



Effetto dell'ampliamento della rete ferroviaria spagnola ad alta velocità sulla domanda di trasporto ferroviario di passeggeri

Effect on demand for passenger rail of the extension of the Spanish high-speed network

Dott. Ingg. Francisco CALVO ^(*), Francisco CANTERO ^(*), Juan DE OÑA ^(*), Rocío DE OÑA ^(*), Emilio ORTEGA ^(**)

1. Introduzione

Nel 1964, l'inaugurazione delle prime linee ad alta velocità (AV) in Giappone segna l'inizio di una "nuova" era nel campo dei trasporti, sia in termini di qualità che di quantità. Successivamente, molti paesi europei realizzarono le proprie ferrovie ad alta velocità, come Italia (1978), Francia (1981), Germania (1991) e Spagna (1992). I treni AV hanno gradualmente generato una domanda molto più elevata con successive espansioni delle prime linee AV e con la costruzione di nuove linee (tabella 1).

La tabella 1 mostra che, nel 2009, 104.100 milioni di

1. Introduction

The inauguration of the first high-speed (HS) lines in Japan in 1964 marks a 'new era' in transport, in terms of quality and quantity. Subsequently, several European countries set up their own high-speed rail (HSR) networks (Italy in 1978, France in 1981, Germany in 1991 and Spain in 1992). HS trains have gradually captured a much higher demand with successive expansions of the first HS lines and by building new lines (table 1).

Table 1 shows that in 2009, there were 104,100 million passenger-kilometers (pass-km) traveling on HSR networks

TABELLA 1 – TABLE 1

EVOLUZIONE DELLA DOMANDA RELATIVA ALLA FERROVIA AD ALTA VELOCITÀ
EVOLUTION OF HSR DEMAND

Anno Year	Francia France		Germania Germany		Italia Italy		Spagna Spain		EU-27	
	Pass-km (bn.)	Tasso di crescita Growth rate (%)	Pass-km (bn.)	Tasso di crescita Growth rate (%)	Pass-km (bn.)	Tasso di crescita Growth rate (%)	Pass-km (bn.)	Tasso di crescita Growth rate (%)	Pass-km (bn.)	Tasso di crescita Growth rate (%)
1994	21,9	136,8	8,2	175,1	0,8	1243,8	0,9	1178,9	30,72	238,9
1995	21,4		8,7		1,1		1,3		32,9	
2000	34,8		13,9		5,1		1,9		58,8	
2004	41,5		19,6		7,9		2,8		76,1	
2005	43,1		20,9		8,6		2,3		80,1	
2006	44,9		21,6		8,9		2,7		84,3	
2007	48,0		21,9		8,8		2,6		88,7	
2008	52,6		23,3		8,9		5,5		97,6	
2009	51,9		22,6		10,8		11,5		104,1	

Fonte - Source: [1]

^(*) TRYSE Research Group, Dipartimento di Ingegneria Civile, Università di Granada (Spagna).

^(**) Dipartimento Costruzioni e vie Rurali, ETSI de Montes, Università Politecnica di Madrid (Spagna).

^(*) TRYSE Research Group, Department of Civil Engineering, University of Granada, (Spain).

^(**) Department of Construction and Rural Roads, ETSI de Montes, University Polytechnic of Madrid (Spain).

passenger-chilometro (pass-km) viaggiavano su reti ferroviarie ad alta velocità in EU-27. Suddividendo i dati per paese, la domanda ammontava a 519 milioni di pass-km in Francia, 226 in Germania, 108 in Italia e 115 in Spagna. Questi dati dimostrano come l'alta velocità possa attirare un'alta domanda.

Fuori dall'Europa, fino al 2005, le linee pionieristiche giapponesi Shinkansen hanno trasportato oltre 150 miliardi di pass-km [2]. Gli effetti delle ferrovie ad alta velocità sulla domanda possono essere valutati analizzando la recente introduzione del Korea Train Express (KTX) in Corea del Sud, avvenuta nel 2004. Qui, il numero di passeggeri che utilizzavano altri modi di trasporto che competevano con il KTX nel periodo 2004-2005 è diminuito significativamente: 6% per le automobili, 15% per gli autobus interurbani e 30% per il traffico aereo, laddove i passeggeri di tipo ferroviario sono cresciuti del 45% [3]. Il KTX ha acquisito oltre 40 milioni di passeggeri all'anno dalla sua inaugurazione nel 2004 [2]. In Italia, l'introduzione del collegamento AV Roma-Napoli (nel 2005) ha modificato la ripartizione tra treno e auto dal 49% e 51% al 55% e 45% rispettivamente, nel periodo compreso tra il 2005 e il 2007 [4]. L'apertura del TGV Atlantique nel 1990 ha ridotto i tempi di percorrenza tra Parigi e Bordeaux a tre ore, provocando un aumento immediato della domanda di trasporto ferroviario di circa 50% tra il 1989 e il 1991 [5].

L'enorme successo dei treni AV nell'attrarre passeggeri è principalmente dovuto ai tempi di viaggio ridotti [6] e ad una più elevata competitività rispetto agli altri modi di trasporto per quanto riguarda le distanze di 200-600 km e i tempi di percorrenza di 1-3 ore [7], [8]. Si può notare una competizione più pronunciata tra il trasporto aereo e il trasporto su ferrovia ad alta velocità nelle distanze comprese tra 400 e 700 km [9].

In Spagna, la domanda di trasporto della ferrovia ad alta velocità ha subito un forte aumento durante l'espansione della stessa rete AV nel periodo 2005-2009 (396,1% di pass-km secondo i dati della tabella 1). Ciononostante, la ripartizione modale del trasporto ferroviario di passeggeri non è cambiata notevolmente nel periodo considerato (tabella 2). Secondo il Ministero Spagnolo dello Sviluppo [10], la ripartizione modale della ferrovia nel periodo 2005-2009 è aumentata dello 0,29% e il trasporto su strada è cresciuto dell'1%, mentre il trasporto aereo ha perso l'1,30%. La tendenza è quindi cambiata rispetto al periodo precedente (2002-2005), durante il quale la ferrovia aveva perso lo 0,33% e il trasporto su strada aveva perso lo 0,69%, mentre il trasporto aereo aveva guadagnato lo 0,02%. La quota di mercato relativa al trasporto marittimo, invece, è rimasta costante con lo 0,32% nel periodo 2002-2009 [11]. In ogni caso, i dati mostrano il basso impatto complessivo dell'ampliamento della rete AV spagnola sulla ripartizione modale, se si prendono come riferimento le esperienze menzionate precedentemente di Corea, Italia e Francia.

Una delle ragioni del basso impatto dell'ampliamento

in Europe-27. By country, demand amounted to 51,900 in France, 22,600 in Germany, 10,800 in Italy and 11,500 million pass-km in Spain. These data illustrate the high demand HS trains can attract.

Beyond Europe, until 2005, the pioneering Japanese Shinkansen lines transported more than 150 billion pass-km [2]. The effects of HSR on demand can be appraised by the recent opening of the Korean Train Express (KTX) in South Korea in 2004, where the number of passengers who used other modes of transport that competed with the KTX diminished significantly in 2004-2005: 6% for automobiles, 15% for intercity buses and 30% for air traffic, whereas rail passengers increased 45% [3]. The KTX has gained more than 40 million passengers per year since its inauguration in 2004 [2]. In Italy, the opening of the Rome-Naples HS link (in 2005) changed the share between train and car from 49% and 51% to 55% and 45% respectively, in 2005-2007 [4]. Back in 1990, the opening of TGV Atlantique reduced travel times from Paris to Bordeaux to three hours, leading to an immediate increase of around 50% in rail travel demand between 1989 and 1991 [5].

The huge success of HS trains in attracting passengers is mainly due to shorter travel time [6], [4] and higher competitiveness compared to other modes of transport in distances of 200-600 Km and HSR travel times of 1-3 hours [7], [8]. A more pronounced competition between air transport and HSR is seen for distances between 400 and 700 km [9].

In Spain, a large increase in HSR travel demand occurred during the expansion of its HSR network in 2005-2009 (396.1% growth in pass-km, according to the data in table 1). Nonetheless, the modal share of passenger travel by rail barely changed during that period (table 2). According to the Spanish Ministry of Development [10], the modal share of railway in 2005-2009 increased just 0.29% and road transport increased 1%, whereas air transport de-

TABELLA 2 – TABLE 2

EVOLUZIONE DELLA RIPARTIZIONE MODALE DEL TRASPORTO IN SPAGNA TRA IL 2002 E IL 2009
EVOLUTION OF THE TRANSPORT MODAL SHARE IN SPAIN, 2002-2009

Modo di trasporto Transport mode	% pass-km		
	2002	2005	2009
Su strada Road	90,15	89,46	90,46
Per ferrovia Railway	5,25	4,92	5,21
Aereo Air	4,28	5,30	4,00
Via mare Maritime	0,32	0,32	0,33

Fonte - Source: [10], [11]

della rete AV sulla ripartizione modale deriva dal fatto che la rete stradale spagnola è dodici volte più lunga della rete ferroviaria [10], e la maggior parte delle autostrade è gratuita. Inoltre, i tassi di crescita della domanda sono promettenti per la rete AV quando la densità della popolazione è alta [2], ma la Spagna registra una densità di popolazione bassa (92 persone per km²) e la maggior parte della popolazione è concentrata a Madrid e lungo la costa [13]. La distanza di percorrenza tra Madrid e i principali capoluoghi è di circa 500-700 km. Questa distanza considerevole rende il trasporto aereo una valida alternativa all'AV e le compagnie aeree offrono prezzi molto concorrenziali rispetto alle ferrovie.

Uno studio condotto da CASCETTA et al. [4], basato su un'indagine a "Preferenza Rivelata (PR)" e che utilizza un modello Nested logit sul collegamento Roma-Napoli, ha evidenziato alcuni risultati riguardanti il tempo di percorrenza e l'elasticità dei costi. È stato rilevato che in relazione al tempo di percorrenza e ai costi, la domanda è anelastica per le auto ed elastica per la ferrovia (l'elasticità dei costi aumenta con la velocità e qualità del servizio ferroviario e viceversa per l'elasticità temporale). I valori di elasticità per il viaggio in auto erano di -0,16 per il tempo e -0,23 per il costo. Per i treni, l'elasticità temporale variava da -2,96 a -3,39 per i treni Intercity, da -2,57 a -2,93 per i treni Eurostar e da -1,92 a -2,14 per i treni AV. I valori di elasticità dei costi variavano da -1,59 a -2,32 per i treni Intercity, da -2,16 a -3,43 per i treni Eurostar e da -2,20 a -3,91 per i treni AV. Uno studio della domanda a livello europeo condotto da COUTO e GRAHAM [14] ha stimato l'elasticità del prezzo della domanda dell'AV a -0,22.

In Spagna, ESTERAS [15] utilizzò un "modello logit" per stimare l'elasticità. Si sono considerati un parametro per il costo generale e un parametro diverso per il tempo, utilizzando un campione di 14 itinerari a lunga distanza. I valori ottenuti per il tempo di percorrenza basato sull'elasticità erano di -2,74 per la ferrovia, -2,42 per gli autobus, -1,34 per le auto e -0,24 per gli aerei. Più recentemente, MARTIN e NOMBELA [16] hanno analizzato l'elasticità della domanda di passeggeri in relazione al tempo di percorrenza e al costo in Spagna. Lo studio ha preso in considerazione 143 itinerari interprovinciali a media e lunga distanza, utilizzando un "modello logit multinomiale" aggregato di selezione della modalità di trasporto, basato sui dati forniti dall'indagine Movilia 2001 (destinata ad analizzare gli spostamenti tra le regioni autonome della Spagna). I risultati ottenuti hanno evidenziato che la domanda di trasporto ha avuto un effetto negativo sulle variabili utilizzate, con un tempo di percorrenza basato sull'elasticità di -0,25, -1,67, -2,10 e -0,57 per aereo, ferrovia, autobus e auto, rispettivamente, e di -1,22, -0,43, -0,62 e 0,07 per aereo, ferrovia, autobus e auto, rispettivamente, rispetto ai costi. Questi studi, insieme ai dati spagnoli sopracitati, indicano che la domanda è elastica in relazione al tempo di percorrenza per treno e autobus, mentre è anelastica per aereo e auto. Per quanto concerne i prezzi, la domanda è anelastica per treno, autobus e

creased 1.30%. In contrast, during the preceding period (2002-2005), the railway lost 0.33% and road transport lost 0.69% of their share, whereas air transport gained 0.02%. The market share of transport by sea remained constant at around 0.32% in 2002-2009 [11]. In any case, the data show the low overall impact of the expansion of Spain's HSR network on modal share, if the aforementioned experiences in Korea, Italy and France are taken as a benchmark.

One reason for the low impact of the HSR expansion on modal share is that Spain's road network is twelve times longer than the rail network [10], and most motorways are toll free. Moreover, demand growth rates are promising for HSR when the population density is high [2], but Spain has a low population density (92 people per sq km) [12], and most of Spain's population is concentrated in Madrid and on the coast [13]. The travel distance between Madrid and the main capital cities is around 500-700 km. This considerable distance makes travel by air a good alternative to HSR, and flights moreover offer very competitive prices compared to railway.

A study carried out by CASCETTA et al. [4], based on a Revealed Preference (RP) survey and using a Nested logit model on the Rome-Naples link, showed some results regarding travel time and cost elasticities. They found that, with respect to travel time and cost, demand appears to be inelastic for cars and elastic for rail (with cost elasticity increasing with the speed and quality of train service, and vice-versa for time elasticity). The elasticity values for car travel were -0.16 for time and -0.23 for cost. For trains, time elasticity varied from -2.96 to -3.39 for Intercity trains, -2.57 to -2.93 for Eurostar trains, and -1.92 to -2.14 for HS trains. The cost elasticity values varied from -1.59 to -2.32 for Intercity trains, -2.16 to -3.43 for Eurostar trains and -2.20 to -3.91 for HS trains. A study of demand at the European level by COUTO and GRAHAM [14] estimated the price elasticity of demand for HSR at -0.22.

In Spain, ESTERAS [15] used a logit model to estimate elasticity. One parameter for overall cost and a different parameter for time were considered, using a sample of 14 long-distance routes. The values obtained for elasticity-based travel time were -2.74 for railways, -2.42 for buses, -1.34 for cars and -0.24 for airplanes. More recently, MARTIN and NOMBELA [16] analyzed the elasticity of passenger demand with respect to travel time and cost in Spain. The study included 143 medium and long-distance inter-province routes, used an aggregated multinomial logit model of transport mode selection, and was based on the data provided by the Movilia 2001 survey (designed to analyze travel between Spain's autonomous regions). Their results indicated that travel demand had a negative dependence on the variables used, with an elasticity-based travel time of -0.25, -1.67, -2.10 and -0.57 for airplanes, railways, buses and cars, respectively, and of -1.22, -0.43, -0.62 and -0.07 for airplanes, railways, buses and cars, respectively, with respect to cost. These studies, together with the aforementioned data from Spain, show that demand is elastic with respect to travel time for trains and buses,

auto (molto anelastica, in questo caso) ed elastica per l'aereo. Gli stessi studi dimostrano che la domanda per autobus e treno è molto più sensibile alle variazioni dei tempi di percorrenza piuttosto che alla variazione delle tariffe. In tale contesto di riferimento, questo articolo cerca di valutare l'effetto della domanda di trasporto ferroviario di passeggeri e della elasticità delle variazioni dei tempi di percorrenza sulla domanda di trasporto ferroviario di passeggeri causato dalle recenti inaugurazioni di linee AV in Spagna.

In tal senso, il primo passo è stato selezionare lo scenario in cui sviluppare l'analisi comparativa. In seguito, sono stati quantificati gli effetti dell'ampliamento della rete AV in Spagna (rispetto alla variazione della domanda e alla variazione dei tempi di percorrenza). Quindi, considerando i risultati precedenti, è stata studiata la relazione tra la variazione della domanda e la riduzione del tempo di percorrenza e successivamente è stata stimata l'elasticità della domanda. Come ultima fase, si sono tratte le conclusioni.

2. Il sistema di trasporto ferroviario di passeggeri in Spagna

Il sistema ferroviario spagnolo è drasticamente cambiato dall'introduzione della prima linea AV tra Madrid e Siviglia, aperta nel 1992. Furono fatti importanti investimenti per il trasporto ferroviario, che fino ad allora erano stati destinati al principale concorrente. La rete stradale, ad eccezione della linea Madrid-Siviglia (la rete AV spagnola) è il risultato di progetti infrastrutturali successivi sviluppati da allora in avanti. L'obiettivo ambizioso era di collegare Madrid a ogni capoluogo provinciale del paese tramite linee AV [17], [18]. A questo punto, dobbiamo specificare che la ferrovia convenzionale spagnola è costruita con scartamento iberico (1 668 mm), mentre la rete AV è costruita con scartamento internazionale (1 435 mm).

Il sistema spagnolo di ferrovie AV può essere identificato con il modello francese AV nel senso che il sistema è concepito solo per passeggeri ed è basato su nuove linee che prevedono picchi di velocità pari a 300 km/h e poche fermate tra le aree metropolitane [4]. Inoltre, come avviene in Francia, alcuni treni AV spagnoli lasciano la rete AV e utilizzano le linee convenzionali per raggiungere una più ampia gamma di destinazioni (corridoi a infrastruttura mista).

2.1. Orizzonte temporale - Selezione degli scenari

Lo scenario base scelto per l'analisi (Scenario Uno) corrisponde all'anno 2005. In quel periodo, in Spagna, era stata completata solo la prima linea AV Madrid-Siviglia. Inoltre, erano state inaugurate due brevi linee secondarie (Madrid-Toledo e Saragozza-Huesca) e parte della linea Madrid-Barcellona-Francia (confine) che raggiungeva solo Lérida.

whereas it is inelastic for airplanes and automobiles. With respect to price, demand is inelastic for railways, buses and cars (very inelastic, in this case) and elastic for airplanes. These studies also show that the demand for buses and trains is much more sensitive to changes in travel times than to changes in rates. Given this background, the present article seeks to evaluate the effect of rail passenger demand and the elasticity of travel time variations on rail passenger demand caused by the recent inaugurations of HS lines in Spain.

To this end, the first step was to select the scenarios in which the comparative analysis would be carried out. Next, the effects of extending the HS network in Spain were quantified (with respect to variation of demand and variation of travel times). Then, in light of the preceding results, the relationship between demand variation and travel time reduction was studied, to subsequently estimate demand elasticity. Finally, conclusions are presented.

2. The rail passenger transport system in Spain

The Spanish railway system changed dramatically after the first HS line between Madrid and Seville was opened in 1992. Heavy investment was made in rail transport, which until then had been overshadowed by roads, its main competitor.

With the exception of the Madrid-Seville line, Spain's HS network is the result of successive infrastructure plans developed since then. The ambitious aim was to link Madrid to every provincial capital in the country via HS lines [17], [18]. It should be noted here that Spain's conventional railways are Iberian gauge (1,668mm), whereas the HS network is built with the international gauge (1,435mm).

The Spanish HSR system could be identified with the HSR French model, in that the system is conceived only for passengers and based on new lines with peaks of speed equal to 300 km/h having few stops between metropolitan areas [4]. Moreover, as in France, some of the Spanish HS trains leave the HS network and use conventional lines to reach a wider range of destinations (mixed infrastructure corridors).

2.1. Time horizon - Scenarios selection

The baseline scenario chosen for analysis (Scenario One) was 2005. At that time, only the very first Madrid-Seville HS line had been completed in Spain. In addition, two short branches (Madrid-Toledo and Saragozza-Huesca) had been inaugurated, as well as part of the Madrid-Barcelona-French border line, which only reached Lérida.

The end scenario selected (Scenario Two) was 2009. The difference with 2005 is highly significant, since in 2009 there were three lines: the Madrid-Barcelona-French border line, which finally reached Barcelona, and two new lines

Lo scenario finale identificato per l'analisi (Scenario Due) corrisponde all'anno 2009. La differenza con il 2005 è molto significativa, poiché nel 2009 esistevano tre linee: la Madrid-Barcellona-Francia confine, che raggiungeva Barcellona, e due nuove linee che raggiungevano due città molto importanti: Malaga e Valladolid. Di seguito vengono descritti e confrontati i due scenari.

2.2. Scenario Uno

Il Piano Infrastrutture 2000-2007 [17] introdusse qualcosa di completamente nuovo, perché per la prima volta gli investimenti per le ferrovie superavano gli investimenti per la rete stradale. La maggior parte del budget per la ferrovia era destinata alla rete AV progettata (7 000 km). Durante i quattro anni di validità del progetto, furono aperti 561 km nella nuova linea Madrid-Barcellona-Francia (confine) con destinazione ultima Lérida. Alla fine del 2005, la rete ferroviaria spagnola aveva un totale di 12 839 km [18], di cui 1 053 km appartenevano alla rete AV (8,20%) e 11 786 km alla rete convenzionale (91,80%). Questa situazione sarà considerata come Scenario Uno.

2.3. Scenario Due

Dopo il 2005, il Piano Infrastrutture 2000-2007 è stato seguito dal Piano Strategico delle Infrastrutture e del Trasporto 2005-2020 (*Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte*, o PEIT) [18]. Il nuovo piano, per quei quindici anni, prevedeva un investimento di 241 392 miliardi di euro, dei quali il 43% era dedicato alle ferrovie (budget molto più alto rispetto a quello previsto per strade – 25% – e aeroporti). L'investimento aveva come obiettivo la duplicazione della rete AV, che sarebbe passata dai 1 053 km del 2005 agli oltre 10 000 km nel 2020, ovvero 80% del totale del budget destinato alle ferrovie.

Al 31 dicembre 2009, la rete ferroviaria spagnola totalizzava 13 354 km, dei quali 11 770 km (88%) erano linee convenzionali e 1 584 km (12%) erano linee AV [19]. Questa configurazione di rete costituisce lo Scenario Due, nel quale la rete AV ha un'estensione di 531 km in più rispetto alle linee AV dello Scenario Uno.

2.4. Confronto tra Scenario Uno e Due

La fig. 1 e la tabella 3 mostrano lo sviluppo della rete AV tra gli Scenari Uno e Due. La rete ferroviaria convenzionale compresa fra i due scenari è rimasta pressoché invariata.

3. Metodologia

È stato implementato un Sistema d'Informazione Geografica (GIS) per progettare le reti ferroviarie e stradali. La rete ferroviaria è stata divisa in sezioni omogenee (più dettagliate rispetto a quanto riportato nella fig. 1,

that reached two very important cities: Malaga and Valladolid. Below, both scenarios are described and compared.

2.2. Scenario One

The 2000-2007 Infrastructure Plan [17] introduced something entirely new, marking the first time that investment in railways was heavier than investment in roads. Most of the railway budget was for the planned HS network (7,000 km). During the four years the plan was in force, 561 km of the new Madrid-Barcelona-French border HS line were opened, ending in Lerida. In late 2005, Spain's rail network totaled 12,839 km [18], of which 1,053 km belonged to the HS network (8.20%) and 11,786 km to the conventional network (91.80%). This situation will be considered as Scenario One.

2.3. Scenario Two

After 2005, the 2000-2007 Infrastructure Plan was followed by the 2005-2020 Strategic Plan for Infrastructure and Transport (*Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte*, or PEIT) [18]. The new fifteen-year plan forecast an investment of 241.392 billion euros, of which 43% were for railways (much more than the budget for roads – 25% – and airports). It was intended to multiply the HSR network tenfold, from the 1,053 Km that existed in 2005 to more than 10,000 Km in 2020, which meant around 80% of the total budget allocated to railways.

By 31 December 2009, Spain's rail network totaled 13,354 km, of which 11,770 Km (88%) were conventional lines and 1,584 km (12%) were HS lines [19]. This network layout defines Scenario Two, which added 531km of HSR extensions to the HS lines of Scenario One.

2.4. Comparison between Scenarios One and Two

Figure 1 and table 3 show the development of the HS network between Scenarios One and Two. The conventional rail network in between the two scenarios has hardly changed.

In late 2009, fifteen provincial capitals (Segovia, Valladolid, Toledo, Malaga, Barcelona, Tarragona, Cordoba, Ciudad Real, Guadalajara, Lerida, Huelva, Cadiz, Saragossa, Seville and Huesca) had direct links to Madrid via the HS network. Meanwhile, many other cities were linked to Madrid by variable gauge HS trains, which can travel on international or Iberian gauge lines, using the gauge changers placed at "border points" between the two networks. The benefits of the HS network were extended by using this technology while the network was being built. A total of 15 other cities had access to HS trains thanks to this mixed infrastructure (part of the route by the HS line and part of the route by a conventional line): Palencia, Leon, Burgos, Zamora, Santander, Oviedo, Vitoria, Bilbao, Orense, Pontevedra, La Coruña, Granada, Logroño, Pamplona and San Sebastian.

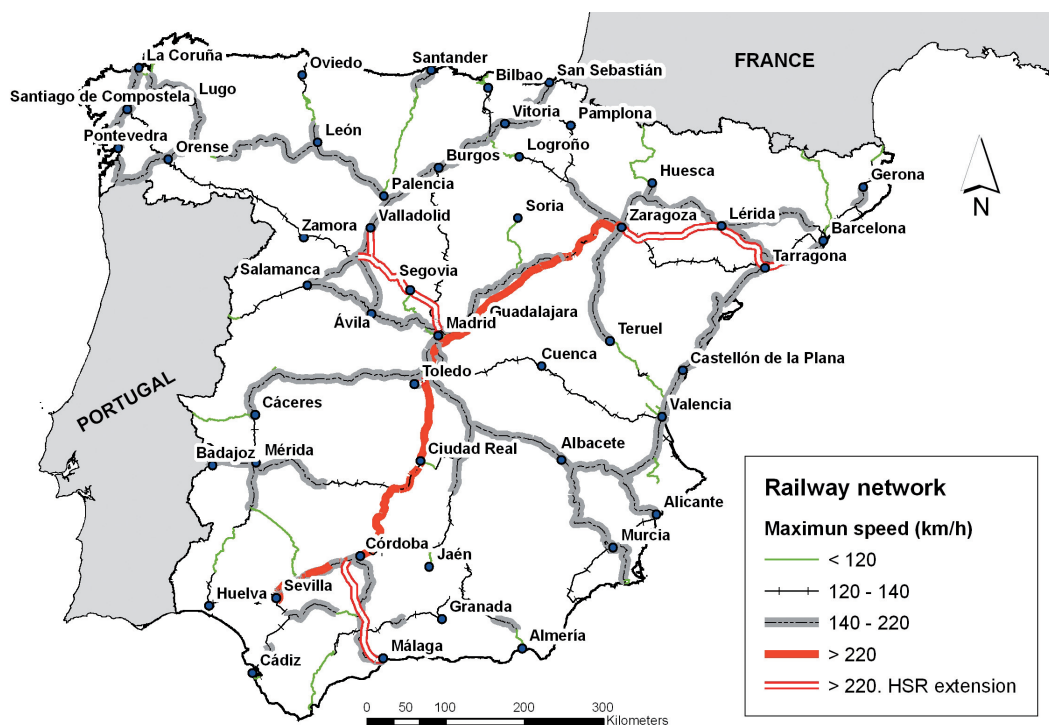


Fig. 1 - La rete ferroviaria spagnola.
Fig. 1 - Spain's rail network.

considerando sezioni più brevi secondo una più ampia gamma di intervalli di velocità) e a ciascuna sezione è stata assegnata una serie di caratteristiche (tipo di linea ferroviaria, lunghezza, velocità massima, ecc.). Analogamente, anche la rete stradale è stata divisa in sezioni omogenee secondo il tipo di strada (autostrada o strada a due carreggiate) e di velocità. Queste caratteristiche sono state utilizzate al fine di ottenere i tempi di percorrenza tra Madrid e ciascuno dei capoluoghi di provincia spagnoli negli Scenari Uno e Due. Come anticipato, è stato necessario utilizzare un GIS per ricostruire la rete ferroviaria allo scopo d'ottenere i tempi di percorrenza, dato che RENFE (la compagnia ferroviaria spagnola) non pubblica i registri degli orari dalla fine degli anni 80. In seguito, i tempi di percorrenza sono stati forniti dal software che genera i biglietti dei passeggeri. Poiché questo software è cambiato nel corso degli anni, non è stato possibile accedere ai tempi di percorrenza relativi alla tabella orari negli scenari presi in considerazione. In ogni caso, la caratterizzazione della rete ferroviaria nei medesimi termini in entrambi gli scenari ci consente di stimare la variazione del tempo di percorrenza tra i due, per poi metterla in relazione alla domanda di trasporto.

3. Methodology

A GIS (Geographical Information System) was implemented to model the rail and the road networks. The rail network was divided into homogeneous sections (considering shorter sections than in Figure 1, according to a wider range of speed intervals) and a series of features were assigned to each section (type of rail line, length, maximum speed, and so on). Similarly, the road network was divided into homogeneous sections by type of road (motorway or two-lane road) and speed. These features were used to obtain the travel times between Madrid and each of Spain's provincial capitals in Scenarios One and Two. The GIS was needed to model the rail network and obtain travel times because RENFE (Spain's National Railway Operator), stopped publishing timetable guides in the late eighties. After that, travel times were provided by the software that generates passenger tickets. Yet since said software has changed over the years, we could not access all according-to-timetable travel times for the scenarios under consideration. In any case, our characterization of the rail network on the same terms in both scenarios allowed us to estimate any change in travel time between them, and then relate it to travel demand.

Long- and medium-distance journeys (that is, all rail

TABELLA 3 – TABLE 3

SVILUPPO DELLA RETE AV IN SPAGNA TRA LO SCENARIO UNO E LO SCENARIO DUE
DEVELOPMENT OF SPAIN'S HS NETWORK BETWEEN SCENARIOS ONE AND TWO

Linea alta velocità <i>High speed line</i>	SCENARIO 1 31/12/2005			SCENARIO 2 31/12/2009		
	Inaugurazione <i>Inauguration</i>	Lunghezza <i>Length</i> (km)	Capoluoghi di provincia collegati a Madrid <i>Provincial capitals linked to Madrid</i>	Inaugurazione <i>Inauguration</i>	Lunghezza <i>Length</i> (km)	Capoluoghi di provincia collegati a Madrid <i>Provincial capitals linked to Madrid</i>
Madrid-Siviglia <i>Madrid-Seville</i>	14/04/1992	471	Ciudad Real, Cordova e Siviglia	24/12/2007	155	Malaga
	15/11/2005	21	Toledo			
Madrid-Barcellona-Francia confine <i>Madrid-Barcelona-French border</i>	10/10/2003	561	Guadalajara, Saragozza, Huesca e Lérida	20/02/2008	179	Tarragona e Barcellona
Madrid-Galizia <i>Madrid-Galicia</i>				23/12/2007	183	Segovia e Valladolid
				01/04/2008	14	nessuno
Lunghezza (km) <i>Length (km)</i>	2005	1.053		2009	531	
Lunghezza totale nel 2009 (km) <i>Total Length in 2009 (km)</i>				1.584		

Fonte - Source: [18], [19]

Sono stati considerati nella domanda di trasporto ferroviario anche i viaggi di media e lunga distanza (che includono tutti i servizi ferroviari eccetto i treni suburbani) tra Madrid e i capoluoghi di provincia con collegamento diretto (ossia senza cambi di treno). Inoltre, sono state preparate le relative matrici origine-destinazione. Si è preferito questo approccio in quanto la rete ferroviaria spagnola (sia la rete convenzionale, sia la rete AV) è perfettamente radiale, con Madrid al centro. Sulla base di queste premesse, sono stati esclusi due capoluoghi:

- Teruel, perché è situato su una linea trasversale molto distante da qualsiasi linea radiale e, inoltre, non dispone di collegamenti ferroviari diretti a Madrid;
- Girona, perché, nonostante si trovi su una linea radiale, i treni diretti Madrid-Girona sono stati eliminati quando si è costruita la linea AV per Barcellona (con eccezione del treno notturno). Di conseguenza, Girona è l'unico capoluogo di provincia che è stato discriminato da questo punto di vista dall'ampliamento della rete spagnola AV. Tuttavia, questa situazione temporale terminerà quando si inaugurerà il tratto ferroviario Barcellona-Francia confine.

L'accordo di riservatezza stipulato con la Divisione passeggeri di RENFE-Operadora proibisce agli autori di rivelare i dati relativi alla domanda assoluta (numero di passeggeri) di ogni corridoio. Pertanto, verranno utilizzate le do-

services with the exception of suburban trains) between Madrid and the provincial capitals with direct links (no change of train) were considered in the demand for rail transport, and the relevant origin-destination matrices were prepared. This approach was used because Spain's rail network (both conventional and HS) is eminently radial, with Madrid at the center. Owing to these premises, two provincial capitals were not included:

- Teruel, situated on a transversal line very distant from any radial line and having no direct train to Madrid.
- Girona, which is on a radial line, but all direct Madrid-Girona trains were discontinued when the HS line to Barcelona was built (with the exception of the night train). Girona is therefore the only provincial capital overlooked by the expansion of Spain's HS network. This temporary situation will end when the entire Barcelona-French border section is inaugurated.

The confidentiality agreement made with RENFE Passengers Department prevents the authors from showing the absolute demand data (number of passengers) in each corridor. Therefore, relative demands will be used to classify the railway corridors (demand for a specific corridor divided by demand for the most highly demanded corridor) and to quantify the evolution of demand from one scenario to the other (percentage of variation in demand between Scenarios One and Two).

mande relative per classificare i corridoi ferroviari (la domanda di un corridoio specifico divisa per la domanda del corridoio più richiesto) e per quantificare l'evoluzione della domanda da uno scenario all'altro (percentuale della variazione della domanda tra lo scenario Uno e lo scenario Due).

4. Effetti dell'ampliamento della rete AV

L'ampliamento della rete AV tra il 2005 e il 2009 ha determinato importanti riduzioni nei tempi di viaggio, le quali hanno a loro volta generato un forte aumento della domanda che ha interessato l'intera rete ferroviaria. Nel complesso, la domanda per i 44 corridoi ferroviari in esame è aumentata da 11,44 milioni di passeggeri nello Scenario Uno a 18,83 milioni nello Scenario Due [20]. Questi dati si traducono in un aumento della domanda del 64,7% nel periodo 2005-2009.

4.1. Domanda e dati sul tempo di percorrenza

La tabella 4 mostra la distribuzione della domanda e dei tempi di percorrenza nei corridoi in esame.

Se si considerano i corridoi in cui la domanda relativa è superiore a 0,10 come corridoi ad alta domanda, si può constatare che nello Scenario Uno erano presenti 14 città: Siviglia, Ciudad Real, Saragozza, Cordova, Alicante, Valencia, Barcellona, Malaga, Lérida, Ávila, Valladolid, Salamanca, Albacete e Murcia. Nello Scenario Due, il numero dei corridoi ad alta domanda è di 18, con l'aggiunta di Toledo, Segovia, Pamplona e Tarragona. Nel periodo 2005-2009, Barcellona è diventata la linea con la domanda maggiore, a discapito della linea di Siviglia. I tempi di percorrenza di tutti i corridoi ad alta domanda erano inferiori a 4 ore.

4.2. Domanda e variazioni del tempo di percorrenza

Per quantificare l'impatto dell'ampliamento della rete AV, i 44 corridoi in esame sono stati classificati in quattro Gruppi in base agli evidenziati cambiamenti nei collegamenti ferroviari con Madrid tra lo Scenario Uno e lo Scenario Due.

Gruppo 1:

Città collegate a Madrid tramite delle linee ferroviarie convenzionali o delle infrastrutture miste nello Scenario Uno e collegate direttamente da una linea AV nello Scenario Due. Questo gruppo comprende 6 città: Segovia, Valladolid, Toledo, Malaga, Barcellona e Tarragona (il collegamento con Toledo è stato creato alla fine del 2005, ma dato il breve periodo di funzionamento in quell'anno, si è preferito ritenerlo operativo a partire dal 2006).

Gruppo 2:

Città collegate a Madrid tramite linea ferroviaria convenzionale e che sono state collegate tramite una infra-

4. Effects of expanding the HS network

The expansion of the HSR network in 2005-2009 meant important reductions in travel times, which in turn produced a sharp increase in demand that also affected the rest of the network. Overall, the demand for the 44 railway corridors under consideration increased from 11.44 million passengers in Scenario One to 18.83 million passengers in Scenario Two [20]. These figures mean a 64.7% increase in demand in 2005-2009.

4.1. Demand and travel time data

Table 4 shows the distribution of the demand and travel times in the corridors under consideration.

Taking high demand corridors to be those whose relative demand is higher than 0.10, it has been found there were 14 cities in Scenario One: Seville, Ciudad Real, Saragossa, Cordoba, Alicante, Valencia, Barcelona, Malaga, Lerida, Avila, Valladolid, Salamanca, Albacete and Murcia. In Scenario Two, the number of high demand corridors is 18, with the addition of Toledo, Segovia, Pamplona and Tarragona. In 2005-2009, the line with the highest demand changed from the Seville line to the Barcelona line. Travel times were under four hours in all the highly demanded corridors.

4.2. Demand and travel time variations

To quantify the impact of the expansion of the HSR network, the 44 rail corridors under consideration were classified into four Groups according to the changes experienced in their railway link to Madrid between Scenario One and Scenario Two:

Group 1:

Cities that were linked to Madrid by a conventional rail line or by mixed infrastructure in Scenario One and are linked directly by a HS line in Two. This includes 6 cities: Segovia, Valladolid, Toledo, Malaga, Barcelona and Tarragona (Toledo was linked in late 2005, but due to its short period of operation in 2005, it was deemed to have come into effect in 2006).

Group 2:

Cities that were linked to Madrid by a conventional rail line and became linked by mixed infrastructure in 2009. This Group includes 17 cities: Palencia, Leon, Burgos, Zamora, Santander, Oviedo, San Sebastian, Vitoria, Bilbao, Orense, Pontevedra, La Coruña, Granada, Huelva, Cadiz, Logroño and Pamplona. The last four cities underwent no change in the infrastructure, which is mixed in both scenarios, although changes in the rolling stock occurred. In these four rail connections, faster trains that do not need to stop to change gauge represent time reductions similar to the upgrading in infrastructure, and therefore they are included in this Group.

TABELLA 4 – TABLE 4

DOMANDA RELATIVA E TEMPI DI PERCORRENZA TRA MADRID E I CAPOLUOGHI DI PROVINCIA
 RELATIVE DEMAND AND TRAVEL TIMES BETWEEN MADRID AND THE PROVINCIAL CAPITALS

2005					2009				
Capoluogo Provincial Capital	Per ferrovia Railway		Per trasporto aereo Air Transport	(A)-(B)	Capoluogo Provincial Capital	Per ferrovia Railway		Per trasporto aereo Air Transport	(C)-(D)
	Domanda relativa Relative Demand	Tempo di per- correnza Travel Time (A)	Tempo di per- correnza Travel Time (B)			Domanda relativa Relative Demand	Tempo di per- correnza Travel Time (C)	Tempo di per- correnza Travel Time (D)	
SIVIGLIA	1,000	2h 29m	2h 40m	0h 10m	BARCELLONA	1,000	3h 10m	2h 45m	0h 25m
CIUDAD REAL	0,417	0h 50m	-	-	SIVIGLIA	0,895	2h 29m	2h 40m	0h 10m
SARAGOZZA	0,393	1h 29m	1h 53m	0h 23m	TOLEDO	0,567	0h 24m	-	-
CORDOVA	0,363	1h 44m	-	-	MALAGA	0,562	2h 32m	2h 40m	0h 07m
ALICANTE	0,294	3h 40m	2h 35m	1h 05m	SARAGOZZA	0,510	1h 29m	1h 53m	0h 23m
VALENCIA	0,293	3h 50m	2h 40m	1h 11m	VALLADOLID	0,377	1h 01m	-	-
BARCELLONA	0,267	3h 38m	2h 45m	0h 53m	CIUDAD REAL	0,374	0h 50m	-	-
MALAGA	0,234	3h 42m	2h 40m	1h 02m	CORDOVA	0,327	1h 44m	-	-
LÉRIDA	0,204	2h 08m	2h 03m	0h 05m	VALENCIA	0,283	3h 51m	2h 40m	1h 11m
ÁVILA	0,161	1h 10m	-	-	ALICANTE	0,263	3h 40m	2h 35m	1h 05m
VALLADOLID	0,119	2h 18m	-	-	SEGOVIA	0,247	0h 23m	-	-
SALAMANCA	0,117	2h 11m	-	-	LÉRIDA	0,202	2h 08m	2h 03m	0h 05m
ALBACETE	0,111	2h 16m	-	-	ÁVILA	0,144	1h 10m	-	-
MURCIA	0,106	3h 50m	2h 12m	1h 38m	PAMPLONA	0,126	2h 52m	2h 25m	0h 27m
TOLEDO	0,093	0h 51m	-	-	SALAMANCA	0,125	2h 11m	-	-
PAMPLONA	0,090	3h 22m	-	-	TARRAGONA	0,120	2h 44m	-	-
SEGOVIA	0,062	1h 19m	-	-	ALBACETE	0,105	2h 16m	-	-
PALENCIA	0,053	2h 45m	-	-	MURCIA	0,103	3h 50m	2h 12m	1h 38m
ALMERÍA	0,048	5h 25m	2h 35m	2h 50m	LEÓN	0,094	2h 41m	2h 20m	0h 21m
LEÓN	0,046	3h 53m	2h 20m	1h 33m	OVIEDO	0,068	4h 22m	-	-
SANTANDER	0,041	5h 19m	2h 45m	2h 34m	PALENCIA	0,057	1h 33m	-	-
JAÉN	0,036	3h 42m	2h 35m	1h 07m	SANTANDER	0,055	4h 07m	2h 45m	1h 22m
TARRAGONA	0,031	3h 05m	-	-	ALMERÍA	0,046	5h 25m	2h 35m	2h 50m
GRANADA	0,030	4h 40m	2h 35m	2h 05m	JAÉN	0,038	3h 42m	2h 35m	1h 07m
CÁCERES	0,030	3h 08m	-	-	SAN SEBASTIÁN	0,034	4h 26m	2h 30	1h 56m
CADICE	0,028	4h 14m	2h 50m	1h 24m	CADICE	0,034	3h 44m	2h 50m	0h 54m
CUENCA	0,028	2h 01m	-	-	GRANADA	0,033	3h 45m	2h 35m	1h 10m
SAN SEBASTIÁN	0,025	5h 18m	2h 30m	2h 48m	HUELVA	0,032	3h 19m	-	-
OVIEDO	0,025	5h 34m	-	-	CÁCERES	0,031	3h 08m	-	-
CASTELLÓN	0,025	4h 17m	-	-	BILBAO	0,026	3h 58m	2h 30m	1h 28m
HUELVA	0,019	3h 49m	-	-	HUESCA	0,025	2h 13m	-	-
ORENSE	0,017	5h 26m	-	-	VITORIA	0,023	3h 15m	2h 30m	0h 45m
HUESCA	0,014	2h 13m	-	-	CASTELLÓN	0,021	4h 17m	-	-
BILBAO	0,012	4h 50m	2h 30m	2h 20m	ORENSE	0,021	4h 34m	-	-
VITORIA	0,012	4h 07m	2h 30m	1h 37m	CUENCA	0,020	2h 01m	-	-
PONTEVEDRA	0,011	6h 44m	-	-	BURGOS	0,013	2h 12m	-	-
LOGROÑO	0,011	3h 15m	-	-	LOGROÑO	0,012	2h 45m	-	-
LA CORUÑA	0,010	7h 24m	2h 50m	4h 34m	PONTEVEDRA	0,011	5h 52m	-	-
BADAJOS	0,009	4h 09m	2h 25m	1h 44m	LA CORUÑA	0,009	6h 32m	2h 50m	3h 42m
SORIA	0,006	2h 33m	-	-	BADAJOS	0,007	4h 09m	2h 25m	1h 44m
BURGOS	0,006	3h 04m	-	-	ZAMORA	0,006	1h 58m	-	-
ZAMORA	0,005	2h 50m	-	-	SORIA	0,005	2h 33m	-	-
LUGO	0,002	6h 40m	-	-	GUADALAJARA	0,002	0h 35m	-	-
GUADALAJARA	0,001	0h 35m	-	-	LUGO	0,002	6h 40m	-	-

Fonte – Dati propri, basati su informazioni desunte da [20] - Source: Own source, based on data from [20]

Nota: le differenze nei tempi di percorrenza in corsivo e grassetto indicano valori negativi (tempi di percorrenza inferiori per il trasporto ferroviario rispetto al trasporto aereo).

Note: differences in travel time in bold italics indicate negative values (travel by railway shorter than travel time by air transport).

struttura mista nel 2009. Questo gruppo comprende 17 città: Palencia, León, Burgos, Zamora, Santander, Oviedo, San Sebastián, Vitoria, Bilbao, Orense, Pontevedra, La Coruña, Granada, Huelva, Cadice, Logroño e Pamplona. Nelle ultime quattro città non si è prodotto alcun cambiamento nelle infrastrutture ferroviarie, le quali sono miste in entrambi gli scenari, anche se si sono portate a termine delle modifiche nel materiale rotabile utilizzato. In queste quattro tratte si può notare come i treni più veloci, che non hanno bisogno di soste per cambiare scartamento, hanno registrato riduzioni simili a quelle ottenute con il cambiamento dell'infrastruttura. Per questa ragione, sono state incluse in questo gruppo.

Gruppo 3:

Città collegate a Madrid tramite linee AV in entrambi gli scenari. Questo gruppo comprende 7 città: Cordova, Ciudad Real, Guadalajara, Lérida, Saragozza, Siviglia e Huesca.

Gruppo 4:

Città collegate a Madrid tramite linee convenzionali in entrambi gli scenari. Quest'ultimo gruppo comprende 14 città: Soria, Cuenca, Albacete, Cáceres, Alicante, Almería, Valencia, Murcia, Castellón, Ávila, Salamanca, Lugo, Badajoz e Jaén. In questo gruppo si può fare una distinzione tra le tratte dotate di linee convenzionali "di alta qualità" con velocità massime di 160-200 km/h (Albacete, Alicante, Valencia, Murcia e Castellón) e tutte le altre tratte, le cui infrastrutture sono di "qualità inferiore".

La tabella 5 mostra a quale gruppo appartiene ogni corridoio. I corridoi ferroviari interessati dall'ampliamento della rete AV (Gruppi 1 e 2) sono ordinati a seconda della riduzione nel tempo di percorrenza. I corridoi restanti (Gruppi 3 e 4) sono ordinati a seconda della variazione della domanda.

Come si può dedurre dalla tabella 5, le riduzioni dei tempi di percorrenza in seguito all'ampliamento della rete AV (Gruppi 1 e 2) variano tra l'11,70% a Tarragona e il 70,24% a Segovia (con una media del 25,32% e una deviazione standard del 16,08%). I corridoi ferroviari interessati dall'ampliamento della rete AV hanno registrato degli aumenti della domanda compresi tra il 10,00% a La Coruña e il 601,32% a Toledo (con una media del 145,18% e una variazione standard del 147,40%). L'aumento maggiore della domanda si è registrato nei collegamenti ferroviari del Gruppo 1 (con le uniche eccezioni di Oviedo e Guadalajara, che superano Malaga, nonostante la tabella 3 mostri come la domanda per questi collegamenti sia molto inferiore), nei quali si sono registrate anche le riduzioni più importanti nel tempo di percorrenza (questo se si escludono Barcellona e Tarragona, due città vicine a Lérida, un centro urbano già collegato alla rete AV nello Scenario Uno, e Palencia, la cui vicinanza a Valladolid ha prodotto una riduzione del tempo di percorrenza). Se si osservano le tabelle 4 e 5, si può notare che la domanda è aumentata più del

TABELLA 5 – TABLE 5

DOMANDA E VARIAZIONE DEL TEMPO DI PERCORRENZA TRA LO SCENARIO UNO E LO SCENARIO DUE DEMAND AND TRAVEL TIME VARIATION BETWEEN SCENARIOS ONE AND TWO

Gruppo Group	Capoluogo di provincia Provincial Capital	Variazione della domanda Demand Variation (%)	Variazione tempo di percorrenza Travel Time Variation (%)
1	SEGOVIA	354,57	-70,24
1	VALLADOLID	262,52	-55,80
1	TOLEDO	601,32	-53,59
2	PALENCIA	23,06	-43,21
1	MALAGA	175,55	-31,44
2	LEÓN	135,51	-30,63
2	ZAMORA	44,66	-30,42
2	BURGOS	158,84	-28,11
2	SANTANDER	51,76	-22,42
2	OVIEDO	207,80	-21,38
2	VITORIA	125,29	-20,95
2	GRANADA	25,34	-19,74
2	BILBAO	152,78	-17,85
2	SAN SEBASTIÁN	54,77	-16,32
2	ORENSE	41,76	-15,95
2	LOGROÑO	33,35	-15,34
2	PAMPLONA	60,75	-14,83
2	HUELVA	94,59	-13,08
2	PONTEVEDRA	19,12	-12,89
1	BARCELONA	329,31	-12,86
2	CADICE	36,87	-11,81
2	LA CORUÑA	10,00	-11,73
1	TARRAGONA	339,57	-11,70
3	GUADALAJARA	272,71	0,00
3	HUESCA	96,27	0,00
3	SARAGOZZA	48,61	0,00
4	SALAMANCA	22,33	0,00
4	JAÉN	21,06	0,00
4	CÁCERES	15,98	0,00
3	LÉRIDA	13,48	0,00
4	ALMERÍA	11,86	0,00
4	MURCIA	11,73	0,00
4	VALENCIA	10,78	0,00
4	ALBACETE	8,80	0,00
4	LUGO	7,93	0,00
3	CORDOVA	3,12	0,00
4	ÁVILA	2,74	0,00
3	CIUDAD REAL	2,66	0,00
3	SIVIGLIA	2,54	0,00
4	ALICANTE	2,54	0,00
4	BADAJOS	-2,58	0,00
4	CASTELLÓN	-2,95	0,00
4	SORIA	-15,11	0,00
4	CUENCA	-18,73	0,00

Fonte: [20] e fonte propria - Source: [20] and Own source

10% in tutti i collegamenti ferroviari con una domanda relativa bassa nello Scenario Uno e che sono stati interessati dall'ampliamento della rete AV (per esempio, i collegamenti ferroviari a bassa domanda appartenenti ai Gruppi 1 e 2).

Di conseguenza, la domanda di trasporto è aumentata considerevolmente su ogni linea ferroviaria in cui il servizio è migliorato con l'arrivo del primo treno AV (indipendentemente dal fatto che questo transiti su una linea AV o convenzionale per tutto il percorso) o con l'entrata in servizio di treni più rapidi. Questa analisi preliminare indica che la domanda di trasporto è molto elastica rispetto ai tempi di percorrenza più brevi perché, in generale, gli aumenti della domanda sono molto più alti delle riduzioni di tempo.

Se si prendono in esame i collegamenti ferroviari le cui infrastrutture non sono cambiate in nessuno dei due scenari (Gruppi 3 e 4), si nota che l'evoluzione della domanda è molto varia. Da un lato, si registrano aumenti della domanda considerevoli nei collegamenti ferroviari del Gruppo 3 che appartengono alla linea Madrid-Barcellona-Francia (confine) aperta nel 2003 (con aumenti del 272,1% a Guadalajara, del 96,27% a Huesca, del 48,61% a Saragozza e del 13,48% a Lérida), come risultato della consolidazione del prodotto AV nel mercato e dell'aumento della frequenza. Inoltre, lo sviluppo urbano che ha avuto luogo con l'arrivo dei treni AV ha determinato un aumento della popolazione a Guadalajara (dove si è costruita una nuova area residenziale con 1 500 nuove case, "Ciudad Valdeluz", vicino alla stazione della rete AV) e a Huesca (dove la popolazione è aumentata del 7,30% nel periodo 2005-2009) [12]. In cambio, la crescita demografica ha contribuito all'aumento della domanda in queste due linee ferroviarie. Nel Gruppo 4 la domanda è stata ancora più eterogenea, registrando crescite e diminuzioni importanti, dovute, per la maggior parte, alle differenze nella qualità delle infrastrutture e al fatto che i treni operino sulla rete ferroviaria convenzionale. Pertanto, si sono verificati degli aumenti della domanda importanti a Salamanca (22,33%), una linea ferroviaria in cui è aumentata la frequenza dei treni, e a Jaén (21,06%), dove la qualità dei treni della linea ferroviaria è stata migliorata. Le diminuzioni più marcate della domanda si sono registrate a Cuenca e Soria (18,73% e 15,11% rispettivamente), in quanto le infrastrutture obsolete e il servizio ferroviario scadente non hanno potuto competere con il trasporto su strada.

I risultati, gruppo per gruppo, mostrano (tabella 5) che le riduzioni maggiori del tempo di percorrenza (dall'11,70% al 70,24%) e gli aumenti più importanti della domanda (dal 175,55% al 601,32%) si sono registrati nel Gruppo 1. Nel Gruppo 2, la riduzione del tempo di percorrenza varia dall'11,73% al 43,21% e l'aumento della domanda dal 10,00% al 207,80%. La variazione media della domanda è stata 343,81% nel Gruppo 1, 75,07% nel Gruppo 2, 62,77% nel Gruppo 3 e 5,45% nel Gruppo 4. Di

Group 3:

Cities linked to Madrid via HS lines in both scenarios. This includes seven cities: Cordoba, Ciudad Real, Guadalajara, Lerida, Saragozza, Seville and Huesca.

Group 4:

Cities linked to Madrid via conventional lines in both scenarios. This last Group includes 14 cities: Soria, Cuenca, Albacete, Caceres, Alicante, Almeria, Valencia, Murcia, Castellon, Avila, Salamanca, Lugo, Badajoz and Jaen. In this group a distinction can be made between the pairs with top-quality conventional lines and maximum speeds of 160-200 km per hour (Albacete, Alicante, Valencia, Murcia and Castellon) and all other pairs, whose infrastructure is of inferior quality.

Table 5 shows to which group each corridor belongs. The railway corridors affected by the extension of the HSR network (Groups 1 and 2) are ordered by the reduction in travel time. The remaining corridors (Groups 3 and 4) are ordered by demand variation.

As table 5 implies, the reductions in travel times due to the expansion of the HS network (Groups 1 and 2) vary between 11.70% for Tarragona and 70.24% for Segovia (with a 25.32% mean and 16.08% standard deviation). The railway corridors affected by the HS expansion experienced increases in demand ranging between 10.00% for La Coruña and 601.32% for Toledo (145.18% mean and 147.40% standard variation). The greatest increases in demand occurred in the railway links in Group 1 (the only exceptions being Oviedo and Guadalajara, which surpass Malaga, although table 3 shows that the demand for these links is much lower), where the sharpest reductions in travel time were seen (excepting Barcelona and Tarragona, two cities that are close to Lerida, a city that was already connected to the HSR network in Scenario One; and Palencia, whose proximity to Valladolid meant a similar reduction in travel time). A look at table 4 and table 5 at the same time shows that demand increased over 10% in all the railway links that had low relative demand in Scenario One and were affected by extension to the HS network (i.e., the low demand rail links of Groups 1 and 2).

Therefore, travel demand increased dramatically in every rail line where the rail service improved with the arrival of a HS train for the first time (regardless of whether it travels along a HS line along the entire route) or with the entry into service of swifter trains. This preliminary analysis suggests that travel demand is very elastic with respect to shorter travel times, because the increases in demand are generally much higher than the reductions in time.

If we consider the rail links whose infrastructure did not change in between the two scenarios (Groups 3 and 4), the evolution of demand is quite varied. On the one hand, important increases in demand occur in the Group 3 rail links that belong to the Madrid-Barcelona-French border line opened in 2003 (increases of 272.1% in

conseguenza, e come regola generale, la conclusione è che gli aumenti più significativi della domanda si sono registrati sulle linee ferroviarie dove il servizio era più moderno.

5. Effetti di altri modi di trasporto

Se si prende in esame il trasporto su strada, tra il 2005 e il 2009 si sono costruiti 2 368 km di autostrade, portando la lunghezza totale della rete stradale nel 2009 a 14 579 km di autostrade e 150 837 km di strade a due carreggiate [10]. L'ampliamento della rete autostradale ha determinato riduzioni dei tempi di percorrenza da Madrid a Cuenca (9,07%), a Salamanca (7,94%), a Zamora (3,71%), a San Sebastián (2,49%), a Soria (2,35%), a Logroño (1,58%), a Pamplona (1,09%) e a Huelva (1,07%). Come si può notare, queste riduzioni dei tempi di percorrenza sono di gran lunga inferiori rispetto a quelle ottenute con l'ampliamento della rete AV, che variano dall'11,70% al 70,24% (tabella 5). D'altro canto, le riduzioni più evidenti del tempo di percorrenza si sono verificate nei corridoi dove il trasporto ferroviario genera una domanda molto bassa (Cuenca, Zamora, San Sebastián e Soria) (tabella 4) o nei corridoi non interessati dall'ampliamento della rete AV (Salamanca). Di conseguenza, si può affermare che l'ampliamento della rete autostradale, durante il periodo di studio, non ha influenzato particolarmente la domanda di trasporto ferroviario di passeggeri nei corridoi interessati dall'ampliamento della rete ferroviaria AV.

Per quanto riguarda gli aeroporti, i tempi di percorrenza in aereo e i capoluoghi di provincia con voli diretti a Madrid sono rimasti invariati in entrambi gli scenari (con l'eccezione di Girona e Pamplona, i quali, nonostante abbiano registrato un aumento della frequenza, rappresentano soltanto il 5,42% del traffico aereo da e verso Madrid, ragione per cui Girona è stata esclusa dallo studio) [21], [22]. Non si sono registrate variazioni in relazione ai tempi di accesso/egresso degli aeroporti. Relativamente al servizio ferroviario, sono state costruite due stazioni lontano dal centro della città, aumentando in questo modo i tempi di accesso/egresso. Segovia e Tarracona Dato che queste due città non disponevano di voli diretti a Madrid durante il periodo di studio preso in considerazione (Segovia dista solo 68 km da Madrid), la competitività della ferrovia ad alta velocità con il trasporto aereo non è stata notevolmente influenzata dallo spostamento di queste due stazioni. Pertanto, si può dedurre che l'evoluzione della domanda di trasporto ferroviario di passeggeri non è stata influenzata in maniera importante dai tempi di percorrenza del trasporto aereo durante il periodo di studio.

In conclusione, se si considerano le variazioni nelle infrastrutture ferroviarie tra lo Scenario Uno e lo Scenario Due, si può analizzare l'evoluzione della competitività delle ferrovie AV con il trasporto aereo in termini di tempi di percorrenza. Avendo stabilito che i tempi di acces-

Guadalajara, 96.27% in Huesca, 48.61% in Saragossa and 13.48% in Lerida) as a result of the consolidation of the HSR product on the market and the increase in frequency. Moreover, the urban development that took place with the arrival of HS trains caused population growth in Guadalajara (where a new residential area with 1,500 new homes, "Ciudad Valdeluz", was built next to the new HS station) and Huesca (where the population grew 7.30% in 2005-2009) [12]. In turn, the population growth contributed to increased demand in these two rail connections. In Group 4 the demand was even more varied, ranging from growth to important drops, largely due to differences in infrastructure quality and the trains operating on the conventional rail network. Thus, important demand increases occurred in Salamanca (22.33%), a rail line in which train frequency increased, and in Jaen (21.06%), a rail line in which train quality was upgraded. The sharpest decreases in demand occurred in Cuenca and Soria (18.73% and 15.11%, respectively), because their obsolete infrastructure and poor rail services were unable to compete with road transport.

The group by group results show (table 5) that the sharpest reductions in travel time (from 11.70% to 70.24%) and increases in demand (from 175.55% to 601.32%) occurred in Group 1. In Group 2 the reduction in travel time ranges from 11.73% to 43.21% and the increase in demand ranges from 10.00% to 207.80%. The mean variation in demand was 343.81% in Group 1, 75.07% in Group 2, 62.77% in Group 3 and 5.45% in Group 4. Hence, as a general rule, the inference is that the sharpest increases in demand occurred in the rail lines where the rail service was upgraded the most.

5. Effects of other transport modes

Considering road transport, 2,368 new km of motorways were opened between 2005 and 2009, leading the road network to achieve a length of 14,579 km of motorways and 150,837 km of two-lane roads in 2009 [10]. This expansion produced reductions in motorway travel time from Madrid to Cuenca (9.07%), to Salamanca (7.94%), to Zamora (3.71%), to San Sebastian (2.49%), to Soria (2.35%), to Logroño (1.58%), to Pamplona (1.09%) and to Huelva (1.07%). As can be seen, these reductions in travel time are much lower than those achieved with the extension of the HS network, ranging from 11.70% to 70.24% (table 5). On the other hand, the greatest reductions in travel time took place in corridors where rail captures a very low demand (Cuenca, Zamora, San Sebastian and Soria) (table 4) or corridors not affected by the extension of the HS network (Salamanca). Therefore, it can be said that the extension of the motorway network during the study period did not significantly affect the demand for passenger rail in the corridors affected by HSR extension.

With respect to airports, flight travel times and provincial capitals with direct flights to Madrid were the same in

so/egresso delle ferrovie ad alta velocità e del trasporto aereo non hanno subito variazioni significative durante il periodo di studio, si può valutare il concetto di tempo non recuperabile. In generale, i passeggeri preferiscono trascorrere il tempo di viaggio in maniera utile, consultando documenti, utilizzando il proprio computer portatile o effettuando chiamate telefoniche. WUO e DEFLORIO [9] definiscono il tempo non recuperabile come il tempo non convertibile in lavoro durante un viaggio (per esempio il check-in e i controlli di sicurezza negli aeroporti, le parti iniziali e finali di un volo, o l'acquisto dei biglietti e il tempo impiegato per trovare il treno e il proprio posto a sedere). Gli autori stimano che il tempo non recuperabile è di 90 minuti maggiore nel trasporto aereo rispetto al trasporto ferroviario. Per ogni tratta considerata, il treno è l'opzione migliore se la durata del viaggio in treno è inferiore alla durata del viaggio in aereo (inclusendo i 90 minuti aggiuntivi di tempo non recuperabile). Ne consegue che, come si può vedere nella tabella 4, nel 2005 due tratte (Madrid-Siviglia e Madrid-Saragozza) sono diventate più competitive con la ferrovia ad alta velocità piuttosto che con l'aereo, e nel 2009 si è aggiunta anche la tratta Madrid-Málaga. In entrambi gli scenari, il collegamento AV Madrid-Lérida può competere con il trasporto aereo. In conclusione, considerando la centralità delle stazioni ferroviarie e calcolando un tempo massimo di accesso/egresso negli aeroporti di 30 minuti, si può affermare che i collegamenti ferroviari Madrid-Barcellona, Madrid-Pamplona e Madrid-León sono diventati competitivi con il trasporto aereo nello Scenario Due.

6. Stima dell'elasticità della domanda basata sul tempo di percorrenza

Prima di tutto, è ragionevole chiedersi se esiste una relazione tra le due variabili selezionate per l'analisi (fluttuazioni della domanda e del tempo di percorrenza nei Gruppi 1 e 2). Per il calcolo è stata utilizzata una correlazione di Pearson, il cui valore risultante è stato -0,545. Il valore assoluto di questo coefficiente indica una relazione notevole tra le due variabili nonostante i dati dispersi. Ciò giustifica la seguente analisi dell'elasticità della domanda basata sul tempo di percorrenza. In maniera prevedibile, il coefficiente negativo indicherebbe che la relazione tra le due variabili è inversa, ossia che a un tempo di percorrenza inferiore corrisponde un aumento della domanda.

6.1. Calcolo della domanda del tempo di percorrenza basata sull'elasticità

Avendo calcolato la variazione del tempo di percorrenza e la variazione della domanda in ogni tratta (tabella 5), si può trarre una stima della domanda di trasporto basata sull'elasticità rispetto al tempo di percorrenza (E_s).

$$E_s = \text{Variazione della domanda (\%)} / \text{Variazione del tempo di percorrenza (\%)} \quad (1)$$

both Scenarios (with the exception of Gerona and Pamplona, which gained in frequency, but represent only 5.42% of all air traffic to and from Madrid and moreover, Gerona had been withdrawn from the study) [21] [22]. Regarding access/dispersion time to airports, there were no changes. With respect to rail service, two stations were built away from the city center, thus increasing their access/dispersion times: Segovia and Tarragona. Because these two cities had no direct flights to Madrid during the study period (Segovia is just 68 km away from Madrid), the competitiveness of HSR versus air transport was hardly influenced by the transfer of these stations. Therefore, the evolution of passenger rail demand was not significantly influenced by changes in air transport travel time during the study period.

Finally, considering the rail infrastructure changes between Scenario One and Scenario Two, the evolution of the competitiveness of HSR respecting to air transport in terms of travel time can be analyzed. Having established that access/dispersion times to HSR and air transport modes hardly changed during the study period, the concept of unrecoverable time can be appraised. In general, passengers prefer to spend their travel time in useful ways, reading documents, using laptops or making phone calls. WUO and DEFLORIO [9] define unrecoverable time as the time that is not convertible into work time during the trip (checking-in and passing through security at airports, the initial and final stages of a flight, or buying tickets and looking for the train and seat). These authors estimate that the unrecoverable time is 90 minutes longer in air transport than in rail transport. For each city pair, then, the train is a better option if the duration of the trip by train is shorter than that by plane (including 90 minutes of unrecoverable additional time). Accordingly, as seen in table 4, there were two city pairs (Madrid-Seville and Madrid-Saragozza) more competitive by HSR than by plane in 2005, and one more in 2009 (Madrid-Málaga). In both scenarios the HSR connection Madrid-Lerida could compete with air transport. Finally, considering the greater centrality of railway stations, it can be said (considering a maximum access/dispersion time to airports of 30 minutes) that the rail connections Madrid-Barcelona, Madrid-Pamplona and Madrid-Leon became competitive with air transport in Scenario Two.

6. Estimation of elasticity of demand based on travel time

First, it is reasonable to wonder whether or not there is a relationship between the two variables selected for the analysis (demand and travel time fluctuations in Groups 1 and 2). A Pearson Correlation was used for calculation, giving a value of -0.545. The absolute value of this coefficient indicates a noteworthy relationship between the two variables despite the disperse data. This justifies the subsequent analysis of elasticity of demand

Successivamente, la domanda del tempo di percorrenza basata sull'elasticità è calcolata (secondo l'Equazione 1) per quelle tratte ferroviarie in cui è cambiato il tempo di percorrenza. Per valutare l'effetto globale dell'ampliamento della rete AV spagnola, la tabella 6 riporta un calcolo dell'elasticità per tutti i treni interessati (Gruppi 1 e 2) suddiviso nei valori più alti, più bassi, medi e di deviazione standard.

Secondo i risultati della tabella 6, l'elasticità della domanda rispetto al tempo di percorrenza è compresa tra il -4,70% e il -29,03% nel Gruppo 1 e tra lo -0,53% e il -9,72% nel Gruppo 2.

6.2. Discussione dei risultati

I risultati della tabella 6 indicano che i valori di elasticità (in termini assoluti) sono generalmente più alti nel Gruppo 1 rispetto al Gruppo 2. Inoltre, l'elasticità media

based on travel time. Predictably, the negative coefficient would indicate that the relationship between the two variables is inverse, that is, shorter travel time gives rise to an increase in demand.

6.1. Elasticity-based travel time demand calculation

Having calculated the variation in travel time and the variation in demand in each city pair (table 5), an estimation can be derived for elasticity-based travel demand compared to travel time (E_s).

$$E_s = \text{Demand variation (\%)} / \text{Travel time variation (\%)} \quad (1)$$

Next, the elasticity-based travel time demand is calculated (according to Equation 1) for those rail pairs in which travel time have varied. To evaluate the total effect of the expansion of Spain's HS network, table 6 gives a calcu-

TABELLA 6 – TABLE 6

STIMA DEL TEMPO DI PERCORRENZA BASATO SULL'ELASTICITÀ
ESTIMATION OF ELASTICITY-BASED TRAVEL TIME

Gruppo <i>Group</i>	Capoluogo di provincia <i>Provincial Capital</i>	Variazione domanda <i>Demand Variation (%)</i>	Variazione tempo di percorrenza <i>Travel Time Variation (%)</i>	Elasticità (Es) <i>Elasticity (Es)</i>	Es (media) <i>Es (mean)</i>	Es (deviazione) <i>Es (deviation)</i>	Es (media) <i>Es (mean)</i>	Es (deviazione) <i>Es (deviation)</i>
1	TARRAGONA	339,57	-11,70	-29,03	-13,53	11,00	-6,35	7,21
1	BARCELONA	329,31	-12,86	-25,60				
1	TOLEDO	601,32	-53,59	-11,22				
1	MALAGA	175,55	-31,44	-5,58				
1	SEGOVIA	354,57	-70,24	-5,05				
1	VALLADOLID	262,52	-55,80	-4,70				
2	OVIEDO	207,80	-21,38	-9,72	-3,82	2,76		
2	BILBAO	152,78	-17,85	-8,56				
2	HUELVA	94,59	-13,08	-7,23				
2	VITORIA	125,29	-20,95	-5,98				
2	BURGOS	158,84	-28,11	-5,65				
2	LEÓN	135,51	-30,63	-4,42				
2	PAMPLONA	60,75	-14,83	-4,10				
2	SAN SEBASTIÁN	54,77	-16,32	-3,36				
2	CADICE	36,87	-11,81	-3,12				
2	ORENSE	41,76	-15,95	-2,62				
2	SANTANDER	51,76	-22,42	-2,31				
2	LOGROÑO	33,35	-15,34	-2,17				
2	PONTEVEDRA	19,12	-12,89	-1,48				
2	ZAMORA	44,66	-30,42	-1,47				
2	GRANADA	25,34	-19,74	-1,28				
2	LA CORUÑA	10,00	-11,73	-0,85				
2	PALENCIA	23,06	-43,21	-0,53				

è maggiore (-13,53) sulle linee ferroviarie dove la linea AV è stata completata durante il periodo di studio (linee ferroviarie del Gruppo 1), piuttosto che nelle città collegate a Madrid per mezzo di linee ad infrastruttura mista (parte dell'itinerario con linea AV, Gruppo 2) (-3,82). In breve, ciò suggerisce che la domanda del tempo di percorrenza basata sull'elasticità aumenta in concomitanza con il miglioramento del servizio. Pertanto si può affermare che quanto più si riducono i tempi di percorrenza, più sensibile diventa la domanda rispetto alle suddette riduzioni.

La tabella 6 mostra che l'elasticità media, per tutte le linee ferroviarie interessate dall'ampliamento della rete AV nel periodo di analisi, è -6,35. Sulla base di questo risultato, si deduce che la domanda del tempo di percorrenza basata sull'elasticità è circa 2-3 volte maggiore rispetto alle stime effettuate da MARTIN e NOMBELA [16], ESTERAS [15] e CASCETTA et al. [4]. La differenza maggiore, presentata dai risultati ottenuti in questo studio rispetto agli studi precedenti effettuati in Spagna, può essere spiegata in parte analizzando la fonte dei dati, l'ambito dello studio e l'arco temporale (data) in cui è stato condotto. Per cominciare, gli studi precedenti sono basati su stime ricavate da sondaggi (preferenze dichiarate), mentre i dati presenti in questo studio sono stati messi a disposizione direttamente da RENFE e riflettono il reale comportamento degli individui (preferenze rilevate). Per quanto concerne l'ambito di studio, l'analisi di MARTIN e NOMBELA [16] considera l'intera rete ferroviaria (linee radiali e trasversali), mentre questo lavoro considera solamente delle linee radiali. La diversità dell'ambito di studio può essere piuttosto rilevante in un sistema di trasporto marcatamente radiale (particolarmente nella rete ferroviaria) come quello spagnolo. Infine, e forse più significativamente, questi due studi analizzano la situazione del trasporto in Spagna precedentemente all'ampliamento della rete AV (la quale è rimasta stagnante fino all'inaugurazione della linea Madrid-Siviglia nel 1992) e pertanto non valutano l'impatto delle linee costruite a partire dal 2003. Di fatto, l'inaugurazione del tratto Madrid-Lérida della linea AV Madrid-Barcellona-Francia confine si può considerare come la comparsa di un nuovo modo di trasporto, dato che ha costituito un salto qualitativo per la ferrovia (raggiungendo i 350 km all'ora). Fino ad allora, tutte le linee AV erano state costruite secondo gli stessi parametri,

7. Conclusioni

Per riassumere, la rete AV spagnola è aumentata di 552 km tra il 2005 ed il 2009, con nuove linee AV che collegano Madrid a sei capoluoghi di provincia in modo diretto, includendo città importanti come Barcellona, Málaga e Valladolid. L'ampliamento della rete AV ha ridotto dell'11,70%-70,24% i tempi di percorrenza su quelle linee, portando ad aumento della domanda di trasporto del 175,55%-601,32% (con un aumento medio del 258,75%).

Lo scartamento variabile dei treni AV percorrenti linee

lation of the elasticity for all the rail lines affected (Groups 1 and 2) in their highest, lowest, average and standard deviation values.

According to the results given in table 6, the elasticity of demand compared to travel time ranges from -4.70% to -29.03% in Group 1 and from -0.53% to -9.72% in Group 2.

6.2. Results and Discussion

The results in table 6 imply that the elasticity values (in absolute values) are generally higher in Group 1 than in Group 2. Moreover, average elasticity is higher (-13.53) in the rail lines where the HS line was completed during the study period (Group 1 rail lines) than in the cities that were linked to Madrid via mixed infrastructure (partial route via HS line, Group 2) (-3.82). In short, it can be inferred that elasticity-based travel time demand increases as service improves. Therefore, it could be held that the greater the reduction in travel time, the more sensitive demand becomes to those reductions.

Table 6 shows that average elasticity for all rail lines affected by the expansion of the HS network in the analysis period is -6.35. On the basis of this result, it can be inferred that the elasticity-based travel time demand is around 2-3 times greater than the estimations made by MARTIN and NOMBELA [16], ESTERAS [15] and CASCETTA et al. [4]. The major difference in the results obtained in this paper with respect to previous studies carried out in Spain could be explained in part by the source of the data, the scope of the study and the time (date) when it was conducted. To begin with, previous studies were based on estimations from surveys (stated preferences), whereas the data in this paper, provided directly by RENFE, reflects the actual behavior of individuals (revealed preferences). As for scope, MARTIN and NOMBELA'S study [16] considers the rail network as a whole (radial and transversal lines), whereas only radial lines are considered in this paper. This difference in study scope may be quite important in a markedly radial transport system (particularly in the rail network) such as Spain's. Finally, and perhaps most significantly, the two above studies analyze the situation of transport in Spain before the expansion of the HS network (which remained stagnant after the Madrid-Seville line was opened in 1992), and therefore they do not take into account the impact of the lines built from 2003 onwards. In fact, the opening of the Madrid-Lérida section of the Madrid-Barcelona-French border HS line could be considered as the emergence of a new transport mode, since it meant a qualitative leap for the railway (by attaining 350 km per hour). Since then, all HS lines have been built according to the same parameters.

7. Conclusions

To summarize, Spain's HS network grew 552 km in 2005-2009, with new HS lines making direct links between

ad infrastruttura mista ha permesso ad ulteriori 17 capoluoghi di provincia di migliorare i loro collegamenti ferroviari con Madrid. Ciò ha provocato una riduzione dei tempi di percorrenza dell'11,73%-43,21%, il che a sua volta ha favorito un aumento della domanda del 10,00%-207,80% in queste tratte (con un aumento medio del 105,09%).

Nelle città collegate con Madrid attraverso una linea AV tra il 2005 ed il 2009, i maggiori aumenti della domanda (dal 13,48% al 272,71% con una media del 62,77%) si osservano in alcune tratte della nuova linea Madrid-Barcellona-Francia (confine) come conseguenza dell'aumento della frequenza del servizio ferroviario, della crescita demografica di alcuni capoluoghi di provincia e del consolidamento di questo "nuovo" modo di trasporto nel mercato. Al contrario, per quanto riguarda la "vecchia" linea Madrid-Siviglia, la domanda è rimasta praticamente costante.

Le tratte ferroviarie che hanno dato luogo alle maggiori riduzioni dei tempi di percorrenza sono, più precisamente, anche quelle che hanno provocato il maggior incremento della domanda, il che mette in stretta relazione le due variabili (la correlazione di Pearson tra la domanda e la variazione del tempo di percorrenza è -0,545). Queste tratte includono le città che ora dispongono di collegamenti diretti a Madrid per mezzo di linee AV. Ciò dimostra che l'impatto sulla domanda è molto maggiore nel caso in cui una linea ferroviaria AV è composta interamente da un'infrastruttura nuova progettata specificamente per l'alta velocità piuttosto che da un'infrastruttura mista. Questi risultati non si sono visti particolarmente influenzati dal tempo di percorrenza, né dal trasporto su strada o aereo.

La stima sull'elasticità della domanda di trasporto rispetto al tempo di percorrenza si basa su dati reali (non sondaggi d'opinione) forniti da RENFE. In generale, la domanda di trasporto si è dimostrata essere molto elastica rispetto al tempo di percorrenza. L'elasticità della domanda rispetto al tempo di percorrenza è più alta nei corridoi le cui linee AV per Madrid sono state completate durante il periodo di studio (in media -13,53) rispetto alle linee ferroviarie in cui la linea AV non era stata ultimata e si componevano dunque di sola infrastruttura mista (in media -3,82). Il valore medio di elasticità ottenuto per tutte le linee incluse nell'ampliamento della rete AV spagnola è di -6,35.

In ogni caso, anche considerando che l'aumento della domanda e l'ottimizzazione dell'uso di un modo di trasporto come la ferrovia ad alta velocità sono ottenibili nel lungo termine, si può affermare che la domanda della rete ferroviaria AV in Spagna attualmente non giustifica la costruzione di linee AV. Perciò, secondo DE RUS et al. [23], dal punto di vista di un valore netto attuale positivo, la costruzione di una nuova ferrovia ad alta velocità con un livello di affluenza inferiore ai 6 milioni di passeggeri annui nel corso dell'anno di apertura può essere giustificata solamente da costi di costruzione contenuti e accentuate riduzioni dei tempi di percorrenza (la Spagna presentava queste condizioni). Anche in quel caso, considerando i 23 corridoi potenziati dall'ampliamento della fer-

Madrid and six new provincial capitals, including important cities such as Barcelona, Malaga and Valladolid. The expansion of the HS network reduced travel times 11.70%-70.24% on those lines, which led to a 175.55%-601.32% increase in the demand for travel (with an average increase of 258.75%).

The variable gauge HS trains running through mixed infrastructure allowed another 17 provincial capitals to improve their rail links with Madrid. This brought about 11.73%-43.21% reductions in travel time, which in turn produced 10.00%-207.80% increases in demand in these city pairs (with an average increase of 105.09%).

In the cities linked to Madrid by a HS line in 2005 and 2009, the sharpest increases in demand (from 13.48% to 272.71%, and 62.77% on average) are observed in some rail links of the new Madrid-Barcelona-French border line as a result of the increase in rail service frequency, population growth in some provincial capitals, and the consolidation of this "new" transport mode on the market. By contrast, on the "old" Madrid-Seville line the demand remained almost constant.

The rail links that caused the sharpest reductions in travel times are also precisely the ones that produced the largest increase in demand, which points to a close relationship between the two variables (Pearson's Correlation between demand and travel time variation is -0.545). These pairs comprised the cities that came to have direct HSR links to Madrid. This shows that the impact on demand is much greater when a HS train route is made entirely with new infrastructure specifically designed for high speed rail, rather than mixed infrastructure. These results were not significantly affected as far as travel time is concerned, either by road, or by air transport.

The estimate of the elasticity of travel demand with respect to travel time was based on real data (not surveys) supplied by RENFE. In general, travel demand proved to be very elastic with respect to travel time. The elasticity of demand with respect to travel time is higher in the corridors whose HS line to Madrid was completed during the study period (-13.53, on average) than on those rail lines where the HS line was not finished and therefore only mixed infrastructure existed (-3.82, on average). The mean value of elasticity obtained for all the lines that were included in the extension of Spain's HS network is -6.35.

In any case, even considering that capturing higher demand and optimal use of a mode of transport such as HSR can be expected in the long term, it could be said that the demand for HSR in Spain does not justify building HS lines at the present time. Thus, according to DE RUS et al. [23], from the point of view of a positive net present value, building a new HSR with a level of patronage below 6 million passengers per annum in the opening year could only be justified in the case of low building costs and sharp reductions in travel time (Spain did have these conditions). Even so, considering the 23 corridors enhanced by the ex-

rovia ad alta velocità spagnola (6 corridoi che utilizzano le nuove linee AV e 17 collegamenti ferroviari che le utilizzano in parte), nell'anno 2009 si raggiunsero solo 9,41 milioni di passeggeri [21]. Questo è un dato che dà un'idea del sottoutilizzo della rete ferroviaria spagnola e sottolinea quanto sia discutibile il suo recente ampliamento secondo una prospettiva economica.

Ringraziamenti

I risultati mostrati in questo articolo provengono dal Progetto di ricerca "Strumento per la valutazione degli effetti sociali, economici e territoriali dei Piani delle infrastrutture di trasporto. Valutazione del PEIT" (ref.: TRA2007-63564), finanziato dal Ministro della Scienza e dell'Innovazione della Spagna. Gli autori vogliono ringraziare il signor Enrico URKIJÓ, ex amministratore delegato della Divisione passeggeri di RENFE-Operadora, per aver fornito i dati sui passeggeri senza i quali questa analisi non sarebbe stata possibile.

pansion of Spain's HSR network (six corridors that use new HS lines and 17 rail links that use them partially), a total of just 9.41 million passengers per year was attained in 2009 [21]. This datum gives an idea of the under-utilization of Spain's railway network, and underscores how questionable its recent expansion is from an economic point of view.

Acknowledgements

The results showed in this article come from the Research Project "Tool for the evaluation of the social, economic and territorial effects of Transport Infrastructure Plans. Evaluation of the PEIT" (ref.: TRA2007-63564), funded by the Ministry of Science and Innovation of Spain. The authors would like to express their acknowledgement to Mr Enrique URKIJÓ, former Managing Director of RENFE-Operadora Passengers Department, for supplying the passenger data without which this analysis would not have been possible.

BIBLIOGRAFIA - REFERENCE

- [1] UIC (2012), "Statistical Pocketbook 2011", Union Internationale des Chemins de Fer-International Union of Railways. Available on: <http://ec.europa.eu/transport/facts-fundings/statistics/doc/2011/pocketbook2011.pdf>. Accesso: 16 dic 2012.
- [2] CAMPOS J. and DE RUS G. (2009) "Some stylized facts about high-speed rail: A review of HSR experiences around the world", *Transport Policy* 16(2009)19-28.
- [3] LEE J.-H. and CHANG J.S. (2006), "Effects of High-Speed Rail Service on Shares of Intercity Passenger Ridership in South Korea", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 1943, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., 2006, pp. 31-42.
- [4] CASCETTA E., PAPOLA A., PAGLIARA F. and MARZANO V. (2011), "Analysis of mobility impacts of the high speed Rome-Naples rail link using within day dynamic mode service choice models", *Journal of Transport Geography* 19, 635-643.
- [5] VICKERMAN R. (1997), "High-speed rail in Europe: experience and issues for future development", *The Annual of Regional Science* 31(1), 21-38.
- [6] NASH C. (2009), "When to invest in high-speed rail links and networks? OECD/ITF for 18th International Transport Research Symposium", Madrid 2009, <http://www.internationaltransportforum.org/jtrc/discussionpapers/DP200916.pdf>. Accesso: 1 ott 2010.
- [7] CHENG Y.-H. (2009), "High-speed rail in Taiwan: New experience and issues for future development", *Transport Policy* 17 (2010) 51-63.
- [8] UREÑA J.M., MENERAULT P. and GARMENDIA M., (2009), "The high-speed rail challenge for big intermediate cities: A national, regional and local perspective", *Cities* 26, 266-279.
- [9] WUO M. and DEFLORIO F., (2010), "La rete ferroviaria ad alta velocità in alternativa al trasporto aereo su scala continentale Europea", *Ingegneria Ferroviaria* 11.
- [10] MFOM (2010), "Los transportes, las infraestructuras y los servicios postales", Informe Anual 2009. Ministro dello Sviluppo. Centro de Publicaciones, Secretaría General Técnica. Madrid. <http://www.fomento.gob.es/MFOM.CP.Web/listapublicaciones.aspx?c=Transportes>. Accesso: 17 set 2010.
- [11] MFOM (2006), "Los transportes, las infraestructuras y los servicios postales", Informe Anual 2005. Ministro dello Sviluppo. Centro de Publicaciones, Secretaría General Técnica. Madrid. www.fomento.es. Accesso: 7 giu 2010.
- [12] INE (2010), "Instituto Nacional de Estadística", Padrón 2009. www.ine.es. Accesso: 6 dic 2012.

- [13] FBBVA (2010), "Cuadernos Fundación BBVA", Población. www.fbbva.es. Accesso: 6 dic 2012.
- [14] COUTO A. and GRAHAM D.J., "The impact of high-speed technology on railway demand", *Transportation* 35 (2008) 111-128.
- [15] ESTERAS M. (1998), "Evolución y prognosis de la demanda y el reparto modal de viajes peninsulares de largo recorrido", *Actas del III Congreso de Ingeniería del Transporte*, CIMNE, Barcelona.
- [16] MARTIN J.C. and NOMBELA G. (2008), "Impacto de los nuevos trenes AVE sobre la movilidad", *Revista de Economía Aplicada* Número 47 (vol. XVI), 2008, 5-23.
- [17] MFOM (2000), "Plan de Infraestructuras del Transporte 2000-2007", Ministerio dello Sviluppo. www.fomento.es. Accesso: 1 giu 2010.
- [18] MFOM (2005), "PEIT: Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte 2005-2020", Ministerio dello Sviluppo. www.fomento.es. Accesso: 3 giu 2010.
- [19] ADIF (2005), "Memoria de Actividad y Financiera", Anno 2005. http://www.adif.es/ca_ES/conoceradif/doc/MemoriaFinanciera2005.pdf. Accesso: 10 dic 2010.
- [20] RENFE (2010), "Passengers Statistical Data. RENFE-Passengers Department",
- [21] AENA (2006), "Memoria Anual 2005", <http://www.aena.es/csee/Satellite/Aena/es/Page/1043051457947/Acerca-de-Aena.html>. Accesso: 20 feb 2011.
- [22] AENA (2010), "Memoria Anual 2009", <http://www.aena.es/csee/Satellite/Aena/es/Page/1043051457947/Acerca-de-Aena.html>. Accesso: 22 feb 2011.
- [23] DE RUS G. and NASH C.A. (2007), "In what circumstances is investment in HSR worthwhile?", Institute for Transport Studies. University of Leeds. ITS Working Paper 590. Munich Personal RePEc Archive. <http://mpa.ub.uni-muenchen.de/8044/>. Accesso: 17 nov 2012.

**AL FINE DI AGEVOLARE LE COMUNICAZIONI
I SIGNORI SOCI O ABBONATI CHE SONO IN POSSESSO
DI INDIRIZZO E-MAIL
SONO PREGATI DI SEGALARLO
ALLA SEGRETERIA GENERALE DEL COLLEGIO
ALL'INDIRIZZO: areasoci@cifi.it**