



Analisi tecnica dei corridoi ferroviari TEN-T di collegamento tra i porti del nord-est italiano e l'Europa Centrale

Technical analysis of the TEN-T rail corridors connecting the Italian north-eastern ports to Central Europe

Dott. Ing. Alessandro BALDASSARRA^(*)

Dott. Ing. Cristiano MARINACCI^(*)

Dott. Ing. Luca RIZZETTO^(*)

Dott. Ing. Francesco ROTOLI^(**)

Dott. Ing. Antonio TIERI^(***)

Dott. Ing. Pietro VITALI^(*)

Sommario - I miglioramenti infrastrutturali e i relativi investimenti hanno un ruolo cruciale nel processo d'integrazione regionale, come chiaramente evidenziato dalle politiche TEN-T (rete di trasporto Trans-Europea). Attraverso il finanziamento di vari progetti, infatti, la Commissione Europea promuove l'interoperabilità e l'efficienza del sistema di trasporto europeo, eliminando colli di bottiglia, migliorando le connessioni transfrontaliere e intermodali e sormontando ostacoli tecnici.

In tale contesto, questo contributo cerca di analizzare l'importanza di reti di trasporto europee ben strutturate e interconnesse, esaminando la capacità di trasporto merci su rotaia dai porti di Venezia, Trieste e Capodistria nel nord-est italiano a tre destinazioni in Europa centrale, vale a dire Vienna, Budapest e Monaco di Baviera.

L'articolo esamina le caratteristiche tecniche dei percorsi dai tre porti alle stazioni finali selezionate (attraverso i corridoi ferroviari TEN-T), fornendo prima una panoramica delle attuali strozzature del sistema e offrendo poi un'analisi degli investimenti programmati (progetti TEN-T) e dei relativi miglioramenti in termini di capacità. Lo studio e i suoi risultati richiamano l'importanza di analizzare i fondi e gli interventi di trasporto da un punto di vista intermodale, al fine di realizzare un sistema di trasporto più efficiente e sostenibile. Per garantire pieno so-

Summary - Infrastructure enhancements and related investments have a crucial role in the process of regional integration, as clearly highlighted by the TEN-T (Trans-European Network in Transport) policy. Through the funding of several projects, in fact, the European Commission promotes the interoperability and efficiency of the European transport system by removing bottlenecks, by improving cross-border and inter-modal connections and by overcoming technical barriers. In such a context, this article tries to explore the importance of well-structured and interconnected European transport networks by investigating the rail freight capacity of the routes from the Italian north-eastern ports of Venice, Trieste and Koper to three destinations in Central Europe, namely Wien, Budapest and Munich.

The paper examines the technical characteristics of the routes (through the TEN-T rail corridors) from the three ports to the selected rail terminals, providing first an overview of the current bottlenecks of the system and then offering an analysis of planned investments (TEN-T projects) and related enhancements in terms of capacity.

The research and its outcomes remind the importance of analysing the transport funds and interventions from an inter-modal point of view, in order to achieve a more efficient and sustainable transport system. To guarantee full support to the Motorways of the Sea and to ports competitiveness,

^(*) Università di Roma "La Sapienza", Dipartimento in Ingegneria Civile, Edile e Ambientale.

^(**) Commissione Europea, Centro Comune di Ricerca, Energia, Trasporti and Clima (Direzione C), Unità di Economia del Cambio Climatico, Energia e Trasporti (JRC.C.6).

^(***) ERF (Esercizio Raccordi Ferroviari di Porto Marghera S.p.A.).

Disclaimer: Le opinioni espresse sono puramente quelle degli autori e non possono in alcun caso essere considerate come una posizione ufficiale della Commissione Europea.

^(*) University of Rome "La Sapienza", Department of Civil, Building and Environmental Engineering.

^(**) European Commission, Joint Research Centre, Energy, Transport and Climate (Directorate C), Economics of Climate Change, Energy and Transport Unit (JRC.C.6).

^(***) ERF (Railway Link Operation of Porto Marghera S.p.A.).

Disclaimer: The views expressed are purely those of the authors and may not in any circumstances be regarded as stating an official position of the European Commission.

stegno alle autostrade del mare e alla competitività dei porti, per esempio, i finanziamenti e gli interventi dovrebbero essere finalizzati ad eliminare o alleviare gli attuali colli di bottiglia e le relative limitazioni in termini di capacità.

1. Introduzione

Negli ultimi decenni la Commissione Europea (CE) sta costantemente cercando di trasferire il trasporto merci dalla strada ad altre modalità meno impattanti sull'ambiente al fine di ridurre la congestione stradale; una delle misure per il raggiungimento di tale scopo è rappresentata dalla promozione del trasporto marittimo e fluviale. Già nel 2001, infatti, il *Libro Bianco sui trasporti (Una politica dei trasporti europei per il 2010)* [1] affermava che 'la via per rilanciare il trasporto marittimo a corto raggio è di costruire vere e proprie autostrade del mare nell'ambito del piano generale per la rete Trans-Europea'. Ciò richiede migliori collegamenti tra porti, ferrovie e reti di navigazione interna insieme con il miglioramento della qualità dei servizi portuali. Infatti, la recente comunicazione 501 del 20/7/2016 (*Strategia europea per una mobilità a basse emissioni*) [2] della Commissione al Parlamento promuove fortemente l'integrazione multimodale come mezzo per incentivare il passaggio a modalità di trasporto dalle basse emissioni come le vie fluviali, la navigazione a corto raggio e la ferrovia.

In questo contesto risulta chiara l'importanza dell'infrastruttura ferroviaria al servizio dei porti (come descritto anche in [3], [4] o [5]); le merci dal mare devono essere facilmente ed efficacemente trasferite alle destinazioni finali o ad altri nodi intermodali. Dunque, insieme a tanti altri fattori, la rete ferroviaria a sostegno di un porto può rappresentare un fattore discriminante per il suo sviluppo, la sua attrattiva e la sua competitività. È pertanto evidente l'importanza di analizzare da un punto di vista intermodale i fondi e gli interventi di trasporto, al fine di realizzare un sistema più efficiente e sostenibile (si veda, ad esempio, [6], [7] o [8]).

L'articolo cerca di esaminare questo tema analizzando la capacità di trasporto merci su rotaia dei collegamenti dai porti di Venezia, Trieste e Capodistria nel nord-est italiano verso tre destinazioni in Europa centrale, vale a dire Vienna, Budapest e Monaco di Baviera.

In particolare, il contributo analizza le caratteristiche tecniche e gli investimenti previsti per tutti i percorsi ferroviari dai punti di origine ai terminali ferroviari selezionati (attraverso i corridoi TEN-T). Per ogni percorso sono state esaminate le caratteristiche attuali dell'infrastruttura e gli interventi già in programma (ma non ancora completati).

La raccolta di tutte le informazioni è stata abbastanza impegnativa ma si è rivelata estremamente utile per la nostra analisi. In particolare ci siamo concentrati sull'identificazione di vari parametri che influenzano la capacità di trasporto merci su rotaia, quali ad esempio:

for example, funding and interventions should be aimed at eliminating or relieving the current bottlenecks and the related limitations in terms of capacity.

1. Introduction

In the last decades the European Commission (EC) is constantly trying to shift freight away from road in order to reduce road congestion; of course one of the measures for achieving such scope is represented by the promotion of sea and inland waterways. Already in 2001 the EC White Paper - European transport policy for 2010 [1] stated that 'the way to revive short sea shipping is to build veritable sea motorways within the framework of the master plan for the Trans-European network'. This will require better connections between ports, rail and inland waterway networks together with improvements in the quality of ports' services. Indeed the recent Communication 501 of 20/7/2016 [2] (European Strategy for Low-Emission Mobility) from the EC to the Parliament strongly promotes multimodality integration as a mean for incentivising a shift towards low emissions transport modes such as inland waterways, short-sea shipping and rail.

In this context it is clear the relevance of the railway infrastructure serving the ports (as described also in [3], [4] or [5]); freight from sea should be easily and efficiently transferred to final destinations or other intermodal hubs. To an extreme and beside several other factors, the rail network supporting the port can represent a discriminant in its development, attractiveness and competitiveness. It is, thus, evident the importance of analysing from an inter-modal point of view the transport funding and interventions, in order to achieve a more efficient and sustainable transport system (see, for example, [6], [7] or [8]).

This research tries to explore this issue by analysing the rail freight capacity of the connections from the north-eastern Italian ports of Venice, Trieste and Koper to three destinations in Central Europe, namely Wien, Budapest and Munich.

In particular, the paper analyses the technical characteristics and the planned investments of the rail routes (through the TEN-T rail corridors) from the defined origins to the selected rail terminals. For each route we have examined the actual infrastructure features and the interventions already planned (but not yet completed). The collection of all the information has been quite time-consuming but it has proved to be extremely useful for our analysis. In particular we concentrated our efforts in identifying several parameters influencing freight capacity along all the rail links, such as:

- number of tracks;*
- loading gauge;*
- permissible train length;*
- permissible speed;*
- axle load;*
- traction system;*
- carrying capacity of the link.*

- numero di binari;
- sagoma limite;
- lunghezza consentita dei treni;
- velocità consentita;
- carico assiale;
- sistema di trazione;
- capacità di circolazione.

In effetti, ai sensi dell'articolo 39 del regolamento europeo 1315/2013 (linee guida TEN-T, si veda [9]), l'infrastruttura ferroviaria della rete principale europea dovrà soddisfare almeno i seguenti requisiti per il 2030:

- lunghezza consentita dei treni di 740 m;
- velocità di linea pari almeno a 100 km/h;
- carico assiale consentito di 22,5 t;
- elettrificazione;
- sistema ERTMS.

Sulla base delle attuali caratteristiche delle linee ferroviarie analizzate e dei parametri sopra menzionati, è stato possibile individuare le strozzature del sistema in termini di capacità di trasporto merci e quindi i percorsi/elementi più o meno favorevoli allo sviluppo dei porti e alla loro attrattiva per le merci e gli operatori logistici. Dopo-diché abbiamo esaminato gli investimenti TEN-T programmati al fine di valutare i miglioramenti in termini di capacità tra lo scenario futuro e quello attuale.

I risultati forniscono un'interessante analisi degli investimenti dal punto di vista della capacità merci su rotaia per tutte le rotte analizzate, tenendo comunque presente che gli interventi programmati possono prevedere anche altri obiettivi, quali, ad esempio, la sicurezza e l'interoperabilità del sistema.

2. Metodologia

Questo paragrafo descrive il lavoro svolto per analizzare le caratteristiche tecniche e la capacità dei collegamenti tra i porti di Venezia, Trieste e Capodistria e le tre destinazioni scelte, vale a dire Vienna, Budapest e Monaco di Baviera. In primo luogo abbiamo analizzato lo scenario attuale, quindi gli investimenti e gli interventi programmati per valutare le corrispondenti variazioni di capacità. La prima fase del lavoro ha riguardato l'identificazione dei percorsi da ogni origine (porti) ad ogni destinazione (stazioni ferroviarie), individuando i tragitti più appropriati attraverso, possibilmente, i corridoi merci TEN-T (figg. 1 e 2).

Una prima analisi visiva permette facilmente di individuare i principali corridoi interessati dal nostro studio, vale a dire i corridoi 3, 5, 6 e 7. La parte più complicata e impegnativa del lavoro ha riguardato la raccolta di dati dettagliati sull'infrastruttura per tutti i percorsi analizzati (fig. 3). Dall'esame di diversi documenti ufficiali (quali ad

Indeed, according to Article 39 of Regulation 1315/2013/EC (TEN-T Guidelines, i.e. [9]), the railway transport infrastructure of the core network by the 2030 shall meet at least the following requirements:

- *permissible train length of 740 m;*
- *line speed of at least 100 km/h;*
- *axle-load of 22.5 t;*
- *electrification;*
- *ERTMS.*

Based on the actual features of the analysed rail routes and on the above mentioned characteristics, it has been possible to identify the bottlenecks of the system in terms of freight capacity and so the routes/features more or less supportive of the ports development and of their attractiveness for freight and logistics operators.

Then we have examined the planned TEN-T investments in order to evaluate the enhancements in terms of capacity between the future and the current scenario.

The results provide an interesting investment analysis from a freight capacity point of view for all the analysed routes, bearing anyway in mind that the planned interventions may have also other objectives such as, for example, safety and interoperability of the system.

2. Methodology

This paragraph describes the work carried out to analyse the technical characteristics and the capacity of the connections among of the ports of Venice, Trieste and Koper and the three chosen destinations, namely Wien, Budapest and Munich. First we have analysed the actual scenario, then the planned investments/interventions with the aim to evaluate the corresponding variations in capacity. The first step of the work has focused on the identification of the routes from each origin (ports) to each destination (rail terminals), by detecting the most appropriate paths using possibly the TEN-T freight corridors (figg. 1 and 2).

A first visual analysis easily allows individuating the main corridors interested by our study, i.e. corridors 3, 5, 6, 7. The most difficult and also time-consuming part of the work has faced the tough task of collecting detailed infrastructure data for all the analysed routes (fig. 3). By a specific examination of several official documents (e.g. Corridors' websites and Implementation Plans [10, 11, 12 and 13], DG MOVE Corridors' studies from 2014 [14, 15, 16 and 17], Infrastructure Managers websites) it has been possible to obtain several information (more detailed in some areas/links and more general in other zones). In particular, it has been possible to collect for the several rail segments constituting the routes various and 'discriminant' infrastructure characteristics such as: number of tracks, loading gauge, admissible train length, speeds, axle load, diesel or electric traction, etc. Fig. 3 summarizes in GIS maps some of the results of our data mining.

Rail Freight Corridors (RFCs) map 2015
Including extensions expected in 2016 as indicated by the RFCs



(Fonte - Source: RailNetEurope)

Fig. 1 - Corridoi merci TEN-T.
Fig. 1 - TEN-T freight corridors.

esempio i siti web, i piani di attuazione [10, 11, 12 e 13] e gli studi del 2014 [14, 15, 16 e 17] dei corridoi TEN-T, oltre i dati pubblici dei vari gestori nazionali dell'infrastruttura) è stato possibile ottenere varie informazioni (più dettagliate in alcune aree e più generali in altre zone). In particolare, è stato possibile raccogliere, per tutti i segmenti ferroviari costituenti i diversi percorsi, le caratteristiche discriminanti dell'infrastruttura, quali: numero di tracce, sagoma limite, lunghezza ammessa del treno, velocità, carico assiale, trazione diesel o elettrica, etc. La fig. 3 riassume in mappe GIS alcuni dei risultati della nostra raccolta dati.

Per una migliore analisi e comprensione dello scenario attuale e futuro, più che concentrarci sull'intera rete o grafo, abbiamo preferito analizzare singolarmente tutte le rotte da ogni origine ad ogni destinazione. In particolare abbiamo identificato tutti i percorsi alternativi e per ciascuno di essi abbiamo raccolto le relative caratteristiche (as showed

For a better analysis and understanding of the current and future scenarios, more than focus on the comprehensive network/graph, we preferred to analyse singularly all the routes from each origin to each destination. In particular we identified all the alternative routes and for each of them we collected the relevant railways characteristics (as showed

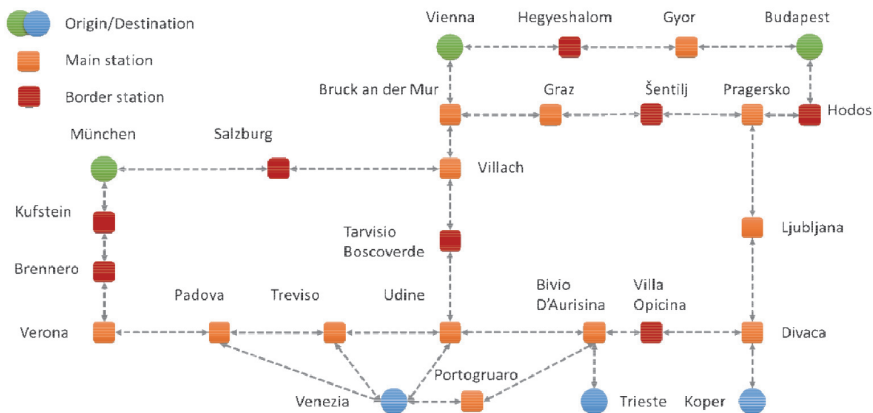


Fig. 2 - Grafo ferroviario con stazioni ed origini/destinazioni.
Fig. 2 - Railway graph with stations and origins/destinations.

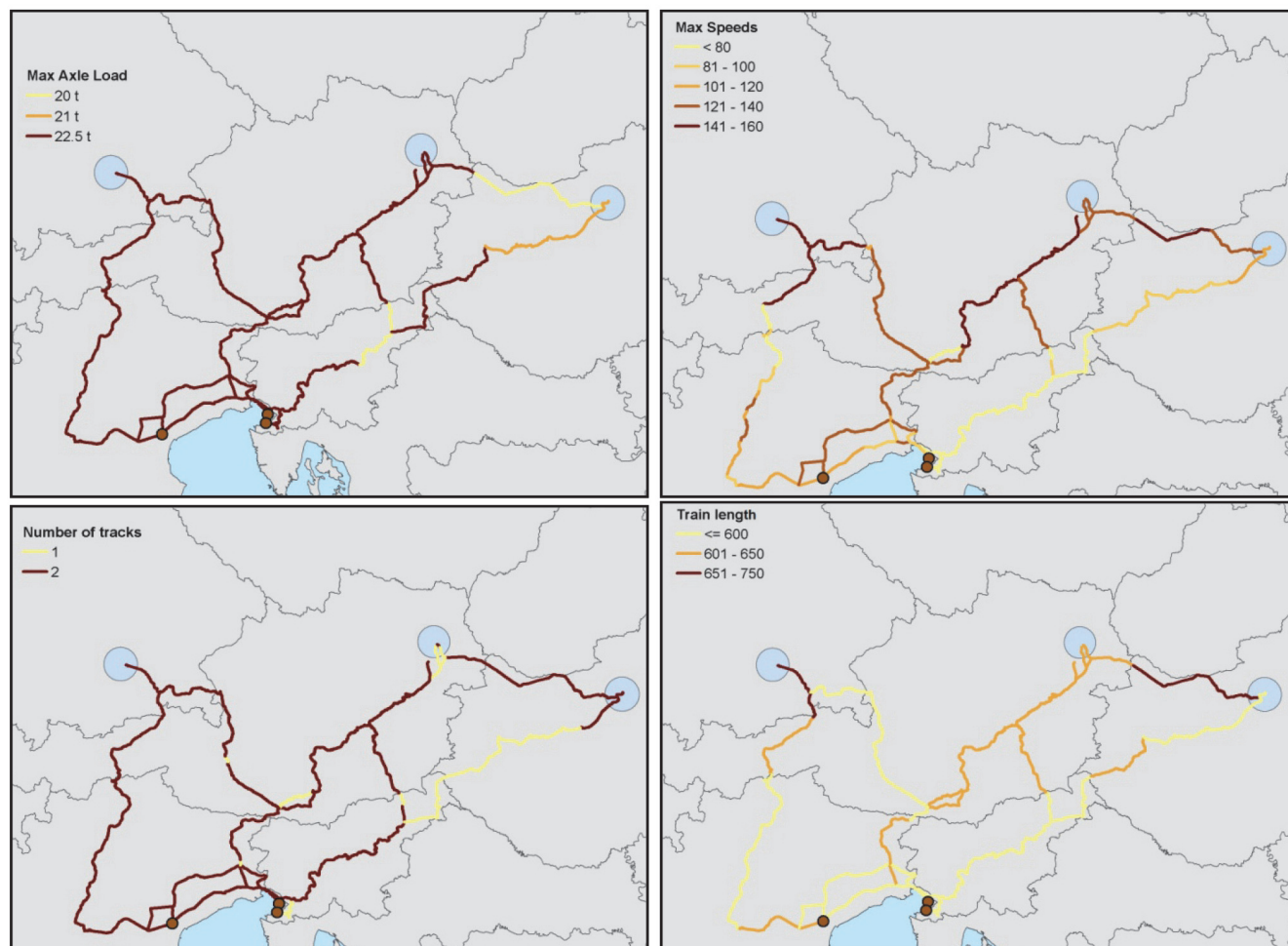


Fig. 3 - Massimo carico assiale, velocità massima, numero di binari e massima lunghezza consentita dei treni sui segmenti ferroviari considerati.

Fig. 3 - Max axle load, max speed, number of tracks and max allowed train length on the considered rail segments.

stiche ferroviarie (come mostrato in fig. 4 per l'itinerario Venezia-Monaco di Baviera via Treviso). Questo ci ha permesso di identificare per i vari collegamenti ferroviari i colli di bottiglia, qui definiti come barriere fisiche, tecniche o funzionali che portano a rotture di sistema (interessando la continuità dei flussi di lunga distanza o transfrontalieri) e che potrebbero essere superati con la realizzazione di nuove infrastrutture, o sostanzialmente migliorando:

1. numero di binari (almeno 2);
2. sagoma limite (almeno P/C 80, fig. 5);
3. lunghezza consentita dei treni (almeno 600 m);
4. carico assiale (almeno 22.5 t);
5. elettrificazione;
6. limitazioni di capacità.

Il parametro 'limitazioni di capacità' è il risultato dell'analisi di capacità di seguito descritta e dipende da una combinazione di diversi fattori quali la velocità, il sistema di segnalamento e il numero di binari per linea.

in fig. 4 for the itinerary Venice-Munich via Treviso). This has allowed us to identify the bottlenecks on the rail connections, here defined as physical, technical or functional barriers which lead to system breaks (affecting the continuity of long-distance or cross-border flows) and which might be surmounted by creating new infrastructure, or substantially by upgrading:

1. number of track (at least 2);
2. loading Gauge (at least P/C 80, fig. 5);
3. train length (at least 600 m);
4. axle-load (at least 22.5 t);
5. electrification;
6. capacity limitation.

The requirement "capacity limitation" is the result of the capacity evaluation described below and it depends upon a combination of various factors such as speed, signalling system and number of tracks per line.

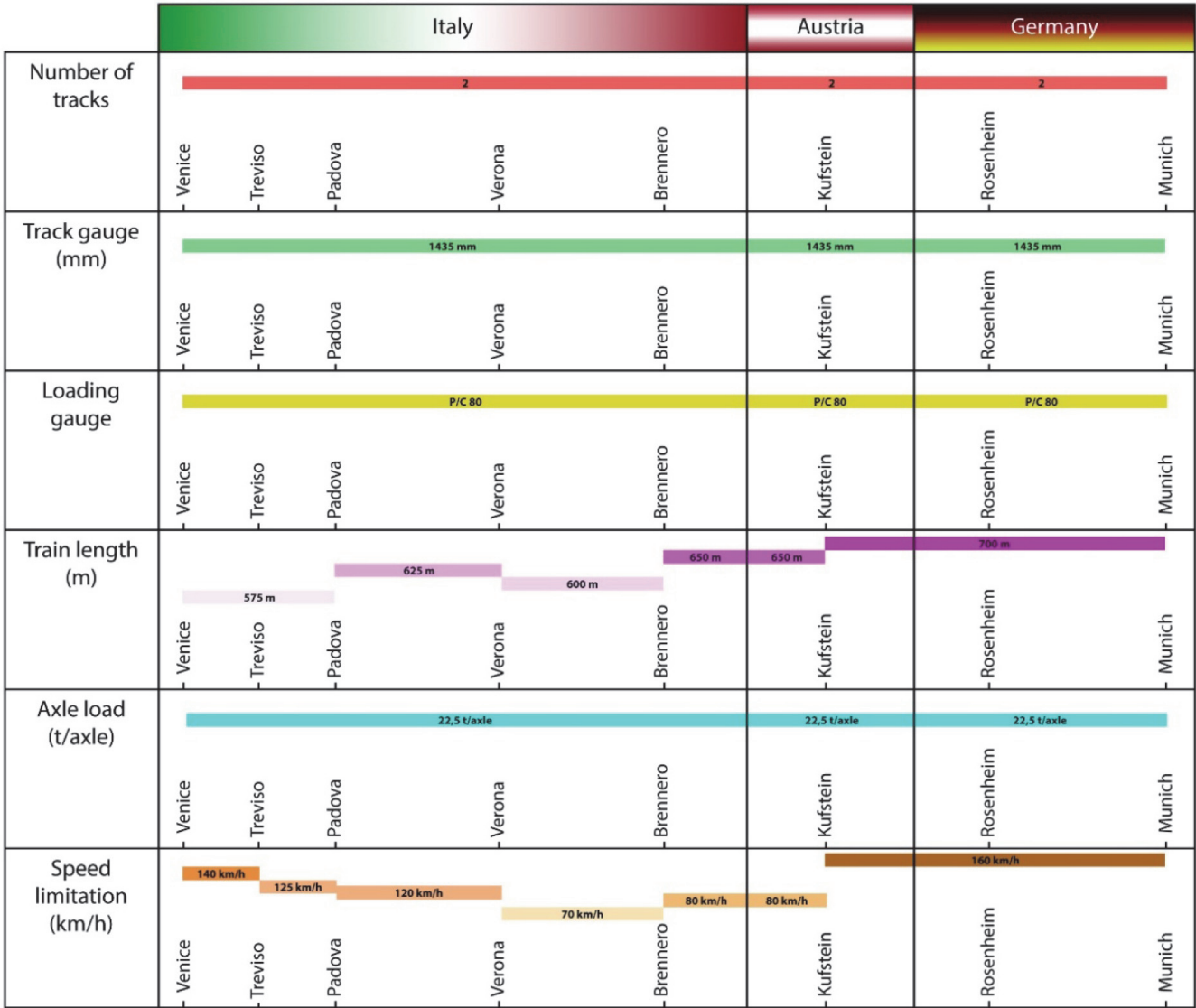


Fig. 4 - Venezia-Monaco di Baviera (Via Treviso) - Esempio di riepilogo dettagliato delle caratteristiche ferroviarie più rilevanti.
Fig. 4 - Venice- Munich (Via Treviso) - Example of detailed summary of the most relevant railway characteristics.

2.1. Capacità della rete ferroviaria

Nonostante le figg. 3 e 4 diano già una chiara idea degli anelli ‘deboli’ lungo i diversi percorsi, per una migliore quantificazione della capacità anche in termini di numero di treni al giorno (e non solo in termini di lunghezza del treno, carico consentito, velocità, etc.) abbiamo applicato la metodologia semplificata, ma robusta, già descritta in [18, 19 e 20]. Il livello di dettaglio dei dati disponibili, infatti, non consente l’applicazione di algoritmi più complessi come ad esempio quelli riportati in [8], [21] o [22].

La capacità di un segmento di linea tra stazioni consecutive è stimata attraverso il metodo analitico proposto nella sua prima edizione dall’Unione Internazionale delle Ferrovie (UIC) nella specifica 405R [23]. Riassumendo le

2.1. Rail network capacity

Despite figg. 3 and 4 already give a clear idea of ‘weak’ links along the different routes, to better quantify also the capacity in terms of number of trains per day (not only in terms of train’s length, load, speed etc.) we have applied a simplified but robust methodology already described in [18, 19 and 20]. The level of detail of the available data, in fact, does not allow applying more complex algorithms as described for example in [8], [21] or [22].

The capacity of a line’s segment between consecutive stations/stops is estimated through the analytical method proposed in its first edition by the International Union of Railway (UIC) in the leaflet 405R [23]. To summarize the main characteristics of this approach, it is based on the following formula:

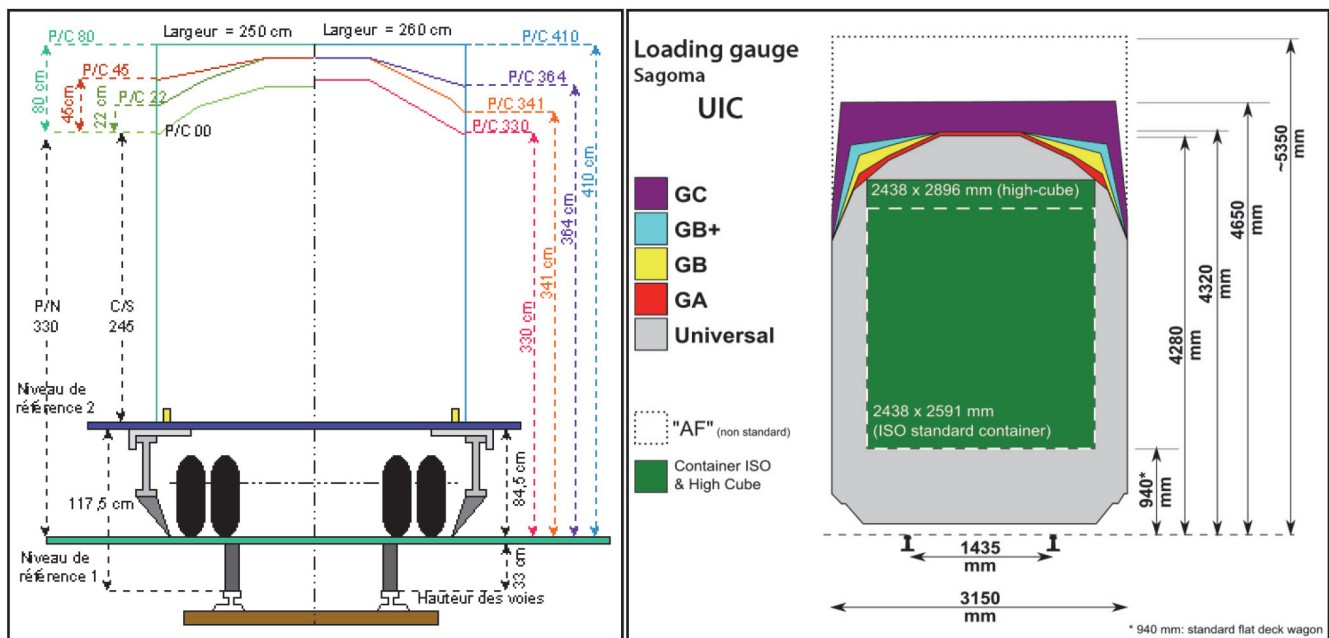


Fig. 5 - Profili di sagoma limite.

Fig. 5 - Loading gauge profiles.

sue principali caratteristiche, tale approccio si basa sulla seguente formula:

$$P = \frac{T}{t_{fm} + t_r + t_{zu}} \quad (1)$$

- P è la capacità (giornaliera, oraria, etc);
- T è il tempo di riferimento (nella nostra analisi assunto pari a 18 ore per la capacità giornaliera; tenendo in considerazione sia gli intervalli di chiusura che quelli di manutenzione);
- t_{fm} è la media dei distanziamenti temporali minimi tra i treni;
- t_r è un margine di espansione;
- t_{zu} è un tempo supplementare dipendente dal numero x di sezioni di blocco intermedie sulla linea e viene calcolato mediante la formula $t_{zu}=0.25 \cdot x$ (con risultato in minuti); questo parametro tiene conto del fatto che l'aumento della capacità sulla sezione determinante, data la sua suddivisione in più sezioni di blocco, è meno che proporzionale alla riduzione del tempo di viaggio.

Il margine di espansione è stato introdotto a seguito delle esperienze di molte organizzazioni ferroviarie europee (incluso l'UIC) per prendere in considerazione l'utilizzazione del sistema. Questo margine è espresso come una percentuale della media dei distanziamenti temporali minimi tra i treni. Per brevi periodi di tempo (ore di punta), valori tipici di tale coefficiente variano tra 0.3 e 0.4, mentre per periodi più lunghi (intera giornata) di solito si adottano valori tra 0.6 e 0.8; noi abbiamo considerato un

$$P = \frac{T}{t_{fm} + t_r + t_{zu}} \quad (1)$$

- P is the capacity (daily, hourly etc.);
- T is the reference time (18 hours for the daily capacity in our analysis, to take in account both closure and maintenance intervals/needs);
- t_{fm} is the average minimum headway;
- t_r is an expansion margin;
- t_{zu} is an extra time based on the number x of the intermediate block sections on the line's segment and it is calculated by means of the formula $t_{zu}=0.25 \cdot x$ (the result is in minutes); this parameter takes into account that the increase of capacity on the determinant section, following its division into more block sections, is less than proportional to the reduction of the travel time.

The expansion margin was introduced as a result of experiences of many European rail organizations (included UIC) to take into account the utilization of the system. This margin is expressed as a percentage of the average minimum headway between convoys. For short periods of time (peak hour), common rates of the coefficient vary between 0.3 and 0.4, while for longer period (full day) usually values between 0.6 and 0.8 are adopted; we have considered a value of 70% of t_{fm} . In order to calculate the minimum headway for each segment of double track lines (and per direction), the utilized procedure has assumed that the line is provided with an automatic block signalling system with three aspects (assumption consistent with our case studies and with the majority of the main European rail network, see also [20]).

valore del 70% di t_{fm} . Per calcolare la media dei distanziamenti temporali minimi per ogni segmento di linea a doppio binario (e per direzione), la procedura proposta ipotizza che la linea sia dotata di un sistema di segnalamento a blocco automatico con tre aspetti (ipotesi coerente con i nostri casi studio e con la maggioranza della rete principale europea, si veda anche [20]).

Ciò significa che il minimo distanziamento spaziale tra due treni consecutivi è costituito da una prima sezione di blocco per garantire lo spazio di frenatura del treno (e quindi condizioni di sicurezza), più una seconda sezione di blocco per garantire una marcia non disturbata (i.e. un treno in corsa dovrebbe sempre incontrare il segnale in avvicinamento a via libera per evitare inutili fasi di accelerazione/decelerazione), più un margine per l'avvicinamento del segnale e la liberazione della sezione e, infine, più la lunghezza del treno per il rilascio del sistema di blocco (la parte posteriore del treno deve superare il punto di liberazione). Per quanto riguarda il tempo di avvistamento e di liberazione, abbiamo considerato un tempo aggiuntivo costante di 30 secondi nei calcoli dei distanziamenti temporali minimi (fig. 6).

In termini pratici, il distanziamento temporale minimo è calcolato come:

$$t_{fm} = \frac{2 \cdot l_b + L}{V} + 30 \text{ s} \tag{2}$$

dove:

- l_b rappresenta la lunghezza della sezione di blocco;
- L è la lunghezza del convoglio (assunta per tutti i treni pari a 500 m);
- V è la velocità massima consentita sul segmento di linea considerato;
- i 30 secondi aggiuntivi sono relativi al tempo di avvistamento e di liberazione.

Per quanto riguarda la lunghezza delle sezioni di blocco, poiché non è stato possibile raccogliere dati tanto dettagliati per l'intera rete analizzata, si sono ipotizzati uno scenario peggiore e uno scenario migliore, assumendo rispettivamente una lunghezza delle sezioni di blocco di 4 km e distanze tra stazioni consecutive di 20 km (parametro quest'ultimo che influenza x e quindi t_{zu} in (1)) o una lunghezza delle sezioni di 1.5 km e 10 km di distanza tra le stazioni. È chiaro, ovviamente, che a causa dell'eterogeneità dei servizi e in particolare della presenza anche di treni 'lenti', sezioni di blocco lunghe implicano valori di capacità inferiori.

It means that the minimum spatial distance between two consecutive trains is constituted by a first block section to guarantee the braking distance of the train (and so safety conditions), plus a second block section to guarantee the not disturbed/disrupted circulation (i.e. a running train should always find the approaching signal 'clear' to avoid unnecessary acceleration/deceleration phases), plus a distance for the sight of the signal and the clearing of the section and finally plus the train length for the release of the block system (the rear of the train must pass the clearing point). With regards to the sighting and clearing time, we have assumed an overall additional constant time of 30 seconds in the calculations of the minimum headways (fig. 6).

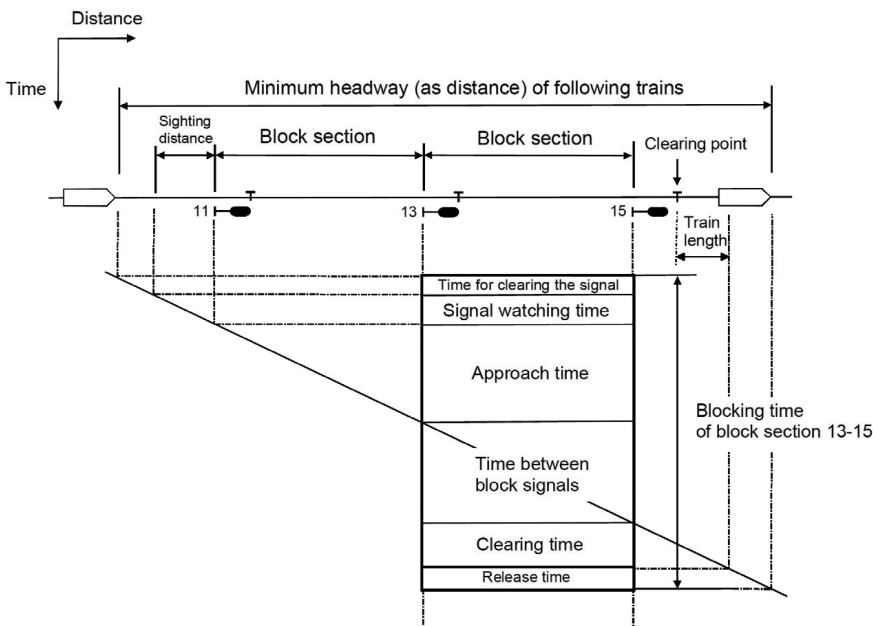
In practical terms, the minimum headway will be calculated as:

$$t_{fm} = \frac{2 \cdot l_b + L}{V} + 30 \text{ s} \tag{2}$$

where:

- l_b represents the length of the block section;
- L is the length of the convoy (assumed for all the trains equal to 500 m);
- V is the maximum allowed speed relative to the considered line segment;
- the additional 30 seconds are relative to the sighting and clearing time.

Regarding the length of the block sections, since it has not been possible to find out such fine-grained data for the whole analysed network, we have assumed a worst and a



(Fonte - Source: [22])

Fig. 6 - Schema di calcolo per il distanziamento temporale minimo.
Fig. 6 - Calculation scheme for minimum headway.

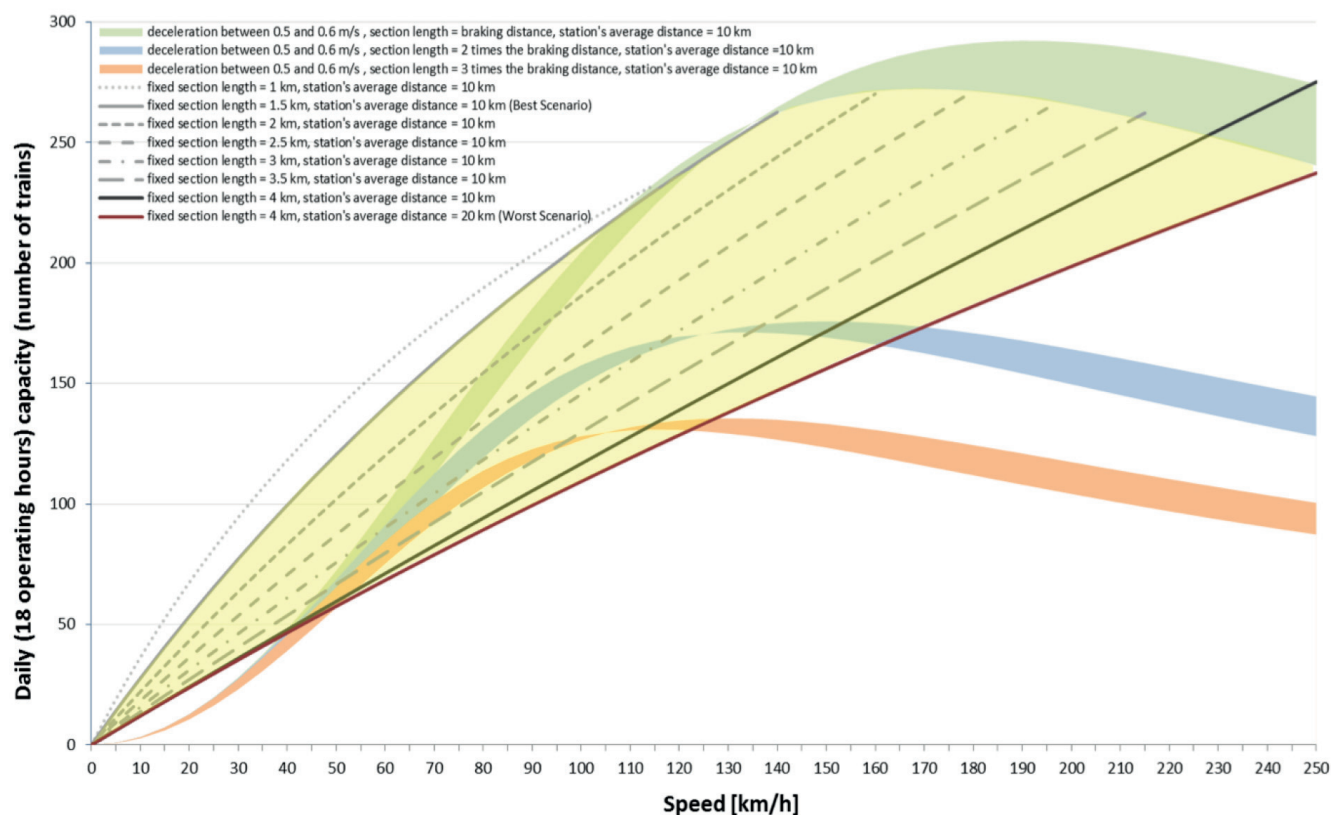
Come riportato in [20], seguendo l'approccio descritto per la valutazione della capacità di linee a doppio binario dotate di un sistema di segnalamento con blocco automatico a tre aspetti, è possibile rappresentare le curve di capacità in funzione della velocità e assumendo diverse lunghezze delle sezioni di blocco (fig. 7). In particolare, l'area gialla nella figura seguente rappresenta l'intervallo di capacità che si ottiene sulla base delle seguenti ipotesi:

- lunghezza delle sezioni di blocco non inferiore a 1.5 km e non superiore ai 4 km (lunghezze estremamente differenti sono considerate sintomatiche di colli di bottiglia); in particolare l'abaco riporta le diverse curve ottenute considerando lunghezze delle sezioni di 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5 e 4 km e una distanza tra stazioni consecutive di 10 km (20 km solo per il caso di sezioni lunghe 4 km; come detto, tale distanza influenza il numero di sezioni intermedie, cioè i parametri x e t_{zu} nell'espressione (1)).
- lunghezza delle sezioni di blocco almeno pari alla distanza di frenatura tra i treni in base alla velocità della linea (per ragioni di sicurezza, e secondo le migliori pratiche ferroviarie); in particolare la fig. 7 riporta le curve di capacità assumendo sezioni blocco di lunghezza pari a 1, 2 o 3 volte la distanza di frenatura in

best scenario, by hypothesizing respectively a block section length of 4 km and distances between consecutive stations of 20 km (influencing x and thus t_{zu} in (1)) or a section length of 1.5 km and 10 km of distances between stations. Of course it is clear that, due to the heterogeneity of the services and in particular to the presence also of "slow" trains, long block sections imply lower capacity values.

As well reported in [20], following the described approach for the capacity evaluation of double lines provided with an automatic block signalling system with three aspects, it is possible to represent the curves of capacity as a function of speed, assuming different lengths of the block sections (fig. 7). In particular the yellow area in the next figure represents the considered capacity range based on the following basic assumptions:

- block section's lengths not less than 1.5 km and not more than 4 km (extremely different lengths are considered symptomatic of bottlenecks); in particular the abacus reports the different curves obtained by considering section lengths of 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5 and 4 km and distance between consecutive stations of 10 km (20 km only for the section's case of 4 km; this distance influences the number of intermediate sections, i.e. the parameters x and t_{zu} in expression (1)).



(Fonte - Source: [20])

Fig. 7 - Esempio di abaco per la stima della capacità di linee a doppio binario.

Fig. 7 - Sample of abacus for capacity evaluation of double-track lines.

funzione della velocità e considerando un valore di decelerazione costante (ipotizzato nell'intervallo 0.5-0.6 m/s²).

In sostanza l'area gialla in fig. 7 è racchiusa tra le curve corrispondenti a lunghezze medie delle sezioni di blocco di 1.5 km (con distanza tra le stazioni di circa 10 km; bordo sinistro dell'area) e 4 km (con distanza tra le stazioni di circa 20 km; bordo inferiore dell'area) o corrispondenti ad una lunghezza delle sezioni almeno pari alla distanza di frenatura (bordo superiore destro).

Per le linee a binario unico, invece, ciascun segmento tra due stazioni (e/o fermate) può essere occupato da un solo treno per volta, indipendentemente dalla sua direzione di marcia. In questo caso il distanziamento minimo temporale può essere calcolata come:

$$t_{fm} = t_v + t_a + t_d + t_p \quad (3)$$

dove:

- t_v rappresenta il tempo di viaggio a velocità costante (l_b è la lunghezza del tratto tra due stazioni/fermate consecutive meno le distanze di accelerazione e di frenatura):

$$t_v = \frac{l_b}{V} \quad (4)$$

- t_a e t_d rappresentano i tempi di accelerazione e decelerazione (con valori di accelerazione e decelerazione assunti pari a 0.5 m/s² nella nostra analisi):

$$t_a = \frac{V}{a} ; t_d = \frac{V}{d} \quad (5)$$

- t_p rappresenta un tempo supplementare per la preparazione dell'itinerario.

Lo scenario migliore e quello peggiore assunti per le linee a singolo binario dipendono dalla distanza tra stazioni consecutive (assunta rispettivamente pari a 8 o 20 km). In questo caso, infatti, il fattore discriminante per le varie curve della capacità in funzione della velocità è rappresentato dalla distanza tra punti consecutivi di sorpasso/incrocio. In ogni caso nella nostra analisi abbiamo ristretto l'attenzione a distanze nell'intervallo 8-20 km (area grigia nella fig. 8).

Le mappe in fig. 9 riassumono l'analisi di capacità (in treni/giorno) per i corridoi considerati. Come è evidente, individuano gli stessi segmenti 'deboli' (colli di bottiglia); per ciascun segmento analizzato abbiamo calcolato sia la capacità minima (corrispondente allo scenario peggiore, ossia lunghezza delle sezioni di blocco di 4 km per linee a doppio binario e distanze di 20 km tra stazioni/punti di sorpasso consecutivi su le linee sia a singolo che a doppio binario) che la capacità massima (corrispondente allo scenario migliore, ossia lunghezza delle sezioni di blocco di

- block section's length at least equal to the braking distance of the train according to the speed on the line (for safety reasons, and according to the best practices in railways); in particular the fig. 7 shows the curves of capacity assuming block sections with length of 1, 2 or 3 times the braking distance as a function of speed and by considering a constant deceleration value (assumed in the range 0.5–0.6 m/s²).

Basically the yellow area in fig. 7 is enclosed between the curves corresponding to average block section's lengths of 1.5 km (stations distance of 10 km; i.e. left border) and 4 km (stations distance of 20 km; i.e. bottom border) or corresponding to a section's length equal at least to the braking distance (top-right border).

For the single-track lines, instead, each segment between two stations (and/or stops) can be occupied only by a train, independently from its direction of running. In this case the minimum headway (as time) can be calculated as:

$$t_{fm} = t_v + t_a + t_d + t_p \quad (3)$$

where:

- t_v represents the travel time with constant speed (l_b is the length of the section between two consecutive stations/stops minus the accelerating and braking distances):

$$t_v = \frac{l_b}{V} \quad (4)$$

- t_a and t_d represent the acceleration and deceleration times (acceleration and deceleration values set to 0,5 m/s² in our analysis):

$$t_a = \frac{V}{a} ; t_d = \frac{V}{d} \quad (5)$$

- t_p represents an extra time for the preparation of the itinerary.

The assumed best and worst scenarios for single lines depend upon the distance between consecutive stations (assumed respectively of 8 and 20 km). In this case, in fact, the key driver for the different capacity curves in function of the speed is represented by the distance between consecutive passing/cross loops. Anyway in our analysis we restricted our focus to the range 8–20 km (grey area in fig. 8).

The following maps in fig. 9 summarize the capacity analysis (in trains/day) for the considered corridors. As it is evident, they identify the same 'weak' links (bottlenecks); we have calculated for each analysed link both the minimum capacity (corresponding to the worst scenario, i.e. block section length of 4 km for double track lines and distances of 20 km between consecutive stations or passing/cross loops on both single and double track lines) and the maximum capacity (corresponding to the best scenario, i.e. block section

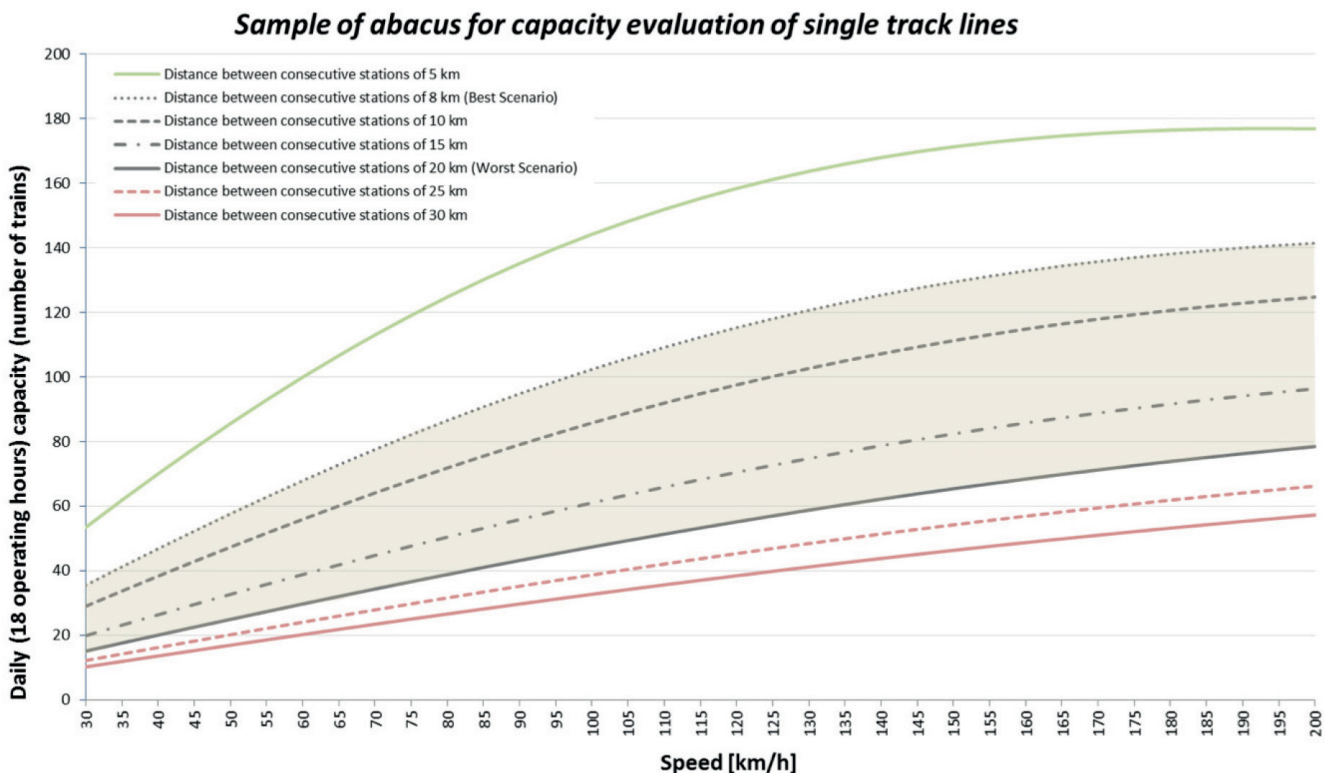


Fig. 8 - Esempio di abaco per la stima della capacità di linee a singolo binario.
Fig. 8 - Sample of abacus for capacity evaluation of single-track lines.

1.5 km e distanze di 10 km tra stazioni consecutive sulle linee a doppio binario, mentre punti di incrocio/sorpasso ogni 8 km sulla linee a singolo binario). In questo modo abbiamo definito un intervallo probabile di capacità per le linee nonostante la mancanza di informazioni più dettagliate sulle sezioni di blocco e sulla posizione delle stazioni e/o dei punti di incrocio/sorpasso (come proposto anche in [20]).

length of 1.5 km and distances of 10 km between consecutive stations for double track lines while passing/cross loops every 8 km on single track lines). In this way we have defined a likely range of capacity for the lines despite the lack of detailed information on the block sections and on the stations/junctions location (as also proposed in [20]).

Then analysing the planned investments, the related capacity improvements (if expected) are represented by the dif-

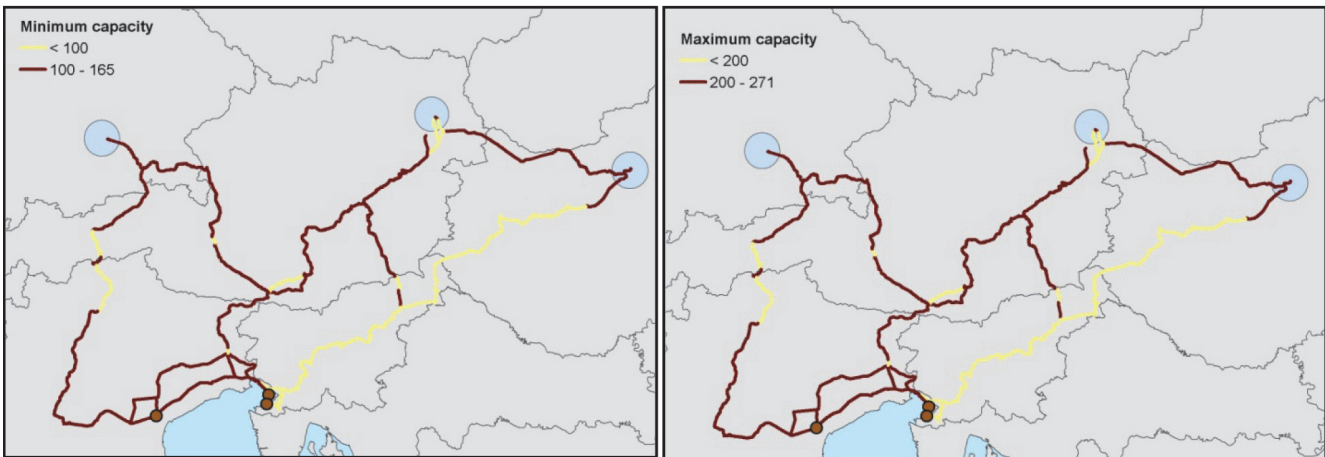


Fig. 9 - Capacità minima e massima della rete ferroviaria analizzata nelle ipotesi considerate.
Fig. 9 - Minimum and maximum capacity of the analysed rail network under the considered assumptions.

Poi, esaminando gli investimenti programmati, i relativi incrementi di capacità (se previsti) sono rappresentati dalla differenza tra la capacità nel migliore scenario futuro e la capacità nel peggiore scenario attuale (ossia si suppone che nello scenario attuale, soprattutto se e dove ci sono interventi programmati, esistono lunghe sezioni di blocco o lunghe distanze tra stazioni/punti di sorpasso che devono essere accorciate). In pratica assumiamo che gli interventi previsti sulla capacità mirano, tra le altre cose, ad eliminare tutti gli eventuali colli di bottiglia e i problemi lungo il collegamento.

3. Attuali colli di bottiglia

In accordo con le diverse caratteristiche dell'infrastruttura e con la capacità teorica valutata per ogni segmento ferroviario analizzato, è stato possibile identificare le strozzature critiche per ogni itinerario come rappresentato, per esempio, nella mappa seguente. Vale la pena notare che le linee a singolo binario sono state sempre considerate colli di bottiglia data la loro limitata capacità, mentre per le linee a doppio binario abbiamo indicato come 'deboli' tutti i collegamenti con capacità giornaliera inferiore a 200 treni nello scenario migliore (lunghezza delle sezioni di blocco di 1.5 km e stazioni ogni 10 km) (fig. 10). In effetti il Prospetto Informativo della Rete 2015 del gestore italiano dell'infrastruttura (RFI) assume la stessa soglia per l'individuazione delle linee a doppio binario congestionate (vedi sezione 3.9 in [24]).

La tabella 1 riassume per tutti gli itinerari O/D considerati, le lunghezze e le percentuali dei percorsi che non

ferences between the capacity in the best future scenario and the capacity in the worst actual scenario (i.e. supposing that currently, especially if interventions are planned, there are long block sections or long distances between stations/junctions which need to be shortened). It means that we assume that the planned 'capacity' interventions aim, among other things, at eliminating all the eventual bottlenecks and issues along the link.

3. Current bottlenecks

According to the different infrastructure characteristics and to the evaluated theoretical capacity of each analysed link, it has been possible to identify the critical bottlenecks of each itinerary as represented, for example, in the next map. It is worth to notice that the single-track lines are always considered bottlenecks due to their limited capacity, while for double track lines we have indicated as 'weak' all the links with capacity values per day lower than 200 trains in the best scenario (block section length of 1.5 km and stations every 10 km) (fig. 10). Indeed the 2015 Network Statement of the Italian Infrastructure Manager (RFI) considers the same threshold for defining congested double-track lines (see section 3.9 of [24]).

The table 1 summarizes for all the considered O/D itineraries, the lengths and the percentages of the routes not complying with the requirements and the technical standards we have defined above.

In particular the outcomes seem to highlight fewer bottlenecks of Venice's rail connections in comparison to the other ports, followed by Trieste and with Koper at the end of the queue. Moreover, the current scenario seems to show that for all the three ports the connection with the east of Europe (in particular Budapest in our case study) represents the weakest route, even if specific bottleneck segments characterize also the other paths.

In the following we focus on and we report only the analysis of the best railway itineraries from Venice, Trieste and Koper towards Munich, Wien and Budapest (or vice versa). The selected paths have been chosen on the basis of the length (shortest routes) in conjunction with considerations about the best infrastructural characteristics (and the related compliance with the railway standards). In particular, as evident from table 1, the shortest paths for each couple of origins and destinations present also the lowest average percentages of route not complying with the considered technical standards; the only exception is represent-

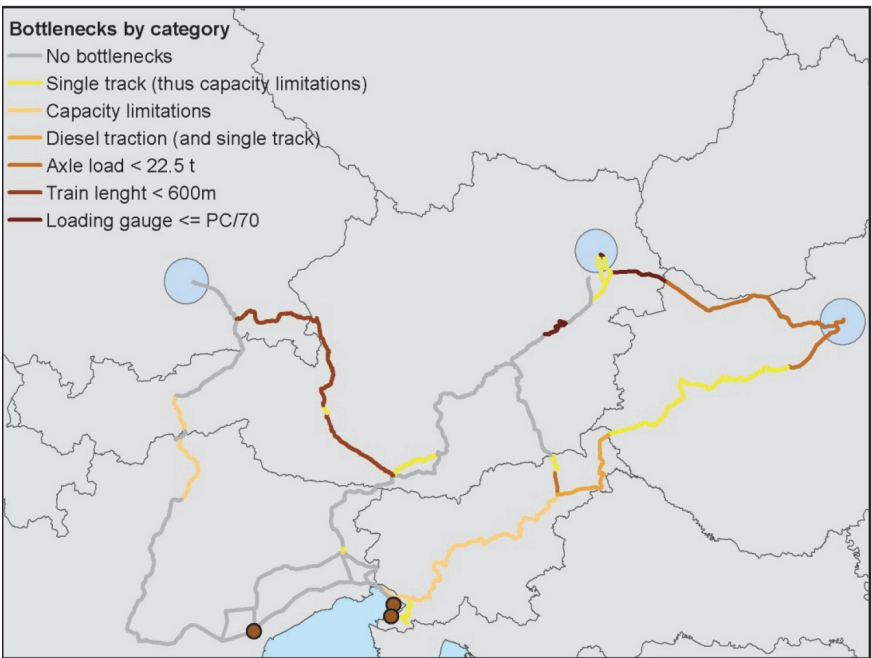


Fig. 10 - Colli di bottiglia attuali per categoria.
Fig. 10 - Actual bottlenecks by category.

TABELLA 1 – TABLE 1

Lunghezze e percentuali del percorso non conformi alle norme tecniche considerate per tutti gli itinerari O/D.
Lengths and percentages of route not complying with the considered technical standards for all the O/D itineraries.

	Lunghezza totale Total length [km]	Doppio binario Double track	Elettrificazione Electrification	Carico assiale Axle-load	Lunghezza treno Train length	Sagoma limite Loading Gauge	Limitazioni di capacità Capacity limitations	Percentuali medie Average percentage
Venezia-Monaco (via Padova)	537	0%	0%	0%	0%	0%	18.91%	3%
Venezia-Monaco (Via Treviso e Padova)	584	0%	0%	0%	12.96%	0%	17.39%	5%
Venezia-Monaco (via Salisburgo)	555,9	11,78%	0%	0%	56.70%	0%	11.78%	14%
Venezia-Vienna	602	11.61%	0%	0%	21.22%	6.98%	17.61%	10%
Venezia-Budapest (Via Cervignano e Lubiana)	835	41.56%	13.05%	30.08%	29.08%	0%	70.43%	31%
Venezia-Budapest (Via Gorizia e Lubiana)	845,9	37.71%	12.88%	29.70%	35.05%	0%	69.52%	31%
Venezia-Budapest (Via Portogruaro e Lubiana)	753	42.36%	14.47%	33.36%	26.04%	0%	78.10%	32%
Trieste – Budapest	665	47.97%	16.39%	37.77%	20.62%	0%	88.44%	35%
Trieste – Vienna (via Tarvisio)	546	34.52%	0%	0%	4.03%	7.69%	34.52%	13%
Trieste – Vienna (via Lubiana)	574	21.34%	0%	18.88%	30.02%	7.32%	68.22%	24%
Trieste – Monaco (via Portogruaro)	653	0%	0%	0%	9.03%	0%	15.55%	4%
Trieste – Monaco (via Gorizia)	751	0%	0%	0%	28.52%	0%	13.52%	7%
Trieste – Monaco (via Cervignano)	740	3.78%	0%	0%	21.69%	0%	13.72%	7%
Capodistria – Budapest	671	64.22%	16.24%	37.44%	27.59%	0%	90.63%	39%
Capodistria – Vienna (via Tarvisio)	608	38.90%	0%	0%	7.89%	6.91%	38.90%	15%
Capodistria – Vienna (via Lubiana)	580	40.41%	0%	18.69%	37.98%	7.24%	62.69%	28%
Capodistria – Vienna (via Budapest)	910	47.35%	11.98%	46.56%	20.34%	7.31%	66.82%	33%
Capodistria – Monaco (via Portogruaro)	715	6.71%	0%	0%	14.96%	0%	24.83%	8%
Capodistria – Monaco (via Gorizia)	813	5.90%	0%	0%	32.25%	0%	18.40%	9%
Capodistria – Monaco (via Cervignano)	802	9.48%	0%	0%	26.00%	0%	18.65%	9%

soddisfano i requisiti e le norme tecniche che abbiamo definito in precedenza.

In particolare, i risultati sembrano evidenziare minori criticità dei collegamenti ferroviari di Venezia rispetto agli altri porti, seguita da Trieste e con Capodistria alla fine della coda. Inoltre, lo scenario attuale sembra mostrare che per tutti i tre porti il collegamento con l'est Europa (in particolare Budapest nel nostro caso studio) rappresenta il percorso più debole, anche se specifici colli di bottiglia caratterizzano anche tutti gli altri percorsi.

Per le successive considerazioni, ci focalizziamo e riportiamo le analisi solo per i migliori itinerari ferroviari da Venezia, Trieste e Capodistria verso Monaco di Baviera, Vienna e Budapest (o viceversa). I percorsi selezionati sono stati scelti sulla base della lunghezza (percorso più breve) in combinazione con valutazioni circa le migliori

ed by the connection between Koper and Wien, for which the route via Ljubljana is just 28 km shorter than the path via Tarvisio, but the former presents a much higher percentage of 'weak' links. In this case we choose the latter itinerary.

Summarizing, the considered O/D routes are:

- Venice – Munich (via Padova);
- Venice – Wien;
- Venice – Budapest (Via Portogruaro & Ljubljana);
- Trieste – Munich (Via Portogruaro);
- Trieste – Wien (Via Tarvisio);
- Trieste – Budapest;
- Koper – Munich (Via Portogruaro);

caratteristiche infrastrutturali (e la relativa conformità agli standard ferroviari su riportati). In particolare, come evidente dalla tabella 1, gli itinerari più brevi per ogni coppia di origine e di destinazione presentano anche le più basse percentuali medie di percorso non conforme alle norme tecniche considerate; l'unica eccezione è rappresentata dal collegamento tra Capodistria e Vienna, per il quale il percorso via Lubiana è soli 28 km più breve del percorso via Tarvisio, ma il primo presenta una percentuale molto più alta di tratte "deboli". In questo caso abbiamo scelto il secondo itinerario.

Riassumendo, i percorsi O/D considerati sono i seguenti:

- Venezia – Monaco di Baviera (via Padova);
- Venezia – Vienna;
- Venezia – Budapest (Via Portogruaro e Lubiana);
- Trieste – Monaco di Baviera (Via Portogruaro);
- Trieste – Vienna (Via Tarvisio);
- Trieste – Budapest;
- Capodistria – Monaco di Baviera (Via Portogruaro);
- Capodistria – Vienna (Via Tarvisio);
- Capodistria – Budapest.

4. Analisi degli investimenti e principali risultati

Sulla base dei piani di attuazione relativi ai corridoi ferroviari TEN-T è stato possibile individuare gli investimenti di linea per ogni segmento dei percorsi analizzati. La tabella 2, ad esempio, riporta per varie tratte le informazioni relative ai progetti previsti in termini di miglioramento infrastrutturale e tecnologico e i relativi costi (in M€).

Come è evidente dall'esempio precedente, poiché alcuni interventi sono definiti in modo del tutto generale, non è stato sempre facile specificare nel dettaglio tutti i lavori previsti e gli effetti in termini di capacità della linea; né tantomeno è stato semplice disaggregare i costi degli interventi in entità/fattori elementari.

Ad ogni modo, al fine di valutare l'efficacia dei progetti previsti nell'incrementare la capacità di trasporto merci su rotaia tra origine e destinazione, per ciascun percorso O/D i relativi investimenti sono stati considerati e analizzati congiuntamente alla variazione prevista di capacità (come descritto sopra). La fig. 11 riporta, per esempio, i risultati per il percorso da Capodistria verso Budapest. In particolare, la figura in alto riporta i valori attuali e futuri (dopo gli interventi) della capacità per ogni sezione nello scenario migliore e in quello peggiore. La figura in basso, invece, mostra la variazione di capacità (miglior scenario futuro meno peggiore scenario attuale) rispetto al totale dei costi di investimento. Da questi dati, per tutti i percorsi possibili, non è sempre facile identificare quali investimenti hanno un impatto diretto e significativo sulla capacità di trasporto ferroviario merci; gli interventi previsti sui corridoi hanno anche altri obiettivi oltre ai mi-

- Koper – Wien (Via Tarvisio);
- Koper – Budapest.

4. Investments analysis and main results

On the basis of the Implementation Plans related to the TEN-T railway corridors it has been possible to identify the line investments for each link of the analysed routes. Table 2, for example, reports for several sections the information about the planned projects in terms of infrastructural and technological improvement and the relating costs (in M€).

How it is evident from the example above, since some interventions are defined in a quite general way, it has not been easy to specify in detail all the planned works and the effects in terms of capacity on the line; neither it has been straightforward to disaggregate the costs of interventions in elementary entities/factors.

Anyway, in order to evaluate the effectiveness of the planned projects in increasing the freight transport capacity between origin and destination, for each O/D route the related investments have been considered and analysed together with the expected variation in capacity (as described above). Fig. 11 reports for example the outcomes for the route from Koper towards Budapest. In particular, the upper figure reports the current and future (after interventions) values of capacity for each section in the best scenario and in the worst scenario. The bottom figure, instead, shows the variation in capacity (future best scenario minus current worst scenario) in comparison to the total investment costs. From this data, for all the possible routes, it is not always easy to identify which investments have a direct and significant impact on rail freight capacity; the planned interventions on the freight corridors have also other objectives beside capacity enhancements such as, for example, safety and interoperability of the system. Anyway our outcomes try to provide an interesting investment analysis specifically from a freight capacity point of view for all the analysed routes.

In particular, table 3 summarizes the main results of our exercise for all the chosen itineraries; it provides the total line investment cost (focusing, whether and whenever possible, only on interventions enhancing capacity) for each route divided by its length weighted on the percentage of capacity improvements. Practically this indicator weights more the length of line sections (Km.) with significant improvements of rail capacity ($\Delta C/C$) after the implementation of the planned TEN-T projects along the itineraries; then the costs of these projects are spread on the evaluated kilometres. It aims to provide a value of cost (M€) per km taking also in account properly the 'freight capacity improvements' along the route, and so the efficiency of the investments purely from the capacity point of view. As expected the results show a great utility of the investments on the corridor currently characterized by the worst conditions (i.e. the routes towards Budapest). On the contrary the paths towards Munich seem to be less efficient since they

TABELLA 2 – TABLE 2

Esempio di costi di investimento previsti nei piani di attuazione TEN-T.
Sample of planned TEN-T investment costs from the Implementation Plans.

Sezione di linea Line section	Costi Cost (M€)	Progetto Project
Verona Brennero	6,989.65	1. Aggiornamento tecnologico per incrementare capacità e velocità sulla linea Brennero Verona <i>Technological Upgrade of Brennero Verona line for the capacity and increasing speed</i> 2. Nodo AV di Verona: collegamento da nord (1 ° fase): Prima fase del collegamento tra la stazione di Verona Porta Nuova e la linea AV Verona-Padova (doppio binario lungo la linea di accesso) <i>Verona HS node: connection from north (1st phase): First phase of the connection between the Verona Porta Nuova station and the Verona Padova HS line (double track along the access line)</i> 3. Aggiornamento tecnologico e infrastrutturale della stazione di Verona Porta Nuova <i>Technological and infrastructural upgrading of the Verona Porta Nuova Station</i> 4. Linea di accesso Sud al Brennero: Costruzione di linea a doppio binario, parallela a quella esistente, Fortezza-Ponte Gardena <i>Southern access line to Brenner: Construction of double track line, parallel to the existing one, Fortezza Ponte Gardena</i> 5. Tunnel del Brennero (BBT): tunnel ferroviario tra Innsbruck e Fortezza, costituito da diversi lotti di progettazione e costruzione <i>Brenner base tunnel (BBT): Railway tunnel between Innsbruck and Fortezza, made of different planning and construction lots</i> 6. Brennero: migliorare l'interoperabilità con misure a breve termine; misure infrastrutturali, operative e di regolamentazione a breve termine per migliorare la qualità del servizio e l'efficienza fino a quando il tunnel sarà in funzione <i>Brennero: improve interoperability by short-term measures; short-term infrastructural, operational and regulatory measures to improve the quality of the service and the efficiency until the base tunnel is in operation</i>
Brennero Kufstein	6,772.35	1. Brennero: migliorare l'interoperabilità con misure a breve termine; misure infrastrutturali, operative e di regolamentazione a breve termine per migliorare la qualità del servizio e l'efficienza fino a quando il tunnel sarà in funzione <i>Brennero: improve interoperability by short term measures; short term infrastructural, operational and regulatory measures to improve the quality of the service and the efficiency until the base tunnel is in operation</i> 2. Investimenti sulla rete 2013-2018: riabilitazione scambi, salvaguardia dei passaggi a livello, protezione contro i rumori, riabilitazione delle stazioni ferroviarie, posti park & ride <i>Investments on the network 2013-2018: rehabilitation of railroad switches safeguarding of level crossings, noise protection, rehabilitation of railway stations, park & ride sites</i> 3. Schafstau-Kundl/Radfeld: espansione Unterinntalbahnhof - secondo passo; alla linea ferroviaria esistente a doppio binario sarà aggiunta una nuova linea ad alta velocità a doppio binario per una lunghezza di 19 km per ridurre il tempo di viaggio e per espandere la capacità <i>Schafstau-Kundl/Radfeld: Unterinntalbahnhof - expansion second step; the already existing double track rail line will be complemented with a new double track high-speed line on a length of 19 km to reduce travel time and to expand the capacity</i> 4. Confine Germania/Austria - (Kufstein-Schafstau): miglioramento della capacità per il traffico ferroviario di attraversamento del confine; espansione Unterinntalbahnhof - seconda fase: alla linea ferroviaria esistente a doppio binario sarà aggiunta una nuova linea ad alta velocità a doppio binario per una lunghezza di 8 km per ridurre il tempo di viaggio e per espandere la capacità. <i>DE/AT border (Kufstein-Schafstau): capacity improvement for border crossing rail traffic; Unterinntalbahnhof - expansion second step: the already existing double track line will be complemented with a new double tracks line on a length of about 8 km to reduce the travel time and to expand the capacity</i> 5. Ricostruzione della stazione ferroviaria di Schwaz; riabilitazione piattaforme e binari; riabilitazione delle linee aeree; costruzione di un tunnel per il movimento di persone <i>Reconstruction of Schwaz railway station; rehabilitation of platforms and tracks; rehabilitation of overhead lines; construction of a tunnel for people movement</i>
Kufstein Rosenheim	1,054.6	ABS/NBS Monaco - Rosenheim Grenze (Kufstein): aggiornamento/nuova linea DB Netz AG 2.630 <i>ABS/NBS München - Rosenheim Grenze (Kufstein): upgrade/new line DB Netz AG 2.630</i>

gliamenti di capacità, quali, ad esempio, la sicurezza e l'interoperabilità del sistema. In ogni caso i risultati cercano di fornire un'interessante analisi degli investimenti dal punto di vista prettamente della capacità merci per tutte le rotte analizzate.

In particolare, la tabella 3 riassume i principali risultati del nostro esercizio per tutti gli itinerari prescelti; essa riporta il costo di investimento totale di linea (limitato, se e

are characterized by big investments despite presenting already good capacity levels; of course this depends on the different nature of the planned investments and on the focal point of our analysis. In particular, here it is worth reminding that from the data at our disposal (derived from the Implementation Plans) it is extremely difficult to distinguish and divide the total costs per link in elementary parts (i.e. it has not been always possible to consider for each seg-

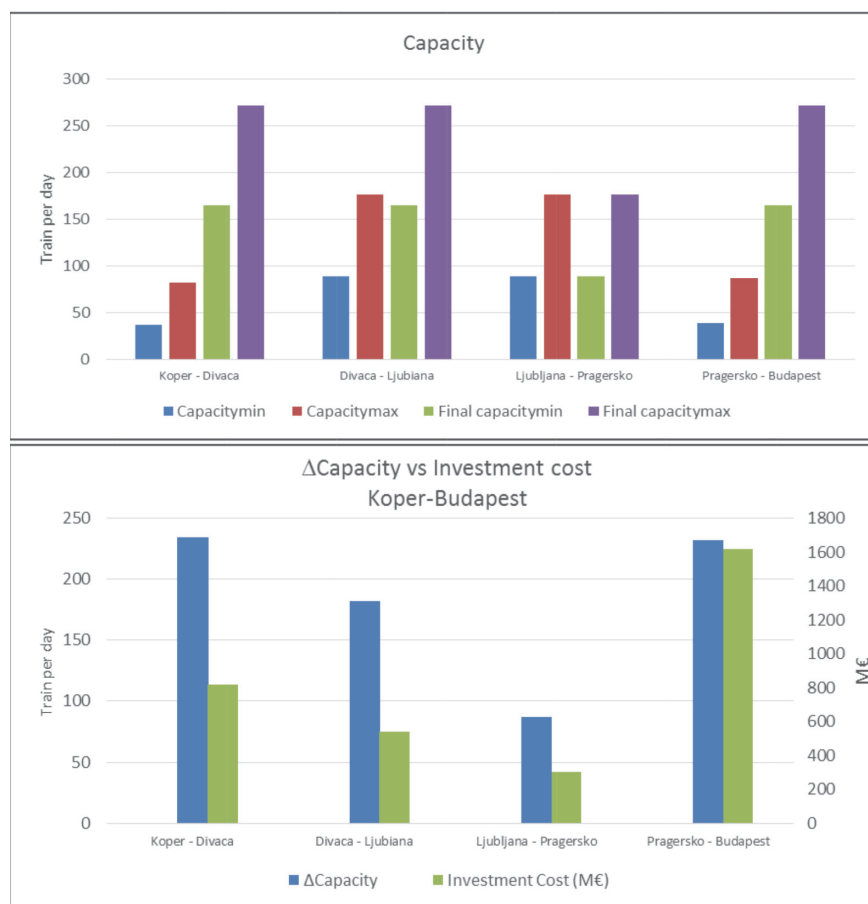


Fig. 11 - Percorso Capodistria-Budapest. Valori di capacità attuale e futura (in alto) e variazione di capacità contro costi di investimento totali (in basso).
 Fig. 11 - Koper-Budapest route. Current and future capacity values (upper) & variation in capacity vs total investment costs (bottom).

quando possibile, solo agli interventi migliorativi della capacità) per ciascun percorso diviso per la lunghezza ponderata sulla percentuale di incremento della capacità. Praticamente questo indicatore pondera maggiormente la lunghezza dei tratti di linea (Km.) con significativi miglioramenti della capacità ferroviaria ($\Delta C/C_i$) dopo l'attuazione lungo gli itinerari dei progetti TEN-T previsti; dopodiché i costi di questi progetti sono distribuiti sui chilometri valutati. Tale indicatore mira a fornire un valore di costo (M€) per km che tenga anche opportunamente in considerazione i miglioramenti della capacità di trasporto merci lungo il percorso, e quindi l'efficienza degli investimenti puramente dal punto di vista della capacità. Come atteso, i risultati mostrano una grande utilità degli investimenti sui corridoi attualmente caratterizzati da condizioni peggiori (per esempio gli itinerari verso Budapest). Al contrario i percorsi verso Monaco di Baviera sembrano essere meno efficienti poiché sono caratterizzati da grandi investimenti nonostante presentino già buoni livelli di capacità; naturalmente questo dipende dalla variegata natura degli investimenti previsti e dal punto di vista della nostra analisi, la

ment only the costs related to capacity enhancements). This means that the high cost per km in table 3 is partially influenced by investments also in terms of interoperability, safety, general upgrading etc..

5. Further research developments

The presented analysis has focused mainly on the freight capacity of the rail infrastructure and on the related enhancements following the implementation of the TEN-T planned projects. Anyway further developments of this research would consider other additional and important factors in order to better evaluate how and where to invest and/or for efficiently prioritizing the available funds.

The study, for example, has considered a difference between electrified or diesel lines, but at this stage it has not taken in account the different electrification systems in the various countries along the considered corridors, and/or the consequent burdens for the Rail Operators. Neither the Rail Undertakings' point of view has been considered by evaluating the different access charges for freight services along the itineraries. Indeed, as underlined in the fourth report (2014) presented by the European Commission to the Council and Parliament

on monitoring the development of the rail sector [25], the infrastructure charges impact market segments differently and rail freight is reputedly the most sensitive to the variations of track access charges. In addition, a recent UIC study [26] shows how the European railway network is segmented into several parts by different charging regimes and it presents even an interesting analysis along different European freight corridors to provide an idea of both the complexity and the differences of the schemes along international paths.

Moreover, further refinements of the research could analyse in detail also the demand dimension of the problem (see for example [27]), in order to explore the actual and/or the future freight flows along the considered rail routes in conjunction with the planned interventions and investments.

Just to highlight, for example, that the freight demand between the selected origins and destinations is not negligible, below we report same data (see tables 4 and 5) available from the Eurostat database (<http://ec.europa.eu/eurostat/data/database>).

quale preliminarmente, non ha affrontato il tema cruciale della domanda, volendo proporre un'analisi comparata sulla sola offerta. In particolare vale la pena ricordare che, dai dati a nostra disposizione (derivati dai piani di attuazione), è estremamente difficile distinguere e dividere i costi totali per segmento in parti elementari (cioè non è stato sempre possibile considerare per ciascun segmento solo i costi relativi ai miglioramenti di capacità). Ciò significa che i costi elevati per km nella tabella 3 sono parzialmente influenzati anche dagli investimenti in termini di interoperabilità, sicurezza, rinnovamento generale etc.

5. Sviluppi futuri della ricerca

L'analisi presentata si è concentrata principalmente sulla capacità merci delle infrastrutture ferroviarie e sui relativi miglioramenti a seguito della realizzazione dei progetti TEN-T previsti. Ulteriori sviluppi di questa ricerca potrebbero prendere in considerazione altri fattori aggiuntivi ed importanti al fine di valutare meglio come e dove investire e/o per definire in modo efficiente le priorità dei fondi disponibili.

Lo studio, per esempio, differenzia tra le linee elettrificate o diesel, ma in questa fase non prende in considerazione i diversi sistemi di elettrificazione nei vari paesi lungo i corridoi considerati, e/o i conseguenti oneri per gli operatori ferroviari. Né lo studio prende in considerazione il punto di vista delle imprese ferroviarie valutando, ad esempio, le diverse tariffe di accesso per il trasporto merci lungo gli itinerari. Come sottolineato, infatti, nella quarta relazione (2014) sul monitoraggio dello sviluppo del settore ferroviario [25] presentata dalla Commissione Europea al Consiglio e al Parlamento, gli oneri di accesso all'infrastruttura impattano diversamente i segmenti di mercato ed il trasporto merci, in particolare, è reputato il più sensibile alle variazioni di detti diritti di accesso. Inoltre un recente studio dell'UIC [26] mostra come la rete ferroviaria europea sia segmentata in più parti dai differenti regimi di tariffazione e presenta anche un'analisi interessante lungo diversi corridoi merci europei per dare un'idea sia della complessità che delle differenze degli schemi lungo percorsi internazionali.

Inoltre, ulteriori approfondimenti della ricerca potrebbero analizzare in dettaglio anche la dimensione del problema legata alla domanda di trasporto (si veda ad esempio [27]), al fine di esplorare i flussi merci attuali e/o futuri lungo gli assi ferroviari considerati in combinazione con gli interventi e gli investimenti programmati.

Proprio per evidenziare, ad esempio, che la do-

TABELLA 3 – TABLE 3

Costi di investimento per km e per incremento unitario di capacità [M€/km].
Investment cost per km and per unitary increase of capacity [M€/km].

Itinerari <i>Itineraries</i>	<i>Total Line Investment Cost</i> $Km_1 \cdot \frac{\Delta C_1}{C_1} + + Km_n \cdot \frac{\Delta C_n}{C_n}$
Venezia-Monaco (Via Padova)	23.54
Venezia-Vienna	6.61
Venezia-Budapest (Via Portogruaro & Lubiana)	0.87
Trieste-Monaco (Via Portogruaro)	26.48
Trieste-Vienna (Via Tarvisio)	10.78
Trieste-Budapest	1.62
Capodistria-Monaco (Via Portogruaro)	20.76
Capodistria-Vienna (Via Tarvisio)	6.84
Capodistria-Budapest	1.12
<i>Nota: km_i, ΔC_i e C_i rappresentano rispettivamente la lunghezza, la variazione di capacità (scenario di investimento meno situazione attuale) e la capacità attuale della sezione i lungo l'itinerario considerato.</i> <i>Note: km_i, ΔC_i and C_i represent respectively the length, the variation in capacity (investment scenario vs actual situation) and the actual capacity of the section i along the considered itinerary.</i>	

In particular, table 4 reports the thousand tonnes of international freight handled in the three considered ports, while table 5 shows the yearly thousand tonnes of maritime freight related to the NUT2 regions in which such ports are located (for the definition and the nomenclature of the territorial units for statistics – NUTS, please see <http://ec.europa.eu/eurostat/web/nuts/overview>).

Regarding the rail freight, instead, it is more difficult to find disaggregated data. Table 6 reports the international rail freight by loaded/unloaded NUT2 regions; unluckily the data for the Wien area are not available.

Tables 4, 5 and 6 show more intense freight activities in the ports of Venice and Trieste (the latter doing much better at international level in the first six months of 2016) compared to Koper and not negligible rail freight transport among of the NUT2 regions of the considered ports and rail terminals. It is worth noticing that Trieste is included in the top 20 European ports in the Eurostat database, and that from table 6 we can notice significant freight relations between Venice and Munich but even from Budapest to Slovenia (and vice-versa).

Table 7 further explores the rail flow data from the same Eurostat database; it reports the numbers of freight and passenger trains for the year 2010 along specific sections of the selected routes. It can be observed that the sections Bruck an der Mur – Wien and Brennero -Munchen presented a similar (and significant) number of freight services in 2010 (around 15000-20000 trains per year and direction), while the data on the section Pragersko-Budapest are much lower

TABELLA 4 – TABLE 4

Merci [migliaia di tonnellate] trasportate ai/dai porti principali per direzione e tipo di traffico (internazionale)
Dati trimestrali (fonte tabella Eurostat: mar_go_qm).
Goods [thousand tonnes] transported to/from main ports by direction and type of traffic (international)
Quarterly data (source Eurostat table: mar_go_qm).

Direzione Direction	Porto Port	2014Q1	2014Q2	2014Q3	2014Q4	2015Q1	2015Q2	2015Q3	2015Q4	2016Q1	2016Q2
Totale Total	Trieste	688	826	514	472	575	402	713	598	2,078	2,273
Totale Total	Venezia	705	748	799	824	949	1,031	1,059	1,261	1,553	1,060
Totale Total	Capodistria	1,189	1,259	1,228	1,448	1,441	1,565	1,362	1,349	1,298	1,495
Ingresso Inwards	Trieste	493	726	378	240	388	272	539	396	1,737	2,200
Ingresso Inwards	Venezia	492	552	530	607	732	660	693	765	1,354	909
Ingresso Inwards	Capodistria	692	850	801	890	716	966	822	783	711	888
Uscita Outwards	Trieste	195	101	136	231	187	130	174	201	342	73
Uscita Outwards	Venezia	214	197	269	217	218	370	365	496	199	151
Uscita Outwards	Capodistria	497	409	427	558	725	599	540	566	588	607

manda merci tra le origini e le destinazioni selezionate non è trascurabile, nelle tabelle 4 e 5 si riportano alcuni dati disponibili dalla banca dati Eurostat (<http://ec.europa.eu/eurostat/data/database>).

In particolare, la tabella 4 riporta le migliaia di tonnellate di merci internazionali in ingresso e/o in uscita nei tre porti considerati (e per vari trimestri), mentre la tabella 5 mostra il trasporto merci marittimo (in migliaia di tonnellate annuali) relativo alle regioni NUT2 in cui si trovano tali porti (per la definizione e la nomenclatura delle unità territoriali statistiche - NUTS, si veda <http://ec.europa.eu/eurostat/web/nuts/overview>).

Per quanto riguarda il trasporto merci su rotaia, invece, è più difficile trovare dati disaggregati. La tabella 6 riporta il trasporto merci internazionale su ferrovia per regioni NUT2 di carico e/o scarico; purtroppo i dati per l'area di Vienna non sono disponibili.

Le tabelle 4, 5 e 6 mostrano attività merci più intense nei porti di Venezia e Trieste (quest'ultimo porto ha fatto ancor meglio a livello internazionale nei primi sei mesi del 2016) rispetto a Capodistria e

and/or not always available (there are not detailed data for the section Murska Sobota – Budapest).

Of course, the smaller demand on the rail corridor towards Budapest reflects also the worst conditions of the related path; after all it is important to notice that almost the totality of this section is characterized by single-track configuration. Indeed, the Implementation Plan of Rail Freight Corridor 6 [12] reports for the section Ormož– Ljutomer, for example, 34 trains per day, corresponding to an utilization rate of 88% of the total capacity.

TABELLA 5 – TABLE 5

Trasporto marittimo di merci [migliaia di tonnellate] per regioni NUTS 2
(Fonte tabella Eurostat: tran_r_mago_nm).
Maritime transport of freight [thousand tonnes] by NUTS 2 regions
(Source Eurostat table: tran_r_mago_nm).

Zona NUTS2 NUTS2 zone	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Nord-Est	99,096	101,258	98,754	101,295	96,784	102,839
Veneto (Venezia)	34,382	34,705	30,786	29,438	22,046	26,809
Friuli-Venezia Giulia (Trieste)	44,545	46,378	47,197	51,096	52,697	54,636
Zahodna Slovenija (Capodistria)	14,591	16,198	16,907	17,184	18,012	19,931

TABELLA 6 – TABLE 6

Trasporto merci internazionale su rotaia [migliaia di tonnellate] per regione NUTS2 di carico/scarico e per il 2005 e il 2010
(Fonte tabella Eurostat: tran_r_rago).
International rail freight [thousand tonnes] by loading/unloading NUTS2 regions and for 2005 and 2010
(Source Eurostat table: tran_r_rago).

Merci internazionali su rotaia per regione NUTS2 di carico/scarico Anni: 2005-2010 [migliaia di t]		NUTS2 di carico - Loading NUTS2					
		Oberbayern (Monaco)	Veneto (Venezia)	Friuli-Venezia Giulia (Trieste)	Közép- Magyarország (Budapest)	Vienna	Zahodna Slovenija (Capodistria)
NUTS2 Scarico Unloading NUTS2	Oberbayern (Monaco)	–	438 - 236	12 - 57	–	–	11 - 34
	Veneto (Venezia)	705 - 498	–	–	71 - 50	n.d.	–
	Friuli-Venezia Giulia (Trieste)	55 - 99	–	–	61 - 158	n.d.	–
	Közép-Magyarország (Budapest)	–	n.d.	14 - n.d.	–	–	236 - 205
	Vienna	–	n.d.	n.d.	–	–	14 - 3
	Zahodna Slovenija (Capodistria)	131 - 135	–	–	204 - 226	30 - 22	–

un trasporto merci su rotaia non trascurabile tra le regioni NUT2 dei porti e terminal ferroviari considerati. È utile notare che Trieste è incluso tra i primi 20 principali porti europei nel database Eurostat, e che dalla tabella 6 si possono osservare relazioni merci significative tra Venezia e Monaco di Baviera, ma anche da Budapest verso la Slovenia (e viceversa).

La tabella 7 esplora ulteriormente i dati sui flussi ferroviari forniti da Eurostat; essa riporta il numero di treni merci e passeggeri per l'anno 2010 lungo specifiche sezioni discriminanti dei percorsi selezionati. Si può osservare che le sezioni Bruck an der Mur - Vienna e Brennero - Monaco di Baviera presentavano un numero simile (e significativo) di servizi merci nel 2010 (circa 15.000-20.000 treni all'anno e per direzione), mentre i dati sulla sezione Pragersko - Budapest sono molto più bassi e/o non sempre disponibili (non ci sono dati dettagliati per la sezione Murska Sobota - Budapest).

Naturalmente, la minore domanda sul corridoio ferroviario verso Budapest riflette in parte anche le peggiori condizioni del relativo percorso; dopo tutto è importante notare che la quasi totalità di questa sezione è caratterizzata da una configurazione a binario unico. Infatti, il piano di attuazione del Corridoio Merci 6 [12] riporta per la sezione Ormoz- Ljutomer, per esempio, 34 treni al giorno, corrispondenti ad un tasso di utilizzo del 88% della capacità totale.

Considerazioni simili sulla domanda, tenendo in conto anche gli aumenti previsti dei flussi merci riportati in [10-17] o il trasferimento modale del traffico previsto dall'Unione europea, possono fornire ulteriori spunti interessanti alla nostra analisi per un supporto migliore all'allocazione o alla definizione delle priorità dei fondi disponibili.

Similar demand considerations, taking in account also the forecasted increase of freight flows reported in [10-17] or the coveted traffic modal shift in the European Union, can provide further interesting insights to our analysis in order to better support funds' allocation and/or prioritization.

6. Conclusions

This article explores the importance of well-structured and interconnected European transport networks by analysing the rail freight capacity of the connections from the ports of Venice, Trieste and Koper to three destinations in Central Europe, namely Wien, Budapest and Munich.

Freight from sea should be easily and efficiently transferred to final destinations or other intermodal hubs; to an extreme and beside several other factors, the rail network supporting a port can represent a discriminant in its development, attractiveness and competitiveness. It is, thus, clear the importance of analysing from an inter-modal point of view the transport funding and interventions, in order to achieve a more efficient and sustainable transport system.

The results of our analysis indicate fewer bottlenecks for the Venice's rail connections compared to the other ports, followed by Trieste and with Koper at the end of the queue; moreover the outcomes highlight less competitive characteristics of current infrastructural connections towards the east of Europe (i.e. Budapest), for which thus investments are even more valuable.

Further developments of this research would consider other additional and important factors, such as the demand component of the problem or the differences in the electrification systems and/or in the access charge regimes along international routes. Similar considerations could help in better evaluating how and where to invest and/or in efficiently prioritising the available funds.

6. Conclusioni

Questo contributo esplora l'importanza di reti di trasporto europee ben strutturate e interconnesse, analizzando la capacità di trasporto merci su rotaia dei collegamenti dai porti di Venezia, Trieste e Capodistria a tre destinazioni in Europa centrale, vale a dire Vienna, Budapest e Monaco di Baviera.

Le merci dal mare hanno bisogno di essere facilmente ed efficacemente trasferite alle destinazioni finali o ad altri nodi intermodali; estremizzando e accanto a molti altri fattori, la rete ferroviaria a sostegno di un porto può rappresentare un fattore discriminante per il suo sviluppo, la sua attrattività e la sua competitività. È pertanto evidente l'importanza di analizzare da un punto di vista intermodale gli interventi e i fondi disponibili, al fine di realizzare un sistema di trasporto più efficiente e sostenibile.

I risultati dell'analisi, svolta comparando le sole offerte di capacità ferroviaria fra le suddette origini e destinazioni, mostrano livelli di criticità dei collegamenti ferroviari crescenti dal porto di Venezia al porto di Capodistria; in particolare si evidenziano come meno competitive le caratteristiche delle connessioni infrastrutturali verso l'Europa orientale (ovvero verso Budapest nel nostro studio), per le quali, quindi, gli investimenti risultano ancora più utili.

Ulteriori sviluppi di questa ricerca potrebbero prendere in considerazione altri fattori aggiuntivi quali ad esempio la domanda di trasporto e le incidenze delle diverse condizioni delle differenze nei sistemi di elettrificazione e tariffe di accesso lungo le rotte internazionali; tali considerazioni potrebbero aiutare a valutare meglio come e dove investire e a definire in modo efficiente le priorità dei fondi disponibili.

TABELLA 7 – TABLE 7

Flussi di traffico (numero di treni) sulla rete ferroviaria – Dati 2010

(Fonte tabella Eurostat: rail_tf_netseg10).

Traffic flows (number of trains) on the rail network - Data 2010

(Source Eurostat table: rail_tf_netseg10).

Segmento della rete <i>Network segment</i>		Numero di treni merci <i>Number of freight trains</i>	Numero di treni passeggeri <i>Number of passenger trains</i>	Altri treni <i>Other trains</i>
Bruck A.D.Mur-Vienna	Wien Meidling - Mödling	10,768	66,065	2,373
	Mödling - Wiener Neustadt	10,403	45,808	1,460
	Wiener Neustadt - Payerbach-Reichenau	20,075	20,258	5,475
	Payerbach-Reichenau - Bruck A.D.Mur	27,193	17,338	5,110
	Bruck A.D.Mur - Payerbach-Reichenau	27,193	17,338	5,110
	Payerbach-Reichenau - Wiener Neustadt	20,075	20,258	5,475
	Wiener Neustadt - Mödling	10,403	45,808	1,460
	Mödling - Wien Meidling	10,768	66,065	2,373
Brennero-Monaco di Baviera	München-Waldtrudering - Grafing Bahnhof	17,078	19,084	327
	Grafing Bahnhof - Rosenheim	17,103	18,176	276
	Rosenheim - Kufstein Grenze	14,275	15,932	97
	Kufstein - Wörgl	19,893	19,710	3,103
	Wörgl - Innsbruck Hbf	35,405	23,543	3,650
	Innsbruck Hbf - Brennero/Brenner	24,820	15,330	3,833
	Brennero/Brenner - Innsbruck Hbf	24,820	15,330	3,833
	Innsbruck Hbf - Wörgl	35,405	23,543	3,650
	Wörgl - Kufstein	19,893	19,710	3,103
	Kufstein Grenze - Rosenheim	14,275	15,932	97
	Rosenheim - Grafing Bahnhof	17,103	18,176	276
	Grafing Bahnhof - München-Waldtrudering	17,078	19,084	327
Pragersko-verso Budapest	Poljcane - Pragersko	6,099	12,136	–
	Pragersko - Kidricevo	2,952	4,182	–
	Kidricevo - Ormoz	2,460	3,839	:
	Ormoz - Ljutomer	1,875	3,272	:
	Ljutomer - Murska Sobota	1,943	2,729	:
	Murska Sobota - Ljutomer	2,225	2,503	:
	Ljutomer - Ormoz	2,162	3,012	:
	Ormoz - Kidricevo	2,972	3,699	:
	Kidricevo - Pragersko	3,344	4,087	–
	Pragersko - Poljcane	6,286	12,237	–

BIBLIOGRAFIA - REFERENCES

- [1] European Commission (2001), White Paper: European transport policy for 2010: Time to Decide.
- [2] European Commission (2016), Communication 501 of 20/7/2016 [2] from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. A European Strategy for Low-Emission Mobility.
- [3] PALLOTTO F., COVIELLO N. (2016), "A capacity assessment of the railways serving the ports of Savona and Vado: solutions for setting up effective freight services", *Ingegneria Ferroviaria*, Volume 71, Issue 4, Ed. CIFI. April 2016.
- [4] WOODBURN A. (2007) "The role for rail in port-based container freight flows in Britain", *Maritime Policy & Management*, 34, Vol. 4, Pag. 311-330.
- [5] WOODBURN A. (2013), "Effects of rail network enhancement on port hinterland container activity: a United Kingdom case study", *Journal of Transport Geography*, 33, 162-169.
- [6] MORTIMER P., RIBEIRO J., KULA P., BALIK . AND MISTODIE O.A. (2014), "Design of integrated and coordinated multi-modal transport systems–North Sea–Mediterranean corridor", *Transport Problems*, 9 (special edition), pp.71-88.
- [7] RODEMANN H., & TEMPLAR S. (2014), "The enablers and inhibitors of intermodal rail freight between Asia and Europe", *Journal of Rail Transport Planning & Management*, Vol. 4, Issue 3, Pages. 70-86.
- [8] COVIELLO N., DALLA CHIARA B. (2016), "Availability of paths for fast freight services on an Italian high speed railway", 11th World Congress on Railway Research, Milan 2016, Milan, Italy, 29th May – 2nd June 2016.
- [9] Regulation (EU) No 1315/2013 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2013 on Union guidelines for the development of the trans-European transport network.
- [10] Scandinavian – Mediterranean Rail Freight Corridor, Implementation Plan. Annex of the "Decision of the Executive Board of the Scandinavian-Mediterranean Rail Freight Corridor of 6 November 2015 approving the implementation plan and the investment plan of the rail freight corridor".
- [11] Baltic-Adriatic Rail Freight Corridor, Implementation Plan. Accepted by the Executive Board of the Baltic-Adriatic Rail Freight Corridor in Warsaw on 09 November 2015.
- [12] Rail Freight Corridor 6 - Mediterranean Corridor - Implementation Plan. TT 2015/2016.
- [13] Implementation Plan of Rail Freight Corridor 7 "Orient Corridor" - based on Regulation (EU) No 913/2010 of the European Parliament and of the Council of 22 September 2010 concerning a European rail network for competitive freight. Updated 5th January 2016.
- [14] European Commission. Scandinavian-Mediterranean Core Network Corridor Study. Final Report. December 2014.
- [15] European Commission. Baltic-Adriatic Core Network Corridor Study. Final Report. December 2014.
- [16] European Commission. Mediterranean Core Network Corridor Study. Final Report. December 2014.
- [17] European Commission. Orient/East-Med Core Network Corridor Study. Final Report. December 2014.
- [18] RICCI S. (2014), "Punctuality based calibration of railway capacity models", 2nd International Conference on Railway Technology: Research, Development and Maintenance. Ajaccio, Corsica, France. 8-11 April 2014.
- [19] ROTOLI F., RICCI S., NAVAJAS CAWOOD E., MALAVASI G. (2015), "Capacity versus Punctuality Assessment Procedures and Accessibility Measures for Rail Networks", *Ingegneria Ferroviaria*, Volume 70, Issue 12, Ed. CIFI. December 2015. Pages 1011-1040.
- [20] ROTOLI F., MALAVASI G., RICCI S. (2016), "Complex railway systems: capacity and utilization of interconnected networks", *European Transport Research Review*, Issue 8, Article 29, December 2016.
- [21] COVIELLO N., DALLA CHIARA B., RICCI S. (2015), "Scheduling algorithms for rail operations and the automatic generation of timetables: application for railway capacity and perturbation evaluation", *Ingegneria Ferroviaria*, Volume 70, Issue 10, October 2015, Ed. CIFI. Pages 787-820.
- [22] HANSEN I., PACHL J., (2014), "Railway Timetabling & Operations. Analysis - Modelling - Optimisation - Simulation - Performance Evaluation", 2nd edition. Eurailpress.
- [23] International Union of Railways - UIC (1996). Code 405 OR - Links between Railway Infrastructure Capacity and the Quality of Operations.
- [24] Rete Ferroviaria Italiana – RFI (2016). Prospetto Informativo Rete 2015 (Network Statement), available at: <http://www.rfi.it/rfi/SERVIZI-E-MERCATO/Accesso-alla-rete/Prospetto-informativo-della-rete/PIR-2015/PIR-2015#2>
- [25] European Commission (2014). Report from the Commission to the Council and the European Parliament - Fourth report on monitoring development of the rail market. Bussels, 13 June 2014.
- [26] UIC (2015). Track access charges in EU. Railway Costing & Pricing, Paris.
- [27] CAPPELLI A., LIBARDO A., NOCERA S., SALERNO G., SARDENA A. (2016), "Results of a heuristic model to evaluate perceived quality of railway travels", *Ingegneria Ferroviaria*, Volume 71, Issue 10, Ed. CIFI. October 2016.