

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.

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

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

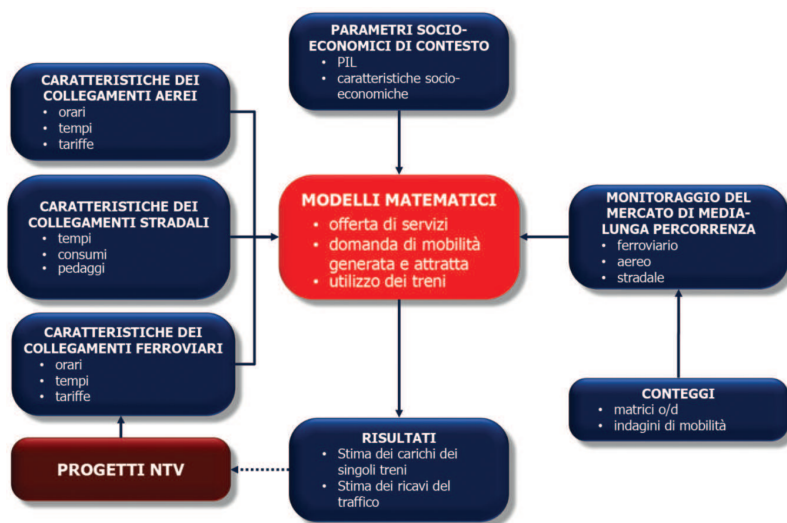


Fig. 1 - L'approccio sistemico alla progettazione del servizio NTV.
Fig. 1 - Systemic approach to the NTV service design.

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 schematization 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.

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 previsionali.

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;

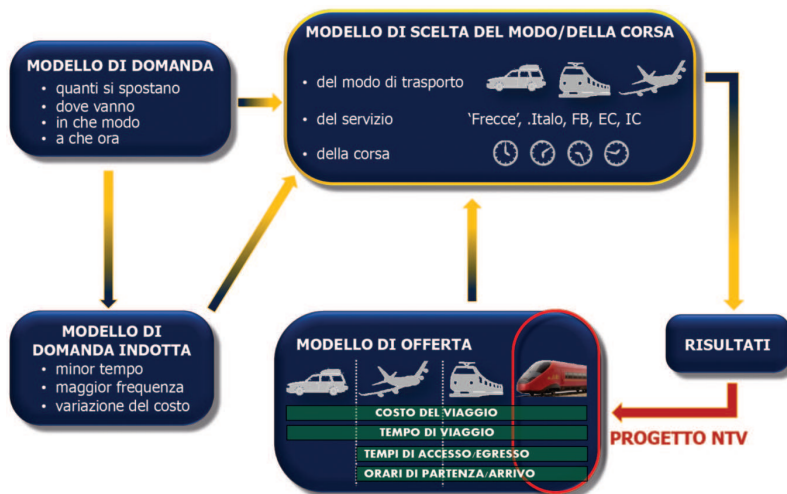


Fig. 3 - Modelli di domanda.
Fig. 3 - Demand models.

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;

- 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-

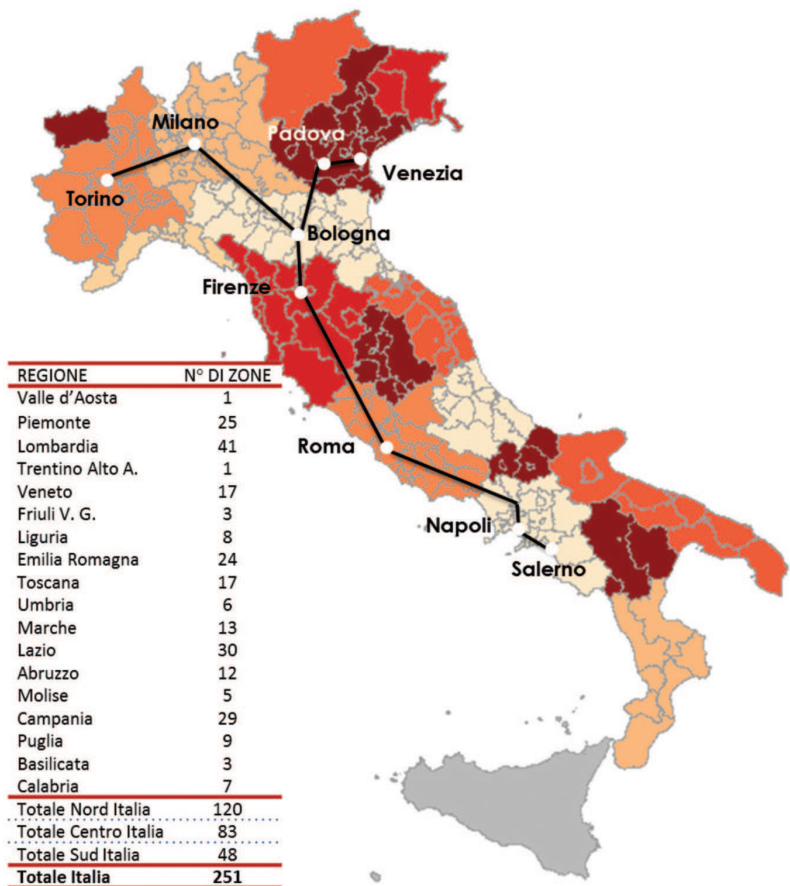


Fig. 4 - La zonizzazione del territorio nazionale, con evidenziate le principali tratte e i relativi nodi della rete AV in studio.

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: