



La rete ferroviaria ad alta velocità in alternativa al trasporto aereo su scala continentale Europea

High-speed railways as an alternative for air transport in Europe

Dott. Ingg. M. WUO LOPES^() – Francesco DEFILORIO^(**)*

1. Premessa

L'obiettivo di questo studio è fornire alcuni elementi quantitativi per la comparazione dei collegamenti ferroviari, aventi prestabiliti livelli di velocità, con quelli aerei, con riferimento al tempo di viaggio tra aree metropolitane. Su scala continentale europea, sono state rappresentate entrambe le reti e vengono analizzati alcuni scenari significativi di miglioramento della rete ferroviaria. Sulla base delle prestazioni dei due servizi di trasporto, misurate in termini di tempi di viaggio per gli utenti che si spostano fra le principali città europee, sono ricavate delle indicazioni sulle soglie di convenienza, in termini di distanza, e sulle potenzialità di miglioramento per il trasporto ferroviario.

2. Introduzione

Uno dei più importanti aspetti del trasporto è riconducibile alla necessità di raggiungere una destinazione in modo affidabile, efficiente e sicuro. L'introduzione delle linee ferroviarie ad alta velocità ha trasformato la modalità di trasporto su rotaia, rendendola maggiormente adeguata alle aspettative dei fruitori del servizio con riferimento a tali obiettivi.

In seguito alla liberalizzazione del mercato di trasporto aereo in Europa, attuata di fatto negli anni '90, numerose compagnie hanno avviato la propria offerta di servizi per i cittadini europei. La nuova configurazione del mercato è stata responsabile della caduta delle tariffe dei voli e della conseguente attrazione di quei passeggeri che prima non prendevano in considerazione l'aereo come opzione di trasporto.

L'obiettivo di questo studio è fornire un'analisi quan-

1. Abstract

The aim of this study is to provide elements for the comparison between rail and air connections, related to travel times between metropolitan areas. On a European level both rail and air networks are represented and an analysis has been conducted considering planned improvements on the European railway network. Based on the cities defined, indicators have been calculated aiming at establishing the threshold of convenience for rail transport over air.

2. Introduction

One of the important aspects of transportation is the necessity to get from one place to another in a reliable, efficient and safe way. The introduction of high-speed railways transformed rail transport, meeting users' expectations related to the aforementioned goals.

Following the air market opening in Europe in the 90's, new airlines started serving the EU population to and from a variety of destinations. The open market also played a key role on dropping the prices and attracting more passengers, who would previously leave air travel out of their plans.

The purpose of this study is to establish the ranges within which railways can be regarded as a viable alternative to air transport, mainly in terms of travel time from one city centre to another, considering main European cities. Both networks are represented and, on the rail network, designed improvements were progressively applied and analyzed.

A deterministic approach has been taken into consideration, leaving aside the stochastic factors usually intro-

^(*) Ingegnere Civile – Trasporti, consulente in São Paulo, Brasile.

^(**) Politecnico di Torino – Dipartimento DITIC – Trasporti.

^(*) Civil Engineer - Transports, consultant in São Paulo, Brazil.

^(**) Politecnico di Torino - DITIC - Transportation Engineering.

titativa dei tempi di collegamento fra le principali città europee e stabilire la lunghezza dello spostamento per la quale le ferrovie possano essere considerate una valida alternativa al trasporto aereo, con riferimento, in particolare, al tempo di viaggio tra aree metropolitane su scala continentale europea; entrambe le reti sono state rappresentate, considerando per le ferrovie alcuni scenari che progressivamente integrano la dotazione infrastrutturale.

Per la quantificazione dei tempi delle alternative è stato adottato un approccio deterministico, trascurando i fattori stocastici, generalmente adottati nei modelli di scelta modale e che avrebbero richiesto un processo di calibrazione e validazione del modello, basato su dati provenienti da indagini da effettuarsi sul campo, con riferimento ad un'area molto estesa. Al fine di rendere l'analisi comparativa omogenea è stato introdotto il concetto di *tempo recuperabile* per gli utenti durante il viaggio, che può includere anche un termine connesso ai ritardi del servizio.

3. La situazione attuale in Europa

Nel ventesimo secolo, in particolare la seconda metà, la necessità di costruire nuove infrastrutture di trasporto ha guidato molte decisioni politiche in materia di trasporti. L'obiettivo era stabilire un'adeguata rete di trasporto, adatta a soddisfare una domanda in continua crescita. L'approccio era prevalentemente basato, in sintesi, su previsioni di domanda e la conseguente costruzione di infrastrutture per soddisfarla. Il risultato di tale approccio, che non di rado era basato su errate previsioni di domanda, può essere riscontrato nei diversi luoghi dove la rete di trasporto costruita è chiaramente oltre un livello ragionevole o necessario. Per contro, su alcune tratte, si riscontrano livelli di traffico ed uso di risorse insostenibile, che hanno ulteriormente accentuato i problemi di saturazione delle infrastrutture, generando anche costi elevati di manutenzione, dovuti ad interventi straordinari.

La tendenza alla crescita della mobilità dello scorso secolo si confronta con una serie di fattori che possono oggi limitare tale trend; alcuni di questi sono conseguenze dirette dello sviluppo stesso, verificatosi durante il secolo scorso, mentre altri sono emersi come nuove condizioni, non direttamente legate ai trasporti, ma in ambito ambientale o tecnologico, a livello internazionale se non mondiale. Cinque tipologie di requisiti sono stati analizzati di seguito, che possono costituire dei vincoli per il sistema o delle opportunità: energia, sicurezza, uso del territorio, costo di manutenzione e ICT (*Information and Communication Technology*).

L'uso dell'*energia* è diventato in tempi recenti un fattore rilevante, con riferimento all'efficienza di un modo di trasporto. Il prezzo del petrolio nel mercato internazionale è risultato in crescita sin dall'inizio del secolo XXI, pur con momenti in controtendenza. In particolare dall'inizio

deducendo per un modello di scelta modale, richiedendo calibrazione e validazione e, in turn, estensiva survey would have to be conducted due to the dimensions of the area studied. To reduce the limits of such approach, which is known to be non-exhaustive, the concept of recoverable time during the trip was introduced.

3. The European network

During the 20th Century, especially in the post-war period, the need of new transportation infrastructures drew the behaviour of transport planners and policy makers as it was their opinion that such infrastructures provided an essential support to the economic growth and increase of wealth in their countries. The main concern was to provide the adequate infrastructure to support projected requirements. Consequently the dominant approach was to forecast and build to meet such projection, constantly based on misleading demand forecasts. As a result in many places there has been a heavy overbuilding of physical transportation infrastructures, but in other cases this led to unsustainable levels of traffic and resource use. This growth in the number of people's movements eventually led to problems such as traffic congestion and high maintenance costs, among others.

The existing trend of growth is expected to face some resistance from different limiting factors, some of them are consequences of how the development took place in the past, and others are related to new global challenges. There are at least five factors which can be pointed out and are likely to contribute to such asymptotic tendency. Two of them are widely discussed hereinafter: Energy and Safety & Security. The other three are Land Use, Maintenance Cost and ICTs affecting Human Relations.

Firstly, energy efficiency has become the key factor in the definition of a mode of transport. Since early XXI century, oil price on international markets has been growing steadily, apart from short periods of stability. Right from the beginning of 2008 the world economy has proved to be more and more unfavourable to oil-based fuels consumption, hence to transport. As air transport relies essentially on this type of fuels, it's too obvious that it's been heavily suffering from the new situation. Conversely, trains can use energy deriving from various sources and their cost is not so affected by oil prices fluctuations. According to IATA (International Air Transport Association) [21], in air transport energy weighs 30-35% upon total service cost.

Secondly, there is Safety and Security. One implication is associated with accidents: the number of events is proportional to the number of trips, for a given safety level, and consequently preventive policies that aim to rationalize mobility. The other implication, security, is associated with interventions aimed to guarantee uneventful system's operation, i.e. terrorist attacks. Airports usually have a

del 2008 si è osservato uno scenario economico sempre più sfavorevole al consumo di combustibili derivati dal greggio quindi ai trasporti. Considerando i due modi di trasporto analizzati, l'aereo è sicuramente penalizzato da questa tendenza, giacché *dipende pressoché interamente dell'uso di carburante derivato dal petrolio*, mentre il treno fa un uso più differenziato di fonti energetiche, derivando evidentemente l'energia elettrica da molteplici fonti. Nel trasporto aereo i costi energetici incidono indicativamente per circa il 30-35% sul costo complessivo per l'erogazione del servizio, secondo dati forniti dalla IATA (International Air Transport Association) [21].

Il secondo punto decisivo nel futuro oggi atteso per la mobilità è la *sicurezza*, in inglese differenziabile tra *Safety* e *Security*. La prima implicazione è connessa all'incidentalità: il numero di eventi è proporzionale al numero di spostamenti, per un prefissato livello di sicurezza, e di conseguenza alcune politiche preventive indirizzano verso una riduzione o una razionalizzazione della mobilità. La seconda, la *Security*, è legata agli interventi finalizzati a garantire un funzionamento senza eventi pericolosi, come quelli connessi, per esempio, ad azioni di terrorismo. Nel trasporto aereo si possono osservare azioni legate alla sicurezza negli aeroporti, dove i passeggeri devono rispettare restrizioni normative e sono sottoposti a verifiche personali.

Il *territorio* è legato alle politiche ambientali che pongono serie limitazioni sia all'espansione sia alla costruzione di nuove infrastrutture di trasporto. Studi di impatto ambientale devono essere condotti ormai da anni già in fase di progettazione preliminare, in ottemperanza alle leggi ed alle politiche ambientali, che non possono essere trascurate.

Un quarto punto che limita la crescita ingiustificata delle infrastrutture è legato al loro costo di *manutenzione*. In modo simile a quello che è avvenuto con le reti stradali, lo sviluppo abbondante di nuove infrastrutture porta ad un problema che si è manifestato in modo rilevante negli anni non immediatamente successivi all'entrata in servizio, connesso ad una corretta manutenzione. Un'estesa rete porta con sé elevati costi dovuti agli oneri di conservazione e mantenimento tecnologico al passo con i tempi.

Infine l'*ICT* fornisce il suo contributo al sistema dei trasporti, nel senso che un uso esteso delle tecnologie telematiche (comunicazione, localizzazione, identificazione automatica, automazione e informatizzazione) può portare anche ad una riduzione nel numero di spostamenti effettuati. Secondo quanto individuato in [24], ICT e i trasporti possono sovente essere sostitutivi uno all'altro: ad esempio, un maggiore uso di ICT può ridurre la domanda di trasporto, se ciò permette la sostituzione di attività presso i luoghi di residenza o le abituali sedi lavorative, per quelle che tradizionalmente richiedevano uno spostamento. Ciò diverrebbe forse necessario se la risorsa petrolio divenisse un problema permanente per i trasporti. Tuttavia va osservato che si possono rilevare anche fenomeni di incremento della domanda passeggeri, come conse-

more ostensive security system, where passengers are subject to thorough scanning.

Land Use is directly linked to environmental concerns, which put a great deal of pressure when expansion or building of new infrastructure are suggested. Extensive studies must be carried out to guarantee that new infrastructures will be compliant with laws and guidelines established to protect the environment.

A second concern which may pose a threat to increasing mobility trends is the cost associated with transportation infrastructure maintenance. It has been observed that a huge overbuilding of motorways took place in the 20th century. Among the consequences of this behaviour is the high costs governments and infrastructure operators must sustain to keep them at satisfactory levels. The building of new infrastructures, regardless of which transport mode makes use of them, is expected to lead to a similar cost escalation, further posing resistance to the increase of mobility levels.

Finally there are the ICTs - Information and Communication Technologies - which are influencing transports in every aspect. More efficient means of communication means that activities can now be made by distance and that physical presence is somehow unnecessary. This undoubtedly discourages people to move from one place to another. ICTs facilitate an even more dramatic collapse of space with respect to time [24]. Although ICTs may well work in collaboration with transports, it is the possibility of substitution that is being addressed as a limiting factor. In line with the cutting of costs currently under way on a global scale, companies may well prefer to invest on new ICT which, on the long-term, may cut expenditures with employees' travels. This might become particularly important if oil becomes a permanent problem. Shopping over the internet, however, may cause an increase of demand as a consequence of the rising number of trips to deliver goods purchased online.

3.1. Air transport

Following the introduction of the jet engine in 1956, air travel has seen a spectacular growth in the number of flights, destinations covered and passengers transported. Improvements such as composite airframes and quieter, more efficient engines have become available, but the most important innovations have taken place in instrumentation and control.

The air transport market was born and was heavily regulated. In 1997 the European Union proceeded with market opening, granting every European Airline with the right to fly from any point in EU territory to any other point without restrictions on passenger quota, fare price or territorial presence. Open Skies brought about the establishment of new airlines now able to transport a larger number of passengers than in the 80's.

guenza della maggiore facilità di reperire informazioni, e della domanda merci per effetto degli acquisti di beni tramite internet (*e-commerce*).

3.1. Trasporto aereo

In seguito all'introduzione del motore a reazione o *jet* nel 1956, l'aviazione ha riscontrato una notevole crescita nel numero di viaggi disponibili, destinazioni collegate e passeggeri trasportati. Si sono verificati, inoltre, miglioramenti nelle tecnologie di controllo di volo, strumenti ed aerodinamica.

Il mercato aereo, dopo la sua nascita, è sempre stato connotato da una forte regolamentazione da parte dei Governi. Questo però è cambiato di fatto nel 1997, con l'inizio di una serie di misure aventi l'obiettivo di trasformare i cieli europei in un'area di libera concorrenza. I cieli aperti hanno permesso la nascita di nuove compagnie che, oggi, trasportano molti passeggeri rispetto agli anni '80 nei diversi punti del continente Europeo.

L'impatto del prezzo crescente del petrolio, dell'ordine del 20-30% nell'arco di pochi anni, prescindendo da picchi temporanei, ha fatto salire ad oltre 30-35% la quota parte del carburante nel totale dei costi operativi dalle compagnie aeree. Tra diverse misure prese dalle aziende per cercare di mitigare questo problema si evidenzia il ritiro anticipato di aerei vecchi ed inquinanti.

Dal punto di vista dell'infrastruttura, il trasporto aereo dipende dalla capacità degli aeroporti, che in Europa sono divenuti, progressivamente, saturi – Londra Heathrow o Parigi Orly per esempio – e dalla capacità del controllo di traffico. La costruzione di nuovi aeroporti o l'ampliamento degli esistenti sono entrambi soggetti alle restrizioni ambientali, di cui si è già parlato. Su scala continentale, l'Ente responsabile per la sicurezza della navigazione aerea sta riorganizzando da diversi anni il controllo del traffico aereo, unendo quelli che oggi sono diversi settori nazionali per stabilire un "cielo unico" sovranazionale.

Le velocità raggiunte dagli aerei moderni si aggira intorno ai 750 a 900 km/h per i voli commerciali, secondo dati disponibili in [1] [2] [37]. Poiché si tratta di una velocità massima, il tempo di viaggio totale dello spostamento può fornire un'indicazione più corretta ed affidabile per la stima della velocità commerciale tra origine e destinazione.

Considerando ancora i voli su scala continentale, solitamente le capacità in termini di passeggeri per velivolo, si aggira tra le 100 e 250 persone, in funzione del modello di aeromobile utilizzato.

3.2. Trasporto ferroviario

Le ferrovie nascono nel 1825, quando il primo treno compì il viaggio tra *Stockton* e *Darlington* in Inghilterra.

The impact of rising oil prices, in the range of 20 to 30% in a few years, has driven airlines' fuel share to 30-35% of total operational costs. Among several measures adopted by airlines is the retirement of old and less fuel efficient aircrafts.

As for infrastructures, air transport strongly depends on airports, already becoming saturated in the European continent – London Heathrow or Paris Orly for instance – and air traffic control capacity. The construction of new airports or interventions in existing ones are both subject to the above mentioned environmental restrictions. The agency responsible for Air Traffic Control in Europe is reorganizing its systems, uniting several national sectors to establish a "single continental sky".

According to data available in [1] [2] [37], speed achieved by modern aircrafts ranges between 750 and 900 km/h, for commercial flights. Since these values refer to maximum speed, total travel time provides a more accurate and reliable value of average speed between origin and destination.

Besides, the usual seating capacity of aircrafts on continental flights ranges from 100 to 250 passengers, depending on the model.

3.2. Rail transport

Railways date back as far as 1825 when the first train travelled on the Stockton-Darlington in the UK. The steam engine used remained for some time the exclusive source of energy for this mode of transport until hydrocarbon fuels and electricity started to be used. According to [6], the real motivation behind the development of railways is the reduced tractive effort required to keep heavy loads in motion. Acceleration, however, requires a greater amount of energy, only justifiable on medium to long distance journeys.

European high speed lines are, today, part of the rail infrastructure of several countries, among them: France (1893 km), Spain (1552 km), Germany (1300 km), Italy (562 km), Belgium (120 km) and UK (113 km). Data are related to the end of 2007 [9] and networks are expanding. Some geometric characteristics of high speed lines include curve radius of thousands of meters (5 to 6 thousand), and reduced gradients in case of mixed use lines and adequate signalling systems, not fully compatible yet. Regarding longitudinal gradients, mixed use lines present a reduced gradient (12 to 15%) while dedicated passenger lines may reach much higher values (28 to 30%). In order to guarantee an integrated operation, the implementation of the ERTMS System (European Rail Traffic Management System) is in course, featuring ETCS standards (European Train Control System) and GSM-R (Global System for Mobile Communications - Railways). Electrification and load limits per axle are not yet fully standardized and represent a problem to the in-

Le locomotive a vapore sono state poi sostituite con modelli ad idrocarburi e con locomotive elettriche. Tra le ragioni che hanno motivato questa sostituzione, si cita la riduzione dei costi operativi. Secondo [6] la reale motivazione per lo sviluppo delle ferrovie è la bassa resistenza al moto, quindi della forza di trazione, necessaria per mantenere in movimento grandi carichi: la fase di avvio, invece, richiede una consistente quantità di energia, che si può giustificare solo su medie o lunghe percorrenze.

Le linee ad alta velocità europee sono parte dell'infrastruttura ferroviaria di diversi paesi, tra i quali i seguenti sono presenti nella rete studiata: Francia (1893 km), Spagna (1552 km), Germania (1300 km), Italia (562 km), Belgio (120 km) e Regno Unito (113 km). I dati sono riferiti alla fine del 2007 [9] e le reti sono in fase di estensione. Le caratteristiche geometriche salienti delle linee ad alta velocità includono raggi di curvatura dell'ordine delle migliaia di metri ($5 \div 6.000$ m), oltre che contenimento della sopraelevazione, nel caso di linea ad uso promiscuo e sistemi di segnalamento adeguati, che tuttavia non sono ancora omogenei fra loro. Per quanto concerne le pendenze longitudinali si va da valori contenuti per linee a traffico misto ($12 \div 15\%$) a valori più elevati (fino a $28 \div 30\%$) per linee dedicate a passeggeri. Al fine di assicurare l'interoperabilità fra le diverse linee europee, è in corso l'implementazione del sistema ERTMS (European Rail Traffic Management System) che prevede l'applicazione degli standard ETCS (European Train Control System) e GSM-R (Global System for Mobile Communications - Railways). L'elettificazione ed il limite di carico per asse non è del tutto standardizzato e si presenta come un problema, spesso tecnologicamente superabile, all'integrazione dell'esercizio ferroviario. Le aziende produttrici di materiale rotabile si ingegnano per produrre treni capaci di operare sulla intera rete ferroviaria europea.

Per quanto riguarda il materiale rotabile attuale, le locomotive ordinarie, non quindi per l'alta velocità, raggiungono velocità di circa 200 km/h o poco più, che spesso sono limitati a valori più bassi a seconda del rango di circolazione nelle linee dove operano e delle distanze tra le fermate. I treni ad alta velocità invece possono raggiungere velocità superiori (ricordando solo 574 km/h come record attuale su rotaia stabilito dalle ferrovie francesi, seppure in condizioni di esercizio e di elettificazione del tutto particolari). Tali velocità non possono peraltro al momento essere considerate come un valore accettabile per l'esercizio ordinario nel trasporto di passeggeri: le velocità massime sono stabilite a circa 300 km/h.

I treni ad alta velocità hanno una capacità generalmente superiore ai 350 passeggeri, con convogli che in alcuni casi offrono quasi 700 posti, come per il treno ETR 500, o quasi 800 posti, nel servizio Eurostar tra il Regno Unito e il continente [40]. Le velocità medie invece raramente superano i 180 km/h, come conseguenza dell'orografia e delle caratteristiche di linea.

Integration of rail systems. Train manufacturers aim to produce trains able to operate on the whole European railway network.

Modern ordinary locomotives are able to reach maximum speed up to 200 km/h. Such speeds are often limited by the track section characteristics. High-speed trains are capable of maximum speeds of more than 400 km/h (current speed record on rails is 574 km/h, current speed record of an unmodified train set is 404 km/h). Their operating speeds are usually limited to values of approximately 300 km/h.

High speed trains have a usual capacity of more than 350 passengers, in some cases up to 700 or 800 seats, like the ETR500 and the Eurostar, respectively, the latter operating between Paris and London [40]. Average commercial speeds rarely reach values over 180 km/h due to geographic features and line characteristics.

3.3. Comparison between modes

The comparison between the modes may be synthesized in four main factors: energy, capacity, speed and external factors.

Considering energy requirements, it is possible to establish clearly that aircrafts, in the present state, do not count on an alternative to fossil fuels, mainly oil derivatives, in the present or in the near future. Trains, on the other hand, operate on a decentralized network based on electricity from various sources.

In terms of vehicle capacity, high speed trains usually present a blocked composition (the addition or removal of carriages are not possible based on necessity), but train manufacturers are dealing with the request of providing flexible compositions, allowing for changes in capacity in reasonable time (few hours); aircraft have its capacity limited by the airframe. Infrastructure, in the case of air transport, is limited to the airports. Railways depend on track and station capacities.

The third aspect of the comparison between air and rail transport is the commercial speed: In spite of aircrafts speeds reaching over three times those of trains, commercial speeds may be much lower due to the short time aircrafts fly that fast in short range flights.

The influence of external factors on air transport operations is mainly related to weather events, sometimes changing in unpredictable ways. Trains have a greater mobility in bad weather, while they are subject to service interruptions mainly due to maintenance works, which are programmed, or occasional physical interferences on the line. One example is the block of trains in the Channel Tunnel on the night between 18th and the 19th December 2009, due to snow on French territory; TGVs, in fact, did not have adequate protections to operate in such extreme conditions.

3.3. Comparazione descrittiva tra i modi

In via generale, l'analisi condotta sui due modi di trasporto può essere sintetizzata riconducendola a soli quattro fattori principali: energia, capacità, velocità e fattori esterni.

Con riferimento all'energia, si può individuare in maniera chiara che gli aerei, allo stato attuale, non hanno un'alternativa reale ai carburanti derivati dal petrolio; anche per il futuro prossimo non si prevedono alternative concrete. I treni operano utilizzando una rete diffusa e basata su elettricità prodotta da diverse fonti.

In termini di capacità dei veicoli, i treni per l'alta velocità hanno in generale una composizione bloccata (non è più praticabile aggiungere o togliere carrozze dalla composizione del convoglio a seconda della necessità), ma le imprese ferroviarie stanno esprimendo l'esigenza di dotarsi di convogli flessibili, in grado di poter modificare la capienza, usando moduli prestabiliti, in tempi adeguati ai requisiti di gestione (alcune ore); gli aerei hanno la propria capacità limitata dalla struttura. L'infrastruttura, invece, nel caso del trasporto aereo è limitata dagli aeroporti, una caratteristica o vincolo puntuale. Il trasporto ferroviario dipende dalla disponibilità e capacità delle vie di circolazione, oltre che naturalmente dalle stazioni.

Il terzo punto di comparazione tra i modi aereo e ferroviario è la loro velocità di spostamento: nonostante la velocità massima degli aerei sia *circa tre volte* la velocità di un treno, il suo contributo alla velocità commerciale è spesso limitato, poiché il tempo di volo in cui si trova in condizioni di crociera è limitato, per i collegamenti più brevi.

L'influenza di fattori esogeni nelle operazioni svolte con aerei è legata, principalmente, ad eventi climatici, talvolta molto mutevoli in modo non sempre prevedibile. I treni hanno una maggiore capacità di spostamento in *condizioni meteorologiche avverse*, essendo soggetti più che altro ad interruzioni connesse a lavori di manutenzione, programmabili, o eccezionali interferenze fisiche lungo la linea. Si cita, ad esempio, il blocco dei treni sotto La Manica nella notte fra il 18 e 19 dicembre del 2009 per la presenza di neve nel territorio francese; infatti i TGV usati non avevano adeguate protezioni per viaggiare in condizioni estreme.

Si rileva infine come, in alcuni casi, la rete ferroviaria possa essere usata come una soluzione di *servizio sostitutivo* per assicurare i collegamenti su scala europea in caso di chiusura del servizio aereo per eventi naturali straordinari. Ad esempio, la chiusura di aeroporti per nebbia o neve (Parigi, Torino, Nizza, ...; gennaio 2009) oppure degli spazi aerei, per la presenza di ceneri vulcaniche in atmosfera, verificatasi dal 15 al 23 aprile del 2010, che ha causato disagi ad oltre 3 milioni di passeggeri per circa 35000 voli cancellati.

4. Metodo di analisi

Per l'analisi è stato costruito un modello implementa-

Railways can be used as a substitute service to assure connections at European level in the event of air traffic closures or interruptions. Two examples are the closure of airports due to snow or fog (Paris, Turin, Nice in January 2009) or air space closures due to a volcanic ash cloud, as observed from 15 to 23 of April 2010, when over 3 million passengers suffered disruption and 35.000 flights were cancelled.

4. Analysis Methodology

For the analysis a model has been built to represent both rail and air transport networks using the tool Omni-Trans©.

All cities included in the model (fig. 1) are represented as a centroid node, reflecting the point of origin and destination of a given zone. Stations are built as nodes and transit stops of a transit system; nodes are the physical infrastructures while transit stops indicate the possibility of a given mode to operate on that node. Finally, the connection between any two nodes is possible with the creation of links, which represent the infrastructures allowing transport modes to travel between points.

From the operations point of view, the model includes waiting time for the first access to the transportation mode and transfer times, these have been used to calculate travel times between nodes on the network.

Network links are built in a way to reflect the length of

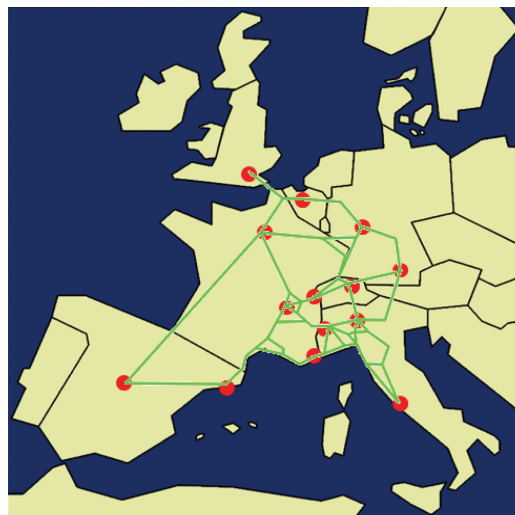


Fig. 1 - Le città europee analizzate e lo schema della rete ferroviaria nello scenario base. *European cities in the analysis and the layout of the rail network.*

POLITICA E ECONOMIA

to nel tool OmniTrans© che ha permesso di rappresentare sia la rete di trasporto aereo sia quella di trasporto ferroviario fra le maggiori città europee.

Le città incluse nel modello (fig. 1) sono rappresentate da un nodo centroe, che schematizza il luogo da dove partono o terminano tutti i viaggi da/per la zona nella quale è collocata la città. Le stazioni sono costruite come nodi e *transit stop* di una rete di servizio collettivo combinato; il nodo può essere considerato come la struttura fisica e la fermata indica che dal nodo transitano i mezzi del servizio di trasporto. Infine i nodi (stazioni) sono collegati tra loro mediante *link*, rappresentativi dall'infrastruttura che abilitano gli spostamenti nella rete con il modo di trasporto.

Dal punto di vista operativo, nel modello sono stati inclusi i tempi d'attesa per il primo accesso al modo di trasporto ed i tempi di trasbordo, usati per calcolare i tempi di viaggio tra le varie zone rappresentate.

I *link* della rete sono costruiti in modo da avere una lunghezza coerente con quella delle linee ferroviarie. Sono stati quindi simulati i tempi di viaggio dei servizi di

actual rail lines. Travel times are then simulated based on links' average speeds which, in turn, are calculated from the timetable set for both air and rail transit lines. All existing rail services and flights are represented on the simulated network, with the aim of exploring both direct trips and trips with intermediate stops.

Times related to the various waits (boarding, transfer etc.) and service operations (check-in, baggage dispatch and claim etc.) generally depend on airport operators. Since the airports on the network are similar, times are considered constant for all nodes. It is possible, in case data were available, to consider a more refined setup of waiting times by airport. This can be done by using a waiting link, which would add a virtual wait to access the node. Finally, stop times are introduced to transit lines along the route, concluding the process of representing the actual situation on the model.

4.1. Scenarios and improvements

TABELLA 1 – TABLE 1

ELENCO DELLE VARIAZIONI DI OFFERTA NEGLI SCENARI PROPOSTI.
LIST OF CHANGES BY SCENARIO

N.	Cambiamenti	S1	S2	S3	S4
1	Milano-Roma – Linea ad alta velocità <i>Milan-Rome – High-speed line</i>	✓	✓	✓	✓
2	Torino-Milano – Linea ad alta velocità <i>Turin-Milan – High-speed line</i>	✓	✓	✓	✓
3	Parigi-Milano – Riduzione 30 minuti <i>Paris-Milan – 30 minute reduction</i>	✓	✓	✓	✓
4	Barcellona-Milano – Riduzione 30 minuti <i>Barcelona-Milan – 30 minute reduction</i>	✓	✓	✓	✓
5	Milano-Verona – Linea ad alta velocità <i>Milan-Verona – High-speed line</i>	✓	✓	✓	✓
6	Barcellona-Montpellier – Linea ad alta velocità <i>Barcelona-Montpellier – High-speed line</i>		✓	✓	✓
7	Montpellier-Nîmes – Linea ad alta velocità <i>Montpellier-Nîmes – High-speed line</i>		✓	✓	✓
8	Parigi-Madrid – Rango francese (Tours e Bordeaux) ad alta velocità <i>Paris-Madrid – High-speed Section</i>		✓	✓	✓
9	Bruxelles-Colonia – Linea ad alta velocità <i>Brussels-Cologne – High-speed line</i>		✓	✓	✓
10	Parigi-Barcellona – Nuovo treno ad alta velocità <i>Paris-Barcelona – New high-speed train</i>		✓	✓	✓
11	Galleria Gottardo <i>Gothard Tunnel</i>			✓	✓
12	Galleria Brennero <i>Brenner Pass</i>			✓	✓
13	Zurigo-Monaco – Riduzione 50 minuti <i>Zurich-Munich – 50-minute reduction</i>			✓	✓
14	Zurigo-Parigi – Riduzione 70 minuti <i>Zurich-Paris – 70-minute reduction</i>			✓	✓
15	Zurigo-Francforte – Riduzione 70 minuti <i>Zurich-Frankfurt – 30-minute reduction</i>			✓	✓
16	Francoforte-Monaco – Aumento di velocità <i>Frankfurt-Munich – Speed increase</i>			✓	✓
17	Torino-Lione – Linea ad alta velocità <i>Turin-Lyon – High-speed line</i>				✓
18	Parigi-Lione – Aumento di velocità <i>Paris-Lyon – Speed increase</i>				✓
19	Marsiglia-Nizza – Linea ad alta velocità <i>Marseille-Nice – High-speed line</i>				✓

Based on the present scenario, reflecting European infrastructures as of the first semester of 2008, some interventions have been identified and applied to the rail network. These are mainly about new lines planned by the European Union, in line with the Trans European Network project. In total, 5 scenarios have been studied, including the present (table 1). All interventions are applied in a cumulative way, starting from the base scenario.

4.2. Analysis approach

For each scenario an estimate of travel times between city pairs was calculated for both transport modes.

These results were obtained in the form of an O-D matrix, considering the total time between two centroids, including wait and transfer times (if applicable).

The analysis of access points to the two transport modes from and to city centres, shows that stations are more accessible than airports. In some cases the difference consists of a noticeable amount of minutes. This aspect is implied in the model because analysed stations and airports are represented

trasporto sulla base delle velocità medie dei link stimate con i dati degli orari dei servizi erogati dalle ferrovie e dalle compagnie aeree operative nell'area di studio. Tutti i servizi ferroviari ed aerei presenti nella rete reale analizzata sono stati inclusi nella rete simulata, al fine di esplorare anche gli spostamenti con scambi intermedi, nella ricerca del percorso minimo fra l'origine e la destinazione del viaggio.

I tempi legati alle diverse attese (imbarco, trasferimenti, ecc.) ed attività per le operazioni di servizio (*check-in*, consegna e ritiro del bagaglio, ecc.) dipendono in generale dalle dimensioni degli aeroporti e dalle prestazioni delle strutture di gestione degli stessi. Poiché gli aeroporti delle città analizzate nel modello sono simili per tipologia, i tempi sono stati ipotizzati costanti per tutti i nodi. È possibile tuttavia, qualora fossero disponibili dati specifici per i tempi di tali operazioni nei diversi aeroporti, tenerne conto, modificando il modello di rete mediante l'introduzione di link "di attesa", di collegamento fra il nodo rappresentativo del terminale di accesso ed il nodo rappresentativo dell'accesso al servizio di trasporto. Sono stati introdotti, infine, i tempi di fermata ad ogni nodo lungo la linea di trasporto, ottenendo per la rete una rappresentazione schematica e coerente dell'offerta di servizi di trasporto a livello europeo.

4.1. Scenari e modifiche

Rispetto allo scenario di base, con l'offerta dei servizi presenti, sono state individuate alcune modifiche nella rete ferroviaria, con riferimento in particolare alle nuove linee pianificate dall'Unione Europea, nell'ambito del progetto delle Reti Trans Europee dei Trasporti. Nel complesso sono stati analizzati 5 scenari, compreso quello attuale. Le modifiche sono applicate agli scenari in modo cumulato (tabella 1) rispetto allo scenario (S0) che è rappresentativo della situazione europea nella prima metà del 2008.

4.2. Approccio di analisi

Per ogni scenario di analisi, sulla base dei dati descritti, sono stimati i tempi dello spostamento con i due modi alternativi fra le coppie di città incluse nel modello. Questi risultati, raccolti nella struttura di matrici Origine-Destinazione (O-D), rappresentano i tempi complessivi di spostamento nella rete e comprendono i tempi di attesa ed i tempi di trasbordo ai nodi.

Si precisa che la localizzazione nel territorio dei punti di accesso ai due sistemi di trasporto, per gli spostamenti da e verso le parti centrali delle città, determina una facilità maggiore verso le stazioni, rispetto agli aeroporti, con differenze che in alcuni casi possono essere di decine di minuti. Questo aspetto è considerato implicitamente nel

by nodes connected to the centroid of the metropolitan area, situated in a barycentric position through specific arcs. Yet, these transport systems involve trips from and to points that go beyond the city of reference, besides the starting and final parts of the connecting trips can be covered using a number of transport modes (cars, taxis, buses or express trains). In order to properly consider the different accessibility for all the possible trips, a more detailed model would be appropriate. A model, with more representative areas and therefore with more centroid nodes, of the various parts in the same metropolitan area or region.

5. Results

5.1. Parameters and hypothesis

Since the time on board a certain transport mode can be used in different ways, according to the nature of the trip and its phases, it was necessary to define an indicator aimed at comparing both modes characteristics in terms of time.

As a consequence, the concept of *unrecoverable time* has been introduced, thus allowing a correct account of the time that is not convertible in work time during the trip. It considers how long a passenger has to dedicate time exclusively to certain activities, such as checking-in and passing through security at airports or buying tickets and looking for the train and seat. Other unrecoverable periods of time are the initial and final stages of a flight, when users must turn off electronic devices and tray tables must be closed, often limiting work related activities on board. The phases of the trip defined for each transport mode have a different duration, depending on numerous factors. For air transport, these times depend on the dimension and airport type, airlines and population punctuality, security procedures, period of the day and travel motivation. In general, passengers like to be able to use their time in a useful way, such as reading documents, working on their laptops or even making phone calls. Considering all this, it is possible to identify a given period which is considered to be "unrecoverable", the estimate is based on the authors' observations, presented in tables 2 and 3.

From the presented tables it is possible to establish a difference of 90 minutes between rail and air transport unrecoverable time. For each city pair, the train is defined as a better option if the difference of duration of the trip does not exceed this value. This time difference is applied in order to establish a proper comparison and it is not included to travel times to better identify its effects. Further surveys are a useful tool to establish a better unrecoverable timeframe.

In order to sum up the results, an aggregation has

modello, perché le stazioni e gli aeroporti analizzati sono rappresentati da nodi connessi al centroide rappresentativo dell'area metropolitana, localizzato in posizione baricentrica, mediante specifici archi. Tuttavia, poiché tali sistemi di trasporto interessano spostamenti con origine o destinazione in un bacino più ampio della città di riferimento, in cui la fase iniziale e terminale del collegamento può essere effettuata con una molteplicità di modi di trasporto (auto privata, taxi, bus o treni navetta), per considerare in modo adeguato la diversa accessibilità per tutti i possibili spostamenti, sarebbe necessario un modello più dettagliato, con più zone rappresentative e quindi più nodi centroidi, delle varie parti della stessa area metropolitana o regione considerata.

5. Principali risultati

5.1. Ipotesi e parametri adottati

Poiché l'utilizzo del tempo da parte degli utenti durante il viaggio con i due modi non è omogeneo, a causa della diversa natura delle fasi dalle quali è composto e della conseguente durata, nelle analisi, oltre ai tempi degli spostamenti, è stato stimato un termine per agevolare l'operazione di comparazione fra i due modi.

Si è introdotto, quindi, il concetto di *tempo non recuperabile*, che rappresenta la somma del tempo impiegato in quelle fasi dello spostamento che richiedono dedizione esclusiva, come il caso dell'acquisto del biglietto in un viaggio in treno e il tempo dedicato per il check-in in un viaggio aereo, in cui l'utente non può quindi svolgere altre attività utili. Le fasi dello spostamento ipotizzate per entrambi i modi di trasporto hanno una durata variabile che dipende da numerosi fattori. Per il trasporto aereo, per esempio, dipendono dalla dimensione e tipologia dell'aeroporto, dalle caratteristiche medie di puntualità della popolazione, dalle modalità delle operazioni per la garanzia della sicurezza, dalla fascia oraria del volo e dal motivo dello spostamento. Tuttavia durante le varie fasi i viaggiatori spesso riescono ad utilizzare parzialmente il tempo che precede l'inizio dello spostamento vero e proprio per attività che possono essere considerate utili, quali ad esempio, la lettura di documenti, le conversazioni in presenza o telefoniche, le operazioni con computer portatili. Pertanto è possibile individuare per differenza una parte di tempo, durante le fasi che compongono il viaggio, che genera il tempo "non recuperabile", stimato in via approssimata sulla base dell'esperienza degli autori, e riportato nelle tabelle 2 e 3.

Dalle tabelle emerge che fra i tempi non recuperabili ipotizzati per i due modi di trasporto vi è una differenza di 90 minuti (*recovery time*). Per ogni coppia di origine e destinazione, quindi, il treno è considerato vantaggioso se la durata dello spostamento non supera quella dell'aereo di tale differenza. Ad ogni modo, questa correzione, che

TABELLA 2 – TABLE 2

TEMPI NON RICUPERABILI - TRASPORTO AEREO
UNRECOVERABLE TIME – AIR TRANSPORT

Trasporto Aereo – Tempi non recuperabili <i>Air Transport – Unrecoverable time</i>	
Attività <i>Activity</i>	Tempo <i>Time</i>
Check-in & Security <i>Check-in & Security</i>	35 minuti <i>35 minutes</i>
Imbarco <i>Boarding</i>	15 minuti <i>15 minutes</i>
Decollo (apparati spenti) <i>Take-off (devices turned off)</i>	15 minuti <i>15 minutes</i>
Atterraggio e Parcheggio <i>Landing and Parking</i>	30 minuti <i>30 minutes</i>
Uscita dall'aeroporto <i>Airport exit</i>	30 minuti <i>30 minutes</i>

TABELLA 3 – TABLE 3

TEMPI NON RICUPERABILI – TRASPORTO FERROVIARIO
UNRECOVERABLE TIME – RAIL TRANSPORT

Trasporto Ferroviario – Tempi non recuperabili <i>Rail transport – Unrecoverable time</i>	
Attività <i>Activity</i>	Tempo <i>Time</i>
Biglietto <i>Ticketing</i>	5 minuti <i>5 minutes</i>
Salita e ricerca posto <i>Boarding and seating</i>	10 minuti <i>10 minutes</i>
Discesa <i>Alighting</i>	10 minuti <i>10 minutes</i>
Uscita dalla stazione <i>Station exit</i>	10 minuti <i>10 minutes</i>

been carried out where O-D pairs are divided in classes of 100 km. Since none of the city pairs analyzed are less than 100 km apart, there are 14 classes, the first being from 100 to 200 km and the last from 1400 to 1500 km. Comparison data between air and rail transport are associated to these classes.

5.2. Results In Terms Of Travel Times

In order to correctly compare travel times between city pairs, the following tables 4 and 5 present O-D matrices for both the Base Scenario (S0) and the last scenario (S4). Each cell contains the travel time difference between air and rail trips, where rows contain origin cities and columns contain destination cities.

Values obtained represent the situation between modes. O/D pairs with a result of less than -1,50 hours (90 minutes) show the air mode as the most beneficial for

POLITICA E ECONOMIA

TABELLA 4 – TABLE 4

DIFFERENZE DI TEMPO DELLO SPOSTAMENTO FRA TRASPORTO AEREO E FERROVIARIO – SCENARIO BASE. TRAVEL TIME
DIFFERENCE BETWEEN AIR AND RAIL TRANSPORT – BASE SCENARIO

Base Scenario														
OD	Paris	London	Torino	Milano	Roma	Lyon	Genève	Zürich	Brussels	Frankfurt	München	Barcelona	Madrid	Nice
1	-	0,79	- 2,58	- 4,09	- 7,04	0,72	- 0,75	- 1,55	3,37	- 0,75	- 2,13	- 4,39	- 6,73	- 2,32
2	0,79	-	- 4,66	- 6,64	- 9,35	- 1,06	- 3,05	- 4,42	0,95	- 2,74	- 4,08	- 6,72	- 9,06	- 4,57
3	- 2,45	- 4,53	-	4,02	- 2,13	1,23	- 0,48	0,18	- 4,59	- 5,95	- 3,93	- 7,23	- 9,24	1,32
4	- 3,80	- 6,10	4,02	-	- 0,19	- 2,49	- 1,47	- 0,51	- 5,94	- 4,64	- 2,61	- 8,51	- 10,67	0,84
5	- 6,76	- 9,06	- 1,93	- 0,20	-	- 5,92	- 5,02	- 3,85	- 8,98	- 7,64	- 6,07	- 12,04	- 14,04	- 4,84
6	0,72	- 1,06	1,11	- 2,76	- 6,19	-	2,89	- 1,76	- 0,75	- 3,03	- 4,47	- 2,80	- 4,97	- 1,56
7	- 0,67	- 3,13	1,02	- 1,47	- 5,02	2,82	-	- 0,35	- 2,76	- 2,88	- 2,81	- 5,18	- 7,44	- 3,33
8	- 1,48	- 4,36	- 0,38	- 0,89	- 4,30	- 1,83	- 0,35	-	- 3,98	- 1,21	0,02	- 7,84	- 10,00	- 5,54
9	3,41	0,95	- 4,72	- 6,40	- 9,27	- 0,77	- 2,76	- 4,04	-	- 1,14	- 2,70	- 6,16	- 8,41	- 3,34
10	- 0,39	- 2,07	- 6,12	- 4,81	- 7,97	- 2,83	- 2,69	- 0,84	- 0,65	-	1,33	- 7,68	- 9,86	- 5,95
11	- 1,93	- 3,83	- 3,81	- 2,57	- 6,03	- 4,54	- 2,81	- 0,06	- 2,57	1,07	-	- 9,86	- 12,02	- 7,05
12	- 5,01	- 7,48	- 7,88	- 9,55	- 13,01	- 3,42	- 5,14	- 7,79	- 6,85	- 8,76	- 10,42	-	1,16	- 5,07
13	- 7,50	- 9,92	- 10,05	- 11,73	- 15,01	- 5,83	- 7,47	- 9,95	- 9,35	- 11,01	- 12,67	1,16	-	- 7,24
14	- 2,31	- 4,48	1,36	0,74	- 4,35	- 1,48	- 3,23	- 5,16	- 3,56	- 6,31	- 7,35	- 5,09	- 7,01	-

TABELLA 5 – TABLE 5

DIFFERENZE DI TEMPO DELLO SPOSTAMENTO FRA TRASPORTO AEREO E FERROVIARIO – SCENARIO 4. TRAVEL TIME
DIFFERENCE BETWEEN AIR AND RAIL TRANSPORT – SCENARIO 4

Scenario 4														
OD	Paris	London	Torino	Milano	Roma	Lyon	Genève	Zürich	Brussels	Frankfurt	München	Barcelona	Madrid	Nice
1	-	0,79	0,32	- 0,65	- 2,31	0,91	- 0,10	- 0,75	3,37	- 0,75	- 1,63	- 1,26	- 3,59	- 0,79
2	0,79	-	- 1,76	- 3,20	- 4,61	- 0,88	- 2,40	- 3,44	0,95	- 2,24	- 3,08	- 3,59	- 5,92	- 3,04
3	0,34	- 1,74	-	4,19	- 0,29	3,84	1,57	1,18	- 1,80	- 4,05	- 1,43	- 0,29	- 2,64	1,32
4	- 0,64	- 2,94	4,19	-	0,85	0,51	- 1,47	0,33	- 2,78	- 3,30	- 0,27	- 1,18	- 3,69	0,84
5	- 2,29	- 4,60	- 0,29	0,85	-	- 1,62	- 3,72	- 1,71	- 4,52	- 5,01	- 2,44	- 3,41	- 5,77	- 3,54
6	1,04	- 0,75	3,83	0,49	- 1,64	-	2,89	- 1,76	- 0,55	- 2,72	- 3,26	0,28	- 2,02	0,16
7	- 0,52	- 2,98	2,84	- 0,45	- 2,53	2,82	-	- 0,35	- 2,61	- 2,38	- 2,31	- 1,64	- 4,25	- 1,62
8	- 0,58	- 3,27	0,62	- 0,06	- 2,16	- 1,83	- 0,35	-	- 2,89	- 0,71	0,52	- 4,30	- 6,81	- 4,52
9	3,41	0,95	- 1,82	- 2,96	- 4,53	- 0,55	- 2,11	- 3,06	-	- 0,64	- 1,70	- 2,99	- 5,25	- 1,61
10	- 0,39	- 1,56	- 3,77	- 3,47	- 5,33	- 2,64	- 2,19	- 0,34	- 0,13	-	1,83	- 4,55	- 6,72	- 4,42
11	- 1,45	- 2,83	- 1,36	- 0,29	- 2,45	- 3,18	- 2,31	0,44	- 1,57	1,56	-	- 4,40	- 6,91	- 4,77
12	- 1,45	- 3,92	- 0,12	- 1,26	- 4,16	0,36	- 1,50	- 4,03	- 2,77	- 5,20	- 4,54	-	1,16	0,23
13	- 4,27	- 6,69	- 2,64	- 3,78	- 6,52	- 2,41	- 4,18	- 6,54	- 5,62	- 7,78	- 7,15	1,16	-	- 1,94
14	- 0,77	- 2,94	1,36	0,74	- 4,35	0,17	- 1,58	- 4,33	- 1,86	- 4,78	- 5,01	0,06	- 1,86	-

considera la possibilità di usare parte del tempo utile a bordo, introdotta per rendere paragonabili i viaggi con ferrovia e aereo, è tenuta isolata nei risultati per evidenziare gli effetti del suo contributo. Ulteriori indagini, basate su interviste dirette agli utenti, sarebbero utili per quantificare con maggiore precisione e descrivere mediante modelli matematici questo aspetto.

Al fine di presentare i risultati in forma sintetica è condotta un'analisi aggregata su tutte le relazioni prese in considerazione, in cui le coppie O-D sono divise in classi di distanza pari a 100 km. Poiché non esistono nel modello coppie con distanza inferiore a 100 km, vi sono 14 classi, la prima da 100 a 200 km e l'ultima da 1400 a 1500 km. I dati comparativi tra trasporto aereo e le ferrovie sono quindi associati alle classi, evidenziando il numero di coppie con il modo più vantaggioso.

5.2. Risultati sui tempi degli spostamenti

Con l'obiettivo di quantificare la differenza in termini di tempo di viaggio tra due città, nelle tabelle 4 e 5 sono riportate le matrici in formato O-D per lo scenario base (S0) e l'ultimo scenario (S4). Per ogni riga (Origine) e colonna (Destinazione), si fornisce la differenza tra il tempo dello spostamento aereo e ferroviario.

I valori ottenuti sono rappresentativi dalla situazione tra i due modi. Per le coppie O/D con risultato sotto -1,50 ore (90 minuti) si considera l'aereo come il modo più favorevole allo spostamento. Le differenze tra i 90 minuti e 0 sono considerate come favorevoli per il treno, nel caso in cui sia confermata l'ipotesi sul tempo recuperabile. Per le altre coppie dove la differenza calcolata è maggiore di 0, si considera il treno come modo favorito.

Gli istogrammi riportati di seguito sintetizzano i risultati per l'intera rete, classificando i collegamenti analizzati sulla base della distanza ferroviaria, e presentano l'evoluzione del trasporto su rotaia, per i 5 scenari analizzati, evidenziando il contributo del tempo recuperabile (recovery time) già de-

users. Differences in the range of -90 and 0 are considered in favour of the rail mode, considering recoverable time. For all other city pairs (values above 0), the rail mode is considered the best

The histograms synthesize network results, classifying connections on the basis of rail distance, presenting the evolution of rail transport for all 5 scenarios, highlighting the contribution of the recoverable time. Each column represents the number of city pairs for which travel time

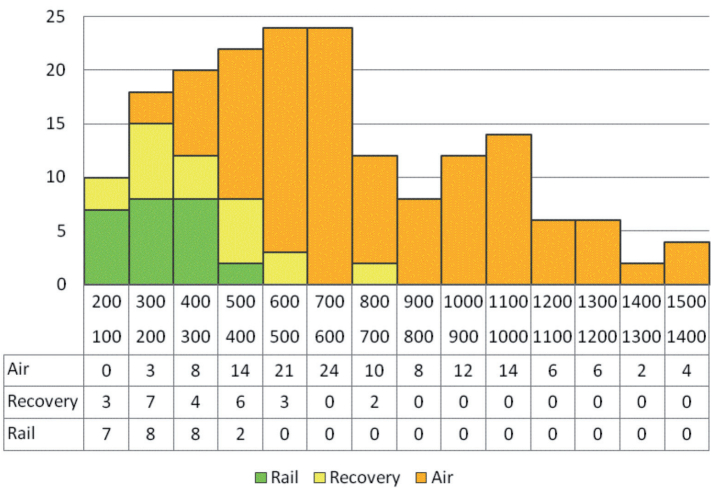


Fig. 2 - Numero di coppie O/D associate ad ogni modo di trasporto al variare delle classi di distanza - Scenario Base. Number of O/D pairs associated with each transport mode by distance class - Base scenario.

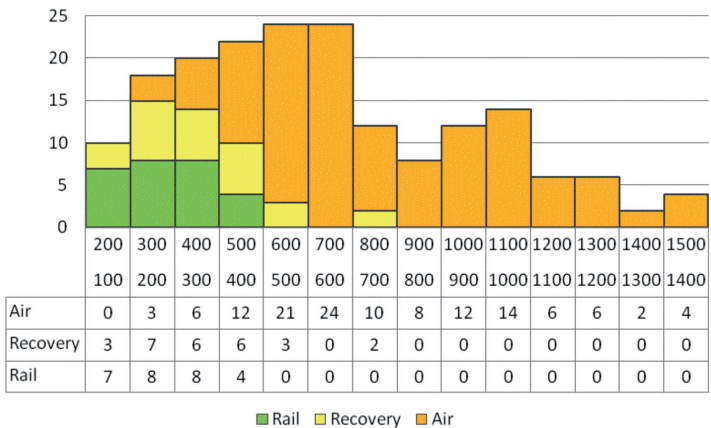


Fig. 3 - Numero di coppie O/D associate ad ogni modo di trasporto al variare delle classi di distanza - Scenario 1. Number of O/D pairs associated with each transport mode by distance class - Scenario 1.

scritto. Ogni colonna rappresenta il numero di coppie di città per cui il tempo dello spostamento è favorevole per il trasporto ferroviario, per quello aereo, oppure quando la differenza fra i tempi dei due modi è nel range dei 90 minuti.

Dall'evoluzione fra gli scenari analizzati (figg. 2, 3, 4, 5 e 6), si nota una tendenza all'aumento nel numero di coppie di città nelle quali il modo di trasporto più favorevole è quello ferroviario. Ciò accade per le coppie appartenenti alle classi di distanze inferiori agli 800 km. Le fasce di distanza in cui esiste una competizione più evidente tra i modi sono quelle comprese tra 400 e 700 km.

Lo studio e le simulazioni condotte per gli scenari indicati hanno considerato gli orari dei treni e dei voli con puntualità ideale. Al fine di valutare la sensibilità dei risultati stimati con il modello, con riferimento a questo aspetto, si è considerato un ulteriore margine sui tempi pari a 20 minuti. Quando il ritardo coinvolge il trasporto aereo, è come se si considerasse l'intervallo del tempo di recupero pari a 110 minuti e si verifica, nell'ultimo scenario, un effetto per le coppie oltre il limite di 800 km. L'istogramma in fig. 7 indica la presenza di una coppia O-D nella classe da 800 a 900 km e due coppie nella classe da 900 a 1000 km, che risulterebbero a favore della ferrovia in queste condizioni.

5.3. Risultati in termini di accessibilità

I risultati precedenti consentono anche di condurre un'analisi di accessibilità delle città considerate. Elaborando le informazioni delle matrici dei tempi O/D generate, è possibile aggregare i dati sia per spostamenti di attrazione sia per quelli di generazione.

L'accessibilità è stata legata a due fattori: il primo è il tempo dello spostamento, ottenuto direttamente dal modello, il secondo è la popolazione dell'area che gravita sulla città e rappresentata nel modello dal nodo centroidale. In questo studio non è stata operata una delimitazione specifica dell'area, ma sono state prese come riferimento le regioni di livello 2 (NUTS 2 – Nomenclature of Territorial Units for Statistics) adottate da Eurostat. I dati di popolazione sono quindi

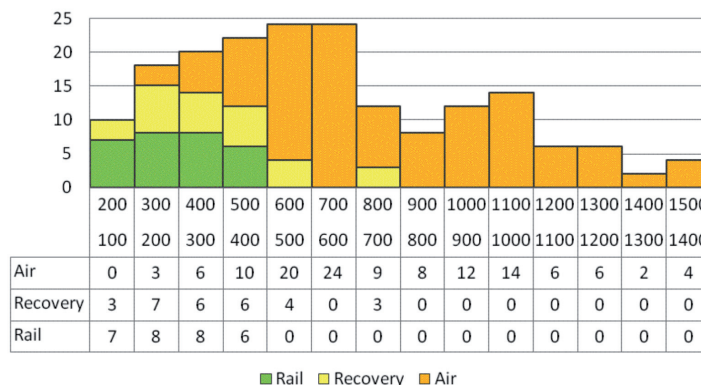


Fig. 4 - Numero di coppie O/D associate ad ogni modo di trasporto al variare delle classi di distanza - Scenario 2. *Number of O/D pairs associated with each transport mode by distance class - Scenario 2.*

favours rail transport, air transport or whether the difference between modes is in the 90 minutes range.

From the sequence of scenarios (figg. 2 to 6), it is possible to extract an increasing trend of the number of city pairs in which rail transport is a better option than air transport. This occurs mainly for distance classes under 800 km. A more pronounced competition between air and rail takes place between 400 and 700 km.

This study has taken into consideration air and rail timetables with perfect punctuality. In order to establish the sensitivity of results, related to this aspect, a further 20-minutes margin was considered. If a delay involving air transport shifted the recovery time to 110 minutes, effects would take place on city pairs over the 1,000 km threshold. The histogram in fig. 7 indicates that, after this procedure has been adopted, one O/D pair in the 800 km

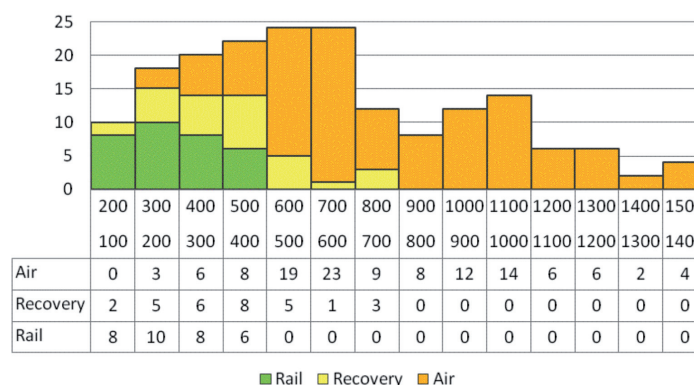


Fig. 5 - Numero di coppie O/D associate ad ogni modo di trasporto al variare delle classi di distanza - Scenario 3. *Number of O/D pairs associated with each transport mode by distance class - Scenario 3.*

POLITICA E ECONOMIA

quelli pubblicati per le regioni delle città considerate per l'anno 2005 e riportati in tabella 6.

È possibile calcolare il valore di accessibilità per una città con il calcolo della media dei tempi pesata con i dati della popolazione. Il valore dell'accessibilità in attrazione rappresenta la qualità del collegamento della rete, nel suo complesso, verso una città specifica ed è stimato con la media pesata dei tempi necessari per raggiungere un centroide da tutti gli altri centroidi, usando la rete disponibile. In modo analogo, il valore dell'accessibilità in generazione rappresenta la qualità dei collegamenti di una città verso le altre, stimata mediante la media pesata dei tempi necessari per raggiungere un qualsiasi centroide nella rete a partire da quello di riferimento. Per calcolare i due valori di accessibilità, misurati in ore, sono state usate quindi le seguenti formule:

$$In_j = \frac{\sum_{i=1}^{14} (Pop_{ij} \times GC_{ij})}{\sum_{i=1}^{14} Pop_{ij}}$$

$$Out_i = \frac{\sum_{j=1}^{14} (Pop_{ij} \times GC_{ij})}{\sum_{j=1}^{14} Pop_{ij}}$$

dove:

- In_j e Out_i sono i valori dell'accessibilità, in ore decimali;
- Pop_{ij} è la somma della popolazione delle zone i e j ;
- GC_{ij} è il costo generalizzato, nel caso in esame, pari al tempo dello spostamento fra i e j ;
- " i " e " j " sono i codici delle zone in analisi.

I risultati sono riportati negli istogrammi delle figg. 8 e 9, dove ogni città può essere confrontata con le altre, in termini della sua accessibilità e dell'evoluzione di questo parametro nei cinque scenari analizzati. Si evidenziano in primo piano le colonne color arancio (Air), con i valori di accessibilità per gli spostamenti in aereo, mentre le colonne denominate da S0 a S4 rappresentano gli scenari già descritti con le variazioni dell'offerta ferroviaria.

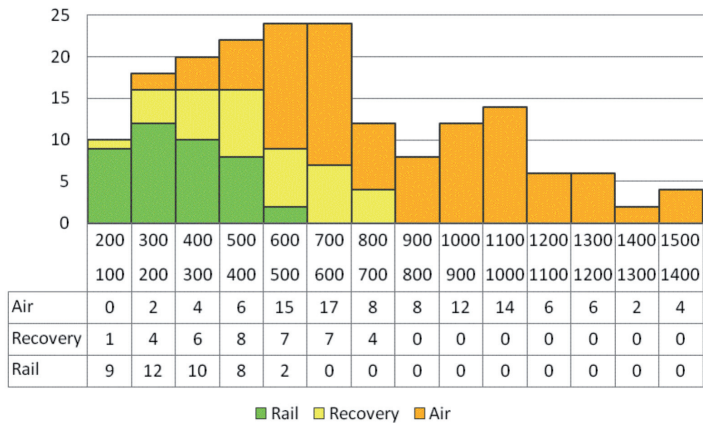


Fig. 6 – Numero di coppie O/D associate ad ogni modo di trasporto al variare delle classi di distanza – Scenario 4. Number of O/D pairs associated with each transport mode by distance class – Scenario 4.

class and two in the 900-1,000 km class would be favouring rail transport.

5.3. Results in terms of accessibility

The results obtained also permit an accessibility analysis of the studied cities. A mathematical calculation is carried out to establish an accessibility indicator for trips starting and finishing in each city.

Accessibility is related to two factors: the first is travel time, obtained directly from the model; the second is the cities and their outskirts (region) population. In this

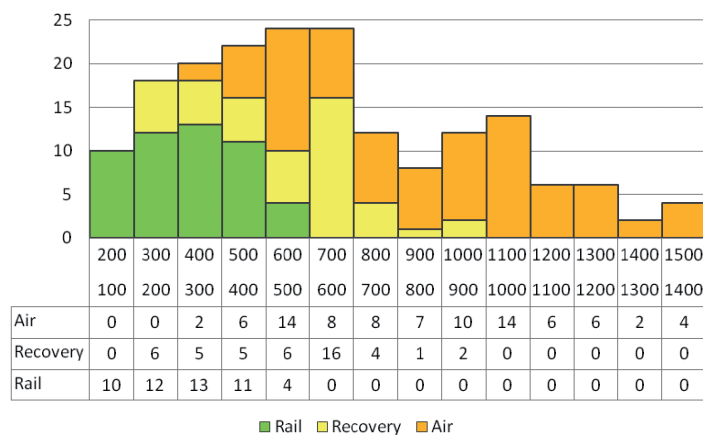


Fig. 7 – Stato della distribuzione di coppie O/D per un ritardo di 20 minuti nel trasporto aereo. Distribution of O/D pairs for a 20 minutes delay on air transport.

TABELLA 6 – TABLE 6

POPOLAZIONI DELLE ZONE PRESENTI NELL'ANALISI [13]
POPULATION OF ZONES ANALYSED [13]

N.	Città (Regioni) City (Region)	Pop.
1	Paris (Île de France)	11.445,10
2	London (Inner and Outer London)	7.453,40
3	Torino (Piemonte)	4.336,00
4	Milano (Lombardia)	9.434,10
5	Roma (Lazio)	5.287,40
6	Lyon (Rhône-Alpes)	5.981,70
7	Genève (Ostschweiz)	1.060,70
8	Zürich (Zürich)	1.267,20
9	Bruxelles (Bruxelles)	1.012,80
10	Frankfurt (Darmstadt)	3.776,60
11	München (Oberbayern)	4.224,70
12	Barcelona (Cataluña)	6.860,10
13	Madrid (Comunidad de Madrid)	5.879,70
14	Nice (Provence-Alpes-Côte d'Azur)	4.766,00

6. Conclusioni

Il trasporto ferroviario ad alta velocità è comunemente considerato come alternativa rilevante al trasporto aereo per spostamenti inferiori alle quattro ore o per distanze comprese fra circa 200 e 800 km, nei viaggi per lavoro ed affari, secondo varie fonti [40], [41]. Questo è in linea generale vero o verosimile, se l'analisi tiene conto dello stato attuale dell'infrastruttura e del materiale rotabile finora utilizzato. L'obiettivo di questo studio è stato determinare se questo valore abbia un potenziale di miglioramento con

study, the concept of region adopted refers to level 2 regions (NUTS 2 - Nomenclature of Territorial Units for Statistics) adopted by Eurostat. Population data are, then, those published by Eurostat, as described in table 6.

It is then possible to calculate the accessibility value for any given city as being the weighted average of travel times by population. Accessibility, for the attraction, represents the quality of links of any city to the network considering it the final destination of trips. Following the same logic, but for the opposite direction, a generation accessibility is calculated considering the city as the starting point of trips. To calculate accessibility, the following formulas have been applied.

$$In_j = \frac{\sum_{i=1}^{14} (Pop_{ij} \times GC_{ij})}{\sum_{i=1}^{14} Pop_{ij}}$$

$$Out_i = \frac{\sum_{j=1}^{14} (Pop_{ij} \times GC_{ij})}{\sum_{j=1}^{14} Pop_{ij}}$$

where:

- In_j and Out_i are values of accessibility, in decimal hours;
- Pop_{ij} is the sum of populations for both zones i and j ;
- GC_{ij} is the generalised cost referring to travel time between i and j ;
- “ i ” and “ j ” are the analyzed zones codes.

Results are presented on the following histograms (fig. 8 and 9), where each city may be compared to any other, in terms of accessibility and of the trend of this parameter on every scenario. In front of the series, in orange, are the accessibility values for the air mode, whereas columns labelled S0 to S4 represent previously described scenarios.

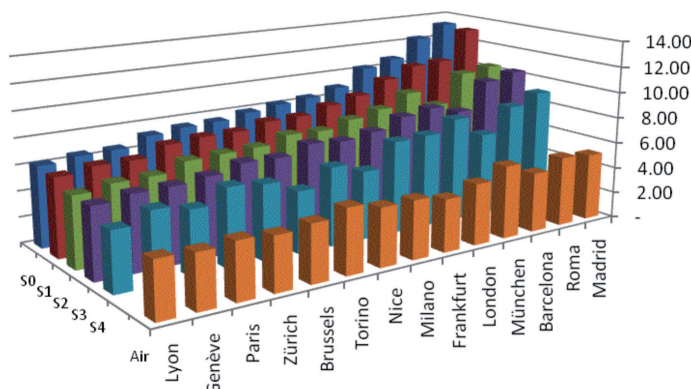


Fig. 8 - Accessibilità delle varie zone in attrazione per il trasporto aereo (Air) e ferroviario (S0 – S4). Accessibility of zones for incoming trips considering air (Air) and rail transport (S0 – S4).

6. Conclusions

High speed rail transport is often considered as a viable alternative to air transport for business trips between 200 and 800 km or around 4 hours, according to various sources [40], [41]. This is generally true if the analysis takes into consideration existing infrastructures and rolling stock. The objective of this study is to determine if this value can improve with the adoption of new solutions related to rolling stock and line technology.

The concept of unrecoverable time has been introduced to obtain an homogeneous comparison between air and rail modes. This time difference is esti-

l'entrata in servizio di nuove soluzioni progettuali sul materiale rotabile e tecnologie sulla linea.

Al fine di rendere omogenea l'analisi di comparazione tra il trasporto aereo e quello ferroviario, è stato introdotto il concetto di tempo non recuperabile, diverso per i due modi di trasporto, che consente di classificare meglio le relazioni O-D per le quali i due modi sono in concorrenza. Questa differenza tra il tempo non recuperabile per aereo e ferrovie è stimata, infatti, in 90 minuti. Di conseguenza, un viaggio in treno con un'eccedenza di tempo che non supera indicativamente questo valore è considerato competitivo.

Tenendo conto dei miglioramenti previsti, in alcune nazioni già attuati, per l'infrastruttura della rete ferroviaria ed anche delle nuove tecnologie per il trasporto ferroviario ad alta velocità, è possibile individuare una soglia di circa 800 km, fino alla quale questa modalità di trasporto può essere vantaggiosa rispetto all'aereo, per quanto riguarda il tempo necessario per lo spostamento di una persona da un centro di città all'altro. Questo valore può raggiungere anche 1000 km, nello scenario con alto livello di offerta ferroviaria, se si considera un ulteriore margine di tempo, dovuto, ad esempio, ad un ritardo generalizzato di 20 minuti negli orari dei viaggi aerei.

Si precisa che lo studio illustrato ha considerato soltanto il fattore tempo di viaggio per stabilire la comparazione tra i due modi di trasporto. Esistono tuttavia diversi altri fattori che possono essere considerati nella comparazione tra il trasporto aereo e ferroviario. Un approfondimento che consideri anche uno o più di questi fattori, associato alla analisi condotta, può fornire ulteriori risultati e nuovi elementi di comparazione tra i due modi.

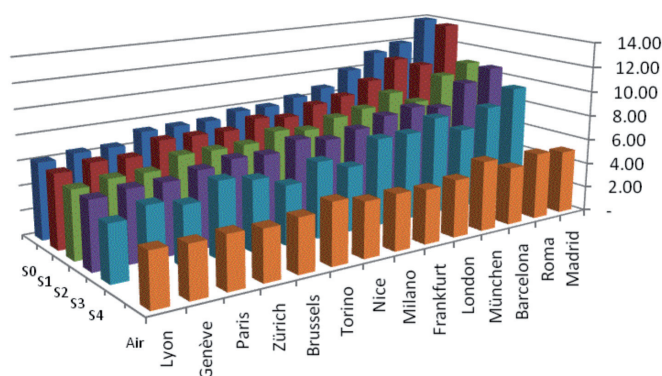


Fig. 9 - Accessibilità delle varie zone in generazione per il trasporto aereo (Air) e ferroviario (S0-S4). Accessibility of zones for outgoing trips considering air (Air) and rail transport (S0-S4).

mated in 90 minutes. As a consequence, a travel on a train with an exceeding travel time of up to 90 minutes is considered as competitive.

Taking into account planned improvements on rail infrastructures (already implemented by some nations) and new technology for high speed rail transport, it is possible to identify a threshold of 800 km under which trains systematically beat aircrafts in terms of travel time, for a user wishing to travel from one city centre to the other. This value may increase to around 1,000 km in a scenario with a greater extension of high speed lines and considering a 20-minutes margin for possible delays in air transport.

Please, note that the present study has taken into consideration only travel time to establish the comparison between transport modes. There are, however, a number of other factors to be included in this comparison. Further studies, accounting for at least one of these factors might provide new comparison elements and more accurate results for the analysis proposed.

BIBLIOGRAFIA - REFERENCES

- [1] Airbus. Airbus - Welcome to Airbus.com, [Online] <http://www.airbus.com>, 2008.
- [2] Airliners.net. Aircraft & Aircraft Carrier Data, Airliners.net, [Online] <http://www.airliners.net/aircraft-data/>, 2008
- [3] Aviation Environment Federation, From planes to trains: realizing the potential from shifting short-haul flights to rail, London: AEF, 2000.
- [4] CAMPBELL, GLEN, Panorama of Transport. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2007.
- [5] Cranfield University - Department of Air Transport, Analysis of the EU Air Transport Industry, 2006.
- [6] DALLA CHIARA B., Engineering and Design of Railway Systems, Torino: Mariogros, 2007.
- [7] Deutsche Bahn AG, DB-Konzern - Trains. DB-Konzern, [Online] 2006, <http://www.db.de/>.
- [8] DI MAJO F., Giuseppe SCIARRONE, *Le Altissime Velocità nel futuro dei trasporti guidati*, Roma: CSST Centro Studi sui Sistemi di Trasporto, 1990.

- [9] European Commission, EU energy and transport in figures - Statistical pocketbook 2007/2008, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2008.
- [10] Keep Europe Moving - Mid-term review of the European Commission's 2001 Transport White Paper, Brussels: s.n., 2006.
- [11] Trans-European transport network: TEN-T priority axes and projects 2005, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2005.
- [12] White Paper - European transport policy for 2010: time to decide, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2001.
- [13] Eurostat. Eurostat, [Online] <http://ec.europa.eu/eurostat>, 2008.
- [14] Ferrovie dello Stato - HomePage Ferrovie dello Stato, [Online] <http://www.ferroviedellostato.it/>, 2008.
- [15] FRANKEL G.S., *L'austerità prende il volo*, Il Sole 24 Ore, 28 April 2008.
- [16] GIVONI M., BANISTER D., *Airline and railway integration*, Transport Policy, May 2006, pp. 386-397.
- [17] Role of the Railways in the Future of Air Transport, Transportation Planning and Technology, 2006, Vol. 30.
- [18] GIVONI M., 2007, *Environmental Benefits from Mode Substitution: Comparison of the Environmental Impact from Aircraft and High-Speed Train Operations*, International Journal of Sustainable Transportation, 2007, Vol. 1:4, pp. 209-230.
- [19] Google. Google Maps, [Online] 2008. <http://maps.google.com>.
- [20] GÜLLER M., GÜLLER M., *From Airport to Airport City*, Barcelona: Gustavo Gili, 2003.
- [21] IATA, International Air Transport Association, [Online] 2008. <http://www.iata.org>.
- [22] Andrés LOPEZ-PITA, Anton Francesc ROBUSTÉ, *The Effects of High-Speed Rail on the Reduction of Air Traffic Congestion*, Journal of Public Transportation, 2003, Vol. 6, pp. 37-52.
- [23] L. MANTZOS, P. CAPROS, *European Energy and Transport Scenarios on high oil and gas prices*, Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities, 2006.
- [24] Harvey J. MILLER, *Place-based versus people-based accessibility*, [book auth.] David LEVINSON J. Krizek KEVIN, *Access to Destinations*, s.l.: Elsevier, 2005, pp. 63-89.
- [25] Anna NAGURNEY, *Sustainable Transportation Networks*, s.l.: Edward Elgar Publishing, 2000.
- [26] P. NEWMAN, J. KENWORTHY, *Sustainability and Cities*. Washington: Island Press, 1999.
- [27] Mark NICHOLLS, *Editorial*, Airports of the World, July/August 2008, p. 4.
- [28] Oneworld, Flight Search, oneworld - Home. [Online] <http://www.oneworld.com/>, 2008.
- [29] Walter PETRILLO, *Il consumo energetico dei trasporti: incidenza sul bilancio dello Stato e prospettive per una maggiore multi modalità*, Torino, Italy: s.n., July 2007.
- [30] Railteam Europe, Railteam Homepage, Railteam Homepage, [Online] <http://www.railteam.co.uk>, 2008.
- [31] Concepción ROMÁN, Juan Carlos MARTÍ, Raquel ESPINO, *Competition of high-speed train with air transport: the case of Madrid-Barcelona*, Journal of Air Transport Management, September 2007, pp. 277-284.
- [32] Guido ROSAZZA, Bruno DALLA CHIARA, *Il "Nuovo Pendolino"*, Ingegneria Ferroviaria, July/August 2005.
- [33] SBB, SBB: Home - Online Timetable, Ticket Shop, Online travel shop: [Online] <http://www.sbb.ch/en>, 2008.
- [34] SkyTeam, Flight Schedules - SkyTeam, SkyTeam Airline Alliance, [Online] 2008, <http://www.skyteam.com/skyteam>.
- [35] Star Alliance Services GmbH, Flight Search - Star Alliance, Travellers - Star Alliance, [Online] 2008, <http://www.staralliance.com/en/travellers/index.html>.
- [36] Technical University of Lisbon; University of Antwerp, *The consequences of the Growing European Low-Cost Airline Sector*. Brussels: European Parliament, 2007.
- [37] The Boeing Company, The Boeing Company, [Online] <http://www.boeing.com>, 2008.
- [38] Victoria Williams, Robert B. NOLAND, *Comparing the CO2 emissions and contrail formation from short and long haul air traffic routes from London Heathrow*, Environmental science & policy, 2006, pp. 487-495.
- [39] Marcelo WUO LOPES, *High-speed railways as an alternative for air transport at continental level in Europe*, Thesis (Relatori: B. DALLA CHIARA, F. DEFLORIO), Politecnico di Torino, 2008.
- [40] Bruno CIRILLO, Paolo COMASTRI, Pier Luigi GUIDA, Antonio VENTIMIGLIA, *L'alta velocità ferroviaria*, CIFI, 2009.
- [41] Pierre-Louis ROCHET, *La grande vitesse ferroviaire dans le monde*, Revue General des Chemins de Fer, N. 192, mars 2010.