

OSSERVATORIO



Una valutazione della capacità delle linee ferroviarie per i porti di Savona e Vado: soluzioni per effettuare servizi merci efficaci

A capacity assessment of the railways serving the ports of Savona and Vado: solutions for setting up effective freight services

Dott. Ing. Francesco PALOTTO^(*)
Dott. Ing. Nicola COVIELLO^(**)

1. Introduzione

1.1. Scopi ed obiettivi dello studio

L'obiettivo dello studio presentato in questo articolo consiste nello sviluppare uno studio di capacità relativo alle due linee ferroviarie che collegano i porti posti nei pressi della città di Savona con il Piemonte, al fine di ottimizzare il loro sfruttamento dal punto di vista del trasporto merci. Infatti nel porto di Vado Ligure è in fase di costruzione una nuova piattaforma intermodale che si prevede diventerà operativa nel 2018. Questo studio è il frutto di un'attività di ricerca indipendente svolta dal Politecnico di Torino [1], la quale si è avvalsa della gentile collaborazione dell'Autorità Portuale di Savona-Vado - in merito alle informazioni sui traffici merci del porto - e di RFI, la quale ha fornito la documentazione tecnica riguardante le linee ferroviarie in esame.

Un processo di miglioramento richiede la definizione di nuove soluzioni operative capaci di incrementare l'efficienza dell'intero sistema. Questo lavoro prende in considerazione in primis l'impiego di treni merci "lunghi" (lunghezza di poco inferiore i 600 m), al fine di ridurre i costi unitari di trasporto. I successivi sviluppi hanno visto l'implementazione di soluzioni innovative sia nel sistema di segnalamento che nella gestione del traffico. Al contempo si è tuttavia cercato di contenere per quanto possibile i costi legati agli interventi di miglioramento.

L'obiettivo principale di questo lavoro non è consistito solo nell'ottenere il numero di tracce disponibili più elevato possibile, ma esso si è concentrato sull'ottenere solu-

1. Introduction

1.1. Aims and purposes

The aim of the study presented in this paper is to develop a capacity assessment of the two railways which connect the ports placed near the town of Savona to Piedmont. This task is carried out taking as a target the optimisation of the use of these two lines for freight transport. In fact a new intermodal platform is being built in Vado port and it is planned that it will be opened in 2018. This study has been carried out at Politecnico di Torino [1] as an independent research, developed thanks to the kind support of Savona and Vado Port Authority - for information concerning the freight flows of the port - and of RFI (Italian Railways Infrastructure Manager), which provided the technical documentation of the analysed railways.

An improvement process calls for the definition of innovative solutions able to increase the efficiency of the whole rail system. The case in point considers at first the use of "long" freight trains (slightly shorter than 600 m), in order to reduce the shipping costs. Further investigations involved improvements both in signalling system and in traffic management. However, the limitation of the expenses required by the optimisation actions was also pursued.

The most important aim of the presented work did not consist only in obtaining the largest number of available freight train-paths. Instead, it focused on providing an operational solution able to ensure the railway terminals of the ports of Savona and Vado a steady operation during the 24 hours. In this way, it would be possible to reduce the

^(*) Borsista di Ricerca presso Politecnico di Torino, DIATI - Sistemi di Trasporto, durante lo svolgimento del presente studio.

^(**) Studente di Dottorato, Politecnico di Torino, DIATI - Sistemi di Trasporto & Università di Roma "La Sapienza", DICEA - Area Trasporti.

^(*) Research Contractor at Politecnico di Torino, DIATI-Transport Systems during the development of this study.

^(**) Ph.D. Student, Politecnico di Torino, DIATI-Transport Systems & Università di Roma "La Sapienza", DICEA - Transport Area.

OSSERVATORIO

zioni operative capace di garantire ai terminali ferroviari al servizio dei porti di Savona e Vado un'attività regolare nel corso delle 24 h. In questo modo risulterebbe possibile ridurre il numero di binari necessari alla sosta ed alla manovra dei convogli; si genererebbe al contempo un incremento dell'efficienza dell'esercizio del lato terra del porto. Infatti le tempistiche richieste per l'approntamento di un convoglio merci sono condizionate da numerosi fattori, cosicché tale processo è raramente strettamente in orario. Di conseguenza, il poter disporre di un elevato numero di tracce disponibili nell'arco della giornata verrebbe ad assumere una significativa rilevanza: ammesso un ritardo nella preparazione di un convoglio, permetterebbe una celere riprogrammazione del servizio merci con l'invio del treno non appena pronto.

1.2. Il bacino portuale di Savona e Vado Ligure

Nel 2011 l'Unione Europea ha pubblicato il "Libro Bianco sui Trasporti 2010-2020" [2], contenente le linee guida relative alla politica europea sui trasporti per il presente decennio. Tra gli obiettivi che l'UE si pone è compreso il potenziamento del trasporto merci per ferrovia: su percorrenze superiori ai 300 km, si richiede che il 30% delle merci oggi viaggianti su strada (in termini di tkm) siano trasferite ad altre modalità di trasporto, quali le ferrovie e le vie navigabili interne, entro il 2030. Questa percentuale dovrebbe salire al 50% entro il 2050 grazie a corridoi merci più efficienti ed ecologici.

Il raggiungimento di questi obiettivi richiederà sforzi significativi nel prossimo futuro. Ad oggi la distribuzione modale del trasporto merci all'interno dell'UE mostra come il trasporto su gomma costituisca circa il 75% del mercato, mentre la ferrovia e le vie navigabili interne si fermano rispettivamente al 18% e al 7% [3].

La tabella 1 mostra come la ripartizione modale nei singoli Paesi, pur con le dovute differenze, rispecchi quella dell'intera UE. La Germania sembra essere la nazione più prossima al raggiungimento degli obiettivi fissati dall'Unione Europea; questo primato è in parte dovuto alla vasta rete di vie navigabili interne esistente sul suo territorio. Al contrario la Spagna è penalizzata dall'assenza di canali o fiumi navigabili; di conseguenza dovrà procedere ad un rilevante potenziamento del trasporto merci via ferrovia.

Allo stato attuale l'Italia non dispone di una rete significativa di vie navigabili interne, analogamente alla Spagna. Dunque il nostro Paese dovrà incrementare la propria quota di merci trasportate via ferrovia. Tutti i principali attori del mercato dovranno essere coinvolti in questa sfida; prime tra tutti le Autorità Portuali. Ad oggi una significativa parte dell'import e dell'export italiani viaggia via mare: i

number of sidings which are used in these terminals for shunting and parking trains. In this way, an improvement of the efficiency of operations in the inland side of the port would be reached. The time required for the preparation of a freight train is influenced by a significant number of factors, therefore this process is seldom strictly on time. As a consequence, to have a large number of train-paths available during the whole day would be a factor of high relevance: provided a delay during the preparation of a train, such a condition would allow to swiftly reschedule the freight service and to dispatch the train as soon as it is ready.

1.2. The Savona-Vado Ligure port system

In 2011 the European Commission released the "White paper on transports 2010-2020" [2], which describes the guidelines of the European policy about the transportation market during the current decade. Among the aims taken into account by EU, a strengthening of the rail freight transport is considered: for trips up to 300 km long, it is required that by 2030 the 30% of the freights which today travel by road should move to other transport modes, as railway or internal waterways. This percentage should reach the 50% by 2050 thanks to more efficient and ecological freight corridors.

In order to reach these targets significant efforts will be asked in the next future. Current EU modal distribution of freight transport shows that, at present, road transport covers about the 75% of the whole market, while railways and internal waterways reach the 18% and the 7% respectively [3].

Table 1 shows that the modal split in each country is similar to the average of the whole EU, with the due particular differences. Germany appears to be the Country which is closest to the attainment of the targets outlined by the European Commission. This is due to the large extension of inland waterways existing in Germany. On the contrary Spain is disadvantaged by the absence of inland waterways or navigable rivers; as a consequence, improvements in railway freight transportation are strongly required in the Iberian country.

TABELLA 1 – TABLE 1

Distribuzione modale del trasporto merci (t trasportate) nell'UE per l'anno 2012 [3]
Modal split of freight transport (transported tons) in EU in 2013 [3]

Nazione Country	Strada Road (%)	Ferrovie Railways (%)	Navigazione interna Inland waterways (%)
Francia - France	80.6	15.2	4.2
Germania - Germany	64.6	23.1	12.3
Spagna - Spain	95.2	4.8	0
Italia - Italy	85.9	14	0.1
Regno Unito - United Kingdom	87.8	12.1	0.1
Polonia - Poland	81.9	18	0

OSSERVATORIO

porti dovranno necessariamente guidare gli sforzi volti ad incrementare la quota di merci mosse via terra per ferrovia. Attualmente in Italia sono pochi gli scali marittimi in grado di gestire treni al loro interno; in più questi pochi non sono stati ancora resi compatibili con gli Standard di Interoperabilità Europei. Questi prevedono per il prossimo futuro treni di lunghezza multipla di 750 m e massa superiore alle 2000 t. Ciò permetterebbe, a parità di costi fissi, di ridurre in modo significativo le tariffe di trasporto. Ne consegue che i porti italiani dovranno essere adeguati a poter affrontare questa sfida.

L'Autorità Portuale di Savona-Vado (APSV) ha compreso che la movimentazione delle merci lato terra costituisce l'elemento chiave per divenire uno scalo di successo (soprattutto se si considera la concorrenza con gli altri porti dell'Alto Tirreno) e si è prefissa di accrescere nel prossimo futuro la quota di merci trasportate per ferrovia.

L'Autorità amministra due differenti bacini portuali, posti a Savona e Vado Ligure (fig. 1). Il primo, collocato nei pressi del centro storico del capoluogo, è specializzato nel traffico di rinfuse: carbone grezzo e coke, cereali, legname e cemento in polvere sono le principali merci trattate. Sono presenti diversi terminali privati e la gran parte di essi è utilizzata da aziende che possiedono stabilimenti produttivi in Piemonte e sfruttano Savona come accesso al mare. Il medesimo porto ha inoltre raggiunto una posizione molto rilevante nel campo delle crociere turistiche: quale *homeport* di Costa Crociere è uno dei primi dieci scali mediterranei nel settore. La maggior criticità del porto di Savona è legata alla sua prossimità all'area urbana, con i conseguenti problemi di connessione alla rete viaria: un camion in uscita dal porto è costretto ad attraversare il centro cittadino per poter raggiungere l'autostrada A10.

Il porto di Vado, collocato più ad occidente, è caratterizzato da una diversa vocazione. Esso è infatti uno dei leader nel Mediterraneo nel traffico di frutta, grazie alla presenza di una piattaforma logistica dedicata alle merci deperibili ed al caffè. Inoltre lo scalo è interessato da traffico di tipo RoRo (*Roll on – Roll off*) e da quello di idrocarburi.

Nel giugno 2012 ha preso il via un progetto ambizioso: la costruzione di una nuova piattaforma dedicata al traffico di merci containerizzate con una capacità stimata in 900000 TEU/anno. Questo progetto è figlio di una joint-venture che comprende l'Autorità Portuale e APM Terminals (azienda parte del gruppo Maersk, colosso mondiale



Fig. 1 - Mappa dell'area di Savona e Vado.
Fig. 1 - Map of the area of Savona and Vado.

Like Spain, Italy does not feature a relevant network of inland waterways. Therefore Italy must improve its share of freights moved by railway. All the most relevant stakeholders of the freight market must be involved in this challenge; first of all the Port Authorities. At present a large part of Italian import and export flows travel by ship; ports ought to lead the effort toward the increase of inland freight transportation by railways. Nowadays, in Italy there are few ports able to internally handle trains; moreover, they have not been upgraded yet according to the European Standards for Interoperability, which foresee for the next future trains with a length multiple of 750 m and a mass up to 2000 t. In this way, assuming that fixed costs are constant, longer trains would significantly reduce the overall shipping costs. As a consequence it is necessary to upgrade Italian ports for facing this challenge.

The Savona-Vado Port Authority (APSV) has understood that inland transportation is a key element to be a successful port (considering also the competition of the other ports of Northern Tyrrhenian Sea) and has set as an own target to increase the percentage of goods carried by railway in the next future.

The Authority manages two different ports, in Savona and in Vado Ligure (fig. 1). The first one, located close to the city centre of Savona, is specialised in the traffic of bulk freights: raw coal and coke, cereals, wood and cement powder are the main handled goods. There are several private terminals and most of them are operated by big companies, which own manufacturing plants in Piedmont and use Savona port for their shipments. The same port has

OSSERVATORIO

nei trasporti marittimi). APM è a capo di una rete globale fatta di porti e terminali per un totale di 56 impianti e 64000 dipendenti sparsi in 64 Paesi. Nel Mediterraneo essa è presente a Gioia Tauro, Porto Said e Tangeri (per attività legate al *transshipment*) ed ad Algeciras (sia *transshipment* che attività legate al mercato iberico) [4].

Il progetto prevede la realizzazione di un grande piazzale con un'estensione di 19 ettari, ottenuto attraverso un ribaltamento a mare. Si otterrà quindi una banchina estesa per 700 m, con fondali compresi tra i 15 e i 22 m. È previsto l'impiego di 6 gru super post-panamax con uno sbraccio pari a 22 container. Queste caratteristiche permetteranno di accogliere le navi di grandi dimensioni utilizzate sulle rotte Europa-Estremo Oriente (anche superiori a 13.000-14.000 TEU) [4]. Per manovrare i container sul piazzale saranno disponibili 24 gru elettriche semi-automatiche RMG (gru a portale dotate di ruote gommate). In fig. 2 si può osservare come dovrebbe apparire l'impianto una volta completato.

Significativi investimenti saranno riservati ai collegamenti tra il terminal e la rete stradale e ferroviaria. Non si prevede la realizzazione di un collegamento ferroviario diretto all'interno della nuova piattaforma: i container saranno trasferiti ad un impianto intermodale posto a circa 500 m dai *gate* e da qui caricati sui convogli ferroviari per l'invio alla destinazione finale. Il trasporto avverrà tramite un sistema multi-trailer circolante su un percorso stradale dedicato di circa 1500 m [5] di estensione. Il porto di Vado, a sua volta, è già connesso allo scalo di Savona Parco Doria attraverso una bretella ferroviaria.

Per il trasporto su gomma è previsto un *gate* di accesso a 15 corsie indipendenti, con viabilità dedicata dal piazzale all'impianto intermodale e al varco doganale. Nei progetti è anche compresa la realizzazione di un nuovo casello autostradale sulla A10 al servizio del porto di Vado, con relativa bretella di collegamento allo scalo. Per evitare che il traffico generato dal terminal entri in conflitto con la viabilità urbana è prevista la costruzione di un sovrappasso stradale sulla Statale Aurelia realizzato in carpenteria metallica. L'insieme delle opere necessarie al nuovo terminal è visibile in fig. 3.

In [5] si afferma che il costo complessivo delle opere, comprensivo anche di quelle complementari, dovrebbe attestarsi a 660 milioni di Euro; dalla medesima fonte è possibile comprendere come le spese dovrebbero essere ripartite tra i vari soggetti in gioco: APM Terminals dovrebbe contribuire per circa il 25%, l'Autostrada dei Fiori S.p.A. si accollerebbe le spese di costruzione del nuovo casello (9% del totale). La restante quota (66%) sarebbe invece a carico dell'Autorità Portuale.

achieved a relevant position in the touristic cruises field: homeport of Costa Crociere, it is one of the ten most important ports of the Mediterranean Sea for cruises. The main problems of this port are due to its proximity to the urban area, with a number of serious issues regarding the connection to the main road network. For example, a truck leaving the port must cross the town centre for reaching the A 10 motorway.

Vado port, located at the west side of the town, has a different specialisation. In fact it is one of the leaders in the Mediterranean Sea for fruit trade, and includes a logistic platform dedicated to perishable goods and coffee. Moreover, Vado is involved in RoRo (Roll on – Roll off) traffic and in the trade of oil and derivatives.

In June 2012 an ambitious project moved its first steps: the construction of a new large platform for the shipment of containerised goods, with a foreseen capacity of 900000 TEU/year. This project is the outcome of a joint-venture including the Port Authority and the company APM Terminals; the latter is part of Maersk Group. APM rules a worldwide net of ports and terminals: 56 plants and 64000 employees in 64 countries. In the Mediterranean Sea APM is present in Gioia Tauro, Port Said and Tanger (transshipment activities) and in Algeciras (transshipment and activities for the Iberian market) [4].

The project foresees the construction of a large yard (about 19 hectares), obtained through a radical expansion of the existing quays. The resulting wharf will be 700 m long, with a fundal depth comprised between 15 and 22 m. Six super post-panamax ship-to-shore cranes – with a 22-TEUs long spread – will be installed. These characteristics will make possible to receive the large vessels (even larger than 13000 – 14000 TEUs) [4] employed in the Europe-Far East connections. 24 electrical semi-automatic gantry cranes (RMG, rubber mounted gantry cranes) will ensure yard operations. Fig. 2 display how the new plant would look like once realised.

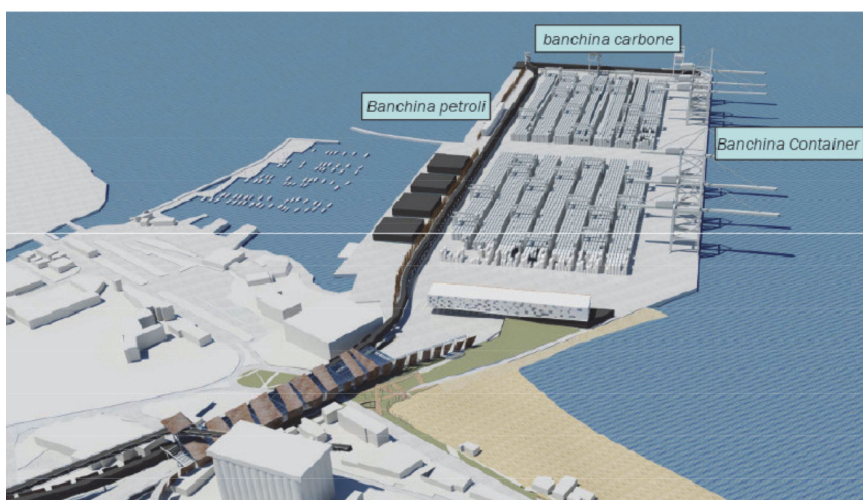


Fig. 2 - Il nuovo impianto APM Terminals così come da progetto [4].

Fig. 2 - The designed new APM Terminals plant [4].

OSSERVATORIO

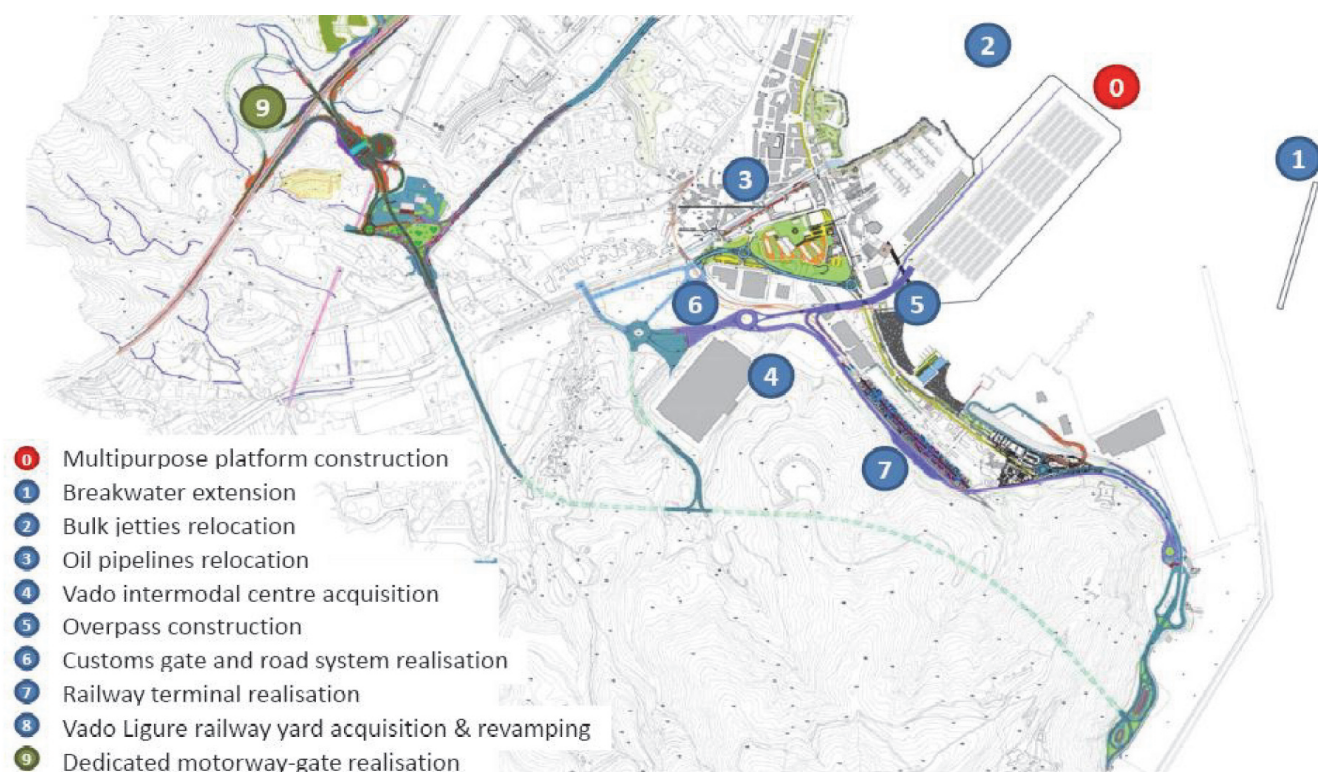


Fig. 3 - Interventi previsti per migliorare il porto di Vado [5].

Fig. 3 - Planned interventions for improving Vado port [5].

Il nuovo terminale di Vado permetterà ad APM di completare la sua rete di porti nel Mediterraneo. Grazie alle sue caratteristiche Vado potrebbe diventare un portale d'accesso in primis verso la Pianura Padana, quindi verso Svizzera e Baviera, territori ad oggi riforniti dai porti dell'Europa Settentrionale (meglio conosciuti come "Northern Range").

Il territorio savonese dispone ad oggi di una rete di trasporto ben sviluppata, come illustrato dalla fig. 1: la città è interessata infatti da due autostrade (A6 Torino-Savona e A10 Genova-Ventimiglia) e tre linee ferroviarie (Genova-Ventimiglia e Torino-Savona via S. Giuseppe di Cairo, con i due tracciati passanti per Altare e Ferrania).

La connessione ferroviaria con S. Giuseppe assume una certa rilevanza per due motivi:

- nel comune di Cairo Montenotte (di cui S. Giuseppe è parte) sono presenti diversi impianti industriali che si servono della ferrovia per ricevere materie prime ed inviare i lavorati;
- a S. Giuseppe hanno origine due linee ferroviarie aventi direzione Nord e Nord-Est che conducono rispettivamente a Torino (seguendo l'itinerario Ceva-Mondovì-Fossano) ed ad Alessandria (via Acqui Terme). Queste linee possono effettivamente diventare una via d'accesso privilegiata al Piemonte e, più in generale, all'intero Nord Ovest.

Significant investments will be focused for joining the terminal to the road and railway network (fig. 3). Even if a direct rail connection within the new platform is not planned, containers would be transferred to an intermodal terminal located about 500 m from the gates. Here ITUs (intermodal transport units) will be loaded on trains for the shipment to final destinations. The transport will be carried out by multi-trailers travelling on a dedicated road path 1500 m long. Vado port, in turn, is already connected to Savona Parco Doria marshalling yard by a rail link.

An access gate, with 15 independent lanes, will be dedicated to road transport, with direct paths between the terminal, the customs and the exit. A new exit on the A10 motorway is planned as well, which will serve the new terminal through a direct road linkage. A metal viaduct over the State Road Aurelia is planned, in order to avoid interference between the traffic generated by the terminal and the urban one.

The overall cost of the interventions, including also the complementary ones, is equal to about 660 million Euros, as reported in [4]. The same source states that the expenses should be shared by various stakeholders: APM Terminals should contribute for about the 25% of the overall costs and Autostrada dei Fiori S.p.A. (A10 motorway) should cover the costs for the construction of the new exit (9%). The remaining part (66%) should be covered by the Port Authority.

OSSERVATORIO

Stando ad informazioni fornite da APSV, si prevede che il terminale Maersk possa generare a regime un volume di traffico pari a 720000 TEU/anno, di cui il 40% si muoverà lato terra sfruttando la ferrovia. Il 90% del traffico su rotaia sfrutterà le connessioni ferroviarie verso S. Giuseppe, per poi ripartirsi al 70% in direzione di Alessandria ed al 20% verso Torino.

Di seguito è riportata una breve descrizione del nodo ferroviario di Savona. La prima stazione cittadina, conosciuta come "Savona Letimbro", fu realizzata nella seconda metà del XIX secolo e collocata in prossimità del centro cittadino. Negli anni '70 del secolo scorso, in concomitanza con il raddoppio della Genova - Ventimiglia (ed il contemporaneo spostamento del tracciato verso l'entroterra) è stata edificata una nuova stazione (denominata "Savona Mongrifone" o, seguendo la denominazione RFI, semplicemente "Savona") dotata di nove binari operativi. Allo stesso tempo è stato creato un vasto scalo dedicato al traffico merci, conosciuto con il nome di "Parco Doria", dotato di diciotto binari operativi (con lunghezze utili comprese tra 805 e 460 m). La ferrovia Genova-Ventimiglia non attraversa l'impianto ma corre parallela ad esso. Parco Doria può essere raggiunto sfruttando i binari 8 e 9 dell'impianto viaggiatori oppure tramite il "Bivio Doria" sul suo lato ovest. Esso è poi connesso con i terminali ferroviari posti all'interno dei porti di Savona e Vado grazie a due raccordi elettrificati a binario singolo (fig. 4).

2. Individuazione della tratta ferroviaria con caratteristiche critiche

Come premesso, la gran parte del traffico ferroviario merci generato dalla nuova piattaforma intermodale viaggerà da e verso Torino ed Alessandria. Ne consegue la necessità di condurre un'analisi di capacità sulle tratte coinvolte (Savona-S. Giuseppe, S. Giuseppe-Ceva-Torino e S. Giuseppe-Acqui Terme-Alessandria). Tuttavia, per mantenere il volume di lavoro entro limiti accettabili

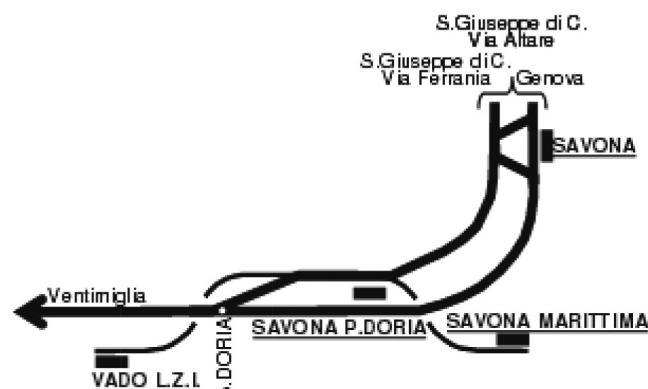


Fig. 4 - Schema del nodo ferroviario di Savona [6].

Fig. 4 - Scheme of Savona railway node [6].

The new infrastructures in Vado would allow APM to complete its network of ports in the Mediterranean Sea. Thanks to its features, Vado would be able to become an entry gate at first for North-Western Italy (Pianura Padana), and later also towards Switzerland and Bayern, regions which are today supplied mainly by the large ports of Northern Europe (better known as "The Northern Range").

Currently Savona territory features a rather developed transport network, as displayed by fig. 1: there are two motorways (A6 Turin-Savona and A10 Genoa-Ventimiglia) and three railways (Genoa-Ventimiglia and Turin-Savona via S. Giuseppe di Cairo with the two routes passing through Ferrania and through Altare).

The connection with S. Giuseppe di Cairo is of main relevance thanks to two reasons:

- *close to the town of Cairo Montenotte (to whose municipality S. Giuseppe belongs) some large industrial plants are settled, which use railway for receiving and sending raw materials and goods.*
- *from S. Giuseppe two railways branch out. They have North and North-West directions, heading, respectively, for Turin (via Ceva - Mondovì - Fossano) and for Alessandria (via Acqui Terme). These lines can effectively act as effective gateways for reaching Piedmont as well as the whole North-Western Italy.*

Referring to data provided by APSV, it is foreseen that Maersk intermodal platform will generate a traffic of 720000 TEU/year when in full service. The 40% of these flows will move inland by railway, and the 90% of them will use the railways connecting Savona to S. Giuseppe. From here, it is expected that the 70% will move towards Alessandria while the 30% towards Turin.

A short description of Savona railway node is given hereinafter. The first station, also called "Letimbro", was built during the second half of the 19th century close to the city centre. During the 70s of the 20th century, however, as a consequence of the doubling of the Genova-Ventimiglia railway (whose path was moreover moved inland from the seaside), a new station was built (today called "Mongrifone" or, using RFI denomination, simply "Savona") featuring 9 tracks. In the same time a large marshalling yard was built, known as "Parco Doria", provided with 18 operational tracks (whose lengths are comprised between 805 and 460 m). The Genova - Ventimiglia railway does not cross this yard and runs on parallel but separated tracks. Parco Doria can be reached by tracks 8 and 9 of the passenger station or by the junction "Bivio Doria" on its western side. It is connected to the terminals serving the ports of Savona and Vado thanks to two single-track electrified links (fig. 4).

2. Determining the most critical rail route

As previously reported, the largest part of the railway goods traffic related to the new intermodal platform will

OSSERVATORIO

li e focalizzare l'attenzione sui punti più critici, si è deciso di limitare l'attenzione alla tratta più critica dal punto di vista della potenzialità, lasciando le altre a successivi studi.

Nella tabella 2 vengono messe a confronto le caratteristiche più significative delle tre tratte in questione. La linea ferroviaria S. Giuseppe-Torino è stata limitata al suo tratto iniziale tra S. Giuseppe e Ceva: la parte restante presenta infatti doppio binario, livellette contenute ed un traffico che si può ritenere lontano dalla condizione di saturazione. Si è pertanto ritenuto che esso non presenti particolari restrizioni alla capacità residua.

Il tratto tra Savona e S. Giuseppe è coperto da due linee indipendenti, accomunate da volumi di traffico simili (tanto in intensità quanto in composizione) e dalla minima massa trainabile in singola trazione tra le tratte considerate. Ne consegue che i treni che si spostano da Savona verso il Piemonte dovranno sottostare prima di tutto a questa limitazione.

Sulla base di quanto detto, si può assumere che la tratta con caratteristiche più restrittive sia quella compresa tra Savona e S. Giuseppe. Infatti, considerando che le altre due presentano caratteristiche infrastrutturali e di traffico analoghe, quando non migliori, si può ragionevolmente pensare che esse non si comportino da "colli di

move towards Turin and Alessandria. Consequently, an analysis of the involved routes (Savona-S. Giuseppe, S. Giuseppe-Ceva-Turin and S. Giuseppe-Acqui Terme-Alessandria) is necessary. For limiting the amount of work and focusing the efforts on the most critical nodes, it has been decided to carry on the analysis on most critical routes for which concerns capacity, leaving for future assessments the other ones.

In table 2 a comparison among the most relevant features of the three railways involved is reported. The S. Giuseppe-Turin line is limited to the first section ending in Ceva because after this station the line features double track, negligible slopes and a traffic condition far from being considered as saturated. Therefore, it is assumed that it does not present any particular capacity constrain.

The stretch between Savona and S. Giuseppe is covered by two independent routes, characterised by a rather similar traffic (both in intensity and in composition). Moreover, these railways are characterised (among the others analysed) by the minimum towable mass in single traction mode: therefore, trains leaving Savona and moving to Piedmont have to face first of all this issue.

As a consequence of this preliminary analysis, it has been assumed that the most critical route is that connect-

TABELLA 2 – TABLE 2

Confronto tra le principali caratteristiche delle tre tratte [6]
Comparison between the main features of the three railways [6]

Caratteristiche Characteristic	Savona-S. Giuseppe	S. Giuseppe-Ceva	S. Giuseppe-Alessandria
Lunghezza Length	24.375 km (via Altare) 19.907 km (via Ferrania)	25.35 km	81.92 km
Numero di binari Number of tracks	2 linee indipendenti a singolo binario 2 independent single track lines	1	1
Max. pendenza Max. slope	30‰ (via Altare) 25‰ (via Ferrania)	25‰	12‰
Classificazione per carico assiale Axle-load class	C3 con restrizioni (20 t/asse) C3 restricted (20 t/axle)	C3 (20 t/axle)	C3 (20 t/axle)
Sagoma limite Loading gauge	P/C 32	P/C 32	P/C 32
Elettrificazione 3 kV CC 3 kV DC electrification	✓	✓	✓
Sistema di blocco Block system	Conta assi Axle counter	Conta assi Axle counter	Conta assi Axle counter
Massima lunghezza delle sezioni di blocco Block sections max. length	14 km (via Altare) 13.5 km (via Ferrania)	11 km	7 km
Stazioni intermedie Intermediate stations	1 per linea 1 for each route	2	15
Massima lunghezza dei binari di incrocio Sidings max. length	390 m Altare 259 m Santuario	Max. 350 m Min. 330 m	Max. 520 m Min. 302 m
Massa limite trainabile in singola trazione Limit of towable mass in single traction	650 t	710 t	1320 t
Numero giornaliero di treni passeggeri Number of daily passenger trains	22 (via Altare) 18 (via Ferrania)	21	19

OSSERVATORIO

bottiglia” e che i risultati ottenuti per la tratta simulata possano essere estesi alle restanti (fig. 5).

3. Metodologia operativa

3.1. Calcolo dei minimi distanziamenti temporali

La metodologia di calcolo della capacità adottata nell'ambito di questo lavoro si basa su alcuni concetti teorici, derivati dalla Fiche UIC 406R [7]. Questa metodologia è basata sul calcolo dei tempi di blocco dovuti al sistema di segnalamento in uso sulla linea, i quali determinano i minimi distanziamenti temporali (*headways*) tra due treni consecutivi in movimento nella stessa direzione di marcia. Questi *headways* possono essere ricavati a partire dai diagrammi di moto del treno e dalle caratteristiche topologiche del sistema di segnalamento (ad esempio la posizione dei segnali), seguendo l'approccio di calcolo proposto in [8]. Noti i tempi di percorrenza ed i distanziamenti è possibile determinare quali siano i vincoli effettivi implicati da una traccia e conseguentemente verificare, ad esempio, la sua compatibilità con un dato orario ferroviario.

I soli tempi legati all'occupazione delle sezioni di blocco non sono sufficienti per ottenere una valutazione significativa della capacità: risulta quindi necessario introdurre alcuni parametri utili a modellizzare le caratteristiche di traffico della tratta in esame. Tali parametri generano limitazioni operative quali l'alternanza dei versi di percorrenza oppure l'eterogeneità delle velocità di marcia tra convogli appartenenti a categorie differenti. Esempi di tale approccio di calcolo sono reperibili in [9], dove gli autori proponevano un metodo analitico volto a valutare la capacità di linee a singolo binario, ulteriormente esteso ed integrato in [10] con una procedura empirica tesa a stimare i parametri operativi che rappresentano le manovre di incrocio. Diversamente in [11] e [12] sono prese in esame linee a doppio binario, dove il parametro discriminante è costituito dall'eterotachicità.

Nel contesto di questo lavoro si è reso necessario condurre uno studio di capacità basato su precisi vincoli di orario, costituiti dall'attuale orario passeggeri di Trenitalia. Quest'ultimo è stato assunto come fissato, dunque si è posta l'assunzione che le eventuali tracce merci aggiuntive non lo modificassero. Per raggiungere questo obiettivo è stato applicato un metodo originale, basato sul calcolo dei tempi

ing Savona to S. Giuseppe di Cairo. Taking into account that the others show similar, or even better, infrastructural and traffic features, it can be fairly believed that they would not act as “bottlenecks” and that the capacity figures obtained for the simulated route could be extended to the other ones (fig. 5).

3. Methodology

3.1. Headways calculation

The capacity assessment method adopted in this study is based on some theoretical fundamentals, developed from UIC Fiche 406R [7]. This method is based on the calculation of the blocking times of the line signalling systems, which determine the minimum admitted headways between consecutive trains running in the same direction. Such headways can be computed making use of the run diagrams of the trains and of the technical data of the signalling system (e.g. the position of the block sections), following the calculation approach presented in [8]. Having the running times and the headways available, it is possible to determine the actual constraints that are caused by a train-path, thus checking, for instance, its compatibility within a certain timetable.

The blocking times alone are not sufficient for providing an effective evaluation of the capacity, and it is necessary to

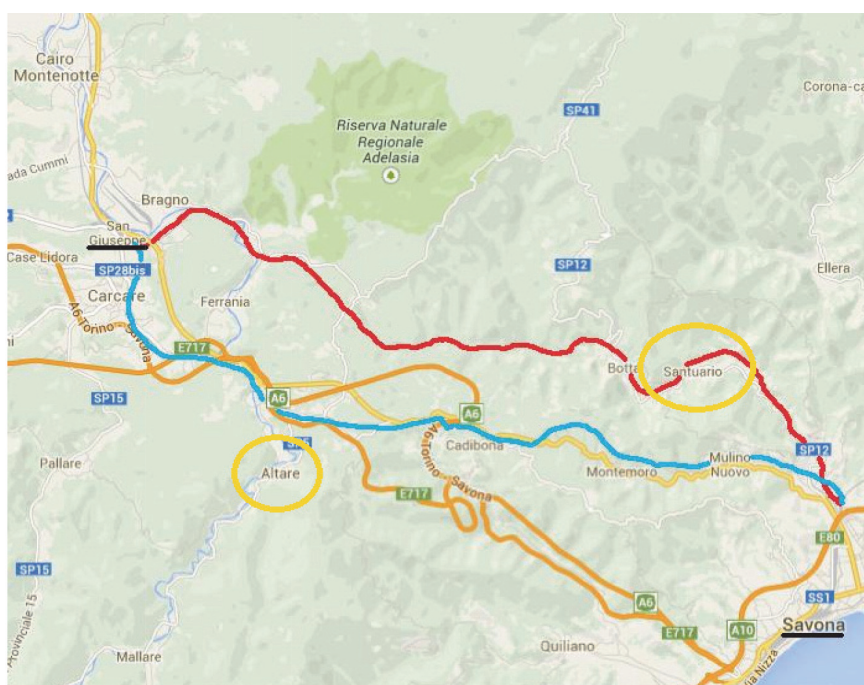


Fig. 5 - Le linee ferroviarie che collegano Savona con S. Giuseppe di Cairo. La linea rossa rappresenta la linea di Ferrania, quella blu quella di Altare, mentre le stazioni intermedie sono evidenziate da cerchi gialli.

Fig. 5 - The railways connecting Savona to S. Giuseppe di Cairo. Red line represents Ferrania route, blue line Altare route, yellow circles highlight intermediate stations.

OSSERVATORIO

di occupazione delle sezioni di blocco ma differente dagli approcci precedentemente citati (i quali sono, al contrario, indipendenti dall'orario impiegato). Si riportano di seguito, in maniera concisa, le formule che caratterizzano tale approccio di analisi, le quali sono esaurientemente discusse in [8].

Il tempo di occupazione di una sezione di blocco (t_{occ}) può essere definito come:

$$t_{occ} = t_{pre} + t_{post}$$

- t_{pre} è il tempo di pre-occupazione, cioè il tempo durante il quale la sezione non è realmente occupata dal treno ma, d'altro canto, non è disponibile per altri convogli. t_{pre} può essere definito come:

$$t_{pre} = t_{set} + t_w + t_{app}$$

- t_{set} è il setting time, cioè il tempo che è richiesto dal sistema di blocco per commutare l'aspetto del segnale di avviso. Questo tempo varia a seconda del tipo di sistema di blocco implementato. Per un sistema di blocco automatico può variare da 1 a 5 secondi;
- t_w tiene conto del tempo di reazione del macchinista e del tempo di percorrenza della distanza di visibilità (compresa tra 150 e 300 m). Indicativamente t_w può essere posto pari a 10 secondi;
- t_{app} è il tempo di approccio, cioè il tempo richiesto alla testa del treno per percorrere la distanza compresa tra il segnale di avviso e quello di prima categoria che protegge la sezione.
- t_{post} è il tempo di percorrenza della sezione di blocco, a cui si deve aggiungere quello richiesto perché quest'ultima sia liberata dalla coda del convoglio ed identificata come libera da parte del sistema. Può essere definito come

$$t_{post} = t_{run} + t_{clear} + t_{reset}$$

- t_{run} è il tempo necessario alla testa del convoglio per percorrere l'intera lunghezza della sezione;
- t_{clear} è l'intervallo di tempo compreso tra l'istante in cui la testa del treno esce dalla sezione e quello in cui ne esce anche la coda;
- t_{reset} è il tempo richiesto dal sistema di blocco per "sbloccare" la sezione. Come per t_{set} esso è legato alla tipologia di sistema di blocco adottata e, nel caso in esame, è dell'ordine di 4 secondi.

Può essere così fornita una definizione del concetto di headway: dati due convogli in moto nella stessa direzione sulla stessa linea, esso costituisce il minimo distanziamento temporale tra i due tale che entrambi possano svolgere un servizio non perturbato, così che il convoglio che segue non incontri mai un segnale, sia di prima che di seconda categoria, con aspetto restrittivo. In linea teorica, pertanto, si avrà saturazione della linea nel caso in cui il distanziamento temporale tra i convogli sia sempre prossimo al distanziamento minimo ammissibile.

introduce some parameters for modelling the traffic patterns on the concerned line. Such parameters actually introduce operational constraints such the alternation of the trains direction or the speed heterogeneity between different train classes. Examples of similar calculation approaches can be found in [9], where the authors proposed an analytical method for evaluating capacity of single-track lines, which in [10] is further extended and integrated with an empirical procedure for estimating the operational parameters which model crossing operations. Differently, in [11] and [12] double-track lines are taken into account, where one of the key parameters is the speed heterogeneity of the traffic.

Within the range of this study it was necessary to carry out a capacity assessment based on precise timetable constraints, represented by the current Trenitalia passenger timetable. The latter has been assumed as a fixed structure, and extra freight paths must not alter it. For carrying out this task, an original method, based on the blocking time calculation but different from the abovementioned approaches (which are timetable-independent), has been applied. The formulas which characterise this method are described hereinafter, concisely and without claiming to be fully complete, since [8] already provides an exhaustive overview of this kind of methods.

The occupation time of a block section (t_{occ}) can be defined as

$$t_{occ} = t_{pre} + t_{post}$$

- t_{pre} is the pre-occupation time, i.e. the time in which the section is not really occupied by the train in point but, on the other side, it is not even available for other trains. t_{pre} can be defined as

$$t_{pre} = t_{set} + t_w + t_{app}$$

- t_{set} is the setting time, i.e. the time that is needed by the block system for changing the aspect of the distant signal. This time changes depending on the type of block system adopted. With automatic block systems it varies between 1 and 5 seconds.
- t_w introduces the driver's reaction time and the running time over the sight distance (150-300 m). In common situations t_w can be set equal to about 10 seconds.
- t_{app} is the approaching time, i.e. the time needed by the train head for covering the space between the distant and the main signal.
- t_{post} is the time for running through the section, plus the time necessary for clearing and releasing it. It can be defined as

$$t_{post} = t_{run} + t_{clear} + t_{reset}$$

- t_{run} is the time needed by the train head for crossing the whole section.
- t_{clear} is the time interval between the instant in which the train head leaves the section and the one when the train tail clears it.

OSSERVATORIO

Il calcolo del distanziamento minimo può risultare più o meno complesso a seconda del fatto che i due convogli eseguano o meno un servizio omotachico. Si parla di servizio omotachico nel caso in cui i due convogli abbiano in ogni punto della linea la medesima velocità; ovvero, dati i due treni i e j ed un generico punto x della linea, dovrà valere:

$$v_{i,x} = v_{j,x} \quad \forall x \in \text{linea}$$

3.1.1. Servizio omotachico

Questa condizione rappresenta il caso più semplice nel calcolo del distanziamento minimo. Data una linea costituita da n sezioni di blocco (dove m è una generica sezione), esso può essere espresso come:

$$h_{\min,i,j} = \max_n (t_{\text{pre},j} + t_{\text{post},i})_m$$

Poiché si tratta di servizio omotachico, il comportamento dei due convogli in una sezione è il medesimo, quindi vale:

$$h_{\min,i,i} = \max_n (t_{\text{pre},i} + t_{\text{post},i})_m$$

Ne risulta quindi che il distanziamento è condizionato dalla sezione che presenta il tempo di occupazione complessivo maggiore.

3.1.2. Servizio eterotachico

Rispetto al caso precedente il calcolo presenta una maggiore complicazione dovuta al fatto che i convogli non hanno in ogni punto la stessa velocità. Si consideri dunque una generica linea costituita da n sezioni di blocco e percorsa da due convogli i e j . È possibile definire per ogni sezione ed ogni treno un tempo t_{mp} che è quello necessario per percorrere la distanza tra il punto di partenza della corsa e l'inizio della sezione. Sia h_m il distanziamento temporale, riferito al punto di origine della corsa (che può essere, ad esempio, il segnale di partenza di una stazione), necessario per ciascuna sezione m affinché il convoglio j (che segue i) possa svolgere un servizio non perturbato. Si ha che:

$$h_{\min,ij} = \max_n (h_m) = \max_n ([t_{\text{pre},j} + t_{\text{post},i}]_m + t_{\text{mp},i} - t_{\text{mp},j})$$

Ne consegue che il distanziamento minimo tra i convogli per l'intera linea sarà dato dal massimo h_m tra quelli riferiti a ciascuna sezione di blocco. Si avrà inoltre un distanziamento minimo per ciascuna coppia di classi di treni i e j .

3.1.3. Circolazione bidirezionale

Nel caso di linee a singolo binario impiegate in ambo le direzioni (quali quelle studiate nel presente lavoro), è necessario determinare quale sia il minimo intervallo di tempo che deve passare tra le partenze successive di due treni che entrino nella medesima sezione di blocco provenendo dalle due stazioni poste alle estremità.

- t_{reset} is the time needed by the system for unlocking and releasing the section. Similarly to t_{set} , it is mainly influenced by the technical characteristics of the block system.

The following definition can therefore be provided: when two trains run on the same line in the same direction, the minimum headway is the minimum time which can be admitted between them in order to allow them having a not-perturbed run. In this way the following train would not find a yellow or red signal due to the occupation of some "downstream" sections. The theoretical line saturation is therefore reached if the timetable featured a time separation between consecutive departures equal to the headway.

The calculation of the headways could be more or less complicated, depending on the existence of speed-homogeneous operations on the railway. In speed-homogenous operations, two consecutive trains feature the same speed in each point of the line. This means that, having two trains i and j and a generic point x of the line:

$$v_{i,x} = v_{j,x} \quad \forall x \in \text{line}$$

3.1.1. Homogeneous operation

In this case headways calculation is rather easy. In a line formed by n block sections (where m is a generic one) the headway (h_{\min}) between trains i and j is given by:

$$h_{\min,i,j} = \max_n (t_{\text{pre},j} + t_{\text{post},i})_m$$

Since operation is speed-homogeneous, the times t_{pre} and t_{post} related to train i are equal to those of train j , so the previous equation becomes:

$$h_{\min,i,i} = \max_n (t_{\text{pre},i} + t_{\text{post},i})_m$$

Therefore, the global minimum headway is determined by the section which features the longest occupation time t_{occ} .

3.1.2. Heterogeneous operation

This calculation condition is more complex than the previous one, due to the fact that different trains have not the same speed all over their route. We should consider two trains i and j which travel on a line composed by n block sections h_m . For each section it is possible to calculate the time needed by each train for covering the distance between the starting point of the run and the starting point of the section. is the headway, referred to the starting point of the run (which can be, for example, the departure signal of a station) required by each block section for allowing train j (which follows train i) to have a not-perturbed run.

$$h_{\min,ij} = \max_n (h_m) = \max_n ([t_{\text{pre},j} + t_{\text{post},i}]_m + t_{\text{mp},i} - t_{\text{mp},j})$$

Subsequently the headway for the whole line is given by the maximum h_m along all the involved block sections of

OSSERVATORIO

Si introduce in questo contesto il concetto di sezione di calcolo, definita come una tratta tra due stazioni di incrocio successive – da non confondersi con una sezione di blocco. Si consideri dunque la n -esima sezione di calcolo. Il distanziamento temporale tra l'uscita dalla sezione della testa del primo treno e l'ingresso del secondo dovrà essere almeno pari alla somma del tempo di uscita e del tempo di reset del treno i con il tempo di preoccupazione del treno j . t_{run} è il tempo richiesto al convoglio i per attraversare e liberare la sezione, raggiungendo il binario di deviated della stazione di destinazione.

$$h_{min,i,j} = (t_{pre,j} + t_{run,i} + t_{reset,i})_n$$

3.2. Il modello OpenTrack

Il calcolo del distanziamento minimo, operazione preliminare indispensabile per uno studio relativo alla capacità, si basa sulla determinazione delle caratteristiche delle corse imperturbate dei diversi convogli lungo la linea in esame (ad esempio tramite il calcolo del relativo diagramma spazio-tempo). Questa attività può essere effettuata con modalità differenti, ricorrendo a strumenti più o meno sofisticati ed accurati. Nell'ambito di questo studio si è fatto ricorso al software OpenTrack, sviluppato nella seconda metà degli anni '90 come progetto di ricerca presso il Politecnico Federale di Zurigo. La prima versione commerciale è apparsa sul mercato nel 2000, seguita negli anni da successive release.

Il primo passo di questo lavoro è consistito nel creare il modello OpenTrack delle linee in oggetto, attraverso l'inserimento delle caratteristiche principali delle stesse (livellette, raggi di curvatura, tratti in galleria, conformazione delle stazioni). Queste caratteristiche infrastrutturali sono state gentilmente fornite da Rete Ferroviaria Italiana in qualità di Gestore dell'Infrastruttura.

La fig. 6 mostra una porzione del modello realizzato in OpenTrack, rappresentante la stazione di Altare. Ciascun segmento incluso tra due vertici rappresenta una porzione di linea caratterizzato da una determinata lunghezza, livelletta, raggio di curvatura (talvolta uguali a zero) e dalla possibile appartenenza ad una galleria. Il cambiamento di una o più di queste caratteristiche porta alla creazione di un nuovo segmento. Anche il sistema di segnalamento è modellizzato: sono stati infatti definiti i segnali di protezione e di partenza della stazione, con i relativi segnali di avviso. Si è inoltre provveduto a caricare in OpenTrack l'intero orario passeggeri di Trenitalia relativo alle linee in esame, al fine di analizzarne il comportamento in condizioni più prossime possibile a quelle reali di esercizio.

OpenTrack è in grado di restituire diversi tipi di output, ad esempio attraverso grafici relativi a due grandez-

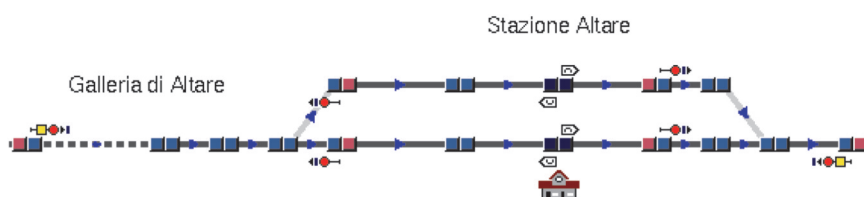


Fig. 6 - Cattura di schermata da OpenTrack rappresentante una porzione del modello. È rappresentata la stazione di Altare.

Fig. 6 - Screenshot from OpenTrack displaying a part of the model. Altare station is represented.

the concerned line. One headway should be provided for each couple of train classes i and j .

3.1.3. Bidirectional operation

In single-track railways used in both directions (like those taken into account in this paper) it is necessary to compute the minimum headway which must separate the consecutive departures of two trains which enter the same single-track stretch from two opposite stations.

In this case a generic calculation section - which should not be confused with a block section - of the line should be considered, i.e. a line stretch between two consecutive stations. t_{run} is the time needed by the first train for crossing and clearing the calculation section, reaching a siding of the arrival station. The minimum admitted headway between the departures of trains i and j is equal to the sum of t_{run} plus t_{reset} (of train i) and t_{pre} (of train j).

$$h_{min,i,j} = (t_{pre,j} + t_{run,i} + t_{reset,i})_n$$

3.2. The OpenTrack model

The headway calculation is a preliminary operation for the capacity assessment and it is based on the description of the unperturbed train runs along the studied line, for example through the calculation of their space-time diagrams. This task can be performed in several ways, using several tools, more or less advanced and accurate. The simulation package OpenTrack has been used for this study. This is a software developed during the second half of the 90s as a research project at ETH Zurich. The first commercial release appeared in 2000, while in the following years new versions became available.

The first step was to set up the OpenTrack model, through the insertion of all the features that characterise the concerned lines, such as: curve radii, gradients, tunnels, station layout. These technical data were kindly provided by the Italian railway Infrastructure Manager RFI.

Fig. 6 depicts a part of the OpenTrack model. Each edge included between two vertexes represents a track segment characterised by length, slope, curve radius (sometimes equal to zero) and the possible presence of tunnels. The change of one or more of these features entails the creation

OSSERVATORIO

ze fisiche tra cui spazio, tempo, velocità, accelerazione, potenza richiesta alle ruote ed al pantografo, energia consumata e altre. In aggiunta il software può creare per ciascun treno diversi file di testo contenenti tutti i dati ricavati dalla simulazione. La scelta di quali dati debbano essere salvati viene fatta dall'utente in base alle proprie necessità. Questa forma di output è utile in quanto può essere in seguito importata e rielaborata in altri applicativi (ad esempio MatLab o Microsoft Excel).

Le simulazioni condotte in questo lavoro hanno avuto come fine quello di ricavare i distanziamenti minimi per ciascuna linea/tipologia di convogli. Come precedentemente spiegato, questo obiettivo richiede la conoscenza dei tempi t_{pre} e t_{post} relativamente ad ogni sezione di blocco. OpenTrack non è in grado di fornire questi dati sotto forma numerica anche se li calcola internamente. Ne è conseguita la necessità di creare un algoritmo ausiliario (sviluppato ricorrendo a Microsoft Excel) che abbia in ingresso i dati contenuti nei file di output di OpenTrack (contenenti le relazioni spazio-tempo per ciascuna corsa), fornendo come risultato i tempi di occupazione di ciascuna sezione (fig. 7).

Una volta calcolati i tempi di occupazione per ciascuna sezione e per ogni tipologia di treno, questi sono stati elaborati da un ulteriore algoritmo programmato per estrarre, sulla base delle equazioni precedentemente descritte, l'headway per ogni coppia di treni, sia in servizio omotachico che eterotachico.

4. Simulazioni e risultati

4.1. Ipotesi e valutazioni preliminari

È importante sottolineare che, come riportato ad esempio in [13] ed in [14], le metodologie per l'analisi di

of a new edge. The signalling system is modelled too, since in the OpenTrack model distant, home and departure signals have been defined. Moreover, the whole Trenitalia passenger timetable have been loaded and modelled in OpenTrack, in order to analyse the two studied railways in their real service condition.

OpenTrack provides its outputs in different forms, for example by mean of plots involving two physical quantities among space, time, speed, acceleration, power, absorbed energy and so on. Moreover the software creates for each train several text output files which contain the data provided by simulations. The choice about what types of data should be saved is made by the user according to his needs. This type of output is useful because it can be handled and post-processed with other applications (e.g. MatLab or MS Excel).

The simulations performed in this work were aimed at calculating the headways for each route/train type. As already explained, this task requires to know the quantities t_{pre} and t_{post} of each block section. OpenTrack is not able to provide them in numerical form even if it calculates them inherently. As a consequence, an auxiliary algorithm (developed in MS Excel) has been created, which reads as inputs the data of the OpenTrack output files (which contain the space-time relationships for each train path). The occupation times of each block section, which include t_{pre} and t_{post} (fig. 7) are then provided as outputs.

Once calculated the occupation times of each block section for each train type, these times have been elaborated by another algorithm. The latter computes the headways of each couple of trains both in homogeneous and heterogeneous service, according to the previously defined equations.

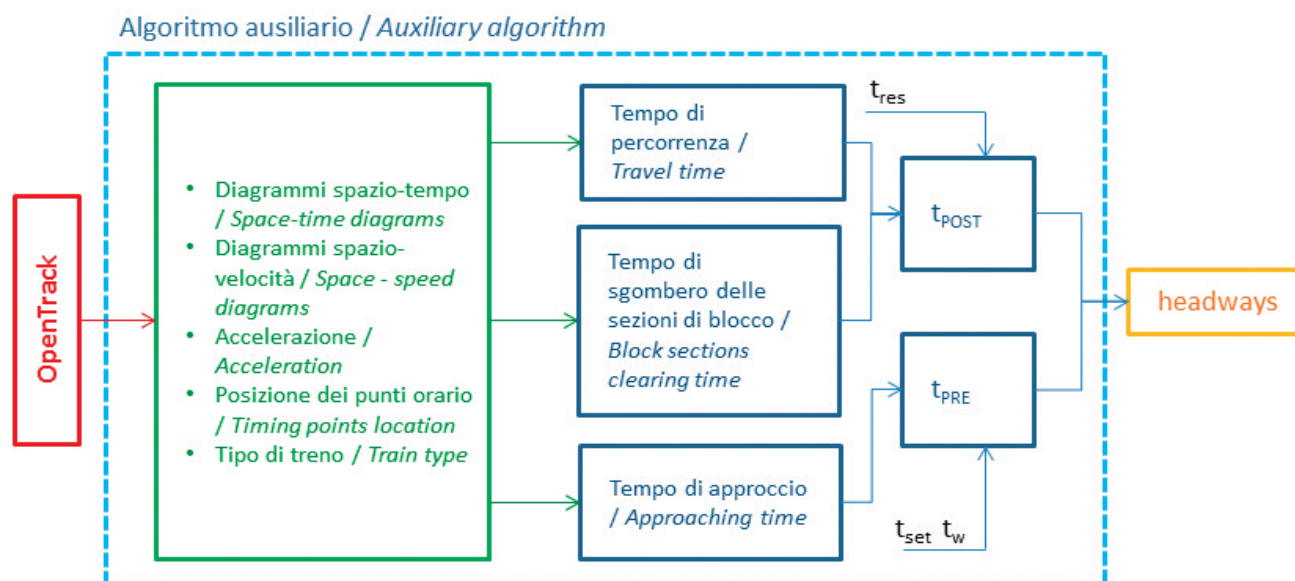


Fig. 7 - Schema logico dell'algoritmo di calcolo dei minimi distanziamenti temporali.
Fig. 7 - Auxiliary algorithms throughputs and workflow.

OSSERVATORIO

capacità basate sul calcolo dei distanziamenti e sul metodo di compressione UIC presentano forti limiti di applicabilità in scenari dove la capacità è fortemente influenzata dalla struttura dell'orario. È il caso delle linee a singolo binario, quali quelle considerate in questo lavoro. Per questo motivo le considerazioni precedentemente presentate sono state applicate in un approccio, descritto nel seguito, che prende in considerazione esplicitamente le singole tracce tramite la programmazione di un orario realizzabile, privo cioè di conflitti. Ulteriori vincoli aggiuntivi, derivanti dalla necessità di rispettare l'orario viaggiatori reale, sono stati poi introdotti nel processo di generazione dell'orario. Tale orario viaggiatori viene assunto come un riferimento, da saturarsi tramite l'aggiunta di tracce merci aggiuntive.

Una volta implementato in OpenTrack il modello dell'infrastruttura e realizzati gli algoritmi ausiliari, si è potuto procedere con una simulazione "di primo tentativo", al fine di avere un punto di riferimento per i successivi sviluppi. A tal fine è stato scelto il treno più pesante trainabile lungo le linee considerate, con l'obiettivo di determinare, nel rispetto dell'orario passeggeri di Trenitalia, quante tracce si renderebbero disponibili e con quale distribuzione temporale nell'arco della giornata. In questa prima analisi non si è tenuto conto della lunghezza dei moduli di binario nelle stazioni intermedie nonché dell'impianto di S. Giuseppe di Cairo, che potrebbe limitare la massima lunghezza (e, conseguentemente, la massa) dei treni.

È stato peraltro introdotto un certo numero di ipotesi e semplificazioni. Le più rilevanti sono di seguito riportate:

- per ciascuna linea e direzione di marcia il treno assunto come riferimento per ciascuna categoria (Regionale, Regionale Veloce, Merci) è stato quello che presenta il maggior numero di fermate intermedie (infatti non tutti i treni passeggeri di Trenitalia sostano nelle medesime stazioni lungo le due linee prese in esame);
- nelle stazioni di estremità (Savona e S. Giuseppe) sono stati trascurati eventuali conflitti di circolazione che coinvolgano treni non appartenenti alle linee in esame. Ciò è reso possibile dalla configurazione dei due nodi, atta a separare le circolazioni;
- treni appartenenti alla medesima tipologia hanno composizione fissa, indipendentemente dalla loro origine o destinazione:
 - *Regionale (R)*: una motrice E464 con 3 carrozze MDVC (Media Distanza Vestibolo Centrale) o MDVE (Media Distanza Vestiboli Estremità). La lunghezza è pari a 95 m e la massa a 204 t;
 - *Regionale Veloce (RV)*: una motrice E464 che rimorchia 7 carrozze MDVC. La lunghezza è pari a 200 m, la massa a 380 t;
 - *Merci (M)*: due motrici E652 (potenza 5100 kW, sforzo di trazione massimo 293 kN ciascuna) che

4. Simulations and results

4.1. Preliminary hypothesis and assessments

It is worthwhile to underline, as reported for example in [13] and [14], that the methodologies for capacity analysis based on the sole headway calculation and on the UIC compression method have significant accuracy limitations when applied to scenarios where the capacity is strongly affected by the timetable itself. This is typically the case of single-track lines, like the ones considered in this study. For this reason the approach illustrated in Section 3 has been implemented within a framework - described hereinafter - which takes explicitly into consideration each train paths, through the design of feasible (i.e. conflict-free) timetables. Furthermore additional constraints are introduced into the timetable generation process, required by the necessity of respecting the real passenger timetable. This latter is considered a baseline, to be saturated with extra freight train paths.

Once implemented the OpenTrack model and the auxiliary algorithms, it has been possible to carry out a "first-attempt" simulation, in order to get a reference point for the following steps. The heaviest freight train towable along the two railways has been chosen, with the aim of pointing out what and how many freight train paths would be available, respecting Trenitalia's passenger timetable. This first attempt does not take into account the length of the sidings available in the intermediate stations and in S. Giuseppe di Cairo, which could possibly constrain the maximum length (and therefore the mass) of the trains.

Some hypothesis and simplifications have been adopted. Above all:

- *for each line and run direction the train chosen as a reference for each type (Regional, Fast Regional and Freight train) has been the one calling in the highest number of intermediate stations (not all Trenitalia's regional trains serve the same stations along the considered lines);*
- *in the extremity stations (Savona and S. Giuseppe respectively) all the issues due to traffic conflicts with trains not involving the studied lines have been neglected. It has been possible to accept this assumption thanks to the topology of such nodes, which permits to separate the train flows;*
- *trains belonging to the same type have the same composition despite of their provenience or destination:*
 - *Regional (R): one E464 locomotive towing 3 MDVC (or MDVE) passenger coaches. This train is 95 m long with a mass of 204 t;*
 - *Fast Regional (RV): one E464 locomotive towing 7 MDVC coaches. This train is 200 m long with a mass of 380 t;*
 - *Freight train (M): two E652 locomotives (power*

OSSERVATORIO

rimorchiano 28 carri SGNS. La lunghezza complessiva è pari a 592 m, la massa a 1472 t. Tale composizione risulta essere la più pesante trainabile in doppia trazione compatibilmente con il tratto più acclive. Secondo quanto riportato dal Fascicolo di Linea 75 [6], il limite di massa rimorchiabile per ciascuna motrice E652 è pari a 650 t nella tratta Savona-Altare.

La sagoma limite di entrambe le linee, classificata come P/C 32, permette il trasporto dei tradizionali containers da 40' di lunghezza e 8' 6" (2.6 m) di altezza. Si è ipotizzato che ciascun carro SGNS (tara pari a 16.5 t) trasporti un container da 40' (tara 3.5 t) contenente un carico pagante pari a 25 t (assunto come valore medio tra containers vuoti e pieni). In tale modo la massa complessiva di ciascun carro è pari a 45 t, con un peso frenato pari al 106%.

Il carico medio per asse è di 11.25 t; nel caso in cui il container fosse a pieno carico (per un peso complessivo di 37 t), il carico per asse salirebbe a 13.4 t. Entrambi questi valori risultano essere inferiori al limite di 20 t/asse caratterizzante entrambe le linee in esame. La capacità di ogni convoglio risulta quindi pari a 56 TEU.

La massima velocità ammessa in ciascun tratto è la minima tra quella ammessa dal Rango B e quella imposta dal peso frenato, sulla base di quanto previsto dalla Prefazione Generale all'Orario di Servizio [13]. Tale valore è poi stato ulteriormente ridotto tramite un apposito coefficiente (minore di 1) al fine di:

- garantire dei margini di regolarità per i convogli merci. La velocità di marcia del convoglio lungo il tracciato è stata assunta pari al 95% di quella massima ammessa;
- garantire l'aderenza all'orario viaggiatori di Trenitalia per i convogli passeggeri durante le simulazioni. In questo caso il parametro è stato calibrato indipendentemente su ciascuna corsa.

La fig. 8 riporta i grafici spazio-tempo e spazio-velocità che rappresentano il moto dei convogli sulla tratta in esame. Essi si riferiscono rispettivamente ai treni percorrenti la via di Altare in direzione Nord e a quelli che seguono la via di Ferrania in direzione Sud. Nei grafici spazio-tempo i tratti verticali corrispondono alle soste che i convogli eseguono nelle stazioni e nelle fermate intermedie (Altare e Ferrania, Bragno, Santuario rispettivamente). Le medesime si ritrovano nei diagrammi spazio-velocità, individuabili dal fatto che in corrispondenza dei punti di sosta la velocità si annulla.

I diagrammi di fig. 8 rivelano che il Regionale Veloce in esame presenta un tempo di percorrenza della tratta superiore a quello del convoglio merci, mentre la sua velocità media è addirittura inferiore a quella del treno Regionale. Tale fenomeno è giustificato dal fatto che, come anticipato, nel modello OpenTrack sono state introdotte delle correzioni per garantire l'aderenza all'orario viag-

5100 kW, max tractive effort 293 kN each) towing 28 freight cars type SGNS. This train is 592 m long, with a mass of 1472 t. This composition is the heaviest one which it is possible to tow along the steepest section using double traction. According to FL 75 [6] (Fascicolo di Linea 75, i.e. the official RFI document reporting the technical description of the lines), the maximum towable mass with a single E652 loco is equal to 650 t in the Savona-Altare section.

The gabarit of both tracks is P/C 32; this allows the transportation of the traditional containers 40' long and 8'6" (2.6 m) tall. It has been assumed that each SGNS wagon (tare mass equal to 16.5 t) would carry a 40' container (tare mass 3.5 t) containing a 25 t payload (assumed as an average value between full and empty containers). In this way the overall mass of each car is equal to 45 t, that implies a braked weight percentage of 106%.

The average axle load is equal to 11.25 t. Given that the maximum weight of a 40' container is about 37 t, the maximum axle load with this type of cargo would be 13.4 t. Both these values are lower than the 20 t/axle limit featured by both the lines. Overall payload for each train is equal to 56 TEUs.

The maximum admitted speed in each section is the minimum between that admitted by speed class "B" (according to the classification of Italian Railways) and that conditioned by the braking deceleration values (influenced in turn by the braked weight), on the basis of the rules provided by RFI's technical documentation (Prefazione generale all'orario di servizio, [13]). This value has been further reduced, through a coefficient minor than 1, in order to:

- *provide freight trains with some run time allowance. The speed of the trains has been assumed to be the 95 % of maximum admitted one;*
- *adapt the run times of passenger trains to Trenitalia's timetable during simulations. In this case the coefficient has been calibrated for each train run.*

Figure 8 displays the space-time and space-speed diagrams which describe the run of the trains on the considered lines. They refer to trains running northward and southward, on Altare and Ferrania routes respectively. In the space-time graphs vertical stretches represent the stops that trains perform in intermediate stations (Altare and Ferrania, Bragno, Santuario respectively). It is possible to find the same stops also in the space-speed graphs, where speed drops to null values.

Diagrams in fig. 8 show that Fast Regional trains feature a run time higher to freight trains, while its average speed is lower than the Regional train one. This is caused by the fact that corrections have been introduced into the OpenTrack model in order to make the model reflect Trenitalia's passenger timetable. In Trenitalia's Timetable 2014 (to which this work refers) Fast Regional 10155 had a travel time (on the Altare route) equal to 23 min, while the con-

OSSERVATORIO

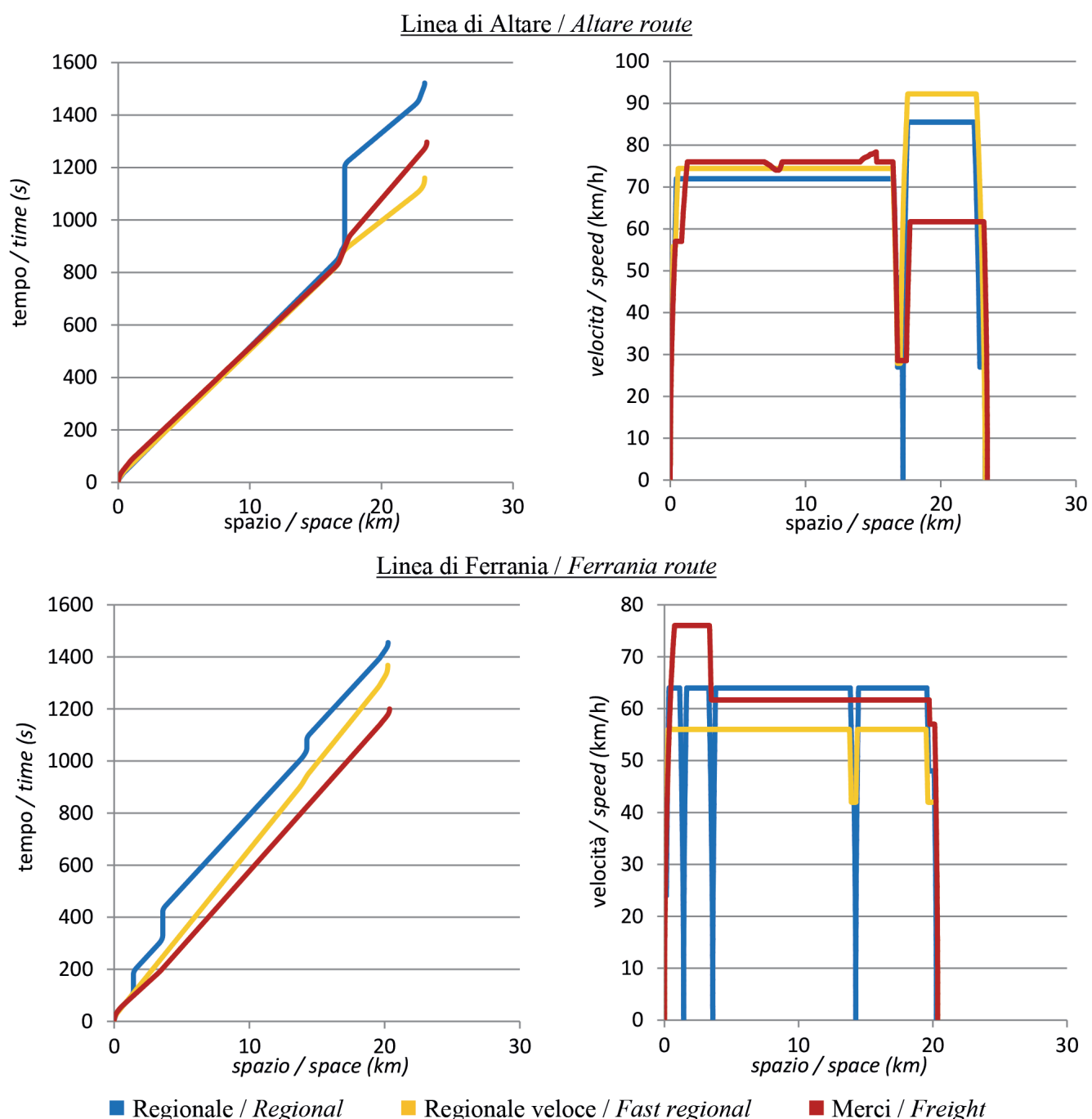


Fig. 8 - Diagrammi di marcia dei convogli ferroviari tra Savona e S. Giuseppe lungo le due linee.
 Fig. 8 - Travel diagrams of the trains between Savona and S. Giuseppe along the two railways.

giatori di Trenitalia. Per il Regionale Veloce 10155 l'Orario 2014 (a cui fa riferimento questo lavoro) prevedeva un tempo di percorrenza pari a 23 minuti sulla linea di Altare, mentre al treno merci in esame ne sarebbero sufficienti 20 per percorrere la medesima tratta.

Sulla base delle ipotesi enunciate, è stata ottenuta per ogni coppia di classi di treni il relativo distanziamento

sidered freight trains takes only 20 min for covering the same distance.

On the basis of the abovementioned hypothesis, the minimum headways have been obtained for each couple of consecutive train types. These headways have been calculated for the northward direction on Altare route and for the southward direction on Ferrania route (table 3).

OSSERVATORIO

TABELLA 3 – TABLE 3

Minimo distanziamento temporale espresso in secondi tra coppie di treni aventi la stessa direzione
Minimum headways between couples of trains running in the same direction, in seconds

Linea di Altare - <i>Altare route</i>				
1 st	2 nd	R	RV	M
R		785	789	796
RV		764	768	775
M		782	786	793

Linea di Ferrania - <i>Ferrania route</i>				
1 st	2 nd	R	RV	M
R		1032	1031	1035
RV		941	940	944
M		846	845	849

temporale minimo, calcolato in direzione nord sulla linea di Altare, in direzione sud sulla linea di Ferrania (tabella 3).

A titolo di esempio si riporta il procedimento di calcolo dell'headway per una coppia di treni merci in moto da Savona verso S. Giuseppe. Per iniziare è richiesta la conoscenza dell'istante in cui il treno transita in corrispondenza dei "punti orario notevoli" della linea (ad esempio un segnale oppure una stazione), informazione ricavabile dai diagrammi di marcia (tabella 4).

Sulla base delle equazioni descritte nella sezione 3.1 è quindi possibile ricavare t_{pre} , t_{run} , t_{clear} , t_{post} calcolando infine il distanziamento minimo h_m (tabella 5).

Diversamente, i distanziamenti fra treni in moto in direzioni opposte sono stati ottenuti partendo dai tempi di percorrenza delle tre tipologie di treni in moto sulle due linee nelle due direzioni (tabella 6).

Una volta in possesso di questi dati è stato possibile ricavare il numero di tracce disponibili. A tal fine si è reso necessario porre ulteriori ipotesi:

- l'orario passeggeri di Trenitalia è stato assunto come punto di partenza immutabile, rappresentando di conseguenza un vincolo;
- seguendo la consuetudine attualmente in essere sulle linee in esame, i treni merci viaggiano in direzione nord lungo la linea di Altare ed in direzione sud lungo la linea di Ferrania. Ne consegue che la circolazione dei treni merci in ciascuna linea è unidirezionale;
- i treni merci non eseguono incroci con altri convogli nelle stazioni intermedie. Essi non sono dunque autorizzati a lasciare la stazione di origine se sulla linea è presente un altro treno (viaggiante in direzione opposta) oppure se vi sarà prima che essi possano giungere a destinazione;
- la separazione temporale tra i convogli merci e tra questi ed i treni viaggiatori è stata determinata aumentando i distanziamenti minimi di un minuto e quindi arrotondandoli all'intero superiore; ciò permette la creazione di un opportuno tempo cuscinetto;
- eventuali perturbazioni del traffico passeggeri sono state trascurate in quanto, se piccole, sono compensate dall'assunto precedente. Per i treni viaggiatori con direzione opposta rispetto a quella dei merci, è stato

As example, the headways calculation process is hereinafter described for a couple of freight trains running from Savona to S. Giuseppe. An input data is represented by the times in which each train crosses the "key timing points" of the line, like a signal or a station. Run diagrams permit to obtain this information (table 4).

Making use of the equations described in section 3.1. it is then possible to obtain t_{pre} , t_{run} , t_{clear} , t_{post} and to finally calculate the minimum headway h_m (table 5).

Headways for trains moving in opposite directions have been obtained using the run times of the three train types along the different routes, considering two directions (table 6).

Thanks to these values it has been possible to obtain the number of available paths. For this task further assumptions have been introduced, which are listed as follows:

TABELLA 4 – TABLE 4

Punti notevoli per il calcolo dei distanziamenti temporali
Key points for the calculation of the minimum headways

Punto <i>Point</i>	Posizione <i>Position</i> (km)	Tempo <i>Time</i> (min)
Partenza <i>Start</i>	1.107	0.0
Uscita stazione di Savona <i>Savona station exit point</i>	2.830	1.5
Segnale di avviso stazione Altare <i>Altare station distant signal</i>	15.300	11.4
Segnale di protezione stazione Altare <i>Altare station home signal</i>	16.430	12.2
Fabbricato viaggiatori stazione Altare <i>Altare station</i>	18.330	14.4
Segnale di partenza stazione Altare <i>Altare station departure signal</i>	18.400	14.6
Uscita stazione di Altare <i>Altare station exit point</i>	18.850	15.3
Segnale di avviso stazione S. Giuseppe <i>S. Giuseppe station distant signal</i>	22.180	18.5
Segnale di protezione stazione S. Giuseppe <i>S. Giuseppe station home signal</i>	23.470	19.8
Arrivo <i>Arrival</i>	24.375	20.4

OSSERVATORIO

TABELLA 5 – TABLE 5

Esempio numerico di calcolo del distanziamento temporale. Quantità espresse in secondi
Numerical example of the calculation of the minimum headway. Quantities expressed in seconds

Rif - Ref	Itinerari - Route	t_{pre}	t_{run}	t_{clear}	$t_{post} = t_{run} + t_{clear}$	t_{pre}	t_{post}	h_m
1	Stazione di Savona <i>Savona station</i>	31.0	89.0	28.1	117.1	31.0	117.1	148.1
2	Sezione 1 <i>Section 1</i>	120.0	645.0	28.1	673.1	120.0	673.1	793.1
3	Stazione di Altare <i>Altare station</i>	53.0	140.0	74.9	214.9	53.0	214.9	267.9
4	Uscita stazione di Altare <i>Altare station exit section</i>	140.0	43.0	34.6	77.6	140.0	77.6	217.6
5	Sezione 2 <i>Section 2</i>	183.0	269.0	34.6	303.6	183.0	303.6	486.6
6	Stazione di S. Giuseppe <i>S. Giuseppe station</i>	75.0	38.0	34.6	72.6	75.0	72.6	147.6

esplicitamente previsto un tempo cuscinetto pari a 3 minuti sull'orario di arrivo programmato.

Sulla base di queste ipotesi, la capacità teoricamente disponibile si può stimare pari a 55 tracce giornaliere in direzione nord e 51 in direzione sud. La maggior parte di esse è tuttavia concentrata nelle ore notturne, durante le quali le linee non sono interessate dal traffico passeggeri (fig. 9). Il Fascicolo di Linea 71 [6], contenente disposizioni generali per il Compartimento ferroviario di Genova, indica infatti un periodo di interruzione per le linee in esame compreso tra le 23:00 e le 5:00, riservato allo svolgimento della manutenzione sull'infrastruttura. Si può tuttavia ragionevolmente ipotizzare che tale manutenzione non interessi le linee durante tutte le notti e pertanto che queste ultime possano essere talvolta utilizzate ad uso merci nella fascia notturna. Questo potrebbe avvenire, ad esempio, se si venissero a creare picchi di domanda legati all'arrivo in porto di grandi navi.

La fig. 9 mostra inoltre come, data la distribuzione delle tracce, in alcune fasce orarie lo scalo di Savona Parco Doria non sarebbe in grado di inviare o ricevere treni: questa limitazione potrebbe avere conseguenze sull'operatività dei terminali ferroviari al servizio dei porti di Savona e Vado ed andrebbe, se possibile, eliminata.

Come premesso, questa simulazione di primo tentativo ha preso in esame i treni merci più pesanti che possano percorrere queste linee, di lunghezza prossima ai 600 m. Convoogli con queste caratteristiche potreb-

- the current Trenitalia passenger timetable has been considered an “untouchable” baseline, thus involving a number of constraints to be respected;
- following a custom currently adopted on the considered lines, freight trains run northward via Altare and southward via Ferrania. Therefore on each line the traffic of freight trains is unidirectional;
- freight trains do not cross other trains in intermediate stations. Freight trains are not allowed to leave the departure station if there is another train along the line (running in the opposite direction) or if it will be before they would come to their destination;
- time separation for freight trains has been obtained increasing the calculated headways by one minute and then rounding them off to the higher integer value, in order to provide a proper buffer time;
- perturbations of passenger traffic have been neglected because, if small, they are compensated by the previous assumption. If passenger trains run in a direction opposite to that of a freight trains, they are provided with an explicit buffer time equal to 3 minutes on their arrival time.

TABELLA 6 – TABLE 6

Tempi di percorrenza espressi in secondi
Running times, in seconds

	SV-S. Giuseppe via Altare	S. Giuseppe-SV via Altare	SV-S. Giuseppe via Ferrania	S. Giuseppe-SV via Ferrania
R	1459	1393	1464	1406
RV	1093	1277	1349	1311
M	1224	1508	989	1142

OSSERVATORIO

bero essere gestiti dall'impianto di Parco Doria (dotato di moduli di binario compresi tra 805 e 460 m); tuttavia essi risulterebbero incompatibili con le caratteristiche infrastrutturali della stazione di S. Giuseppe, i cui binari di sosta e manovra sono più corti di 480 m, mentre i binari sulla via diretta sono di poco inferiori ai 500 m. Ne consegue quindi che un treno lungo quasi 600 m potrebbe solamente attraversare lo scalo senza sostarvi. Tuttavia, se si considera che le linee dirette verso Torino e Alessandria sono a singolo binario, è probabile che i convogli merci in marcia verso nord debbano sostare a S. Giuseppe in attesa che un altro treno liberi la linea.

È poi opportuno considerare il fatto che il Fascicolo di Linea 75 [6] impone per queste linee un limite sulla massa rimorchiabile pari a 1200 t al fine di non provocare il danneggiamento degli organi di collegamento. Il convoglio da 28 carri eccederebbe tale limite di circa 60 t.

Sulla base di queste considerazioni è stata condotta una nuova analisi basata su un convoglio merci costituito da 2 motrici E652 che rimorchiano 21 carri SGNS: la lunghezza complessiva risulta pari a 454 m, mentre la massa rimorchiata si attesta a 945 t (che salgono a 1147 se si considerano anche le motrici). Questo intervento provoca una diminuzione del carico pagante a 42 TEU, ma garantisce la compatibilità tanto con le caratteristiche della linea quanto con quelle della stazione di S. Giuseppe.

In questa condizione si renderebbero disponibili 57 tracce via Altare e 55 via Ferrania. Il guadagno rispetto al caso precedente è tutto sommato modesto: rispettivamente 2 e 4 nuove tracce disponibili al giorno, per di più nelle fasce serali e notturne. Non si sono avuti miglioramenti nelle fasce orarie critiche, in particolare quelle caratterizzate dall'assenza di tracce disponibili a causa dell'intensità del traffico viaggiatori.

La lunghezza del convoglio influisce sul tempo di occupazione di ogni sezione tramite il fattore t_{clear} . Tuttavia in questo caso esso ha un'influenza piuttosto modesta (se non trascurabile), in quanto costituisce un contributo del secondo ordine se paragonato a quelli legati, in particolare, all'elevata lunghezza delle sezioni di blocco.

4.2. Valutazione dell'assorbimento di corrente elettrica

Il già citato FL 75 stabilisce per le linee in esame che la corrente assorbita da ciascun convoglio non ecceda il limite di 2000 A. Tale valore è dovuto alle caratteristiche della rete elettrica di alimentazione, le cui sottostazioni

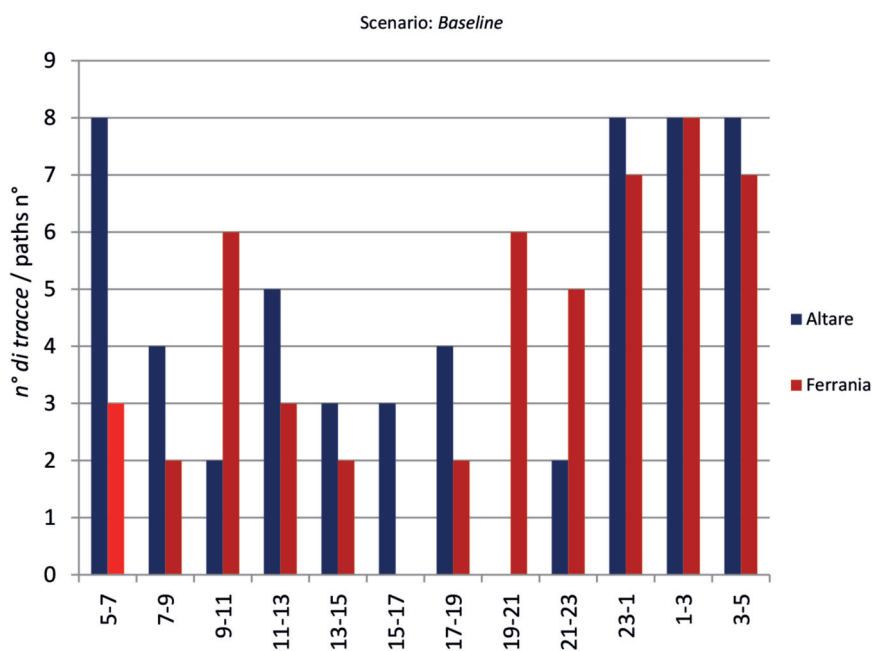


Fig. 9 - Distribuzione nell'arco delle 24 h delle tracce disponibili per convogli merci.

Fig. 9 - Distribution of available paths for freight trains during the 24 hours.

With these assumptions, the theoretical available capacity is equal to 55 daily freight paths northward and 51 southward. However, the largest part of them is concentrated in night hours, when the railways are not used by passengers traffic (fig. 9). Fascicolo di Linea 71 [6] provides general regulations for the railway district of Genova and indicates for the analysed lines a maintenance time slot comprised between 11:00 pm and 5:00 am. However it is possible to hypothesize that maintenance works will not take place during all nights and that night hours could be sometimes utilised for freight trains. This could happen, for example, if demand peaks would arise with the arrival of big ships in Vado port.

Fig. 9 highlights that in some time slots Savona Parco Doria yard would not be able to send nor receive any train: this restriction could have consequences on the operation of the terminals serving the ports of Savona and Vado and should be overtaken, if possible.

This first attempt simulation involves the use of the heaviest freight trains allowed to circulate on these railways. Such trains are slightly shorter than 600 meters and could be handled by Parco Doria yard (which features tracks with lengths comprised between 805 and 460 m); nevertheless these trains are too long for S. Giuseppe station, whose sidings are shorter than 480 m, while the main tracks are slight longer than 500 m. As a consequence, a 600 m long train could only cross the yard without stopping. However, both the lines heading towards Turin and Alessandria are single-track, therefore it would be rather possible that freight trains moving

OSSERVATORIO

sono collocate a Savona e a Carcare (località posta nelle vicinanze di S. Giuseppe di Cairo).

Si è proceduto a valutare la corrente assorbita dai convogli simulati, al fine di verificare se questa superi il limite di 2000 A nelle condizioni operative descritte nel paragrafo 4.1. Questo obiettivo è stato realizzato prendendo in considerazione la potenza assorbita “ai cerchioni” da ciascuna classe di rotabili (ottenibile come risultato delle simulazioni di OpenTrack) e dividendola per la tensione nominale della linea aerea (3000 V).

OpenTrack fornisce come output un profilo di potenza assorbita alle ruote per ciascuna corsa simulata. È quindi possibile ottenere da esso un ulteriore profilo riferito alla potenza captata al pantografo, ricavato dal precedente attraverso un fattore di rendimento complessivo della motrice impostato dall'utente. La corrente assorbita al pantografo può essere poi stimata attraverso l'equazione

$$P_{wr} = V_n \cdot I \cdot \eta_e$$

- P_{wr} è la potenza assorbita alle ruote;
- V_n la tensione nominale della linea aerea di alimentazione, pari a 3000 V;
- I è la corrente assorbita dalla motrice attraverso il pantografo;
- η_e è un indice di efficienza della conversione energetica (conservativamente assunto pari a 0.78).

È importante sottolineare come questa equazione non tenga conto del fatto che né η_e né V_n sono termini costanti al variare della posizione e della velocità del convoglio. I profili di assorbimento riportati in fig. 10 sono pertanto afflitti da una certa approssimazione, assunta come trascurabile in forza del carattere preliminare di questo studio.

I profili riportati in fig. 10 non presentano problemi per quanto concerne i treni passeggeri. Al contrario, l'assorbimento da parte dei treni merci in moto verso Altare rivela un valore medio superiore a 2500 A e picchi superiori a 3500 A, da addebitarsi alla rilevante massa dei convogli ed alla pendenza della tratta. Anche i merci che percorrono la linea di Ferrania mostrano picchi superiori a 4000 A in corrispondenza della fase di avviamento. In seguito, tuttavia, l'assorbimento elettrico diminuisce sostanzialmente come conseguenza della pendenza che diviene negativa una volta superata la fermata di Ferrania.

Emerge chiaramente come, in questa configurazione, entrambe le linee presentino picchi di assorbimento elettrico non accettabili. I due scenari finora delineati non possono quindi essere considerati realistici, con la conseguente necessità di ricavarne uno ulteriore che tenga conto dei limiti esistenti per l'assorbimento elettrico. Questa limitazione è stata modellizzata in OpenTrack attraverso la riduzione del massimo sforzo di trazione delle motrici E 652. Se si considera infatti che per i motori a corrente continua la coppia alle ruote – e dunque lo sforzo di trazione – è direttamente proporzionale alla corrente, una

northward should stop in S. Giuseppe and wait for crossing other trains before being allowed to depart in turn.

It is moreover worthwhile to consider that FL 75 [6] sets a limit for the towable mass at 1200 t, for avoiding damages and failures of the couplers. The 28 wagons train would exceed this limit of about 60 t.

On these premises a second-attempt analysis has considered a freight train composed by two E 652 locomotives towing 21 SGNS wagons; the whole length is equal to 454 m while the towed mass is 945 t (1147 t if considering the locos too). The payload of such a train drops to 42 TEUs, but its features are now compatible with the limitations of the lines as well as of S. Giuseppe station.

In these conditions, 57 freight paths would be available via Altare and 55 via Ferrania. The gain (in respect to the previous situation) is actually modest: 2 and 4 new available paths per day respectively, during night hours. No improvements are present in the critical time slots, i.e. the ones in which the intensive passenger traffic does not allow to schedule freight paths.

The length of the trains conditions the blocking time of each section mainly through the contribution of the clearing time. However in this case study this parameter has very modest influence (if not negligible) since it represents a second-order contribution in respect to those due, above all, to the significant length of the block sections.

4.2. Evaluation of the absorption of electrical current

The technical documentation of the concerned lines sets a limit equal to 2000 A per train for the maximum absorption of electrical current. This value is due to the characteristics of the electrical power supply facilities, located in Savona and Carcare. The current absorption of the simulated freight trains has been then evaluated, in order to check if it overpasses the 2000 A limit in the operational conditions described in section 4.1. This task has been performed taking into account the power consumption of each class of trains along the line (available as a result of OpenTrack simulations) divided by the nominal power supply tension (3000 V).

OpenTrack provides as an output the power consumption profile at wheel rims for each simulated train run. This information can be used for estimating the current absorption at the pantograph of the locomotive, making use of the relationship

$$P_{wr} = V_n \cdot I \cdot \eta_e$$

- P_{wr} is the power consumption at wheel rims;
- V_n is the overhead line nominal tension, equal to 3000 V;
- I is the current absorption at the pantograph of the locomotive;
- η_e is the energy conversion efficiency of the locomotive (about 0.78, conservatively).

OSSERVATORIO

riduzione dello sforzo massimo erogabile da 293 a 180 kN può effettivamente modellizzare una limitazione sulla corrente assorbita (fig. 11).

Tenendo conto di queste limitazioni (che hanno come dirette conseguenza un aumento del tempo di percorrenza dei treni merci, in quanto il macchinista non può impiegare l'intera potenza nominale) risulterebbero disponibili 43 tracce aggiuntive via Altare (di cui una priva di margini di regolarità e quindi difficilmente effettuabile nella realtà) e 52 via Ferrania. Al confronto con il caso precedente, la limitazione sull'assorbimento di corrente ha provocato la perdita di 14 tracce giornaliere via Altare e 4 via Ferrania.

Quanto descritto in questo paragrafo, con l'impiego di treni lunghi 454 m e corrente assorbibile limitata a 2000 A, può essere considerata la *reale condizione base* delle linee in esame. Infatti queste tracce merci potrebbero essere programmate, almeno in via teorica, senza alcun intervento infrastrutturale.

Tuttavia nelle simulazioni seguenti, volte a proporre eventuali azioni volte ad incrementare la capacità, si è assunto che il primo intervento radicale da realizzarsi con l'obiettivo di uno sfruttamento più intensivo della tratta sarebbe l'adeguamento della rete elettrica di alimentazione. Di conseguenza nel prosieguo la limitazione a 2000 A sarà trascurata.

It is worthwhile to remark that η_c that this relationship does not consider that η_{ac} and mainly V_n are not constant terms, therefore the current absorption profiles displayed in fig. 10 are likely affected by approximations, assumed as negligible because of the preliminary character of this study.

The profiles reported in fig. 10 present no problems for passenger trains. Otherwise, the absorption of the freight trains raising to Altare, as a consequence of their relevant mass, reveals an average value higher than 2500 A and peaks higher than 3500 A. Also freight trains on Ferrania route show a peak of about 4000 A during the starting stages. Subsequently the absorbed electricity dramatically drops because of the negative slope of that line after Ferrania stop.

Under the described conditions both the lines feature not allowable peaks of electrical current absorption. Therefore the two scenarios presented before cannot be considered realistic, calling for the definition of new ones which take into consideration the electrical absorption limit. This constraint has been introduced into the run diagrams calculation in OpenTrack by lowering the maximum tractive effort of the E652 locomotives. Considering that, for direct current motors, the torque – and hence the tractive effort – is proportional to the absorbed current, a reduction of the maximum tractive effort from 293 kN down to 180 kN can effectively model the limitation on the current absorption (fig. 11).

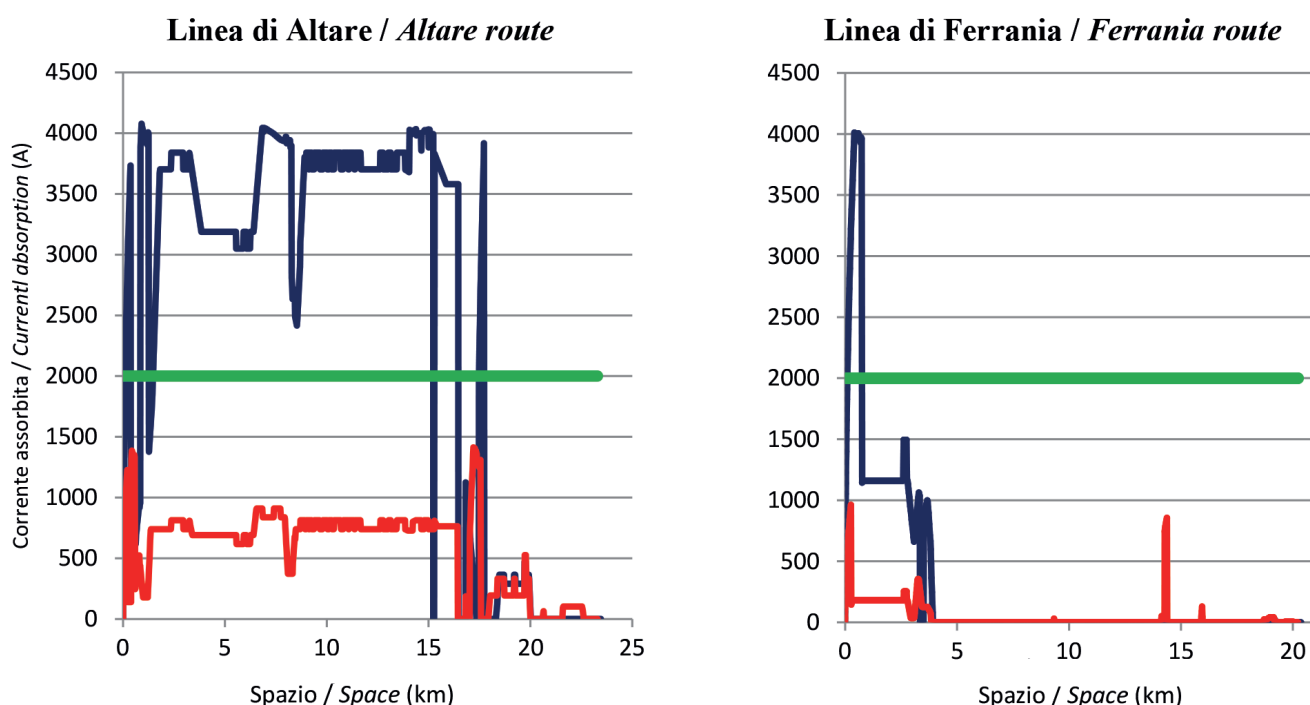


Fig. 10 - Corrente elettrica assorbita dai convogli in moto tra Savona e S. Giuseppe. In rosso i treni passeggeri, in blu i convogli merci; la linea verde rappresenta il limite di assorbimento di 2000 A come indicato dal FL 75 [6].

Fig. 10 - Electrical absorption of trains running between S. Giuseppe and Savona. Red graphs refer to passenger trains, blue ones to freight trains; the green line represents the 2000 A current absorption limit indicated by FL 75 [6].

OSSERVATORIO

4.3. Valutazione della potenzialità all'aumentare del carico pagante

Nel paragrafo 4.1. si è posto come ipotesi che ciascun carro SGNS trasporti un carico pagante pari a 25 t, valore assunto come media tra contenitori pieni e vuoti. Poiché il peso lordo massimo di un container lungo 40' è pari a 37 t e la sua tara è di circa 3.5 t, l'ipotesi di lavoro è quindi che mediamente ciascun container sia sfruttato al 75% della sua capacità utile in peso.

Risulta tuttavia necessario verificare quale sarebbe l'effetto sulla realizzabilità delle tracce programmate (dunque sulla robustezza dell'orario) qualora circolassero treni più pesanti di quelli preventivati, dovuti ad un carico medio per carro superiore a quello previsto. Si è pertanto deciso di effettuare una valutazione che prenda come riferimento un carico pagante pari all'85% della massima capacità in peso di ciascun contenitore.

Ciò significa che la massa complessiva di ciascun carro SGNS passa da 45 a 48.5 t mentre la percentuale di peso frenato scende dal 106% al 99%, con conseguente riduzione del limite di velocità ammessa nei tratti a pendenza negativa delle linee in esame. A parità di lunghezza la massa complessiva del convoglio cresce invece da 1147 t a 1230 t (1018 se si escludono le due motrici).

I risultati ottenuti sono alquanto differenti per le due tratte. La linea di Altare fa registrare aumenti dei distanziamenti minimi estremamente ridotti per i convogli merci: il minimo distanziamento tra di essi cresce solamente di 14 secondi, non comportando alcuna variazione rispetto ai risultati precedentemente ottenuti. Al contrario sulla linea di Ferrania l'incremento del distanziamento è più sostanzioso, soprattutto nel caso in cui il primo treno della coppia presa in esame sia dedicato al servizio merci (tabella 7).

La differenza di comportamento tra le due linee si spiega considerando quale sia in ciascuna di esse la sezione critica per i distanziamenti. Per la linea di Altare tale sezione è quella che in tabella 5 è denominata "Sezione 1", compresa tra l'uscita della stazione di Savona ed il segnale di protezione della stazione di Altare. Tale tratto di linea presenta una livelletta con valore positivo e, conseguentemente, rientra nel grado di frenatura I: la massima velocità ammessa dalla percentuale di massa frenata del convoglio merci (90 km/h) risulta quindi superiore al limite di velocità imposto dal Rango B (80 km/h). Pertanto la massima velocità ammessa in questa sezione non muta rispetto ai casi precedentemente descritti. Ne con-

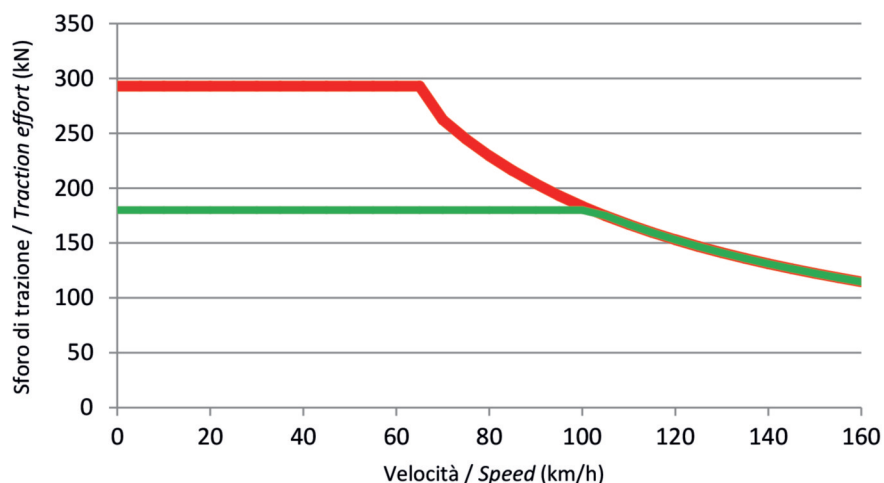


Fig. 11 - Caratteristica di trazione di una motrice E 652 così come modellizzata in OpenTrack. Le prestazioni massime nominali sono rappresentate in rosso, mentre la linea verde descrive il funzionamento a regime ridotto, compatibile con le limitazioni sull'assorbimento di corrente.

Fig. 11 - Traction diagram of a E 652 locomotive, as modelled in OpenTrack. Full tractive effort is plotted in red, while the green line shows the reduced one, accordingly to the maximum power absorptions constraints.

Considering these limitations (which have as a direct consequence an increase of the run time of freight trains, as the driver could not deliver all the nominal power of the locomotive) 43 available paths would be present via Altare (one of them without any buffer time nor any run time allowance and therefore hardly feasible in reality) and 52 paths via Ferrania. If compared to the previous results, the current limitation has caused the loss of 14 paths per day via Altare and 4 via Ferrania.

The configuration described in this paragraph, using 454 m long trains and current absorption limited to 2000 A, can be regarded as the real baseline condition of the concerned lines. In fact such freight paths could already be scheduled – at least theoretically – without any infrastructure improvement.

In the following simulations, aimed to figure out some actions for improving capacity, the limits on electrical absorption have been neglected, assuming that the very first interventions – in order to upgrade the lines in sight of future heavier traffic – would be focused on the electrical power supply facilities, thus overcoming the 2000 A limit.

4.3. Influence of payload on capacity

In section 4.1. it has been assumed that each SGNS wagon carries a 25 t payload. This value has been obtained as an average between empty and loaded ITUs. The maximum gross weight of a 40' container is equal to 37 t and its tare is about 3.5 t, therefore the abovementioned hypothesis implies that each container is exploited at 75% of its full capacity.

OSSERVATORIO

TABELLA 7 – TABLE 7

Distanziamenti ottenuti per convogli merci con carico utile pari all'85% della massima capacità di carico. In parentesi i valori ottenuti secondo le ipotesi descritte al paragrafo 4.1. in riferimento ai convogli con capacità 21 TEU
Minimum headways obtained for freight trains with a payload equal to 85 % of the maximum loading capacity. In brackets the values obtained under the hypothesis described in section 4.1. with trains carrying 21 TEUs

via Altare				
1 st	2 nd	R	RV	M
R		785	789	796 (793)
RV		764	768	775 (774)
M		780 (770)	784 (774)	791 (777)

via Ferrania				
1 st	2 nd	R	RV	M
R		1032	1031	1032 (1031)
RV		941	940	945 (945)
M		890 (839)	889 (838)	890 (838)

segue che il distanziamento minimo per l'intera tratta rimane quasi immutato.

Per la linea di Ferrania, al contrario, la sezione critica è quella compresa tra la fermata di Ferrania e la stazione di Savona: essa presenta pendenza negativa ed il grado di frenatura conseguentemente assegnato è VIII. Pertanto nella determinazione della massima velocità ammessa nella sezione la massa frenata (limite a 60 km/h) prevale sul Rango B (80 km/h). La velocità che il convoglio potrà mantenere sarà quindi ridotta rispetto ai casi precedenti, con conseguenze sui distanziamenti.

L'incremento del carico pagante fa sì che sulla linea di Ferrania siano ora disponibili 53 tracce al giorno, contro le 55 ottenute sulla base delle ipotesi descritte al paragrafo 4.1. Nell'intervallo 5:00-23:00 la capacità rimane immutata, tuttavia due tracce non presentano alcun tempo cuscinetto e risultano conseguentemente di difficile attuazione.

4.4. Aumento del numero delle sezioni di blocco

Entrambe le linee esaminate sono esercite tramite blocco conta-assi. Ciascuna di esse è costituita da due sezioni di blocco, comprese tra due stazioni consecutive:

- Linea di Altare: Savona-Altare (lunga circa 14 km) e Altare-S. Giuseppe (4.5 km);
- Linea di Ferrania: Savona-Santuario (lunga circa 4 km) e Santuario-S. Giuseppe (lunghezza di poco inferiore a 13.5 km).

Appare evidente come l'estensione delle sezioni di blocco risulti fortemente sbilanciata, con effetti conseguenti sui tempi di occupazione: in entrambe le linee la sezione più estesa risulta occupata per un periodo di tempo tra 1.5 e 4 volte maggiore rispetto a quella più corta, a seconda della tipologia di treno esaminata.

È stata dunque studiata la possibilità di effettuare una modifica nella configurazione delle sezioni di blocco, avendo quali obiettivi un incremento nella capacità residua e, allo stesso tempo, un contenimento dei costi di intervento. Una soluzione piuttosto semplice consiste nel suddividere la sezione di blocco più estesa di ciascuna linea in due più brevi di lunghezza circa uguale. Ciò impli-

It is interesting to verify the influence on the feasibility of the freight paths (and hence on the robustness of the timetable) if freight trains would be heavier than the scheduled ones, because of higher average payload per wagon. An evaluation has been carried out, which considers a payload equal to the 85 % of the maximum capacity of each container.

This implies that the overall mass of each SGNS car raises from 45 t up to 48.5 t while the braked weight percentage drops from 106% down to 99%. This causes a reduction of the maximum speed allowed in line stretches featuring negative slope. The overall mass of the train raises from 1147 t up to 1230 t (1018 t excluding the locomotives).

Results such obtained are rather different for the two lines. Along Altare route the minimum headways involving freight trains increase very little. For instance, the minimum headways between two consecutive freight trains increase just of 14 s, and this does not produce any modifications in the already obtained capacity results. On the contrary, on Ferrania route headways raise significantly, especially if the first train of the consecutive two is a freight one (table 7).

The difference between the two lines can be explained considering what is, in each of them, the critical section for the headways. In Altare route the critical section is the n° 2 in table 5, comprised between Savona station and the home signal of Altare station. This stretch features a positive slope and therefore belongs to braking grade I (according to Italian Railways classification): the maximum speed admitted by the braked mass percentage of the train (90 km/h) is greater than the maximum speed for the B speed class (80 km/h). As a consequence, the maximum speed admitted in this section does not vary in respect to the scenarios already discussed.

On Ferrania line the critical section is that comprised between Ferrania and Savona stations. It features negative slopes and braking grade VIII. The maximum speed implied by the braking grade (60 km/h) is minor than those admitted by the B speed class (80 km/h). The trains speed is therefore lower than in the previous scenarios, and the headways raise accordingly.

The increase of the payload reduces the available capacity of Ferrania line down to 53 paths per day. During the

OSSERVATORIO

ca la necessità di creare un nuovo posto di blocco automatico (con i relativi segnali di avviso) in prossimità del punto medio delle sezioni esistenti.

La simulazione è stata condotta prendendo in considerazione le medesime ipotesi precedentemente descritte; il treno merci utilizzato è stato quello lungo 454 m, ipotizzando un carico medio per container pari al 75% della sua capacità in peso. Come risultato si è ottenuta una rilevante riduzione dei distanziamenti minimi mentre, d'altro canto, i tempi di occupazione delle linee non sono cambiati, in quanto principalmente legati alla lunghezza complessiva delle stesse. Ne consegue che i benefici portati dalla modifica delle sezioni di blocco si manifestano solo nel caso di due treni aventi la stessa direzione di marcia.

La diminuzione del distanziamento minimo permette di inviare treni con una cadenza più elevata, con conseguente notevole aumento della capacità residua. In queste condizioni si ottengono 92 tracce al giorno via Altare (con un guadagno di 35 rispetto alla seconda analisi) e 72 via Ferrania (con un aumento di 27).

La fig. 12 mostra come dalla modifica del sistema di segnalamento siano pervenuti significativi miglioramenti nella distribuzione delle tracce aggiuntive nell'arco della giornata. In particolare non esistono più fasce orarie in cui l'impianto di Savona non possa inviare o ricevere treni dal Piemonte. Questa condizione può garantire una sufficiente regolarità alle operazioni svolte dal terminale ferroviario al servizio del porto di Vado.

La fig. 13 presenta un confronto per ciascuna linea confrontando i risultati ottenibili in configurazione base (con treni lunghi 454 m) e quelli legati alla modifica del sistema di segnalamento. La linea di Altare mostra un significativo miglioramento, presentando tra 1 e 5 tracce disponibili per ciascuna fascia oraria; il guadagno è meno rilevante per la linea di Ferrania (3 tracce aggiuntive nella fascia 17:00-19:00), mentre alcune fasce non hanno mostrato alcun beneficio.

4.5. Programmazione di incroci nelle stazioni intermedie

Una delle ipotesi di lavoro assunte per il calcolo degli scenari fin qui descritti è che i treni merci non eseguano incroci con altri convogli nelle stazioni intermedie. Questo costituisce di fatto un forte vincolo sulla capacità residua. Una possibile soluzione consiste nell'organizzare incroci tra convogli merci e passeggeri in corrispondenza delle stazioni intermedie. L'attuale consuetudine operativa prevede che il convoglio merci sia inviato in deviat

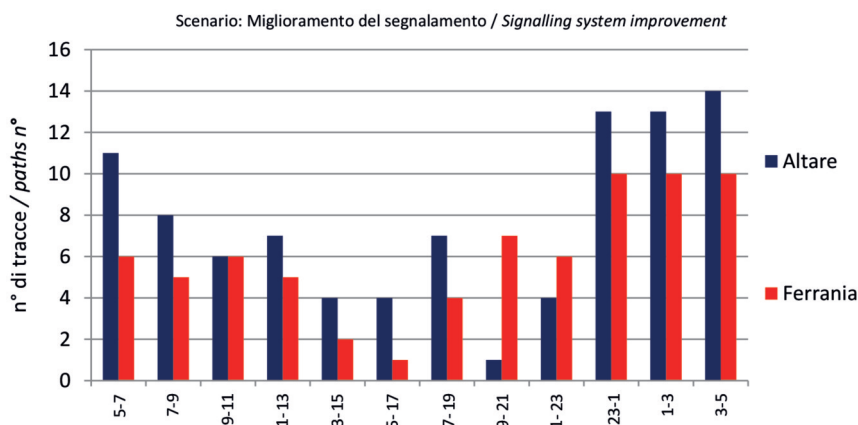


Fig. 12 - Scenario riguardante la modifica delle sezioni di blocco: distribuzione delle tracce disponibili per ambo le linee nell'arco delle 24 ore.

Fig. 12 - Scenarios with improved signalling system: distribution of available paths for the two lines during the 24 hours.

hours comprised between 5:00 am and 23:00 pm the available capacity does not vary, however two paths do not feature any buffer time thus resulting hardly feasible in reality.

4.4. Increase of the number of block sections

The two considered lines use axle-counter block systems. Both of them feature one intermediate station, which splits the relevant line into two block sections (see also fig. 5):

- Altare route: Savona-Altare (about 14 km long) and Altare-S. Giuseppe (4.5 km long);
- Ferrania route: Savona-Santuario (about 4 km long) and Santuario-S. Giuseppe (slightly shorter than 13.5 km).

The extension of the block sections is unbalanced and this fact significantly conditions their blocking times. In each line, the longest section is occupied for about 1.5-4 times in respect to the shortest one, according to the type of train taken in account.

Therefore a modification of the configuration of the block system has been studied, taking as a target the capacity improvement as well as the costs effectiveness, in order not to figure out solutions hardly feasible in reality. A simple solution is to split the longest section of each route into two shorter ones which have almost the same length. This entails to place new automatic signals (together with the relevant distant signals in both the directions) in the mid-points of the concerned sections.

The simulation has been performed taking into account the same hypothesis previously assumed, i.e. considering a freight train 454 m long. As a result, a significant reduction of the headways has been achieved while, on the other side, the average occupation times of the whole lines have not

OSSERVATORIO

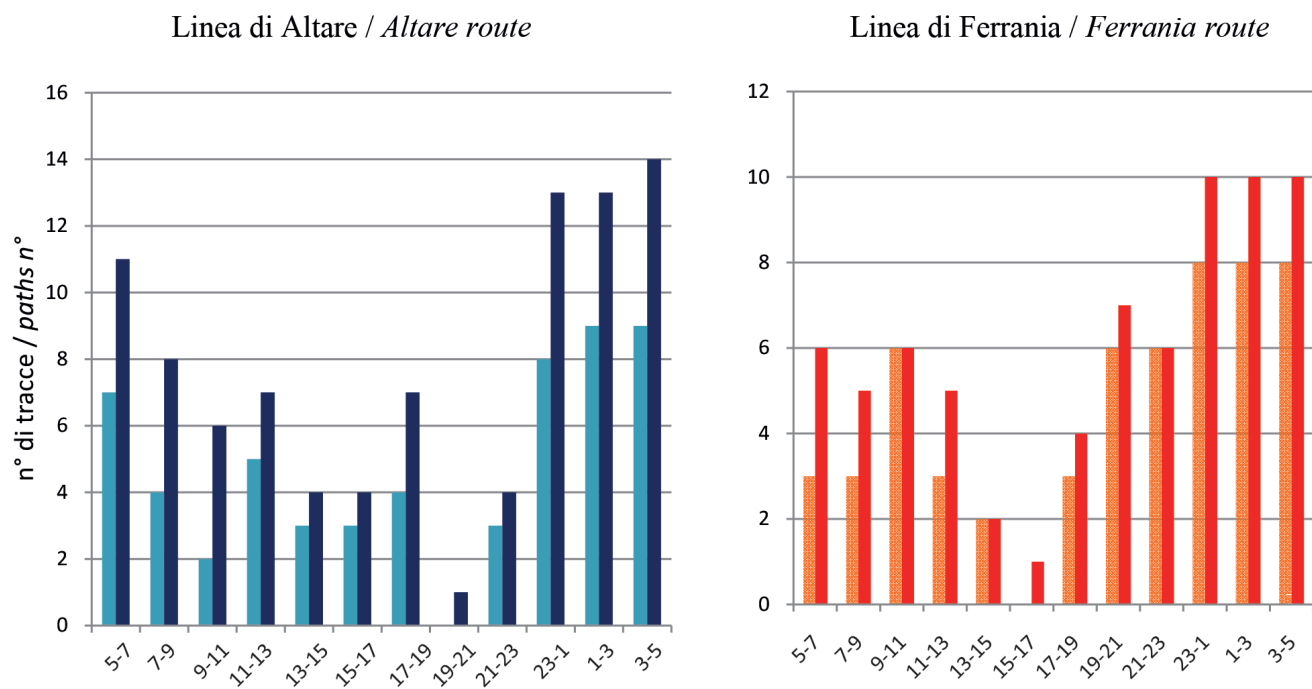


Fig. 13 - Confronto tra i risultati ottenibili nella condizione “base” (colori chiari) e quelli ottenibili con una modifica al sistema di segnalamento (colori scuri).

Fig. 13 - Comparison between the results of the baseline scenario (light colours) - and of those obtained through modifications of the signalling system (dark colours).

mentre il passeggeri percorre la via diretta. Tuttavia ciò non risulta attuabile nella presente situazione, in quanto i moduli di binario delle stazioni intermedie (lunghe rispettivamente 390 e 259 m) sono notevolmente inferiori rispetto alla lunghezza dei treni merci “lunghe”. Per ovviare a questo problema sono state prese in considerazione due distinte soluzioni, compatibili con i convogli lunghi 454 m:

- il treno merci giunge alla stazione intermedia in anticipo rispetto al suo incrociante e va a fermarsi in corrispondenza del segnale di partenza del binario di corretto tracciato. Il convoglio viaggiatori è invece inviato in deviated e si arresta in corrispondenza della banchina. A questo punto il convoglio merci è autorizzato a ripartire, in quanto la via è ora libera; non appena esso abbia liberato gli scambi posteriori il treno passeggeri sarà autorizzato a sua volta a partire;
- il treno viaggiatori giunge per primo alla stazione di incrocio e ferma in corrispondenza della piattaforma sul binario di incrocio in deviated. Il treno merci, giungendo successivamente, attraversa la stazione senza arrestarsi. Una volta passato, il convoglio passeggeri potrà ripartire.

In questo studio si è scelto di privilegiare la prima soluzione, in quanto è quella che presenta il minor impatto sulla circolazione. Infatti da orario la gran parte dei convogli passeggeri già prevede una sosta nelle stazioni intermedie; di conseguenza l’implementazione degli incroci

changed (because they are mainly influenced by the global length of the line). Therefore these modifications of the signalling system produce benefits only in the case that two trains follow each other, running in the same direction. Nevertheless the headways reduction allows to dispatch trains with higher frequency causing a remarkable improvement of available capacity. In these conditions 92 paths per day via Altare (with a gain of 35 paths if compared to the second-attempt simulation) and 72 via Ferrania (with an increase of 27 paths) are available.

Fig. 12 displays that the modification of the signalling system causes significant improvements in the distribution of paths along the day. In particular there are no more time slots in which Savona yard could not send trains to Piedmont or receive trains coming from S. Giuseppe. This scenario could grant a sufficient regularity for the railway terminals which serve Vado port.

Fig. 13 presents a comparison for each line considering the baseline configuration (using 454 m long trains) and the improvement of the signalling system. Altare route presents a sharp increase, featuring 1 to 5 trains per each time slot; the gain is lower for Ferrania route (3 more paths in 17:00-19:00 slot) while some slots have not gained any benefit.

4.5. Crossings in intermediate stations

Finally one more scenario has been investigated. One of the most relevant hypothesis so far assumed is that freight

OSSERVATORIO

nella modalità descritta non causerebbe significativi ritardi rispetto all'attuale traffico. Al fine di assicurare la robustezza di questa soluzione si è previsto un significativo tempo cuscinetto tra l'istante di arrivo del treno merci e di quello passeggeri (determinato dall'orario) nelle stazioni intermedie. In questo studio, questo tempo cuscinetto è stato posto pari a circa due minuti.

Il primo diagramma riportato in fig. 14 rappresenta un esempio di incrocio tra un convoglio merci ed uno passeggeri in una stazione intermedia. La linea rossa rappresenta il moto di un treno merci in viaggio da Savona verso S. Giuseppe, quella blu un convoglio passeggeri con direzione opposta. La testa del treno merci si arresta in

trains do not cross other trains in intermediate stations. This is actually a strong constraint for capacity. A possible solution could be to allow and schedule crossings between freight and passenger trains in intermediate stations. The current custom states that, in case of crossing, the freight train is routed to a siding while the passenger train goes ahead on the main track. Nevertheless, this is impossible in the current situation because the sidings of the intermediate stations (390 and 259 m) are far shorter than the freight trains length. Therefore two different solutions, compatible with the 454 m long freight trains, have been analysed:

- *the freight train reaches the intermediate station before the opposite passenger one; it stops at the departure sig-*

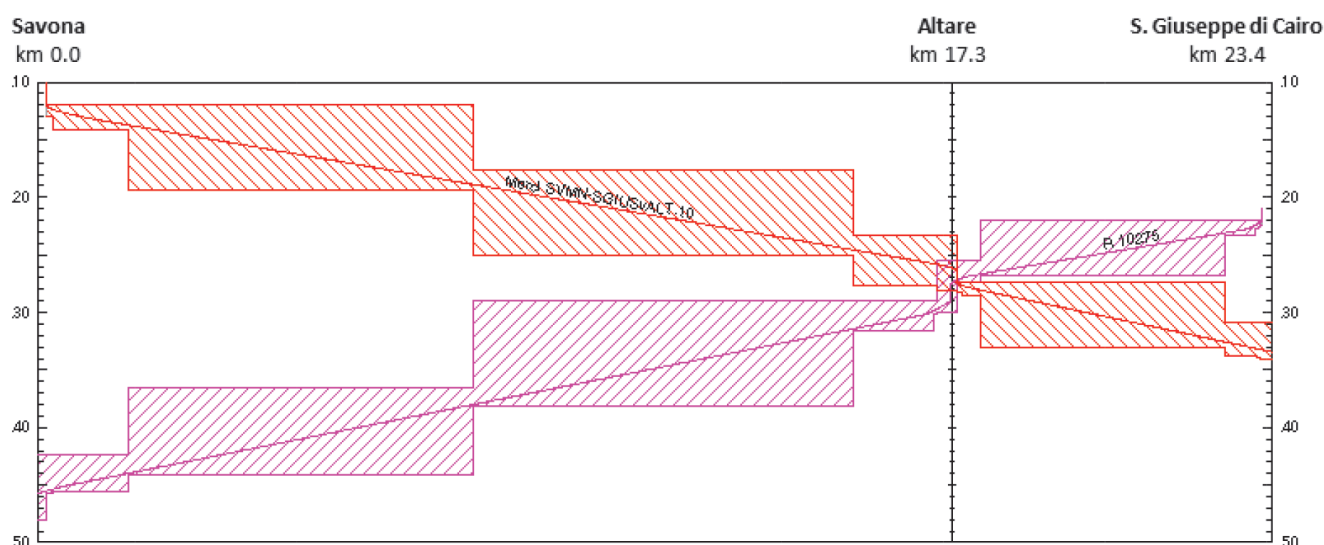
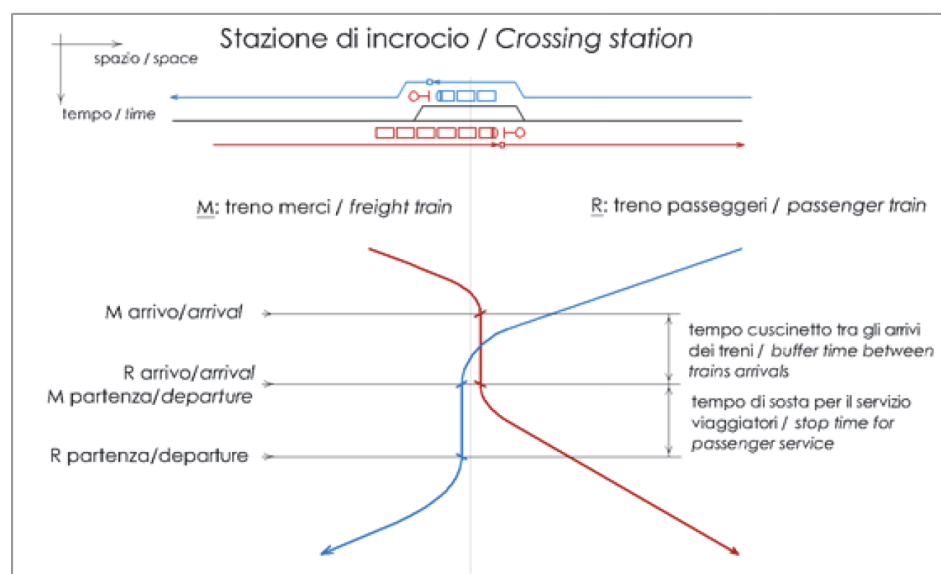


Fig. 14 - Schema rappresentante la modalità di incrocio tra treni merci e passeggeri nelle stazioni intermedie. Diagrammi di occupazione ricavati in OpenTrack per la linea di Altare.

Fig. 14 - Scheme of a freight train crossing a passenger one in an intermediate station. Occupation diagrams have been provided by OpenTrack for Altare line.

OSSERVATORIO

corrispondenza del segnale di partenza, posto poco oltre il Fabbricato Viaggiatori (rappresentato dalla linea grigia verticale). Esso ripartirà solamente quando il treno Regionale si sarà arrestato in corrispondenza della banchina e gli scambi in direzione di S. Giuseppe siano liberi.

Il secondo grafico di fig. 14 viene fornito come output da OpenTrack e rappresenta le tracce di un convoglio merci e di un Regionale che si incrociano nella stazione di Altare. I rettangoli tratteggiati stanno ad indicare i tempi di occupazione di ciascuna sezione di blocco. In particolare si può notare che la tratta compresa tra Savona ed Altare è suddivisa in quattro sezioni: le due estreme rappresentano le aree "appartenenti" alle due stazioni; i due blocchi centrali rappresentano invece le due sezioni di blocco che sono state ottenute al paragrafo precedente attraverso la creazione di un posto di blocco automatico intermedio.

È necessario sottolineare come questa soluzione di incroci presenti i vincoli operativi tipici di un *incrocio con entrata in simultanea*, nel quale due treni si muovono contemporaneamente all'interno della stazione su itinerari convergenti. Nel caso considerato, infatti, l'itinerario del treno passeggeri convergerebbe sui deviatori occupati dalla coda del convoglio merci. Pertanto, in mancanza di accorgimenti dedicati (tronchini di salvamento), il treno merci risulterebbe protetto solo dal segnale di partenza, disposto a via impedita per il treno passeggeri. Anche se la presenza del SCMT (Sistema di Controllo Marcia Treno) può ridurre in maniera significativa il rischio di incidenti dovuti ad eventuali superamenti indebiti del segnale a via impedita, il Regolamento Circolazione Treni di RFI ([15], sezione 4, paragrafo 15) stabilisce i requisiti tecnologici ed infrastrutturali che una stazione deve possedere affinché siano permessi gli incroci simultanei. Le stazioni di Altare e Santuario non rispettano i requisiti richiesti a tale proposito, pertanto le soluzioni operative basate sul modello di incrocio descritto saranno effettuabili solo a seguito ad un adeguamento del sistema di segnalamento e della topologia del piano binari.

Introducendo questo tipo di incroci sarebbe possibile ottenere 9 tracce aggiuntive giornaliere via Altare e 12 via Ferrania. Questo guadagno risulta tanto più significativo se si pensa che esse sono tutte concentrate nelle ore diurne della giornata e, in particolare, in quelle fasce orarie maggiormente interessate dal traffico passeggeri. In tal modo risultano disponibili 101 tracce al giorno via Altare (di cui 61 comprese nella fascia 5:00-23:00) ed 84 via Ferrania (di cui 54 nelle ore diurne).

5. Considerazioni finali

5.1. Confronto tra la capacità disponibile e le richieste dei porti di Savona e Vado

Sulla base di informazioni fornite dall'Autorità portuale di Savona-Vado (seconda metà del 2014), si prevede che il traffico generato dal nuovo terminale APM di Vado raggiunga un volume di 418000 TEU/anno all'apertura

of the main track. The passenger train is routed to a siding and stops at platform. Then the freight train is allowed to depart, since the tracks in front of it are now clear. As soon as it clears the rear station points, the passenger train too is allowed to depart.

- the passenger train first arrives at the station and stops at platform, in a siding. The freight train, coming later, crosses the station without stopping. Once it is passed, the passenger train can depart.

In this study the first solution has been considered, since it has minor consequences on passenger traffic. In fact, the largest part of passenger trains already features a service stop in intermediate stations; therefore scheduling crossings according to the abovementioned procedure would not cause significant delays to the current traffic. For improving stability a significant buffer time between the scheduled arrivals of freight and passenger trains has been introduced in intermediate stations. In this study, this buffer time has been set equal to about two minutes.

The first graph of fig. 14 displays an example of a freight train crossing a passenger one in an intermediate station. The red line represents the run of a freight train travelling from Savona to S. Giuseppe, the blue line the path of a passenger train running in the opposite direction. The head of the freight train stops at the departure signal, located slightly beyond the station building (represented by a grey vertical line). The Regional train stops at the platform, clearing the turnouts heading to S. Giuseppe, and the freight train is then allowed to depart.

The second diagram of fig. 14 is provided as an output by OpenTrack and illustrates the paths of a Regional and a freight trains which meet in Altare station. Dashed rectangles display the occupation time slot of each block section. In particular, it is possible to notice that the stretch between Savona and Altare is split into four sections. The two extremity ones belongs to station areas, while the two central rectangles refer to the two block sections obtained by splitting into two parts the whole stretch thanks to an intermediate automatic block signal.

It must be highlighted that this crossing solution features the operational constraints typical of a crossing with simultaneous entrance, in which two trains move at the same time on converging station routes. As the matter of facts the station route of the passenger train meets the turnouts occupied by the tail of the freight train. Therefore, without specific measures (dead ends), the freight train would be protected only by the departure signal, displaying a "red" aspect to the passenger train. Even if the automatic train protection system (SCMT, Sistema di Controllo Marcia Treno) adopted by Italian Railways can significantly reduce the occurrence of accidents caused by undue overpassings of red signals, the Regulations for Trains Operations of RFI [14] (Regolamento Circolazione Treni, section 4, paragraph 15) describe the technological and infrastructural features that a station must have for allowing safe simultaneous crossings. Altare and Santuario stations

OSSERVATORIO

(prevista nel 2018) per poi attestarsi a 720000 TEU/anno nel corso del seguente decennio. Tali previsioni si basano su uno studio condotto da APM Terminals. L'APSV si attende che circa il 40% del traffico complessivamente generato si muova via ferrovia su lato terra [15]. Una volta che il terminale sia pienamente operativo, il reale successo della modalità ferroviaria (e la sua rilevanza in termini percentuali) sarà legato tanto all'efficienza del servizio offerto quanto alla competitività delle tariffe.

Sulla base delle previsioni precedentemente citate, la suddivisione del traffico tra le varie direttrici sarà la seguente:

- Savona-Genova: 10%;
- Savona-S. Giuseppe-Alessandria: 70%;
- Savona-S. Giuseppe-Torino: 20%.

Di conseguenza la tratta Savona-S. Giuseppe dovrà sopportare il 90% del traffico complessivo. Questa previsione fa riferimento al periodo immediatamente successivo all'apertura dell'impianto, caratterizzata soprattutto da un servizio rivolto all'Italia Nord Occidentale (con servizi di treni navetta diretti all'Interporto di Rivalta Scrivia, al Polo Logistico di Mortara ed all'Interporto di Mondovì). La ripartizione potrebbe subire cambiamenti nel caso in cui in un successivo futuro siano stabiliti servizi verso Svizzera, Austria e Baviera [16].

Allo stato attuale gli studi effettuati dall'Autorità Portuale prevedono un traffico ferroviario in ingresso/uscita dal terminale di Vado quantificabile in 15÷18 treni al giorno. Se si prende in considerazione la precedente previsione, le linee dirette verso S. Giuseppe sarebbero interessate da un traffico di 13÷16 treni merci al giorno (riferiti ad una giornata media "tipo").

È utile valutare quante tracce aggiuntive risultino necessarie in condizioni medie per soddisfare il fabbisogno del nuovo impianto (tabella 8). A tal fine si può assumere che il porto lavori 350 gg/anno (determinati tenendo conto delle principali festività oltre che di altri fermi dovuti alle più svariate ragioni) e che il traffico sia equamente distribuito nel corso dell'anno. Si può anche a ragione ipotizzare che i flussi di traffico lato terra siano bilanciati tra ingresso e uscita, condizione necessaria per consentire un utilizzo efficace e competitivo della modalità ferroviaria.

La tabella 8 evidenzia come nelle attuali condizioni l'infrastruttura offra una capacità residua, calcolata nell'arco della giornata, sufficiente a fare fronte alla futura domanda generata dal porto. Tuttavia l'obiettivo primario di questo lavoro non consiste nel determinare il massimo numero di treni ottenibili in termini assoluti, quanto piuttosto proporre soluzioni operative che producano tracce aggiuntive ad uso merci durante tutto l'arco della giornata. Infatti questa è *conditio sine qua non* affinché le merci possano attraversare rapidamente il porto: gli scali del *Northern Range* hanno dimostrato che tanto più l'infrastruttura è celere a gestire i containers maggiore sarà la sua capacità di attrarre grandi navi.

do not present the required characteristics, therefore the timetable solutions based on this crossing model would be feasible only if upgrades of the station interlocking and of the tracks layout will be carried out.

9 additional paths per day via Altare and 12 via Ferrania have been obtained by introducing this type of crossings. This gain has an high relevance thanks to the fact that the extra paths are all concentrated during the diurnal hours of the day and, above all, in those time slots showing the most intense passenger traffic. In these conditions 101 paths per day via Altare (of which 61 between 5:00 and 23:00) and 84 via Ferrania (54 in diurnal hours) would be available.

5. Final considerations

5.1. Comparison between the available capacity and the needs of Savona-Vado ports

According to information provided by Savona-Vado Port Authority (second half of 2014), the freight traffic due to the new APM terminal in Vado Ligure will reach a volume of 418000 TEU/year at the plant opening (foreseen in 2018) and then, during the subsequent decade, it will grow up to 720000 TEU/year. This figures have been sketched out by an internal study carried out by APM Terminals. Moreover, APSV expects that about the 40% of the whole traffic would move inland by railway [15]. When the plant will be in full operation, the real success of rail freight transportation (and its relevance in percentage) will be due both to the quality of the offered services and to the competitiveness of the relevant fares.

Accordingly to the abovementioned forecasts, the partition of the railway freight flows between the different destinations is listed as follows:

- Savona-Genoa: 10%;
- Savona-S. Giuseppe-Alessandria: 70%;
- Savona-S. Giuseppe – Turin: 20%.

Therefore the Savona-S. Giuseppe route would carry the 90% of the whole traffic. This forecast refers to a first period – just after the plant opening – which would mainly be characterised by services towards Northern Italy. Further in the future such flows are expected to change, since services towards Switzerland, Austria and Bayern could likely be established.

At present, the forecasts developed by the Port Authority would imply a railway traffic to and from Vado terminal equal to 15-18 trains per day. If the abovementioned partition is taken into account, 13-16 freight trains per day (referring to an average day) would concern the lines heading to S. Giuseppe.

It is useful to evaluate how many available paths would be required in average conditions for satisfying the needs of the new plant (table 8). It can be assumed that the port works 350 days per year (considering the main holidays

OSSERVATORIO

TABELLA 8 – TABLE 8

Confronto tra i risultati ottenuti per i diversi scenari confrontati con la domanda attesa dal porto di Vado. Le limitazioni sulla corrente assorbita, ove non espressamente specificato, sono trascurate
Comparison between results obtained for the various scenarios and the demand expected for Vado port. Constraints on absorbed electrical current are neglected, if not differently specified

N° di tracce merci per giorno per direzione di marcia <i>Daily freight paths per day per run direction</i>	Offerta <i>Offer</i>		Domanda (stimata) <i>Demand (estimate)</i>	
	Altare	Ferrania	All'apertura <i>At plant opening</i>	A regime <i>In full operation</i>
Treni lunghi 592 m (56 TEUs), infrastruttura attuale <i>Trains length 592 m (56 TEUs), today's infrastructure</i>	55	51	4	7
Treni lunghi 454 m (42 TEUs), infrastruttura attuale <i>Trains length 454 m (42 TEUs), today's infrastructure</i>	57	55	5	9
Treni lunghi 454 m (42 TEUs), limite sulla corrente assorbita <i>Trains length 454 m, limit on energy absorption</i>	43	52	5	9
Treni lunghi 454 m (42 TEUs), limite sulla corrente assorbita e carico utile pari all'85% <i>Trains length 454 m, limit on energy absorption and payload 85%</i>	57	53	5	9
Treni lunghi 454 m (42 TEUs), modifiche del segnalamento senza incroci intermedi <i>Trains length 454 m, modification in signalling system without crossings</i>	92	72	5	9
Treni lunghi 454 m (42 TEUs), modifiche del segnalamento e programmazione di incroci <i>Trains length 454 m, modification in signalling system and introduction of crossings</i>	101	84	5	9

La fig. 15 propone un confronto tra i risultati ottenuti nel corso delle simulazioni condotte, concentrando l'attenzione non tanto sul numero di tracce complessivamente disponibili quanto piuttosto sulla loro distribuzione temporale nell'arco della giornata. La condizione assunta come riferimento è quella sviluppata utilizzando treni lunghi 454 m senza limitazioni sull'assorbimento di corrente elettrica (supponendo cioè un potenziamento della rete di alimentazione).

Nella condizione base la principale problematica consiste nel fatto che in alcune fasce orarie non sono disponibili tracce tali da permettere traffico merci in ambo le direzioni. Poiché la preparazione di un convoglio merci all'interno di un terminale portuale spesso non rispetta le tempistiche prestabilite, l'assenza di tracce in alcune ore potrebbe pregiudicare la regolarità del servizio; infatti un treno che venisse approntato in ritardo potrebbe dover attendere alcune ore prima di disporre di una nuova traccia. Ciò potrebbe costituire un vulnus per il trasporto su rotaia: sulle medie percorrenze il confronto con la modalità stradale infatti, oltre che in termini di costo, si gioca in termini di puntualità ed efficienza del servizio. Ovviamente la modalità stradale è avvantaggiata dal non essere sottoposta ai rigidi vincoli dati dalla gestione del traffico ferroviario.

È poi necessario che i binari operativi del terminale ferroviario del porto di Vado non rimangano occupati da convogli pronti a partire ma in attesa di una traccia disponibile. In questo senso sarebbe utile che i treni sostassero nel terminale solo per il tempo strettamente necessa-

and some other stops due to various reasons) and that freight traffic is evenly divided along the year. Moreover inland freight traffic can be assumed to be balanced in the two direction, which is a condition necessary for having a competitive and effective use of railway transportation.

Table 8 highlights how the infrastructural offer, calculated on the whole daytime, would be definitely sufficient - already in the current situation - for matching the future demand of the port. Though, the main aim of this study is not to investigate the maximum number of daily paths in absolute terms, but rather to point out operational solutions for having extra freight paths available evenly during the 24 hours. In fact this is an essential condition for allowing goods to cross quickly the port: Northern Range ports highlighted that the more the infrastructure is prompt to handle ITUs the more it is attractive for large vessels.

Fig. 15 proposes a comparison of the results obtained in the previous simulations, focusing the attention not only on the overall number of available daily paths but also on their distribution along the daytime. The baseline scenario is that calculated considering 454 m long trains without constraints on energy absorption (therefore assuming the upgrade of the electrical power supply).

In the baseline scenario the main issue is that in some time slots there are no paths for ensuring freight traffic in both the directions. The preparation of a freight train within a port terminal often does not respect the scheduled

OSSERVATORIO

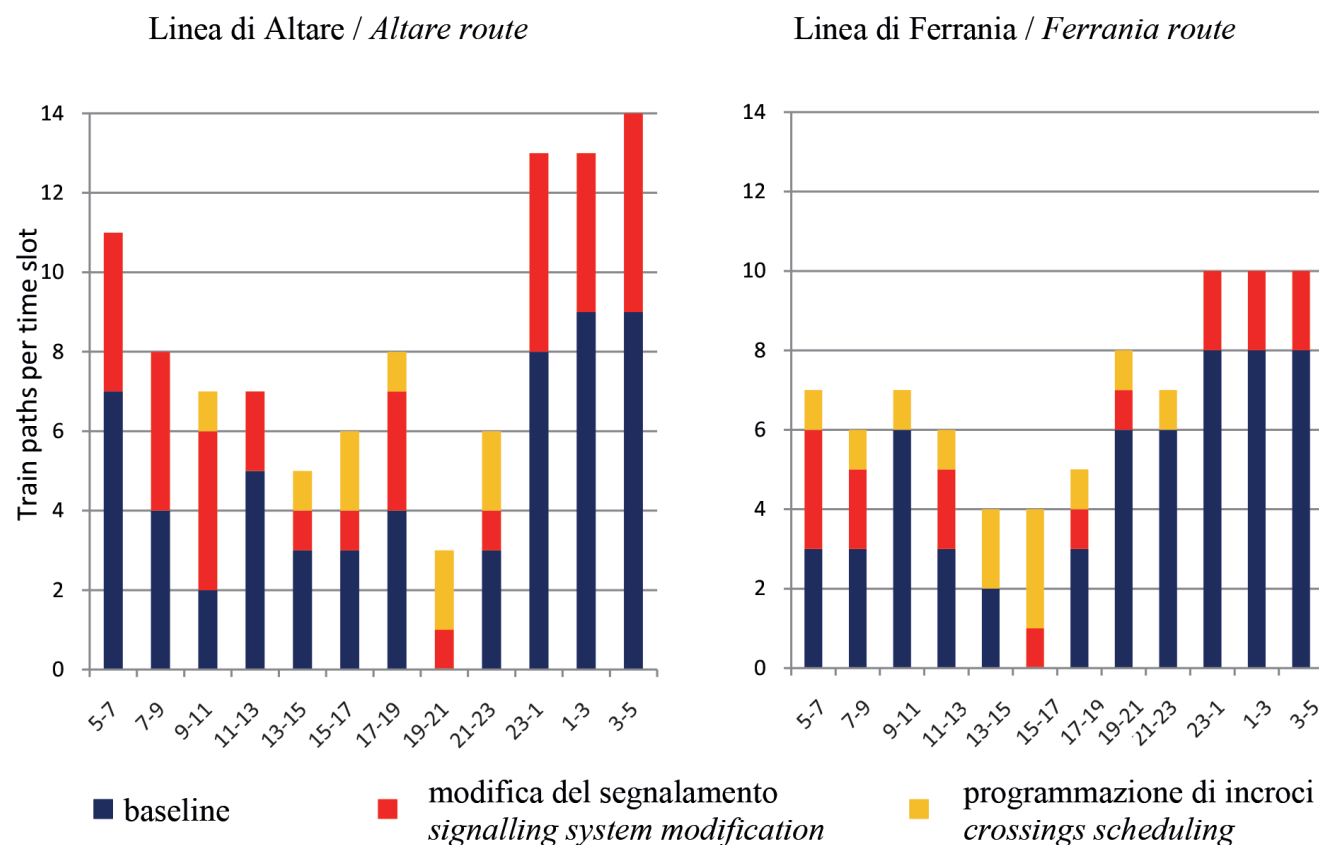


Fig. 15 - Confronto generale delle nuove tracce disponibili in ciascuna fascia oraria.
 Fig. 15 - Global comparison of the extra available paths in each time slot.

rio alle operazioni di movimentazione delle merci: una volta pronti oppure in attesa di essere scaricati dovrebbero sostare in un altro luogo, al fine di minimizzare le operazioni di manovra all'interno del terminale. A tale proposito, in [5] si afferma che nel 2014 erano in corso trattative tra l'Autorità Portuale e RFI per l'acquisizione e il rinnovamento della stazione ferroviaria di Vado Ligure Zona Industriale. L'impianto dispone di 9 binari elettrificati e l'Autorità Portuale intenderebbe concentrarvi tutte le operazioni di composizione e verifica dei convogli.

La capacità "reale" delle linee, sulla base delle loro attuali caratteristiche, è limitata dalla massima corrente assorbibile. Di conseguenza il potenziamento della rete di alimentazione costituisce senza dubbio il primo passo in vista di uno sfruttamento più intensivo dell'infrastruttura dal punto di vista del trasporto merci.

Un'osservazione interessante può anche essere condotta a proposito della lunghezza dei treni. Come precedentemente riportato, le caratteristiche dell'impianto ferroviario di S. Giuseppe di Cairo limitano la lunghezza dei convogli a 460 m; tuttavia la tabella 8 dimostra come, a parità di tutte le altre condizioni, treni di lunghezza prossima ai 600 m permetterebbero di movimentare la stessa quantità di merce utilizzando un numero minore di convogli. Considerando che ciascuno di essi richiede due lo-

timetable, therefore if no paths are available in certain time slots the steadiness of operations could be hindered. In fact, a train affected by a preparation delay could have to wait for some hours in order to have a new path available for leaving the terminal. This could be an hindrance for rail transport, since on medium distances the competitiveness with road mode is influenced by the punctuality and the efficiency of the service, besides by the transport costs. Obviously, road transport is advantaged since it has not to comply with the stiff constraints given by the rail traffic management.

Another key point for an effective rail transport is that the operational tracks of Vado terminal should not be occupied by trains - ready to depart - which wait for an available path. As a consequence, trains should stay within the terminal just for the time strictly necessary for handling ITUs. Trains, which are ready or which are waiting to be processed, should be parked in another place, in order to minimise the shunting operations within the terminal. As reported in [5], in 2014 the Port Authority carried on negotiations with RFI for the acquisition and the upgrade of Vado Ligure Zona Industriale station. This station features 9 electrified tracks and the Port Authority foresees to perform there all the activities related to the composition and the verifications of trains.

OSSERVATORIO

comotive, tre macchinisti e l'acquisto di una traccia, effettuare 7 treni al giorno per direzione invece che 9 avrebbe conseguenze positive sulle tariffe di trasporto. Se poi si adottasse la modalità di incrocio precedentemente descritta si potrebbe, quantomeno in linea teorica, utilizzare treni merci "lunghi" con il solo adeguamento dello scalo di S. Giuseppe.

La modifica del sistema di segnalamento permetterebbe di inviare treni con una frequenza maggiore e, conseguentemente, garantire un rilevante incremento della capacità residua. Il beneficio principale sarebbe l'assenza di fasce orarie in cui l'impianto di Savona non potrebbe inviare treni verso il Piemonte oppure riceverne. L'intervento proposto si integrerebbe inoltre facilmente con il sistema di segnalamento attualmente in uso e presenterebbe costi di implementazione relativamente contenuti.

L'introduzione di incroci tra treni merci e passeggeri nelle stazioni intermedie, qualora introdotta, permetterebbe uno sfruttamento ancora più intensivo delle linee esaminate. Tuttavia l'insufficiente lunghezza dei binari di incrocio nelle stazioni di Altare e Santuario non permette loro di essere impegnati da treni merci "lunghi" a meno di non effettuare gli incroci in maniera anomala, se confrontata con consuetudini e regolamenti delle Ferrovie. Affinché tale soluzione sia fattibile, dovrebbero essere effettuati degli interventi sugli impianti di stazione.

Questo lavoro ha evidenziato come l'utilizzo delle linee ferroviarie che connettono Savona a S. Giuseppe di Cairo in vista di un trasporto merci intensivo comporti la necessità di un potenziamento dell'infrastruttura e l'adozione di nuove soluzioni operative. Alcuni di questi interventi sono necessari (potenziamento del sistema di alimentazione elettrica), altri potrebbero essere eventualmente adottati (modifica del sistema di segnalamento ed organizzazione di incroci).

5.2. Conclusioni e possibili sviluppi

In fig. 16 è riportato uno schema logico che rappresenta sinteticamente il metodo seguito nell'ambito di questo lavoro. Il punto di partenza è consistito nel raccogliere le informazioni fondamentali riguardanti la tratta in esame: le sue caratteristiche infrastrutturali (livellette, raggi di curvatura, posizione di elementi significativi,...), la composizione e le caratteristiche dei convogli che la percorrono, l'orario dei treni. Tali informazioni sono state inserite nel modello creato nell'ambiente OpenTrack. Il software ha fornito come output sotto forma numerica i dati riguardanti il moto di ciascun treno (spazio e velocità in funzione del tempo); tali dati sono stati inseriti all'interno di un algoritmo di MS Excel (creato ad hoc) che, sulla base delle equazioni descritte al paragrafo 3.1., ha permesso di calcolare i distanzamenti minimi per ogni coppia di treni che percorrono le linee in ambo le direzioni. Conoscendo tali distanzamenti e disponendo dell'orario ferroviario viaggiatori si è poi proceduto manualmente ad inserire le tracce merci aggiuntive ove possibile.

The real capacity of railways, according to their current features, is reduced by the maximum admitted current absorption. Therefore an upgrade of the electrical power supply is doubtless the first step required in sight of an intensive use of these lines for freight transportation.

An interesting observation regarding the length of the trains can also be drawn. As reported before, the characteristics of S. Giuseppe station restrict the trains length down to 460 m; nevertheless, table 8 points out that, all the other conditions being fixed, trains slightly shorter than 600 m could allow to transport the same amount of goods using fewer trains. Considering that each of them requires two locomotives, three drivers and the purchase of a path, to operate 7 daily trains per direction instead of 9 would have positive consequences on the relevant shipping costs. Moreover, if the crossing method proposed in section 4.5. was adopted it would be possible, theoretically, to use "long" freight trains by only upgrading S. Giuseppe yard.

The modification of the signalling system would allow to dispatch trains with higher frequency and cause a remarkable improvement of available capacity. The main benefit would be the absence of time slots in which Savona yard could not send trains to Piedmont or receive ones in turn. The proposed upgrades, moreover, could be easily integrated with the current signalling system with relatively low costs.

To schedule crossings between freight and passenger trains in the intermediate stations would allow an even heavier use of the lines. However the insufficient length of the sidings of Altare and Santuario stations does not allow their use by freight trains and a new crossing pattern has been proposed, which does not comply with the current customs of Italian Railways. In order to make it feasible, some interventions on the interlocking of the intermediate stations should be performed.

This work has pointed out that the use of the lines connecting Savona to S. Giuseppe di Cairo for intensive freight transport would involve the need for improvements of infrastructure and of operational solutions. Some are strictly required (the upgrade of the electrical power supply); others could be possibly adopted (signalling system modification and crossing management).

5.2. Conclusions and further developments

In fig. 16 a logical workflow is reported, which concisely sums up the method followed in this work. The first action has been to gather the fundamental information about the concerned railways, namely: its infrastructural characteristics (gradients, curve radii, position of significant elements, ...); the composition and the characteristics of the trains; the timetable. These information have been modelled in OpenTrack, which returned as a numerical output the description (space and speed as functions of the time) of the run of each train type. These data have been utilised by an algorithm developed in MS Excel, which calculated

OSSERVATORIO

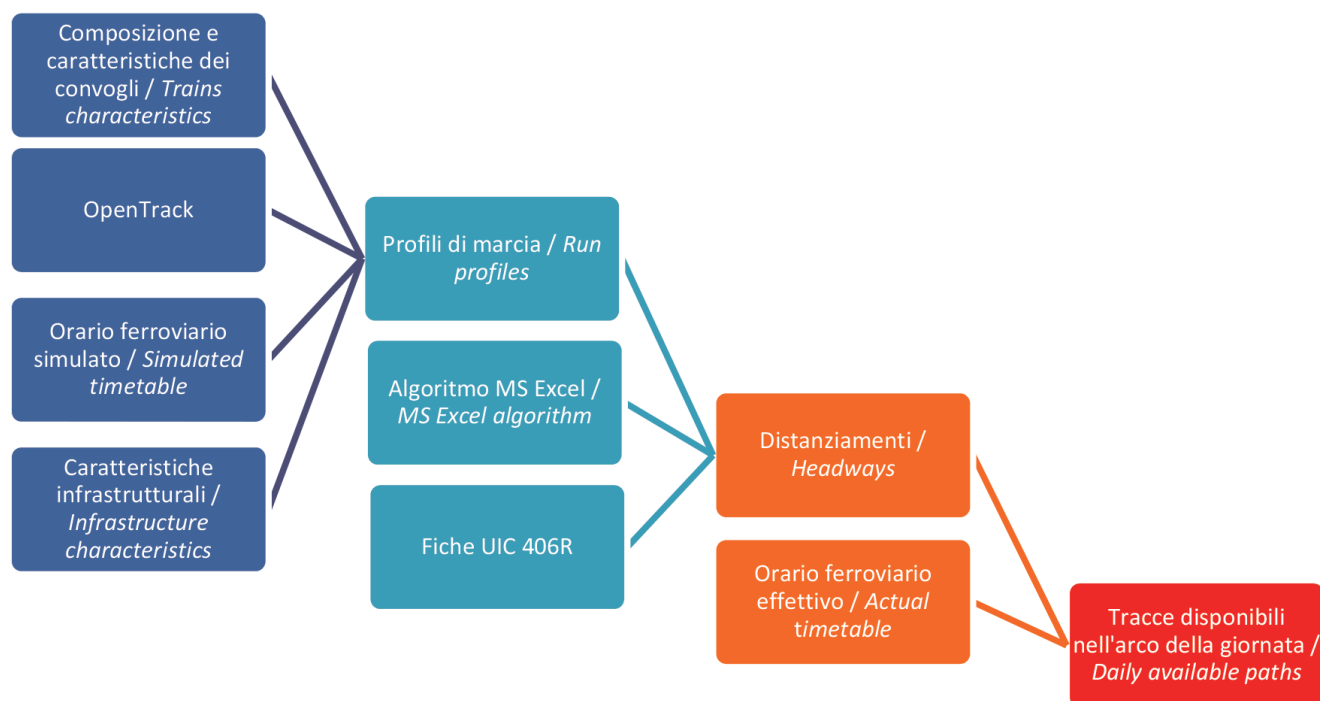


Fig. 16 - Schema logico rappresentante il metodo seguito in questo lavoro.

Fig. 16 - Logical workflow of the method followed in this study.

Tale metodologia, così come applicata in questo lavoro, ha fornito risultati apprezzabili ma ha anche mostrato alcuni limiti. In particolare è importante sottolineare il rilevante numero di ore/uomo necessarie ad ottenere i risultati discussi in questo articolo: i dati numerici generati dal software sono stati infatti manualmente trasferiti all'algoritmo di Microsoft Excel, creato per l'occasione e tarato sulla specifica tratta, per il loro trattamento e l'estrazione dei distanziamenti. A questo punto si è reso nuovamente necessario l'intervento diretto dell'utente per stabilire dove fosse possibile inserire tracce merci aggiuntive all'interno dell'orario viaggiatori di Trenitalia.

Al di là del tempo necessario a svolgere quest'ultima operazione, essa è stata resa possibile dal fatto, invero piuttosto inusuale, che ciascuna delle due linee viene sfruttata in modo unidirezionale dal traffico merci. Si tratta quindi di un caso particolare, semplificato, del problema dell'ottimizzazione del traffico ferroviario. In condizioni ordinarie, al contrario, risulterebbe estremamente complesso generare manualmente un sistema di tracce merci (prossimo alla saturazione) bilanciato tra le due direzioni. Sorgerebbero infatti problemi di determinazione della soluzione ottimale, portando alla necessità di studiare parallelamente differenti soluzioni.

La metodologia qui presentata potrebbe essere implementata con l'ausilio di uno strumento informatico integrato, in grado cioè di gestire al proprio interno tutto il processo di calcolo della potenzialità indipendentemente dalla tratta in esame e dalle caratteristiche del traffico merci e passeggeri. Esso dovrebbe partire dalla simula-

the minimum headways for each couple of train classes making use of the equation described in section 3.1. Once computed these headways and having the current passenger timetable available, the extra freight paths have been "manually" determined.

The method utilised in this work provided remarkable results but showed some limitations too. In particular, it is worthwhile to highlight out the significant amount of hours/person necessary to obtain the results described in this paper. The numerical data provided by OpenTrack have been manually transferred into the MS Excel algorithm, specifically developed and calibrated on the analysed lines. At this point a direct manual intervention was again required in order to check were extra freight paths were compatible with Trenitalia's passenger timetable.

This operation took a significant amount of time, and it was actually feasible thanks to the fact, rather unusual, that freight traffic is unidirectional on each line. It is therefore a singular and simplified case of the rail traffic optimisation problem. In regular conditions, on the contrary, it would be rather difficult to manually arrange a freight paths system (in saturation condition) balanced in the two run directions. Issues in determining the optimal solution would likely arise, thus requiring to analyse simultaneously different solutions.

The approach presented in this paper could be implemented within an integrated tool, able to manage the whole capacity evaluation process, independently from the characteristics of the analysed line and of the freight or passen-

OSSERVATORIO

zione del moto dei convogli lungo la linea, procedendo poi a ricavare i distanziamenti minimi e generando infine una soluzione operativa (un orario dunque) basata sul calcolo di un ottimo condizionato. All'operatore rimarrebbe sempre e comunque il compito di verificare la soluzione prodotta dall'algoritmo, andando a depurarla ove essa presenti risultati non conformi dal punto di vista pratico. Un algoritmo che risponda a queste esigenze è attualmente in fase di sviluppo da parte di uno degli autori. Esso è stato impiegato con buoni risultati per l'analisi delle tratte S. Giuseppe-Torino e S. Giuseppe-Alessandria, attualmente in fase di studio quale naturale prosecuzione e completamento del lavoro qui presentato.

ger traffic. It should start from the simulation of the run of trains along the line, obtaining the minimum headways and providing an operational solution (a timetable) based on the calculation of a constrained optimum. The user should anyway check the solution provided by the algorithm, amending it if it does not features feasible results from a practical point of view. Such an integrated tool is currently being developed by one of the authors. It has been used successfully for analysing the lines S. Giuseppe-Turin and S. Giuseppe-Alessandria, which are currently being analysed as a natural prosecution and finalisation of the study presented in this paper.

BIBLIOGRAFIA - REFERENCES

- [1] PALOTTO F., *"Potenzialità delle linee ferroviarie retrostanti il sistema portuale di Savona-Vado: ottimizzazione per il trasporto intermodale"*, Tesi di Laurea Magistrale, Politecnico di Torino, 2014.
- [2] European Commission, *"White Paper on transport. Roadmap to a Single European Transport Area – Towards a competitive and resource efficient transport system"*, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2011.
- [3] Eurostat, data available on the website ec.europa.eu/Eurostat, consulted on 16/09/2014.
- [4] APM Terminals, *"Vado Ligure – un nuovo sistema portuale"*, 2010. PDF file available online at the address www.shippingtech.it/PDF/convegni%202010/8sviluppo2/Jens_Peder_Nielsen.pdf, consulted on 25/04/2015.
- [5] Autorità Portuale di Savona, *"The port of Savona Vado"*, internal report kindly provided by the Port Authority, 2014.
- [6] Rete Ferroviaria Italiana (RFI), Fascicoli di Linea 8, 11, 71, 75, 2014.
- [7] International Union of Railways (UIC), *"Capacity. UIC code 406 R"*, 2nd edition, 2012.
- [8] HANSEN I., PACHL J., *"Railway Timetabling and Operations"*, 2nd edition, Eurailpress, Hamburg, Germany, 2014.
- [9] REITANI G., MALASPINA R., *"La potenzialità di circolazione ferroviaria su linee a singolo binario: un modello di calcolo"*, Ingegneria Ferroviaria, 8(50), pp. 616-623, Agosto 1995.
- [10] COVIELLO N., DALLA CHIARA B., NELLDAL B.-L., *"An assessment model of the single-track line carrying capacity: influence of the signalling system and application to the Trans-Mongolian railways"*, Ingegneria Ferroviaria, 7-8(69), pp. 627-651, Luglio-Agosto 2014.
- [11] GALAVERNA M., SCIUTTO G., *"Influenza delle stazioni nella potenzialità di ferrovie a traffico misto"*, Ingegneria Ferroviaria, 12(54), pp.862-868, Dicembre 1999.
- [12] DELFINO A., GALAVERNA M., *"Blocco fisso e blocco mobile: analisi di potenzialità"*, Ingegneria Ferroviaria, 6(58), Giugno 2003.
- [13] LANDEX A., *"Evaluation of railway networks with single track operation using UIC 406 capacity method"*, Springer Science Business Media, LLC, 2008.
- [14] LINDNER T., PACH J., *"Recommendations for enhancing UIC code 406 method to evaluate railroad infrastructure capacity"*, Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrssicherung (IfEV), Braunschweig, 2009.
- [15] Rete Ferroviaria Italiana (RFI), Regolamento Circolazione Treni, 2009.
- [16] Autorità Portuale di Savona, *"Piano operative triennale 2015/2017"*, internal report kindly provided by the Port Authority and available online at: www.porto.sv.it/porto/progetti/piano-operativo-triennale/item/download/1007.htm