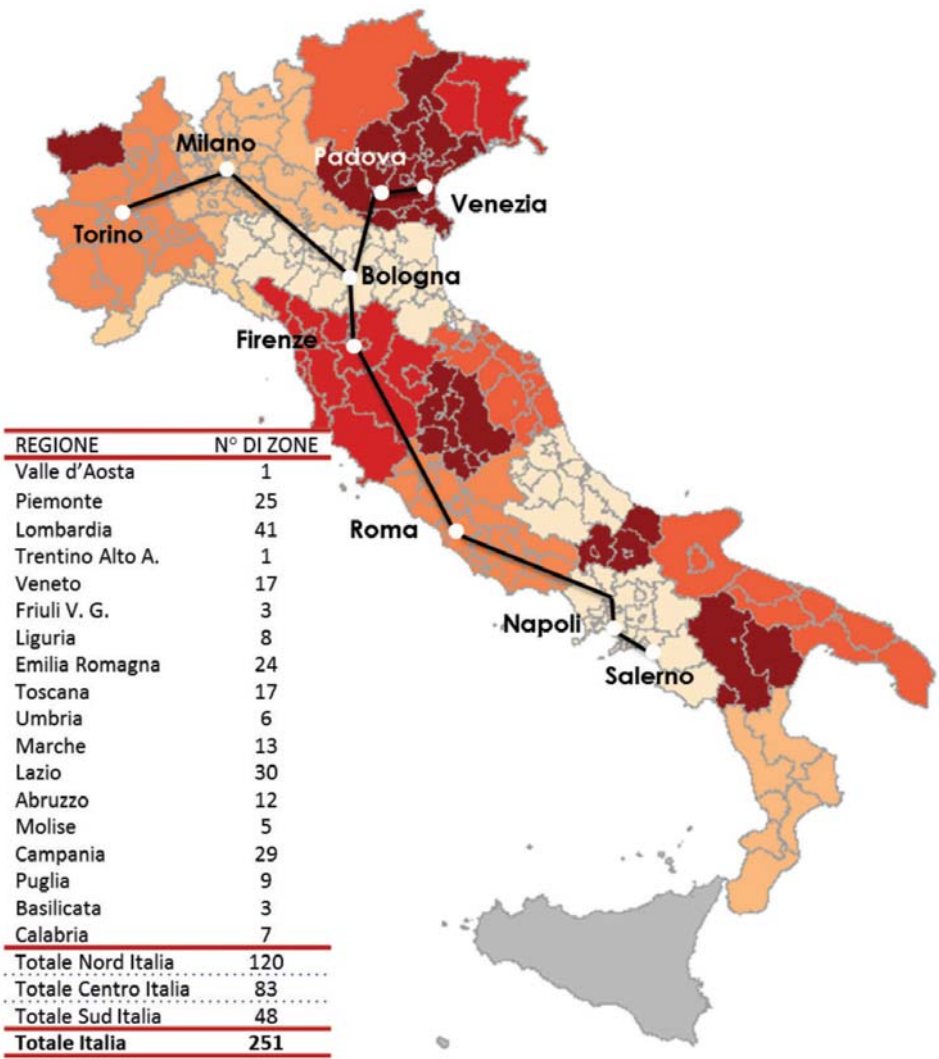


Fig. 4 - La zonizzazione del territorio nazionale, con evidenziate le principali tratte e i relativi nodi della rete AV in studio.

Fig. 4 - Zoning of the national territory, with major routes and the related HS network nodes under study highlighted.

- the mobility demand growth model.

The investigations conducted and the results of calibrations that attest the fairness of the models system to reproduce the traffic flows measured are also shown.

And finally an overall market analysis is summarised with a focus on rail concluding with an analysis of the High Speed market.

3. Study area and zoning of the national territory

The model was created as a national model, excluding the islands, but over the years the level of detail has been increased also for the portion of the territory not directly into the influence area of the HS network.

At present, the country is divided into 251 traffic zones.

Traffic zones have been identified, first of all as a function of the degree of accessibility to High-Speed (HS) services:

SCIENZA E TECNICA

nizzazione per tutto il territorio nazionale a meno delle isole accompagnata da una tabella indicante il numero di zone in cui è suddiviso ciascun territorio regionale, mentre si riporta (fig. 5), a titolo esemplificativo, la rappresentazione della zonizzazione dell'area metropolitana di Roma.

4. La rappresentazione dell'offerta di trasporto

4.1. Il modello della rete stradale

La rappresentazione modellistica della rete stradale è stata effettuata mediante un grafo orientato, nel quale ad ogni ramo stradale corrispondono due archi (uno per senso di marcia). Ad ogni intersezione stradale o svincolo autostradale corrisponde invece un nodo. L'insieme di archi e nodi "reali", è stato integrato con archi e nodi "fittizi" necessari a completare la raffigurazione modellistica del sistema di offerta.

La rete infrastrutturale stradale rappresentata comprende: le autostrade, le strade di grande comunicazione, le principali strade di interesse regionale e provinciale, gli svincoli, le barriere. In ambito urbano: le autostrade urbane, le strade di scorrimento, le più importanti strade interquartiere e gli assi di penetrazione urbana delle arterie extraurbane.

Nella fig. 6 è riportata una rappresentazione del grafo della rete stradale.

Nel complesso il grafo stradale comprende:

- circa 1.670 nodi e 5.300 archi della rete stradale per una estensione di circa 35.000 km;
- 251 centroidi di zona;
- circa 220 terminali dei servizi ferroviari interconnessi con la rete stradale;
- 27 terminali dei servizi aerei;
- oltre 490 archi di collegamento tra nodi stradali e terminali ferroviari e aerei;
- 604 archi connettori di collegamento tra centroidi e nodi stradali.

Gli attributi di arco relativi ai costi di percorrenza ed ai costi di pedaggio sono stati calcolati attraverso delle procedure che hanno tenuto conto, tra l'altro, della composizione del parco veicolare.

Il costo medio di percorrenza per ciascun arco è stato ottenuto attraverso la seguente relazione:

$$Cp_i = \left(\sum_{cv=1}^n Cpu_{cv} * q_{cv} \right) * l$$

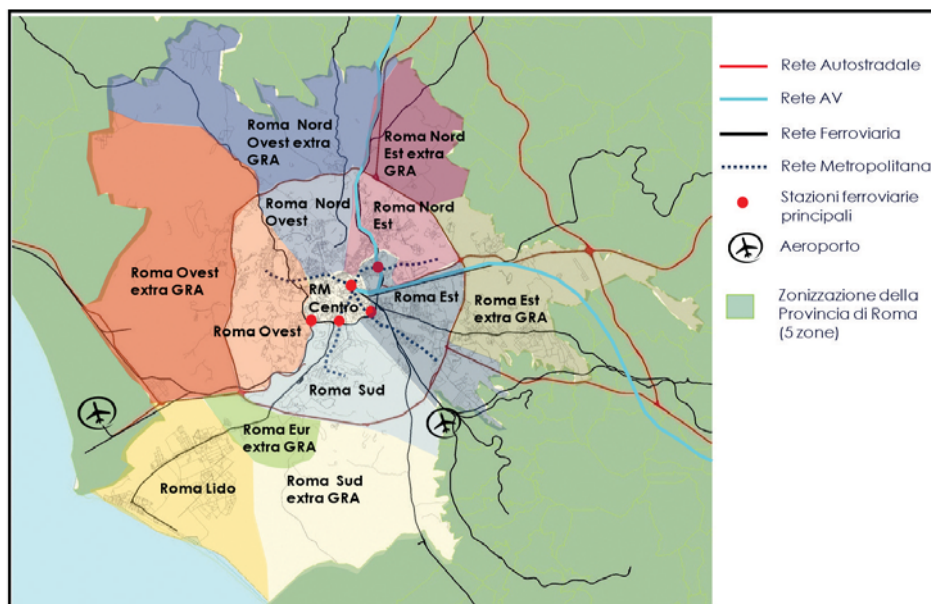


Fig. 5 - La zonizzazione del comune di Roma.
Fig. 5 - Zoning of the municipality of Rome.

- areas served directly by HS (Turin, Milan, Bologna, Florence, Rome, Naples, Salerno, Venice, ...);
- areas with IC or ES rail access to HS services (Latina, Formia, Rimini, Vicenza, ...);
- areas with regional or interregional rail access to HS services (Lodi, Avellino, ...);



Fig. 6 - Il grafo della rete stradale.
Fig. 6 - The road network graph.

SCIENZA E TECNICA

dove:

Cp_i costo di percorrenza dell'arco i -esimo;

Cpu_{cv} costo di percorrenza unitario per le varie classi veicolari (cv);

q_{cv} percentuali di veicoli appartenenti alla classe veicolare cv ;

l_i lunghezza dell'arco i -esimo.

I costi di pedaggio sono stati calcolati, per ogni arco della rete stradale dove è previsto il pagamento del pedaggio, in funzione dei livelli tariffari attuali stabiliti dai gestori delle diverse tratte autostradali.

4.2. Il modello della rete e dei servizi ferroviari

4.2.1. La rete infrastrutturale

Analogamente alla rete stradale anche la rete dell'infrastruttura ferroviaria è stata rappresentata mediante un grafo orientato. Il modello di offerta è rappresentativo di tutta la rete nazionale adibita al transito dei treni passeggeri, esclusa quella delle isole.

Ad ogni arco ferroviario sono state associate le informazioni di: lunghezza, numero di binari, tipo di trazione (elettrica o diesel), velocità media per tipologia di servizio. Ad ogni nodo è stata associata inoltre: la posizione geografica, la denominazione e la classificazione del nodo stesso (stazione, bivio, ecc.).

Il grafo ferroviario comprende:

- 2.614 nodi e oltre 5.570 archi della rete ferroviaria passeggeri, per una estensione totale di circa 14.500 km. Di questi, il 60% circa a binario singolo e la restante quota a 2 e più binari;
- tra i nodi del grafo, 1.580 sono rappresentativi di stazioni o fermate della rete RFI nazionale ad esclusione delle isole, i restanti di località nelle quali si hanno diramazioni o bivi fra le linee ferroviarie o posti di manovra, etc.;
- le matrici di incidenza zone-terminali ferroviari che consentono di associare ad una stazione le zone servite in accesso ed egresso;

Nella fig. 7 è riportata una rappresentazione del grafo della rete ferroviaria.

4.2.2. I servizi ferroviari

Allo stato attuale, nel database del sistema è rappresentata la rete dei servizi ferroviari relativa all'orario dic. 2013-giu. 2014. I servizi ferroviari sono stati raggruppati in "categorie omogenee" dal punto di vista delle prestazioni del servizio e dei relativi costi. Le categorie di servizi individuate sono:

- AV_NTV: costituita dai servizi offerti da NTV;
- AV_TI: rappresentativo dei servizi Alta Velocità offerti

and secondly in relation to their belonging to particularly important railway routes and likely to undergo future developments both in terms of infrastructure and in terms of the quality of services offered.

In addition, the major metropolitan municipalities (> 500.000 inhabitants) belonging to the HS network were divided into multiple sub-municipal zones. And namely:

- Municipality of Turin 6 zones;
- Municipality of Milan 10 zones;
- Municipality of Rome 13 zones;
- Municipality of Naples 8 zones.

The data necessary for the application of demand models are associated with each area (population, employment, income indicators, etc.).

Fig. 4 shows the zoning schematisation for the entire national territory excluding the islands accompanied by a table showing the number of zones in which each region is split, while (fig. 5), for example, shows the representation of the zoning of the metropolitan area of Rome.

4. Representation of the transport supply

4.1. Road network model

The representation of the road network modelling has been carried out by means of an oriented graph, in which each branch road corresponds to two links (one for each direction). Each intersection road or motorway junction instead corresponds to a node. The set of "real" links and nodes has been integrated with "fictitious" links and nodes needed to complete the modelling representation of the supply system.

The infrastructure road network represented includes: motorways, highways, the main roads of regional and provincial interest, junctions and barriers. In urban areas: urban motorways, expressways, the most important interdistrict roads and the urban penetration routes of extra-urban arterial roads.

Fig. 6 shows a representation of the road network graph.

Overall the road graph includes:

- approximately 1.670 nodes and 5.300 links of the road network for an extension of 35.000 km;
- 251 area centroids;
- about 220 rail service terminals interconnected with the road network;
- 27 airports;
- over 490 links connecting road junctions and railway and air terminals;
- 604 connectors linking centroids and road junctions.

The attributes of a road link relating to travel costs and toll costs were calculated by means of procedures that take the composition of the vehicle fleet into account, among other things.



Fig. 7- Il grafo della rete ferroviaria.
Fig. 7- Rail network graph.

da Trenitalia (TI) e composto da servizi AV Freccia-rossa ed AV Frecciargento (in diretta concorrenza con AV_NTV);

- *FB_IC*: che comprende i servizi Frecciabianca ed i servizi InterCity ed EuroCity;
- *Ordinario (REG)*: che comprende i servizi Espresso e Regionale Veloce e Regionale.

Per ciascuno dei quattro livelli, sono stati raccolti ed implementati nel modello tutti i servizi del giorno medio feriale. Per un giorno tipo sono state rappresentate complessivamente oltre 6.000 corse (tabella 1).

Le informazioni relative a ciascuna delle corse rappresentate sono state raccolte in due differenti tabelle. Nella tabella “corse” ci sono il:

TABELLA 1 – TABLE 1

Servizi ferroviari rappresentati nel modello
Railway services represented in the model

N° corse N° routes	Categoria di servizio Service category
50	AV_NTV (HS_NTV)
138	AV_TI HS_TI
200	FB_IC (FB_IC)
5.984	Ordinario (REG) Regular (REG)

The average travel cost for each link was obtained through the following relation:

$$Cp_i = \left(\sum_{cv=1}^n Cpu_{cv} * q_{cv} \right) * l_i$$

where:

Cp_i travel cost of the *i*-eth link;

Cpu_{cv} travel cost per unit for the various vehicle classes (*cv*);

q_{cv} percentage of vehicles belonging to the *cv* vehicle class;

l_i *i*-eth link length.

The toll costs were calculated, for each link of the road network for which toll payment is expected, according to the current tariff levels established by the managers of the different motorway routes.

4.2. Rail network and services model

4.2.1. Infrastructure network

Similarly to the road network the rail infrastructure network was also represented by an oriented graph. The supply model is representative of the whole national network excluding the islands used for the transit of passenger trains.

Each railway link has been associated with the following information: length, number of tracks, type of traction (diesel or electric), average speed for service type. Each node has also been linked to: geographic position, name and classification of the node itself (station, junction, etc.).

The railway graph includes:

- 2.614 nodes and over 5.570 links of the passenger rail network, for a total extension of about 14.500 kilometres. Of these, 60% single track and the remainder with 2 or more tracks;
- among the nodes of the graph, 1.580 are representative of stations or stops of the RFI national network excluding the islands, the remainder of locations in which there are branches or junctions between railway lines or manoeuvre stations, etc.;
- the zone-railway terminals incidence matrices that allow associating a station with served zones in access and egress.

Fig. 7 shows a representation of the rail network graph.

4.2.2. Railway services

At present the rail services network is represented in the system database relating to the Dec. 2013–June 2014 schedule. Rail services have been grouped into homogeneous categories “from the point of view of service performance and related costs. The service categories identified are:

- HS_NTV: consists of the services offered by NTV;
- HS_TI: represents High Speed services offered by Trenitalia

SCIENZA E TECNICA

- numero del treno;
- terminale di origine e di destinazione;
- orario di partenza e arrivo;
- periodicità;
- tempo complessivo di viaggio;
- categoria del servizio.

Nella tabella “percorsi” è descritto invece il percorso del completo treno mediante il:

- numero del treno;
- numero progressivo del nodo ferroviario fermata costituente il percorso;
- codice del nodo ferroviario;
- tipologia di servizio;
- ora di arrivo al nodo;
- ora di partenza dal nodo;
- progressiva chilometrica di ciascun nodo del percorso.

A titolo esemplificativo si riportano rispettivamente le tabelle 2 e 3.

Nel processo di ricostruzione dell’offerta dei servizi ferroviari particolare rilevanza assume il tema *tariffe*. In particolare, per tutti i servizi appartenenti alle prime tre categorie precedentemente esposte le tariffe sono articolate per singolo treno⁽²⁾.

La tabella “tariffe”, composta da circa 20.300 record, contiene le seguenti informazioni (tabella 4):

- numero del treno;
- categoria del servizio a cui appartiene il treno;
- stazione origine e stazione destinazione di ciascuna delle n relazioni servite dal treno;
- tariffa di prima e seconda classe applicate nel modello di simulazione (cioè la tariffa che tiene conto degli sconti medi applicati dal gestore del servizio);

⁽²⁾ Attraverso questa impostazione, quindi, è possibile definire e simulare delle strategie di pricing differenti per ciascun treno presente nel modello di esercizio.

TABELLA 2 – TABLE 2

Esempio di contenuto della tabella “corse”
Example of “runs” table contents

NUM_TRENO	Cod_ori	Staz_ori	Cod_dest	Staz_dest	ORA_PAR	ORA_ARR	Cat_Servizio
9915	3TO023	TORINO P.SUSA	3SA001	SALERNO	7:47	14:04	AV_NTV
9942	3RM008	ROMA OSTIENSE	3MI007	MILANO P.TA GARIBALDI	14:40	18:18	AV_NTV
9981	3VE001	VENEZIA S.LUCIA	3RM008	ROMA OSTIENSE	7:55	11:50	AV_NTV
9973	3MI007	MILANO P.TA GARIBALDI	3NA001	NAPOLI CENTRALE	7:03	11:14	AV_NTV
9403	3VE001	VENEZIA S.LUCIA	3RM001	ROMA TERMINI	6:13	9:30	AV_TI
9422	3RM001	ROMA TERMINI	3VE001	VENEZIA S.LUCIA	11:50	15:35	AV_TI
9462	3RM001	ROMA TERMINI	3BZ001	BOLZANO	8:15	12:48	AV_TI
9463	3BS001	BRESCIA	3RM001	ROMA TERMINI	7:05	10:40	AV_TI
9480	3RM001	ROMA TERMINI	3VR025	VERONA P. NUOVA	17:15	21:05	AV_TI
9501	3BO001	BOLOGNA C.LE	3NA001	NAPOLI CENTRALE	6:00	9:55	AV_TI
9502	3FI001	FI S.M.N.	3MI001	MILANO CENTRALE	7:30	9:15	AV_TI
9504	3RM001	ROMA TERMINI	3MI001	MILANO CENTRALE	6:20	9:45	AV_TI
9509	3MI001	MILANO CENTRALE	3NA001	NAPOLI CENTRALE	7:10	11:55	AV_TI
9516	3SA001	SALERNO	3MI001	MILANO CENTRALE	7:12	12:45	AV_TI
9517	3TO001	TORINO P.NUOVA	3NA001	NAPOLI CENTRALE	8:02	13:55	AV_TI
9521	3MI001	MILANO CENTRALE	3SA001	SALERNO	10:10	15:44	AV_TI
9544	3NA001	NAPOLI CENTRALE	3MI001	MILANO CENTRALE	15:00	19:45	AV_TI
9555	3MI001	MILANO CENTRALE	3FI001	FI S.M.N.	18:20	20:05	AV_TI
9560	3NA001	NAPOLI CENTRALE	3MI001	MILANO CENTRALE	19:00	23:45	AV_TI
9563	3TO001	TORINO P.NUOVA	3SA001	SALERNO	7:35	14:15	AV_TI
9568	3NA001	NAPOLI CENTRALE	3TO001	TORINO P.NUOVA	7:45	13:23	AV_TI
9571	3TO001	TORINO P.NUOVA	3RM001	ROMA TERMINI	16:18	20:50	AV_TI
9602	3RM001	ROMA TERMINI	3MI001	MILANO CENTRALE	6:00	8:55	AV_TI
9611	3MI001	MILANO CENTRALE	3RM001	ROMA TERMINI	8:00	10:55	AV_TI

TABELLA 3 – TABLE 3

Esempio di contenuto della tabella “percorsi”
Example of “paths” table contents

NUM_TRENO	PROGR	COD_NODO	NOME NODO	CAT_SERVIZIO	ORA_ARR	ORA_PAR	PROG_KM
9915	1	3TO023	TORINO P. SUSA	AV_NTV	0.00	7.47	0
9915	2	3MI007	MI.P.GARIBALDI	AV_NTV	8.25	8.28	142
9915	3	3MI064	MILANO ROGOREDO	AV_NTV	8.47	8.49	154
9915	4	3BO001	BOLOGNA C.LE	AV_NTV	9.45	9.48	359
9915	5	3FI001	FI S.M.N.	AV_NTV	10.25	10.33	443
9915	6	3RM011	ROMA TIBURTINA	AV_NTV	11.54	11.57	707
9915	7	3NA001	NAPOLI CENTRALE	AV_NTV	13.05	13.20	926
9915	8	3SA001	SALERNO	AV_NTV	14.04	0.00	980
9463	1	3BS001	BRESCIA	AV_TI	0.00	7.05	0
9463	2	3VR025	VERONA P.NUOVA	AV_TI	7.39	7.50	66
9463	3	3BO001	BOLOGNA C.LE	AV_TI	8.40	8.43	185
9463	4	3FI004	FI CAMPO MARTE	AV_TI	9.20	9.22	279
9463	5	3RM001	ROMA TERMINI	AV_TI	10.40	0.00	536
9504	1	3RM001	ROMA TERMINI	AV_TI	0.00	6.20	0
9504	2	3FI001	FI S.M.N.	AV_TI	7.51	8.00	261
9504	3	3BO001	BOLOGNA C.LE	AV_TI	8.37	8.40	353
9504	4	3MI001	MILANO CENTRALE	AV_TI	9.45	0.00	567
9517	1	3TO001	TORINO P.NUOVA	AV_TI	0.00	8.02	0
9517	2	3TO023	TORINO P. SUSA	AV_TI	8.12	8.14	5
9517	3	3MI001	MILANO CENTRALE	AV_TI	9.03	9.20	148
9517	4	3BO001	BOLOGNA C.LE	AV_TI	10.25	10.28	363
9517	5	3FI001	FI S.M.N.	AV_TI	11.05	11.14	455
9517	6	3RM001	ROMA TERMINI	AV_TI	12.45	13.00	716
9517	7	3NA001	NAPOLI CENTRALE	AV_TI	14.10	0.00	939

(TI), and consists of Frecciarossa and Frecciargento HS services (in direct competition with HS_NTV);

- FB_IC: providing Frecciabianca services and InterCity and EuroCity services;

SCIENZA E TECNICA

- tariffa base di prima e seconda classe (cioè la tariffa piena);
- tariffa di abbonamento di prima e seconda classe sulla relazione servita (se disponibile);
- ora di partenza dalla stazione di origine;
- ora di arrivo alla stazione di destinazione.

L'implementazione dei modelli delle reti dei servizi è del tipo "a corse", cioè per ogni servizio è costruita una rete spazio-temporale (*rete diacronica*) in cui una generica corsa è rappresentata da una sequenza di fermate. Ad ogni fermata sono associati gli orari prefissati di partenza e arrivo.

Il modello di rete utilizzato per la rappresentazione della rete dei servizi è una semplificazione del tradizionale modello di offerta diacronico ben noto nella letteratura scientifica [3].

Infatti, rispetto alla versione tradizionale del modello di rete diacronica, si genera solo il sottografo delle corse, rappresentante i servizi offerti, ed il sottografo di accesso/egresso è banalizzato ad una unica connessione in uscita tra i nodi fermata ed i corrispondenti centroidi spaziali, come riportato in fig. 8.

Tale semplificazione è necessaria per una migliore efficienza degli algoritmi di calcolo utilizzati nei modelli di simulazione. Inoltre, poiché il sistema di modelli è concepito per essere adoperato nel caso di reti dei servizi non congestionate, è possibile utilizzare una rappresentazione delle fermate di tipo "binodo", cioè con rappresenta-

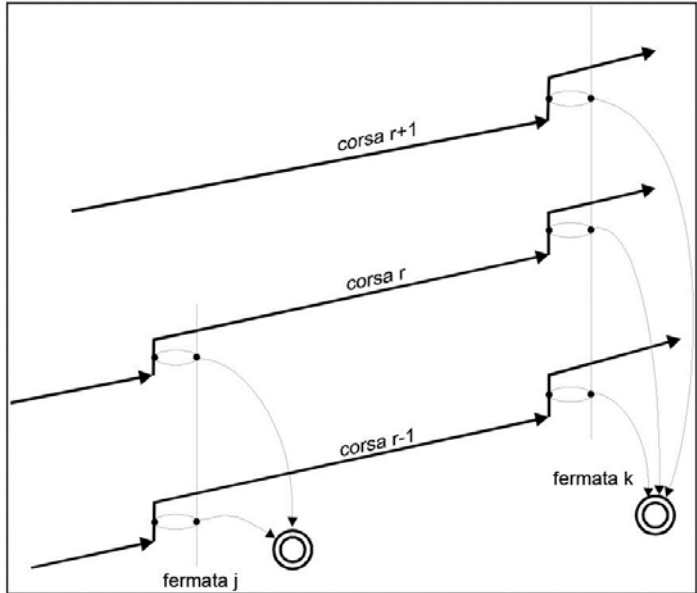


Fig. 8 - Il sottografo delle corse.
Runs sub-graph.

TABELLA 4 – TABLE 4

Esempio di contenuto della tabella "tariffe"
Example of "fares" table contents

NUM_TRENO	Cat_Servizio	Cod_nodo1	Cod_nodo2	Tar_I	Tar_II	Tar_base_I	Tar_base_II	Abb_I	Abb_II	ORA_PAR	ORA_ARR
9942	AV_NTV	3RM008	3FI001	37.2	28.3	64.0	45.0	-	-	14.40	16.17
9942	AV_NTV	3RM008	3BO001	42.1	33.4	82.0	58.0	-	-	14.40	17.00
9942	AV_NTV	3RM008	3MI064	64.5	56.7	117.0	88.0	-	-	14.40	17.56
9942	AV_NTV	3RM008	3MI007	64.5	56.7	117.0	88.0	-	-	14.40	18.18
9942	AV_NTV	3RM011	3FI001	37.2	28.3	64.0	45.0	-	-	14.55	16.17
9942	AV_NTV	3RM011	3BO001	42.1	33.4	82.0	58.0	-	-	14.55	17.00
9942	AV_NTV	3RM011	3MI064	64.5	56.7	117.0	88.0	-	-	14.55	17.56
9942	AV_NTV	3RM011	3MI007	64.5	56.7	117.0	88.0	-	-	14.55	18.18
9942	AV_NTV	3FI001	3BO001	22.7	20.6	37.0	26.0	-	-	16.25	17.00
9942	AV_NTV	3FI001	3MI064	46.1	36.1	73.0	52.0	-	-	16.25	17.56
9942	AV_NTV	3FI001	3MI007	46.1	36.1	73.0	52.0	-	-	16.25	18.18
9942	AV_NTV	3BO001	3MI064	32.2	28.4	61.0	42.0	-	-	17.03	17.56
9942	AV_NTV	3BO001	3MI007	32.2	28.4	61.0	42.0	-	-	17.03	18.18
9403	AV_TI	3VE001	3PD001	15.3	13.9	21.0	16.0	183	142	06.13	06.39
9403	AV_TI	3RM011	3RM011	67.7	50.8	109.0	80.0	1040	750	06.13	09.18
9403	AV_TI	3VE001	3RM001	67.7	50.8	109.0	80.0	1040	750	06.13	09.30
9403	AV_TI	3VE002	3PD001	15.3	13.9	21.0	16.0	183	142	06.25	06.39
9403	AV_TI	3VE002	3RM011	67.7	50.8	109.0	80.0	1040	750	06.25	09.18
9403	AV_TI	3VE002	3RM001	67.7	50.8	109.0	80.0	1040	750	06.25	09.30
9403	AV_TI	3PD001	3RM011	60.1	46.7	100.0	75.0	950	710	06.41	09.18
9403	AV_TI	3PD001	3RM001	60.1	46.7	100.0	75.0	950	710	06.41	09.30

- Regular (REG): which includes the Express and Regional Fast and Regional services.

For each of the four levels, all average weekday services were collected and implemented in the model. For a typical day a total of over 6.000 runs (table 1) have been represented.

The information for each of the routes represented were collected in two different tables. The "routes" table contains:

- train number;
- origin and destination terminal;
- time of departure and arrival;
- frequency;
- overall route time;
- service category.

In the "path" table, the full train path is described instead through:

- train number;
- sequential number of the railway junction station constituting the path;
- railway junction code;
- service type;
- time of arrival at the node;
- time of departure from the node;
- kilometric progressive of each node in the path.

By way of example tables 2 and 3 respectively are reported.

In the process of reconstruction of the rail services supply the tariff issue is especially important. In particular, for all services belonging to the first three categories previously described rates are articulated by single train⁽²⁾.

The "rates" table, consisting of about 20.300 records, contains the following information (table 4):

SCIENZA E TECNICA

zione dei soli rami di salita e discesa come riportato in fig. 9.

In generale, la collocazione temporale dei nodi fermata sull'asse fermata è stata effettuata considerando l'orario di partenza delle corse (tranne per i nodi corsa rappresentanti terminali di arrivo, per i quali si considera l'orario di arrivo).

Le caratteristiche associate ai rami della rete diacronica, principalmente tempi di percorrenza, sono le seguenti:

- ai rami dell'asse fermata: la differenza tra l'orario di partenza delle corse che rappresentano;
- ai rami salita e discesa: il tempo di check-in e check-out dal servizio;
- ai rami corsa: il tempo di percorrenza tra due fermate successive j e k ; il tempo è pari alla differenza tra l'orario di arrivo della corsa alla fermata k e l'orario di partenza della corsa alla fermata j .

4.3. Il modello della rete e dei servizi aerei

4.3.1. La rete infrastrutturale

Per quanto riguarda l'offerta aerea, la rete infrastrutturale è rappresentata dai soli terminali aeroportuali.

Nel modello sono stati rappresentati 27 terminali aeroportuali interconnessi alla rete stradale e in alcuni casi a quella ferroviaria di seguito elencati:

- Torino Caselle;
- Milano Malpensa;
- Milano Linate;
- Bergamo Orio al Serio;
- Brescia Montichiari;
- Verona Villafranca;
- Treviso Sant'Angelo;
- Venezia Marco Polo;
- Trieste Ronchi dei Legionari;
- Genova Cristoforo Colombo;
- Bologna Guglielmo Marconi;

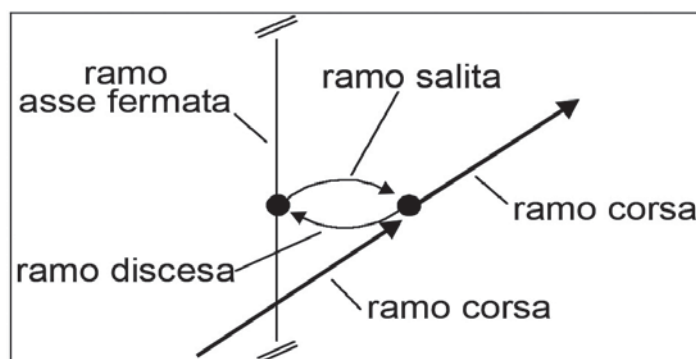


Fig. 9 - La rappresentazione delle fermate.
Fig. 9 - Representation of the stops.

- *train number;*
- *trains category of service;*
- *stations of origin and destination of each of the n connections served by the train;*
- *first and second class rate applied in the simulation model (that is, the rate that takes into account the average discounts applied by the operator of the service);*
- *basic first and second class rate (i.e. the full fare);*
- *first and second class season fare on the connection served (if available);*
- *time of departure from the station of origin;*
- *time of arrival at the destination station.*

The implementation of the service networks model is based on "runs", that is, a space-time network is built for each service (diachronic network) where a generic run is represented by a sequence of stops. Scheduled times of departure and arrival are associated with each stop.

The network model used for the representation of the services network is a simplification of the traditional diachronic supply model well known in scientific literature [3].

In fact, compared to the traditional version of the diachronic network model, only the sub-graph of routes is generated, representing the services offered, and the access / egress sub-graph is trivialised to a single outbound connection between stop nodes and the corresponding space centroids, as shown in fig. 8.

This simplification is required for better efficiency of the calculation algorithms used in the simulation models. Furthermore, since the models system is designed to be used in the case of non-congested networks of services, a representation of the "dual node" type stops can be used, that is with the representation of the ascent and descent branches only, as shown in fig. 9.

In general, the timing of the stop nodes on the stop axis was performed considering the departure time of runs (except for nodes representing arrival terminals, for which we consider the arrival time).

The characteristics associated with the branches of the diachronic network, mainly travel times, are as follows:

- *at the stop axis branches: the difference between the departure time of the runs they represent;*
- *at the boarding and unboarding branches: the check-in and check-out time;*
- *at route branches: the route time between two subsequent stops j and k ; the time is equal to the difference between the arrival time of the route at k stop and the departure time of the route at j stop.*

⁽²⁾ Through this approach, the different pricing strategies for each train in the operation model can be defined and simulated.

SCIENZA E TECNICA

- Parma Giuseppe Verdi;
- Rimini Federico Fellini
- Firenze Peretola;
- Perugia S. Egidio;
- Ancona Falconara
- Roma Fiumicino (Leonardo Da Vinci)
- Roma Ciampino;
- Napoli Capodichino;
- Salerno (Costa D'Amalfi);
- Bari Palese;
- Brindisi Casale;
- Crotone S. Anna;
- Lamezia Terme S. Eufemia;
- Reggio Calabria Aeroporto.

4.3.2. La rete dei servizi

Sono stati raccolti ed implementati tutti i collegamenti di linea relativi alle diverse compagnie tra i terminali dove si effettuano servizi in concorrenza con le relazioni servite dall'AV.

Per un giorno medio feriale sono stati rappresentati oltre 750 voli.

Per ciascun volo le informazioni inserite nella base dati sono:

- aeroporto di partenza;
- aeroporto di arrivo;
- orario di partenza;
- orario di arrivo;
- tariffa business e leisure;
- indicazione se il collegamento prevede uno scalo.

Nella tabella 5, a titolo esemplificativo, sono riportati alcuni record della tabella dei servizi aerei.

4.3. The network and air services model

4.3.1. Infrastructure network

With regard to the air supply, the infrastructure network is represented only by airport terminals.

In the model are represented 27 airport terminals, interconnected with the road network and in some cases with the railway one:

- Turin Caselle;
- Milan Malpensa;
- Milan Linate;
- Bergamo Orio al Serio;
- Brescia Montichiari;
- Verona Villafranca;
- Treviso Sant'Angelo;
- Venice Marco Polo;
- Trieste Ronchi dei Legionari;
- Genoa Cristoforo Colombo;
- Bologna Guglielmo Marconi;
- Parma Giuseppe Verdi;
- Rimini Federico Fellini
- Florence Peretola;
- Perugia S. Egidio;
- Ancona Falconara
- Rome Fiumicino (Leonardo Da Vinci)
- Rome Ciampino;
- Naples Capodichino;
- Salerno (Costa D'Amalfi);
- Bari Palese;
- Brindisi Casale;

TABELLA 5 – TABLE 5

Esempio di descrizione dei servizi aerei
Example of description of air services

COD_NODO1	NOME_NODO1	COD_NODO2	NOME_NODO2	PROG_SERV	ORA_PAR	ORA_ARR	TARIFFA_B	TARIFFA_L	SCALI
6BA001	BARI PALESE	6MI002	MILANO MALPENSA	3	19.15	20.50	137	90	0
6BA001	BARI PALESE	6RM001	ROMA FIUMICINO	7	17.55	19.05	201	102	0
6BG001	BERGAMO ORIO AL SERIO	6RM002	ROMA CIAMPINO	2	16.55	18.00	56	56	0
6BG001	BERGAMO ORIO AL SERIO	6BA001	BARI PALESE	5	11.10	14.20	153	62	1
6GE001	GENOVA CRISTOFORO COLOMBO	6RM001	ROMA FIUMICINO	8	17.20	18.20	202	123	0
6MI001	MILANO LINATE	6NA001	NAPOLI CAPODICHINO	6	15.35	16.55	222	116	0
6MI001	MILANO LINATE	6RM001	ROMA FIUMICINO	25	18.30	19.40	217	159	0
6MI002	MILANO MALPENSA	6SA001	AEROPORTO SALERNO	2	19.55	21.35	200	104	0
6NA001	NAPOLI CAPODICHINO	6TO001	TORINO CASELLE	6	20.00	21.30	209	120	0
6NA001	NAPOLI CAPODICHINO	6VE001	VENEZIA MARCO POLO	6	11.30	14.20	201	96	1
6RC001	REGGIO CALABRIA AEROPORTO	6MI001	MILANO LINATE	2	11.15	12.55	234	103	0
6RM001	ROMA FIUMICINO	6MI001	MILANO LINATE	28	20.00	21.10	219	160	0
6TO001	TORINO CASELLE	6CZ001	LAMEZIA TERME S.EUFEMIA	5	19.05	22.50	235	102	1

TABELLA 6 – TABLE 6

Esempio di matrice d'incidenza e relativi attributi associati
Example of incidence matrix and related associated attributes

COD_NODO ZONA	NOME_NODO ZONA	COD_NODO TERMINALE	NOME_NODO TERMINALE	SERVIZIO	L_ACC	T_ACC	C_ACC	L_EGR	T_EGR	C_EGR
OPR001	PARMA	3BO001	BOLOGNA C.LE	AV_NTV	94.97	1.39	22.75	94.97	1.18	24.62
OPR001	PARMA	3BO001	BOLOGNA C.LE	AV_TI	94.97	1.39	22.75	94.97	1.18	24.62
OPR001	PARMA	3PR001	PARMA	FB_IC	1.37	0.30	0.72	1.37	0.13	0.85
OPR001	PARMA	3PR001	PARMA	ORDINARIO	1.37	0.30	0.72	1.37	0.13	0.85
OPR001	PARMA	6MI001	MILANO LINATE	AEREO	132.06	2.18	63.32	132.06	1.88	85.40
OPR001	PARMA	6BO001	BOLOGNA G. MARCONI	AEREO	91.64	2.14	42.31	91.64	1.84	58.14
OPR001	PARMA	6VR001	VERONA VILLAFRANCA	AEREO	99.67	1.99	46.02	99.67	1.70	63.24
OVT001	VITERBO	3RM011	ROMA TIBURTINA	AV_NTV	97.98	2.56	22.64	97.98	2.31	24.81
OVT001	VITERBO	3RM008	ROMA OSTIENSE	AV_NTV	99.66	2.62	23.04	99.66	2.36	25.24
OVT001	VITERBO	3RM001	ROMA TERMINI	AV_TI	94.33	2.35	21.73	94.33	2.10	23.83
OVT001	VITERBO	3RM011	ROMA TIBURTINA	AV_TI	97.98	2.56	22.64	97.98	2.31	24.81
OVT001	VITERBO	3VT014	ORTE	FB_IC	43.32	0.90	9.98	43.32	0.71	10.95
OVT001	VITERBO	3VT001	VITERBO P.TA ROMANA	ORDINARIO	5.09	0.42	1.45	5.09	0.25	1.62
OVT001	VITERBO	6PG001	PERUGIA S.EGIDIO	AEREO	137.41	3.09	63.48	137.41	2.77	87.21
OVT001	VITERBO	6RM001	ROMA FIUMICINO	AEREO	118.77	2.73	54.33	118.77	2.42	75.01
OVT001	VITERBO	6RM002	ROMA CIAMPINO	AEREO	106.40	3.53	49.91	106.40	3.20	68.04

4.4. La rete dei servizi di accesso/egresso

Ad ogni centroide di zona sono stati associati, tramite apposite *matrici di incidenza*, un insieme di terminali ferroviari/aerei a cui si può accedere. Infatti, ciascuna matrice di incidenza è funzione del modo/servizio, in quanto modi e servizi diversi sono di norma disponibili in terminali diversi. Attraverso tali matrici è quindi identificata l'area d'influenza di ogni terminale ferroviario ed aeroportuale.

In particolare, con riferimento ai terminali ferroviari, l'area d'influenza del terminale è funzione della categoria di servizio considerata⁽³⁾.

L'accesso e l'egresso tra un centroide ed un terminale è rappresentato attraverso un arco connettore al quale sono associati gli specifici attributi di costo generalizzato.

Nella attuale configurazione, la rete di accesso/egresso è composta da poco meno di 2.200 archi connettori, dei quali oltre 1.500 sono relativi alle 4 categorie dei servizi ferroviari e i restanti ai servizi aerei.

Nella tabella 6 è riportato, un stralcio delle informazioni che caratterizzano i servizi di accesso/egresso quali:

- codice e nome della zona servita in accesso/egresso;
- codice e nome del terminale (stazione/aeroporto);
- tipologia di servizio;
- distanza, tempo e costo di accesso/egresso.

⁽³⁾ Ad esempio, risulta evidente che la stazione Termini di Roma estende la sua area di influenza ad un territorio maggiore se ci riferiamo ai servizi della categoria AV_TI e ad un'area inferiore se ci si riferisce ai servizi di trasporto regionale.

- Crotone S. Anna;
- Lamezia Terme S. Eufemia;
- Reggio Calabria Airport.

4.3.2. Services network

All scheduled connections were collected and implemented for different companies between the terminals where they perform services in competition with connections served by HS.

More than 750 flights were represented for an average weekday.

Information entered in the database for each flight are:

- departure airport;
- arrival airport;
- time of departure,
- time of arrival;
- business and leisure fare;
- whether the connection plans a stopover.

By way of example, table 5 shows some records of the air services table.

4.4. Access / egress services network

Each area centroid was associated with a group of railway/air terminals that can be accessed, by means of specific incidence matrices. In fact, each incidence matrix is a function of the mode/service because modes and different services are generally available in different terminals. The area of influence of each railway and airport terminal is therefore identified through such matrices.

SCIENZA E TECNICA

5. La rappresentazione della domanda di mobilità

La rappresentazione della domanda svolge un ruolo centrale nel sistema di modelli implementato e costituisce, unitamente alla ricostruzione dell'offerta di trasporto, una delle attività basilari per svolgere l'analisi richiesta. L'obiettivo principale di quest'attività è stimare i livelli di domanda sulle medie-lunghe percorrenze con particolare riferimento alle relazioni interessate dagli attuali e dai futuri servizi ferroviari di Alta Velocità/Alta Capacità.

Come noto, la procedura di ricostruzione della domanda è sempre particolarmente complessa e maggiormente a questa scala di analisi a causa della mancanza di fonti attendibili e della disomogeneità dei pochi dati utilizzabili dal punto di vista sia della distribuzione spaziale sia di quella temporale.

Nei paragrafi che seguono si riportano, in forma sintetica, per le diverse modalità di trasporto le fonti dati utilizzate e le elaborazioni svolte sui valori raccolti al fine di renderli fruibili per il sistema di modelli.

5.1. La domanda su strada⁽⁴⁾

Per quanto riguarda la modalità di trasporto su autoveettura privata, sono stati acquisiti i dati autostradali relativi alle matrici O/D casello-casello, in particolare da:

- *Autostrade per l'Italia*: la matrice degli spostamenti casello/casello per tutte le relazioni in cui sia previsto che il relativo percorso comporti il transito su una qualsiasi tratta autostradale gestita da questo concessionario;
- *SATAP*: la matrice degli spostamenti sulla tratta Torino-Milano;
- *Autostrada Brescia Verona Vicenza Padova*: la matrice degli spostamenti sulla tratta Brescia-Padova.

Le relazioni casello-casello con flusso diverso da zero per almeno una delle cinque categorie di utenza⁽⁵⁾ risultano pari, in un giorno medio feriale, ad oltre 50.000, i volumi complessivi per la categoria A (veicoli privati) risultano pari a oltre 1.800.000 veicoli, mentre per la categoria B (comprendente anch'essa una quota di veicoli privati) ammontano a circa 301.000 veicoli⁽⁶⁾. Chiaramente questi valori sono relativi a tutta la rete autostradale nazionale e

⁽⁴⁾ E' opportuno precisare che la domanda stradale di interesse per lo studio (cioè quella in concorrenza con l'AV) è una domanda che utilizza quasi esclusivamente l'autostrada e per tale ragione si sono trascurati i contributi derivanti dalla viabilità ordinaria.

⁽⁵⁾ Rappresentate dalle cinque classi del pedaggio autostradale.

⁽⁶⁾ La trasformazione da veicoli a numero di passeggeri è stata effettuata applicando un coefficiente di riempimento dei veicoli in ambito autostradale desunto da precedenti campagne di indagine svolte dall'ATI e pari a circa 1.7 persone/veicolo.

In particular, with reference to railway terminals, the terminal's area of influence is a function of the category of service considered⁽³⁾.

Access and egress between a centroid and a terminal is represented through a link connector to which the specific generalised cost attributes are associated.

In the current configuration, the access/egress network consists of around 2.200 connector links, of which over 1.500 are related to 4 categories of rail services and the remaining to air services.

Table 6 shows an extract of information that characterises access/egress services such as:

- *code and name of the area served in access/egress;*
- *code and name of the terminal (airport/station);*
- *service type;*
- *distance, time and access/egress cost.*

5. Representation of the mobility demand

The demand representation plays a key role in the model system implemented and constitutes, together with the reconstruction of the transport supply, one of the basic activities to perform the analysis required. The main objective of this activity is to estimate demand levels over medium-long distances with particular reference to the connections concerned by current and future High Speed/High Capacity rail services.

As known, the reconstruction procedure of the demand is more and more complex particularly to this scale of analysis due to the lack of reliable sources and the non homogeneity of the little usable data from the point of view of both the spatial distribution and the temporal one.

The following paragraphs report the data sources used for the different transport modes, in brief, and the processing performed on the values collected in order to make them usable for the system of model.

5.1. Road demand⁽⁴⁾

With regard to the private car transport mode, motorway data was acquired relating to toll-gate O/D matrices, in particular from:

- *Autostrade per l'Italia: the matrix of toll-gate transfers for all connections where it is provided that the related itinerary involves transit on any motorway route managed by this concessionaire;*
- *SATAP: the matrix of transfers on the Turin-Milan route;*

⁽³⁾ For example, it is clear that the Termini station of Rome extends its area of influence to a larger area if we refer to the HS_TI category services and to a smaller area if we refer to regional transport services.

SCIENZA E TECNICA

quindi comprendono anche relazioni non rappresentate nel modello di offerta precedentemente descritto.

Per poter utilizzare nel sistema di modelli le informazioni raccolte, è stato necessario sottoporle ad una specifica elaborazione. In particolare è stata utilizzata una procedura, chiamata di "spazializzazione", in grado di trasformare la matrice casello-casello in una matrice O/D tra le zone di traffico in cui è stato suddiviso il territorio nazionale.

I passi principali in cui si articola questa procedura sono:

- identificazione, per ciascun casello autostradale, di un'area d'influenza. Sfruttando le potenzialità dei sistemi GIS sono state individuate le zone del territorio che si ritiene possano utilizzare un generico casello come ingresso/uscita dalla rete autostradale.
- applicazione di un modello di distribuzione, ripreso dalla letteratura specialistica [4], avente forma:

$$p[d/o] = \frac{A_d^{\beta_1} C_{od}^{-\beta_2}}{\sum_d A_d^{\beta_1} C_{od}^{-\beta_2}}$$

dove:

o, d rappresentano rispettivamente il casello autostradale di ingresso/uscita e la zona di traffico di origine/destinazione dello spostamento su auto privata;

A_d rappresenta un attributo di attrattività/generazione della zona di traffico costituito dalla somma della popolazione e degli addetti della generica zona;

C_{od} rappresenta un attributo di costo espresso dal costo generalizzato per collegare ciascuna zona di traffico appartenente all'area di influenza di un generico casello al casello stesso;

β_1, β_2 sono i coefficienti del modello.

5.2. La domanda ferroviaria

Per quanto riguarda la modalità ferroviaria, al fine di arricchire, integrare ed aggiornare le informazioni già in possesso del gruppo di lavoro, sono state effettuate negli anni, numerose specifiche campagne di conteggi a bordo treno per rilevare i passeggeri dei servizi AV Frecciarossa e Frecciargento e dei servizi Frecciabianca ed IC sulle differenti tratte ferroviarie⁽⁷⁾.

Applicando le specifiche tecniche di correzione/aggiornamento delle matrici O/D sulla base di flussi misurati su tratta è stato possibile ricostruire la domanda di mobilità per i servizi delle due principali categorie (AV_TI e

- Brescia Verona Vicenza Padua Motorway: *the matrix of transfers on the Brescia-Padua route.*

In an average weekday, toll-gate connections with non-zero flow for at least one of the five categories of users⁽⁵⁾ are equal to over 50.000, the total volumes for category A (private vehicles) amounted to over 1.800.000 vehicles, while for category B (also including a portion of private vehicles) totalled about 301.000 vehicles⁽⁶⁾. These values are clearly related to the national motorway network and thus also include connections that are not represented in the supply model described above.

In order to use the information gathered in the model system, it was necessary to submit them to specific processing. In particular a procedure called "spatialisation" was used, capable of transforming the toll-gate matrix in an O/D matrix between traffic zones into which the territory has been divided.

The main steps in which this procedure articulates are:

- *identification of an area of influence, for each toll station. Exploiting the potential of GIS systems, the areas of the territory that potentially may use a generic toll-gate as entry/exit from the motorway network have been identified.*
- *application of a distribution model, taken from literature [4], having the form:*

$$p[d/o] = \frac{A_d^{\beta_1} C_{od}^{-\beta_2}}{\sum_d A_d^{\beta_1} C_{od}^{-\beta_2}}$$

where:

o, d represent respectively the motorway entrance/exit toll-gate and the origin/destination area of traffic of transfer on private cars;

A_d represents an attribute of attractiveness/generation of traffic area constituted by the sum of the population and operators of the generic area;

C_{od} represents an attribute of the cost expressed by the generalised cost to connect each traffic zone belonging to the area of influence of a generic toll-gate to the toll-gate itself;

β_1, β_2 are the coefficients of the model.

⁽⁴⁾ It should be pointed out that the road demand of interest in the study (i.e. that in competition with HS) is a demand that almost exclusively uses the motorway and for that reason contributions arising from ordinary mobility are neglected.)

⁽⁵⁾ Represented by the five toll classes.

⁽⁶⁾ The transformation from vehicles to number of passengers was carried out by applying a filling coefficient of vehicles within motorways derived from previous survey campaigns conducted by ATI and equal to approximately 1.7 persons/vehicle).

⁽⁷⁾ Una descrizione più dettagliata dell'indagine di frequentazione è esposta successivamente.

SCIENZA E TECNICA

FB_IC). La domanda che utilizza i servizi di NTV invece è stata elaborata direttamente dai dati del venduto. Nel complesso, con riferimento a tutta la zonizzazione del territorio nazionale, si è stimata, per il 2013, una domanda media giornaliera pari a oltre 97.000 passeggeri/giorno per i servizi di Alta Velocità o ad essi equiparabili e di poco meno di 63.000 passeggeri/giorno per i servizi del livello intermedio (Frecciabianca, Intercity, Eurocity, etc.).

Come per la domanda su strada, anche per quella ferroviaria è stato necessario applicare una procedura di “spazializzazione” finalizzata, in questo caso, a distribuire tra le zone di traffico la domanda ricostruita tra stazioni di origine e stazione di destinazione. A tal fine è stato applicato un modello analogo a quello descritto per la modalità stradale.

5.3. La domanda aerea

Sulla base dei dati IATA e altre fonti specifiche sono state ricostruite le matrici degli spostamenti aeroporto-aeroporto relativamente a tutte le relazioni che impattano in maniera diretta o indiretta sulle relazioni servite dalla rete di Alta Velocità.

In particolare, la matrice è stata ricostruita con riferimento alla domanda per il giorno feriale medio ed alla domanda totale annua, per circa 80 relazioni aeroporto-aeroporto.

In termini di volumi complessivi sull'insieme delle relazioni indicate si è stimata una domanda media giornaliera di circa 35.800 passeggeri/giorno.

In maniera del tutto analoga a quanto effettuato per la domanda stradale e ferroviaria, anche su questa base informativa è stata applicata una procedura di “spazializzazione” per stimare la distribuzione della domanda, concentrata nelle relazioni aeroporto-aeroporto, tra le zone di traffico.

6. La stima degli attributi di livello di servizio (ALS)

Gli Attributi di Livello di Servizio (ALS), rappresentano quelle grandezze attraverso le quali si possono esprimere le prestazioni offerte da un sistema di trasporto in una certa area. Essi si caratterizzano come attributi propri del sistema di trasporto e si differenziano in funzione della modalità di trasporto (tempi, costi, frequenza dei servizi, etc.).

6.1. Gli ALS per la rete stradale

Il calcolo degli attributi della rete stradale, per ogni coppia O/D, è stato effettuato sul percorso minimo rispetto al costo generalizzato dello spostamento calcolato considerando la rete carica.

Gli attributi calcolati sono:

5.2. Rail demand

As regards the rail mode, over the years, a number of specific counting campaigns were made on board to survey passengers of HS Frecciarossa and Frecciargento services and Frecciabianca and IC services on different rail sections in order to enrich, supplement and update information already possessed by the work group⁽⁷⁾.

By applying the technical correction / update specifications of O/D matrices based on flows measured on sections it was possible to reconstruct the mobility demand for services of the two main categories (HS_TI and FB_IC). The demand that uses the NTV services instead was drawn directly from the sales data. Overall, with reference to the entire zoning of the national territory, an average daily demand of over 97.000 passengers / day for High Speed services or their equivalent was estimated for 2013 and slightly less than 63.000 passengers / day for intermediate level services (Frecciabianca, Intercity, Eurocity, etc.).

As for the road demand, it was necessary to apply a “spatialisation” procedure even for the rail one in this case aimed at distributing the demand between traffic zones rebuilt between the origin station and destination station. To this end a model similar to that described for the road mode was applied.

5.3. Air demand

Based on data from IATA and other specific sources, airport transfer matrices were reconstructed in respect of all connections that directly or indirectly impact on connections served by the High Speed network.

In particular, the matrix was reconstructed with reference to the average weekday demand and to the total annual demand for about 80 airport connections.

In terms of overall volumes on all the connections indicated an average daily demand of about 35.800 passengers / day is estimated.

In a similar way to what was done for the road and railway demand, a “spatialisation” procedure was applied even on this information base to estimate the demand distribution, concentrated in airport-airport connections, among traffic areas.

6. Estimate of Level of Service (LoS) attributes

Level of Service (LoS) attributes, represent those magnitudes through which the performance offered by a transport system in a certain area can be expressed. They are characterised as attributes typical of the transport system and differ depending on the transport mode (time, costs, frequency of service, etc.)

⁽⁷⁾ A more detailed description of the survey of attendance is presented later.

SCIENZA E TECNICA

- distanza;
- tempo di percorrenza;
- costo monetario (percorrenza e pedaggio).

6.2. Gli ALS per la rete ferroviaria

Nel caso dei servizi ferroviari, gli ALS sono stati calcolati su un insieme di percorsi ammissibili generati attraverso il procedimento di seguito descritto.

La selezione dei percorsi ferroviari

Indicando con *modo primario* (MP) la categoria di servizio ferroviario con la quale si effettua la maggior parte dello spostamento in termini di distanza, il sistema prevede che l'accesso/egresso al modo primario (MP) possa essere effettuato con due modalità alternative:

- su strada (auto privata, taxi, mezzo pubblico, ...);
- su modo ferroviario secondario (SC)⁽⁸⁾.

Per chiarire meglio questa procedura, immaginiamo di dover individuare i possibili percorsi ferroviari tra la zona del comune di Latina (O) ed una zona del comune di Milano (D) per i servizi ferroviari della categoria AV (NTV o TI). Le alternative che possono essere prese in considerazione sono almeno due così caratterizzate:

Alternativa 1:

1 accesso via strada dall'origine O al terminale ferroviario di Latina;

2 utilizzo di un servizio ferroviario secondario (SC) (categoria FB_IC o Reg) per raggiungere la stazione di Roma Termini;

3 utilizzo di un servizio ferroviario primario (MP) (categoria AV_NTV o AV_TI) per raggiungere la stazione di Milano Centrale;

4 egresso via strada dalla stazione di Milano Centrale al centroide rappresentativo della destinazione D del viaggio;

Alternativa 2:

1 accesso via strada dall'origine O alla stazione ferroviaria di Roma Termini;

2 utilizzo di un servizio ferroviario primario (MP) (categoria AV_NTV o AV_TI) per raggiungere la stazione di Milano Centrale;

3 egresso via strada dalla stazione di Milano Centrale al centroide rappresentativo della destinazione D del viaggio.

Le due alternative identificano due possibili percorsi;

6.1. LoS for the road network

The calculation of the road network attributes, for each O/D pair, was made on the shortest route with respect to the generalised transfer cost calculated considering the network loaded.

Calculated attributes are:

- distance;
- travel time;
- monetary cost (distance and toll).

6.2. LoS for the railway network

In the case of rail services, the LoS were calculated on a set of acceptable routes generated through the process described below.

Selection of railway routes

Indicating with primary mode (PM) the category of train service with which most transfers are made in terms of distance, the system provides that access / egress to the primary mode (PM) can be carried out with two alternative methods:

- on road (private car, taxi, public transport, ...);
- on secondary railway mode (SC)⁽⁸⁾.

To better clarify this procedure, imagine having to identify possible rail routes between the area of the town of Latina (O) and an area of the municipality of Milan (D) for HS category rail services (NTV or TI). The alternatives that can be considered are at least two characterised as follows:

Alternative 1:

1 access by road from the origin O to the rail terminal of Latina;

2 use of a secondary rail service (SC) (category FB_IC or Reg) to reach the Rome Termini train station;

3 use of a primary rail service (PM) (category HS_NTV or HS_TI) to reach the Milan Central Station;

4 egress by road from Milan Central Station to the centroid representing destination D of the route.

Alternative 2:

1 access by road from origin O to the Rome Termini train station;

2 use of a primary rail service (PM) (category HS_NTV or HS_TI) to reach the Milan Central Station;

3 egress by road from Milan Central Station to the centroid representing destination D of the route.

⁽⁸⁾ Si definisce modo ferroviario secondario (SC) ogni categoria di servizio ferroviario di livello gerarchico inferiore rispetto a quella che si sta considerando come modo primario.

⁽⁸⁾ The secondary railway mode (SC) is defined as each category of rail service of a lower hierarchical level than that which is being considered as the primary mode.

SCIENZA E TECNICA

il primo in cui si è utilizzato un *multiservizio ferroviario* ed il secondo in cui si utilizza solo il modo primario ferroviario.

La generazione dei percorsi è stata effettuata utilizzando una versione modificata dell'algoritmo di Dijkstra [5] per essere utilizzata sulle reti diacroniche.

I criteri di generazione utilizzati sono:

- al più un solo trasbordo su Modo Primario (MP), considerando un tempo di trasbordo compreso tra un minimo ed un massimo $T_{t(min)}^{MP} \leq T_t^{MP} \leq T_{t(max)}^{MP}$;
- non sono ammessi trasbordi tra modi Secondari (SC) in accesso o in egresso.

I valori dei parametri $T_{t(min)}^{MP}$ e $T_{t(max)}^{MP}$ sono stati fissati a priori.

Ai percorsi così costruiti è stato applicato un insieme di *filtri* che hanno consentito di ottenere le alternative ammissibili di percorso per la coppia O/D in esame eliminando:

- ✓ i percorsi dominati (percorsi che utilizzano corse che partono prima ed arrivano dopo, rispetto ad altri percorsi dell'insieme di scelta);
- ✓ i percorsi che trasbordano su linee dirette;
- ✓ i percorsi che hanno un costo generalizzato superiore ad un α % rispetto a quello di minimo, con α % fissato a priori nell'ambito dello stesso tipo di servizio;
- ✓ i percorsi con trasbordo che hanno una distanza superiore ad un γ % rispetto a quella stradale;
- ✓ i percorsi che hanno un tempo a bordo inferiore ad un δ % rispetto al tempo di accesso+egresso;
- ✓ i percorsi composti da due corse di servizi differenti (MP+SC o SC+MP) che hanno il tempo di viaggio sul modo secondario (SC) superiore ad un β % rispetto al tempo totale;
- ✓ i percorsi che utilizzano le stesse corse, ma con stazioni di trasbordo differenti;
- ✓ i percorsi che utilizzano le stesse corse, ma con terminali di accesso/egresso differenti (si considera il percorso di minimo costo generalizzato di accesso/egresso).

Con riferimento all'offerta dei servizi ferroviari precedentemente descritti, attraverso questa procedura il modello individua il seguente numero di percorsi ammissibili:

- servizi di livello AV_NTV 1.840
- servizi di livello AV_TI 4.090
- servizi di livello FB_IC 28.870
- servizi ordinari 111.950

6.2.1. Gli attributi di livello di servizio

In funzione dell'insieme delle alternative ammissibili di percorso individuate, per ciascuna coppia O/D, per

The two alternatives identify two possible itineraries; the first in which a multi-railway service is used and the second in which only the primary rail mode is used.

Generation of the itineraries was performed using a modified version of Dijkstra's algorithm [5] for use on diachronic networks.

The generation criteria used are:

- *at most only one change on Primary Mode (PM), considering a transfer time between a minimum and a maximum $T_{t(min)}^{MP} \leq T_t^{MP} \leq T_{t(max)}^{MP}$;*
- *transfers between Secondary modes (SC) in access or egress are not allowed.*

The parameter values $T_{t(min)}^{MP}$ and $T_{t(max)}^{MP}$ were set a priori.

A set of filters that have resulted in allowable itinerary alternatives for the O/D pair under consideration were applied to itineraries so constructed eliminating:

- ✓ *dominated itineraries (itineraries using routes that start before and arrive later, compared to other itineraries of the choice set);*
- ✓ *itineraries that transfer on direct lines;*
- ✓ *itineraries that have a generalised cost higher than α % compared to the minimum one, with α % fixed a priori within the same type of service;*
- ✓ *itineraries with transfer that have a distance greater than γ % compared to road;*
- ✓ *itineraries that have an on-board time lower than δ % compared to the access + egress time;*
- ✓ *itineraries consisting of two routes of different services (PM+SC or SC + PM) which have travel time on the secondary mode (SC) greater than β % compared to the total time;*
- ✓ *itineraries that use the same routes, but with different transfer stations;*
- ✓ *itineraries that use the same routes, but with different access / egress terminals (the minimum generalised access / egress cost itineraries is considered).*

With reference to the offer of rail services described above, the model identifies the following number of eligible itineraries through this procedure:

- *HS_NTV level services 1.840*
- *HS_TI level services 4.090*
- *FB_IC level services 28.870*
- *Ordinary services 111.950*

6.2.1. Level of Service attributes

Depending on the allowable itinerary alternatives identified, for each O/D pair, for each rail service category, the system calculates the following diachronic attributes:

- *departure time from the origin;*
- *distance, time and access cost;*

SCIENZA E TECNICA

ogni categoria di servizio ferroviario, il sistema consente di calcolare i seguenti attributi ad *orario*:

- orario partenza dall'origine;
- distanza, tempo e costo di accesso;
- orario partenza dal terminale del modo primario;
- orario arrivo terminale modo primario;
- numero di trasbordi relativi al modo primario;
- tempo di trasbordo relativo al modo primario;
- tempo a bordo relativo al modo primario;
- distanza a bordo relativa al modo primario;
- distanza, tempo e costo di egresso;
- orario di arrivo a destinazione;
- costo del viaggio sul modo primario.

Nel caso di percorsi caratterizzati da multi servizio si determina anche:

- orario di partenza dal terminale relativo al modo secondario;
- orario di arrivo dal terminale relativo al modo secondario;
- tempo a bordo relativo al modo secondario;
- distanza a bordo relativo al modo secondario;
- costo del viaggio sul modo secondario.

6.3. L'individuazione dei percorsi ammissibili e il calcolo degli ALS per i servizi aerei

La procedura di generazione dei percorsi per i servizi aereo può essere considerata come caso particolare di quella relativa ai servizi ferroviari in cui viene meno il concetto di servizio secondario (SC).

Per i servizi aerei sono stati calcolati complessivamente 550 percorsi ammissibili.

Nel caso dei servizi aerei gli attributi ad orario sono calcolati per coppia O/D secondo la seguente struttura:

- orario partenza dall'origine;
- distanza, tempo e costo di accesso;
- orario partenza dal terminale del modo primario;
- orario arrivo terminale;
- numero di trasbordi;
- tempo di trasbordo;
- tempo a bordo;
- distanza a bordo;
- distanza, tempo e costo di egresso;
- costo del viaggio aereo (business, leisure);
- orario di arrivo a destinazione.

- *departure time from the primary mode terminal;*
- *arrival time at the primary mode terminal;*
- *number of transfers relating to the primary mode;*
- *transfer time relating to the primary mode;*
- *on board time relating to the primary mode,*
- *distance on board relating to the primary mode;*
- *distance, time and egress cost.*
- *time of arrival at destination;*
- *travel cost on primary mode.*

In the case of itineraries characterised by multi service the following is also defined:

- *departure time from the terminal relating to the secondary mode,*
- *arrival time from the terminal relating to the secondary mode;*
- *on board time relating to the secondary mode;*
- *distance on board relating to the secondary mode;*
- *travel cost on the secondary mode.*

6.3. Identification of eligible paths and calculation of LoS for air services

The procedure for creating itineraries for air services can be considered as a special case of that of rail services where the concept of secondary service (SC) is nullified.

Altogether 550 eligible itineraries were calculated for air services.

In the case of air services diachronic attributes are calculated per O/D pair with the following structure:

- *departure time from the origin;*
- *distance, time and access cost;*
- *departure time from the primary mode terminal;*
- *arrival time at the terminal;*
- *number of transfers;*
- *transfer time;*
- *time on board;*
- *distance on board;*
- *distance, time and egress cost.*
- *air travel cost (business, leisure);*
- *time of arrival at destination.*

7. Access / egress network attributes

The computation of the access / egress attributes has considered the possibility that the user uses other means of public transport besides the car for centroid-terminal transfers (train station, airport).

The choice of the access/egress mode to the terminal is a function of the type of origin and/or destination zone, of

SCIENZA E TECNICA

7. Gli attributi della rete di accesso/egresso

Il calcolo degli attributi di accesso/egresso ha considerato la possibilità che l'utente, per gli spostamenti centroide-terminale (stazione ferroviaria, aeroporto) utilizzi altri mezzi di trasporto pubblico oltre l'autovettura.

La scelta della modalità di accesso/egresso al terminale è funzione, del tipo di zona origine e/o destinazione, del motivo dello spostamento, del mezzo principale ed eventualmente di altri indicatori (reddito, ...). Le distribuzioni dei modi di accesso/egresso ai terminali sono state ricavate mediante indagini specifiche.

Fissato il percorso, per ciascun mezzo principale sono stati calcolati il costo e il tempo medio di accesso. Al tempo di accesso/egresso è stato sommato un tempo di servizio funzione della modalità principale rappresentante il tempo necessario ad accedere o ad uscire dal servizio: anticipo sull'ora di partenza, parcheggio auto, acquisto del biglietto, ritiro bagagli, ecc..

8. Le indagini

Le indagini realizzate per stimare la domanda e per effettuare la calibrazione disaggregata [6], [7] del nuovo modello di scelta del modo/servizio/classe/corsa sono state numerose, approfondite e differenziate.

Di seguito sono sinteticamente descritte partendo dalle indagini RP-SP (*Revealed Preference-Stated Preference*), per poi passare a quelle di frequentazione e infine a quelle in stazione per valutare le caratteristiche dell'accessibilità.

8.1. Indagini RP-SP

L'indagine RP-SP è finalizzata alla raccolta di informazioni sulle scelte di viaggio di un campione di individui, effettuate in contesti già sperimentati (RP - *Revealed Preference*) o in contesti ipotetici definiti opportunamente per ciascun individuo (SP - *Stated Preference*).

La ricerca ha interessato viaggiatori intercettati, durante il loro spostamento, in aeroporto od in stazione o utenti estratti a caso da un *panel* di viaggiatori⁽⁹⁾ rappresentativo dell'universo.

L'indagine RP-SP è stata condotta tramite un primo contatto in cui si è verificata la disponibilità dell'intervistato a partecipare all'esperimento, e, in caso positivo, è stato sottoposto un primo questionario (reclutamento RP) utile ai fini della personalizzazione del successivo questionario RP-SP. In un secondo momento all'intervi-

the transfer purpose, of the main transport means and possibly of other indicators (income, ...). The distributions of access/egress modes to the terminals were obtained through specific surveys.

Having established the path, the cost and average access time were calculated for each primary transport means. At the time of access/egress a service time was added depending on the main mode representing the time required to access or exit the service: in advance departure, car parking, ticket purchase, baggage collection, etc.

8. Surveys

The investigations carried out to estimate the demand and for the disaggregated calibration [6], [7] of the new choice model of the mode/service/class/run/choice model were numerous, extensive and differentiated.

They are briefly described below: RP-SP (Revealed Preference - Stated Preference) surveys, passenger counts and accessibility characteristics of stations.

8.1. RP-SP Surveys

The RP-SP survey is aimed at gathering information on travel choices of a sample of individuals, carried out in already tested contexts (RP - Revealed Preference) or in hypothetical contexts appropriately defined for each individual (SP - Stated Preference).

Research has affected travellers intercepted at the airport or station during their transfer or users randomly drawn from a panel of travellers⁽⁹⁾ representative of the universe.

The RP-SP survey was conducted through a first contact in which the availability of the interviewee to participate in the experiment was verified, and, if so, a first questionnaire (RP recruitment) was submitted useful for customising the subsequent RP-SP questionnaire. At a later time the full RP-SP questionnaire was submitted to the interviewee with a section (RP) dedicated to detailed information on the trip made (useful for statistical purposes and for the subsequent characterisation of the models) and a section (SP) where different hypothetical contexts of choice were presented ("SP games").

In each of the contexts the interviewee expressed its preference of the mode, the class of travel and the departure time of the trip, as well as the transfer frequency.

The RP-SP research was, therefore articulated in the following phases:

⁽⁹⁾ Tale panel è stato costituito negli anni dalla società di ricerche di mercato, specializzata nel settore dei trasporti, che ha collaborato con l'ATI nello svolgimento delle indagini.

⁽⁹⁾ This panel was formed over the years by the independent market research company, specialising in the transport sector, which has partnered with ATI in carrying out the surveys.

stato è stato presentato il questionario RP-SP completo, con una sezione (RP) dedicata alle informazioni di dettaglio sul viaggio effettuato (utili ai fini statistici e per la successiva caratterizzazione dei modelli) e una sezione (SP) in cui sono stati presentati *diversi contesti ipotetici* di scelta (“giochi SP”). In ciascuno dei contesti l’intervistato ha espresso la propria preferenza del modo, della classe di viaggio e dell’orario di partenza della corsa, nonché della frequenza dello spostamento.

La ricerca RP-SP è stata, pertanto, articolata nelle seguenti fasi:

- stratificazione del campione;
- progettazione del questionario di reclutamento ed estrazione del campione RP;
- reclutamento degli intervistati a domicilio, in stazione e in aeroporto;
- progettazione del questionario RP-SP personalizzato;
- somministrazione del questionario attraverso il web (indagine CAWI) e a domicilio face-to-face.

Nell’indagine RP complessivamente sono state raccolte 3.341 interviste, in tabella 7 è indicato come si sono distribuiti tra le varie fonti gli utenti reclutati.

Delle 3.341 interviste complessivamente raccolte, 2.333 interviste riguardano spostamenti con origine e destinazione interni alla catchment area. Per tali spostamenti (“In_scope NTV”) sono stati calcolati dei pesi di riproporzionamento tali da rendere il campione rappresentativo della popolazione di riferimento. I pesi⁽¹⁰⁾, sono stati calcolati rispetto alla distribuzione per modo, motivo dello spostamento (Business e altri motivi) ed alla tipologia di origine-destinazione, vale a dire se lo spostamento avviene tra zone appartenenti a città con stazioni AV, oppure no.

Analizzando la frequenza con cui gli intervistati dichiarano di effettuare gli spostamenti, si osserva che la maggior parte degli spostamenti sia per Business (62%), ma soprattutto per altri motivi (83%) avvengono con frequenza inferiore ad 1 volta al mese.

I *frequent travellers*, ovvero coloro che effettuano lo spostamento una o più volte a settimana, si spostano nell’87% dei casi per motivo Business. La ripartizione per

⁽¹⁰⁾ I pesi sono stati elaborati sulla base dei dati disponibili nell’osservatorio nazionale da cui sono stati estratti anche i componenti del panel precedentemente citato.

TABELLA 7 – TABLE 7

Struttura del campionamento delle interviste RP
Sampling structure of the RP interviews

Fonte Source	Numero di viaggiatori reclutati Number of recruited travellers				
Aeroporto Airport	385		385		
Stazione Station	1.633		1.633		
Panel	1.323 di cui	città con stazione AV cities with HS station	954 di cui	Aereo Airplane	79
				Treno Train	166
				Auto Car	709
		città nella catchment area di stazioni AV cities in the catchment area of HS stations	369 di cui	Aereo Airplane	23
				Treno Train	44
				Auto Car	302
Totale Total	3.341				

- stratification of the sample;
- design of the recruitment questionnaire and extraction of the RP sample;
- recruitment of interviewees at home, at the station and at the airport;
- design of the customised RP-SP questionnaire;
- distribution of the questionnaire through the web (CAWI survey) and face-to-face at home.

A total of 3.341 interviews were collected in the RP survey, table 7 shows how the users recruited were distributed among the various sources.

Out of a total of 3.341 interviews collected, 2.333 interviews refer to trip with origin and destination inside the catchment area. For these trips (“In scope NTV”) proportioning weights were calculated so as the sample could represent of the reference population. Weights⁽¹⁰⁾ were calculated with respect to the distribution by mode, purpose for transfer (business or other) and the type of origin-destination, that is, if the trip occurs between zones belonging to cities with HS stations, or not.

By analysing the frequency with which interviewees

⁽¹⁰⁾ Weights were processed based on the data available from the national observatory from which the panel components previously mentioned were extracted.

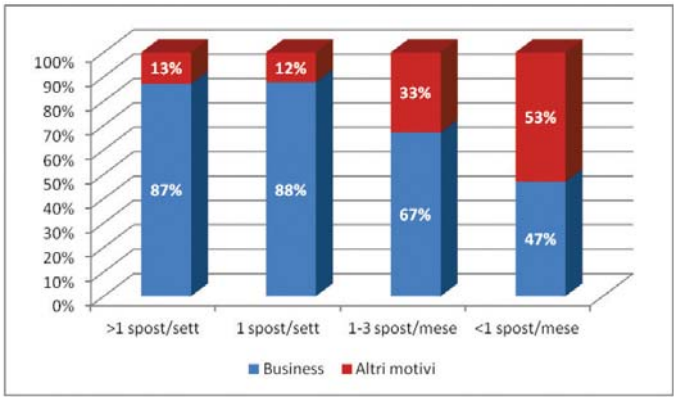


Fig. 10 - Ripartizione del campione per motivo dello spostamento in funzione della frequenza dello spostamento.
Fig. 10 - Distribution of the sample by transfer reason depending on the transfer frequency.

motivo tende ad uniformarsi al diminuire della frequenza dello spostamento (fig. 10). Si osserva inoltre che la percentuale di frequent traveller che utilizzano il treno oscilla tra il 53% e il 57%. Tale percentuale si riduce al diminuire della frequenza fino al 26% per spostamenti effettuati meno di una volta al mese, per i quali l'auto diventa il modo di trasporto più utilizzato con il 71% (fig. 11).

Nell'indagine SP complessivamente sono state raccolte 445 interviste in modalità CAWI (Computer Assisted Web Interviewing), ripartite per motivo dello spostamento, sesso dell'intervistato e per modo di trasporto utilizzato (RP) come riportato in tabella 8.

Nell'indagine SP, ad ogni individuo sono stati sottoposti 6 contesti di scelta, variabili per tempi di viaggio dei modi, orari di partenza delle corse e costi di viaggio (giochi SP). Per ciascun contesto presentato, all'intervistato è stato richiesto di effettuare la scelta del modo di trasporto, del servizio (AV, IC, etc.), dell'ambiente (standard, premium, business, etc.), etc..

TABELLA 8 – TABLE 8
Ripartizioni del campione SP per alcune caratteristiche rilevanti
Distribution of the SP sample by some significant characteristics

	Modo scelto Chosen mode			Totale Total
	Auto Car	Treno Train	Aereo Airplane	
Business Business	16%	63%	61%	59%
Altro Other	84%	37%	39%	41%
Uomini Men	61%	62%	68%	62%
Donne Women	39%	38%	32%	38%
Età media Average age	42	39	39	40

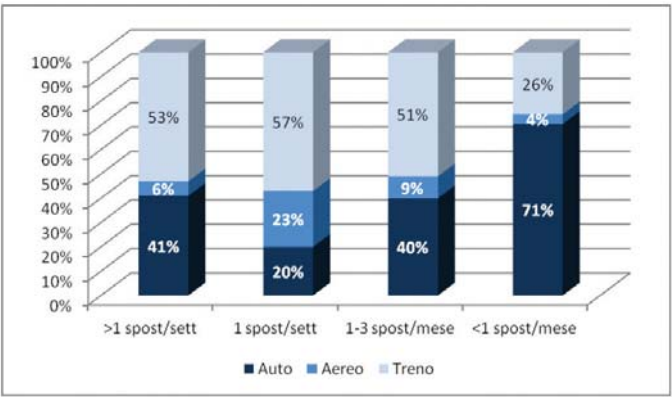


Fig. 11 - Ripartizione modale del campione in funzione della frequenza dello spostamento.
Fig. 11 - Modal distribution of the sample depending on the transfer frequency.

claim to perform trips we can observe that most trips both for business (62%), but especially for other purposes (83%) occur with a frequency of less than once a month.

Frequent travellers, or those that perform the trip one or more times a week, move for Business in 87% of cases. The distribution by purpose tends to comply with decreasing transfer frequency (fig. 10). It can also be noted that the percentage of frequent travellers that use the train ranges between 53% and 57%. This percentage decreases up to 26% as frequency decreases for trips made less than once a month, for which the car becomes the transport mode most used with 71% (fig. 11).

A total of 445 interviews in CAWI mode (Computer Assisted Web Interviewing) were collected in the SP survey, distributed by trip purposes interviewee gender and by transport mode used (RP) as shown in table 8.

In the SP survey, 6 contexts of choice were submitted to each individual, variable in travel times, departure times and travel costs (SP games). For each context presented, the interviewee was asked to choose the transport mode, the kind (HS, IC, etc.) and level (standard premium, business) of service, etc..

The 445 interviews thus generated 2.132 observations. Of these 1.884 were useful for the calibration, the remaining (approximately 11.6% of the sample) were discarded for incomplete questionnaires or inconsistency in answers (e.g., the interviewee chooses to move by car having declared not to be a car owner).

8.1.1. Passenger count campaigns

Over the years numerous surveys campaigns have been carried out on board the train aimed at quantifying the levels of rail demand.

The surveys were carried out separately for the average winter weekday (Monday to Friday) and the pre-holiday-holiday (Saturday and Sunday). The rail routes affected by the survey were:

SCIENZA E TECNICA

Le 445 interviste hanno così generato 2.132 osservazioni. Di queste 1.884 sono risultate utili per la calibrazione del modello, le rimanenti (pari a circa 11,6% del campione) sono state scartate per incompletezza dei questionari o per incongruenza nelle risposte fornite (ad es., l'intervistato sceglie di spostarsi in auto avendo dichiarato di non possedere l'automobile).

8.1.1. Indagini di frequentazione

Nel corso degli anni sono state svolte molteplici campagne di rilevazione della frequentazione a bordo treno finalizzate a valorizzare i livelli della domanda ferroviaria.

Le indagini sono state effettuate distintamente per il *giorno feriale medio invernale* (dal lunedì al venerdì) e per quello *prefestivo-festivo* (sabato e domenica). Le direttrici ferroviarie interessate dalla rilevazione sono state:

- la dorsale principale Torino-Milano-Bologna-Firenze-Roma-Napoli-Salerno;
- la sua diramazione Bologna-Padova-Venezia;
- la trasversale Milano-Brescia-Verona-Vicenza-Padova-Venezia;
- la dorsale Adriatica Milano-Bologna-Ancona-Pescara-Bari;
- la direttrice Roma-Bari.

La singola rilevazione di solito è stata ripartita nell'arco di 16 giorni, in modo da poter disporre di 6 giorni prefestivi/festivi e di 10 giorni feriali, avendo ovviamente cura di evitare giornate che, in virtù di proprie specifiche caratteristiche, potessero lasciar supporre a priori la presenza di flussi di frequentazione anomali (festività di primavera, sessioni elettorali etc...).

Le indagini sono state condotte utilizzando la tecnica del *"rilevatore misterioso"* a bordo treno, in virtù della quale uno o più rilevatori, dotati di regolare biglietto, hanno controllato i treni-campione per tutto il tragitto di interesse, procedendo a contare i passeggeri presenti a bordo lungo ciascuna tratta.

Per tratta, in questo contesto, si intende il percorso compiuto dal treno tra una stazione di fermata e la successiva, a meno delle eventuali tratte urbane (nel caso di treni che prevedano la sosta in due stazioni di una stessa città) che sono escluse dall'attività di conteggio.

Le persone presenti sono state conteggiate distintamente per:

- ambiente o classe di servizio (standard, premium, business, executive, I classe, II classe);
- passeggeri intercettati in aree neutre (principalmente ristorante e bar).

Il piano di campionamento è stato definito sulla base dell'analisi dell'offerta dei servizi previsti dall'orario ferroviario nei giorni e sulle linee indicate in precedenza, avendo cura di selezionare servizi opportunamente distribuiti nell'arco di tutta la giornata.

- *the main Turin-Milan-Bologna-Florence-Rome-Naples-Salerno backbone;*
- *its Bologna-Padua-Venice branch;*
- *the Milan-Brescia-Verona-Vicenza-Padua-Venezia cross-way;*
- *the Adriatic Milan-Bologna-Ancona-Pescara-Bari backbone;*
- *the Rome-Bari route.*

The individual survey has usually been allocated over a period of 16 days, so as to have 6 pre-holiday/holiday days and 10 working days, obviously taking care to avoid days which, by virtue of their specific characteristics, they could allow assuming a priori the presence of abnormal attendance flows (spring holidays, voting sessions etc ...).

The surveys were carried out using the "mysterious data collector" technique on board the train, in virtue of which one or more data collectors, with a regular ticket, checked the sample trains along the entire route of interest, counting the passengers present on board along each section.

Section, in this context, is referred to the itinerary taken by the train between a stop station and the next, except for any urban routes (in the case of trains that plan to stop at two stations in the same city) which are excluded from the counting activity.

Passenger on-board were calculated separately for:

- *class of service (standard, premium, business, executive, class I, class II);*
- *passengers intercepted in neutral areas (mainly restaurant and bar).*

The sampling plan was defined on the basis of the analysis of supply services envisaged by the train timetable in the days and on the rail routes mentioned above, taking care to select services appropriately distributed over the entire day.

The sampling rates were 40-45% for services on weekdays and 30-35% for the weekend.

The procedure for reporting to the universe of the passengers counted on sampled trains took into account: the overall average per section, the day of the week when the count was made on the single train and the month in which the survey campaign was conducted.

By way of example fig. 12 shows a representation of the load counted on sections of the HS routes for the weekday.

8.1.2. Surveys at the station

Surveys of users of HS services at the railway stations of Rome (Termini, Tiburtina and Ostiense) and Milan (Centrale, Porta Garibaldi and Rogoredo) were also conducted.

The survey was designed to understand the level of "attraction" generated by individual stations regardless of the objective parameters of time and cost of access and egress. In other words, we could say that the objective of the survey was to measure the attractiveness of HS stations in ter-

SCIENZA E TECNICA

I tassi di campionamento sono stati del 40-45% per i servizi dei giorni feriali e del 30-35% per quelli del fine settimana.

La procedura per il riporto all'universo dei passeggeri conteggiati sui treni campionati ha tenuto conto: dell'offerta complessiva media per tratta, del giorno della settimana in cui è stato effettuato il conteggio sul singolo treno e del mese in cui è stata realizzata la campagna di rilievo.

In fig. 12 si riporta, a titolo di esempio, una rappresentazione del carico riscontrato sulle tratte delle linee AV per il giorno feriale.

8.1.2. Indagini in Stazione

Sono state anche svolte delle indagini agli utenti dei servizi AV nelle stazioni ferroviarie di Roma (Termini, Tiburtina e Ostiense) e Milano (Centrale, P.ta Garibaldi e Rogoredo).

La rilevazione era finalizzata a comprendere il livello di "attrazione" generato dalle singole stazioni indipendentemente dai parametri oggettivi di tempo e costo di accesso ed egresso. In altri termini si potrebbe dire che l'obiettivo dell'indagine è stato quello di misurare l'attrattiva delle stazioni AV nei contesti territoriali in cui è presente una reale competizione tra terminali.

Nel corso della campagna di indagine sono state raccolte 510 interviste.

Il riporto all'universo delle singole interviste e quindi i pesi sono stati determinati rapportando il numero di utenti campionati, rispettivamente in partenza o in arrivo nelle sei stazioni in esame, al totale degli utenti.

ritorial contexts where there is real competition between terminals.

510 interviews were collected during the survey campaign.

The reporting to the universe of individual interviews and relative weights were determined by comparing the number of sampled users, respectively departing or arriving in the six stations in question, to the total number of users.

The answers of the interviewees were analysed separately in relation to the fact that the user was a resident (of the municipality of Rome: for departures or arrivals in Rome or the city of Milan: for departures or arrivals in Milan) or a city user (in all other cases). This division is related to the hypothesis that residents have a more accurate perception of the accessibility of railway terminals in their city.

The following figures show some results of the survey campaign indicating respectively to what extent the "comfort" of the station was important in the choice made by the user (fig. 13) and to what extent users of the stations of Milano Centrale and Rome Termini would be willing to change the terminal in case the train chosen had stopped in one of the other stations in the city (fig. 14 and 15).

This last analysis is indicative of the elasticity that the user attributes to the choice of the station.

9. The mode, service, run, class choice model

9.1. Calibration specification and validation of models

The traffic forecast model is characterised by its dynamic nature and allows a simulation with great detail of the

Trenitalia: Offerta-Domanda giornaliera bidirezionale

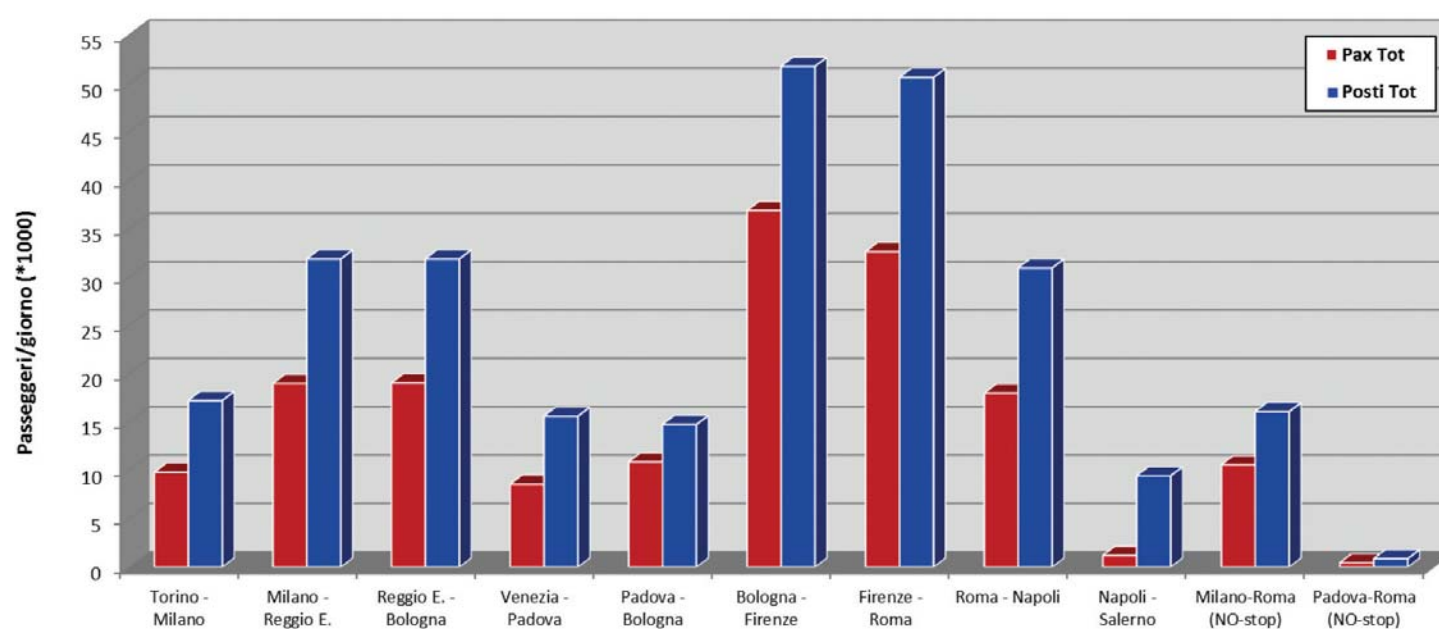


Fig. 12 - Carico per tratta sui servizi AV di Trenitalia nel giorno feriale.
Fig. 12 - Load per section on Trenitalia HS services on a weekday.

SCIENZA E TECNICA

Le risposte degli intervistati sono state analizzate separatamente in relazione al fatto che l'utente fosse un *residente* (del comune di Roma: per partenze o arrivi a Roma o del comune di Milano: per partenze o arrivi a Milano) ovvero fosse un *city user* (in tutti gli altri casi). Tale suddivisione è correlata all'ipotesi che i residenti abbiano una più corretta percezione dell'accessibilità dei terminali ferroviari della propria città.

Nelle successive figure si riportano alcuni risultati della campagna di indagine indicanti rispettivamente: quanto la "comodità" della stazione è stata importante nella scelta effettuata dall'utente (fig. 13) e quanto gli utenti delle stazioni di Milano Centrale e di Roma Termini sarebbero stati disposti a cambiare terminale nel caso in cui il treno da loro scelto avesse fermato in una delle altre stazioni della città (figg. 14 e 15). Quest'ultima analisi è indicativa dell'elasticità che l'utente attribuisce alla scelta della stazione.

user selection process based on specific attributes of individual "services" (trains and airplanes), according to the "timetable" approach.

The "timetable" approach, apart from the representation of the transport supply in terms of "runs" (and not just "lines") through a diachronic graph requires segmented origin-destination matrices by time belt, for the purpose transfer considered ("Business" and "Other").

9.2. Demand segmentation for the desired time of departure

Typically the demand segmentation depending on the time of departure, may be made on the basis of two separate selection criteria:

- *Desired Departure Time (DDT), typical of transfers made downstream from the activity for which one*

D: In che misura la comodità di questa stazione rispetto alle altre stazioni della città è stata importante nel determinare la scelta del tipo di treno che lei ha utilizzato?

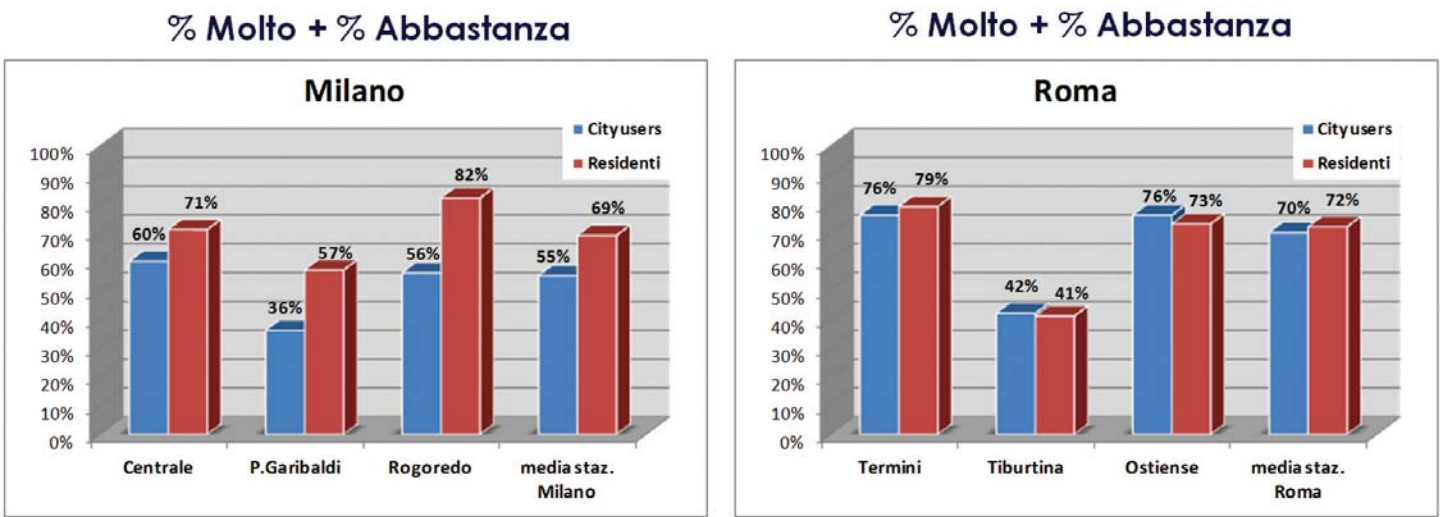


Fig. 13 - Quote di utenti che considerano comodi i vari terminali AV di Milano e Roma.
Fig. 13 - Share of users that consider the various HS terminals in Milan and Rome comfortable.

D: Se il treno anziché da/a Milano Centrale fosse partito/arrivato da/in un'altra stazione (Rogorego o P. Garibaldi), lei pensa che l'avrebbe utilizzato egualmente o avrebbe scelto un altro treno in partenza/arrivo da Milano Centrale?

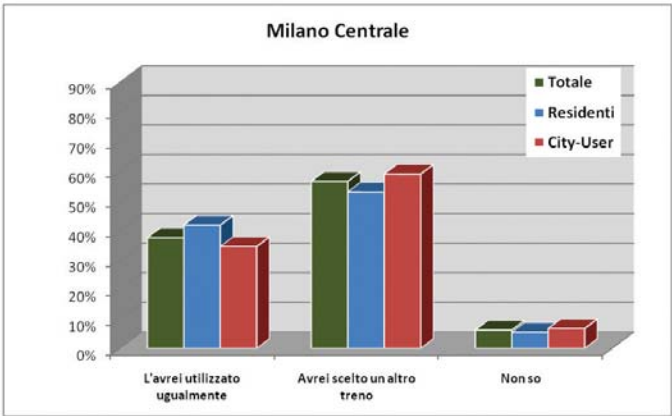


Fig. 14 - Elasticità della scelta di Milano Centrale.
Fig. 14 - Elasticity of choice of Milano Centrale.

D: Se il treno anziché da/a Roma Termini fosse partito/arrivato da/a Ostiense o Tiburtina, lei pensa che l'avrebbe utilizzato egualmente o avrebbe scelto un altro treno in partenza/arrivo da Roma Termini?

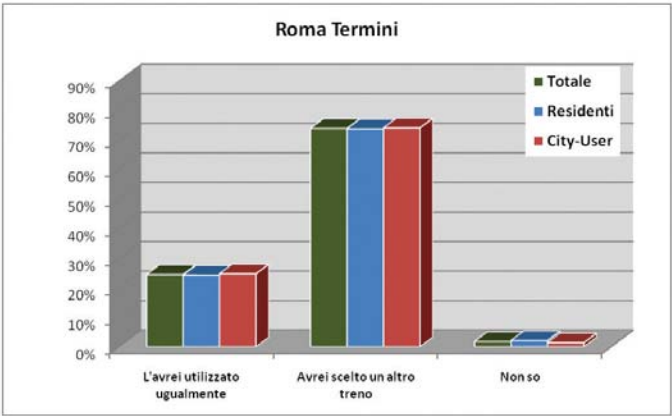


Fig. 15 - Elasticità della scelta di Roma Termini.
Fig. 15 - Elasticity of choice of Rome Termini.

SCIENZA E TECNICA

9. Il modello di scelta del modo, del servizio, della corsa e della classe

9.1. Specificazione calibrazione e validazione dei modelli

Il modello di previsione del traffico si caratterizza per la sua natura dinamica e consente una simulazione di grande dettaglio del processo di scelta dell'utente sulla base degli attributi puntuali dei singoli "servizi" (treni e aerei), secondo l'approccio "ad orario".

L'approccio "ad orario", oltre alla rappresentazione dell'offerta di trasporto in termini di "corse" (e non solo di "linee") mediante un grafo diacronico, richiede matrici origine-destinazione segmentate per fascia oraria, per i motivi dello spostamento considerati ("Business" e "Altro");

9.2. Segmentazione della domanda per orario desiderato di partenza

Tipicamente la segmentazione della domanda in funzione dell'ora di partenza, può essere effettuata in base a due distinti criteri di selezione:

- Orario Desiderato di Partenza (ODP), tipico degli spostamenti fatti a valle dell'attività per la quale ci si sposta, ad esempio gli spostamenti di ritorno a casa dopo un appuntamento di lavoro;
- Orario Desiderato di Arrivo (ODA), tipico degli spostamenti a monte dello svolgimento dell'attività per cui ci si sposta, ovvero quelli fatti per raggiungere il luogo delle attività da svolgere, ad esempio il viaggio di andata per un appuntamento di lavoro.

Nel caso in esame, la segmentazione dei flussi di domanda è stata stimata per Orario Desiderato di Partenza (ODP). Nei casi di dichiarata presenza di un vincolo d'orario a destinazione, l'ODA è stato ricondotto al relativo ODP, sottraendo il tempo di viaggio necessario per compiere lo spostamento sul modo di trasporto effettivamente utilizzato dall'utente (modo RP):

$$ODP = ODA - Tv_m$$

essendo Tv il tempo di viaggio sul modo "m" utilizzato.

Attraverso gli ODP osservati, sono state stimati i valori delle funzioni densità di distribuzione $\hat{f}_{(x)}$ dell'ora desiderata di partenza nel campione (ODP), per un totale di 990 punti che corrispondono ai minuti nell'intervallo 05:00-21:30, per le seguenti classi di spostamento:

- a) spostamenti per motivo Business su distanze $\leq 400\text{km}^{(11)}$;
- b) spostamenti per motivo Business su distanze $> 400\text{km}$;

moves, such as return home transfers after a work meeting;

- Desired Arrival Time (DAT), typical of transfers upstream the performance of the activity for which we move, or those made to reach the place of activities to be performed, such as the outbound route for a work meeting.

In this case, the segmentation of demand flows was estimated by Desired Departure Time (DDT). In cases of declared timetable constraint at destination, the DAT was traced back to its DDT, subtracting the travel time needed for the transfer on the transportation mode actually used by the user (RP mode):

$$DDT = DAT - Tv_m$$

being Tv the travel time on mode "m" used.

Through the DDT observed, the values of the density distribution functions $\hat{f}_{(x)}$ of the desired departure time in the sample (DDT) were estimated, for a total of 990 points that correspond to the minutes in the 05:00-21:30 range, for the following classes of travel:

- a) transfers for Business for distances $\leq 400\text{km}^{(11)}$;
- b) transfers for Business for distances $> 400\text{km}$;
- c) transfers for Other purposes for distances $\leq 400\text{km}$;
- d) transfers for Other purposes for distances > 400 .

To estimate these functions a non-parametric varied uni kernel⁽¹²⁾ function was used defined as follows:

$$\hat{f}_h(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x - x_i}{h}\right)$$

where $K(\cdot)$ is the kernel function, symmetric not necessarily positive, with $\int K(t)dt=1$. Parameter h is an adjustment parameter that establishes the "bandwidth" of the estimate. It is desirable that the value of "h" is as low as possible but generally resort is always made to a compromise between the bias of the estimator and its variance. The value of "h" determines the quality of the estimator through the kernel function. The estimator $\hat{f}_{(x)}$ evens out the contribution of each observation to the likelihood of the sample, close to the same observation, $x-x_i$. The value of this contribution depends on the functional form of kernel $K(\cdot)$. The type of kernel function used in this case is the Epanechnikov [9], known to be the best "compromise" between the choice of parameter "h" and the estimate error:

$$K(x, p) = \frac{(1-x^2)^p}{2^{2p+1} B(p+1, p+1)} * 1\{|x| < 1\}$$

⁽¹¹⁾ The distance of 400 km was chosen, on the basis of specific analysis, such as the one for which significant changes in user behaviour are experienced.

⁽¹²⁾ The choice of using a kernel distribution is tied to its peculiarity to adapt to the data rather than select a density with a particular parametric form as in the case of other alternative functions [8].

⁽¹¹⁾ La distanza di 400 km è stata scelta, sulla base di specifiche analisi, come quella per la quale si riscontrano variazioni significative nel comportamento degli utenti.

SCIENZA E TECNICA

- c) spostamenti per Altri motivi su distanze ≤ 400 km;
d) spostamenti per Altri motivi su distanze > 400 km.

Per stimare tali funzioni è stato utilizzata una funzione non-parametrica *kernel uni variata*⁽¹²⁾ definita come di seguito:

$$\hat{f}_h(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x - x_i}{h}\right)$$

dove $K(\cdot)$ è la funzione kernel, simmetrica non-necessariamente positiva, con $\int K(t)dt=1$. Il parametro h è un parametro di perequazione che stabilisce la “larghezza di banda” della stima. E’ auspicabile che il valore di h sia il più basso possibile ma generalmente si ricorre sempre ad un compromesso tra il bias dello stimatore e la sua varianza. Il valore di h determina la qualità dello stimatore attraverso la funzione *kernel*. Lo stimatore $\hat{f}_{(x)}$ rende uniforme il contributo di ogni osservazione alla verosimiglianza del campione, nelle vicinanze della stessa osservazione, $x - x_i$. Il valore di questo contributo dipende dalla forma funzionale del kernel $K(\cdot)$. Il tipo di funzione *kernel* utilizzato nel caso in esame è la funzione *Epanechnikov* [9], nota per essere il miglior “compromesso” tra la scelta del parametro h e l’errore di stima:

$$K(x, p) = \frac{(1 - x^2)^p}{2^{2p+1} B(p+1, p+1)} * 1[|x| < 1]$$

con:

$$B(a, b) = \Gamma(a)\Gamma(b)/\Gamma(a+b) \text{ e con } p=1.$$

La performance di una kernel si misura attraverso il MISE (*Mean Integrated Squared Error*) oppure l’AMISE (*asymptotic MISE*). Il kernel *Epanechnikov* minimizza l’AMISE, ed è perciò considerato uno stimatore ottimale.

Il risultato della stima di queste funzioni è riportato in fig. 16, dove sono rappresentate le distribuzioni per le quattro classi di spostamento considerate. Si osserva per motivo Business, una distribuzione bimodale con picchi intorno alle 6:30 ed alle 18:00 per spostamenti minori di 400 km e intorno alle 7:30 e alle 16:30 per spostamenti maggiori di 400 km. Per Altri motivi la distribuzione appare trimodale con picchi, indipendentemente dalla distanza dello spostamento, intorno alle 8:00, alle 13:00 ed alle 17:00. Inoltre, sia per Business che per Altri motivi, le punte pomeridiane risultano più estese rispetto alle punte antimeridiane, in modo particolare per gli spostamenti maggiori di 400 km.

9.3. Il modello di scelta del modo-servizio-corsa-classe

Il modello di scelta del modo-servizio corsa fornisce le percentuali di ripartizione tra i diversi modi (Auto, Aereo,

with:

$$B(a, b) = \Gamma(a)\Gamma(b)/\Gamma(a+b) \text{ and with } p=1.$$

A kernel's performance is measured through the MISE (Mean Integrated Squared Error) or the AMISE (asymptotic MISE). Epanechnikov kernel minimises the AMISE, and is therefore considered an optimal estimator.

The result of the estimate of these functions is shown in fig. 16, where the distributions for the four transfer classes considered are represented. A bimodal distribution is observed for Business with two peaks around 6:30 and 18:00 for trips of less than 400 km and two peaks around 7:30 and 16:30 for trips greater than 400 km. For Other purposes the distribution appears trimodal with peaks, around 08:00, 13:00 and 17:00 regardless of the distance of the transfer. In addition, both for Business and for Other purposes, afternoon peaks are more extensive than the morning peaks, particularly for transfers greater than 400 km.

9.3. The mode-service-run-class choice model

The mode-service-run-class choice model provides the percentages of allocation between the different modes (car, plane, train) and services (Intercity/ Frecciabianca/High-Speed route/1st class/2nd class/Trenitalia/NTV) as well as between the different runs having different departure times, available for each Origin-Destination pair (O/D). For this aim we made use of the random utility theory paradigm [4], [10] that is created to reproduce the behaviour of individuals faced with a choice between a discrete set of alternatives (“choice set”).

The first step for the specification of the random utility model is the definition of the choice set of alternatives. In this case the following mode-service alternatives are first of all considered:

- Car;
- Airplane;
- Trenitalia Frecciabianca/Intercity 1st class services (FB_IC1);
- Trenitalia Frecciabianca/Intercity 2st class services (FB_IC2);
- Trenitalia 1st class High Speed services (HS_TI1);
- Trenitalia 2st class High Speed services (HS_TI2);
- NTV HS 1st class services (HS_NTV1);
- NTV HS 2st class services (HS_NTV2).

To simplify the calculation procedures (both during calibration and in the subsequent application phase of the model) some simplification assumptions to reduce the number of the choice set have been calculated on the basis of the SP sample.

The first simplifying assumption is to consider only the advance and late runs compared to the desired departure time for each mode available on the O/D connection. The

⁽¹²⁾ La scelta di utilizzare una distribuzione di kernel è legata alla sua peculiarità di adattarsi ai dati piuttosto che selezionare una densità con una particolare forma parametrica come nel caso di altre funzioni alternative [8].

SCIENZA E TECNICA

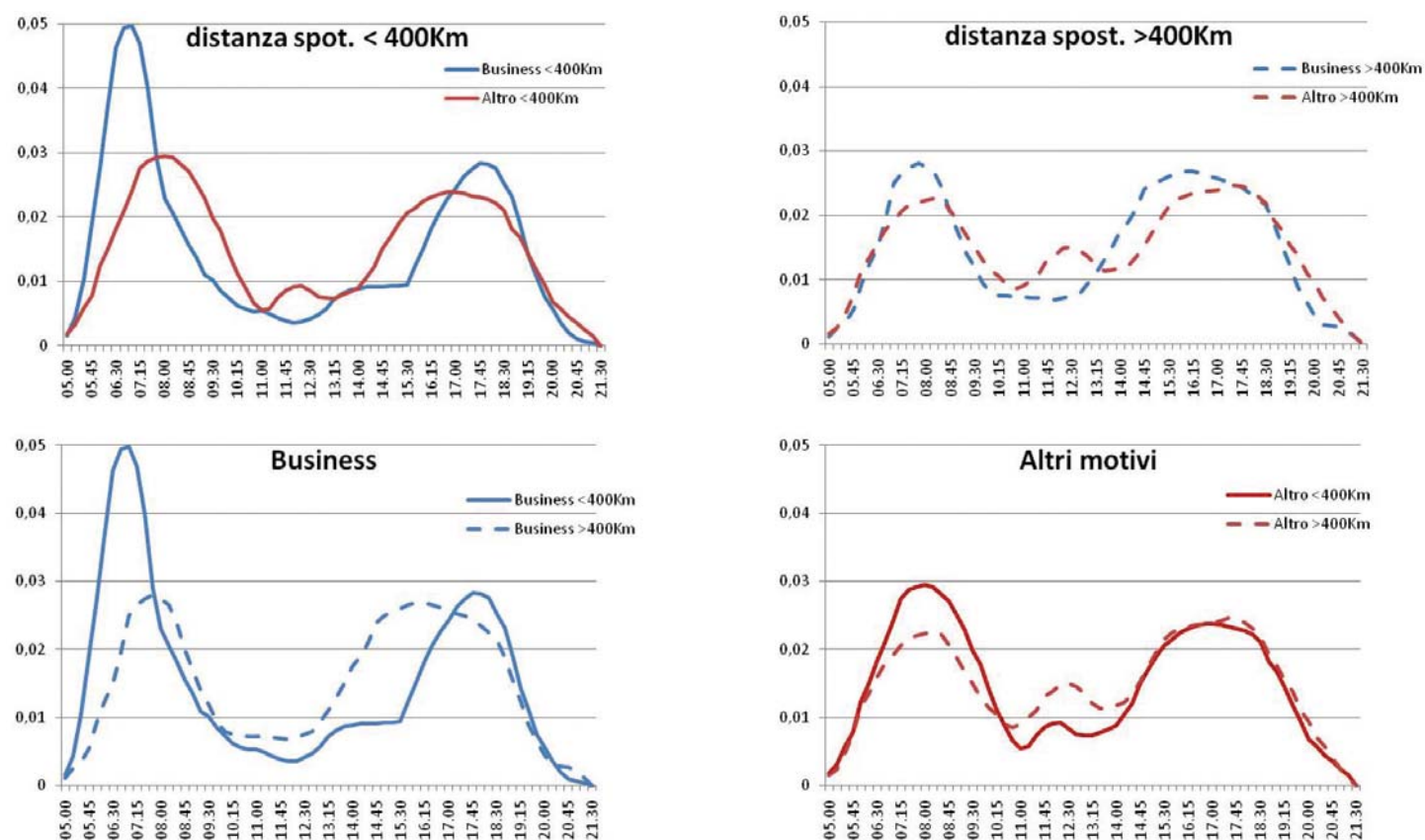


Fig. 16 - Distribuzione degli orari di desiderati partenza (ODP) per motivo e classi di distanza dello spostamento.
Fig. 16 - Distribution of desired times of departure (DTD) by reason and distance classes of transfer.

Treno) e servizi (Intercity/Frecciabianca/Alta Velocità, 1^a classe/2^a classe, Trenitalia/NTV) nonché tra le diverse corse caratterizzate da orari di partenza differenti, disponibili per ciascuna coppia Origine-Destinazione (O/D). A tale scopo ci si è avvalsi del paradigma teorico dell'utilità aleatoria [4], [10] che nasce proprio per riprodurre il comportamento degli individui di fronte ad una scelta tra un insieme discreto di alternative (insieme di scelta o "choice set").

Il primo passo per la specificazione di modello di utilità aleatoria è la definizione dell'insieme di scelta delle alternative. Nel caso in esame si sono considerate innanzitutto le seguenti alternative modo-servizio:

- Auto;
- Aereo;
- Trenitalia servizi Frecciabianca/Intercity di 1^a classe (FB_IC1);
- Trenitalia servizi Frecciabianca/Intercity di 2^a classe (FB_IC2);
- Trenitalia servizi Alta Velocità di 1^a classe (AV_TI1);
- Trenitalia servizi Alta Velocità di 2^a classe (AV_TI2);
- NTV servizi AV di 1^a classe (AV_NTV1);
- NTV servizi AV di 2^a classe (AV_NTV2).

Per semplificare le procedure di calcolo (sia in fase di calibrazione che nella successiva fase di applicazione del

coverage-ratio of this hypothesis, i.e. the percentage of cases in which it is observed by sample users, is 77% for users choosing the plane, 64% for users choosing travel (Intercity or High speed) on Trenitalia and 59% for those choosing NTV high speed services (table 9).

The second simplifying assumption was to include all runs present in a time interval of predetermined size within the set of choice between Desired Departure Time (DDT) (e.g. all runs departing one hour before and one hour after the DDT). The coverage-ratios of this hypothesis are reported in table 10 for semi-size from half an hour to four hours. Coverage-ratios higher than 85% (threshold limit to consider the hypothesis acceptable) correspond to semi-size equal to 2.5 hours, or for 5 hour time intervals, that would however result in the inclusion in the choice set of a large number of routes in the application phase.

Based on the coverage-ratio analysis it was therefore decided to consider all travel belonging to the choice set in the process of model calibration, however introducing criteria to eliminate "dominated" runs or runs characterised by a set of attributes all worst in terms of usefulness for the generic traveller (for example, a greater run time and cost), compared to at least another run. The "dominance criteria" were defined based on the cost of travel, the travel time and the advance and delay disadvantage of the run compared to the DDT.

SCIENZA E TECNICA

modello) sono state verificate, sulla base del campione SP, alcune ipotesi semplificative per ridurre la numerosità del choice set.

La prima ipotesi semplificativa consiste nel considerare per ogni modo disponibile sulla relazione O/D solo le corse in anticipo e ritardo rispetto all'orario desiderato di partenza. Il coverage-ratio di tale ipotesi, ovvero le percentuali di casi in cui essa è rispettata dagli utenti del campione è pari al 77% per gli utenti che scelgono l'aereo, al 64% per gli utenti che scelgono una corsa (Inter-city o Alta Velocità) di Trenitalia e il 59% per chi sceglie i servizi alta velocità di NTV (tabella 9).

La seconda ipotesi semplificativa è stata quella di includere all'interno dell'insieme di scelta tutte le corse presenti in un intervallo temporale di ampiezza predeterminata a cavallo dell'Orario Desiderato di Partenza (ad esempio tutte le corse che partono un'ora prima e un'ora dopo l'ODP). I coverage-ratio di tale ipotesi sono riportati per semi-ampiezze variabili da mezz'ora a quattro ore in tabella 10. Si osserva che i coverage-ratio superiori all'85% (soglia limite per ritenere accettabile l'ipotesi) si hanno per semiampiezze pari a 2,5 ore, ovvero per intervalli temporali di 5 ore, che in fase applicativa comporterebbero comunque l'inclusione nel choice set di un numero elevato di corse.

Sulla base delle analisi dei coverage-ratio si è deciso, pertanto, di considerare in fase di calibrazione del modello tutte le corse appartenenti all'insieme di scelta, introducendo però dei criteri per eliminare le corse "dominate", ovvero le corse caratterizzate da un set di attributi tutti peggiori in termini di utilità per il viaggiatore generico (ad esempio un tempo di percorrenza ed un costo maggiore), rispetto ad almeno un'altra corsa. I "criteri di dominanza" sono stati definiti in base al costo del viaggio, al tempo di viaggio ed alla penalità di anticipo e di ritardo della corsa rispetto all'ODP.

Secondo la teoria dell'utilità aleatoria, ogni decisore è razionale e come tale sceglie l'alternativa (appartenente al proprio insieme di scelta) in grado di massimizzare l'utilità. Le funzioni di utilità associate da ciascun decisore alle singole alternative sono ignote all'analista e pertanto trattate come variabili aleatorie. Conseguentemente, l'analista non è in grado di riprodurre con certezza la scelta effettuata da ciascun utente ma solo la probabilità che egli scelga ciascuna delle alternative disponibili. Queste probabilità dipendono dalle funzioni di

According to the random utility theory, each user is rational and as such chooses the alternative (belonging to its own set of choice) capable of maximising utility. Utility functions associated by each user to individual alternatives are unknown to the analyst and therefore treated as random variables. Accordingly, the analyst is unable to reproduce the choice made by each user with certainty, but only the probability that it chooses each of the available alternatives. These probabilities depend on the distribution functions assumed by the "utility" random variables and in particular by their average values. The latter are generally expressed as a linear combination of coefficients and attributes that describe the convenience / inconvenience or better the benefits / costs that the user perceives / must bear if it chooses that particular alternative.

The calibration procedure provides a single value for all coefficients that appear in the utility functions, which must be used to reproduce the choices of all users to which that model refers. Since, obviously, each user has in principle, its own value for these coefficients different from that of any other user, the first rule to reduce this approximation is to create classes of users as homogeneous as possible, and then calibrate separate models for each class.

TABELLA 9 - TABLE 9

Percentuali di utenti che sceglie la corsa in anticipo o ritardo rispetto all'ODP
Percentage of users choosing a advance or delayed route with respect to DDT

	Aereo Plane	Treno TI TI Train	Treno NTV NTV Train
Sceglie la prima corsa in anticipo o ritardo Chooses the first advance or delayed route	77%	64%	59%
Non sceglie la prima corsa in anticipo o ritardo Does not choose the first advance or delayed route	23%	36%	41%
	100%	100%	100%

TABELLA 10 - TABLE 10

Percentuali di utenti che sceglie una corsa inclusa nell'intervallo di semiampiezza predeterminata in anticipo e in ritardo rispetto all'ODP
Percentage of users choosing run included in the advance or delayed predetermined semi-size range with respect to the DDT

Semi-ampiezza dell'intervallo Semi-size of the interval (hh:mm)	Aereo Plane	Trenitalia FB-IC Trenitalia FB-IC	Trenitalia AV HS Trenitalia	NTV
< 0.30	20%	26%	30%	29%
< 1.00	48%	55%	61%	62%
< 1.30	71%	78%	87%	82%
< 2.00	73%	81%	90%	87%
< 2.30	85%	88%	95%	92%
< 3.00	87%	88%	96%	93%
< 3.30	94%	94%	98%	96%
< 4.00	94%	94%	98%	97%

SCIENZA E TECNICA

distribuzione ipotizzate per le variabili aleatorie "utilità" e in particolare dai loro valori medi. Questi ultimi sono generalmente espressi come combinazione lineare di coefficienti ed attributi, atti a descrivere la convenienza/sconvenienza o meglio i benefici/costi che l'utente percepisce/deve sopportare se sceglie quella particolare alternativa.

La procedura di calibrazione fornisce un unico valore per tutti i coefficienti che compaiono nelle funzioni di utilità, che dovrà essere utilizzato per riprodurre le scelte di tutti i decisori cui quel modello è riferito. Poiché, evidentemente, ogni decisore ha in linea di principio un proprio valore per questi coefficienti differente da quello di qualsiasi altro decisore, la prima regola per ridurre questa approssimazione è quella di creare classi di utenti il più possibile omogenee e quindi calibrare modelli separati per ciascuna classe.

In virtù di questi presupposti si è quindi deciso di segmentare il campione di calibrazione in funzione del motivo dello spostamento distinguendo tra:

- *business* - lavoro e affari professionali;
- *altri motivi* - visita a parenti/amici, cure personali, svago, turismo, ecc.

Nelle funzioni di utilità di un modello di scelta modale compaiono, tipicamente, attributi di livello di servizio che riproducono le prestazioni (tempi, costi, ecc.) dei singoli modi/servizi. I coefficienti di tali attributi rappresentano l'"importanza" che i diversi decisori assegnano ad un attributo piuttosto che ad un altro: tipicamente le persone che viaggiano per motivi di lavoro/affari professionali, ovvero le persone con un alto reddito, hanno maggiore disponibilità a pagare e sono quindi disposti a sostenere un costo più elevato per risparmiare tempo di viaggio. Questo si riflette ad esempio in un valore generalmente maggiore del coefficiente moltiplicativo del tempo e viceversa minore per il coefficiente moltiplicativo del costo. In generale, gli attributi appartengono a 4 categorie [11]:

- *attributi di livello del servizio* (tempo a bordo, tempo di accesso/egresso, costo dello spostamento, ecc.);
- *attributi di qualità del servizio* (presenza/assenza di specifici servizi a bordo treno);
- *attributi caratteristici dell'individuo* (sesso, condizione professionale, titolo di studio, ecc.);
- *attributi caratteristici dello spostamento* in questione (andata e ritorno in giornata, motivo del viaggio, ecc.).

Di seguito sono riportate nel dettaglio le funzioni di utilità (V) delle alternative modo-servizio considerate (si noti che gli attributi dei modi-servizi aerei e ferroviari variano al variare delle corse incluse nell'insieme di scelta):

- $V(\text{Auto}): \beta_{\text{tempo}} * \text{tempoAuto} + \beta_{\text{cAuto_solo}} * \text{cAuto} + \beta_{\text{cAuto_Acc}} * \text{cAuto};$
- $V_{(i=1,...,n1)}(\text{Aereo}): \text{ASCair} + \beta_{\text{tempo}} * \text{tempoair}_i + \beta_{\text{costo_Rimb}} * \text{costoair1}_i + \beta_{\text{costo_Non-Rimb}} * \text{costoair}_i + \beta_{\text{AccEgr}} * \text{tempoAccEgrAir}_i + \beta_{\text{rit}} * \text{ritair}_i + \beta_{\text{ant}} *$

By virtue of these assumptions, it was hence decided to segment the calibration sample as a function of the purposes for travelling distinguishing between:

- *business - work and business;*
- *other purposes - visiting relatives / friends, personal care, entertainment, tourism, etc..*

In the utility functions of a modal choice model service level attributes typically appear that reproduce the performance (time, costs, etc.) of individual modes / services. The coefficients of these attributes represent the "importance" that different users assign to an attribute rather than to another: typically people travelling for work / business, or people with a high income, have greater willingness to pay and are thus willing to incur a higher cost to save travel time. This is reflected for example in a generally higher value of the multiplier coefficient of time and vice versa lower for the multiplier coefficient of the cost. In general, attributes belong to 4 categories [11]:

- *service level attributes (time aboard, access / egress time, trip cost, etc.);*
- *service quality attributes (presence / absence of specific services on board);*
- *characteristic attributes of the individual (gender, employment status, education level, etc.);*
- *characteristic attributes of the trip (return trip in the day, purpose, etc.).*

The utility functions (V) of the air and rail mode-service alternatives considered are reported in detail below (note that the mode-service attributes vary with the travel choice included in the choice set):

- $V(\text{Car}): \beta_{\text{time}} * \text{timeCar} + \beta_{\text{cCar_alone}} * \text{cCar} + \beta_{\text{cCar_Acc}} * \text{cCar};$
- $V_{(i=1,...,n1)}(\text{Airplane}): \text{ASCair} + \beta_{\text{time}} * \text{timeairplane}_i + \beta_{\text{cost_Reimb}} * \text{costairplane1}_i + \beta_{\text{cost_Non-Reimb}} * \text{costairplane}_i + \beta_{\text{AccEgr}} * \text{timeAccEgrAirplane}_i + \beta_{\text{delay}} * \text{delair}_i + \beta_{\text{lead}} * \text{leadair}_i + \beta_{\text{EmplStat}} * \text{if_ConfprofAlta};$
- $V_{(i=1,...,n2)}(\text{FB_IC 1}^a \text{ cl}): \text{ASCFb_Ic1}^a_{<400\text{km}} * (\text{sekm}_{<400}) + \text{ASCFb_Ic1}^a_{>400\text{km}} * (\text{sekm}_{>400\text{km}}) + \beta_{\text{time}} * \text{timeFb_Ic}_i + \beta_{\text{cost_Reimb}} * \text{costFb_Ic_1}^a_i + \beta_{\text{cost_Non-Reimb}} * \text{costFb_Ic_1}^a_i + \beta_{\text{AccEgr}} * \text{timeAccEgrFb_Ic}_i + \beta_{\text{del}} * \text{delFb_Ic}_i + \beta_{\text{lead}} * \text{leadFb_Ic}_i;$
- $V_{(i=1,...,n2)}(\text{FB_IC 2}^a \text{ cl}): \text{ASCFb_Ic2}^a_{<400\text{km}} * (\text{sekm}_{<400}) + \text{ASCFb_Ic2}^a_{>400\text{km}} * (\text{sekm}_{>400\text{km}}) + \beta_{\text{time}} * \text{timeFb_Ic}_i + \beta_{\text{cost_Reimb}} * \text{costFb_Ic_2}^a_i + \beta_{\text{cost_Non-Reimb}} * \text{costFb_Ic_2}^a_i + \beta_{\text{AccEgr}} * \text{timeAccEgrFb_Ic}_i + \beta_{\text{del}} * \text{delFb_Ic}_i + \beta_{\text{lead}} * \text{leadFb_Ic}_i;$
- $V_{(i=1,...,n5)}(\text{AV_TI 1}^a \text{ cl}): \text{ASCAV_TI1}^a_{<400\text{km}} * (\text{sekm}_{<400}) + \text{ASCAV_TI1}^a_{>400\text{km}} * (\text{sekm}_{>400\text{km}}) + \beta_{\text{time}} * \text{timeAV_TI}_i + \beta_{\text{cost_Reimb}} * \text{costAV_TI_1}^a_i + \beta_{\text{cost_Non-Reimb}} * \text{costAV_TI_1}^a_i + \beta_{\text{AccEgr}} * \text{timeAccEgrAV_TI}_i + \beta_{\text{del}} * \text{delAV_TI}_i + \beta_{\text{lead}} * \text{leadAV_TI}_i;$
- $V_{(i=1,...,n3)}(\text{AV_TI 2}^a \text{ cl}): \text{ASCAV_TI2}^a_{<400\text{km}} * (\text{sekm}_{<400}) + \text{ASCAV_TI2}^a_{>400\text{km}} * (\text{sekm}_{>400\text{km}}) +$

SCIENZA E TECNICA

$\text{antair}_i + \beta_{\text{Condprof}} * \text{se_ConfprofAlta};$

- $V_{(i=1,...,n2)}(FB_IC \ 1^a \ cl): \text{ASCfb_Ic1}^a_{<400km} * (\text{sekm}_{<400}) + \text{ASCfb_Ic1}^a_{>400km} * (\text{sekm}_{>400km}) + \beta_{\text{tempo}} * \text{tempoFb_Ic}_i + \beta_{\text{costo_Rimb}} * \text{costoFb_Ic}_1^a_i + \beta_{\text{costo_Non-Rimb}} * \text{costoFb_Ic}_1^a_i + \beta_{\text{AccEgr}} * \text{tempoAccEgrFb_Ic}_i + \beta_{\text{rit}} * \text{ritFb_Ic}_i + \beta_{\text{ant}} * \text{antFb_Ic}_i;$
- $V_{(i=1,...,n2)}(FB_IC \ 2^a \ cl): \text{ASCfb_Ic2}^a_{<400km} * (\text{sekm}_{<400}) + \text{ASCfb_Ic2}^a_{>400km} * (\text{sekm}_{>400km}) + \beta_{\text{tempo}} * \text{tempoFb_Ic}_i + \beta_{\text{costo_Rimb}} * \text{costoFb_Ic}_2^a_i + \beta_{\text{costo_Non-Rimb}} * \text{costoFb_Ic}_2^a_i + \beta_{\text{AccEgr}} * \text{tempoAccEgrFb_Ic}_i + \beta_{\text{rit}} * \text{ritFb_Ic}_i + \beta_{\text{ant}} * \text{antFb_Ic}_i;$
- $V_{(i=1,...,n5)}(AV_TI \ 1^a \ cl): \text{ASCAV_TI1}^a_{<400km} * (\text{sekm}_{<400}) + \text{ASCAV_TI1}^a_{>400km} * (\text{sekm}_{>400km}) + \beta_{\text{tempo}} * \text{tempoAV_TI}_i + \beta_{\text{costo_Rimb}} * \text{costoAV_TI}_1^a_i + \beta_{\text{costo_Non-Rimb}} * \text{costoAV_TI}_1^a_i + \beta_{\text{AccEgr}} * \text{tempoAccEgrAV_TI}_i + \beta_{\text{rit}} * \text{ritAV_TI}_i + \beta_{\text{ant}} * \text{antAV_TI}_i;$
- $V_{(i=1,...,n3)}(AV_TI \ 2^a \ cl): \text{ASCAV_TI2}^a_{<400km} * (\text{sekm}_{<400}) + \text{ASCAV_TI2}^a_{>400km} * (\text{sekm}_{>400km}) + \beta_{\text{tempo}} * \text{tempoAV_TI}_i + \beta_{\text{costo_Rimb}} * \text{costoAV_TI}_2^a_i + \beta_{\text{costo_Non-Rimb}} * \text{costoAV_TI}_2^a_i + \beta_{\text{AccEgr}} * \text{tempoAccEgrAV_TI}_i + \beta_{\text{rit}} * \text{ritAV_TI}_i + \beta_{\text{ant}} * \text{antAV_TI}_i;$
- $V_{(i=1,...,n4)}(NTV \ 1^a \ cl): \text{ASCNTV1}^a_{<400km} * (\text{sekm}_{<400}) + \text{ASCNTV1}^a_{>400km} * (\text{sekm}_{>400km}) + \beta_{\text{tempo}} * \text{tempoNTV}_i + \beta_{\text{costo_Rimb}} * \text{costoNTV}_1^a_i + \beta_{\text{costo_Non-Rimb}} * \text{costoNTV}_1^a_i + \beta_{\text{AccEgr}} * \text{tempoAccEgrNTV}_i + \beta_{\text{rit}} * \text{ritNTV}_i + \beta_{\text{ant}} * \text{antNTV}_i;$
- $V_{(i=1,...,n4)}(NTV \ 2^a \ cl): \text{ASCNTV2}^a_{<400km} * (\text{sekm}_{<400}) + \text{ASCNTV2}^a_{>400km} * (\text{sekm}_{>400km}) + \beta_{\text{tempo}} * \text{tempoNTV}_i + \beta_{\text{costo_Rimb}} * \text{costoNTV}_2^a_i + \beta_{\text{costo_Non-Rimb}} * \text{costoNTV}_2^a_i + \beta_{\text{AccEgr}} * \text{tempoAccEgrNTV}_i + \beta_{\text{rit}} * \text{ritNTV}_i + \beta_{\text{ant}} * \text{antNTV}_i;$

dove:

- $\text{ASC}^m_{<400km}$ è la costante specifica dell'alternativa modo-servizio "m" se la distanza chilometrica dello spostamento è \leq di 400 km;
- $\text{ASC}^m_{>400km}$ è la costante specifica dell'alternativa modo-servizio "m" se la distanza chilometrica dello spostamento è $>$ ai 400 km;
- β_{tempo} è il coefficiente generico del tempo di viaggio (espresso in ore);
- $\beta_{\text{costo_auto_solo}}$ è il coefficiente specifico del costo di viaggio in auto se l'utente viaggia da solo;
- $\beta_{\text{costo_auto_acc}}$ è il coefficiente specifico del costo di viaggio in auto se l'utente viaggia accompagnato;
- $\beta_{\text{costo_Rimb}}$ è il coefficiente generico per i servizi di trasporto collettivo (aerei e ferroviari) del costo di viaggio se le spese di viaggio sono rimborsate;
- $\beta_{\text{costo_Non-Rimb}}$ è il coefficiente generico per i servizi di trasporto collettivo (aerei e ferroviari) del costo di viaggio se le spese di viaggio non sono rimborsate;
- β_{AccEgr} è il coefficiente generico del tempo di accesso/egresso alle modalità treno ed aereo;

$\beta_{\text{time}} * \text{timeAV_TI}_i + \beta_{\text{cost_Reimb}} * \text{costAV_TI}_2^a_i + \beta_{\text{cost_Non-Reimb}} * \text{costAV_TI}_2^a_i + \beta_{\text{AccEgr}} * \text{timeAccEgrAV_TI}_i + \beta_{\text{del}} * \text{delAV_TI}_i + \beta_{\text{lead}} * \text{leadAV_TI}_i;$

- $V_{(i=1,...,n4)}(NTV \ 1^a \ cl): \text{ASCNTV1}^a_{<400km} * (\text{sekm}_{<400}) + \text{ASCNTV1}^a_{>400km} * (\text{sekm}_{>400km}) + \beta_{\text{time}} * \text{timeNTV}_i + \beta_{\text{cost_Reimb}} * \text{costNTV}_1^a_i + \beta_{\text{cost_Non-Reimb}} * \text{costNTV}_1^a_i + \beta_{\text{AccEgr}} * \text{timeAccEgrNTV}_i + \beta_{\text{del}} * \text{delNTV}_i + \beta_{\text{lead}} * \text{leadNTV}_i;$
- $V_{(i=1,...,n4)}(NTV \ 2^a \ cl): \text{ASCNTV2}^a_{<400km} * (\text{sekm}_{<400}) + \text{ASCNTV2}^a_{>400km} * (\text{sekm}_{>400km}) + \beta_{\text{time}} * \text{timeNTV}_i + \beta_{\text{cost_Reimb}} * \text{costNTV}_2^a_i + \beta_{\text{cost_Non-Reimb}} * \text{costNTV}_2^a_i + \beta_{\text{AccEgr}} * \text{timeAccEgrNTV}_i + \beta_{\text{del}} * \text{delNTV}_i + \beta_{\text{lead}} * \text{leadNTV}_i;$

where:

- $\text{ASC}^m_{<400km}$ is the specific constant of the mode - service alternative "m" if the distance in kilometres of the trip is \leq 400 km;
- $\text{ASC}^m_{>400km}$ is the specific constant of the mode - service alternative "m" if the distance in kilometres of the trip is $>$ 400 km;
- β_{time} is the generic coefficient of the travel time (in hours);
- $\beta_{\text{cost_car_alone}}$ is the specific coefficient of the travel cost by car if the user travels alone;
- $\beta_{\text{cost_car_acc}}$ is the specific coefficient of the travel cost by car if the user travels accompanied;
- $\beta_{\text{cost_Reimb}}$ is the generic coefficient for collective transport services (air and rail) of travel cost if travel expenses are reimbursed;
- $\beta_{\text{cost_Not Reimb}}$ is the generic coefficient for collective transport services (air and rail) of travel cost if travel expenses are not reimbursed;
- β_{AccEgr} is the generic coefficient of access / egress time to train and air modes;
- β_{del} is the generic coefficient of delay penalties on the individual airline and rail runs;
- β_{lead} is the generic coefficient of advance penalties on the individual airline and rail runs;
- β_{condprof} is the coefficient of the dummy specific of the utility function of the plane that is 1 if the user is of high professional status, that is an entrepreneur, Freelancer or Manager.

Note that in order to take account of the different willingness of different types of users to pay, specific cost coefficients for different types of users were introduced: reimbursed and not reimbursed for those travelling by train or air; traveller alone or accompanied for those choosing the car. Specific constants of the alternative have also been considered (ASC) different depending on the total transfer distance (less than or greater than 400 km) in all alternatives except one (Car) consistent with the known identifiability problems of the ASC in additional models (like the

SCIENZA E TECNICA

- β_{rit} è il coefficiente generico della penalità di ritardo relativa alle singole corse aeree e ferroviarie;
- β_{ant} è il coefficiente generico della penalità di anticipo relativa alle singole corse aeree e ferroviarie;
- $\beta_{condprof}$ è coefficiente della dummy specifica della funzione di utilità dell'aereo che vale 1 se l'utente è di condizione professionale alta, ovvero è un imprenditore, libero professionista o dirigente.

Si noti che per tener conto della diversa disponibilità a pagare di tipologie differenti di utenti, si sono introdotti coefficienti di costo specifici per tipologie di utenti: rimborsati e non rimborsati per chi viaggia in treno o aereo; viaggiatore solo o in compagnia per chi sceglie l'automobile. Sono inoltre state considerate costanti specifiche dell'alternativa (ASC) differenti in funzione della distanza totale dello spostamento (inferiore o superiore ai 400 km) in tutte le alternative meno una (Auto) coerentemente con i noti problemi di identificabilità delle ASC nei modelli additivi (come il modello Logit Multinomiale - MNL). La funzione di utilità dell'aereo presenta un'unica ASC in quanto tale alternativa è stata assunta disponibile solo sopra i 400 km.

Come forma funzionale sono state considerate specificazioni di tipo *Multinomial Logit (MNL)* e *Nested Logit (NL)* [12]; l'incremento di significatività introdotto dalle specificazioni Nested è risultato poco significativo, pertanto nel seguito si riportano i risultati delle specificazioni MNL.

I coefficienti introdotti nelle funzioni che riproducono i valori medi delle utilità delle alternative sono stati calibrati sulla base delle scelte effettuate dal campione di individui intervistati nell'indagine SP ed in funzione del valore che gli attributi introdotti nelle funzioni di utilità assumono per ciascun intervistato.

Il metodo di stima dei coefficienti β utilizzato è quello della *Massima Verosimiglianza (Maximum Likelihood)* in cui le stime dei coefficienti sono quelle che massimizzano la probabilità di osservare le scelte effettuate dagli utenti del campione (verosimiglianza del campione). Per l'applicazione del metodo è stato utilizzato il software "BIOGEME" (*Bierlaire Optimization GEv Model Estimation Biogeme*).

I segni dei coefficienti sono corretti; forniscono, infatti, una funzione di utilità decrescente al crescere del costo, del tempo di viaggio, del tempo di accesso/ egresso in stazione o in aeroporto e della penalità di anticipo e ritardo. La correttezza delle stime è confortata anche dai coefficienti di reciproca sostituzione tra i coefficienti (tabella 11). Tali rapporti infatti mostra-

multinomial Logit model - MNL). The utility function of the airplane has a single ASC since such alternative was assumed available only over 400 km.

As functional form Multinomial Logit type specifications (MNL) and Nested Logit (NL) [12] were considered; significance increase introduced by Nested specifications resulted insignificant, therefore the results of MNL specifications are reported below.

The coefficients introduced in functions that reproduce the mean values of the usefulness of the alternatives were calibrated on the basis of the choices made by the sample individuals interviewed in the SP survey and depending on the value that the attributes introduced in utility functions assume for each interviewee.

The estimation method of β coefficients used is that of the Maximum Likelihood in which estimates of the coefficients are those that maximise the probability of observing the choices made by sample users (sample likelihood). For the application of the method the "BIOGEME" software was used (Bierlaire Optimization GEv Model Estimation Biogeme).

The signs of the coefficients are correct; they provide a utility function that decreases as the cost, of travel time, access /egress time at the train station or at the airport and advance and delay increase. The accuracy of estimates is also supported by mutual replacement coefficients between the coefficients (table 11). These ratios in fact show that the access-egress time has a relatively greater weight compared to the travel time, as well as the advance and delay penalties, particularly for "other purposes".

The coefficients of the travel cost if compared to the time factor also provide an estimate of the value of time (VOT) expressing the monetary value attributed by users for an hour of time in different travel modes and conditions.

TABELLA 11 – TABLE 11

Coefficienti di reciproca sostituzione rispetto al tempo di viaggio
Mutual replacement coefficients in respect of the travel time

	Attributi <i>Attributes</i>		Business	Altro <i>Other</i>
	tempo accesso egresso <i>access egress time</i>	$\beta_{AccEgr} / \beta_{tempo}$ $\beta_{AccEgr} / \beta_{time}$	1,2	2,7
	penalità di anticipo <i>advance time penalty</i>	$\beta_{ant} / \beta_{tempo}$ $\beta_{lead} / \beta_{time}$	1,5	2,9
	penalità di ritardo <i>delay penalty</i>	$\beta_{rit} / \beta_{tempo}$ $\beta_{delay} / \beta_{time}$	0,8	0,9
VOT (€/h)	costo auto (da solo) <i>car cost (alone)</i>	$\beta_{costo_auto_solo} / \beta_{tempo}$ $\beta_{cost_car_alone} / \beta_{time}$	34,7	23,2
	costo auto (in compagnia) <i>car cost (accompanied)</i>	$\beta_{costo_auto_acc} / \beta_{tempo}$ $\beta_{cost_car_acc} / \beta_{time}$	21,3	10,7
	costo treno/aereo (rimborsato) <i>train/air cost (reimbursed)</i>	$\beta_{costo_Rimb} / \beta_{tempo}$ $\beta_{cost_Reimb} / \beta_{time}$	53,8	-
	costo treno/aereo (non rimborsato) <i>train/air cost (not reimbursed)</i>	$\beta_{costo_Non_Rimb} / \beta_{tempo}$ $\beta_{cost_Not_Reimb} / \beta_{time}$	28,2	18,0

SCIENZA E TECNICA

no che il tempo di accesso-egresso ha un peso relativamente maggiore rispetto al tempo di viaggio, così come le penalità di anticipo e ritardo, in particolare per “altri motivi”.

I coefficienti del costo di viaggio se rapportati al coefficiente del tempo forniscono, inoltre, una stima del *valore del tempo* (VOT) che esprime il valore monetario attribuito dagli utenti ad un’ora di tempo in diverse modalità e condizioni di viaggio.

Si nota che le stime ottenute sono coerenti con quelle della letteratura di settore [13], [14], [15]. Risulta, infatti, un VOT di circa 50-55 Euro/ora per gli utenti rimborsati che si spostano per motivo Business su treno o aereo, e pari a circa 30-35 Euro/ora per gli utenti che si spostano in auto. Tali valori sono maggiori (com’è da attendersi) dei VOT degli utenti non rimborsati e di quelli che viaggiano in compagnia in auto.

La capacità del modello di riprodurre le scelte effettuate dagli utenti è stata misurata utilizzando le statistiche “rho-quadro” e “rho-quadro corretta” che forniscono la probabilità di osservare le scelte effettivamente compiute dagli utenti del campione[10].

Queste statistiche sulla bontà dell’accostamento (goodness of fit) dimostrano che il modello proposto riproduce con un buon livello di approssimazione le scelte effettuate dagli utenti del campione, in particolare per altri motivi (tabella 12).

Pur avendo specificato dei modelli di tipo MNL (multinomial Logit), per questioni di maggiore generalità applicativa, il modello implementato è di tipo nested logit con una struttura a cinque livelli descritta nella fig. 17⁽¹³⁾.

Nel primo livello compaiono le tre modalità di trasporto (auto, treno, aereo), nel secondo la tipologia di servizio ferroviario (categoria superiore -AV- e categoria intermedia -FB_IC- così come definiti nel modello di offerta), nel terzo l’operatore ferroviario (Trenitalia, NTV) che si applica solo per i servizi ferroviari AV, nel quarto la classe (1^a e 2^a) e nell’ultimo le corse in anticipo e in ritardo rispetto all’orario desiderato di partenza per i servizi treno ed aereo.

I parametri Θ_n sono i parametri che caratterizzano la scelta tra le differenti alternative che si presentano ai diversi livelli dell’albero di scelta (modo, servizio, etc).

Una volta implementato il modello di scelta del modo-servizio-classe-corsa si è proceduto con la calibrazione aggregata dello stesso, in modo tale che applicato all’universo - cioè alla domanda complessiva di tutti i modi - il modello fosse in grado di riprodurre le matrici

We can observe that the estimates obtained are consistent with those of the literature [13], [14], [15]. In fact, we have a VOT of about 50-55 Euros/hour for reimbursed users that move by train or plane for Business reasons and approximately 30-35 €/hour for users travelling by car. These values are greater than (as is to be expected) the VOT of users not reimbursed and of those travelling by car accompanied.

The model’s ability to reproduce the choices made by users was measured using “rho2” and “correct rho2” statistics that provide the probability of observing the choices actually made by users of the sample [10].

These statistics on the goodness of fit show that the proposed model reproduces the choices made by users of the sample with a good degree of approximation, particularly for other purposes (table 12).

Despite having specified MNL type models (multinomial Logit), for more general application information, the model implemented is nested logit type with a five-level structure described in fig. 17⁽¹³⁾.

The three transport modes (car, train, airplane) are in the first level, the type of rail service in the second (higher category - HS - and intermediate-FB_IC category - as defined in the supply model), the rail operator in the third (Trenitalia, NTV) which applies only for HS rail services, the class in the fourth (1st and 2nd) and the advance and delayed run compared to the desired departure time for train and plane services in the last.

Θ_n parameters are the parameters that characterise the choice between different alternatives that occur at different levels of the choice tree (mode, service, etc.).

TABELLA 12 – TABLE 12

Statistiche sulla bontà di accostamento (goodness of fit) del campione. Implementazione e correzione aggregata del modello di scelta modale

Statistics on the goodness of fit of the sample. Aggregate implementation and correction of the modal choice model

Parametro Parameter	Business	Altro (other)
Rho-quadro: <i>Rho</i> ² :	0,161	0,218
Rho-quadro corretta: <i>Correct Rho</i> ² :	0,153	0,209
Final log-likelihood <i>Final log-likelihood</i>	-3006,0	-2137,5
Init log-likelihood <i>Init log-likelihood</i>	-3583,5	-2733,6
Numero di osservazioni <i>Number of observations</i>	1.067	817

⁽¹³⁾ Il modello Nested Logit (NL) decade in MNL ponendo pari ad 1 tutti i valori dei parametri Θ_n , cioè il parametro della variabile aleatoria di Gumbel a media nulla che caratterizza i modelli Logit Multinomiali.

⁽¹³⁾ The Nested Logit model (NL) falls into MNL placing equal to 1 all Θ_n parameter values, i.e. the Gumbel random variable parameter with zero average that characterises Multinomial Logit models.

SCIENZA E TECNICA

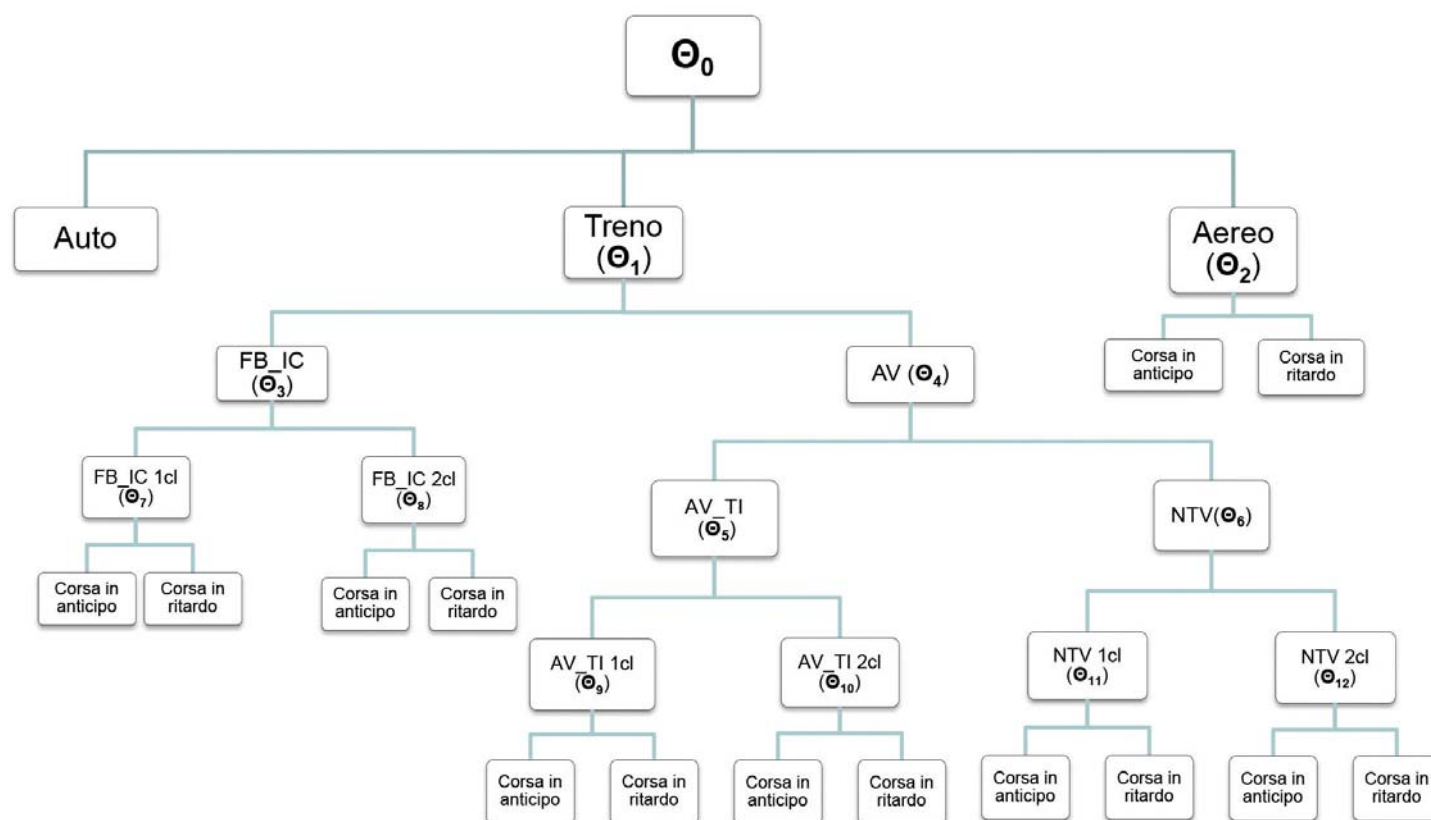


Fig. 17 - Schematizzazione della struttura Nested Logit del modello di scelta modale implementato.

Fig. 17 - Nested Logit structure of the implemented modal choice model.

origine destinazione di ciascun modo/servizio ricostruite da fonte.

A tale scopo è stata introdotta nella funzione di utilità di ciascun modo servizio relativamente a ciascuna coppia origine destinazione ($V_{ms/od}$) una costante correttiva ($CS_{ms/od}$) tale da rendere il modello in grado di riprodurre le percentuali di uso note da fonte di quel modo servizio per quella coppia origine destinazione:

$$\begin{aligned} p^{modcorr}(ms/od) &= \frac{\exp(V_{ms/od} + CS_{ms/od})}{\sum_{ms/od} \exp(V_{ms/od})} = \\ &= \frac{\exp(V_{ms/od})}{\sum_{ms/od} \exp(V_{ms/od})} \cdot \exp(CS_{ms/od}) = \\ &= p^{mod}(ms/od) \cdot \exp(CS_{ms/od}) = p^{fon}(ms/od) \end{aligned}$$

dove $p^{mod}(ms/od)$, $p^{modcorr}(ms/od)$ e $p^{fon}(ms/od)$ sono rispettivamente la probabilità fornita dal modello a monte della correzione, la probabilità fornita dal modello corretto e la percentuale nota da fonte relativamente al modo/servizio "ms" e alla coppia O/D.

Dalla relazione precedente si ottiene facilmente il valore della costante correttiva:

$$C_{ms/od} = \ln\left(\frac{p^{fon}(ms/od)}{p^{mod}(ms/od)}\right) \quad (1)$$

La procedura richiede di essere applicata ricorsivamente nel senso che una volta calcolate le costanti correttive di ciascun modo/servizio per una data coppia origine destinazione con la (1), si devono ricalcolare le probabi-

Once the choice model for mode - service - class - run is implemented we proceeded with the aggregate calibration of the same, so that applied to the universe - that is the overall demand of all modes - the model is able to reproduce the origin destination matrices for each mode/service according the source.

For this purpose, a corrective constant ($CS_{ms/od}$) was introduced in the utility function of each service mode for each origin destination pair ($V_{ms/od}$) so as to make the model capable of reproducing the percentages of use known from the source of that service mode for that origin destination pair:

$$\begin{aligned} p^{modcorr}(ms/od) &= \frac{\exp(V_{ms/od} + CS_{ms/od})}{\sum_{ms/od} \exp(V_{ms/od})} = \\ &= \frac{\exp(V_{ms/od})}{\sum_{ms/od} \exp(V_{ms/od})} \cdot \exp(CS_{ms/od}) = \\ &= p^{mod}(ms/od) \cdot \exp(CS_{ms/od}) = p^{fon}(ms/od) \end{aligned}$$

where $p^{mod}(ms/od)$, $p^{modcorr}(ms/od)$ e $p^{fon}(ms/od)$ are respectively the probability provided by the model upstream of correction, the probability provided by the correct model and the known percentage from the source relating to the "ms" mode/ service and to the O/D pair.

The previous report easily provides the corrective constant value:

$$C_{ms/od} = \ln\left(\frac{p^{fon}(ms/od)}{p^{mod}(ms/od)}\right) \quad (1)$$

The procedure needs to be applied recursively in the

TABELLA 13 – TABLE 13

Quote modali stimate da modello nella situazione attuale
Modal shares estimated from the model in the current situation

	Auto Car	Aereo Airplane	AV HS				FB_IC	
Modello calibrato Calibrated model	45.20%	7.30%	44.30%				3.20%	
			NTV		Trenitalia			
			20.10%		79.90%			
			NTV 1 ^a cl	NTV 2 ^a cl	AV_TI 1 ^a cl	AV_TI 2 ^a cl	FB_IC 1 ^a cl	FB_IC 2 ^a cl
			22.80%	77.2%	23.40%	76.60%	14.50%	85.50%

lità da modello corretto applicando simultaneamente tutte le costanti correttive:

$$p^{modcorr}(ms/od) = \frac{\exp(V_{ms/od} + CS_{ms/od})}{\sum_{ms'/od} \exp(V_{ms'/od} + CS_{ms'/od})} \quad (2)$$

e nel caso esse non siano sufficientemente vicine alle percentuali da fonte si deve riapplicare iterativamente la (1) utilizzando il modello corretto (2) al posto del modello originale:

$$C_{ms/od} = \ln\left(\frac{p^{fon}(ms/od)}{p^{modcorr}(ms/od)}\right) \quad (3)$$

Di norma, sono sufficienti poche iterazioni per ottenere una buona calibrazione.

10. I risultati del modello calibrato

Per verificare se tutto il sistema di modelli implementato è in grado di fornire corrette indicazioni sul comportamento degli utenti è necessario, in primo luogo, che esso riproduca con un buon livello di precisione la domanda stimata.

Per comodità di esposizione i risultati forniti dal modello sono presentati con riferimento ad una sub-matrice aggregata su base provinciale in relazione alle tratte sulle quali NTV ha attivato i propri servizi ferroviari⁽¹⁴⁾.

In tabella 13 si riportano i risultati ottenuti in termini di quote modali. Tali quote sono sempre relative alla porzione di territorio nazionale che rientra nella sub-matrice presa a riferimento dell'analisi.

Nella fig. 18 si riporta una rappresentazione dei flussi annui di passeggeri stimati tra le differenti relazioni relativamente ad i servizi AV, Trenitalia ed NTV, (per facilitare la lettura sono rappresentate solo le relazioni che con un flusso annuo bidirezionale > di 200.000 passeggeri). In termini complessivi i passeggeri/anno stimati ammontano

sense that once the corrective constants are calculated for each mode/service for a given origin destination pair with (1), the probabilities must again be calculated from the correct model simultaneously applying all corrective constants:

$$p^{modcorr}(ms/od) = \frac{\exp(V_{ms/od} + CS_{ms/od})}{\sum_{ms'/od} \exp(V_{ms'/od} + CS_{ms'/od})} \quad (2)$$

and if they are not sufficiently close to the percentages from source the (1) must be iteratively applied again using the proper model (2) instead of the original model:

$$C_{ms/od} = \ln\left(\frac{p^{fon}(ms/od)}{p^{modcorr}(ms/od)}\right) \quad (3)$$

Normally, a few iterations are sufficient to obtain a good calibration.

10. Results of the calibrated model

To check if the whole system of implemented models is able to provide correct indications on the behaviour of users it is first necessary that it reproduces the estimated demand with a good level of accuracy.

For ease of presentation the results provided by the model are presented with reference to an aggregated sub-matrix on a provincial basis in relation to the routes on which NTV has activated its rail services⁽¹⁴⁾.

Table 13 shows the results obtained in terms of modal shares. These shares are always relative to the portion of the country that is part of the sub-matrix taken as reference of the analysis.

Fig. 18 shows a representation of the annual passenger flows estimated between different connections relative to the HS, Trenitalia and NTV services, (for ease of reading only connections with an annual two-way flow > 200.000 passengers are represented). In comprehensive terms passengers / year estimated amount to about 31 million, which

⁽¹⁴⁾ Le provincie costituenti la sub-matrice sono: Torino, Milano; Padova; Venezia; Reggio Emilia; Bologna; Firenze; Roma, Napoli e Salerno.

⁽¹⁴⁾ The provinces that compose the sub-matrix are: Turin, Milan; Padua; Venice; Reggio Emilia; Bologna; Florence; Rome, Naples and Salerno.

SCIENZA E TECNICA

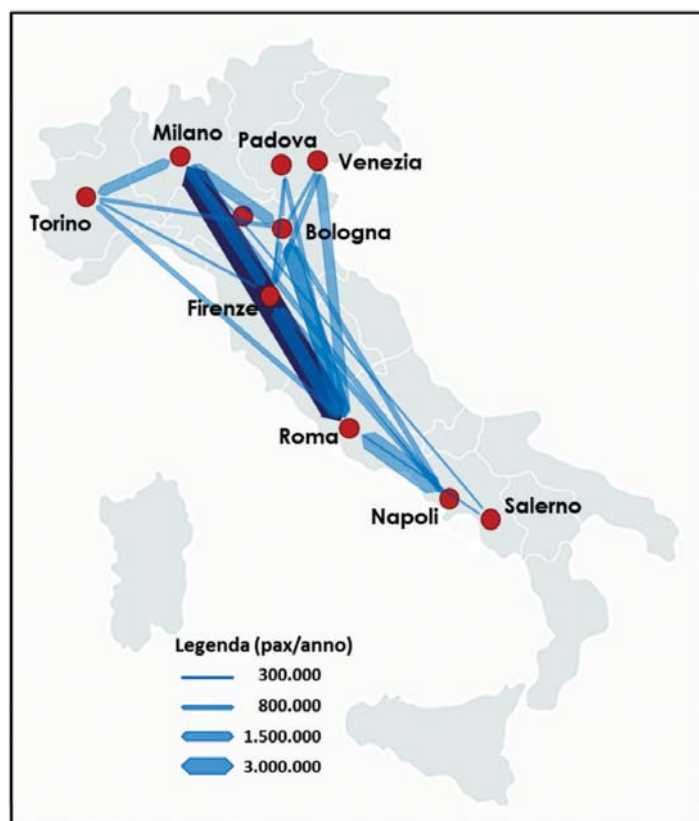


Fig. 18 - Rappresentazione dei passeggeri/anno AV stimati nella situazione attuale (>200.000 pax/anno).

Fig. 18 - Representation of HS passengers / year estimated in the current situation (> 200.000 pax / year).

tano a circa 31 milioni, che sviluppano poco più di 12 miliardi di passeggeri-km/anno. Come si può osservare, la relazione Roma-Milano risulta nettamente predominante e per questo motivo è rappresentata con una tonalità di colore differente.

Si precisa che per calcolare i passeggeri-km sono state utilizzate le distanze ferroviarie di produzione e non quelle commerciali, questo al fine di rendere omogeneo il dato di domanda (passeggeri-km) con quello di offerta (treni-km).

Per quanto riguarda i coefficienti di riporto giorno → anno per i servizi ferroviari, sono stati stimati in funzione della distanza della relazione O/D ferroviaria. Nello specifico per distanze fino a 70 km (dove sono più rilevanti gli spostamenti nei giorni feriali) il coefficiente è risultato pari a 300; per le distanze superiori (dove assumono maggior peso anche gli spostamenti del fine settimana) la stima è 340⁽¹⁵⁾.

La procedura di calibrazione del modello ha riguarda-

⁽¹⁵⁾ Stima elaborata dall'ATI sulla base di una distribuzione degli spostamenti su ferrovia per i differenti giorni della settimana e per i diversi mesi dell'anno.

develop a little over 12 billion passengers-km / year. As can be seen, the Milan-Rome connection is clearly predominant and for this reason it is represented with a different shade of colour.

It should be noted that in order to calculate the passengers-km, production railway distances were used and not commercial ones, this so as to homogenise the demand data (passengers-km) with the supply one (trains-km).

As regards the day → year reporting coefficients for rail services, these were estimated according to the distance of the rail O/D connection. In particular for distances up to 70 km (where transfers in weekdays are most relevant) the coefficient is equal to 300; for longer distances (where weekend transfers assume greater weight) the estimate is 340⁽¹⁵⁾.

The calibration procedure of the model also covered the verification of the results of the allocation of the estimated demand on individual trains.

Fig. 19 shows the comparison of assigned flow and flow measured per single railway route considering all trains present in the supply. Where:

- Pax measured: the sum of flows counted per route in the survey campaigns appropriately reported to the universe and averaged;
- Pax assigned: sum per route of passengers assigned to all High Speed trains through the application of the model.

Let us specify that such verification was conducted by examining a set of different data collected, both by time period and by supply structure, from those used for the calibration of the model. As we can see the correlation between the two values is very high and this is confirmed by the value assumed by the RMSE% statistical indicator⁽¹⁶⁾, which is equal to 2.9%, that is a very low value.

If the comparison is made taking into consideration only the train-section for which attendance counts were made in the course of the survey campaigns, we obtain a clearly less efficient result⁽¹⁷⁾ but still very much in line with the standards for this category of models. In particular the value of the RMSE% indication amounted to 42.2% considering all train section surveyed.

⁽¹⁵⁾ Estimate prepared by ATI on the basis of a distribution of transfers on rail for different days of the week and for different months of the year.

⁽¹⁶⁾ Root Mean Square Error %; indicator measuring the mean square value discrepancy between the observed data and the values of the estimated data.

⁽¹⁷⁾ By virtue of the fact that errors, which are normally both overestimates and underestimates, present a level of compensation which is less than what is obtained by considering the universe of trains for the route.

SCIENZA E TECNICA

to anche la verifica dei risultati dell'assegnazione della domanda stimata sui singoli treni.

Nella fig. 19 si riporta il confronto tra flusso assegnato e flusso misurato per singola tratta ferroviaria considerando tutti i treni presenti nell'offerta. Dove:

- *Pax misurati*: somma dei flussi conteggiati per tratta nelle campagne di rilevazione opportunamente riportati all'universo e mediati;
- *Pax assegnati*: somma per tratta dei passeggeri assegnati a tutti i treni AV attraverso l'applicazione del modello.

Si specifica che tale verifica è stata effettuata prendendo in esame un set di dati rilevati differenti, sia per periodo temporale sia per struttura dell'offerta, da quelli utilizzati per la calibrazione del modello. Come si può osservare la correlazione tra i due valori è molto elevata e ciò è confermato dal valore assunto dall'indicatore statistico RMSE%⁽¹⁶⁾, che risulta pari al 2,9%, cioè un valore estremamente basso.

Se la comparazione è effettuata prendendo in considerazione solamente le tratte-treno per le quali sono state effettuate, nel corso delle campagne di indagine, i conteggi di frequentazione, si ottiene chiaramente un risultato meno performante⁽¹⁷⁾, ma comunque assolutamente in linea con gli standard per questa categoria di modelli. In particolare il valore dell'indicatore RMSE% risulta pari al 42,2% considerando tutte le tratte treno rilevate.

Il valore è comunque del tutto convincente considerando l'elevata dispersione del dato osservato che supporta la calibrazione del modello. Infatti in fig. 20 si riporta il confronto del numero di passeggeri conteggiati in due rilevazioni successive (maggio ed ottobre) sulla stessa coppia di treno/tratta. Si può quindi affermare che la variabilità dei dati previsti dal modello rispetto a quelli misurati è in linea con la variabilità del dato misurato in giornate differenti anche se di caratteristiche simili (giorno feriale infrasettimanale in periodo lavorativo standard).

⁽¹⁶⁾ Root Mean Square Error %; indicatore che misura la discrepanza quadratica media fra i valori dei dati osservati ed i valori dei dati stimati.

⁽¹⁷⁾ In virtù del fatto che gli errori, che normalmente sono sia sovrastime sia sottostime, presentano un livello di compensazione inferiore rispetto a quello che si ottiene considerando l'universo dei treni per tratta.

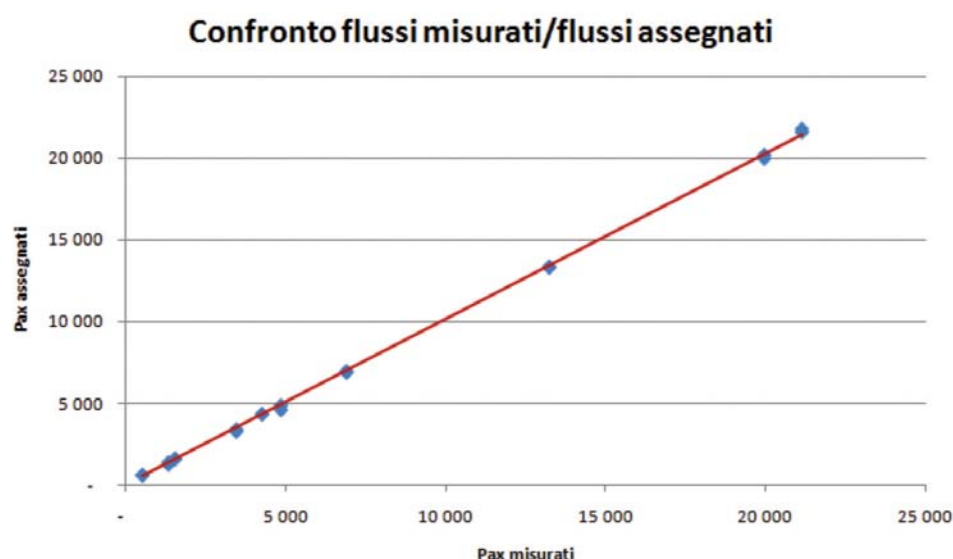


Fig. 19 - Confronto pax misurati-pax assegnati. Tutti i servizi AV.
Fig. 19 - Comparison between measured pax - assigned pax. All HS services.

The value is still quite convincing considering the high dispersion of the observed data that supports the model calibration. Indeed fig. 20 shows the comparison of the number of passengers counted in two subsequent surveys (May and October) on the same train/section pair. We can therefore conclude that the variability of the data provided by the model compared to those measured is in line with the variability of the data measured on different days although of similar characteristics (midweek weekday in a standard working period).

11. The estimation model of induced demand

The induced demand is constituted by the flow of users that due to the effect of an intervention on a transport system, both regarding infrastructure (for example the construction of a new road or railway) and managerial-operational (for example the increase of the frequency of services or the reduction of tariffs), make a new transfer on a given O/D connection and from those that increase the frequency of transfers already made previously [15].

For the estimation of such induced demand a discrete choice model of the transfer frequency was used. This model allows estimating the probability of making one or more ("x") trips in a certain reference period "h" (for example in a week), for a given purpose "s", on an O/D connection, $p(x | OD, s, h)$ (also including the probability of not moving), depending on the socio-economic characteristics of users and of available transport services.

These models define the possible choice alternatives and, for each of them, estimate the systematic utility function; i.e. linear combinations of attributes and of related parameters relevant to the choice. In this case, the reference period is assumed to be equal to one week, and the choice alternatives are the following:

SCIENZA E TECNICA

11. Il modello di stima della domanda indotta

La domanda indotta è costituita dal flusso di utenti che per effetto di un intervento su un sistema di trasporto, sia di carattere infrastrutturale (ad esempio la realizzazione di una nuova strada o ferrovia) sia di carattere gestionale-operativo (ad esempio l'incremento della frequenza dei servizi o la riduzione delle tariffe), compiono un nuovo spostamento su una determinata relazione O/D e da quelli che incrementano la frequenza di spostamenti già effettuati in precedenza [15].

Per la stima di tale domanda indotta è stato utilizzato un modello di scelta discreta (*discrete choice model*) della frequenza dello spostamento. Tale modello permette di stimare la probabilità di compiere uno o più ("x") spostamenti in un certo periodo di riferimento "h" (ad esempio in una settimana), per un determinato motivo "s", su una relazione O/D, $p(x|OD,s,h)$ (ivi compresa anche la probabilità di non spostarsi), in funzione delle caratteristiche socio-economiche degli utenti e dei servizi di trasporto disponibili.

Questi modelli definiscono le possibili alternative di scelta e, per ciascuna di esse, stimano la funzione di utilità sistematica; ovvero le combinazioni lineari degli attributi e dei relativi parametri rilevanti ai fini della scelta. Nel caso in esame, il periodo di riferimento è assunto pari ad una settimana, e le alternative di scelta sono le seguenti:

- *alternativa "0"* non effettuo alcuno spostamento extra-provinciale ($x=0$);
- *alternativa "1"* effettuo un solo spostamento extra-provinciale alla settimana sulla generica relazione O/D ($x=1$);
- *alternativa "2+"* effettuo due o più spostamenti extra-provinciali sulla generica relazione O/D ($x \geq 2$).

I motivi dello spostamento considerati sono:

- Business;
- Altri motivi.

I segmenti di mercato considerati sono dati dall'incrocio delle seguenti variabili socioeconomiche:

- genere:
 - maschio;
 - femmina;
- condizione professionale:
 - occupato alto;
 - occupato basso;

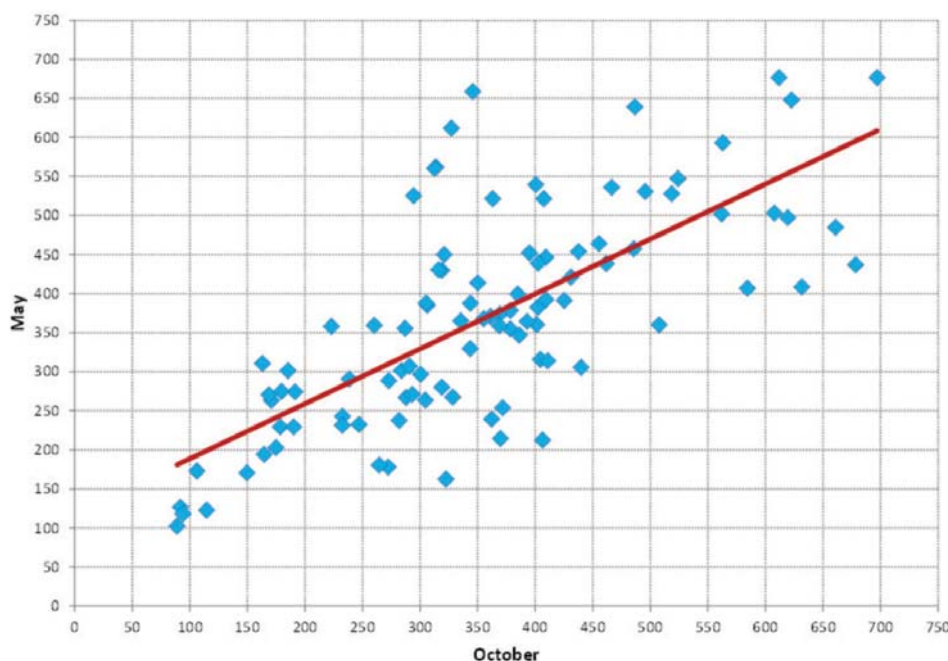


Fig. 20 - Confronto pax rilevati sulla stessa coppia treno-tratta ferroviaria in due rilevazioni successive.

Fig. 20 - Comparison of pax surveyed on the same train-railway section pair in two subsequent surveys.

- *alternative "0"* I make no extra-provincial transfer ($x = 0$);
- *alternative "1"* I make only one extra-provincial transfer a week on the generic O/D connection ($x = 1$);
- *alternative "2+"* I make two or more extra-provincial transfers on the generic O/D connection ($x \geq 2$).

The purposes considered for the transfer are:

- Business;
- Other purposes.

The market segments considered are given by the comparison of the following socio-economic variables:

a) gender:

- male;
- female;

b) employment status:

- high-level employment;
- low-level employment;
- other (retired, housewife, looking for first job, ...);

c) with university degree.

The systematic utilities of the three choice alternatives are the following:

- $V(x=0 | OD,s)$: ASC0;
- $V(x=1 | OD,s)$: $\beta_{Emplorig1} * emplorig + \beta_{male1} * male + \beta_{highprof1} * highprofcond + \beta_{degree1} * degree + \beta_{logsum} * logsum + ASC1$;
- $V(x \geq 2 | OD,s)$: $\beta_{Emplorig2} * emplorig + \beta_{male2} * male + \beta_{highprof2} * highprofcond + \beta_{degree2} * degree + \beta_{logsum} * logsum + ASC2$;

SCIENZA E TECNICA

- altro (pensionato, casalinga, in cerca di prima occupazione, ...);
 - c) possesso di laurea.
- Le utilità sistematiche delle tre alternative di scelta sono le seguenti:
- $V(x=0 \mid OD,s)$: $ASC0$;
 - $V(x=1 \mid OD,s)$: $\beta Emplorig1 * emplorig + \beta male1 * male + \beta highprof1 * highprofcond + \beta degree1 * degree + \beta logsum * logsum + ASC1$;
 - $V(x \geq 2 \mid OD,s)$: $\beta Emplorig2 * emplorig + \beta male2 * male + \beta highprof2 * highprofcond + \beta degree2 * degree + \beta logsum * logsum$.
- dove:
- $ASC0$ è la costante specifica dell'alternativa "non mi sposto";
 - $ASC1$ è la costante specifica dell'alternativa "mi sposto ed effettuo un solo spostamento nella settimana sulla relazione OD considerata";
 - $emplorig$ è il numero di addetti nella provincia di origine dello spostamento;
 - $highprofcond$ è un variabile dummy che vale 1 se l'utente è un occupato di condizione professionale alta (dirigente, quadro, ...), 0 altrimenti;
 - $degree$ è un variabile dummy che vale 1 se l'utente è in possesso della laurea, 0 altrimenti;
 - $logsum$ è la variabile inclusiva (variabile logsum) delle alternative di scelta modale disponibili sulla relazione O/D; tale variabile costituisce una misura aggregata del livello di servizio OD ed è calcolata come segue:

$$logsum = \log \sum_m \{ \exp[V_m(o,d)] \}$$

essendo le $V_m(o,d)$ le utilità sistematiche delle alternative modali disponibili sulla relazione O/D, calcolate mediante il modello di scelta modale.

I modelli calibrati sulla base dei dati disponibili sono modelli probabilistici di tipo *Logit Multi-Nomiale* (MNL); la stima dei parametri è avvenuta mediante il metodo della massima verosimiglianza. La capacità del modello di riprodurre le scelte effettuate dagli utenti è stata misurata utilizzando le statistiche "rho-quadro" e "rho-quadro corretta"

Queste statistiche sulla bontà dell'accostamento (*goodness of fit*) dimostrano che il modello proposto riproduce con un buon livello di approssimazione le scelte effettuate dagli utenti del campione, in particolare per altri motivi (tabella 14).

12. Il modello di evoluzione della domanda di mobilità

Il modello di crescita tendenziale consente di prevedere la variazione della domanda di mobilità totale (cioè su tutti i modi di trasporto: auto, ferrovia, aereo) a scala na-

male + $\beta highprof2 * highprofcond + \beta degree2 * degree + \beta logsum * logsum$.

where:

- $ASC0$ is the specific constant of the alternative "I do not move";
- $ASC1$ is the specific constant of the alternative "I move and make a single transfer in the week on the OD connection considered";
- $emplorig$ is the number of employees in the province of origin of the transfer;
- $highprofcond$ is a dummy variable with a value of 1 if the user has a high-level professional status (manager, executive, ...), 0 otherwise;
- $degree$ is a dummy variable with a value of 1 if the user has a university degree, 0 otherwise;
- $logsum$ is the inclusive variable (logsum variable) of modal choice alternatives available on the O/D connection; this variable is an aggregate measure of the level of OD service and is calculated as follows:

$$logsum = \log \sum_m \{ \exp[V_m(o,d)] \}$$

being the $V_m(o,d)$ the systematic utility of modal alternatives available on the O/D connection, calculated using the modal choice model.

The models calibrated on the basis of the available data are probabilistic models of Multi-Nomial Logit type (MNL); the estimate of parameters was made using the maximum likelihood method. The model's ability to reproduce the choices made by users was measured using "rho2" and "correct rho2" statistics.

These statistics on the goodness of fit show that the proposed model reproduces the choices made by users of the sample with a good degree of approximation, particularly for other purposes (table 14).

TABELLA 14 - TABLE 14
Statistiche sulla bontà di accostamento (goodness of fit) del campione
Statistics on the goodness of fit of the sample

Parametro Parameter	Business	Altri motivi Other purposes
Rho-quadro: Rho²:	0,529	0,365
Rho-quadro corretta: Correct Rho²:	0,529	0,365
Final log-likelihood Final log-likelihood	-251.447,5	-677.463,6
Init log-likelihood Init log-likelihood	-533.915,7	-430.199,9
Numero di osservazioni Number of observations	485.900	616.600

SCIENZA E TECNICA

zionale, in funzione delle variazioni del Prodotto Interno Lordo (PIL) ed di altri indicatori macroeconomici, quali ad esempio il prezzo del carburante delle autovetture.

Il modello fornisce la variazione percentuale di domanda all'anno t , dt , attraverso la seguente relazione funzionale:

$$\frac{\Delta[d_t]}{d_{t-1}} = \alpha + \beta^+ \cdot (1 - \delta_t) \cdot \frac{\Delta[PIL_t]}{PIL_{t-1}} + \beta^- \cdot \delta_t \cdot \frac{\Delta[PIL_t]}{PIL_{t-1}} + \gamma \cdot \frac{\Delta[Pr car_t]}{Pr car_{t-1}}$$
$$\delta_t = \begin{cases} 1 & \Delta[PIL_t] < 0 \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$$

dove:

- PIL_t è il Prodotto Interno Lordo all'anno t ;
- $Prcar_t$ è il prezzo corrente del carburante nell'anno t ;

I parametri del modello⁽¹⁸⁾, α , β^+ , β^- e γ , sono stati mutuati al caso in esame, sulla base di un precedente studio sviluppato dal gruppo di lavoro, basato sulle serie storiche dei traffici nazionali e dei prezzi correnti del carburante, dal 1969 al 2007. Si noti che tale modello presenta una diversa elasticità della domanda di mobilità al PIL nei periodi di crescita economica rispetto ai periodi di recessione ($\Delta PIL_t < 0$).

Sono state considerate differenti ipotesi di evoluzione del PIL. Tra queste, due sono state le stime più utilizzate nelle simulazioni degli scenari futuri.

Entrambe fanno riferimento a stime elaborate dall'International Monetary Fund, World Economic Outlook Database, la prima nel mese di Settembre 2011 e la seconda ad Aprile 2012.

Nelle tabelle 15 e 16, sono fornite, per le due ipotesi citate, sia le stime di crescita/decrecita del PIL, sia quelle di evoluzione della domanda di mobilità risultanti dall'applicazione del modello precedentemente descritto.

Si precisa che i valori dei numeri indici di crescita della domanda rappresentano valori cumulati rispetto al valore base (num. indice = 1.000).

TABELLA 15 – TABLE 15

Ipotesi di variazione del PIL Sett. 2011 e previsione di crescita della domanda
Hypothesis of change in GDP Sept. 2011 and demand growth forecast

Anno Year	Var. % PIL Var. % GDP	Numero indice della crescita di domanda Growth demand index number
2011	0.639%	1.0000
2012	0.323%	1.0025
2013	0.540%	1.0063
2014	0.800%	1.0117

⁽¹⁸⁾ Il simbolo Δ sta ad indicare la differenza assoluta all'anno t , della variabile presa in esame, rispetto all'anno precedente (ad es. $\Delta PIL_t = PIL_t - PIL_{t-1}$).

12. The mobility demand growth model

The growth trend model allows to envisage the change in demand for total mobility (i.e. on all transport modes: car, rail, air) on a national scale, depending on changes in the Gross Domestic Product (GDP) and on other macro-economic indicators such as the price of car fuel.

The model provides the demand percentage change in year t , dt , using the following functional relationship:

$$\frac{\Delta[d_t]}{d_{t-1}} = \alpha + \beta^+ \cdot (1 - \delta_t) \cdot \frac{\Delta[PIL_t]}{PIL_{t-1}} + \beta^- \cdot \delta_t \cdot \frac{\Delta[PIL_t]}{PIL_{t-1}} + \gamma \cdot \frac{\Delta[Pr car_t]}{Pr car_{t-1}}$$
$$\delta_t = \begin{cases} 1 & \Delta[PIL_t] < 0 \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$$

where:

- GDP_t is the Gross Domestic Product in year t ;
- $Prcar_t$ is the current fuel price in year t ;

The model parameters⁽¹⁸⁾, α , β^+ , β^- and γ , were borrowed in this case, based on a previous study developed by the ATI, based on the historical series of national traffic and the current prices of fuel, from 1969 to 2007. Note that this model has a different elasticity of demand for mobility to GDP in periods of economic growth compared to periods of recession ($\Delta PIL_t < 0$).

Different hypotheses of GDP evolution were considered. Among these, two were the estimates mostly used in simulations of future scenarios.

Both refer to estimates by the International Monetary Fund, World Economic Outlook Database, the first in September 2011 and the second in April 2012.

In tables 15 and 16, both the estimates of increase / decrease of GDP, and those for future demand for mobility, resulting from the application of the model described above, are provided for the two hypotheses mentioned.

TABELLA 16 – TABLE 16

Ipotesi di variazione del PIL Apr. 2012 e previsione di crescita della domanda
Hypothesis of change in GDP Apr. 2012 and demand growth forecast

Anno Year	Var. % PIL Var. % GDP	Numero indice della crescita di domanda Growth demand index number
2011	0.431%	1.0000
2012	-1.907%	0.989
2013	-0.289%	0.988
2014	0.501%	0.991

⁽¹⁸⁾ Δ symbol indicates the absolute difference in year t , of the variable examined, over the previous year (e.g. $\Delta PIL_t = PIL_t - PIL_{t-1}$).

SCIENZA E TECNICA

13. L'analisi del mercato

Quale è stato l'impatto dei servizi AV sul sistema di trasporto in particolare del corridoio Torino-Milano-Napoli-Salerno, come si è modificata l'offerta di servizi e quale è stato l'effetto sulle tariffe, sulla qualità e sui servizi accessori? Ancora, come si è modificata la distribuzione della domanda tra le diverse modalità di trasporto, quale è stato l'impatto dei nuovi servizi Italo sulla domanda AV e sulla distribuzione di tale domanda tra le due imprese concorrenti [16]?

Queste sono alcune delle domande alle quali si è voluto dare una risposta con l'implementazione del sistema di modelli descritto e con la raccolta, l'analisi e la messa a sistema dei dati relativi al sistema di trasporto in studio.

13.1. L'impatto sull'offerta di trasporto frequenza AV e tempi

Tra il 2009 e il 2013, l'offerta di servizi Alta Velocità in Italia ha registrato un forte incremento. Da una parte, grazie al completamento della nuova rete AV sono stati incrementati i collegamenti lungo la dorsale tra Napoli, Roma e Milano con estensioni del servizio da/verso Torino e Salerno. D'altra parte, l'entrata in esercizio del nuovo operatore NTV, ha portato ad un incremento dei servizi AV verso Venezia e Padova e anche in nuove stazioni, a Roma (Tiburtina e Ostiense) e a Milano (Rogoredo e Porta Garibaldi). Lungo la dorsale Napoli-Milano, l'offerta di servizi AV Trenitalia è passata da 71 corse giornaliere del 2009, a 98 corse/giorno nel 2013. In termini di treni-km, grazie alle estensioni del servizio a Salerno e a Torino, l'aumento è ancora più significativo: da 40.800 treni-km/giorno nel 2009 a 68.060 treni-km/giorno nel 2013; più del 40% di treni-km in più in quattro anni.

A questi vanno ad aggiungersi i servizi AV di Nuovo Trasporto Viaggiatori (NTV) pari nel 2013 a 50 corse giornaliere per 33.329 treni-km/giorno.

Nell'area core (ovvero nella *catchment area* delle direttrici Salerno-Napoli-Milano-Torino e Roma-Venezia, servite da entrambi gli operatori) (fig. 21), l'incremento complessivo di offerta di servizi AV tra il 2009 e il 2013, è pari a circa il 120% in termini di treni-km e supera il 93% in termini di corse al giorno (tabella 17).

NTV copre il 27,6% dell'offerta in termini di treni-km (tabella 18) e il 27,2% in termini di corse effettuate, a fronte rispettivamente del 72,4% e il 72,8% di Trenitalia. Tali percentuali si riducono sulla direttrice Roma-Venezia dove NTV offre il 22,4% dei treni-km e il 21,7% delle corse, mentre aumentano sulla direttrice Salerno-Napoli-Milano-Torino fino al 28,9% in termini di treni-km e al 29,0% in termini di corse.

Il completamento del network AV/AC, nel dicembre 2009 ha avvicinato le principali città italiane sia quelle direttamente interessate dai nuovi collegamenti sia quelle al di fuori del corridoio AV. Oggi, senza fermate intermedie, tra Milano Centrale e Roma Termini, il viaggio dura 2 ore e 55 minuti e tra Milano Rogoredo e Roma Tiburtina solo 2 ore e 40 minuti.

Nella fig. 22 sono riportati alcuni esempi abbastanza



Fig. 21 - Rappresentazione catchment area.
Fig. 21 - Representation of the catchment area.

	Prima dell'AV (Dicembre 2007)	Oggi
Napoli-Roma	1h45m	1h10m
Bologna-Firenze	1h10m	0h37m
Roma-Milano	4h30m	2h55m*
Napoli-Milano	6h00m	4h15m*

* treni no-stop

Fig. 22 - Variazione dei tempi di collegamento sulle principali relazioni AV.

Fig. 22 - Change in connection times on main HS connections.

It should be noted that the values of the indices of growth in demand represent cumulative values of the base value (index number = 1.000).

13. Market analysis

What was the impact of HS services on the transport system in particular the Turin-Milan-Naples-Salerno corridor, in what way has the offer of services changed and what was the effect on tariffs, quality and ancillary services? Again, in what way has the distribution of demand between different transport modes changed, what was the impact of the new Italo services on HS demand and on the distribu-

SCIENZA E TECNICA

TABELLA 17 – TABLE 17
Numero di corse e treni-km complessivi (Trenitalia + NTV) nel giorno medio
feriale dal 2009 al 2013 nell'area core
*Number of overall departures and trains-km (Trenitalia + NTV) in the average
weekday from 2009 to 2013 in the core area*

Area Core Core Area	2009	2010	2011	2012	2013
Treni-km Trains/km	54.883	70.802	76.195	110.138	120.897
Var. % (base 2009) Var. % (based on 2009)		29,0%	38,8%	100,7%	120,3%
Var. % (rispetto anno prec.) Var. % (compared to previous year)		29,0%	7,6%	44,5%	9,8%
Corse runs	95	112	120	170	184
Var. % (base 2009) Var. % (based on 2009)		17,9%	26,3%	78,9%	93,7%
Var. % (rispetto anno prec.) Var. % (compared to previous year)		17,9%	7,1%	41,7%	8,2%

(Fonte: elaborazione ATI su dati Trenitalia e NTV - Source: Based on ATI processing of Trenitalia and NTV data)

espliciti della riduzione dei tempi di viaggio tra alcune coppie O/D significative. Tali variazioni sia nei tempi di collegamento sia nell'offerta di servizi ha prodotto significative variazioni anche sui servizi aerei [17].

13.2. L'impatto sulle tariffe e sulla qualità del servizio

L'ingresso nel mercato dell'AV di un nuovo competitor ha innescato una competizione virtuosa nella complessiva riorganizzazione della struttura tariffaria, con conse-

tion of this demand between the two competitors [16]?

These are some of the questions that we wanted to answer with the implementation of the model system described and with the collection, analysis and system implementation of data on the transport system being studied.

13.1. Impact on the HS transport offer frequency and times

Between 2009 and 2013, the offer of High Speed services in Italy has seen a sharp increase. On the one hand, thanks to the completion of the new HS network, connections were increased along the backbone between Naples, Rome and Milan with service extensions to / from Turin and Salerno. On the other hand, the entry into operation of the new operator NTV, has led to an increase in HS services to Venice and Padua, and also in new stations, in Rome (Tiburtina and Ostiense) and Milan (Rogoredo and Porta Garibaldi). Along the Naples-Milan backbone, the HS services offer by Trenitalia has increased from 71 daily routes in 2009, to 98 routes / day in 2013. In terms of trains-km, thanks to the broadening of services in Salerno and Turin, the increase is even more significant: from 40.800 trains-km / day in 2009 to 68.060 trains-km / day in 2013; more than 40% of extra trains-km in four years.

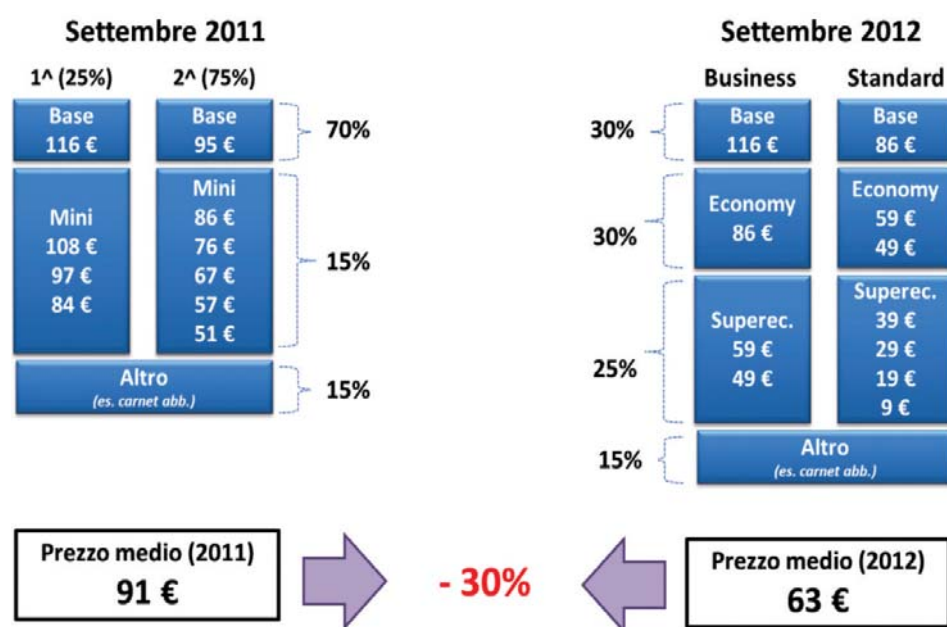
Nuovo Trasporto viaggiatori (NTV) HS services are to be added that amounted to 50 daily departures in 2013 that is 33.329 trains-km / day.

TABELLA 18 – TABLE 18
Confronto treni-km e corse 2013 Trenitalia ed NTV nell'area core
Comparison trains-km and departures in 2013 by Trenitalia and NTV in the core area

		(Salerno)-Napoli-Milano-(Torino) (Salerno)-Naples-Milan-(Turin)	(Napoli)-Roma-Venezia (Naples)-Rome-Venice	Totale area core Total core area	
Treni-km Trains/km	Trenitalia	68.060	71,1%	19.508	77,6
	NTV	27.701	28,9%	5.628	22,4
	Totale 2013 Total 2013	95.761	100,0%	25.136	100,0%
Corse Runs	Trenitalia	98	71,0%	36	78,3
	NTV	40	29,0%	10	21,7
	Totale 2013 Total 2013	138	100,0%	46	100,0%

(Fonte: elaborazione su dati Trenitalia e NTV - Source: Based on processing of Trenitalia and NTV data).

SCIENZA E TECNICA



(Fonte: elaborazione ATI - Source: Based on ATI processing)

Fig. 23 - Confronto delle tariffe Trenitalia sulla relazione Roma-Milano, settembre 2012 vs settembre 2011.

Fig. 23 - Comparison of Trenitalia fares on the Rome-Milan connection, September 2012 vs. September 2011.

guente riduzione dei prezzi medi del viaggio e con un miglioramento della qualità dei servizi.

Per quanto riguarda le tariffe, prima della partenza di Italo-NTV, Trenitalia ha rivisto la propria politica dei prezzi proponendo prima tre proposte commerciali (Base, Economy, Super Economy) verso le analoghe tre di NTV e quindi quattro differenti classi (Executive, Business, Premium e Standard) verso le tre classi di NTV (Club, Prima, Smart).

La competizione ha consentito una intelligente differenziazione dei prezzi ed ha favorito l'ingresso del low-cost nel mercato ferroviario. Infatti mentre NTV propone 9 differenti combinazioni di tipologia di posto e tariffa, Trenitalia è passata dalla semplice scelta fra la 1^a e 2^a classe a ben 12 combinazioni differenti.

Ma ben oltre la disponibilità di un insieme combinazione di offerte molto più ricco è importante sottolineare la sostanziale riduzione, 30-35%, del prezzo medio per passeggero come evidente dalla fig. 23, dove si riporta un confronto delle tariffe di Trenitalia sulla relazione Roma-Milano prima e dopo l'ingresso di NTV.

13.3. L'impatto sulla domanda

A fronte dell'incremento di servizi AV, i risultati in termini di passeggeri trasportati sono stati molto significativi, ancora di più se contestualizzati in un mercato complessivo che si è contratto per effetto della crisi [18] [19], [20]. I circa 17 milioni di viaggiatori all'anno, nel 2009, sono cresciuti costantemente fino a 30,8 milioni nel 2013 con un aumento dell'81% (fig. 24).

In the core area (i.e. in the catchment area of the Salerno-Naples-Milan-Turin-Venice and Rome routes served by both operators) (fig. 21), the overall increase of the HS service offer between 2009 and 2013, is equal to about 120% in terms of trains-km and over 93% in terms of daily departures (table 17).

NTV covers 27.6% of the offer in terms of trains-km (table 18) and 27.2% in terms of runs, against respectively 72.4% and 72.8% of Trenitalia.

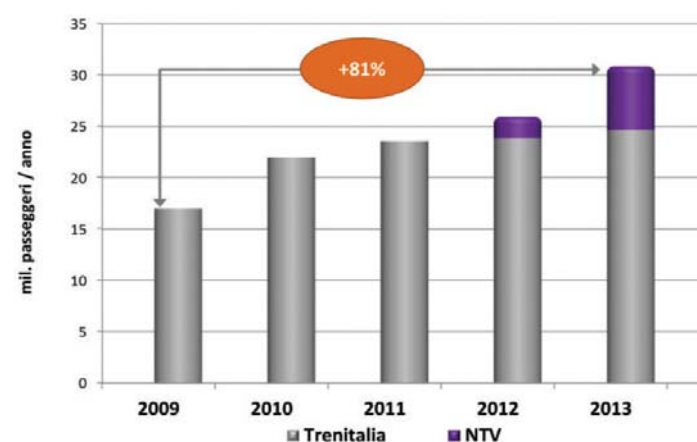
These percentages are reduced on the Rome-Venice route where NTV provides 22.4% of trains-km and 21.7% of departures, while they increase on the Salerno-Naples-Milan-Turin route up to 28.9% in terms of trains-km and 29.0% in terms of departures.

The completion of the HS/HC network, in December 2009 has brought the main Italian cities closer both those directly affected by the new connections and those outside the HS corridor. Today, without any intermediate stops between Milan Centrale and Rome Termini, the route takes 2 hours and 55 minutes and between Milan Rogoredo and Rome Tiburtina just 2 hours and 40 minutes.

Fig. 22 shows some fairly explicit examples of reduction in travel times between certain significant O/D pairs. These variations, both in the connection time and in the services offered, has produced significant changes also in air services [17].

13.2. Impact on fares and on the quality of service

The entry of a new competitor on the HS market triggered a virtuous competition in the overall reorganisation



(Fonte: elaborazione ATI su dati da modello) (Source: based on ATI processing of model data)

Fig. 24 - Andamento del traffico annuo sui servizi AV nell'area core (pax).

Fig. 24 - Annual traffic trend on HS services in the core area (pax).

SCIENZA E TECNICA

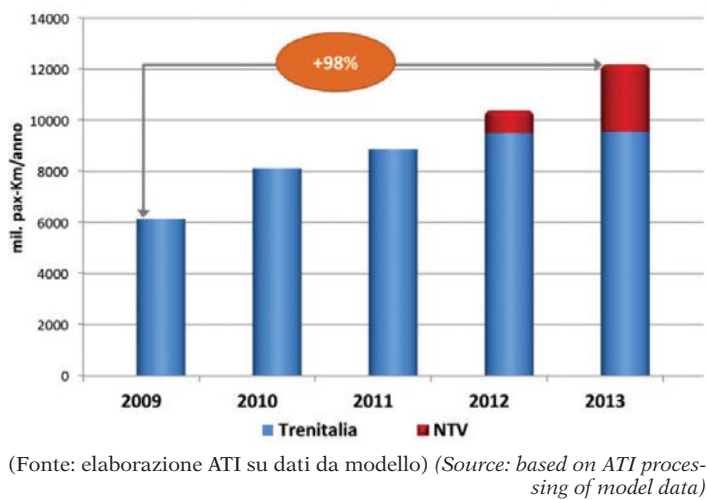


Fig. 25 - Andamento del traffico annuo sui servizi AV nell'area core (pax-km).
Fig. 25 - Annual traffic trend on HS services in the core area (pax-km).

All'incremento dei passeggeri ha fatto riscontro un aumento ancor più consistente, 98% (fig. 25), dei passeggeri-km. Questo fenomeno è conseguente all'incremento delle percorrenze chilometriche. E' interessante notare che anche Trenitalia ha incrementato ulteriormente il traffico passeggeri AV nel 2012 e nel 2013, nonostante l'entrata in esercizio del competitor NTV. Tutto ciò conferma ancora la crescita complessiva del mercato ferroviario dovuto in larga parte alla notevole quantità di nuovi viaggiatori e nuovi viaggi generati.

Nel 2013, Trenitalia ha trasportato circa 24,6 milioni di passeggeri corrispondenti all'80% della domanda AV nell'area core, contro i 6,2 milioni di NTV. In termini di passeggeri-km tali percentuali si modificano leggermente (78,4% contro 21,6%), in ragione del fatto che la percorrenza media (km/passeggero) per NTV è mediamente superiore a quella di Trenitalia: 424 km/p per NTV contro 388 km/p per Trenitalia (tabella 19).

Il 2009, l'anno in cui entra in esercizio l'Alta Velocità lungo la dorsale ferroviaria Salerno-Napoli-Milano-Tori-

of the tariff structure, with consequent reduction in the average price of the route and with an improvement in the quality of services.

Regarding fares, before Italo-NTV started, Trenitalia revised its pricing policy firstly introducing three commercial proposals (Base, Economy, Super Economy) similar to the three of NTV and then four different classes (Executive, Business, Premium and Standard) similar to the three classes of NTV (Club, First, Smart).

The competition allowed a smart price differentiation and facilitated the entry of low-cost in the railway market. In fact, while NTV offers 9 different combinations of seat and fare type, Trenitalia has changed from simple choice between the 1st and 2nd class to a good 12 different combinations.

But it is important to emphasise the substantial reduction, 30-35%, of the average price per passenger besides the availability of a much richer set of combination of offers as evident in fig. 23, which shows a comparison of the Trenitalia fares on the Rome-Milan connection before and after the entry of NTV.

13.3. Impact on demand

Thanks to the increase in HS services, the results in terms of travelling passengers have been very relevant, even more if contextualised in an overall market that has contracted due to the crisis [18] [19], [20]. Approximately 17 million passengers per year, in 2009, have grown steadily to 30.8 million in 2013, with an increase of 81% (fig. 24).

The increase in passengers was offset by an even more significant increase, 98% (fig. 25), of passengers-km. This phenomenon is due to the increase in distance in kilometres. It is interesting to note that even Trenitalia has further increased HS passenger traffic in 2012 and 2013, despite the entry into service of the competitor NTV. All this confirms the overall growth of the railway market due mainly to the significant amount of new travellers and new routes generated.

In 2013, Trenitalia transported about 24.6 million passengers corresponding to 80% of the HS demand in the core area, against 6.2 million of NTV. In terms of passengers-km these percentages slightly change (78.4% versus 21.6%), due to the fact that the average trip (km / passenger) for NTV is on average higher than that of Trenitalia: 424 km / p for NTV against 388 km / p for Trenitalia (table 19).

In 2009, the year in which high-speed comes into operation along the Salerno-Naples-Milan-Turin railway backbone, marks, in fact, a turning point for rail transport, despite the extraordinary economic crisis that continues to weigh on the country's economy since 2008 and therefore on the transport demand. If we compare the trends in passenger traffic

TABELLA 19 – TABLE 19
Quote di mercato (in passeggeri trasportati e passeggeri-km) nell'anno 2013 per Trenitalia ed NTV nell'area core
Market shares (in passengers carried and passengers-km) in the year 2013 for Trenitalia and NTV in the core area

	Passeggeri Passengers		Passeggeri-km Passengers-km	
	(milioni) (millions)		(milioni) (millions)	
Trenitalia	24,6	79,9%	9.556	78,4%
NTV	6,2	20,1%	2.631	21,6%
Totale (anno 2013) Total (year 2013)	30,8	100,0%	12.187	100,0%

(Fonte: elaborazione ATI su dati rilevati - Source: based on ATI processing of data recorded)

SCIENZA E TECNICA

no, segna, infatti, una svolta per il trasporto ferroviario, nonostante la straordinaria crisi economica che dal 2008 continua a pesare sull'economia del Paese e quindi sulla domanda di trasporto. Se si confrontano le tendenze dei passeggeri trasportati dal 2009 al 2013 si osserva (figg. 26 e 27) innanzitutto la straordinaria crescita del numero di passeggeri sull'alta velocità che compensa ampiamente le riduzioni sugli altri servizi ferroviari di media e lunga percorrenza (Intercity e Eurostar/ Frecciabianca). Inoltre, per l'aereo, su base nazionale (fig. 27) gli spostamenti diminuiscono dell'8% mentre nelle aree servite dall'AV (Area "core") diminuiscono del 29% (fig. 26). Per l'auto, gli spostamenti in autostrada diminuiscono del 10% su base nazionale e del 19% nell'area core. Nell'area core si stima, quindi, una riduzione differenziale rispetto al resto della rete nazionale, degli spostamenti in aereo e auto pari rispettivamente al 21% e al 9%.

In termini di ripartizione modale, ciò ha comportato che tra il 2009 e il 2013 che la quota modale dei passeggeri dell'AV, nell'area core, sia aumentata (fig. 28) dal 25,2% al 43,9%, a fronte di una riduzione dell'auto dal 57,3% al 45,5% e dell'aereo dal 10,5% al 7,2%.

Tali variazioni sono ancora più marcate se si analizzano gli spostamenti città-città, come ad esempio la relazione Roma-Milano (fig. 29) in cui la quota modale dell'AV è passata dal 45% del 2009 al 66% nel 2013, con una forte riduzione della quota modale di aereo dal 42% al 31%.

Tra il 2009 e il 2013 si riscontra quindi, un incremento straordinario di viaggiatori sull'alta velocità, circa 13,8 milioni di viaggi all'anno in più (fig. 30).

Sulla base delle simulazioni del modello di previsione della domanda e dei dati di traffico raccolti dai diversi vettori, circa 5,8 milioni (pari al 42%) sono domanda "in diversione da altri modi", ovvero viaggiatori che prima utilizzavano altre modalità di trasporto; 2,5 milioni (pari al 18%) sono viaggiatori in diversione da altri servizi ferroviari di media e lunga percorrenza (prevalentemente Intercity); i restanti 5,5 milioni (pari al 40%) costituiscono la "domanda indotta", ovvero viaggiatori che prima dell'avvio dell'AV non effettuavano lo spostamento o che, grazie all'AV, hanno incre-

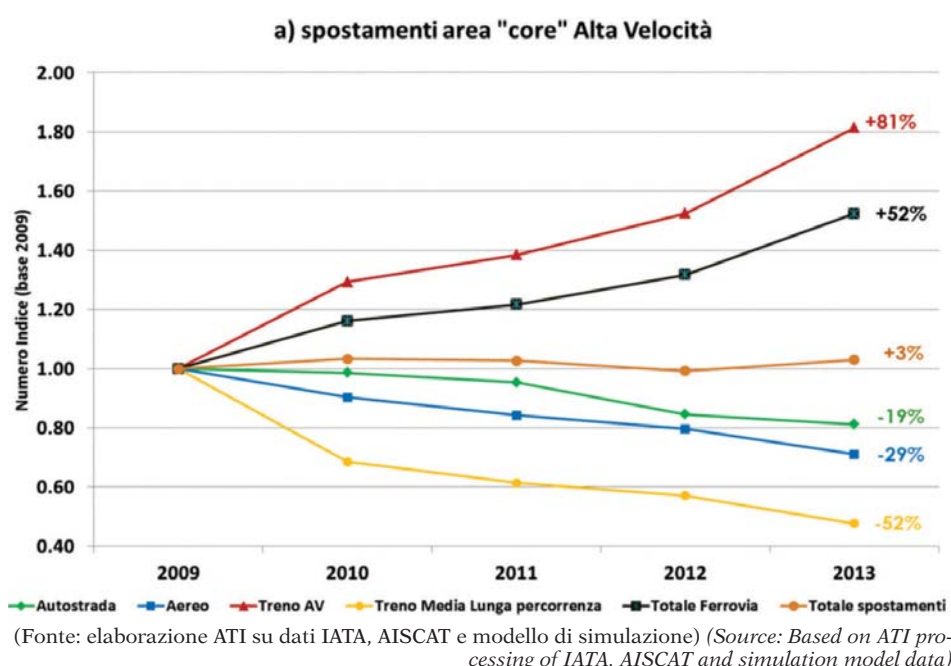


Fig. 26 - Andamento della domanda passeggeri per modo di trasporto (Aereo, Strada, Intercity, Alta Velocità) in Italia dal 2009 al 2013 nell'area core (numeri indice).

Fig. 26 - Trend of passenger demand by transport mode (Air, Road, Intercity, High Speed) in Italy from 2009 to 2013 in the core area (index numbers).

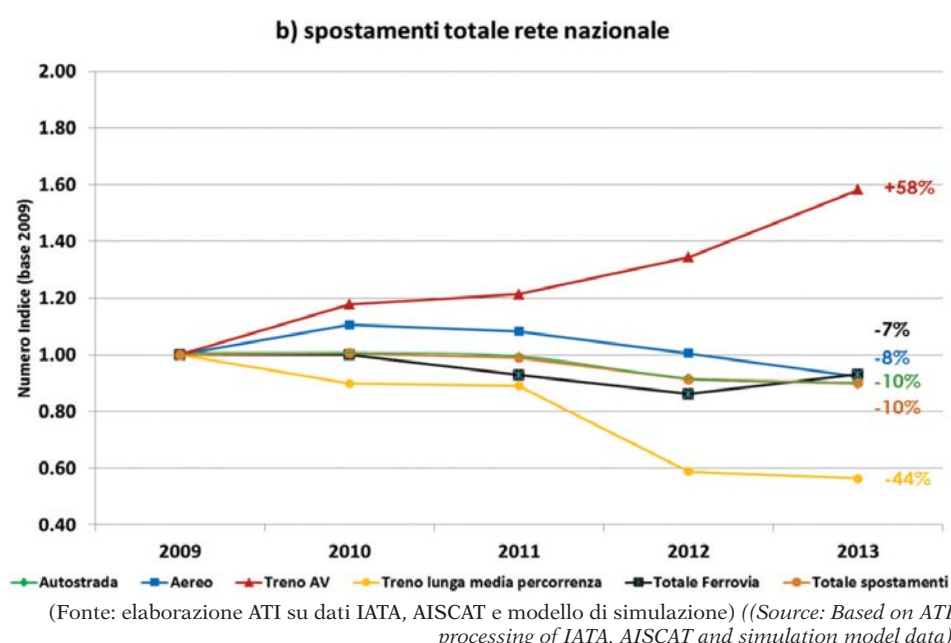
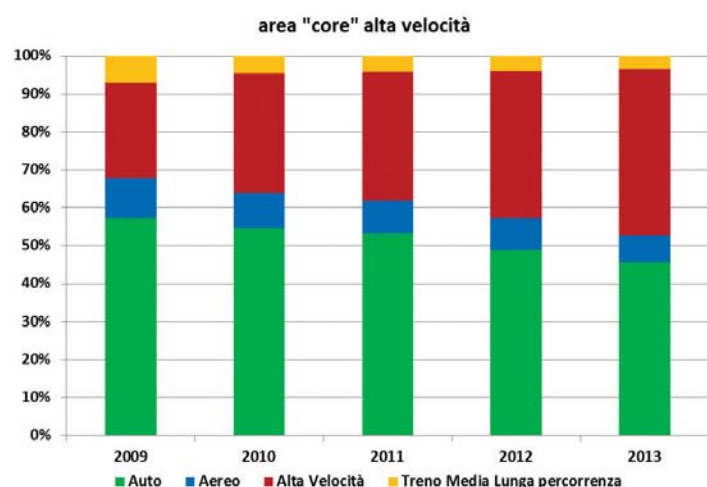


Fig. 27 - Andamento della domanda passeggeri per modo di trasporto (Aereo, Strada, Intercity, Alta Velocità) in Italia dal 2009 al 2013 su intera rete nazionale (numeri indice).

Fig. 27 - Trend of passenger demand by transport mode (Air, Road, Intercity, High Speed) in Italy from 2009 to 2013 on the whole national network (index numbers).

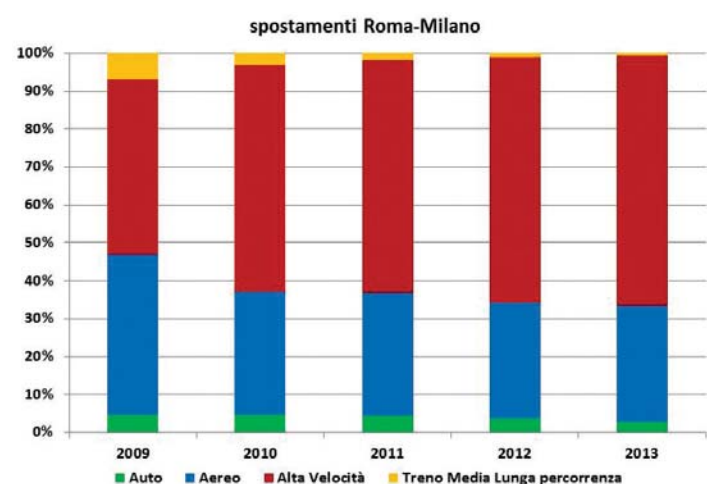
from 2009 to 2013 we can first of all observe (figs. 26 and 27) the extraordinary growth in the number of passengers on high-speed which compensate for the reductions on other medium and long distance rail services (Intercity and Eurostar / Frecciabianca). Furthermore, for the plane, on a national basis (fig. 27) trips decreased by 8% while in the areas served by HS ("core" area) they decrease by 29% (fig. 26). For the car, travel on the motorway fell by 10% at a national level and 19% in the core area. Therefore, a differential reduction of air and car

SCIENZA E TECNICA



(Fonte: elaborazione ATI su dati modello di simulazione) (Source: Based on ATI processing of simulation model data)

Fig. 28 - Ripartizione modale (passenger) per l'area "core".
Fig. 28 - Modal split (passenger) for the "core" area.



(Fonte: elaborazione ATI su dati modello di simulazione) (Source: Based on ATI processing of simulation model data)

Fig. 29 - Ripartizione modale (passenger) per la relazione Roma-Milano.
Fig. 29 - Modal split (passenger) for the Rome-Milan connection.

mentato la frequenza dei loro viaggi. Il profilo caratteristico di questi viaggiatori, sembra evidenziare che si tratti prevalentemente di utenti che si spostano su brevi distanze e per motivi dello spostamento Leisure. Non va, tuttavia, trascurata l'aliquota dei "nuovi pendolari dell'AV" vale a dire quegli utenti che, grazie ai collegamenti veloci, hanno potuto modificare il proprio stile di vita, cambiando città di residenza o di studio, o anche di lavoro, iniziando a viaggiare quotidianamente o settimanalmente sui treni ad alta velocità tra il nuovo domicilio e il luogo di lavoro o studio, e viceversa.

14. Conclusioni

Dopo anni che il trasporto ferroviario di passeggeri in Italia perdeva costantemente quote di mercato, nel 2009, anno in cui entra in esercizio l'Alta Velocità lungo la dor-

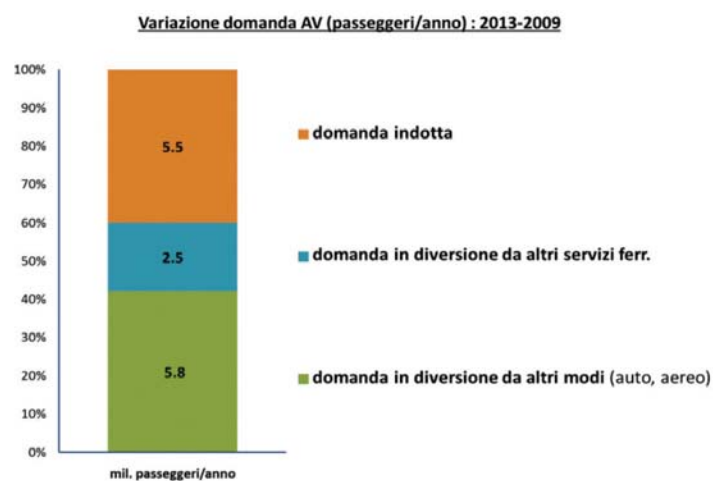
travel in the core area is estimated compared to the rest of the national network, of respectively 21% and 9%.

In terms of modal split, this implied that between 2009 and 2013 the modal share of HS passengers, in the core area, has increased (fig. 28) from 25.2% to 43.9%, compared to a reduction of the car from 57.3% to 45.5% and of the airplane from 10.5% to 7.2%.

Such variations are even more pronounced when analysing the city to city travel such as the Rome-Milan connection (fig. 29) in which the modal share of HS increased from 45% in 2009 to 66% in 2013, with a strong reduction of the modal share of air travel from 42% to 31%.

Between 2009 and 2013 there is therefore an extraordinary increase of travellers on high speed, approximately extra 13.8 million trips/year (fig. 30).

Based on model simulations of demand forecasting and traffic data collected by different carriers, approximately 5.8 million (42%) are demand "in diversion from other modes," that means travellers that first used other transport modes; 2.5 million (18%) are travellers in diversion from other medium and long distance rail services (mainly Intercity); the remaining 5.5 million (40%) are "induced demand", i.e. travellers that did not travel before the start up of HS or that, thanks to HS, have increased the frequency of their trips. The characteristic profile of these travellers seems to show that it involves mainly users that travel short distances and travel for Leisure reasons. The rate of "new HS commuters" should however not be overlooked, namely those users that thanks to fast connections, were able to change their lifestyle, changing city of residence or study, or even work, starting to travel daily or weekly on high-speed trains between their new home and place of work or study, and vice versa.



(Fonte: elaborazione ATI - Source: Based on ATI processing)

Fig. 30 - Incremento complessivo della domanda AV dal 2009 al 2013, con indicazione della domanda in diversione da altri modi di trasporto (Auto e aereo), da altri servizi ferroviari, e della domanda indotta.

Fig. 30 - Total increase in HS demand from 2009 to 2013, with indication of the demand in diversion from other transport modes (car and plane), from other rail services, and induced demand.

SCIENZA E TECNICA

sale ferroviaria, si riscontra finalmente una svolta per il trasporto ferroviario, nonostante l'eccezionale crisi economica che dal 2008 continua a pesare sull'economia del Paese e quindi sulla domanda di trasporto.

Le evidenze sperimentali, derivanti dall'analisi del mercato AV e dall'applicazione del sistema di modelli descritto nel presente articolo, mostrano un notevole incremento di passeggeri in termini assoluti tra il 2009 e il 2013 sull'Alta Velocità corrispondente a circa 13,8 milioni di passeggeri. L'analisi in profondità del mercato ha consentito anche di capire chi sono i suddetti 13,8 milioni di viaggi aggiuntivi. Essi sono costituiti principalmente da spostamenti su brevi distanze e per le vacanze, ma anche da un certo numero di utenti (domanda indotta) che, grazie ai collegamenti più frequenti e più veloci, hanno modificato il loro stile di vita, cambiando luogo di residenza o di studio, o anche di lavoro e iniziando quindi ad esempio a fare i "pendolari AV" giornalieri.

Chiaramente anche la quota modale della domanda AV nella zona "core" è aumentata dal 25,2% al 43,9%, a fronte di una riduzione di quella dell'auto dal 57,3% al 45,5% e di quella dell'aereo dal 10,5% al 7,2%.

E' molto interessante notare che i benefici della concorrenza, traducibili sinteticamente in una riduzione e differenziazione delle tariffe, in un aumento dei servizi e in un miglioramento ed arricchimento della qualità degli stessi, uniti al completamento della rete infrastrutturale hanno fatto sì che aumentasse tutto il mercato, nonostante l'entrata in esercizio del competitor NTV, anche Trenitalia ha incrementato il traffico passeggeri AV sia nel 2012 sia nel 2013.

Un sincero ringraziamento innanzitutto all'ing. SCIARRONE ed alla Direzione Marketing di NTV in particolar modo alla dott.ssa BONADIES, che hanno voluto il sistema di supporto alle decisioni e poi investito nella sua realizzazione, ma anche alle altre società TSC e CLAS che hanno collaborato in ATI allo sviluppo ed applicazione e al Comitato Scientifico per i suoi indirizzi e suggerimenti.

14. Conclusions

After years during which rail passenger transport in Italy constantly lost market share, in 2009, the year in which high-speed comes into operation along the rail backbone, there is finally a turning point for rail transport, despite the exceptional economic crisis that continues to weigh on the economy of the country since 2008 and therefore on the transport demand.

The experimental evidence, arising from HS market analysis and the application of the system of models described in this article, shows a significant increase of passengers in absolute terms between 2009 and 2013 on High Speed corresponding to approximately 13.8 million passengers. The in-depth analysis of the market also led to understand which are these 13.8 million additional trips. They consist mainly of short-distance and holiday trips, but also of a number of users (induced demand), that thanks to the more frequent and faster connections have modified their lifestyle, changing place of residence or study, or even work, and therefore starting to be daily "HS commuters" for example.

The modal share of HS demand in the "core" area has clearly increased from 25.2% to 43.9%, compared to a reduction of the car from 57.3% to 45.5% and of the airplane from 10.5% to 7.2%.

It is very interesting to note that the benefits of competition, that means synthetically a reduction and differentiation of tariffs, an increase in services and a relative improvement and enrichment of their quality of the same, together with the completion of the infrastructure network have meant that the whole HS market would increase. Furthermore, despite the entry into service of the competitor NTV, Trenitalia also increased its HS passenger traffic both in 2012 and in 2013.

Sincere thanks firstly to Eng. SCIARRONE and the Marketing Department of NTV especially to Dr. BONADIES, who wanted the decision support system and then invested in its implementation, but also to the other companies TSC and CLAS that have collaborated in ATI for the development and application and to the Scientific Committee for its directions and suggestions.

BIBLIOGRAFIA – REFERENCES

- [1] BEN-AKIVA M., CASCETTA E., COPPOLA P., PAPOLA A., VELARDI V., "High Speed Railways demand forecasting models and applications from the Italian Case Study", Proceedings for WCTR 2010 (Lisbon, 07-2010).
- [2] GIVONI M., DOBRUSZKES F., "A Review of Ex-Post Evidence for Mode Substitution and Induced Demand Following the Introduction of High-Speed Rail", Transport Reviews 01-2013.
- [3] NUZZOLO A., RUSSO F., CRISALLI U., "Transit network modelling: the schedule-based dynamic approach", Franco Angeli 2003.
- [4] CASCETTA E., "Modelli per i sistemi di trasporto", UTET 2006.
- [5] DIJKSTRA E. W., "A note on two problems in connexion with graphs", Numerische Mathematik, 1, pp. 269-271. 1959.
- [6] BIGGIERO L., POSTORINO M.N., "La calibrazione di modelli di scelta modale mediante l'uso congiunto di dati RP e SP", in Sviluppi della ricerca dei sistemi di trasporto (E. CASCETTA, G. SALERNO ed.) – Franco Angeli 1995.
- [7] BRADLEY M.A., DALY A.J., "Estimation of logit choice models using mixed Stated Preferences and Revealed Preference information", Proceedings of the 20th PTRC Summer Annual Meeting, University of Manchester, England. 1992.

SCIENZA E TECNICA

- [8] BOWMAN A.W., AZZALINI A., *"Applied smoothing techniques for data analysis"*, Oxford Statistical Science Series-1997.
- [9] EPANECHNIKOV V.A., *"Non-parametric estimation of a multivariate probability density"*, Theory of probability and its applications, 14, pp. 153-158. 1969.
- [10] BEN AKIVA M., LERMAN S. R., *"Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand"*, MIT Press, Cambridge 1985.
- [11] HSU C., CHUNG W., *"A model for market share distribution between high-speed and conventional rail services in a transportation corridor"*, Annals of Reg. Science 1997.
- [12] CASCETTA E., PAPOLA A., *"Random utility models with implicit availability/perception of choice alternatives for the simulation of travel demand"*, Transportation Research C vol. 9/4 pp. 249-263, 2001.
- [13] FIORELLO D., PASTI. G., *"Il valore del tempo di viaggio. Guida teorica ed applicativa"*, Quaderno RT n. 5 febbraio 2003.
- [14] CROZET Y., *"Time and passenger transport"*, ECMT 2005.
- [15] MACKIE P.J., WADMAN M., FOWKES A.S., WHELAN G., NELLTHORP J., BATES J., *"Values of travel time savings UK"*, Institute of transport studies, University of Leeds 2003.
- [16] COUTO A., GRAHAM D.J., *"The impact of high-speed technology on railway demand"*, Transportation 35 pp. 111-128 (2008).
- [17] CASCETTA E., COPPOLA P., VELARDI V., *"High Speed rail demand: before and after evidences from the Italian market"*, ETH, Zurich (Zurigo, 01-2012).
- [18] WUO LOPES M., DEFLORIO F., *"La rete ferroviaria ad alta velocità in alternativa al trasporto aereo su scala continentale Europea"*, Ingegneria Ferroviaria (Novembre 2010).
- [19] AISCAT Notiziario trimestrale a cura dell'Associazione Italiana Società Concessionarie Autostrade e Trafori. (2009, 2013)
- [20] ENAC - Dati di traffico degli scali italiani a cura della Direzione Sviluppo Aeroporti, (2009, 2013).

Sommaire

UN SYSTÈME DE MODÈLES POUR LA PRÉVISION DE LA DEMANDE PASSAGERS SUR LES SERVICES FERROVIAIRES À HAUTE VITESSE

Cet article décrit l'activité déroulée pour le développement d'un système de support pour la prévision de la demande passagers et la conception des services ferroviaires à haute vitesse (les lignes, les horaires, les tarifs), de la part de la société NTV, de la "Associazione Temporanea di Imprese" (association momentanée d'entreprises), abrégée "ATI" par la suite, constituée par les sociétés Net Engineering s.p.a. (mandataire), TSC (Transportation System Consulting s.r.l. et Gruppo Clas s.r.l. (mandants).

L'approche utilisée a été celle de l'ingénierie de système basée sur l'individuation des composantes techniques, sociales et économiques qui caractérisent le système de la mobilité dans un certain territoire, et sur la simulation des interactions entre telles composantes à travers un ensemble de modèles mathématiques très sophistiqués.

Le système de modèles implémenté (DSS), développé de zéro, permet de prévoir "ex-ante" comment les équilibres d'un système de transport se modifient en fonction de la variation d'une ou plusieurs des composantes qui jouent un rôle clefs. Dans le cas en examen le but était de prévoir la distribution future de la demande entre les différents types de transport (route, avion, trains traditionnels et à haute vitesse) en conséquence de l'arrivée d'un nouveau service ferroviaire au fin de supporter les évaluations de faisabilité économiques et financières de l'investissement.

Zusammenfassung

MODELLENSYSTEM ZUR BESCHREIBUNG DES PERSONENVERKEHRS IN HOCHGESCHWINDIGKEITSBAHNEN

Beschreibung der Entwicklung eines Stütz System zur Voraussetzung der Personenverkehrsnachfrage so wie zur Planung von Hochgeschwindigkeitssystemen. Dafür ein Auftrag wurde von NTV (italienische Firma tätig im Feld des HG Personenverkehr) auf einer Gruppe von IT Firmen erteilt. Auf Grund der Systemwissenschaft wurden die wichtige technische und sozioökonomische Bestandteile des Mobilitätssystems bestimmt, für einen begrenzten Territorium. Eine Gruppe mathematischer neuentwickelten Modellen erlaubt die Analyse der Wechselwirkungen zwischen einzelne- oder Bestandteilen gruppe, was die Folgerungen von Inputs Veränderungen erklärt. Hauptzweck der Forschung war die Voraussetzung der neuer Nachfrageverteilung in mitten von Transports Systemen (Straße, Luft, Bahn usw), die der Eintritt eines neuen Unternehmen auf den Markt bewirkt, was zwecksmässig für die Schätzung der Anlagen unterstützend ist.