



Il Master Plan del trasporto ferroviario in Croazia: un esempio di approccio metodologico integrato nell'analisi delle scelte di investimento

The Master Plan for rail transport in Croatia: an example of integrated methodological approach for the analysis of investment choices

Dott. Ingg. Salvatore D'ALFONSO^(), Filippo Alessandro MARCIANO^(**), Silvia NARDONI^(**)*

1. Premessa

La Italferr S.p.A. del Gruppo FS ha, in questo ultimo anno, orientato fortemente la politica di acquisizione delle commesse di lavoro verso il mercato internazionale. Tale mercato costituisce una realtà certamente complessa, spesso con un substrato di regole e processi organizzativi del settore ferroviario molto diversi da quelli italiani. È, inoltre, in costante crescita la richiesta di studi di pianificazione e di studi di fattibilità, che si affiancano alle consuete richieste di consulenze nei settori classici della progettazione ai vari livelli, nella direzione e supervisione dei lavori di realizzazione e, infine, nell'assistenza all'attivazione degli impianti.

Tali nuove esigenze dei clienti del mercato internazionale hanno richiesto la messa a punto di un nuovo approccio alla progettazione degli interventi di potenziamento dei corridoi ferroviari e delle linee, su nuove basi che rafforzino l'efficacia delle analisi di fattibilità degli interventi stessi, rendendo quindi più stabili le soluzioni progettuali e le scelte funzionali proposte ai clienti stessi.

Italferr si è aggiudicata, nel marzo 2009, una gara avente, tra l'altro, lo scopo di affidare al Consulente l'analisi sotto il profilo sia trasportistico che tecnico-economico della tratta ferroviaria in territorio croato del X Corridoio Pan-Europeo (fig. 1), con l'obiettivo di:

- verificare le scelte dell'esistente Master Plan Ferroviario;
- individuare la corretta progressione degli interventi infrastrutturali necessari per potenziare il Corridoio;
- definire gli standard tecnologici.

^(*) Italferr, Direzione Tecnica, Responsabile U.O. Modelli di Trasporto e di Esercizio.

^(**) Italferr, Direzione Tecnica, U.O. Modelli di Trasporto e di Esercizio.

1. Abstract

Italferr S.p.A., part of the Ferrovie dello Stato group, during the last year has significantly oriented its policy of acquiring projects from the international market. This market constitutes a complex reality, often with a sublayer of rules and organisational regulations of the railway sector that are much different from the Italian ones. Moreover the demand for planning and feasibility studies is on the increase. These studies are placed side by side with the usual requests for consulting activities related to the classical sector project at various levels, direction and supervision of construction works, and to assist in the activation of the stations.

These new requirements from international customers have brought the need to implement a new approach to the design of incremental upgrade interventions of rail corridors and lines. The approach is founded on a basis that strengthens the effectiveness of feasibility analyses of the work activities, thus providing a more stable foundation to both the design solutions and the functional choices proposed to the customers.

A contract to analyse both the transport and technical-economic profiles of the Croatian portion of the TEN-10 rail corridor was awarded to Italferr in March 2009 (fig. 1). The objectives of this analysis were to:

- verify the choices of the existing Rail Master Plan;
- identify the correct sequence of the infrastructural interventions required
- to upgrade the Corridor;
- define the technological standards.

^(*) Italferr, Technical Direction Section, Manager of Transport and Operational Models Unit.

^(**) Italferr, Technical Direction Section, Transport and Operational Models Unit.

L'articolo descrive gli elementi salienti del metodo seguito e fornisce i risultati più rilevanti della sua applicazione.

2. Introduzione

Le analisi più frequenti che riguardano la fattibilità di opere ferroviarie in contesti internazionali sono spesso basate sulla redazione o sulla verifica dei Master Plan dei Trasporti, ai quali è affidata la funzione di linee-guida per lo sviluppo delle varie modalità di trasporto su basi temporali spesso di medio-lungo termine. Si tratta, quindi, di documenti sui quali si impregnano le scelte politiche dei trasporti dei Paesi coinvolti, che mobilitano risorse finanziarie ingenti in contesti geopolitici ed economici in alcuni casi critici.

È, quindi, rilevante la responsabilità di concepire, nel caso di redazione, o di analizzare, in caso di verifica, in modo scrupoloso ed attento le scelte di investimento. In ogni caso, l'analisi, specialmente nel settore ferroviario, richiede l'utilizzo di strumenti efficaci, anche in considerazione della frequente ricorrenza di una situazione finanziaria non florida. Tale circostanza rende necessario orientarsi verso una scelta estremamente selettiva, costruendo scale di priorità che privilegino gli interventi più urgenti e si orientino sulla realizzazione di quelle opere che consentano benefici immediati sulle componenti economico-finanziarie legate, soprattutto, all'incremento della capacità dell'infrastruttura e alla diversione del traffico da altre modalità verso quella ferroviaria.

Nel caso specifico della Croazia, l'incarico ha riguardato la verifica dei risultati del Master Plan relativi alle proposte di ammodernamento e potenziamento delle linee ferroviarie del Corridoio Paneuropeo X in territorio croato e, in particolare, delle condizioni infrastrutturali e tecnologiche per introdurre su di esse gli standard infrastrutturali minimi che fanno riferimento ai due accordi internazionali relativi rispettivamente ai servizi viaggiatori-



Fig. 1 - Il Corridoio Paneuropeo X si sviluppa da Salisburgo (Austria) a Tessaloniki (Grecia) attraversando Slovenia, Croazia, Serbia e Macedonia. Dall'asse principale si enucleano quattro diramazioni, rispettivamente verso Graz (Austria), Budapest (Ungheria), Sofia (Bulgaria) e Florina (Grecia). *The TEN-10 Corridor runs between Salzburg (Austria) and Thessaloniki (Greece), crossing Slovenia, Croatia, Serbia and Macedonia. From the main backbone enucleate four branches: to Graz (Austria), Budapest (Hungary), Sofia (Bulgaria) and Florina (Greece).*

In this paper the main aspects of the method adopted are reported and the most relevant results are provided.

2. Introduction

The most frequent analyses related to the feasibility of rail works in an international context are often based upon either a new plan or a verification of an existing Transport Master Plan. Master Plans have the function of providing guide lines for the development of various modes of transport on a medium to long term basis. These Plans contain the transportation policies of the countries involved, that will invest a significant amount of financial resources in geopolitical and economical contexts that in some cases may be critical.

It is an important responsibility to edit or to analyse the investment choices in great detail. In each case, particularly in the rail sector, the analysis requires the use of effective tools, taking in to consideration the frequent recurrence of a difficult financial situation. Such circumstance requires an extremely careful choice, by defining priorities that are the most urgent. The focus on those interventions that may produce an immediate financial-economic benefit are due to the increased capacity and the convergence of traffic from other modes to rail.

⁽¹⁾ L'European Agreement on Main International Railway Lines, siglato a Ginevra il 31 maggio 1985, identifica la mappa e le caratteristiche prestazionali delle linee, esistenti ed in progetto, destinate al traffico internazionale viaggiatori.

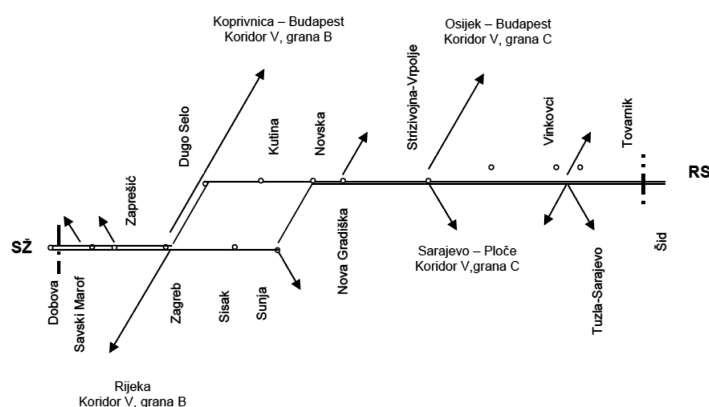


Fig. 2 - Schema delle linee della parte croata del Corridoio X e delle tratte ferroviarie interconnesse facenti parte delle sezioni secondarie del Corridoio Paneuropeo V (V-B e V-C). Schematic outline of the railways that are part of the Croatian portion of the TEN-10 Corridor, and of the interconnecting secondary segments which are part of the TEN-5 Corridor (V-B e V-C).

ri di lunga percorrenza ("AGC")⁽¹⁾ e al trasporto merci combinato ("AGTC")⁽²⁾.

Sul Corridoio X si incentrano, infatti, le prospettive di sviluppo economico dei Paesi dell'Area Balcanica che esso attraversa, in quanto asse portante dei traffici merci dal Centro Europa alla Grecia e alla Turchia attraverso la Slovenia, la Croazia e la Serbia, e viceversa. Attraverso la Croazia, il Corridoio connette aree agricole e industriali di particolare rilevanza ed interesse.

Al fine del rispetto degli obiettivi assegnati particolare enfasi è stata, perciò, attribuita alle previsioni di sviluppo del traffico delle merci attraverso il Corridoio stesso e, per quanto attiene alla sua capacità infrastrutturale, alla massimizzazione del numero delle tracce merci disponibili nei modelli di esercizio proposti nei vari scenari infrastrutturali.

Il Corridoio X, di cui nella fig. 2 è riportata una rappresentazione schematica, è composto dalle seguenti sezioni di linea alimentate a 25 kV c.a.:

- M 101 dal confine sloveno a Zagabria Centrale (Glavni Kolodvor) (sezione a doppio binario, 26,7 km);
- M 102 da Zagabria Centrale (Glavni Kolodvor) a Dugo Selo (sezione a doppio binario, 21,2 km);
- M 103 da Dugo Selo a Novska, sezione a semplice binario, 83,4 km);
- M 104 da Zagabria Centrale (Glavni Kolodvor) a Novska via Sisak (itinerario alternativo a semplice binario);

⁽²⁾ L'European Agreement on Important International Combined Transport Lines and Related Installations, siglato a Ginevra il 1 febbraio 1991, identifica la mappa e le caratteristiche prestazionali delle linee, esistenti ed in progetto, destinate al traffico merci combinato.

In the specific case of Croatia, the task was to verify the Master Plan's in relation to the proposals for modernising and improving the railway lines that are part of the TEN-10 Corridor in Croatian territory. In particular the task concerns the infrastructural and technological conditions with the introduction of the minimum infrastructural standards which satisfy the international agreements related to long distance passenger transportation ("AGC")⁽¹⁾ and to the combined freight transportation ("AGTC")⁽²⁾.

Development within the countries of the Balkan region rely on the TEN-10 corridor, as it is the back bone of freight traffic from Central Europe to Greece, and to Turkey passing through Slovenia, Croatia and Serbia, and vice versa. Through Croatia the Corridor connects agricultural and industrial areas that are of particular importance.

In order to comply with the assigned objectives, particular emphasis has been given to the forecast of traffic development along the Corridor; and in relation to its infrastructural capacity, to maximize the number of freight tracks available in the operational models defined in the various infrastructural scenarios.

- The TEN-10 Corridor, as shown in fig. 2 is composed of the following line sections powered at 25 kV a.c.:
- M 101 from the Slovenian border to Zagreb Central station (Glavni Kolodvor) (double track section, 26,7 km);
- M 102 from Zagreb Central (Glavni Kolodvor) to Dugo Selo (double track section, 21,2 km);
- M 103 from Dugo Selo to Novska, single track section, 83,4 km);
- M 104 from Zagreb Central (Glavni Kolodvor) to Novska via Sisak (alternative single track itinerary);
- M 105 from Novska to the Bosnia State border (double track section, 185,4 km).

The Croatian railway Master Plan contains:

⁽¹⁾ The European Agreement on Main International Railway Lines, signed in Geneva on May 31st 1985, identifies the map and the performance characteristics of the existing and planned lines for international passenger traffic.

⁽²⁾ The European Agreement on Important International Combined Transport Lines and Related Installations, signed in Geneva on February 1st 1991, identifies the map and the performance characteristics of the existing and planned lines for combined freight traffic.

- M 105 da Novska al confine bosniaco (sezione a doppio binario, 185,4 km).

Il Master Plan Ferroviario della Croazia è un documento articolato ed approfondito, contenente:

- una presentazione delle cinque sezioni di linea costituenti il Corridoio X, per ciascuna delle quali vengono descritte le caratteristiche rilevanti (velocità massime, grado di congestione, attuale lay-out delle stazioni comprensivo degli schemi tecnologici e lay-out complessivo di ciascuna delle sezioni di linea);
- una proposta di razionalizzazione del numero delle stazioni di ciascuna delle sezioni di linea del Corridoio, basata su alcuni specifici criteri di razionalizzazione e standardizzazione (tra cui i volumi medi di traffico merci e passeggeri in un dato periodo di osservazione, l'indispensabilità dell'esistenza della stazione in relazione all'esistenza di una località importante, l'esistenza di impianti o di attrezzature per la manutenzione della linea e del materiale rotabile);
- il lay-out futuro delle stazioni e delle sezioni di linea del Corridoio, con un'analisi qualitativa sullo stato futuro del Nodo di Zagabria;
- la struttura dell'attuale modello di esercizio sulle sezioni di linea del Corridoio;
- le previsioni di traffico merci e viaggiatori ed il corrispondente numero di treni sulle differenti sezioni di linea del Corridoio;
- una proposta di fasatura degli interventi di modernizzazione e potenziamento del Corridoio X articolata su quattro distinti periodi.

Il documento, estremamente dettagliato dal punto di vista delle proposte infrastrutturali e tecnologiche, non presenta una forte correlazione tra le scelte progettuali proposte e le previsioni di traffico merci e viaggiatori.

Tale considerazione ha consigliato una impostazione dell'attività di revisione con l'obiettivo di riequilibrare i due differenti ambiti, la domanda di trasporto da un lato e l'offerta infrastrutturale e dei servizi dall'altro, in modo da correlare i due aspetti e far sì che i nuovi lay-out infrastrutturali di linee ed impianti fossero coerenti con la nuova struttura dei servizi ferroviari offerti alla clientela, sia per il traffico viaggiatori che per le merci.

Inoltre, l'evidenza che il Nodo di Zagabria costituisca un elemento fortemente critico per la capacità dell'intero Corridoio ha consigliato di includere le linee e gli impianti del Nodo stesso nelle analisi effettuate (fig. 3).

3. Le linee-guida dell'approccio metodologico

La modalità con cui sono state analizzate le linee del Corridoio X sono innovative, rispetto agli approcci classicamente utilizzati che verificano la potenzialità delle singole tratte e dei singoli impianti.

- a presentation of the five line segments that constitute the TEN-10 Corridor. For each segment the relevant characteristics are described (maximum speed, congestion degree, current station layout, including the technological schematics and overall layout of each line segment);
- a proposal to rationalise the number of stations for each segment of the Corridor. The proposal is based on specific criteria of rationalisation and standardisation (among which there are the average passenger and freight traffic volumes during a given observation period, the need for a station in relation to the importance of its location, the existence of structures or tools for the maintenance of the line and the rolling stock);
- the future layout of the stations and of the line sections of the Corridor, with a qualitative analysis of the future structure of the Node of Zagreb;
- the structure of the current operating model of the line segments of the Corridor;
- the forecast of both freight and passenger traffic, and the corresponding number of trains over the different line segments of the corridor;
- a timing proposal over the modernisation and incremental upgrade works of the TEN-10 corridor, specified over four distinct periods.

The document, while extremely detailed from the point of view of the infrastructural and technological proposals, does not present a strong correlation between the design choices and the passenger and freight traffic forecast.

Such consideration suggests the setup of an audit with the objective to balance the two different environments, transport demand on one side, and infrastructural supply on the other, in order to correlate the two aspects, and make sure that the new line and equipment infrastructures would be consistent with the new rail services offered to customers, both for passenger and freight.

Moreover, the evidence that the Node of Zagreb would assume a critical role for the capacity of the entire Corridor has suggested the inclusion of the lines and the nodal installations into the performed analyses (fig. 3).

3. Guidelines of the methodological approach

The manner under which the lines of the Corridor were analysed is an innovative one, with respect to the classical approaches used to verify the potential of the single segments and the single installation.

The approach in fact was, first of all, a global one, given that the entire existing infrastructure from the Slovenian border to the Serbian one has been modelled. This included the lines that are part of the Node of Zagreb, although they were not initially included in the set



Fig. 3 - Il Nodo di Zagabria nella configurazione del Master Plan. Sono riportate le stazioni esistenti (cerchio azzurro) e future (cerchio rosso), le fermate attuali (cerchio giallo) e future (cerchio verde) e le linee attuali (linee rosse) e future (linee nere) del Nodo. In verde sono riportate le ferrovie metropolitane leggere urbane. *The Zagreb Node as configured in the Master Plan. Shown here are the existing stations (light-blue circle) and future (red circle), existing stops (yellow circle) and future (green) and the current lines (red lines) and future (black lines) of the Node. The metropolitan light rails are shown in green.*

Infatti, l'approccio è stato, innanzitutto, globale, dal momento che è stata modellizzata tutta l'infrastruttura esistente dal confine sloveno a quello serbo, comprese le linee facenti parte del Nodo di Zagabria, sebbene non incluso nell'oggetto delle attività da realizzare. È stato, così, possibile rilevare nelle analisi di esercizio le interazioni tra i treni in circolazione in relazione alle differenti tipologie di servizio (merci, passeggeri a carattere metropolitano e a lunga percorrenza), ed intervenire sull'orario, ai fini della sua stabilità, in modo più organico e complessivo.

L'attenzione alla pianificazione dei servizi come elemento preminente del processo di progettazione delle infrastrutture ferroviarie è il secondo elemento di novità, che si contrappone all'approccio generalmente utilizzato che parte dalla progettazione dell'infrastruttura e affronta come passi successivi, nell'ordine, la pianificazione dei servizi e la scelta del materiale rotabile. Nel nuovo approccio la scelta dei servizi da effettuare precede un unico successivo passo, che prevede l'analisi congiunta del bino-

of activities to be performed. It has therefore been possible, in the operation analysis, to represent the interactions between running trains in relation to their different types of service (freight, passenger and metropolitan trains and long distance trains), and thus modify the timetable in a more organic and complete manner, for the purpose of stability.

The attention given to the planning of services as a principle element of the design process of the rail infrastructure is the second innovative element, in contrast with the approach generally used, which begins from the planning of infrastructure followed by the definition of the transport services and, finally, by the selection of rolling stock. In the new approach the selection of services offered is the first step, followed by only one subsequent step which comprises at the same time the planning of infrastructure and rolling stock (fig. 4).

Finally, an additional innovative element is provided by identifying the needs of infrastructural capacity increase through a progressive optimal use of the infra-

mio infrastruttura-materiale rotabile (fig. 4).

Infine, un ulteriore elemento di innovazione è dato dalla determinazione delle esigenze di aumento della capacità infrastrutturale mediante la progressiva saturazione dell'infrastruttura stessa per mezzo della simulazione di un orario "saturante". La simulazione dell'orario è stata articolata, nel caso della Croazia, sulle seguenti fasi:

- simulazione del modello di esercizio attuale, che ha permesso di individuare criticità sia di carattere infrastrutturale che gestionale, legate, queste ultime, all'utilizzo non razionale, peraltro sedimentato nel tempo, dei binari di partenza e ricevimento delle stazioni ed inoltre, di calibrare il modello di simulazione utilizzato per l'analisi;
- simulazione del modello di esercizio "regolarizzato", costruito, cioè, eliminando le criticità gestionali dell'orario attuale, legate soprattutto ad errori di pianificazione dell'orario sedimentati nel tempo (treni con soste eccessive, mancato rispetto della traccia orario per sopravvenute criticità infrastrutturali, ecc.);
- verifica di capacità del sistema in base al modello infrastrutturale attuale: basata sulla simulazione di un orario che porta alla saturazione; tale orario è stato costruito incrementando il numero delle tracce di ciascuna delle tipologie di convogli secondo una successione che si basa sull'incremento delle tracce dei diversi servizi seguendo un trend di crescita che tenga conto di alcune ipotesi "macro" sulle previsioni di incremento delle differenti componenti della domanda; il modello dell'infrastruttura attuale entra, così, in progressiva crisi, e la "lettura" dei punti critici e dei "colli di bottiglia" permette di individuare una corretta successione degli interventi secondo la logica della progressiva saturazione dell'infrastruttura; nel caso specifico del Corridoio X, l'infrastruttura è stata pre-caricata con i servizi passeggeri a carattere metropolitano e a media-lunga percorrenza, e sono state, successivamente, incrementate le tracce dei servizi merci, al fine di stabilirne il numero massimo in corrispondenza di ciascuna delle modifiche infrastrutturali rilevanti;
- confronto tra la capacità e le previsioni di trend del traffico ferroviario scaturite da una analisi della domanda di trasporto e da alcune simulazioni degli scenari di domanda futuri effettuate in parallelo allo studio di esercizio.

Nel successivo paragrafo è riportato il dettaglio della metodologia e le informazioni sul modello con il quale sono state effettuate le simulazioni di esercizio.

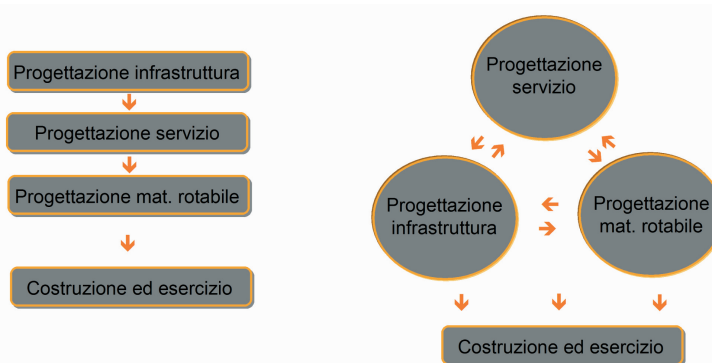


Fig. 4 - Il flusso della progettazione tradizionale (a sinistra) e metodologia innovativa utilizzata (a destra). *Traditional design flowchart (left) and the innovative methodology used (right). (Infrastructure Design; Service Design; Rolling Stock Design; Construction and Operation).*

structure (saturation) by means of "saturated" timetable simulation. For the Croatian case the timetable simulation has been articulated as follows:

- simulation of the current operational model, which allowed to identify critical situations, both under the infrastructural and operational aspects, the latter being related to a non-rational utilisation of both the outbound and inbound tracks of the stations, and, ultimately, to calibrate the simulation model used for the analysis;
- simulation of the "regulated" operation model, built by eliminating any critical points of the current timetable. These critical points were mostly related to planning errors accumulated over time (trains with lengthy stops, failed to comply with the time traces due to occurred infrastructural criticalities);
- verification of the system's capacity based on the current infrastructure, based on the simulation of a timetable leading to saturation; such timetable was developed by increasing the number of paths for each type of train according to a sequence based on the increment of the paths of the different services following an increasing trend that takes into account some assumptions about the forecast of the different demand components. The current infrastructural model will gradually overload, so that the readings of critical points and bottlenecks may allow a correct sequence of investments according to the logic of the gradual saturation of the infrastructure; in the specific case of the X Corridor, the infrastructure was pre-loaded with urban and long distance passenger services; the paths for freight services were then gradually added in order to identify their maximum number corresponding to each of the most relevant infrastructural modifications;
- comparison between capacity and forecasts of rail

4. Le simulazioni dell'esercizio

Ai fini del calcolo della capacità massima delle linee e, in particolare, della parte di capacità occupabile da tracce merci, è stato utilizzato il software di simulazione microscopica OpenTrack, che ha permesso di identificare progressivamente i "colli di bottiglia" della rete simulata. In tal modo è stato possibile identificare, contestualmente, le azioni di potenziamento e di ammodernamento prioritarie.

4.1. L'architettura del software

Durante la simulazione, OpenTrack calcola gli spostamenti dei treni predefiniti rispettando il funzionamento dei sistemi di distanziamento e l'orario. Il software esegue simulazioni singole o ricorsive, nelle quali sono riprodotte le reali distribuzioni stocastiche dei ritardi in partenza e nelle diverse stazioni intermedie.

Per la costruzione del modello sono richieste tre tipologie di dati: le caratteristiche del materiale rotabile, la configurazione infrastrutturale e l'orario pianificato. Successivamente, nel corso di una simulazione, i treni cercano di rispettare la tabella di marcia pianificata. Le equazioni differenziali del moto sono la base per il calcolo del movimento dei convogli ed è possibile considerare il verificarsi di eventi discreti che possono influenzare il moto dei treni stessi. Ad esempio, il sistema di segnalamento della rete ferroviaria rappresenta un vincolo al movimento, dal momento che le sezioni di linea occupate e l'aspetto restrittivo dei segnali possono ostacolare la marcia del treno. La struttura funzionale del software OpenTrack è rappresentata in fig. 5 (per ulteriori informazioni www.opentrack.ch).

4.2. La simulazione della situazione attuale

Al fine di calibrare e validare il modello, è stata effettuata la simulazione della circolazione attuale, utilizzando

traffico, risultando da un'analisi di trasporto demand, e da alcune simulazioni di futuro demand scenarios performed in parallel to the operation study.

The following paragraph provides the details of the methodology used, and information about the model with which the operation simulation was made.

4. The operations simulation

For the purpose of calculating the maximum capacity of the lines and, in particular, the allowable capacity for freight paths, the macroscopic simulating software OpenTrack has been used. This software identified progressively the bottlenecks of the simulated network. Thus it has been possible to identify, at the same time, the modernising actions considered as a priority.

4.1. The software architecture

During the elaboration, OpenTrack simulates the movement of the predefined number of trains while fully complying with the operation of the train spacing system and the timetable. The software executes either one-time or recursive simulations, in which the real stochastic distributions of delays in the departing and intermediate stations are reproduced.

For the implementation of the model three types of data are required: the characteristics of the rolling stock, the infrastructure's configuration, and the planned timetable. Subsequently, during one simulation, the trains try to follow the planned schedule. The differential equations of motion constitute the basis for the computation of the train's movement, and it is possible to consider discrete events that may influence the movement of the trains themselves. For example the rail signalling system represents a constraint of movement (i.e. a boundary condition), since the occupied line sections and the restricting aspect of signals may interfere with the movement of the trains. The functional structure of OpenTrack is shown in fig. 5 (for more information visit <http://www.opentrack.ch>).

4.2. Simulation of the current situation

For the purpose of calibrating and validating the model, a simulation of the current train traffic has been performed. The deterministic approach was adopted with the goal to verify the correspondence between the theoretical and simulated timetable. The model correctly described the behaviour of the rail system. Specifically it was noted that the current timetable

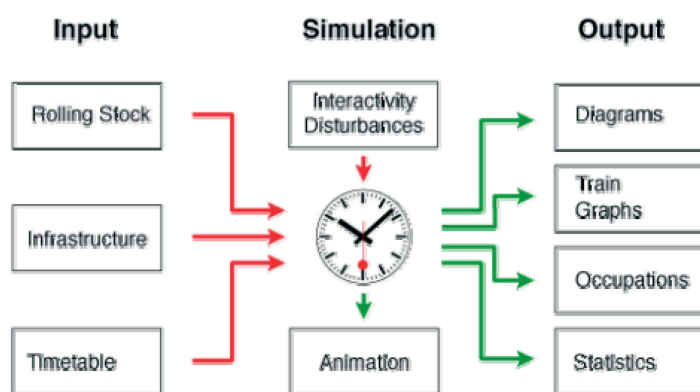


Fig. 5 – Struttura funzionale del software OpenTrack. Functional structure of the OpenTrack software.

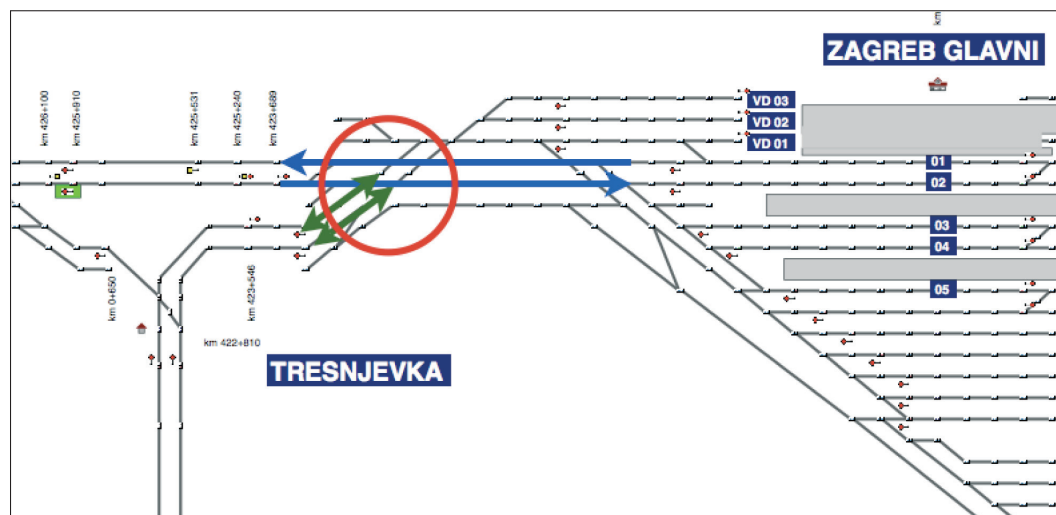


Fig. 6 – Impossibilità di movimenti contemporanei sugli itinerari da/per Savski Marof rispetto a quelli da/per Karlovac-Sisak nella stazione di Zagabria Centrale (Glavni Kolodvor). *Impossibility of contemporary movements on the routes from/to Savski Marof with respect to the routes from/to Karlovac-Sisak within the station of Zagabria Centrale (Glavni Kolodvor).*

do un approccio di tipo deterministico con l'obiettivo di verificare la corrispondenza tra orario teorico e orario simulato. Il modello ha consentito di descrivere correttamente il comportamento del sistema ferroviario. In particolare, è emerso che l'orario attuale è particolarmente "stressato", nel senso che non consente ai treni il rispetto dell'orario pianificato, ma, al contrario, sono possibili ritardi, specialmente sulle tratte ancora a semplice binario. Inoltre, fenomeni di congestione della circolazione sono stati osservati a Zagabria Centrale (Glavni Kolodvor) e a Dugo Selo e nella tratta a semplice binario Dugo Selo – Novska.

Alcuni punti critici sono stati identificati attraverso l'analisi e la simulazione dello stato attuale. In particolare, l'attuale situazione della stazione di Zagabria Centrale (Glavni Kolodvor) è risultata critica per diverse cause. Ad esempio gli itinerari dei treni per Savski Marof (linee blu) e Karlovac/Sisak (linee verdi), rappresentati in fig. 6, non sono indipendenti e gli effetti negativi di tale circostanza sul movimento dei treni sono risultati evidenti.

Inoltre, l'attuale limitazione a 30 km/h degli itinerari di stazione determina elevati tempi di occupazione degli itinerari stessi e conseguenti ampie occupazioni delle sezioni di blocco; tale fatto sembra essere la causa della saturazione della sezione a doppio binario per Dugo Selo e può essere, quindi, identificato come il collo di bottiglia di questa sezione di linea (fig. 7).

Ancora nella stazione di Zagabria Centrale (Glavni Kolodvor), l'attuale configurazione dei binari determina evidenti conflitti tra treni in entrata e in uscita dovuti alla non razionale configurazione di alcuni deviatori, con evi-

was particularly stressed, meaning that trains were not able to keep up with the scheduled timetable, but conversely delays were possible, especially in those lines that are still single track. Additionally, train traffic congestion was noticed at Zagreb Central (Glavni Kolodvor), Dugo Selo, and on the single track line Dugo Selo – Novska.

Some critical points were identified during the analysis and simulation of the current state. In particular, the current state of the Zagreb Central station resulted in being critical for a variety of reasons. For example, the routes of trains going to Savski Marof (blue lines) and Karlovac/Sisak (green lines), as shown in fig. 6, are not independent and the negative impacts over the general train running were evident.

Additionally, the current speed limitation set to 30 km/h for the station routes determines long occupation routes times with a consequent ample occupation of block sections; this fact appears to be the cause of the saturation of the double track section of Dugo Selo, and can then be identified as the bottleneck of this line section (fig. 7).

Again in Zagreb Central Station (Glavni Kolodvor), the current track configuration determines evident conflicts between inbound and outbound trains due to the non-rational positioning of some turnouts, with clearly possible restrictions to the overall capacity of the system and the critical state of traffic management (fig. 8).

Finally the out-dated technology of Zagreb Central (Glavni Kolodvor), an apparatus dated back to the 1930s, constitutes another source of criticality.

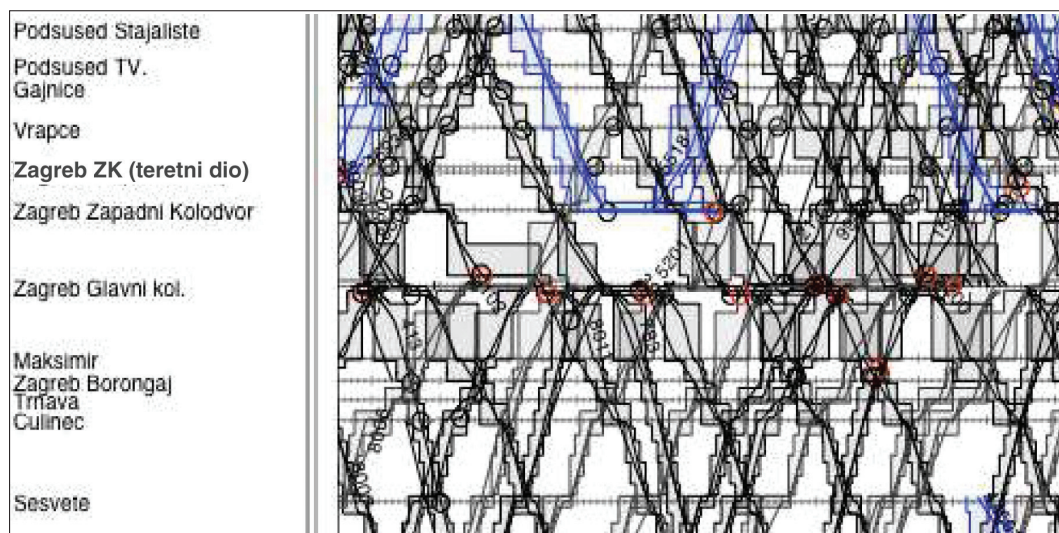


Figura 7 – Il diagramma rappresenta il grafico dell'orario attuale simulato sulle tratte del Corridoio X adiacenti alla stazione di Zagabria Centrale (Glavni Kolodvor), e sono evidenziate le criticità dovute alle basse velocità di approccio alla stazione. *The diagram illustrates the present simulated train paths regarding the line sections of the X Corridor adjacent to the station of Zagabria Centrale (Glavni Kolodvor); it shows the critical aspects connected to the low speed values of the train approach to the station.*

denti possibili restrizioni alla capacità complessiva dell'impianto e criticità nella gestione dei movimenti (fig. 8).

Infine, la dotazione tecnologica obsoleta di Zagabria Centrale (Glavni Kolodvor), un apparato degli anni '30, costituisce una ulteriore causa di criticità.

4.3. Simulazioni iterative e identificazione degli scenari infrastrutturali di progetto

L'identificazione dei colli di bottiglia è stata effettuata aumentando, passo dopo passo, il numero dei treni sulla rete a partire dal traffico attuale previsto dal Master Plan. L'idea è di realizzare la progressiva saturazione della rete e identificarne i punti critici. La saturazione della rete implica che il numero dei treni non può essere aumentato nelle sezioni critiche e, quindi, sulla rete. Le sezioni critiche sono i colli di bottiglia del sistema, che dovrebbero essere risolti al fine di poter aumentare i volumi di traffico.

La procedura proposta ha permesso di individuare una serie di interventi infrastrutturali tra loro coerenti sia nell'ambito dello scenario proposto, sia con la configurazione finale del sistema. Tali interventi infrastrutturali possono, quindi, essere considerati come una porzione del progetto nella sua globalità. Per ogni scenario, i corrispondenti massimi livelli di traffico sono stati stimati e questi valori sono stati successivamente confrontati con le previsioni di traffico al fine di prevedere il momento nel

4.3. Iterated simulations and identification of the infrastructural design scenarios

The identification of the bottlenecks was done by gradually increasing the number of trains on the network, starting from the current traffic volume as per the Master Plan. The idea was to gradually saturate the network and identify the critical points. The network saturation implies that the number of trains cannot be increased in such critical sections, and therefore on the network. The critical sections are the system's bottlenecks that need to be addressed in order to be able to increase the traffic volume.

The proposed procedure has made it possible to identify a series of infrastructural interventions, coherent among them, both in the proposed scenario context and in the final configuration of the system. These infrastructural interventions can therefore be considered as a portion of the project plan in its entirety. For each scenario, the corresponding maximum levels of traffic have been estimated, and these values were then compared with the traffic forecasts in order to predict the moment when the infrastructure will need additional upgrade interventions (saturation level).

The obtained result, by following the method of a successive targeted elimination of the bottlenecks and subsequent increase of traffic, allowed the identification of four functional scenarios as follows:

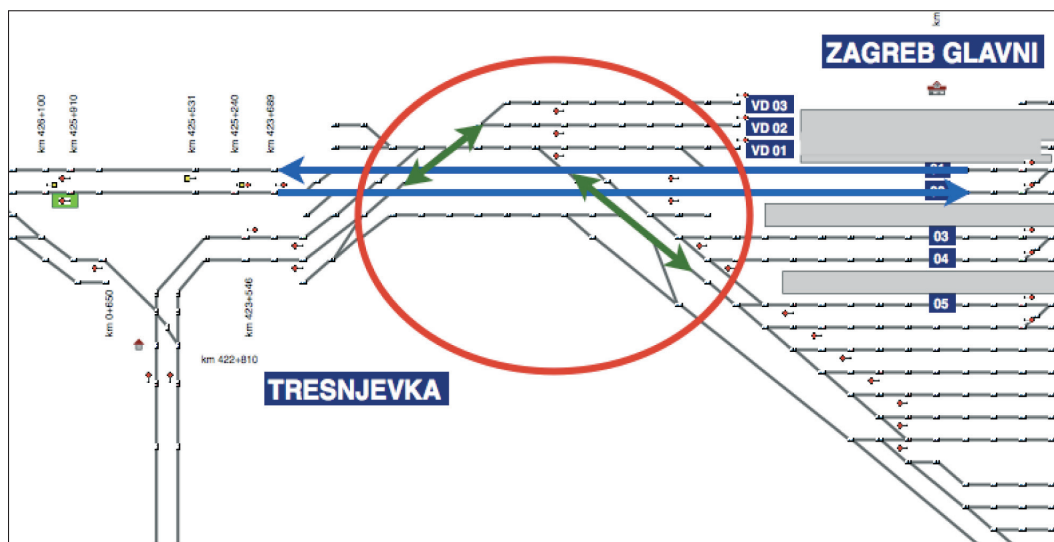


Figura 8 – Alcune criticità di impianto a Zagabria Centrale (Glavni Kolodvor), dovute alla non razionale collocazione di alcuni deviatori. *Some critical points of the Zagabria Centrale's (Glavni Kolodvor) installation, due to a non-rational positioning of some turnouts.*

quale l'infrastruttura richiederebbe ulteriori interventi di miglioramento (livello di saturazione).

Il risultato ottenuto, seguendo la metodologia di progressiva eliminazione mirata dei colli di bottiglia ed il conseguente incremento del traffico, ha permesso di identificare quattro scenari funzionali, di seguito riportati:

Scenario infrastrutturale n. 1 – Linee M101-102-103-104 (fig. 9)

- raddoppio Dugo Selo – Ivanic Grad e Novska – Lipovljani;
- ammodernamento del binario (160 km/h) di parte della sezione tra Dugo Selo e Novska;
- implementazione del sistema ETCS livello 1 con sezioni di blocco di 1500 m;
- velocizzazione degli itinerari di Dugo Selo a 60 km/h e realizzazione di un binario per gli attestamenti dei treni;
- realizzazione dei collegamenti di sicurezza a tutti i passaggi a livello per eliminare le frequenti operazioni di fermata e ripartenza sulla linea M104;
- realizzazione di apparati centrali nelle stazioni e del blocco in linea tra le stazioni di Novska e Sunja;
- realizzazione di una stazione di incrocio a Bliniskj Kut con itinerari percorribili in deviata a 60 km/h;
- nuovo lay-out della stazione di Zagabria Centrale (Glavni Kolodvor) con itinerari percorribili in deviata a 60 km/h.

Infrastructural scenario n. 1 – Lines M101-102-103-104 (fig. 9)

- double-tracking Dugo Selo - Ivanic Grad, and Novska – Lipovljani;
- incremental track upgrade (160 km/h) of part of the line between Dugo Selo and Novska;
- implementation of the ETCS level 1 with block sections of 1500 m;
- speeding up of the Dugo Selo routes at 60 km/h and construction of a terminal track;
- implementation of all the safety connections of the level crossings in order to eliminate the stop-and-go operations on the M104 line;
- construction of interlocking apparatus in stations and line block system between the stations of Novska and Sunja;
- construction of a crossing station at Bliniskj Kut with diverted routes at a maximum speed of 60km/h;
- new lay-out of the station of Zagreb Central (Glavni Kolodvor) with diverted routes at a maximum speed of 60km/h.

Infrastructural scenario n. 2 – Lines M102-103 (fig. 10)

- double tracking of the line between Ivanic Grad and Lipovljani;
- incremental track upgrade (160 km/h) where possible;
- new lay-out of the station of Zagreb Central (Glavni

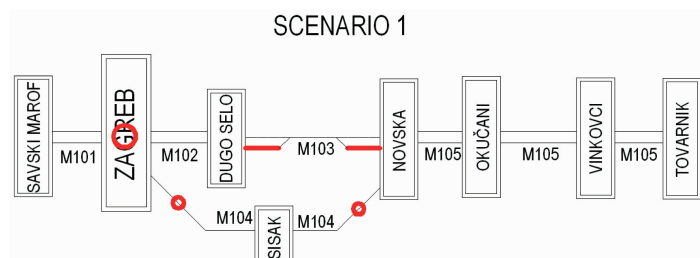


Fig. 9 - Schema Scenario Infrastrutturale 1. Schematic outline of infrastructural scenario 1.

Scenario infrastrutturale n. 2 – Linee M102-103 (fig. 10)

- raddoppio della linea tra Ivanic Grad e Lipovljani;
- ammodernamento del binario (160 km/h) dove possibile;
- nuovo lay-out della stazione di Zagabria Centrale (Glavni Kolodvor) con itinerari da/per la linea per Zagabria percorribili in deviateda a 60 km/h.

Scenario infrastrutturale n. 3 – Linee

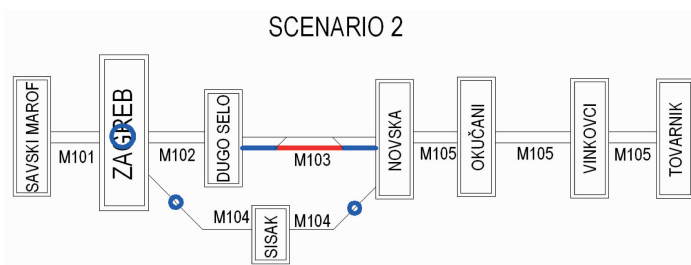


Fig. 10 - Schema Scenario Infrastrutturale 2. Schematic outline of infrastructural scenario 2.

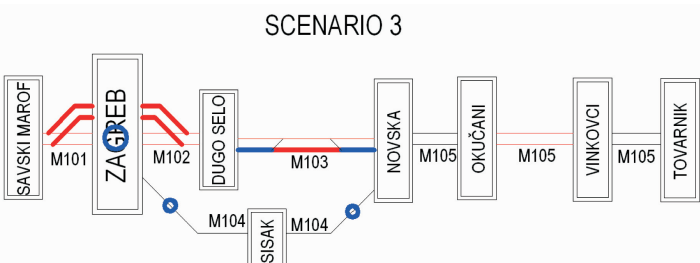


Fig. 11 - Schema Scenario Infrastrutturale 3. Schematic outline of infrastructural scenario 3.

M101-102-105 (fig. 11)

- quadruplicamento tra Savski Marof e Dugo Selo;
- ammodernamento del binario (160 km/h) dove possibile;
- implementazione del sistema ETCS livello 1;
- adeguamento del lunghezza minima utile dei binari di precedenza a 750 metri.

Scenario infrastrutturale n. 4 – Linee M101-102 (fig. 12)

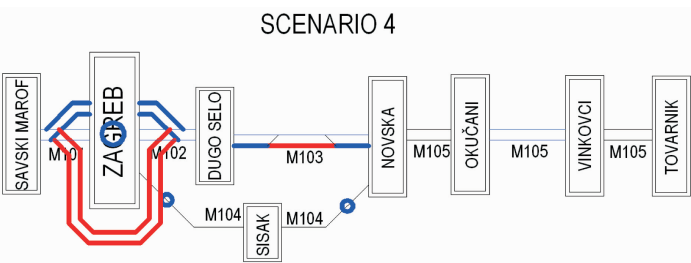


Fig. 12 - Schema Scenario Infrastrutturale 4. Schematic outline of infrastructural scenario 4.

Kolodvor) with diverted routes at a maximum speed of 60 km/h.

Infrastructural scenario n. 3 – Lines M101-102-105 (fig. 11)

- quadrupling of the line Savski Marof - Dugo Selo;
- incremental track modernisation (160 km/h) where possible;
- implementation of the ETCS level 1 system;
- adjustment of the minimum usable length of the passing tracks to 750 m.

Infrastructural scenario n. 4 – Lines M101-102 (fig. 12)

- construction of the Zagreb shunt line.

The maximum capacity values for each scenario are summarised in table 1.

5. The multistage model for assigning freight flows

The following stage of the work was to compare the maximum theoretical capacity, value estimated previously from each scenario, with the

TABELLA 1 - TABLE 1

VALORI DI CAPACITÀ MASSIMA PER CIASCUNO DEI QUATTRO SCENARI
INFRASTRUTTURALI. MAXIMUM CAPACITY VALUES FOR EACH OF THE
FOUR INFRASTRUCTURAL SCENARIOS

	Sezione Section	Capacità (treni/giorno) - Capacity (trains/day)				
		Scenario 0	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4
M101	Confine di stato Sloveno-Zagreb G. K.	240	280	280	400	500
M102	Zagreb G. K.-Dugo Selo	240	280	280	400	500
M103	Dugo - Selo-Novska	80	110	260	260	260
M105	Novska-Striz. Vrpolje	260	260	260	260	260
	Striz. Vrpolje-Vinkovci	260	260	260	260	260
	Vinkovci-Tovarnik	96	240	240	240	240
M104	Zagreb G. K.-Sisak	80	96	96	96	96
	Sisak-Sunja	40	80	80	80	80
	Sunja-Novska	16	48	48	48	48

- realizzazione della linea di cintura di Zagabria.

I valori di capacità massimi calcolati per ciascuno degli scenari indicati sono riportati in tabella 1.

5. Il modello multistadio di assegnazione dei flussi merci

Il passo successivo del lavoro ha riguardato la comparazione tra le capacità massime teoriche, precedentemente stimate per ogni scenario, ed il traffico previsto a tre fissati orizzonti temporali (2015, 2020, 2025). In altri termini, i tempi di attivazione di ogni scenario infrastrutturale sono stati definiti confrontando le capacità stimate con il traffico previsto ai tre orizzonti temporali, con l'obiettivo di proporre la successione degli interventi di pianificazione mediante l'individuazione dell'anno in cui è necessario attuare uno scenario infrastrutturale specifico. Si è, a tale riguardo, considerato l'opportuno intervallo di tempo che intercorre dal finanziamento dell'intervento all'attivazione dei potenziamenti, al fine di evitare il destarsi di fenomeni di congestione sulla rete.

Considerata la valenza prioritaria del traffico merci sul Corridoio X, il modello di assegnazione è stato applicato per la stima dei flussi merci agli orizzonti temporali suddetti. Il numero di treni passeggeri, classificati in lunga percorrenza (L.P.) e breve percorrenza (B.P.), previsti in corrispondenza di ciascun orizzonte temporale, è stato assunto pari a quello riportato nel Master Plan.

Per la stima di crescita dei volumi di traffico merci sono stati tenuti in considerazione non solo i traffici merci interni all'area di studio ma anche quelli di scambio con l'ambiente esterno e quelli di attraversamento. A tal fine è stato utilizzato un modello per la previsione dei volumi di traffico su scala internazionale, che ha permesso di computare anche i volumi di traffico merci di scambio e di attraversamento.

È stato, innanzi tutto, elaborato il database dei dati commerciali storici di ciascuno dei Paesi dell'area di stu-

forecast traffic targeted at three distinct times in the future (2015, 2020, 2025). In other words, the activation times for each infrastructural scenario were defined by comparing the estimated capacities with the traffic forecasts within each of the target times, with the purpose to lay out the sequence of planning interventions through the determination of the year in which it will be necessary to implement a specific infrastructural scenario. For this purpose it has been considered the appropriate time interval that spans from the intervention's financing to the beginning of the upgrade, in order

to avoid network congestions. Considering the importance of freight traffic for the X Corridor, the assignment model has been applied in order to estimate the freight flows at each defined time horizon. The number of passenger trains, classified as long distance (L.D.) and short distance (S.D.), as foreseen in correspondence of each target time, has been assumed to be the same as the one reported in the Master Plan.

For the estimation of the increase of freight traffic volume it has been taken into account not only the freight traffic within the area but also the traffic interchanging with an external environment, and the transit traffic. For this purpose it has been utilised a model to forecast traffic volumes on an international scale; such model was able to also compute the interchanging and transit freight traffic volumes.

First of all, the database, containing historic commercial data for each of the countries involved in the analysed area has been developed; in addition other social-economic indicators were used, such as GDP and population, in order to obtain the estimates of total freight volume imported and exported from each country.

The model provided the ability to calculate the percentage of modal split between road and rail, by using a comparison between generalised costs⁽³⁾ of transport evaluated for each mode, and for each origin-destination relationship. The multistage procedure has generated the possible routes over the network, calculated the generalised

⁽³⁾ The generalised cost of transport is defined as the sum of the monetary and non monetary costs related to a certain journey. The monetary costs include, for example, the fees for public transport, or the cost of petrol, toll, and parking for private transport. The non monetary costs are referred to the time spent travelling, and in order to quantify them as monetary, one uses a parameter called "monetary value of time", which in general depends on the person's income and on the purpose of the journey. In general the generalised cost may also include contributions tied to variables that are typical for the type of journey, such as comfort, safety, etc.

dio ed utilizzati ulteriori indicatori socio-economici quali il PIL e la popolazione, al fine di ottenere le stime dei volumi totali di merce importati ed esportati da ogni Paese.

Il modello ha permesso di calcolare la percentuale di ripartizione modale tra strada e ferrovia, utilizzando il confronto tra i costi generalizzati⁽³⁾ del trasporto calcolati per ciascuna modalità e per ciascuna relazione origine-destinazione. La procedura "multistadio" ha generato i possibili percorsi sulla rete, calcolato i costi generalizzati associati a ciascun percorso e utilizzato un modello "Logit" per assegnare i flussi proporzionalmente all'efficienza dei percorsi stessi. Lo stadio di assegnazione dei flussi è stato condotto a due livelli: un primo livello di assegnazione generale multimodale ed un secondo livello di dettaglio che ha consentito di assegnare i flussi a ogni singola modalità. Il primo livello ha consentito la definizione della sequenza di modi di trasporto utilizzati in base alla localizzazione dei punti di interscambio, mentre la seconda fase ha consentito di simulare l'itinerario seguito dal flusso all'interno di ogni rete monomodale.

La successiva conversione dei flussi di merci assegnati su ferro nel corrispondente numero dei treni è stata eseguita assumendo il fattore medio di carico dei treni merci pari a 600 t/treno e un numero medio di giorni lavorativi annuali pari a 350. Sono state, inoltre, utilizzate le statistiche di fonte Eurostat per le proporzioni tra traffico merci nazionale ed internazionale: il 56% del totale delle merci trasportate in Croazia è quota internazionale, il 44% è quota nazionale.

6. Il confronto tra capacità e flussi

È stato, infine, effettuato il confronto tra le capacità ferroviarie e i livelli di traffico stimati dal modello "multistadio" descritto al punto 5, identificando gli orizzonti temporali più vantaggiosi ai quali è opportuno attivare uno specifico scenario infrastrutturale.

I risultati ottenuti per ogni scenario sono riportati nelle tabelle dalla 2 alla 6.

Dal confronto tra la capacità e numero di treni corrispondenti ai flussi assegnati si evidenzia che lo scenario infrastrutturale 1 è in grado di gestire il numero di treni

⁽³⁾ Per costo generalizzato di trasporto si intende la somma dei costi monetari e non monetari relativi ad un certo spostamento. I costi monetari includono, ad esempio, le tariffe per il trasporto pubblico o il costo del carburante, della sosta, del pedaggio per il trasporto privato. I costi non monetari si riferiscono al tempo speso durante lo spostamento e per monetizzarli si fa uso di un parametro detto "valore monetario del tempo", che in generale dipende dal reddito della persona e dallo scopo del viaggio. In generale il costo generalizzato può comprendere anche contributi legati a variabili tipiche del tipo di spostamento quali il comfort, la sicurezza, ecc.

TABELLA 2 - TABLE 2

CONFRONTO TRA I VALORI DI CAPACITÀ ALLO SCENARIO 0 ED I TRENI ASSEGNATI ALLO SCENARIO ATTUALE (2006) - COMPARISON BETWEEN CAPACITY VALUES FOR SCENARIO 0 AND TRAINS ASSIGNED TO THE CURRENT SCENARIO (2006)

Sezione Section	Scenario 0 Capacità (treni/giorno) Capacity (trains/day)	treni/giorno – 2006 Trains/day - 2006			
		TOT	B.P. S.D.	L.P. L.D.	ME FT
M101	240	150	116	19	15
M102	240	202	123	40	39
M103	80	63	29	19	15
M105	260	53	22	19	12
	260	64	24	19	21
	96	38	12	10	16
M104	80	68	53	7	8
	40	40	30	4	6
	16	9	9	0	0

B.P. = Breve Percorrenza; L.P. = Lunga Percorrenza; ME = Merc. S.D. = Short Distance; L.D. = Long Distance; FT = Freight.

costs associated to each route, and used a model "Logit" to assign flows proportionally to the efficiency of the routes themselves. The assignment stage has been performed at two levels: a first one as a general multi-modal assignment, and a second level of detail that allowed the assignment of flows to each single mode. The first level made possible the definition of the sequence of the transportation modes used based on the location of the interchanging points, while the second phase made possible the simulation of the route followed by the flow within each of the single modal network.

The successive conversion of freight flows assigned to the railway mode to the corresponding number of trains has been carried out by assuming an average freight load of 600 tonnes/train, and an average number of working days of 350. Moreover the statistics from Eurostat have been used for the proportioning of national and international freight traffic: of the total freight moved in Croatia, 56% is international and the remaining 44% national.

6. Comparison between capacity and flow

Finally, a comparison was made between the railways capacity and the traffic levels estimated from the multi-stage model described in the previous paragraph, by identifying the target timeframes that appeared to be most advantageous to implement a specific infrastructural scenario.

The results obtained are reported in tables 2-6.

previsto al 2015; per questo scenario, infatti, in ogni sezione il numero dei treni previsto è inferiore a quello della capacità (tabella 3). In altre parole, lo scenario può essere considerato compatibile con l'orizzonte temporale 2015 e la sua attuazione deve essere, quindi, pianificata alcuni anni prima.

Inoltre, anche se, nel complesso, lo scenario 1 è in grado di gestire il numero dei treni previsti al 2015, al fine di soddisfare la domanda totale può essere opportuno pianificare alcune azioni complementari. Ad esempio, si può prevedere l'utilizzo di treni ad alta frequentazione (per esempio, i complessi a due piani) per trasportare la maggior domanda con lo stesso numero di treni dello scenario attuale.

La realizzazione dello scenario 2 può partire dal 2015 per essere completata nel 2020. L'aumento della capacità ferroviaria per la linea M104 sarà compatibile con il traffico previsto nel 2020.

Infine, il confronto tra la tabella 5 e la tabella 6 mostra che entrambi gli scenari 3 e 4 sono in grado di gestire il previsto numero di treni al 2030; per ogni sezione, infatti, si prevede che il numero di treni è generalmente inferiore a quello stimato della capacità.

In conclusione, lo scenario 3 (o, in alternativa, lo scenario 4) può essere considerato compatibile con l'anno 2030, pertanto la sua attuazione dovrebbe essere avviata con un certo anticipo, considerando che entrambi gli scenari 3 e 4 sono molto più costosi e complessi degli scenari precedenti (1 e 2) sia in termini di investimenti sia in termini di tempistiche costruttive.

Inoltre, entrambi gli scenari 3 e 4 sono in grado di gestire un aumento potenziale del numero di treni per orizzonti temporali successivi al 2030, poiché esiste una ade-

TABELLA 4 - TABLE 4

CONFRONTO TRA I VALORI DI CAPACITÀ ALLO SCENARIO 2 ED I TRENI ASSEGNATI AL 2020 -
COMPARISON BETWEEN CAPACITY VALUES FOR SCENARIO 2 AND TRAINS ASSIGNED TO 2020

Sezione Section	Scenario 2 Capacità (treni/giorno) Capacity (trains/day)	treni/giorno – 2020 Trains/day - 2020			
		TOT	B.P. S.D.	L.P. L.D.	ME FT
M101	280	292	196	29	67
M102	280	303	173	52	78
M103	280	168	54	36	78
M105	260	158	39	33	86
	260	122	44	34	44
	260	112	37	31	44
M104	96	70	55	9	6
	80	48	37	5	6
	48	29	24	0	5

B.P. = Breve Percorrenza; L.P. = Lunga Percorrenza; ME = Mercati. S.D. = Short Distance; L.D. = Long Distance; FT = Freight.

TABELLA 3 - TABLE 3

CONFRONTO TRA I VALORI DI CAPACITÀ ALLO SCENARIO 1 ED I TRENI ASSEGNATI AL 2015 -
COMPARISON BETWEEN CAPACITY VALUES FOR SCENARIO 1 AND TRAINS ASSIGNED TO 2015

Sezione Section	Scenario 1 Capacità (treni/giorno) Capacity (trains/day)	treni/giorno – 2015 Trains/day - 2015			
		TOT	B.P. S.D.	L.P. L.D.	ME FT
M101	280	256	187	26	43
M102	280	258	165	47	46
M103	110	108	38	25	46
M105	260	108	28	24	57
	260	81	31	25	25
	240	64	21	18	25
M104	96	65	53	8	4
	80	41	33	4	4
	48	25	14		11

B.P. = Breve Percorrenza; L.P. = Lunga Percorrenza; ME = Mercati. S.D. = Short Distance; L.D. = Long Distance; FT = Freight.

From the comparison between capacity and number of trains corresponding to the assigned flows, it is evident that the infrastructural scenario n.1 is capable to manage the number of trains planned for 2015; for this scenario, in fact, for each section the planned number of trains is lower than the capacity (table 3). In other words the scenario may be considered compatible with the target time 2015, thus its implementation must be considered a few years before.

Moreover, even though scenario 1 is, on an overall basis, capable to manage the number of trains planned for 2015, in order to satisfy the total demand it would be convenient to plan some complementary actions. For example, they could be used high frequency trains (e.g. the double deck trains) in order to transport the increased demand with the same number of trains of the actual scenario.

Implementation of scenario 2 may start from 2015, to be completed by 2020. The increase of railroad capacity for the M104 line will be compatible with the traffic forecast for 2020.

Finally, the comparison between table 2 and table 6 shows that both scenarios 3 and 4 are capable to handle the planned number of trains for 2030; for each section, in fact, it has been estimated that the number of trains is generally lower than the maximum capacity.

In conclusion, scenario 3 (or, as an alternative, scenario 4) may be considered compatible with the year 2030, thus its implementation should be started with good anticipation, also considering the fact that both scenarios 3 and 4 are much more expensive and complex than scenarios 1 and 2. Moreover both scenarios 3 and 4 are able

TABELLA 5 - TABLE 5

CONFRONTO TRA I VALORI DI CAPACITÀ ALLO
SCENARIO 3 ED I TRENI ASSEGNATI AL 2030 -
COMPARISON BETWEEN CAPACITY VALUES FOR
SCENARIO 3 AND TRAINS ASSIGNED TO 2030

Sezione Section	Scenario 3 Capacità (treni/giorno) Capacity (trains/day)	treni/giorno – 2030 Trains/day - 2030			
		TOT	B.P. S.D.	L.P. L.D.	ME FT
M101	400	374	226	32	116
M102	400	395	194	60	141
M103	260	246	60	43	143
M105	260	228	42	40	145
	260	171	48	41	82
	240	160	41	37	82
M104	96	80	60	11	9
	80	58	41	6	11
	48	26	26	0	0

B.P. = Breve Percorrenza; L.P. = Lunga Percorrenza; ME = Mercati. S.D. = Short Distance; L.D. = Long Distance; FT = Freight.

guata capacità residua (24% per lo scenario 3 e 31% per lo scenario 4).

7. Conclusioni

La verifica del Master Plan del Trasporto Ferroviario della Croazia, per la quale sono stati di grande aiuto il contributo metodologico e l'esperienza del Prof. Ing. Giovanni LONGO e del Dott. Ing. Giorgio MEDEOSI dell'Università di Trieste, ha consentito anche di testare la validità della metodologia proposta, che si basa su alcuni elementi di innovazione concettuale e metodologica, di seguito riassunti:

- un approccio "globale", a livello di direttrice o corridoio, che permette una analisi più sistemica sul complesso dell'infrastruttura ferroviaria e non come somma di verifiche di capacità e di funzionalità applicate ai singoli impianti;
- una struttura dello studio di fattibilità degli interventi che parte dalla pianificazione dei servizi per la clientela (tracce) da cui scaturiscono le esigenze di potenziamento dell'infrastruttura e del materiale rotabile;
- una efficace integrazione tra lo studio di esercizio e le analisi della domanda di trasporto;
- la simulazione dell'esercizio ferroviario, utile per una più attenta e precisa valutazione della natura e dell'efficacia degli interventi di potenziamento delle infrastrutture ferroviarie e della possibilità di soddisfare progressivamente le esigenze della domanda di trasporto. La simulazione è stata applicata con successo in presenza di informazioni e dati di livello "alto", co-

to manage a potential increase of the number of trains for target times following 2030, because there already exist an adequate residual capacity (24% for scenario 3 and 31% for scenario 4).

7. Conclusions

The verification of the Croatian Master Plan for Rail Transport, for which Prof. Eng. G. LONGO and Dr. Eng. G. MEDEOSI of Trieste University methodology tribute and experience have been helpful, has also allowed testing of the validity of the proposed methodology, which is based upon some elements and methods that are conceptually innovative:

- a "global" approach, at the "backbone" or "corridor" level, which allows a more systemic analysis over the railway infrastructure complex, and not as a summation of capacity testing and functionalities applied to the single lines or stations;
- a structure of the feasibility study of the interventions, starting from the planning of services to the customer (paths), from which arise the needs of upgrading the infrastructure and rolling stock;
- an efficient integration between the operation study and the transport demand analysis;
- the simulation of railway operation, useful for a more careful and detailed evaluation of the kind and efficiency of the interventions to upgrade the railway infrastructure, and for the possibility to gradually satisfy the needs of the transport demand. The simulation has been successfully applied in presence of information and data not detailed, thus constituting an integration

TABELLA 6 - TABLE 6

CONFRONTO TRA I VALORI DI CAPACITÀ ALLO
SCENARIO 4 ED I TRENI ASSEGNATI AL 2030 -
COMPARISON BETWEEN CAPACITY VALUES FOR
SCENARIO 4 AND TRAINS ASSIGNED TO AL 2030

Sezione Section	Scenario 4 Capacità (treni/giorno) Capacity (trains/day)	treni/giorno – 2030 Trains/day - 2030			
		TOT	B.P. S.D.	L.P. L.D.	ME FT
M101	500	374	226	32	116
M102	500	395	194	60	141
M103	260	246	60	43	143
M105	260	228	42	40	145
	260	171	48	41	82
	240	160	41	37	82
M104	96	80	60	11	9
	80	58	41	6	11
	48	26	26	0	0

B.P. = Breve Percorrenza; L.P. = Lunga Percorrenza; ME = Mercati. S.D. = Short Distance; L.D. = Long Distance; FT = Freight.

stituendo, quindi, un elemento di integrazione tra fasi progettuali successive e non uno strumento specifico per fasi di progetto avanzate.

Si ritiene, infine, che la maggiore precisione con cui si possono individuare le azioni da intraprendere possa costituire fattore di ottimizzazione delle successive fasi progettuali, più "stabili" dal punto di vista della definizione delle soluzioni infrastrutturali e meno soggette a successive fasi di rimodulazione degli interventi.

element between successive design phases, and not a specific tool only for advanced design phases.

Finally, the greater precision adopted for the identification of the investments to be realized may constitute an optimisation factor for the design phases. This phases, in fact, will be more "stable" from the point of view of the definition of the infrastructural solutions, and less subjected to the frequent modifications during advanced design steps.

BIBLIOGRAFIA - REFERENCES

- [1] The Study of Pan-European Corridor X Modernisation, Croatian Railways, Infrastructure Department, Zagreb - February 2009.
- [2] Preparation of Feasibility Study and Environmental Impact Assessment for the Upgrade and Modernisation along Corridor X (Ten) in Croatia - Final Report - Aprile 2010, Italferr S.p.A.
- [3] European Commission - Regional Balkans Infrastructure Study - Transport - Final Report - July 2003.
- [4] Ennio CASCETTA, *"Teoria e Metodi dell'Ingegneria dei Sistemi di Trasporto"*, - Ennio CASCETTA - UTET.

Avviso ai lettori

Si comunica ai lettori che nel sito web del CIFI www.cifi.it sono attive le funzioni di ricerca dedicate alle riviste "Ingegneria Ferroviaria" e "La Tecnica Professionale". Queste funzioni sono:

- ricerca dei sommari di Ingegneria Ferroviaria (dal 2006) e di La Tecnica Professionale (dal 2006);
- ricerca degli indici di Ingegneria Ferroviaria (dal 1965) e di La Tecnica Professionale (dal 2004);
- ricerca degli articoli di Ingegneria Ferroviaria (dal 1955) e di La Tecnica Professionale (dal 1979).

Tali funzioni sono accessibili dalla home page, cliccando sui collegamenti presenti nel menù a colonna a sinistra della pagina.

Nello stesso menù sono anche disponibili le funzioni relative a:

- Presentazione del CIFI
- Forum
- Piattaforma della Banca dati dei Curriculum Vitae e delle offerte di lavoro
- Borse di studio
- Prossimi Congressi, Convegni, visite tecniche (elenco complessivo e per aree territoriali), atti dei convegni effettuati;
- Riviste e volumi pubblicati
- Abbonamenti e pagamenti on-line
- Notizie in breve
- Notizie dalle università
- Elenco dei volumi (oltre 5800 testi) e delle altre riviste presenti in biblioteca
- Statuto e Regolamento del Collegio
- Modalità di associazione per i soci individuali e collettivi
- Convenzioni per i soci.