

# Potenzialità di innovazioni tecnologiche rispetto alle prestazioni del trasporto ferroviario delle merci in Europa

## *Potentials of technological innovations with respect to rail freight transport performance in Europe*

Dott. Ing. Raffaele GRIMALDI<sup>(\*)</sup>  
Prof. Ing. Gabriele MALAVASI<sup>(\*\*)</sup>

### **1. Introduzione**

Il trasporto ferroviario copre oggi solo una piccola quota degli spostamenti di merci europei. Per aumentare il mercato, sembrano necessarie innovazioni decisive, che comportano modifiche tecniche ed organizzative.

Questo articolo analizza alcune esperienze esistenti di innovazioni tecnologiche mirate all'aumento delle prestazioni del trasporto ferroviario delle merci.

In particolare, analizziamo innovazioni relative ai sistemi di comando e controllo (posizionamento satellitare, verifica dell'integrità del treno da bordo e prospettive verso la completa automazione dei sistemi), alla composizione del treno (aggancio automatico) ed al trasporto intermodale di contenitori e semi-rimorchi. Sottolineiamo i potenziali benefici e costi e, laddove possibile, suggeriamo valori relativi agli ordini di grandezza.

Nel capitolo 2 proponiamo una rassegne delle analisi svolte relativamente alla situazione del trasporto ferroviario delle merci in Europa e dei problemi relativi all'adozione di innovazioni in un mercato frammentato e non ancora completamente liberalizzato. Nella capitolo 3 vengono presentate le esperienze relative ad innovazioni e ne vengono sottolineate le potenzialità ed i limiti. Nel capitolo 4 si svolge quindi un'analisi preliminare degli impatti potenziali sulla produttività del trasporto ferroviario delle merci di alcune soluzioni analizzate. Alcune considerazioni finali vengono quindi espresse nel capitolo 5.

### **1. Introduction**

*Rail transport covers only a small share of European freight movements. In order to extend the market, breakthrough innovations seem to be needed, involving both technical and organisational changes.*

*This paper reviews some existing experiences in technological innovations aimed at improving the performance of rail freight transport.*

*In particular, we analyse innovations related to command and control systems (satellite based positioning, onboard train integrity verification and perspectives towards complete system automation), train formation (automatic couplers) and intermodal transport of containers and semi-trailers. We outline potential benefits and costs and, where available, suggest figures about the involved order of magnitudes.*

*In section 2 we review past analyses related to the current rail freight transport situation in Europe and the problems related to the adoptions of innovations in a fragmented and still not completely liberalised market. In section 3 innovation experiences are presented and their potentials and limits outlined. We carry out an early analysis of potential impacts on the productivity of freight rail transport of some solutions analysed in section 4. Some final considerations are provided in section 5.*

### **2. Rail freight transport in Europe**

*The transition from a stock to a flow economy, based on just-in-time production systems, strongly weakened the role*

<sup>(\*)</sup> DASU – Politecnico di Milano, Italia.

<sup>(\*\*)</sup> DICEA – Sapienza Università di Roma, Italia.

<sup>(\*)</sup> DASU - Politecnico di Milano, Italy.

<sup>(\*\*)</sup> DICEA - Sapienza Università di Roma, Italy.

## 2. Il trasporto ferroviario delle merci in Europa

La transizione da un'economia "di magazzino" (*stock economy*) ad una "dei flussi" (*flow economy*), basata su sistemi di produzione in "pronta consegna" (*just-in-time*), ha fortemente indebolito il ruolo del trasporto ferroviario nello spostamento di merci attraverso l'Europa negli ultimi decenni [1]. Molti autori concordano nel ritenere che il miglioramento dell'affidabilità e la riduzione dei costi dei servizi ferroviari siano fattori chiave per un miglioramento delle prestazioni e della conseguente competitività ([1], [2], [3] e [4]).

Differentemente che in Europa, negli Stati Uniti il trasporto ferroviario di merci è stato in grado di recuperare importanti quote di mercato, dopo essere sceso come in Europa dal 60% delle ton-km negli anni '50 al 30% negli anni '80 [5]. Gli stessi autori hanno studiato la differenza di quota modale delle merci rispetto all'Europa (38% delle ton-km negli USA, contro l'8% nell'UE-15 nel 2000, nonostante il supporto pubblico alle ferrovie europee e maggiori tasse sui carburanti del modo stradale che con esse compete). La loro analisi suggerisce che solo l'83% di questa differenza può essere attribuita a fattori strutturali e geografici (distanze di spedizione più brevi, tipi di merci trasportate e cabotaggio marittimo più competitivo), mentre il rimanente – e non trascurabile – 17% è dovuto ad un divario di politiche e prestazioni in Europa (es., priorità attribuita al trasporto di passeggeri, mancanza di interoperabilità ai confini, qualità e prezzi dei servizi ed incentivi agli operatori). Se questo divario fosse colmato, gli autori suggeriscono che la quota modale del trasporto ferroviario di merci europeo potrebbe salire dall'8% al 13%.

Il trasporto ferroviario delle merci è oggi molto competitivo nel trasportare grandi flussi di merci su lunghe distanze, condizione che però caratterizza una piccola quota degli scambi europei (il 75% delle merci ha viaggiato su distanze inferiori ai 150 km nel 2001, mentre la media del raggio delle merci negli USA è stato di 1.350 km secondo [6]). L'attuale tendenza è quella di focalizzarsi sull'affidabilità e sul concetto di treni-blocco (*shuttle*), efficace sia in termini di costi che di tempi; questo riflette i principi della produzione di massa applicata ai trasporti per avvantaggiarsi delle economie di scala [7]. Tuttavia, per rendere il trasporto ferroviario più competitivo su spostamenti più brevi e flussi inferiori, una combinazione di innovazione tecnica ed organizzativa è necessaria: molte componenti interrelate devono essere simultaneamente sostituite da diversi attori ed operatori, la distribuzione dei costi e benefici connessi è spesso sbilanciata e gli ostacoli sono esacerbati dalla frammentazione del mercato europeo [7]. Inoltre, secondo [8], troppe tecnologie stanno cercando di competere in mercati troppo piccoli non ancora completamente liberalizzati ed integrati. Per questo motivo una collaborazione pubblico-privata chiamata *Shift2Rail* è stata stabilita nel 2014, composta dall'Unione Europea ed altri soggetti interessati dell'industria ferroviaria, con lo scopo di coordinare e spingere la ricerca e l'innovazione all'interno del programma quadro di ricerca europeo "Orizzonte 2020".

*of rail transport in moving goods across Europe in the last decades [1]. Many authors agree that improvements in rail services reliability and reductions in their costs represent key factors towards the improvement of performance and of the consequent competitiveness ([1], [2], [3] & [4]).*

*Differently from Europe, in the United States rail freight transport was able to recover significant market shares, after dropping as in Europe from 60% of tkm in the 1950s to 30% in the 1980s [5]. The same authors analysed the difference in freight modal shares with respect to Europe (38% of tkm in the USA, versus 8% in the EU-15 in 2000, notwithstanding public support to European railways and higher fuel taxes on competing road transport). Their analysis suggests that only an 83% of such difference can be attributed to structural and geographical factors (shorter shipping distances, transported freight types and more competitive maritime cabotage), while the remaining – and not negligible – 17% is due to a gap in rail transport policy and performance in Europe (e.g., priority attributed to passenger services, lack of interoperability at borders, quality and price of services and incentives to operators). If this gap was filled, the authors suggest European rail freight mode share could grow from 8% to 13%.*

*Rail freight transport is today very competitive in moving large flows of goods on long distances, which however represent a small share of European movements (75% of goods moved on distances lower than 150 km in 2001, while the average freight hauling in the USA was 1,350 km according to [6]). The present trend is focusing on reliability and on the concept of unit trains (*shuttle*), effective in both costs and time; this reflects the principles of mass production applied to transport in order to take advantage of economies of scale [7]. However, in order to make rail transport competitive on smaller and shorter movements, a combination of technical and organisational innovation is needed: many interrelated components have to be simultaneously replaced by different actors and operators, the distribution of the related costs and benefits is often too unbalanced and obstacles are exacerbated by the fragmentation of European markets [7]. Moreover, according to [8], too many technologies are trying to compete in too small and not yet fully liberalised and integrated markets. For this reason a public-private partnership called Shift2Rail was established in 2014 including the European Union and other stakeholders within the rail industry, aimed at coordinating and boosting research and innovation within the 'Horizon 2020' European research framework.*

## 3. Existing experiences in rail freight technological innovation

*Starting from the considerations developed in the previous section, we investigate existing experiences aiming at improving rail freight transport competitiveness in three fields of application that we believe to be particularly promising: command and control systems (on-board positioning and train integrity verification, perspectives towards the*

### 3. Attuali esperienze nell'innovazione tecnologica del trasporto ferroviario dei merci

A partire dalle considerazioni sviluppate nel precedente capitolo, investighiamo le attuali esperienze aventi come obiettivo il miglioramento della competitività del trasporto di merci su ferrovia in tre campi d'applicazione che crediamo essere particolarmente promettenti: i sistemi di comando e controllo (posizionamento da bordo e verifica dell'integrità del treno, prospettive verso la completa automazione di sistemi ferroviari), la composizione del treno (aggancio automatico) ed il trasporto intermodale di contenitori e semi-rimorchi.

#### 3.1. Sistemi di comando e controllo: il posizionamento satellitare da bordo

La possibilità di posizionare treni e singoli veicoli utilizzando dispositivi satellitari è già ampiamente utilizzata nel trasporto ferroviario delle merci per applicazioni non inerenti la sicurezza, come la gestione dei convogli e le informazioni agli spedizionieri. L'uso di tali tecnologie in applicazioni inerenti la sicurezza pone sfide più elevate e richiede requisiti molto più stringenti, ma genererebbe gli importanti benefici potenziali riportati in tabella 1. In particolare, su linee ad alto traffico, un aumento della capacità può essere ottenuto tramite l'adozione del blocco mobile invece dei sistemi di blocco fisso esistenti, che il posizionamento satellitare renderebbe molto più facile da

complete automation of rail transport systems), train formation (automatic couplers) and intermodal transport of container and semi-trailers.

#### 3.1. Command and control systems: on-board satellite positioning

The possibility of positioning trains and single vehicles using satellite devices is already widely used in rail freight transport for non-safety applications, like convoy management and information to shippers. The use of such technologies in safety application poses higher challenges and requires much stricter requirements, but would generate the significant potential benefits in table 1. In particular, on high traffic density lines, an increase in capacity can be obtained through the adoption of moving block instead of existing fixed block systems, which satellite positioning would make easier to achieve and which make actual capacity closer to the theoretical one. Fig. 1 shows the difference between Italian fixed block systems and the German Linienzugbeeinflussung - LZB, which using overlapping short blocks approximates moving block, in terms of theoretical capacity versus speed ([9]; similar values are indicated by [10])<sup>(1)</sup>.

<sup>(1)</sup> By "moving block" we mean a system in which the section of rail track occupied by a train can move with the train itself, instead of being defined by fixed signals along the track.

TABELLA 1 – TABLE 1

Benefici potenziali del posizionamento satellitare da bordo, confrontati coi sistemi di blocco fisso  
(nostra elaborazione su [12], [13] e [14])

Potential benefits of on-board satellite positioning, compared to fixed block system (our elaboration on [12], [13] & [14])

	<b>Effetto primario Primary effect</b>	<b>Conseguenze Consequence</b>	<b>Valori indicativi disponibili Available indicative figures</b>
Linee a scarso traffico <i>Low traffic density lines</i>	Semplificazione o persino eliminazione del segnalamento lungo le linee <i>Simplification or even elimination of signalling along lines</i>	Riduzione di costi operative e di manutenzione <i>Reduction in operating and maintenance costs</i>	Sistemi di blocco automatico cablati richiedono 275 k€/km d'investimento (cioè, un ammortamento di 9 k€ annui), con costi O&M di circa 11 k€/km (nostra elaborazione su [11]). <i>Automatic block system with cables requires 275 k€/km of investment (that is, a depreciation of 9 k€ per year), with yearly O&amp;M costs around 11 k€/km (our elaboration on [11]).</i>
	Eliminazione della gestione manuale del traffico dove viene ancora utilizzata <i>Elimination of manually managed traffic on lines where it is still used</i>	Miglioramento della sicurezza <i>Improvement in safety</i>	
Linee ad elevato traffico <i>High traffic density lines</i>	Consentita una minore distanza fra i treni <i>Shorter distance between trains possible</i>	Aumento della capacità e delle prestazioni delle infrastrutture esistenti <i>Increase in capacity and performance of existing infrastructure</i>	Fino al 30% di treni all'ora in più (nostra elaborazione su [9]) <i>Up to 30% in trains per hour (our elaboration on [9])</i>

ottenere e che rende la capacità reale più vicina alla capacità teorica. La fig. 1 mostra la differenza tra i sistemi di blocco fisso italiani ed il *Linienzugbeeinflussung* – LZB tedesco, che usa blocchi corti sovrapposti che approssima il blocco mobile, in termini di capacità teorica rispetto alla velocità ([9]; valori simili vengono indicati da [10])<sup>(1)</sup>.

Per questo motivo, negli ultimi 15 anni, questo tema è stato studiato in molti progetti di ricerca, per esempio: INTEGRAIL-RUNE [15], LOCOPROL [16], DemoORT ([17] e [18]) e RCAS [19].

La letteratura suggerisce che l'accuratezza orizzontale oggi consentita dall'uso combinato di GPS ed EGNOS (inferiore a 3 metri secondo [20]) permetterebbe usi anche più avanzati del solo controllo del traffico su linee a bassa e media densità (secondo i requisiti proposti da [14], non ancora ufficializzati). Purtroppo lungo le linee ferroviarie gli ostacoli sono frequenti (alberi, gallerie, trincee, coperture di stazioni, ecc.), differentemente da quanto avviene nel trasporto aereo e marittimo, e questo riduce il livello di integrità ben al disotto di quanto richiesto dagli standard [14]. Inoltre il supporto dato da EGNOS è limitato dalla bassa altezza dei satelliti geostazionari che utilizza ( $30^{\circ}$  a Sud nell'Europa Centrale, anche meno nel Nord)<sup>(2)</sup>.

Di conseguenza, gli studi passati si sono concentrati sui possibili dispositivi ausiliari che possano aiutare ad integrare il posizionamento satellitare: odometri (LOCOPROL, INTEGRAIL-RUNE), accelerometri, sensori di velocità angolare (INTEGRAIL-RUNE) ed altri sensori sotto i veicoli (es., le correnti parassite o "di Eddy" in DemoORT). Inoltre la letteratura indica come la natura a guida vincolata del trasporto ferroviario, riducendo il numero di gradi di libertà del veicolo, permette un uso più efficace delle informazioni fornite da questi dispositivi rispetto ad altri modi di trasporto [16].

Sulla linea pilota di 50 km tra Cagliari e San Gavino, in Sardegna, sono in corso test; l'obiettivo è certificare il segnale EGNOS secondo i requisiti di sicurezza e disponibilità delle norme CENELEC ([21] e [22]).

Tutti i sistemi proposti richiedono mappe ed una base dati accurata dei tracciati, al momento non disponibile (fig. 2).

## 3.2. Sistemi di comando e controllo: verifica dell'integrità del treno da bordo

La verifica dell'integrità del treno è oggi svolta dal sistema di blocco (o dal dirigente movimento, nei sistemi manuali). L'automazione di tale operazione permetterebbe lo sfruttamento dell'intero potenziale del posiziona-

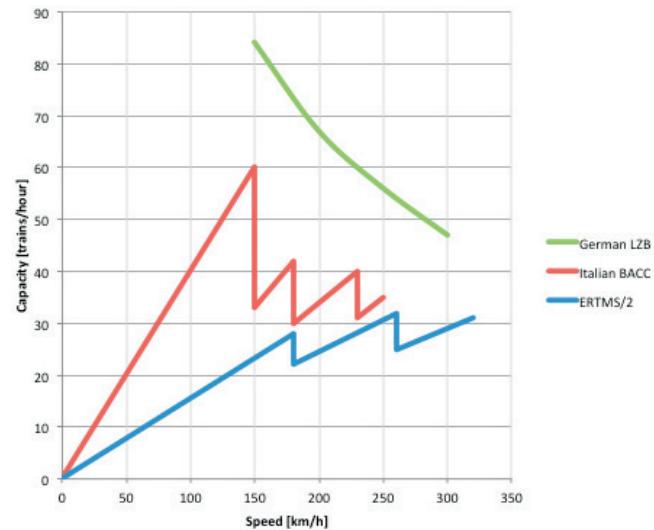


Fig. 1 - Capacità teorica (treni/ora) rispetto alla velocità (km/h) con sistemi di blocco sovrapposti di lunghezza convenzionale (BACC italiano ed ERTMS/2) e blocchi sovrapposti brevi (LZB tedesco) [9].

Fig. 1 - Theoretical values of capacity (trains/hour) with respect to speed (km/h) with overlapped conventional-length blocks (Italian BACC and ERTMS/2) and overlapped short blocks (German LZB) [9].

For this reason in the last 15 years the issue has been studied in many research projects, for example: INTEGRAIL-RUNE [15], LOCOPROL [16], DemoORT ([17] & [18]) and RCAS [19].

Consulted literature suggests that horizontal accuracy today allowed by the combined use of GPS and EGNOS (lower than 3 metres according to [20]) would allow even more advanced uses than the sole traffic control on low and medium density lines (according to the requirements proposed by [14], not yet officialised). Unfortunately obstacles are frequently present along railway lines (trees, tunnels, cuttings, station coverings, etc.), differently to what happens in air and maritime transport, which reduces the integrity level to well below what standard would require [14]. Moreover the support given by EGNOS is limited by the low height of the geostationary satellites it uses ( $30^{\circ}$  to the South in Central Europe, even less in the North)<sup>(2)</sup>.

As a consequence, past studies focused on possible auxiliary devices that might help integrate satellite positioning: odometers (LOCOPROL, INTEGRAIL-RUNE), accelerometers, angular velocity sensors (INTEGRAIL-RUNE) and other sensors under the vehicles (e.g., using eddy currents in DemoORT). Literature moreover indicates that the constrained guide nature of rail transport, by reducing the number of degrees of freedom of the vehicle, allows a more effec-

<sup>(1)</sup> Con "blocco mobile" intendiamo un sistema nel quale la sezione di binario occupata dal treno può spostarsi insieme al treno stesso, invece di essere definita dai segnali fissi lungo la linea.

<sup>(2)</sup> Il livello SIL-4 richiede un tasso di rischio di  $10^{-8}$  all'ora [14]. [12] suggeriscono che l'attuale livello d'integrità sia dell'ordine di  $10^{-7}$  per il posizionamento satellitare senza dispositivi ausiliari.

<sup>(2)</sup> The required SIL-4 would require a hazard rate of  $10^{-8}$  per hour [14]. [12] suggest the current integrity risk to be of the order of  $10^{-7}$  for satellite positioning without auxiliary devices.

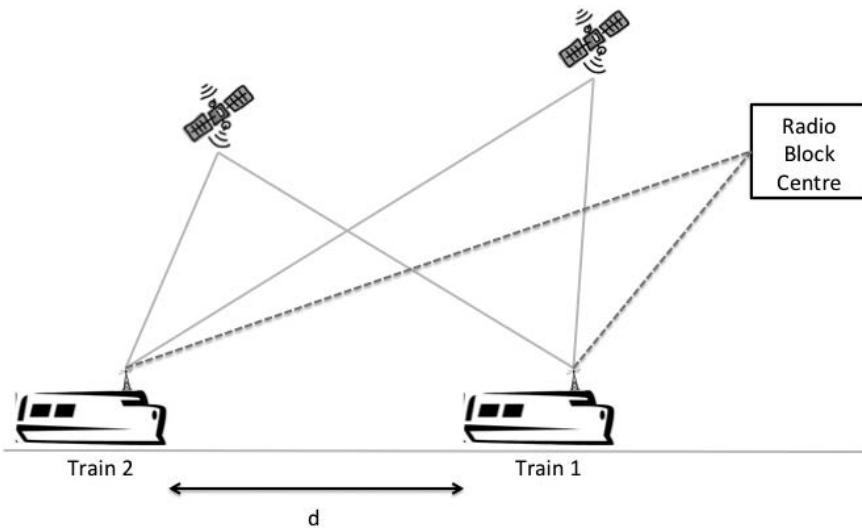


Fig. 2 - Rappresentazione schematica degli attuali tentativi di posizionamento satellitare: le informazioni satellitari (posizione stimata e relativa accuratezza, integrità, ecc.) sono integrate dalle informazioni dei dispositivi ausiliari (km percorsi, velocità, accelerazione, caratteristiche della linea riconosciute, ecc.) e della base dati dei tracciati (nostra elaborazione).

Fig. 2 - Schematic representation of current satellite positioning trials: satellite information (estimated position and related accuracy, integrity, etc.) is completed by information from auxiliary devices (travelled km, speed, acceleration, recognised line characteristics, etc.) and track database (our elaboration).

mento da bordo, come discusso nel precedente paragrafo. Nel trasporto ferroviario di passeggeri europeo la questione dovrebbe essere facilmente risolvibile, grazie alla presenza di molte interconnessioni meccaniche ed elettriche tra locomotive e carrozze. Nel trasporto di merci, tuttavia, i vagoni sono connessi solo da ganci e tubi pneumatici ([23]). L'adozione di moderni sistemi di aggancio automatico, discussi nel prossimo paragrafo, potrebbe risolvere la questione alla radice (fig. 3).

Tra le soluzioni proposte, basate sull'uso di sensori satellitari, accelerometri, odometri con comunicazioni radio e wireless tra i sensori su tutti i vagoni ([23], [24] e [25]), l'uso combinato di comunicazioni wireless tra sensori di accelerazione e movimento sembra essere in grado di fornire la necessaria autonomia (che deve superare gli intervalli tra manutenzioni, vista l'assenza di alimentazione elettrica sui carri trainati). Tale soluzione è basata su sensori su tutte le locomotive e tutti i vagoni che, dopo una fase iniziale nella quale sono in grado di identificarsi fra loro sulla base una caratteristica comune (come i vettori di movimento od accelerazione), possono minimizzare l'attività – risparmiando le batterie – dovendo solo verificare la reciproca presenza ([23] e [26]).

La futura generazione del Sistema

ture use of the information provided by such devices with respect to other transport modes [16].

Tests are being carried out on a pilot line established on a 50 km secondary track between Cagliari and San Gavino, on the Italian island Sardinia; the aim is to certify the EGNOS signal in terms of safety and availability requirements of CENELEC norms ([21] & [22]).

All the proposed systems require accurate track databases and maps, not available at the moment (fig. 2).

### 3.2. Command and control systems: on-board train integrity verification

The verification of integrity of the train is today made by signalling block systems (or by local train dispatchers, in manual systems). The automation of such operation would allow the exploitation of the full potentials of on-board positioning, as discussed in the former section. In European rail passenger transport the issue should be easy to solve, thanks to the presence of many mechanical and electrical interconnections among locomotives and coaches. In freight transport, however, wagons are only mechanically linked by couplers and air hoses [23]. The adoption of modern automatic coupler systems, discussed in a following section, might solve the issue to the root (fig. 3).

Among the proposed solutions, based on the use of satellite sensors, accelerometers, odometers with radio and wireless communications among sensors on all the wagons

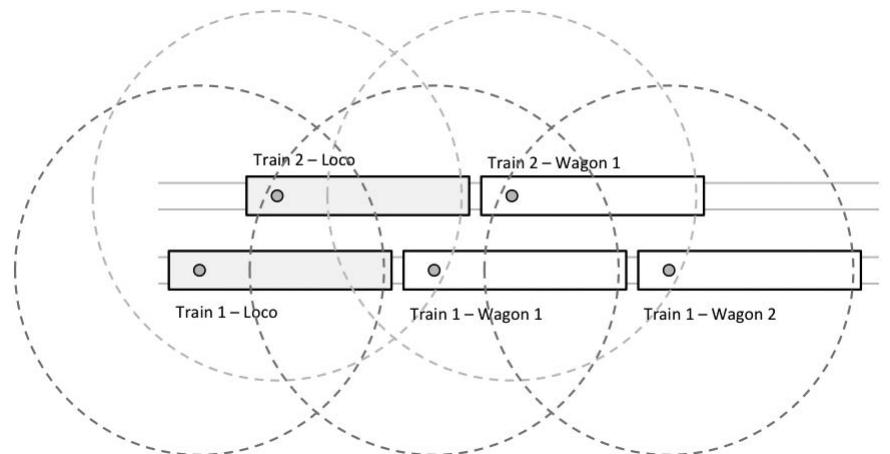


Fig. 3 - Rappresentazione schematica della soluzione proposta di verifica dell'integrità del treno da bordo: I sensori del Treno 1 si riconoscono rispetto ai sensori degli altri treni sulla base di una caratteristica comune (velocità o accelerazione).

Fig. 3 - Schematic representation of proposed on-board integrity verification solution: Train 1 sensors recognize themselves with respect to sensors of other trains on the basis of a common characteristic (speed or acceleration).

Europeo di Gestione del Traffico Ferroviario (ERTMS Livello 3) richiederà il posizionamento continuo ed il controllo dell'integrità del treno con grande accuratezza, disponibilità e sicurezza [18].

### 3.3. Sistemi di comando e controllo: verso la completa automazione dei sistemi ferroviari merci

Nel trasporto urbano di passeggeri su sede propria (cioè, di solito, le metropolitane) l'automazione automatica è ad oggi matura e permette benefici evidenti [27]: minore consumo energetico, minore flessibilità nella pianificazione degli orari data la maggiore mancanza di conducenti, migliori prestazioni (maggiore regolarità nella velocità commerciale e nella frequenza del servizio, tempi di giro inferiori), depositi più piccoli (i veicoli possono "dormire" in linea). Nel trasporto delle merci la questione è ancora inesplorata, se si escludono alcuni esperimenti.

La linea U3 della metropolitana di Norimberga, in Germania, pur non essendo chiaramente un sistema ferroviario merci, al momento della sua apertura al pubblico nel 2008 era percorsa allo stesso tempo da treni guidati manualmente ed automaticamente sugli stessi binari, mostrando la fattibilità tecnica di tale convivenza [27].

[28] ha proposto un decennio fa un prototipo di vagone semovente, denominato *CargoMover*, che poteva viaggiare autonomamente su linee ferroviarie grazie a 5 sensori radar in grado di osservare il tracciato 70 metri avanti, calcolando la distanza da altri oggetti e la relativa velocità relativa degli altri treni, mentre una telecamera seguiva il corso del tracciato. Questi dati, combinati con la velocità del vagone, dovrebbero permettere di derivare informazioni sui possibili ostacoli sul tracciato [29].

Il gruppo multinazionale minerario *RioTinto Iron Ore* ha affidato ad *Ansaldo STS* la completa automazione della ferrovia Hamersley & Robe River, una rete privata nella regione di Pilbara dello stato dell'Australia Occidentale che serve 14 miniere attraverso 1.400 km di binari, con una capacità di carico di 228 tonnellate di minerali ferrosi all'anno. Il contratto include lo sviluppo e l'implementazione di un sistema di segnalamento modulare con un *Vital Safety Server* centralizzato per la gestione dei treni. Il modulo di guida permetterà la completa automazione delle operazioni dei treni [30].

### 3.4. Composizione dei treni: aggancio automatico

L'Europa rimane una delle poche zone geografiche dove, per ragioni storiche, l'aggancio manuale è ancora utilizzato per la composizione dei treni merci. Negli Stati Uniti l'aggancio automatico è usato dal 1983, in Giappone dal 1925 e nella ex Unione Sovietica dal 1935 [31]. Un primo tentativo europeo di convertire il sistema all'aggancio automatico, nel 1956, fallì: la proposta prevedeva la conversione contemporanea di tutti i vagoni esistenti al

([23], [24] & [25]), the combined use of wireless communication together with acceleration and movement sensors seems to be capable of providing the needed autonomy (which has to exceed maintenance intervals, due to the absence of electrical power on carried wagons). Such a solution is based on sensors on the locomotive and all the wagons that, after an initial phase during which they are able to identify each other on the basis of a common characteristic (such as movement or acceleration vectors), can minimise their activity – thus saving the batteries – only having to verify the mutual presence ([23] & [26]).

The future generation of European Rail Traffic Management System (ERTMS Level 3) will require a continuous positioning and a train integrity checking with high accuracy, availability and safety [18].

### 3.3. Command and control systems: towards complete automation of freight rail systems

In segregated passenger urban railways (that is, usually metros) integral automation is mature by now and allows apparent benefits [27]: less energy consumption, more flexibility in timetable planning due to the lack of drivers, better performance (more regularity in commercial speed and frequency of service, lower turnaround time), smaller depots (vehicle can "sleep" in line). In freight transport the issue is still unexplored, apart from some experiments.

The U3 line of the Nuremberg underground, in Germany, though clearly not representing a freight transport system, at the time of its opening to the public in 2008 was used by both manually and automatically driven trains on the same track, showing the technical feasibility of such coexistence [27].

[28] proposed a decade ago a prototype self-moving wagon, named *CargoMover*, which could move autonomously on rail lines thanks to 5 radar sensors observing the track 70 metres ahead, calculating the distance of other objects and the relative speed of other trains, while a camera follows the track course. Those data, combined with the wagon speed, should allow deriving information about possible obstacle on the track [29].

The multinational mining group *RioTinto Iron Ore* awarded *Ansaldo STS* for the complete automation of the Hamersley & Robe River railway, a private rail network in the Pilbara region of Western Australia serving 14 mines through 1,400 km of tracks, with a haul capacity of 228 tons of iron ore per annum. The contract includes the development and implementation of a modular signalling system with a centralised *Vital Safety Server* for the management of trains. The driving module will allow the complete automation of train operations [30].

### 3.4. Train formation: automatic couplers

Europe remains one of the last areas where, due to historical reasons, manual coupling of freight train formation

nuovo sistema. Un secondo tentativo, negli anni '90, fallì: la soluzione proposta – il gancio Z-AK – benché connesse il sistema pneumatico, poteva trasmettere solo forze di trazione, mentre quelle di compressione dovevano essere assorbite ancora dai respingenti laterali. Dal 1976 tutti i carri merci europei sono stati prodotti secondo le specifiche UIC per la successiva installazione dell'aggancio automatico, mai avvenuta [31].

Secondo [32] l'attuale sistema europeo di aggancio è inefficiente, limita la lunghezza dei treni ed aumenta il rischio di deragliamenti. Inoltre nuovi tipi di servizi sarebbero permessi dall'alimentazione elettrica dei vagoni (dai vagoni frigorifero a vagoni semoventi nelle fasi di manovra). Lo stesso autore suggerisce che solo l'adozione di uno standard di aggancio automatico europeo nella regolamentazione e nelle Specifiche Tecniche di Interoperabilità (TSI) permetterebbe alle aziende il necessario supporto per investire nella nuova tecnologia.

[33] indica, oltre alla velocizzazione delle operazioni di aggancio e sgancio ed alla riduzione dei costi operativi conseguenti, altri benefici dell'aggancio automatico meno ovvi, che riportiamo in tabella 2.

[31] suggerisce che la fattibilità economico-finanziaria di tale sistema sarebbe più favorevole oggi che in passato, poiché il numero dei vagoni merci è drasticamente diminuito (in Germania si è dimezzato dai 420.000 del 1990 ai 180.000 del 2008) e con esso i costi di installazione; secondo l'autore il nuovo gancio C-AKv (fig. 4) è solidamente testato e permette un'introduzione graduale (è compatibile con i ganci SA3 russi e con il sistema manuale europeo); la Germania, essendo al centro dei trasporti Europei ed avendo la più grande flotta di materiale rotabile, può spingere la diffusione di tale sistema; se i servizi ferroviari non saranno automatizzati (e quindi i processi velocizzati e la capacità di carico migliorata) le infrastrutture esistenti potrebbero non essere in grado di reggere la crescita prevista, secondo l'autore.

### 3.5. Trasporto intermodale di contenitori e semi-ri-morchi

L'obiettivo di attrarre al trasporto ferroviario anche flussi di merci meno concentrate e su distanze inferiori richiede innovazioni tecnologiche anche all'interfaccia con il trasporto stradale di adduzione. La maggior parte degli studi, dei prototipi e dei sistemi analizzati si concentra sul rendere possibile il carico orizzontale dei contenitori e dei semi-rimorchi, dove possibile direttamente sotto la catenaria: benché questo sarebbe meno efficiente per la maggior parte del traffico esistente, che continuerebbe ad essere caricato verticalmente, questa possibilità consentirebbe ai treni merci di caricare e scaricare in fermate intermedie (permettendo il traffico diffuso ed ampliando il potenziale di mercato delle merci si ferrovia) [36]. Inoltre potrebbe permettere il carico e scarico di semi-rimorchi non adatti ad essere sollevati tramite gru (cioè la maggior parte di essi).

*is still performed. In the United States automatic coupling has been used since 1893, in Japan since 1925 and in the former Soviet Union since 1935 [31]. A first European attempt to convert the system to automatic coupling, in 1956, failed: the proposal foresaw the simultaneous conversion of all the existing wagons to the new system. A second attempt, in the 1990s, failed: the proposed solution – the Z-AK coupling – although connecting the pneumatic system, could transmit only traction forces, while compression ones should still rely on lateral buffers. Since 1976 all the European freight wagons have been produced according to UIC's specifications for subsequent installation of automatic coupler, which never happened [31].*

*According to [32] the existing European system of hooks and links is inefficient, limits the lengths of trains and increases risks of derailments. Moreover new kinds of services would be allowed by the power supply of wagons (ranging from refrigerated wagons to self-moving wagons in shunting activities). The same author suggests that only the standardisation of an automatic European coupler in regulations and in Technical Specifications for Interoperability (TSIs) would give companies the needed assurance to invest in the new technology.*

*[33] indicates, apart from quicker coupling and uncoupling operations and the reduction in related operating costs, other less obvious benefits related to automatic coupling in table 2.*

*[31] suggests that the business case for the diffusion of such a system would be more favourable now than in the past, since the number of freight wagons dramatically dropped (in Germany it halved from 420,000 in 1990 to 180,000 in 2008) and thus the related installation costs; according to the author the new C-AKv (fig. 4) coupler is fully tested and allows a gradual introduction (it is compatible with the Russian SA3 couplers and with the existing European system of chains and buffers); Germany, being in the centre of European transport and having the biggest rolling stock fleet, can boost the diffusion of such system; if rail services will not be automated (and thus process speeded and loading capacity improved) existing*

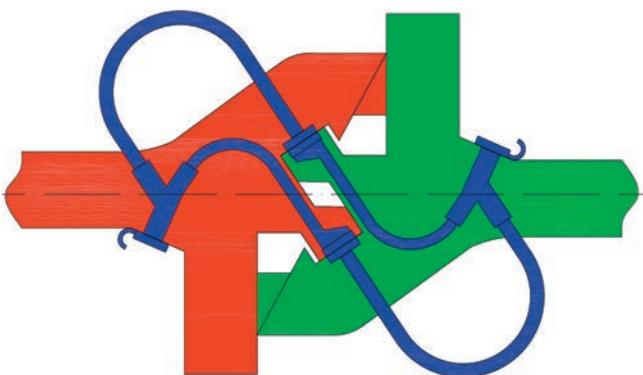


Fig. 4 - L'aggancio semi-automatico C-AKv (Transpact; nostra elaborazione su Faiveley Transport).

Fig. 4 - The C-AKv semi-automatic coupler (Transpact; our elaboration on Faiveley Transport).

TABELLA 2 – TABLE 2

Benefici potenziali dell'aggancio automatico (nostra elaborazione su [33])  
*Potential benefits of automatic coupling (our elaboration on [33])*

Effetto primario <i>Primary effect</i>	Conseguenze <i>Consequence</i>	Valori indicativi disponibili <i>Available indicative figures</i>
Aumento delle forze longitudinali trasmissibili <i>Increase in transmittable longitudinal strengths</i>	Possibilità di treni più lunghi e pesanti <i>Possibility for longer and heavier trains</i>	1.000 kN in trazione e 700 kN in spinta, invece dei comuni valori rispettivamente di circa 500 kN e 200 kN [33] <i>1,000 kN in traction and 700 kN when pushing, instead of common values around 500 kN and 200 kN respectively [33]</i>
Differente trasmissione delle forze <i>Different strength transmission</i>	Riduzione del consumo dei (o eliminazione dei) respingenti laterali dei vagoni Riduzione del consumo di ruote e rotaie Aumento della stabilità del treno e riduzione dei rischi di deragliamento (in caso di aggancio centrale) <i>Reduction in the wear of (or elimination of) lateral buffers of wagons</i> <i>Reduction in the wear of wheels and rails</i> <i>Increase in train stability and reduction of derailment risks (if central coupling)</i>	Riduzione del consumo di respingenti laterali, ruote e rotaie: 20-30% [31] <i>Reduction in wear of later buffers, wheels and rails: 20-30% [31]</i>
Trasmissione del segnale elettrico tra carri ferroviari <i>Transmission of electric signals between rail cars</i>	Velocità ammissibile più elevata per i treni merci grazie all'uso della più reattiva frenatura elettro-pneumatica Automazione/supporto dei test di frenatura Supervisione dell'integrità del treno Alimentazione dei carri per altre funzioni (es. apertura automatica delle porte, ecc.) <i>Higher allowable speed for freight trains by means of more reactive electro-pneumatic brakes</i> <i>Automation/support in brake tests</i> <i>Supervision of train integrity</i> <i>Alimentation of rail cars for other functions (e.g., automatic opening of doors, etc.)</i>	Riduzione nelle distanze di frenatura dal 30 al 70% [34], aumento delle velocità massime fino al 50% (nostra elaborazione su [35]) <i>Reduction in braking distance 30-70% [34], increase in maximum speed up to 50% (our elaboration on [35])</i>
Miglioramento delle attività di composizione del treno <i>Improvement of train formation activities</i>	Riduzione dei tempi di composizione Riduzione dei costi di composizione Aumento della sicurezza degli addetti Aumento della capacità dei terminal merci <i>Reduction in train formation times</i> <i>Reduction in train formation costs</i> <i>Increase in safety for train formation workers</i> <i>Increase in the capacity of freight terminals</i>	Riduzione dei tempi di composizione di un treno completo di 20 carri da circa 1 ora a circa 20 minuti (nostra elaborazione su indicazioni orali di Trenitalia Cargo) <i>Reduction in the coupling time of a complete 20-wagon train from about 1 hour to about 20 minutes (our elaboration on oral information by Trenitalia Cargo)</i>

Le attuali esperienze includono:

- *Metrocargo Intermodal Transport* ([36] e [37]), che permette il carico e scarico orizzontale di contenitori, particolarmente adatto – secondo i promotori – a situazioni nelle quali è necessario lavorare velocemente interi treni, per esempio nelle operazioni ai porti e retro-porti e nei punti di cambio tra diversi scartamenti ferroviari, come ai confini della Spagna o della Russia.
- *ModaLohr* [38], che permette il carico parallelo orizzontale di semi-rimorchi e motrici, concentrandosi sul ridurre l'altezza di 21 centimetri (adatti alla sagoma UIC GB1) usando carrelli convenzionali; progetti simili

*infrastructure might not provide sufficient capacity to cope with the foreseen growth, according to the author.*

### 3.5. *Intermodal transport of containers and semi-trailers*

*The aim of attracting to rail transport also less concentrated shipping flows and on lower distances requires technical innovations also on the interface with road transport. Most studies, prototypes and systems analysed focused on making the horizontal loading of containers and semi-trailers possible, where possible directly under the catenary: although this would be less efficient for the majority of existing traffic, which would continue to be lifted vertically, this*

sono *CargoBeamer*<sup>(3)</sup>, che permette il carico orizzontale di semi-rimorchi (ma con un aumento dell'altezza di 6 cm secondo [39]), e *Megaswing*<sup>(4)</sup>, che permette il carico orizzontale sia di semi-rimorchi che di contenitori.

- *ISU - Innovativer Sattelschlepper Umschlag* [40], un sistema piuttosto semplice che permette il carico verticale di semi-rimorchi teoricamente inadatti ad essere sollevati da gru, attraverso un apposito telaio.
- *RailRunner* [8], un sistema che prova a rilanciare il sistema americano *RoadRailer*, che permetteva di agganciare direttamente i semi-rimorchi ai carrelli ferroviari, trasformandoli in veri e propri vagoni. I semi-rimorchi devono essere progettati appositamente ed essere più pesanti di quelli convenzionali (per poter sostenere le forze in gioco nel trasporto di lunghi treni), ma i carrelli hanno sistemi di sospensioni pneumatiche che permettono una marcia più uniforme.

Una soluzione ancora più radicale è stata proposta da [41], il quale proponi treni merci intermodali ad alte prestazioni completamente nuovi in grado di usare le infrastrutture ferroviarie esistenti ad alta e media velocità.

In generale le soluzioni di carico orizzontale richiedono maggiori costi operativi (+30% per *ModaLohr* e +40% per *CargoBeamer*, secondo [39]) e maggiore spazio rispetto al carico verticale, ma possono ampliare il mercato del trasporto intermodale rendendolo più efficace e competitivo.

#### 4. Valutazione qualitativa ed analisi preliminare dell'impatto sulla produttività del trasporto ferroviario di merci

Come primo passo, suggeriamo in tabella 3 una possibile valutazione qualitativa degli impatti delle tecnologie analizzate, sulla base della nostra interpretazione della letteratura analizzata.

Ci proponiamo quindi di raccogliere i valori emersi dalla precedente analisi di letteratura per fare un'analisi preliminare del potenziale impatto di alcuni di questi sistemi sulla produttività del trasporto ferroviario.

Scriviamo la massima produttività potenziale come riportato in equazione (1) dove  $Prod_0$  è la produttività attuale,  $i$  è l'effetto considerato di una soluzione,  $a_i$  è il massimo potenziale incremento di produttività dovuto all'effetto  $i$ ,  $p_i$  è la probabilità che si manifesti la situazione in cui l'effetto si evidenzia e  $z_i$  è la quota di aumento realmente ottenibile<sup>(5)</sup>.

$$Prod = Prod_0 \cdot \prod_{i=1}^n [p_i \cdot z_i \cdot (1 + a_i)] \quad (1)$$

<sup>(3)</sup> Sito internet: [www.cargobeamer.com](http://www.cargobeamer.com)

<sup>(4)</sup> Sito internet: [www.kockumsindustrier.se](http://www.kockumsindustrier.se)

<sup>(5)</sup> Con questo approccio stiamo facendo l'ipotesi che tutti gli effetti siano indipendenti (nessuna sinergia o competizione): questo richiederà future ricerche per essere verificato.

*option would make it possible for freight trains to load and unload at intermediate stops (allowing diffuse traffic and widening the market potential of freight rail) [36]. Moreover it could allow the loading and unloading of semi-trailers not fit to be lifted by cranes (that is the large majority of them).*

*Existing experiences include:*

- *Metrocargo Intermodal Transport* ([36] & [37]), which allows the horizontal loading and unloading of containers, particularly fit – according to proposers – for situations in which complete trains have to be worked fast, for example in operations at ports and inland ports and in interchange points among different rail gauges, like at Spain's or Russian's borders;
- *ModaLohr* [38], which allows the parallel horizontal loading of semi-trailers and tractors with a focus on reducing the height by 21 centimetres (fit for UIC GB1 loading gauge) using ordinary railway bogies; similar projects are *CargoBeamer*<sup>(3)</sup>, which allows the horizontal loading of semi-trailers (but with an increase in height of 6 cm according to [39]), and *Megaswing*<sup>(4)</sup>, which allows the horizontal loading of both semi-trailers and containers;
- *ISU - Innovativer Sattelschlepper Umschlag* [40], a quite simple system which allows the vertical loading of semi-trailer theoretically unfit to be lifted by cranes, using an appropriate frame;
- *RailRunner* [8] tries to revive the former American *RoadRailer* system, which allowed semi-trailers to be attached to specific bogies, turning them into real railway wagons. Semi-trailers have to be specifically designed and heavier than standard ones (in order to withstand the forces involved in long train transport), but bogies have pneumatic suspension systems allowing a smoother travel.

*An even more radical solution is proposed by [41], who envisages brand new high performance intermodal freight trains capable of using high and medium speed existing rail infrastructure.*

*In general horizontal loading solutions are associated with higher operating costs (+30% for *ModaLohr* and +40% for *CargoBeamer*, according to [39]) and need much more space than standard vertical loading ones, but can help widen the market for intermodal transport by making it more effective and competitive.*

#### 4. Qualitative assessment and early analysis of the impact on freight rail productivity

*As a first step, in table 3 we suggest a possible qualitative*

<sup>(3)</sup> Website: [www.cargobeamer.com](http://www.cargobeamer.com)

<sup>(4)</sup> Website: [www.kockumsindustrier.se](http://www.kockumsindustrier.se)

TABELLA 3 – TABLE 3

Valutazione qualitativa delle tecnologie analizzate rispetto a diversi aspetti del traffico ferroviario merci in diversi contesti (nostra elaborazione sulla letteratura)  
*Qualitative assessment of the analysed technologies on different features of rail freight traffic in different contexts (our elaboration on analysed literature)*

Sistemi di comando e controllo <i>Command and control systems</i>				Composizione del treno <i>Train formation</i>	Trasporto intermodale di contenitori e semi-rimorchi <i>Intermodal transport of containers and semitrailers</i>
Posizionamento satellitare da bordo <i>On-board satellite positioning</i>	Verifica dell'integrità del treno da bordo <i>On-board train Integrity verification</i>	Automazione completa di sistemi ferroviari merci <i>Complete automation of freight rail systems</i>	Aggancio automatico <i>Automatic couplers</i>	Capacità della linea - <i>Line capacity</i>	
Basso traffico - <i>Low traffic</i>	0	0	0	0	0
Alto traffico - <i>High traffic</i>	++	++	++	++	
Basse velocità - <i>Low speed</i>	+	+	0	0	
Alte velocità - <i>High speed</i>	++	++	+	++	
Capacità dei terminali - <i>Terminal capacity</i>					
	0	0	+	+	+
Regolarità del traffico - <i>Traffic Regularity</i>					
Basso traffico - <i>Low traffic</i>	0	0	+	0	0
Alto traffico - <i>High traffic</i>	+	+	+	+	
Basse velocità - <i>Low speed</i>	0	0	0	0	
Alte velocità - <i>High speed</i>	+	+	+	+	
Velocità commerciale - <i>Commercial speed</i>					
Basso traffico - <i>Low traffic</i>	0	0	0	+	+
Alto traffico - <i>High traffic</i>	0	0	0	+	
Basse velocità - <i>Low speed</i>	0	0	0	+	
Alte velocità - <i>High speed</i>	0	0	0	++	
Sicurezza - <i>Safety</i>					
Basso traffico - <i>Low traffic</i>	++	++	+	0	0
Alto traffico - <i>High traffic</i>	+	+	-/+	0	
Basse velocità - <i>Low speed</i>	-/+	-/+	+	0	
Alte velocità - <i>High speed</i>	-/+	-/+	-/+	+	
Costi di gestione e manutenzione infrastrutture - <i>Infrastructure operating and maintenance costs</i>					
Basso traffico - <i>Low traffic</i>	++	++	--	-	0
Alto traffico - <i>High traffic</i>	+	+	0/+	0	
Basse velocità - <i>Low speed</i>	++	++	0	0	
Alte velocità - <i>High speed</i>	+	+	0	0	
Costi operativi dei servizi - <i>Services operating costs</i>					
Basso traffico - <i>Low traffic</i>	+	+	+	-	+
Alto traffico - <i>High traffic</i>	0	0	++	-	
Basse velocità - <i>Low speed</i>	+	+	+	-	
Alte velocità - <i>High speed</i>	0	0	+	-	

Legenda: + miglioramento (o riduzione di costi), - peggioramento (o aumento di costi), 0 impatto trascurabile o nullo, +/- valutazione difficile in questa fase.

Legend: + improvement (or reduction in costs), - worsening (or increase in costs), 0 no or negligible impact, +/- difficult assessment at this stage.

TABELLA 4 – TABLE 4

Stima del massimo incremento potenziale di produttività dovuto agli effetti considerati nelle soluzioni analizzate (nostra elaborazione sulla letteratura) e specifica delle componenti la cui produttività aumenta.

*Estimation of maximum potential increase in productivity due to considered effects of the analysed solutions (our elaboration on consulted literature) and specification of the component(s) whose productivity is increase.*

Soluzione <i>Solution</i>	Effetto considerato (i) <i>Considered effect (i)</i>	Massimo incremento potenziale di produt- tività (valori indicati- vi) ( $a_i$ ) <i>Maximum potential increase in productiv- ity (indicative values) (<math>a_i</math>)</i>	Descrizione <i>Description</i>	Componenti di cui aumenta la produttività <i>Component whose productivity is increased</i>		
				Infra- struttura <i>Infra- structure</i>	Materiale rotabile <i>Rolling stock</i>	Lavora- tori <i>Workers</i>
Aggancio automatico <i>Automatic coupler</i>	Automazione dell'ag- gancio/sgancio <i>Automation of (un) coupling</i>	2	Riduzione di 2/3 dei tempi <i>2/3 reduction in time</i>	x	x	x
	Treni più pesanti su linee pendenti e tortuose <i>Heavier trains on steep and windy lines</i>	0.5	Un locomotore in spinta aggiuntivo <i>One more pushing bank engine</i>	x		
	Frenatura elet- tro-pneumatica <i>Electro-pneumatic brake</i>	0.5	Velocità massima maggiore, soprattutto su linee pen- denti <i>Higher maximum speed, especially on steep lines</i>	x	x	x
Posiziona- mento satel- litare <i>GNSS posi- tioning</i>	Aumento di capacità della linea <i>Increase in line capacity</i>	0.3		x		

Suggeriamo in tabella 4 valori di letteratura per il massimo aumento potenziale di produttività  $a_i$  e specifichiamo le componenti la cui produttività viene incrementata dall'effetto.

Se considerassimo una situazione nella quale tutti questi fattori fosse presenti contemporaneamente ed i miglioramenti fossero completamente ottenibili (cioè, tutte le  $p_i=1$  e le  $z_i=1$ ), potremmo ottenere un aumento della produttività del sistema ferroviario di 7,3 volte. Questo valore molto elevato si otterrebbe solo in condizioni molto specifiche ed attualmente critiche, in generale l'entità diminuisce con il diminuire della probabilità di presenza di queste situazioni critiche e con il reale aumento di produttività ottenibile. Per dare la rappresentazione grafica in fig. 5, poniamo tutte le  $p_i$  e le  $z_i$  uguali tra loro ( $\forall p_i = p$  e  $\forall z_i = z$ ).

## 5. Considerazioni finali e conclusioni

Per ottenere il cambio modale delle merci dalla strada alla rotaia, uno dei pilastri della politica europea dei trasporti [42], il trasporto merci ferroviario deve migliorare le prestazioni.

Questo articolo ha analizzato la letteratura relativa ad

assessment of impacts of the analysed technologies, based on our understanding of the consulted literature.

We then propose a more quantitative approach gathering figures from the former analysis of the literature to make an early analysis of the potential impacts of some of those systems on the productivity of the rail network.

We write the maximum potential productivity as in equation (1), where  $Prod_0$  is the current productivity,  $i$  is the considered effect of a solution,  $a_i$  is the maximum potential increase in productivity due to the effect  $i$ ,  $p_i$  is the probability of the situation in which the effect evidences to manifest and  $z_i$  is the share of increase actually achievable<sup>(5)</sup>.

$$Prod = Prod_0 \cdot \prod_{i=1}^n [p_i \cdot z_i \cdot (1 + a_i)] \quad (1)$$

In table 4 we suggest values from the literature for the

<sup>(5)</sup> With this approach we are making the hypothesis that all effects are independent (no synergy or competitions): this will require future research to be verified.

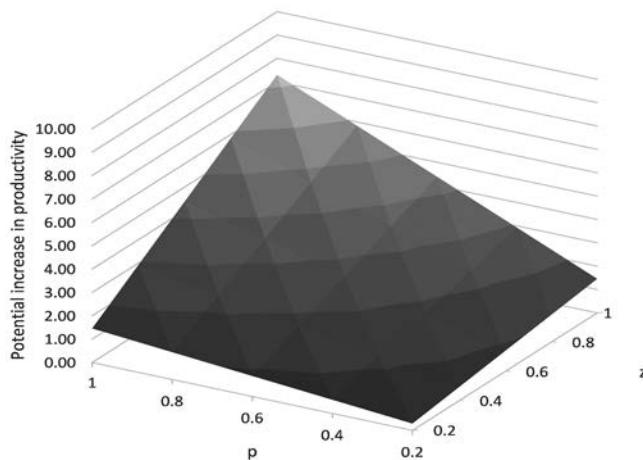


Fig. 5 - Aumento potenziale di produttività rispetto alla probabilità che le situazioni si manifestino ( $p$ ) ed alla quota di reale aumento ottenibile ( $z$ ) (nostra elaborazione).

Fig. 5 - Potential increase in productivity with respect to probability of the situations to manifest ( $p$ ) and share of increase actually achievable ( $z$ ) (our elaboration).

esperienze recenti di innovazione tecnologica mirata al miglioramento delle prestazioni del trasporto merci ferroviario. In particolare, abbiamo analizzato esperienze innovative nei campi dei sistemi di comando e controllo, dell'automazione della composizione dei treni e del trasporto intermodale di contenitori e semi-rimorchi. In tabella 5 riportiamo gli scopi generali, i problemi da risolvere, le possibili soluzioni, un'indicazione dei costi e gli orizzonti temporali delle soluzioni innovative analizzate.

I sistemi di comando e controllo ed il trasporto intermodale sembrano essere campi di molte iniziative dinamiche, mentre ad oggi le esperienze relative alla composizione dei treni usando sistemi di aggancio automatico sembrano ancora molto limitate: tuttavia ad oggi innovazioni decisive faticano ancora a prendere piede nel mercato ferroviario merci europeo. Questo sembra confermare quanto suggerito da [8]: l'ancora incompleta unificazione dei mercati ferroviari nazionali europei in un singolo mercato più ampio – che contribuisce a ridurre la competitività di questo modo di trasporto [5] – sembra a volte riflettersi anche nelle innovazioni, che sono spesso concentrate su specifici problemi nazionali ed in alcuni casi mancano persino di interoperabilità e standardizzazione.

Le innovazioni tecnologiche hanno sensibilmente migliorato i servizi ferroviari di trasporto passeggeri negli ultimi decenni. L'applicazione relativamente limitata ad oggi di tali innovazioni al trasporto ferroviario merci in Europa suggerisce che anche piccoli miglioramenti è atteso possano generare benefici importanti al settore ed al sistema dei trasporti e socio-economico.

La nostra analisi preliminare sui valori di letteratura suggerisce che, in condizioni molto specifiche, l'adozione dell'aggancio automatico e del posizionamento satellitare possa aumentare la produttività del trasporto ferroviario merci fino a 7,3 volte.

maximum potential increase in productivity  $a_i$  and specify the component(s) whose productivity is increased by the effect.

If we would consider a situation in which all these factors were present simultaneously and the increase were fully achievable (i.e., all  $p_i=1$  and  $z_i=1$ ), we could achieve an increase of as much as 7.3 times in the productivity of the rail system. This very high value would clearly happen only in very specific and now critical situation, in general the amount decreases with the decrease in the probability of presence of those critical situations and with the actual increase in productivity achievable. In order to give the graphical representation in fig. 5, we set all  $p_i$  and  $z_i$  as equal among themselves ( $\forall p_i = p$  and  $\forall z_i = z$ ).

## 5. Final considerations and conclusions

In order to obtain a mode shift of freight from road to rail, one of the pillars of the European transport policy [42], rail freight transport has to improve its performance.

This paper reviewed the literature related to existing experiences in technological innovations aimed at improving rail freight transport performance. In particular, we analysed innovative experiences in the fields of command and control systems, automation of train formation and intermodal transport of containers and semi-trailers. In table 5 we report the general aim, problems to be solved, possible solutions, estimated costs and time horizon of the analysed experiences.

Command and control systems and intermodal transport appear to be fields for many dynamic initiatives, while at present experiences in the formation of trains using automatic couplers seem still very limited: however nowadays breakthrough innovations in European freight rail market are still struggling to gain a foothold. This seems to confirm what [8] suggest: the still not complete unification of European national railway markets into a wider single one – which contributes to lowering the competitiveness of this mode of transport [5] – seems sometimes to reflect also on innovations, which are often focused on specific national problems and in some cases might even lack interoperability and standardisation.

Technological innovations dramatically improved rail passenger transport services in the last decades. The relatively limited application of such innovations in rail freight transport in Europe up to now suggests that even small improvements are expected provide significant benefits to the industry and to the transport and socio-economic systems.

Our early analysis on figures from consulted literature suggests that, in very specific conditions, the adoption of automatic coupling and satellite positioning can boost productivity of rail freight transport as much as 7.3 times.

## POLITICA E ECONOMIA

TABELLA 5 - TABLE 5

Tabella di sintesi degli scopi generali, dei problemi da risolvere, delle possibili soluzioni, dei costi e degli orizzonti temporali delle soluzioni innovative analizzate (nostra elaborazione sulla letteratura).

*Summary table of general aim, problems to be solved, possible solutions, costs and time horizon of the analysed innovative solutions (our elaboration on consulted literature).*

Sistemi di comando e controllo <i>Command and control systems</i>			Composizione del treno <i>Train formation</i>	Trasporto intermodale di contenitori e semi-rimorchi <i>Intermodal transport of containers and semi-trailers</i>
<b>Posizionamento satellitare da bordo</b> <i>On-board satellite positioning</i>	<b>Verifica dell'integrità del treno da bordo</b> <i>On-board train integrity verification</i>	<b>Automazione completa di sistemi ferroviari merci</b> <i>Complete automation of freight rail systems</i>	<b>Aggancio automatico</b> <i>Automatic couplers</i>	<b>Carico e scarico orizzontale di contenitori e semi-rimorchi</b> <i>Horizontal loading and unloading of containers and semi-trailers</i>
Scopo generale <i>General aim</i>	Ridurre i costi ed aumentare la sicurezza su linee a scarso traffico; aumentare la capacità di linee ad elevato traffico <i>Reducing costs and increasing safety on low traffic density lines; increasing capacity of high traffic density ones.</i>	Aumentare regolarità, flessibilità e sicurezza; ridurre i consumi energetici <i>Improving regularity, flexibility and safety; reducing energy consumption</i>	Permettere treni più lunghi e pesanti; migliorare le operazioni nei terminali ed in linea <i>Allowing longer and heavier trains; improving both on-track and terminal operations</i>	Permettere ai treni di caricare/ scaricare a fermate intermedie e trasportare semi-rimorchi non adatti al sollevamento con gru <i>Allowing trains to load/unload at intermediate stops and carry semi-trailers not fit for cranes</i>
Problemi da risolvere <i>Problems to be solved</i>	Ostacoli fisici lungo le linee limitano la disponibilità del posizionamento satellitare <i>Physical obstacles along lines limit the availability of satellite positioning</i>	L'autonomia delle batterie deve superare gli intervalli di manutenzione (assenza di alimentazione sui carri), oppure necessario adoperare "racimolatori di energia" <i>Battery autonomy must exceed maintenance intervals (no electrical power on freight cars) or energy harvesting must be adopted.</i>	Gestione di elevata complessità e possibile conseguente necessità di ulteriore tecnologia di segnalamento lungo le linee <i>Management of high complexity and possible consequent need for further signalling technology along the lines</i>	Definizione di uno standard UE ed omologazione per tutti i paesi UE <i>Definition of a EU wide standard and homologation in all EU countries</i>
Possibili soluzioni <i>Possible solutions</i>	Supporto informativo da dispositivi auxiliari (es., odometri, accelerometri, sensori di velocità angolari e correnti "di Eddy", ecc.) <i>Information support from auxiliary devices (e.g., odometers, accelerometers, angular velocity and eddy current sensors, etc.)</i>	Minimizzazione dell'attività dei sensori, limitata alla verifica della reciproca presenza, dopo l'iniziale riconoscimento <i>Minimisation of sensor activity, limited to verification of mutual presence, after the initial recognition</i>	L'uso del posizionamento satellitare e della verifica dell'integrità da bordo potrebbe aiutare <i>Use of satellite positioning and on-board train integrity verification might help</i>	Uso di soluzioni testate ed ampiamente compatibili, es. C-AKv <i>Use of tested and widely compatible solutions, e.g. C-AKv</i>
Costi <i>Costs</i>	Possibili risparmi (riduzione di gestione e manutenzione del segnalamento) <i>Possible cost savings (reduction of signalling O&amp;M costs)</i>	Possibili risparmi (riduzione di gestione e manutenzione del segnalamento) <i>Possible cost savings (reduction of signalling O&amp;M costs)</i>	Elevati costi di implementazione, possibili minori costi di gestione se volumi di trasporto elevati <i>High implementation costs, possibly lower O&amp;M costs if high transport volumes</i>	Circa 5-8,000 € a vagono secondo [31]. Risparmi sul consumo di binari, respingenti e ruote <i>About 5-8,000 € per wagon according to [31]. Savings on rail, buffers and wheels wear</i>
Orizzonte temporale <i>Time horizon</i>	Medio termine <i>Medium term</i>	Breve termine <i>Short term</i>	Lungo termine <i>Long term</i>	Breve/medio termine <i>Short/Medium term</i>
				Breve termine <i>Short term</i>

Nel proseguo della ricerca vogliamo svolgere considerazioni maggiormente quantitative sull'entità dei costi e dei benefici e cercare di valutare la quota modale ottenibile con le soluzioni proposte usando modelli di trasporto a scala europea, per esempio TRANS-TOOLS ([43] e [44]), usando un approccio "dal basso" da confrontare con quello "dall'alto" utilizzato a fini più generali da [5].

## Ringraziamenti

Siamo grati per i preziosi consigli sulla ricerca ai professori Paolo BERIA (Politecnico di Milano) e Mattia CRESPI (Sapienza - Università di Roma). Questo lavoro rappresenta il primo stadio di una Ricerca di Dottorato in Infrastrutture e Trasporti alla Sapienza - Università di Roma, vogliamo ringraziare l'intero Collegio dei Docenti per gli utili suggerimenti e le critiche.

*In future research we want to make more quantitative considerations on the entity of costs and benefits and try to assess the achievable mode share with the proposed solutions using European scale transport models, e.g. TRANS-TOOLS ([43] & [44]), using a bottom-up approach, to be compared for example to the top-down approach used by [5].*

## Acknowledgments

*We are grateful for precious insights on the research to Professors Paolo BERIA (Politecnico di Milano) and Mattia CRESPI (Sapienza - Università di Roma). This work represents the first stage of a PhD research in Transport and Infrastructure at Sapienza - Università di Roma, we wish to thank the whole Academic Board for useful suggestions and critics.*

## BIBLIOGRAFIA – REFERENCES

- [1] MUSSO A. (2005), *"Influencing the modal split: The Roles of the Different Modes"*, in: ECMT, 16th International Symposium on Theory and Practice in Transport Economics 50 Years of Transport Research - Experience Gained and Major Challenges ahead, European Conference of Ministers of Transport. OECD Publishing.
- [2] BEUTHE M., BOUFFIOUX C., & DEMAEYE, J. (2005), *"Modal shifts, elasticities and qualitative factors"*, in: ECMT, 16th International Symposium on Theory and Practice in Transport Economics 50 Years of Transport Research - Experience Gained and Major Challenges ahead, European Conference of Ministers of Transport. OECD Publishing.
- [3] DANIELIS R., MARCUCCI E., & ROTARIS L. (2005), *"Logistics managers' stated preferences for freight service attributes"*, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 41(3), 201-215.
- [4] BOYSEN H.E. (2011), *"Freight Rail Efficiency Improvement Through Operational Coordination"*, Department of Transport Science, Royal Institute of Technology – KTH, Stockholm (Sweden).
- [5] VASSALLO J.M., & FAGAN M. (2007), *"Nature or nurture: why do railroads carry greater freight share in the United States than in Europe?"*, Transportation, 34(2), 177-193.
- [6] NELLDAL B.L. (2000), *"Competition and co-operation between railways and trucking in long distance freight transport - an economic analysis"*, Paper to 3nd KFB-Research conference "Transport Systems – Organisation and Planning" at Stockholm School of Economics 13/14 of June 2000, Sweden.
- [7] BONTEKONING Y., & PRIEMUS H. (2004), *"Breakthrough innovations in intermodal freight transport"*, Transportation Planning and Technology, 27(5), 335-345.
- [8] FRINDIK R. & SEIDELMANN C. (2006), *"RAILRUNNER: Feasibility on European Rail Itineraries"*, Frankfurt am Main, Germany.
- [9] MALAVASI G. (2014), *"Standard e prestazioni dei sistemi di sicurezza e segnalamento di linea"*, in: RICCI S. (ed.), *Ingegneria dei sistemi ferroviari: tecnologie, metodi ed applicazioni*, Egaf, Forlì (Italy).
- [10] DELFINO A. & GALAVERNA M. (2003), *"Blocco fisso e blocco mobile: analisi di potenzialità"*, *Ingegneria Ferroviaria*, 6.
- [11] BAUMGARTNER (2001), *"Prices and costs in the railway sector"*, Working Report. Laboratoire d'Intermodalité des Transports Et de Planification (LITEP), Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL); Lausanne (CH).
- [12] BEDRICH S., & GU X. (2004), *"GNSS-Based Sensor Fusion for Safety-Critical Applications in Rail Traffic"*, Proceedings of NAVIT EC.
- [13] McDONALD M., & LI Y. (2005), *"Delivering Information for the Management of Infrastructure and the Movement of Goods and People"*, Submitted to the Intelligent Infrastructure Foresight Report.
- [14] BEUGIN J., & MARAIS J. (2012), *"Simulation-based evaluation of dependability and safety properties of satellite technologies for railway localization"*, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 22, 42-57.
- [15] STATON G. (2005), *"INTEGRAIL. Project Overview"*, Kayser-Threde GmbH.

## POLITICA E ECONOMIA

- [16] MERTENS P., FRANCKART J.P., & STARCK A. (2003), "LOCOPROL: A low cost Train Location and Signalling system for "Low Density" Lines".
- [17] HARTWIG K., GRIMM M., zu HÖRSTE M.M., & LEMMER K. (2006), "Requirements for Safety Relevant Positioning Applications in Rail Traffic – a demonstrator for a train borne navigation platform called "DemoOrt", in National Research Council Canada: 7th World Congress on Railway Research WCRR, Montréal, Canada.
- [18] BECKER U., HANSEL F., MAY J., POLIAK J., & SCHNIEDER E. (2006), "Concept of vehicle autonomous localisation for railway application", 6th International Conference on In ITS Telecommunications Proceedings (pp. 326-330). IEEE.
- [19] STRANG T., MEYER M., & HOERSTE M. (2006), "A railway collision avoidance system exploiting ad-hoc inter-vehicle communications and Galileo", in Proceedings of the 13th its World Congress, London, 8-12 october 2006.
- [20] EGNOS (2013)m "About EGNOS - European Geostationary Navigation Overlay Service", Website: <http://egnos-portal.gsa.europa.eu/>
- [21] SENESI F. (2012), "Satellite application for train control systems: The Test Site in Sardinia", Journal of Rail Transport Planning & Management, 2(4), 73-78.
- [22] SENESI F., CIAFFI M., & CARONTI D. (2014), "ERTMS via satellite: la linea pilota italiana", La Tecnica Professionale, 1, 6-14.
- [23] SCHOLTEN H., WESTENBERG R. AND SCHOEMAKER M. (2009a), "Sensing Train Integrity", IEEE Sensors 2009 Conference.
- [24] ACHARYA A., SADHU S., & GHOSHAL T.K. (2011), "Train localization and parting detection using data fusion", Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 19(1), 75-84.
- [25] OH S., YOON Y., KIM K., & KIM Y. (2012), "Design of train integrity monitoring system for radio based train control system", in Control, Automation and Systems (ICCAS), 2012 12th International Conference on (pp. 1237-1240). IEEE.
- [26] SCHOLTEN H., WESTENBERG R. AND SCHOEMAKER M. (2009b), "Trainspotting, a WSN-based train integrity system", in: Proceedings of ICN 2009, March 2009, Gosier, France, pp. 226-231, IEEE Computer Society ISBN 978-0-7695-3552-4
- [27] MÜLLER R. (2002), "Das Projekt RUBIN–Automatische U-Bahnen ab 2006 in Nürnberg: Mehr Service und niedrigere Kosten im Nahverkehr.
- [28] Siemens (2002), "CargoMover: the Automatic Freight Car", Pictures of the Future, Siemens AG.
- [29] DIMITRIJEVIC B. AND SPASOVIC L.N. (2003), "Innovative Transportation Technologies", an Alternative for Providing Linkages Between Port Terminals and Inland Freight Distribution Facilities,
- [30] BOCCHETTI G. (2013), "ATO Freight Transportation Solutions", Ansaldo STS - SVP Innovation & Competitiveness, presented at "Innovazione tecnologica per la mobilità ferroviaria", 6 June 2013, Roma (Italy).
- [31] SÜNDERHAUF B. (2009), "Die Automatische Mittelpufferkupplung (AK): Kosten-Nutzen-Analyse", Website: <http://www.automatische-mittelpufferkupplung.de>
- [32] WARTENBERG J. (2009), "Future of Transport: The benefits of an automatic coupler for railway vehicles".
- [33] STUHR H.J. (2013), "Untersuchung von Einsatzszenarien einer automatischen Mittelpufferkupplung", Technischen Universität Berlin, Germany.
- [34] BUTCHER R. (2014), "Electronically Controlled Pneumatic Brakes", Railway Technical Web Pages. Website: [www.railway-technical.com](http://www.railway-technical.com)
- [35] RFI (2007), "Prefazione Generale all'Orario di Servizio ("General Preface to the Service Timetable")", Rete Ferroviaria Italiana, Ferrovie dello Stato Italiane, Roma (Italy).
- [36] DI FEBBRARO A., PORTA G., & SACCO N. (2006, September), "A Petri net modelling approach of intermodal terminals based on Metrocargo system", in Intelligent Transportation Systems Conference, 2006. ITSC'06. IEEE (pp. 1442-1447). IEEE.
- [37] NORDIO A., PORTA G., & SERVETTO M. (2005), "The "net" system Metrocargo®: an intermodal solution for the economic integration of the territory through the European corridors of transport", in Proc. of the 3rd International SIIIV Congress, Bari, Italy.
- [38] DALLA CHIARA B., DEFLORIO F.P., & SPIONE D. (2008), "The rolling road between the Italian and French Alps: modeling the modal split", Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 44(6), 1162-1174.

- [39] MERTEL R., PETRI K., SONDERMANN K.U. (2012), "Study on unaccompanied combined transport of semitrailers through Switzerland", KombiConsult on behalf of UIRR - International Union of combined Road-Rail transport companies.
- [40] VRENKEN H. (2012), "Innovative Intermodal Transport", EIA - European Intermodal Association.
- [41] CAVAGNARO M. (2014), "Un progetto merci per la rete ferroviaria europea / A freight project for the european railway network", Ingegneria Ferroviaria, 10/2014.
- [42] EC (2011), "Roadmap to a Single European Transport Area – Towards a competitive and resource efficient transport system", White Paper, European Commission. Bruxelles (Belgium).
- [43] NIELSEN O.A., & BURGESS A. (2008), "The European TRANSTOOLS Transport Model", Transportation.
- [44] HANSEN S. (2011), "TRANS\_TOOLS v2.5: Overview", TRANS\_TOOLS Documentation, Website: <http://energy.jrc.ec.europa.eu/transtools>

  
**Orologio "FRECCIAROSSA 1000"**  

Il CIFI in collaborazione con la società Perseo ha realizzato l'orologio "Frecciarossa 1000". Il costo è di € 270,00 iva inclusa + spese di spedizione<sup>(\*)</sup>.  
Ai Soci CIFI ed a tutti quelli che si iscriveranno al Collegio contestualmente all'acquisto, viene praticato uno sconto di € 54,00 per un costo a orologio di € 216,00 + spese di spedizione<sup>(\*)</sup>.

Agli Abbonati alle riviste "La Tecnica Professionale" e "Ingegneria Ferroviaria" (ed anche per coloro che sottoscriveranno l'abbonamento ad una delle due riviste verrà praticato uno sconto € 27,00 per un costo ad orologio di € 243,00 + spese di spedizione<sup>(\*)</sup>.

(\*) € 10,00

Per informazioni contattare il Sig. Leonetti  
Tel: 06 47 42 986 - FS 970/66825 - mail: [amministrazione@cifi.it](mailto:amministrazione@cifi.it)

