

## Metodologie per l'incremento della massa rimorchiata dei treni merci in conformità alla Fiche UIC 421

### *Methodologies for the hauled mass increase of freight trains in accordance with Fiche UIC 421*

Dott. Ing. Luciano CANTONE<sup>(\*)</sup>  
Dott. Ing. Andrea OTTATI<sup>(\*\*)</sup>

**Sommario** - L'attuale versione della Fiche UIC 421 sull'interoperabilità dei treni merci si caratterizza per un approccio, definito "relativo", ai fini della definizione di nuove configurazioni di treni aventi masse e/o lunghezze superiori a quelle di una famiglia di treni ammesse alla circolazione. Il lavoro, effettuato utilizzando il software di calcolo UIC *TrainDy*, calcola statisticamente i valori limite delle forze longitudinali in compressione e trazione di treni merci, aventi valori di massa e lunghezza ammessi dalla Fiche UIC 421 e rappresentativi di una tipologia di traffico diffuso. Inoltre, si mostra che è possibile ammettere alla circolazione treni merci aventi valori di massa rimorchiata e/o lunghezza superiori ai limiti prescritti dalla Fiche UIC 421, ma caratterizzati da forze longitudinali inferiori a quelle precedentemente calcolate.

#### 1. Introduzione

L'aumento del trasporto merci su rotaia costituisce, a livello di sistema-Paese, sia un'importante opportunità di risparmio energetico, con conseguenti positive ricadute in termini di inquinamento [2] [3] e di sostenibilità a lungo termine, sia uno strumento per aumentarne la competitività economica eliminando, tra l'altro, le barriere alla circolazione di merci tra i diversi Paesi Europei, mediante condivise regole di interoperabilità.

Per conseguire tali obiettivi, sono necessarie azioni sinergiche tra le Imprese Ferroviarie e il Gestore dell'Infrastruttura. Tra le azioni migliorative attuabili dalle Imprese Ferroviarie, nel presente lavoro si focalizza l'attenzione sull'aumento della massa rimorchiata tramite un incremento della lunghezza del treno, senza un aumento

**Summary** - The current version of Fiche UIC 421 on the interoperability of freight trains is characterised by an approach, called "relative", for the purposes of defining new configurations of trains with weights and/or lengths greater than those of a family of trains admitted to circulation. The work, carried out using the UIC *TrainDy* calculation software, statistically calculates the longitudinal forces in compression and traction limit values of freight trains, with mass and length values allowed by Fiche UIC 421 and representative of a widespread type of traffic. Furthermore, it is shown that freight trains with hauled mass values and/or length exceeding the limits prescribed by Fiche UIC 421, but characterised by longitudinal forces smaller than those previously calculated, can be accepted for circulation.

#### 1. Introduction

The increase in rail freight transport is, at system-Country level, both an important opportunity for energy savings, with consequent positive repercussions in terms of pollution [2] [3] and long-term sustainability, and a tool to increase economic competitiveness by eliminating, among other things, the barriers to the movement of goods between the various European countries, using shared interoperability rules.

To achieve these objectives, synergic actions among Railway Undertakings and the Infrastructure Manager are necessary. Among the improvement actions implemented by Railway Undertakings, this work focuses attention on the increase of hauled mass through an increase in the length of the train, without an increase of the load per axle. This has an immediate economic impact, allowing savings in terms of driving staff and tracks to be requested to the

<sup>(\*)</sup> Dipartimento di Ingegneria dell'Impresa "Mario Lucertini", Università degli Studi di Roma "Tor Vergata".

<sup>(\*\*)</sup> Sistemi Frenanti - Ingegneria Rotabili e Tecnologie di Base, Direzione Tecnica Trenitalia - Firenze.

<sup>(\*)</sup> Department of Enterprise Engineering "Mario Lucertini", University of "Tor Vergata" Rome.

<sup>(\*\*)</sup> Braking Systems - Rolling Stock Engineering and Basic Technologies - Trenitalia Engineering Management - Florence.

## SCIENZA E TECNICA

del carico per asse. Ciò ha un'immediata ricaduta economica, consentendo di risparmiare in termini di tracce da richiedere al Gestore delle Infrastrutture e di personale di macchina. Quest'aumento è tale da creare nuove famiglie di treni aventi forze longitudinali in trazione e compressione inferiori a quelle dei treni attualmente ammessi dalla Fiche UIC 421 [1]. Si noti peraltro che gli stessi obiettivi, vale a dire riduzione delle forze longitudinali in treni merci più pesanti e lunghi, sono perseguibili anche mediante l'utilizzo di differenti tecnologie di frenatura, tipo il freno elettropneumatico o gli acceleratori di frenatura (dispositivi di svuotamento locale della condotta generale, attivati da cali di pressione nella stessa) o per mezzo dell'introduzione di tecnologie radio di comunicazione tra le locomotive (come investigato nell'ambito del progetto Europeo di ricerca Marathon, <http://www.marathon-project.eu/>, dove si è provata l'operabilità di treni merci costituiti dall'unione di due sotto-treni). A differenza del "mondo" AAR - Association of American Railroads (si veda ad esempio [4] e [5]), le precedenti soluzioni, sebbene esistano lavori scientifici in merito (come ad esempio [6] e [7]), rappresentano soluzioni applicative scarsamente utilizzate nel panorama del trasporto merci Europeo, principalmente per ragioni di costo.

L'attuale versione della Fiche UIC 421 [1] sull'interoperabilità dei treni merci oltre a fornire espliciti limiti, in termini di massa, lunghezza e regime di frenatura, consente un approccio (definito "relativo") che consente di eccedere tali limiti, mediante valutazione statistica delle forze longitudinali scambiate tra veicoli consecutivi. Utilizzando come valori limite per le forze longitudinali quelli ottenuti con treni merci esplicitamente ammessi dalla Fiche UIC 421, il presente lavoro mostra che è possibile, pur mantenendo la stessa tipologia di materiale rotabile, ottenere forze longitudinali inferiori, con treni aventi maggiore massa rimorchiata. In questa sede, si è scelto di considerare due tipi di trasporto merci diffuso: siderurgico e "rottami", ma la stessa metodologia è applicabile ad altre tipologie di trasporto merci.

Per il calcolo numerico delle forze longitudinali si sarebbero potuti usare sia software commerciali multibody (quali Adams Rail®, Simpack®, etc.) che altri software di ambito applicativo più ristrettamente ferroviario, come eTrain [8] o TrainDy. Si è scelto di usare il software TrainDy, nato dalla collaborazione tra l'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata" e la Faiveley Transport Italia e certificato nel 2009 dall'UIC mediante confronto con dati sperimentali messi a disposizione da DB AG, SNCF e Trenitalia [9], [10], [11] e [12], per ragioni di accuratezza del calcolo della dinamica longitudinale del treno. Questo software, specifico per il settore ferroviario, è stato concepito come una piattaforma condivisa (a livello UIC) per il calcolo della dinamica longitudinale dei treni merci e si compone di due moduli. Il primo modulo calcola la pressione dell'aria nella condotta generale e nei cilindri-freno seguendo la formulazione matematica, esposta in [13], [14] e [15]; i lavori scientifici [16], [17], [18] e [19] possono essere citati come riferimento per quest'argomento. L'approccio seguito in TrainDy generaliz-

*Infrastructure Manager. This increase is such as to create new families of trains having longitudinal forces in traction and compression lower than those of trains currently allowed by Fiche UIC 421 [1]. It should also be noted that the same objectives, namely the reduction of longitudinal forces in heavier and longer freight trains, can be pursued using different braking technologies, such as the electro-pneumatic brake or braking accelerators (local emptying devices of the general pipe, triggered by pressure drops in the same) or by means of the introduction of radio communication technologies between locomotives (as investigated in the context of the Marathon European research project, <http://www.marathon-project.eu/>, where the operability of freight trains consisting of the union of two sub-trains was proved). Unlike the "world" AAR - Association of American Railroads - (see for example [4] and [5]), the previous solutions, although there are scientific papers about them (such as [6] and [7]), represent sparsely used application solutions in the European freight transport panorama, mainly for cost reasons.*

*The current version of the Fiche UIC 421 [1] on interoperability of freight trains as well as providing explicit limitations, in terms of mass, length and braking regime, allows an approach (called "relative") allowing to exceed these limits, using the statistical evaluation of longitudinal forces exchanged between consecutive vehicles. Using as limit values for longitudinal forces those obtained with freight trains explicitly allowed by Fiche UIC 421, this work shows that while maintaining the same type of rolling stock, lower longitudinal forces can be obtained, with trains having greater hauled mass. On this occasion, it was decided to consider two types of widespread freight transport: steel and "scrap", but the same methodology can be applied to other types of freight transport.*

*For the numerical calculation of longitudinal forces both multibody commercial software could have been used (such as Adams Rail®, Simpack®, etc.) and other software with a more strictly rail application scope such as eTrain [8] or TrainDy. For reasons of accurate calculation of longitudinal train dynamics, the choice was to use the TrainDy software, created from the collaboration between the University of Rome "Tor Vergata" and Faiveley Transport Italy and certified by the UIC in 2009, by comparison with experimental data provided by DB AG, SNCF and Trenitalia [9], [10], [11] and [12]. This software, specific to the railway industry, is conceived as a shared platform (at UIC level) for the calculation of longitudinal dynamics of freight trains and consists of two modules. The first module calculates the air pressure in the general pipe and in the -brake cylinders following the mathematical formulation, shown in [13], [14] and [15]; scientific papers [16], [17], [18] and [19] can be quoted as a reference for this topic. The approach adopted in TrainDy generalises these last works and is more efficient at a computational level, compared to [20]. This new and more general fluid-dynamic model of the general pipe addresses, under the assumption of a quasi one-dimensional flow, the equations of continuity, balance*

## SCIENZA E TECNICA

za tali ultimi lavori e risulta più efficiente, a livello computazionale, rispetto a [20]. Detto nuovo e più generale modello fluidodinamico della condotta generale risolve, sotto l'ipotesi di flusso quasi mono-dimensionale, le equazioni di continuità, di bilancio della quantità di moto e di conservazione dell'energia considerando un condotto circolare a sezione variabile dal e nel quale sia possibile o spillare od insufflare lateralmente una portata massica. Il secondo modulo di *TrainDy* calcola la dinamica longitudinale seguendo la formulazione riportata in [12] (equivalente a [8]), fornendo scostamenti massimi del 10% e del 25% riferiti ai dati sperimentali in termini di spazi d'arresto e di massime forze longitudinali, rispettivamente, anche considerando treni con trazione e/o frenatura distribuita (vale a dire con locomotiva intercalata, comandata via radio).

Come detto, il presente lavoro analizza due tipologie di trasporto merci: quello "siderurgico" (con carri pianale muniti di selle porta coils tipo S13 e R1h) e quello di "materiali grezzi" o "rottami" (con carri ad alte sponde a carrelli della serie E). Il codice *TrainDy* è qui usato sia per calcolare le forze scambiate tra carri consecutivi nonché gli spazi d'arresto di treni merci, attualmente circolanti o comunque ammissibili dalla UIC 421, sia per mostrare l'effetto di nuove regole di composizione e di trazione. Lo scopo del lavoro è di mostrare come superare, in sicurezza (ovvero senza eccedere i valori limite delle forze longitudinali), i limiti, in termini di massa rimorchiata, imposti dalla UIC 421; a tale scopo si è seguito l'approccio "relativo" (così definito dalla stessa Fiche), basato su una trattazione statistica, come peraltro fatto da altri Autori, seppure in ambito diverso (si veda, ad esempio, [21]). E' da notare che nella letteratura scientifica internazionale non sono presenti altri lavori che mostrano come sia possibile aumentare la massa rimorchiata dei treni merci circolanti in Europa, con una metodologia che è in linea con i principi della UIC 421.

All'inizio del presente lavoro, si ritiene utile richiamare le linee essenziali di un algoritmo per la generazione automatica di composizioni di treni (argomento già trattato in [22]) secondo gli input gestibili mediante *TrainDy*, e rispettando particolari criteri operativi in termini di lunghezza del treno, di massa rimorchiata, di tipologie di carri impiegati, etc.

### 2. Modello numerico di generazione automatica di configurazioni

In questo paragrafo si richiama, per completezza di esposizione e comodità di lettura, un algoritmo numerico presentato in [22]. Però, in [22], quest'algoritmo è stato utilizzato imponendo contemporaneamente la lunghezza e la massa del treno; in questa sede, invece, s'impone solo la massa, considerando la lunghezza del treno come una grandezza derivata. L'algoritmo algebrico-statistico qui presentato è alternativo a quello, completamente statistico, di uso facoltativo, riportato nell'Appendice B della Fiche UIC 421; La differenza tra i due algoritmi consta del fatto che quello presentato in questa sede, prevedendo la risoluzione algebrica di un sistema lineare di equazioni, riesce a rispettare meglio

*of momentum and conservation of energy considering a circular pipe with a variable section and in which a massive flow can either be drawn off or inflated laterally. The second TrainDy module calculates the longitudinal dynamics following the formulation shown in [12] (equivalent to [8]), providing maximum deviations of 10% and 25% referred to experimental data in terms of braking distances and maximum longitudinal forces, respectively, also considering trains with distributed traction and/or braking (i.e. with radio controlled interposed locomotive).*

*As mentioned, this work analyses two types of freight transport: the "steel" one (with flat wagons fitted with coil holder saddles type S13 and R1h) and the "raw materials" or "scraps" one (with high-sided open goods wagons with E-series bogies). The TrainDy code is here used both to calculate the forces exchanged between consecutive wagons and braking distances of freight trains, currently circulating or however allowed by UIC 421, and to show the effect of new rules on train composition and on traction. The aim of this work is to show how to overcome safely (i.e. without exceeding the limit values of longitudinal forces), the limits, in terms of hauled mass, imposed by UIC 421; to this end the "relative" approach was followed (as defined by the same Fiche), based on a statistical procedure, as done by other Authors, albeit in a different scope (see, for example [21]). It is worth noting that there are no other works in international scientific literature showing how the hauled mass of freight trains circulating in Europe can be increased, with a methodology that is in line with the principles of the UIC 421.*

*At the beginning of this work, it is considered useful to recall the essential lines of an algorithm for the automatic generation of train composition (topic already covered in [22]) according to inputs manageable by TrainDy, and respecting special operating criteria in terms of train length, hauled mass, types of wagons used, etc.*

### 2. Numerical model of automatic generation of configurations

*For completeness of exposure and ease of reading, this paragraph refers to a numeric algorithm presented in [22]. However, in [22], this algorithm was used by imposing both the length and mass of the train; here, by contrast, only the mass is imposed, considering the length of the train as a derived quantity. The algebraic-statistical algorithm presented here is alternative to the fully statistical and optional one reported in Appendix B of Fiche UIC 421; the difference between the two algorithms consists in the fact that the one presented here, by employing the algebraic resolution of a linear system of equations, can better meet the required inputs in terms of the type of vehicle and hauled mass, considering the same number of trains generated and of computational operations necessary to obtain them. Moreover, it should be pointed out that, since the solution of the above-mentioned algebraic system must be given by a vector with integer components (as will become clear later), the solution of the same system requires a specific nu-*



## SCIENZA E TECNICA

gli input prescritti in termini di tipologia di veicolo e di carico trasportato, a parità di treni generati e di operazioni necessarie per ottenerli. È peraltro da rimarcare che, poiché la soluzione del suddetto sistema algebrico deve essere data da un vettore a componenti intere (come sarà chiaro anche in seguito), la soluzione dello stesso richiede una particolare procedura numerica, che non si desidera qui riportare, in quanto al di là degli scopi del presente lavoro.

Il modello algebrico, che di seguito si espone, consente di creare automaticamente  $N_T$  composizioni di treni tali da soddisfare i requisiti in termini di lunghezza ( $L_T$ ) e massa rimorchiata ( $M_T$ ) complessiva. Nella definizione del treno è possibile, inoltre, specificare:

- la frazione ( $F_i$ ) di ciascun tipo di veicolo da utilizzare: ad esempio, considerando che una famiglia di 1000 treni ( $N_T = 1000$ ) è costituita complessivamente da 35000 carri ( $n_T = 35000$ ) e che questi appartengono a tre diverse tipologie ciascuna con numerosità, rispettivamente, di 10000, 14000, e 11000 elementi, i valori dei coefficienti  $F_i$  sono: 10/35, 14/35 e 11/35.
- per ogni tipo di veicolo, la diversa frazione ( $f_{ij}$ ) di massa rimorchiata ( $m_{ij}$ ). Riferendosi all'esempio precedente, i 10000 carri del primo tipo, possono trasportare i seguenti valori di massa  $m_{ij}$ : 35 t, 45 t, 50 t (nella realtà saranno molti di più). Se i carri che trasportano 35 t sono 3200, quelli che trasportano 45 t sono 5800 e, infine, quelli che trasportano 50 t sono 1000, i coefficienti  $f_{ij}$  saranno: 32/100, 58/100, 10/100.

Le quantità  $N_T$ ,  $L_T$ ,  $M_T$ ,  $F_i$ ,  $f_{ij}$  e  $m_{ij}$ , sono gli input del modello insieme al tipo di carro  $i$ -esimo: nella famiglia di  $N_T$  treni, ci sono  $n_v$  tipi diversi di carri (nell'esempio precedente  $n_v = 3$ ); da queste grandezze sono calcolati automaticamente i numeri di carri di ogni tipo, trasportanti una data massa, indicati con  $n_{ij}$ , e, successivamente, le composizioni dei treni che è richiesto generare in modo che la massa di ogni treno sia quanto più vicino possibile a  $M_T$ . Detto  $n_{mi}$  il numero di diversi livelli di massa rimorchiata dal veicolo  $i$ , il numero di incognite del problema  $n_{ij}$  è pari a  $\sum_{i=1}^{n_v} n_{mi}$ : nel caso della prima tipologia di carri dell'esempio,  $n_{mi}$  vale 3.

Indicati, quindi, con  $n_{ij}$  i numeri di carri di tipo  $i$  che portano il livello di massa  $j$  (indicato prima con  $m_{ij}$ ), i carri di tipo  $i$  sono pari a:

$$n_i = \sum_{j=1}^{n_{mi}} n_{ij} \quad (1)$$

Il numero totale di carri di cui sono composti gli  $N_T$  treni è:

$$n_T = \sum_{i=1}^{n_v} n_i$$

Per le frazioni di carri di uno specifico tipo vale:

$$F_i = \frac{n_i}{n_T}$$

Esplicitando la relazione precedente ed utilizzando la (1)

merical procedure, that we do not want to report here, because it is beyond the scope of this work.

The algebraic model shown below allows to automatically create  $N_T$  compositions of trains that meet the requirements in terms of overall length ( $L_T$ ) and hauled mass ( $M_T$ ). It can also be specified, in the definition of the train, the following quantities:

- the fraction ( $F_i$ ) of each type of vehicle to be used: for example, considering a family of 1000 trains ( $N_T = 1000$ ) consisting of a total of 35000 wagons ( $n_T = 35000$ ) belonging to three different types, each respectively, with a number of 10000, 14000, and 11000 elements, the values of the coefficients  $F_i$  are: 10/35, 14/35 and 11/35.
- for each vehicle type, the different fraction ( $f_{ij}$ ) of hauled mass ( $m_{ij}$ ). Referring to the previous example, the 10000 wagons of the first type, can carry the following mass  $m_{ij}$  values: 35 t, 45 t, 50 t (they will actually be many more). If the wagons carrying 35 t are 3200, those carrying 45 t are 5800 and, finally, those that carry 50 t are 1000, the  $f_{ij}$  coefficients will be: 32/100, 58/100, 10/100.

The  $N_T$ ,  $L_T$ ,  $M_T$ ,  $F_i$ ,  $f_{ij}$  and  $m_{ij}$  quantities, are the model inputs together with the  $i$ -th wagon type: in the family of  $N_T$  family trains, there are  $n_v$  different types of wagons (in the previous example  $n_v = 3$ ); from these quantities, the numbers of all types of wagons carrying a given mass, indicated with  $n_{ij}$ , are automatically calculated and, subsequently, the compositions of trains, having the mass as near as possible to  $M_T$ , are generated. Said  $n_{mi}$  the number of different levels of mass hauled by vehicle  $i$ , the number of unknowns,  $n_{ij}$  is equal to  $\sum_{i=1}^{n_v} n_{mi}$ : in the case of the first type of wagons in the example,  $n_{mi}$  has a value of 3.

Therefore, having indicated with  $n_{ij}$  the number of wagon type  $i$  bogies that carries the mass level  $j$  (shown before with  $m_{ij}$ ), the number of wagons of type  $i$  is equal to:

$$n_i = \sum_{j=1}^{n_{mi}} n_{ij} \quad (1)$$

The total number of wagons that compose the  $N_T$  trains is:

$$n_T = \sum_{i=1}^{n_v} n_i$$

For fractions of wagons of a specific type it can be written:

$$F_i = \frac{n_i}{n_T}$$

By making explicit the previous relation and using the (1) for the different types of wagons, we can write  $n_v-1$  equations of the type:

$$F_i \sum_{j=1}^{n_{mi}} n_{1j} + F_i \sum_{j=1}^{n_{mi}} n_{2j} + \dots + F_i \sum_{j=1}^{n_{mi}} n_{n_v,j} = \sum_{j=1}^{n_{mi}} n_{ij} \quad (2)$$

For mass fractions hauled by the generic wagon we can write in a similar manner:  $f_{ij} = \frac{n_{ij}}{n_i}$



## SCIENZA E TECNICA

per i diversi tipi di carri, si possono scrivere  $n_v-1$  equazioni del tipo:

$$F_i \sum_{j=1}^{n_{m1}} n_{1j} + F_i \sum_{j=1}^{n_{m2}} n_{2j} + \dots + F_i \sum_{j=1}^{n_{m_{n_v}}}} n_{n_v,j} = \sum_{j=1}^{n_{mi}} n_{ij} \quad (2)$$

Per le frazioni di massa rimorchiata dal generico carro si può scrivere in maniera analoga:  $f_{ij} = \frac{n_{ij}}{n_i}$ . Sempre me-

diente la (1), è possibile scrivere, per ogni tipo di carro,  $n_{mi}-1$  relazioni del tipo:

$$f_{ij} \cdot n_{i1} + f_{ij} \cdot n_{i2} + \dots + f_{ij} \cdot n_{i_{n_{mi}}} = n_{ij} \quad (3)$$

Dette  $l_i$  le lunghezze dei diversi carri, la lunghezza del treno sarà pari a:

$$l_1 \sum_{j=1}^{n_{m1}} n_{1j} + l_2 \sum_{j=1}^{n_{m2}} n_{2j} + \dots + l_{n_v} \sum_{j=1}^{n_{m_{n_v}}} n_{n_v,j} = L_T, \quad (4)$$

mentre la massa del treno è pari a:

$$\sum_{i,j} n_{ij} \cdot m_{ij} = M_T \quad (5)$$

Nel caso in cui si specifica contemporaneamente la lunghezza e la massa del treno (oltre agli altri input relativi ai veicoli) il problema è chiaramente sovradeterminato: c'è un'equazione in più rispetto al numero delle incognite. Ciò vuol dire che la soluzione non è tale da soddisfare tutte le equazioni; nonostante ciò, seppur siano violate le richieste riguardo alle frazioni di veicoli da usare, è possibile generare automaticamente configurazioni di treno con i desiderati valori di massa e lunghezza, con errori massimi, dipendenti dagli input inseriti, ma di solito inferiori al 1%, rispetto al dato atteso, come si ricava dalle esperienze di utilizzo del presente modello numerico. Si noti che, ovviamente, dovendo la soluzione essere rappresentata da numeri interi e positivi, in genere, anche nel caso in cui sia specificata semplicemente la lunghezza e/o la massa del treno, è necessaria dapprima l'inversione di una matrice quadrata di ordine  $\sum_{i=1}^{n_v} n_{mi}$ , e poi,

mediante arrotondamenti tali da minimizzare l'errore, si arriva alla soluzione definitiva.

### 3. La Fiche UIC 421 e i casi studio esaminati

Nel quadro di riferimento UIC il reciproco scambio dei treni ammessi al traffico internazionale è assicurato da una serie di Fiche tra cui, oltre alla 421, si ricorda la Fiche 432 per quanto riguarda le velocità e le condizioni tecniche dei carri in regime S ed SS, la Fiche 471 per le condizioni di scambio dei carri tra imprese ferroviarie e la Fiche 472 per quanto riguarda la lista di composizione dei treni ed i relativi dati relativi alla frenatura.

La Fiche 421, invece, stabilisce i requisiti di composizione e frenatura per i treni merci ammessi al traffico internazionale, in base al loro regime di frenatura ed alla loro velocità massima. Tale Fiche descrive, inoltre, un meto-

Always using the (1), we can write, for each type of wagon,  $n_{mi}-1$  relations of the type:

$$f_{ij} \cdot n_{i1} + f_{ij} \cdot n_{i2} + \dots + f_{ij} \cdot n_{i_{n_{mi}}} = n_{ij} \quad (3)$$

Calling  $l_i$  the lengths of the different wagons, the train length will be equal to:

$$l_1 \sum_{j=1}^{n_{m1}} n_{1j} + l_2 \sum_{j=1}^{n_{m2}} n_{2j} + \dots + l_{n_v} \sum_{j=1}^{n_{m_{n_v}}} n_{n_v,j} = L_T, \quad (4)$$

Whereas the train mass is equal to:

$$\sum_{i,j} n_{ij} \cdot m_{ij} = M_T \quad (5)$$

If both the length and mass of the train are specified at the same time (in addition to the other inputs related to the vehicles) the problem is clearly over determined: there is an extra equation compared to the number of unknowns. This means that the solution is not likely to satisfy all equations; nevertheless, although the constraints concerning the vehicle fractions to be used are violated, train configurations can be automatically generated with the desired mass and length values, with maximum errors, dependent on the inputs used, but usually less than 1%, compared to expected data, as is obtained from the experience of use of this numerical model. Of course, it should be noted that since the solution must be given by integer and positive numbers, generally, even if only the length and/or the mass of train is simply specified, first of all the inversion of a square matrix of order  $\sum_{i=1}^{n_v} n_{mi}$ , and then, by rounding in order to minimize the error, the definitive solution is obtained.

### 3. Fiche UIC 421 and case studies examined

In the UIC reference framework the mutual exchange of trains admitted to international traffic is guaranteed by a series of Fiches including, in addition to 421, Fiche 432 regarding speed and technical conditions of wagons under S and SS regime, Fiche 471 for exchange conditions of wagons between railway undertakings and Fiche 472 regarding the list of train compositions and corresponding braking data.

However, Fiche 421 sets out the composition and braking requirements for freight trains admitted to international traffic, on the basis of their braking scheme and their maximum speed. This Fiche describes a statistical method to determine the safety level (expressed in terms of percentage of derailed trains) of new compositions of trains. This method is based on the comparison of longitudinal compression forces at 10 m (10 m - LCFs) exchanged between consecutive vehicles and calculated using software designed for the purpose. Assuming a negative value for longitudinal compression forces (and positive for traction ones), it should be remembered that longitudinal compression forces at 10 m, at any given point of the track, are given by the minimum longitudinal compression force value (in module), achieved in 10 m before the test point.

## SCIENZA E TECNICA

do statistico per stabilire il livello di sicurezza (espresso in termini di percentuale di treni. Questo metodo è basato sul confronto delle forze longitudinali di compressione a 10 m (10 m-LCFs) scambiate tra veicoli consecutivi e calcolate tramite software progettati per lo scopo. Assumendo un valore negativo per le forze longitudinali di compressione (e positivo per quelle di trazione), si ricorda che le forze longitudinali di compressione a 10 m, in un dato punto del tracciato, sono date dal minimo valore (in modulo) di forza longitudinale di compressione, raggiunto nei 10 m antecedenti il punto in esame.

Nella prima parte della Fiche sono riportati una serie di prescrizioni e di valori-limite in termini di lunghezza e massa rimorchiata, che devono essere rispettati dai treni ammessi al traffico internazionale. I treni che eccedono tali limiti, al fine di essere ammessi al traffico internazionale, devono essere analizzati seguendo la metodologia statistica descritta nell'Appendice B. Questa metodologia è definita di tipo "relativo"; in pratica, in mancanza di documentazione ed esperienza specifica, si prevede di comparare le forze longitudinali di compressione con quelle di un caso noto, riconosciuto come sicuro, giacché circolante. Secondo tale procedura, il tipo ed il carico associato ad ogni carro devono riprodurre quelli dei nuovi treni che si vogliono porre in circolazione, mentre le operazioni ferroviarie simulate devono essere rappresentative del reale esercizio del treno (frenature, accelerazioni seguite da frenature e così via). I nuovi treni saranno ammessi alla circolazione se garantiranno un livello di sicurezza migliore o uguale a quello dei treni già ammessi alla circolazione.

Per quanto concerne i limiti prescritti dalla UIC 421, i più rilevanti ai fini del presente lavoro sono relativi alla lunghezza massima del treno che deve essere di 700 m, esclusa la (o le) locomotive ed alla massima massa rimorchiata (sempre riferita ai soli carri merci) che deve essere:

- di 800 t per il regime P;
- di 1200 t nel caso di locomotiva in regime G e carri in P (di seguito abbreviato come G-P);
- di 1600 t per il caso di locomotiva lunga ovvero locomotiva e primi 5 carri in regime G e resto del treno in P (di seguito abbreviato come regime LL),
- di 2500 t nel caso in cui tutto il treno in regime G.

Per quanto riguarda le altre prescrizioni cui devono essere soggetti i treni merci, esse non sono qui riportate per brevità, ma i treni oggetto delle analisi del presente lavoro sono tali da rispettarle tutte. Per quanto già affermato prima, questi tipi di treni sono ammessi alla circolazione internazionale, senza necessità di alcun tipo di ulteriore analisi.

Utilizzando l'algoritmo numerico descritto nel paragrafo precedente con la massa del treno fissata e generando per ogni regime di frenatura 300 treni, si ottengono, per frenature di emergenza su tracciato rettilineo piano da 30 km/h (velocità tipicamente usata per questo tipo di calcoli), gli andamenti delle funzioni di distribuzione

*The first part of the Fiche lists a series of requirements and limit values in terms of length and hauled mass that must be met by trains admitted to international traffic. Trains that exceed these limits should be analysed using the statistical methodology described in Appendix B in order to be admitted to international traffic. This methodology is defined as "relative" type; in practice, in the absence of documentation and specific expertise, the longitudinal compression forces are compared against those of a known case, recognised as safe, since it is circulating. According to this procedure, the type and load associated with each wagon must reproduce those of the new trains to be put into circulation, while simulated railway operations must be representative of the actual operation of the train (braking, accelerations followed by braking and so on). New trains will be admitted to circulation if they guarantee a safety level equal to or better than that of trains already admitted to circulation.*

*With regard to the limits prescribed by UIC 421, the most relevant, for the purposes of this work, are related to the maximum length of the train, that must be 700 m, excluding the locomotive(s) and to the maximum hauled mass (always referred to freight wagons only), which must be:*

- 800 t for P regime;
- 1200 t in the case of locomotive in G regime and in P regime (hereinafter abbreviated as G-P);
- 1600 t for the long locomotive or locomotive and first 5 wagons in G regime and the remaining wagons of the train in P (hereinafter abbreviated as LL regime),
- 2500 t in the case where all the train is in G regime.

*Regarding the other requirements which freight trains must be subjected to, they are not mentioned here for the sake of brevity, but trains involved in the analysis of this work are such that respect them all. As already said before, these types of trains are admitted to international traffic, without the need for any further analysis.*

*Using the numerical algorithm described in the previous paragraph, with the mass of train fixed, and generating 300 trains for each braking system the trends of cumulative distribution functions (or empirical distribution functions), shown in figs. 1 and 2, are obtained for emergency braking on a tangent planar track from 30 km/h (speed typically used for this kind of calculations). Families of trains have been characterised by 300 simulations because, as noted in [21], with this number of simulations an error, lower than 5% and 10%, is obtained in the estimate of the average and standard deviation, respectively; values that can be considered acceptable for this type of analysis. Since, as mentioned above, the safety level of a train in Fiche UIC 421 is evaluated in terms of longitudinal compression forces at 10 m, the emergency braking simulations were carried out starting from the speed of 30 km/h, because this kind of force is maximum for initial braking speeds between 20 and 40 km/h. These speed values originate from experimental line tests and are confirmed by numerical simulations. These values depend on the particular variation of the friction co-*

## SCIENZA E TECNICA

cumulativa (o funzioni di ripartizione empirica) riportate in figg. 1 e 2. Le famiglie di treni sono state caratterizzate mediante 300 simulazioni perchè, in base a quanto osservato in [21] con questo numero di simulazioni si ottiene un errore nella stima della media e della deviazione standard, inferiore al 5% ed al 10%, rispettivamente; valori che possono essere ritenuti accettabili per questa tipologia d'analisi. Poiché, come già detto, il livello di sicurezza di un treno nella Fiche UIC 421 è valutato in termini di forze longitudinali di compressione a 10 m, le simulazioni di frenatura di emergenza sono state effettuate a partire dalla velocità di 30 km/h, perché questo tipo di forze è massimo per velocità iniziali di frenatura comprese tra 20 e 40 km/h. Questi valori di velocità provengono da prove sperimentali di linea e sono confermate dalle simulazioni numeriche. Detti valori dipendono dalla particolare variabilità del coefficiente d'attrito della ghisa, di cui sono costituite le suole dei freni. Per ogni simulazione (e, quindi, per ogni treno caratterizzato da una sua specifica disposizione dei carri) sono stati ricavati i valori massimi (in modulo) delle forze longitudinali in compressione a 10 m e di trazione a 2 m. Si sono volute riportare anche le forze longitudinali di trazione a 2 m, in quanto, sebbene non siano richiamate espressamente dalla Fiche UIC 421, sono utili per valutare il danneggiamento cui sono sottoposti i ganci di trazione durante le comuni operazioni ferroviarie di frenatura e/o accelerazione seguita da una frenatura.

I risultati riportati in figg. 1 e 2 sono stati ottenuti considerando carri per il trasporto siderurgico tipo S13 e R1h con valori di massa vicini al valore della massa d'inversione<sup>(1)</sup>: i valori di massa scelta per i diversi carri sono a volte inferiori ed a volte superiori a quella d'inversione, in modo da enfatizzare le differenze di percentuale di massa frenata tra gli stessi carri. In aggiunta, in fig. 1, le simulazioni sono condotte considerando uno stesso numero di treni, aventi carri posti in modo tale da garantire ordinamenti decrescenti o crescenti delle percentuali di massa frenata lungo il treno, allo scopo di investigare le massime e le minime forze longitudinali in compressione ed in trazione, che si ottengono, pur rispettando i limiti della Fiche, al variare della disposizione di carri lungo il treno, ma fissando la massa rimorchiata. In fig. 2, invece, i treni hanno una casuale distribuzione della percentuale di massa frenata tra i diversi carri. Le principali caratteristiche tecniche dei carri utilizzati per comporre le due tipologie di treni (per trasporto siderurgico e rottami),

*efficient of cast iron, which brake blocks consist of. For each simulation (and hence for each train featuring a specific arrangement of wagons) the maximum values (in module) of longitudinal forces in compression at 10 m and 2 m traction were obtained. We also wanted to report the longitudinal traction forces at 2 m, because, although they are not expressly referred to in Fiche UIC 421 they are useful for assessing the damage to which traction hooks are subjected during common railway braking and/or acceleration operations followed by braking.*

*The results shown in figs. 1 and 2 were obtained considering steel transport wagon type S13 and R1h with mass values close to the inversion mass value<sup>(1)</sup>: the values of the chosen mass for different wagons are sometimes lower and sometimes higher than inversion ones, in order to emphasise the differences in percentage of braked mass between the same wagons. In addition, in fig. 1, the simulations are conducted considering the same number of trains, with wagons placed in a way such as to achieve decreasing or increasing values of percentages of braked mass along the train, with the purpose of investigating the maximum and minimum longitudinal forces in compression and traction obtained while respecting the limits of the Fiche, varying wagons arrangement along the train, but keeping the hauled mass. In fig. 2, however, trains have a random distribution of braked mass percentage among the different wagons. The main technical specifications of wagons used to compose the two types of trains (for steel and scrap transport), considered in this study, are shown in table 1; all the wagons considered have bogies.*

*In fig. 1 and 2, for regime G, 2100 t were reached (and not 2500 t, as admitted by the Fiche) because with the types of wagons and mass values used the train length of 700 m was exceeded (excluding locomotives), this is, as mentioned, the limit length for trains explicitly allowed to international circulation according to Fiche UIC 421. Note that the large dispersion of longitudinal forces shown in fig. 1 is due to the fact that the wagons were arranged so as to sometimes have increasing and other times decreasing braking mass percentage along the train.*

*As it is well-known to anyone involved in freight trains forming, the actual arrangement of the wagons inside the train has considerable influence on the values of longitudinal forces in traction and in compression for all braking regimes and in particular for the "LL" and G regimes. Fig. 1 results are reported here for illustrative purposes, merely in*

<sup>(1)</sup> Per massa d'inversione s'intende il valore di massa del carro che discrimina la condizione di carro "carico" da quella di carro "vuoto", ai fini dell'attribuzione della massa frenata del carro. Per questi tipi di carri merci, alla condizione di "carico" ed a quella di "vuoto" sono associati due diversi e costanti valori della massa frenata: le percentuali di massa frenata del carro dipendono dall'effettiva massa rimorchiata. Questo tipo di dispositivo di frenatura è detto vuoto/carico.

<sup>(1)</sup> The inversion mass is the value of the wagon that discriminates the status of "loaded" wagon from that of "empty" wagon, for the purposes of attribution of the braked mass of the wagon. For these types of freight wagons, the condition of "load" and "empty" are associated with two different and constant values of the braked mass: braked mass percentages of the wagon depend on the actual hauled mass. This type of braking device is called empty/load.



## SCIENZA E TECNICA

considerati nel presente lavoro, sono riportate in tabella 1; tutti i carri considerati sono a carrelli.

Nelle figg. 1 e 2, per il regime G, si è arrivati a 2100 t (e non 2500 t come ammette la Fiche) perché con i tipi di

order to show the maximum and minimum values of longitudinal forces that can be obtained with the wagons in question, while respecting Fiche UIC 421. Clearly, in the operational reality, trains composed of wagons arranged so as

TABELLA 1 – TABLE 1

PRINCIPALI CARATTERISTICHE TECNICHE DEI VEICOLI USATI PER LE SIMULAZIONI  
MAIN TECHNICAL CHARACTERISTICS OF THE VEHICLES USED FOR SIMULATIONS

	Carro pianale porta coils tipo S13 <i>S13 type coils holder flat wagon</i>	Carro pianale porta coils tipo R1h <i>R1h type coils holder flat wagon</i>	Carro ad alte sponde tipo Eanos <i>Eanos type high sided wagon</i>	Carro ad alte sponde tipo Eaos <i>Eaos type high sided wagon</i>
Lunghezza [m] <i>Length [m]</i>	12,04	14,04	15,74	14,04
Tara [t] <i>Tare [t]</i>	22,5	20,0	23,5	21,0
Massa max (tara+carico) [t] <i>Max mass (tare+load) [t]</i>	90	80	90	80
Numero assi <i>Number of axles</i>	4	4	4	4
Tipo di freno <i>Brake type</i>	2 x Bgu	2 x Bg	2 x Bgu	2 x Bg
Massa frenata a carico [t] <i>Load braking mass [t]</i>	58	48	58	48
Massa d'inversione [t] <i>Inversion Mass [t]</i>	46	40	48	40
Massa frenata a vuoto [t] <i>Empty braking mass [t]</i>	25	24	26	24

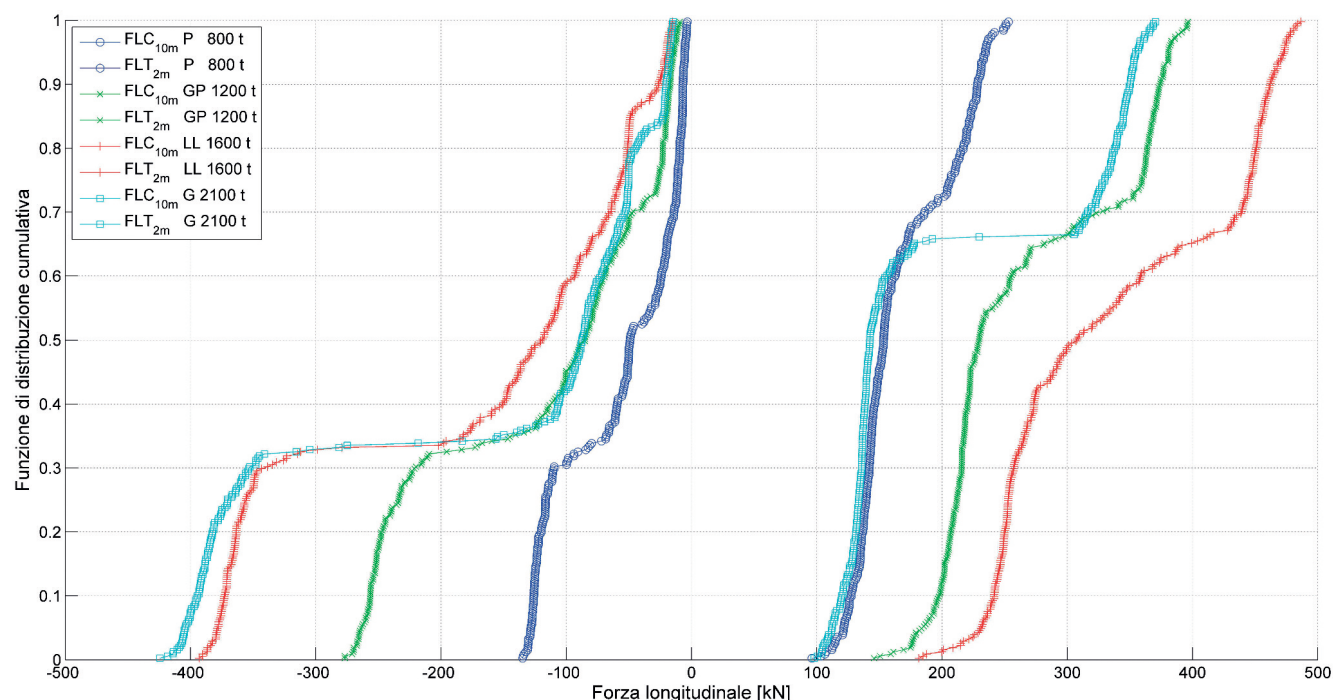


Fig. 1 - Funzione di distribuzione cumulativa per i diversi regimi di frenatura della UIC 421, con carri aventi massa vicina a quella d'inversione e percentuale di massa frenata crescente o decrescente lungo il treno.  
Fig. 1 - Cumulative distribution function for the various braking regimes of UIC 421, with wagons having mass close to the inversion one and braking mass percentage increasing or decreasing along the train.

## SCIENZA E TECNICA

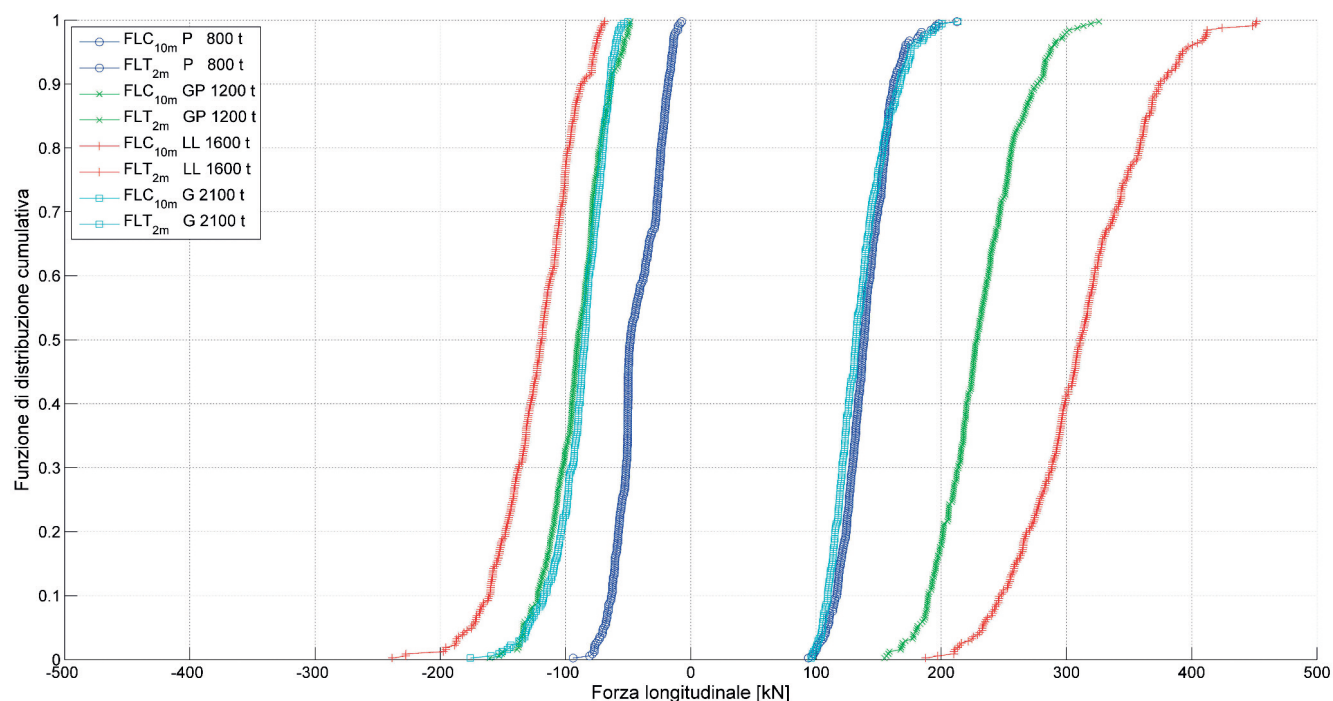


Fig. 2 - Funzione di distribuzione cumulativa per i diversi regimi di frenatura della UIC 421, con masse vicine a quella d'inversione e disposizione random lungo il treno.

Fig. 2 - Cumulative distribution function for the various braking regimes of UIC 421, with masses close to the inversion one and random arrangement along the train.

carri ed i valori di massa usati si superavano i 700 m di lunghezza del treno (escluse le locomotive), che rappresentano, come detto, la lunghezza limite per i treni esplicitamente ammessi alla circolazione internazionale secondo la Fiche UIC 421. Si noti che la grande dispersione delle forze longitudinali riportate in fig. 1 è dovuta al fatto che i carri sono stati ordinati in modo da avere a volte la percentuale di massa frenata crescente lungo il treno ed altre volte decrescente.

Come ben noto a chi si occupa di composizioni di treni merci, l'effettiva disposizione dei carri all'interno del treno ha una notevole influenza sui valori delle forze longitudinali in trazione ed in compressione per tutti i regimi di frenatura ed in particolare per i regimi "LL" e G. I risultati di fig. 1 sono qui riportati a mero scopo illustrativo, al fine di mostrare i valori massimi e minimi di forze longitudinali ottenibili con i carri in oggetto, pur nel rispetto della Fiche UIC 421. Chiaramente, nella realtà operativa, treni composti di carri disposti in modo da avere una percentuale di massa frenata crescente (o decrescente) non sono posti in esercizio, salvo che non siano espressamente richiesti. Diviene quindi più rilevante, dal punto di vista ingegneristico, la situazione rappresentata dalla fig. 2, dove le masse dei carri sono scelte in modo da essere sempre vicine a quella d'inversione (come nel caso precedente), ma i carri sono disposti nel treno in maniera casuale (quindi non seguendo alcun prestabilito ordine per quanto riguarda la loro percentuale di massa frenata). Sebbene sia raro avere un treno con tutti i carri

to have an increasing (or decreasing) braking mass percentage are not in use, unless expressly required. Thus, from the engineering point of view, the situation represented in fig. 2 becomes more relevant, where the masses of wagons are chosen in order to be always close to that of the inversion one (as in the previous case), but wagons are arranged in the train randomly (i.e. not according to any predetermined order as regards their braking mass percentage). Although it is uncommon to have a train with all wagons whose mass is close to the inversion one, this is theoretically possible and represents a reasonable example of "worst case". The analysis in fig. 2 shows that the long locomotive regime is the most severe among those covered by the Fiche in terms of longitudinal forces (both traction and compression) and the limits imposed in the other regimes, with the types of wagons and loads used here, can be (moderately) exceeded, while obtaining forces lower than those of the LL regime.

The effect of the ordered layout of the braking mass percentage on longitudinal forces must be emphasised: for trains having locomotives only at the head, a braking mass percentage growing along the train from the first to the last wagon ensures less compression forces and higher traction forces; the contrary can be said for a braking mass percentage decreasing along the train. This circumstance will be later used to propose safe train configurations, although with hauled mass greater than that allowed by UIC 421.

Whereas above figures were related to the maximum longitudinal forces exchanged between consecutive wagons for

## SCIENZA E TECNICA

la cui massa è vicina a quella d'inversione, ciò è teoricamente possibile e rappresenta un ragionevole esempio di "caso più sfavorevole". L'esame di fig. 2 mostra che il regime di locomotiva lunga è il più severo tra quelli contemplati dalla Fiche in termini di forze longitudinali (sia di trazione sia di compressione) ed i limiti imposti negli altri regimi, con i tipi di carri e di carichi qui usati, possono essere (moderatamente) superati, pur ottenendo forze inferiori a quelle del regime LL.

È da enfatizzare l'effetto della disposizione ordinata della percentuale di massa frenata sulle forze longitudinali: per i treni aventi le locomotive solo in testa, una percentuale di massa frenata crescente lungo il treno dal primo all'ultimo carro garantisce minori forze in compressione e maggiori forze in trazione; viceversa può dirsi per percentuali di massa frenata decrescenti lungo il treno. Questa circostanza sarà in seguito usata per proporre configurazioni di treno sicure, anche se con massa rimorchiata superiore a quella ammessa dalla UIC 421.

Mentre le figure precedenti si riferivano alle massime forze longitudinali scambiate tra carri consecutivi per frenature di emergenza a partire da 30 km/h, la fig. 3, invece, riporta l'andamento delle funzioni di distribuzione cumulativa degli spazi d'arresto per frenature d'emergenza da 100 km/h, al variare del regime di frenatura: c'è una considerevole dispersione dei risultati causati dalla variabilità della percentuale di massa frenata dei treni assemblati in maniera casuale, pur con simile massa complessivamente rimorchiata (a causa del fatto che i carri hanno un dispositivo frenante di tipo vuoto/carico). Si noti che la disposi-

emergency braking from 30 km/h, fig. 3, on the other hand, shows the trend of cumulative distribution functions of braking distances for emergency braking from 100 km/h, for different braking regimes: there is considerable dispersion of results caused by variability in the braking mass percentage of trains assembled randomly although with similar overall hauled mass (due to the fact that the wagons have an empty/loaded braking device). Note that the arrangement of vehicles inside the train, when the percentage of overall braking mass is set, has a negligible impact on braking distances. As we know, the P regime is what guarantees the minor braking distances, while for regime G these are greater: fig. 3 simply allows to quantify these differences and to show that mass combinations for which braking distances between the two schemes are very similar are possible, although with very different transported masses: 800 t, 1200 t, 1600 t and 2100 t, for P, GP, LL and G braking regimes respectively.

### 4. Braking performance of trains for steel and scrap transport

In Italy, a train with a mass greater than 1600 t is now considered by the railway infrastructure manager subject to certain speed, braking and circulation limits. With regard to the length of the train, the PGOS, in art. 73, prescribes that the maximum length of a train is 660 m in the case of P-type braking regime (passengers) and 1000 m in the case of G-type braking regime (goods).

In the results of the simulations below, load distributions used, i.e. wagon fractions of a given wagon type that carry a

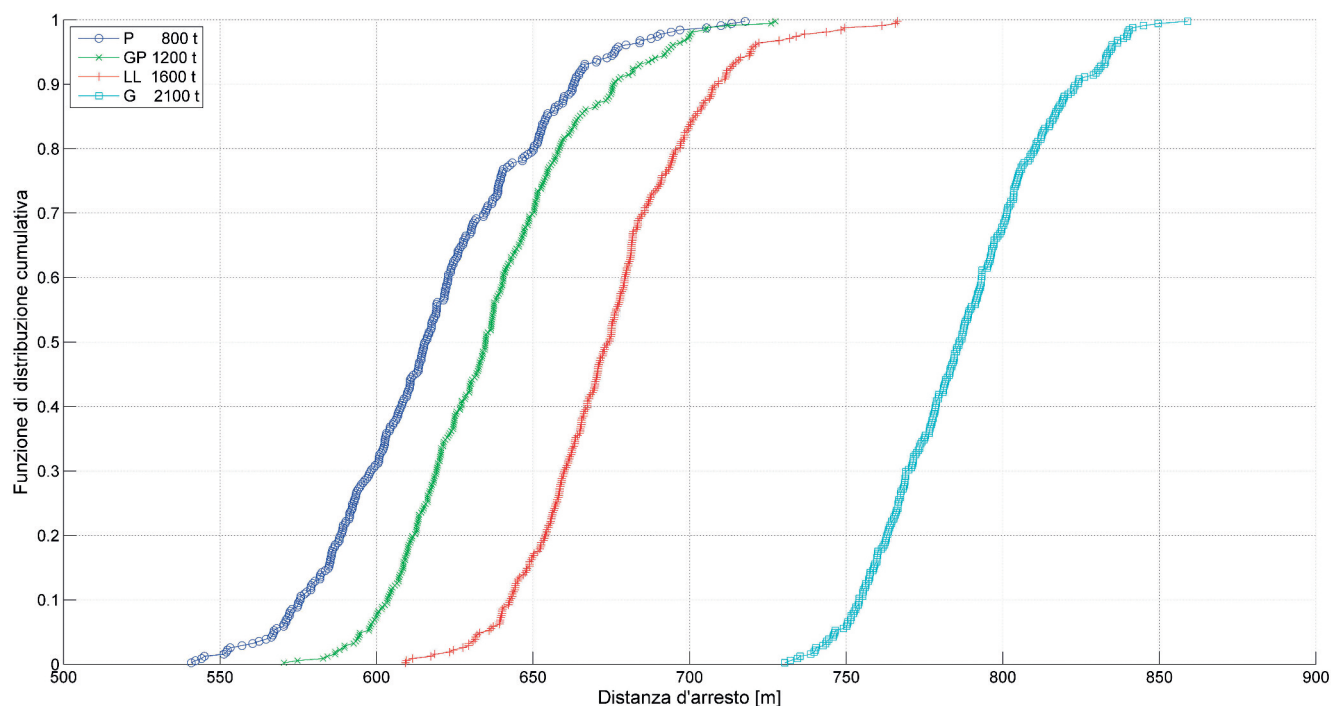


Fig. 3 - Funzione di distribuzione cumulativa degli spazi d'arresto per frenature di emergenza da 100 km/h.  
Fig. 3 - Cumulative distribution function of the braking distances for emergency braking from 100 km/h.



## SCIENZA E TECNICA

zione dei veicoli all'interno del treno, fissata la percentuale di massa frenata complessiva, influenza in maniera del tutto trascurabile gli spazi d'arresto. Com'è noto, il regime P è quello che garantisce spazi d'arresto minori, mentre per il regime G questi sono maggiori: la fig. 3 consente semplicemente di quantificare queste differenze e di mostrare che sono possibili combinazioni di massa per cui gli spazi d'arresto tra i due regimi sono molto simili, pur con masse trasportate molto diverse tra loro: 800 t, 1200 t, 1600 t e 2100 t, rispettivamente, per i regimi di frenatura P, GP, LL e G.

### 4. Prestazione di frenatura dei treni per trasporto siderurgico e di rottami

In Italia, un treno di massa maggiore di 1600 t è ad oggi considerato dal gestore dell'infrastruttura ferroviaria un trasporto soggetto a determinati limiti di velocità, frenatura e circolazione. Per quanto riguarda, invece, la lunghezza del treno, la PGOS, all'art. 73, prescrive che la massima lunghezza di un treno è di 660 m nel caso di regime di frenatura tipo P (viaggiatori) e 1000 m nel caso di regime di frenatura tipo G (merci).

Nei risultati delle simulazioni di seguito riportate, le distribuzioni di carico usate, cioè le frazioni di carri di un dato tipo che portano una nota massa (si vedano i precedenti coefficienti  $f_{ij}$ ), corrispondono a valori realmente circolanti (reali condizioni di carico), a differenza di quelli usati in precedenza, che erano a ridosso delle masse d'inversione.

La fig. 4 riporta gli andamenti delle funzioni di distribuzione cumulativa per frenature d'emergenza da 30 km/h relativamente a treni in regime LL composti con carri di tipo siderurgico e aventi diversi valori di massa rimorchiata. La fig. 4 riporta anche le funzioni di distribuzione cumulativa per treni aventi carri caricati con massa vicina a quella d'inversione in modo da avere un riferimento circa il caso più sfavorevole. Il regime LL nelle condizioni di carico reale ha forze in compressione sempre più piccole del caso più sfavorevole, ma non altrettanto si può dire per quelle in trazione: si può asserire che il regime LL determina un miglioramento delle forze in compressione, ma non risolve le criticità per quanto riguarda le forze in trazione. Ad ogni modo, le massime forze longitudinali di trazione, per quanto riguarda la condizione di carico reale, sono inferiori rispetto a quello più sfavorevole. Una discussione più completa sulle forze di trazione viene effettuata nel paragrafo che segue. Incrementando la massa rimorchiata a 1800 t, aumenta il valore sia delle forze in compressione sia di quelle in trazione, ma queste rimangono, con riferimento ai valori massimi in modulo, sempre inferiori a quelle del caso più sfavorevole. Al fine di bilanciare le forze in compressione ed in trazione, nel regime LL è possibile ordinare i carri in modo da avere una percentuale di massa frenata indicata, come al solito, con  $\lambda$  decrescente lungo il treno, cioè con il valore più grande in testa al treno e quello più piccolo in coda: in questo modo, si aumentano le forze in compressione (in valore assoluto) e si riducono

known mass (see the previous coefficients  $f_{ij}$ ) are values actually circulating (actual load conditions), unlike those used previously, which were close to the inversion masses.

Fig. 4 shows the trends of cumulative distribution functions for emergency braking from 30 km/h, for trains in the LL regime, composed of steel type wagons and having different values of hauled mass. Fig. 4 reports the cumulative distribution functions for trains having wagons loaded with a mass close to the inversion one, so as to have a reference about the worst case. The LL regime in actual load conditions has compression forces always smaller than the worst case, but it is not likewise for those in traction: we can assert that the LL regime causes an improvement of forces in compression, but does not solve criticalities as regards traction forces. However, the maximum longitudinal traction forces, as regards the actual loading condition, are less compared to the most unfavourable. A more complete discussion on traction force is carried out in the following paragraph. Increasing the hauled mass to 1800 t, increases the value of both the compression and traction forces, but these remain, with reference to the maximum values in the module, always smaller than those in the worst case. In order to balance the forces in compression and traction, in the LL regime wagons can be arranged so as to have the braking mass percentage indicated, as usual, with  $\lambda$  decreasing along the train, i.e. with the largest value at the front of the train and the smaller one in the rear this will increase the compression forces (in absolute value) and reduce traction ones as shown in fig. 4 (see the label "1800 t c.r.  $\lambda$  decr."). Although this arrangement of the load leads to a considerable increase in longitudinal compression forces, these have extreme values always less than the corresponding values in the worst case. The results shown in fig. 4 therefore show that the mass hauled by the train beyond the limits of UIC 421 can be safely increased with two train forming methods:

- a) with randomly distributed mass, using realistic values thereof;
- b) always using a realistic load distribution for the wagons, but placing these wagons in order to have a braking mass percentage decreasing along the train.

Fig. 5 again refers to the case of steel transport, but this time trains are under G regime and the masses hauled by each train are between 2500 t and 3000 t: in the cases considered here, the values of the load distribution for each wagon (given by the coefficients indicated before by  $f_{ij}$ ) always correspond to the actual load conditions. The limits chosen for the x-axis are equal to those in the previous figure, to allow a quick comparison between the same. Longitudinal forces that are obtained are always within the limits of the LL regime's worst case; compared to the latter type of regime, longitudinal forces in traction and those in compression are more balanced.

As it is clear observing figs. 4 and 5, the orderly distribution of wagons with decreasing braking masses percentages along the train, for the LL regime, and growing for

## SCIENZA E TECNICA

quelle in trazione, come mostra la fig. 4 (si veda l'etichetta "1800 t c.r.  $\lambda$  decr."). Benché questa disposizione del carico porti ad un considerevole aumento delle forze longitudinali di compressione, queste presentano valori estremali sempre inferiori ai corrispondenti valori del caso più sfavorevole. I risultati riportati in fig. 4 dimostrano quindi che è possibile aumentare in sicurezza la massa rimorchiata dal treno oltre i limiti dell'UIC 421 con due metodologie di composizione dei treni:

a) con massa distribuita casualmente, usando valori realistici della stessa;

b) sempre usando valori realistici della distribuzione del carico dei carri, ma disponendo questi carri in modo da avere una percentuale di massa frenata decrescente nel treno.

La fig. 5 si riferisce sempre al caso di trasporto siderurgico, ma questa volta i treni sono in regime G e le masse rimorchiate da ogni treno sono comprese tra 2500 t e 3000 t: nei casi qui considerati, i valori della distribuzione di carico per ogni carro (data dai coefficienti prima indicati con  $f_{ij}$ ) corrispondono sempre alle reali condizioni di carico. I limiti scelti per l'asse delle ascisse sono uguali a quelli della figura precedente, per consentire un rapido confronto tra le medesime. Le forze longitudinali che si ottengono sono sempre entro i limiti del caso più sfavorevole del regime LL; rispetto a quest'ultimo tipo di regime, le forze longitudinali in trazione e quelle in compressione sono maggiormente bilanciate.

Com'è evidente dall'osservazione delle figg. 4 e 5, l'ordinata distribuzione dei carri con percentuali di masse frenate decrescenti lungo il treno, per il regime LL, e cre-

regime G is a way of providing distributions of longitudinal forces such as to reduce, respectively, the maximum forces in traction and compression, if necessary.

Finally, fig. 6 refers to the transport of raw materials or scrap, with mass hauled by several wagons approximately constant: in this case, a hauled load value per vehicle, equal to 52 t and 57 t, has been considered (with percentages of use  $f_{11}=f_{12}=0.5$ ). As it is clear, the low variability of load distribution within the train causes a lack of variability of traction and compression longitudinal forces, which are always "low" for the hauled mass values considered here. Note that in all cases 3000 t were not exceeded, in order to avoid having trains whose length could be more than 700 m, unmanageable by the Italian railway infrastructure.

Fig. 7 again refers to the transport of scrap with 3000 t load, in emergency braking from 30 km/h, and shows the trends of cumulative distribution functions corresponding to the case where, for each train, 1, 2 or 3 wagons are not equipped with braking (the position of the wagons is random in the train). It is clear that longitudinal forces generally increase compared to the reference case provided by the red curve in fig. 6, but their values are always well below the steel transport case and, therefore, expecting the same behaviour of the wagons used, it is right to expect a safe train behaviour also in this case.

### 5. Acceleration manoeuvre followed by emergency braking

Here attention is focused only on steel transport that from the previous analysis showed greater longitudinal

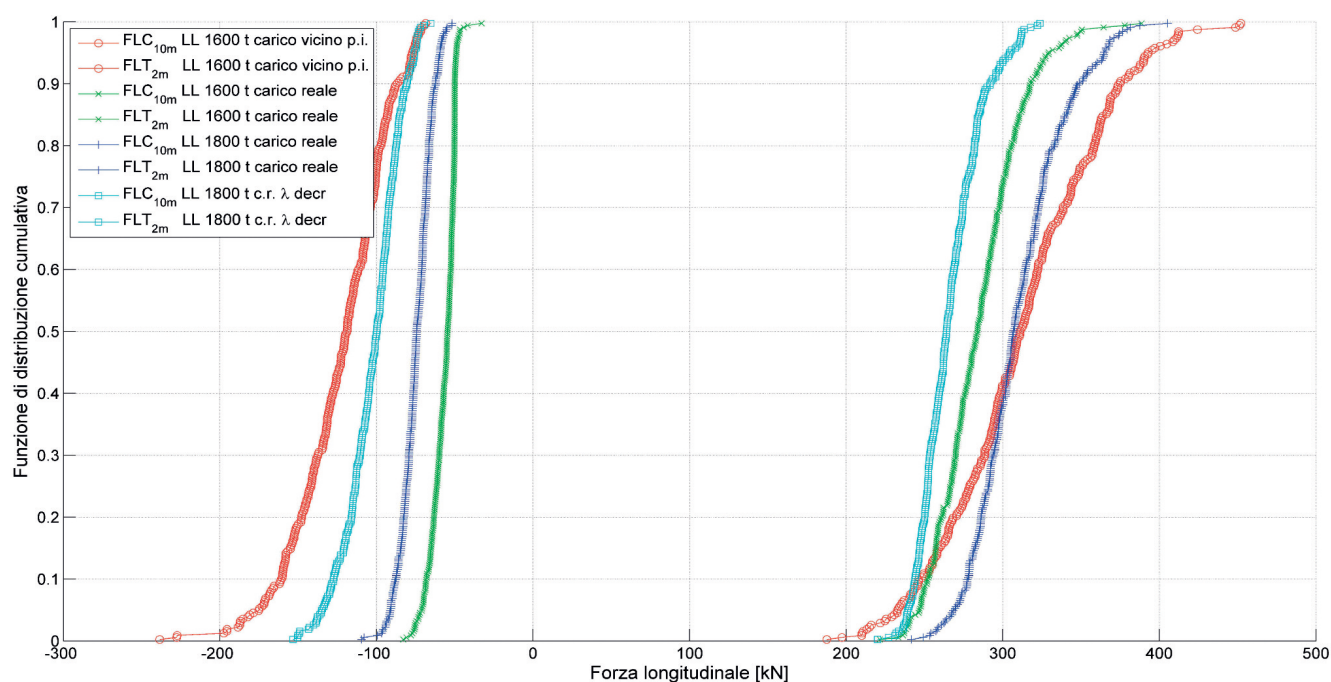


Fig. 4 - Funzione di distribuzione cumulativa in regime LL per diversi valori della massa rimorchiata e disposizione della massa.  
Fig. 4 - Cumulative distribution function in LL regime for different values of the hauled mass and arrangement of the mass.

## SCIENZA E TECNICA

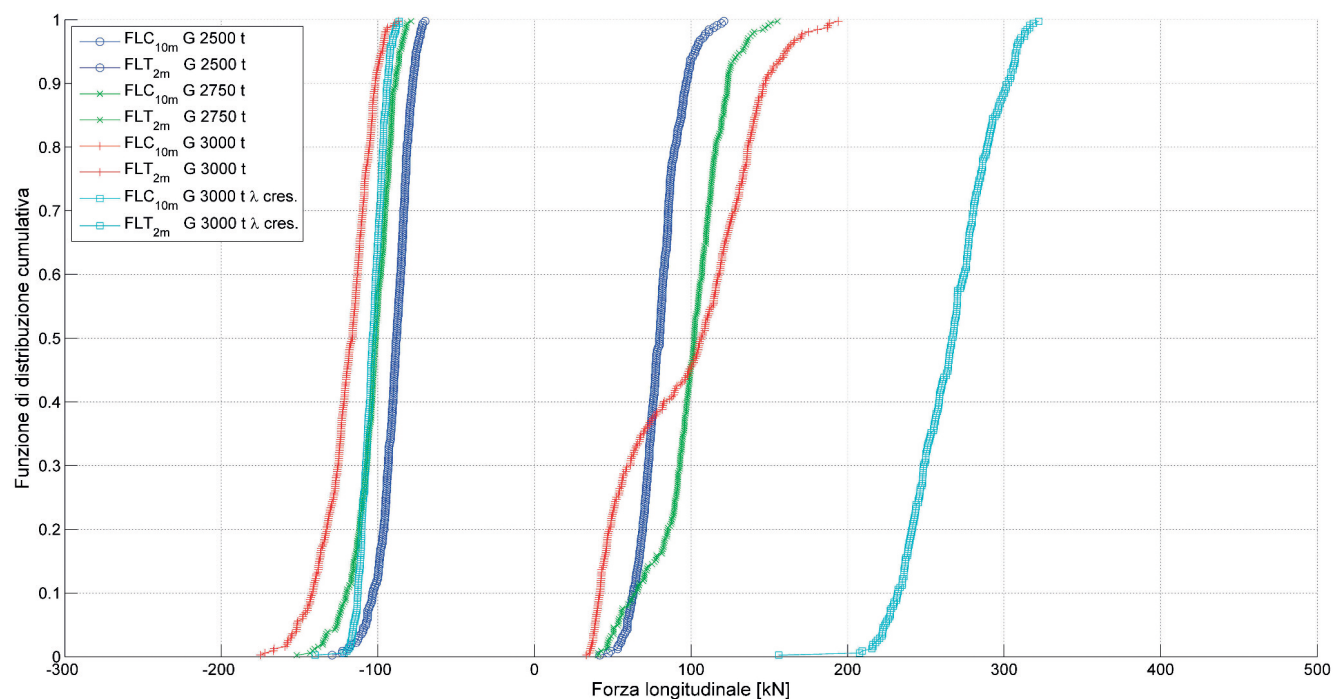


Fig. 5 - Funzione di distribuzione cumulativa nel caso di trasporto siderurgico in regime G oltre i limiti UIC 421 e con particolare distribuzione delle masse.

Fig. 5 - Cumulative distribution function in the case of steel transport under G regime over the UIC 421 limits and with a particular distribution of masses.

scenti, per il regime G, è un mezzo per ottenere distribuzioni di forze longitudinali tali da ridurre, rispettivamente, le massime forze in trazione e compressione, qualora fosse necessario.

Infine, la fig. 6 si riferisce al trasporto di materiali grezzi o rottami, con massa rimorchiata dai diversi carri circa costante: nel caso specifico, è stato considerato un valore di carico trasportato per veicolo pari a 52 t e 57 t (con percentuali di utilizzo  $f_{11}=f_{12}=0.5$ ). Com'è evidente, la bassa variabilità della distribuzione del carico all'interno del treno causa una scarsa variabilità delle forze longitudinali di trazione e compressione, le quali sono sempre "basse" per i valori di massa rimorchiata qui considerati. Si noti che in tutti i casi non ci si è spinti oltre 3000 t, onde evitare di avere treni la cui lunghezza fosse superiore ai 700 m, difficilmente gestibili dall'infrastruttura ferroviaria Italiana.

La fig. 7 si riferisce sempre al trasporto rottami con carico da 3000 t, in frenatura di emergenza da 30 km/h, e riporta gli andamenti delle funzioni di distribuzione cumulativa relative al caso in cui, per ogni treno, 1, 2 o 3 carri non risultino frenanti (la posizione dei carri è casuale nel treno). È ben evidente che le forze longitudinali generalmente aumentano rispetto al caso di riferimento fornito dalla curva rossa di fig. 6, ma i loro valori sono sempre ben inferiori al caso del trasporto siderurgico e, quindi, atteso uno stesso comportamento dei carri usati, è lecito aspettarsi un comportamento sicuro del treno anche in questo caso.

forces values. The values that such forces assume in freight train families are analysed with characteristics of mass distribution and of used wagons types equal to the previous case, but for a type of railway operation that rarely happens - that is emergency braking from a condition of full traction: this is a railway operation that can cause high longitudinal traction forces that, in some cases, can lead to the "disruption" of the train resulting from the breakage of the traction hooks. In detail, the train operation under consideration is characterized by an acceleration from zero speed up to 30 km/h, followed by emergency braking until it stops. This situation may occur if a train driver, restarting with full traction from a "turnout", protected at 30 km/h, exceeds the speed limit before the train has exited the turnout thus powering the safety equipment resulting in immediate emergency braking of the train. In simulations conducted, the emptying of the general pipe is begun as soon as the activation of the emergency braking is required, and therefore, when there is still a driving force, as it happens in practice in the case of intervention of the safety equipment.

Fig. 8 shows the trends of cumulative distribution functions related to trains in LL regime with a hauled mass of 1600 t and a mass of each wagon close to the inversion mass (the label used in the legend is "1600 t carico vicino m.i."). In the same figure, cases of trains with a hauled mass of 1800 t and realistic load distribution of different wagons (labelled "c.r." in the legend) are also considered both with full engine power, but with reduction gradient of the traction force halved (from 80 kN/s to 40 kN/s), and



## SCIENZA E TECNICA

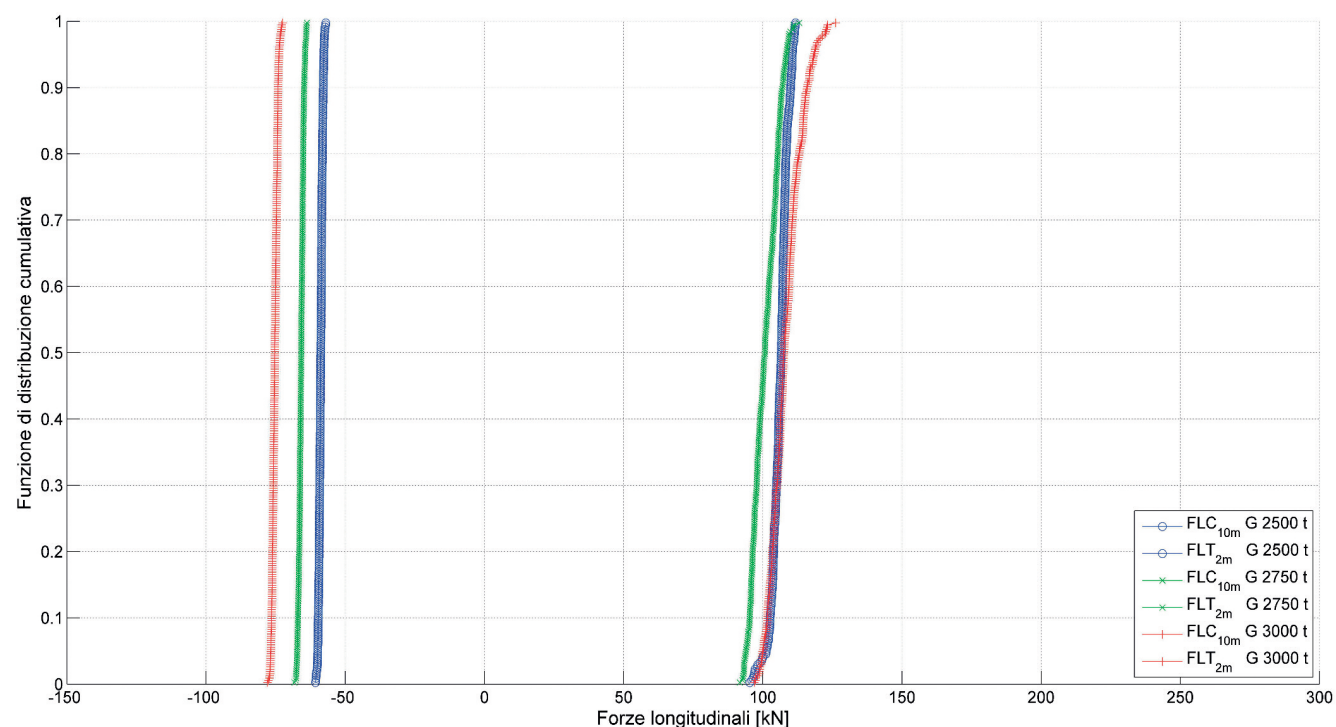


Fig. 6 - Funzione di distribuzione cumulativa nel caso di trasporto rottami in regime G oltre i limiti della UIC 421 con disposizione random delle masse.

Fig. 6 - Cumulative distribution function in the case of scrap transport in G regime over the UIC 421 limits with random arrangement of the masses.

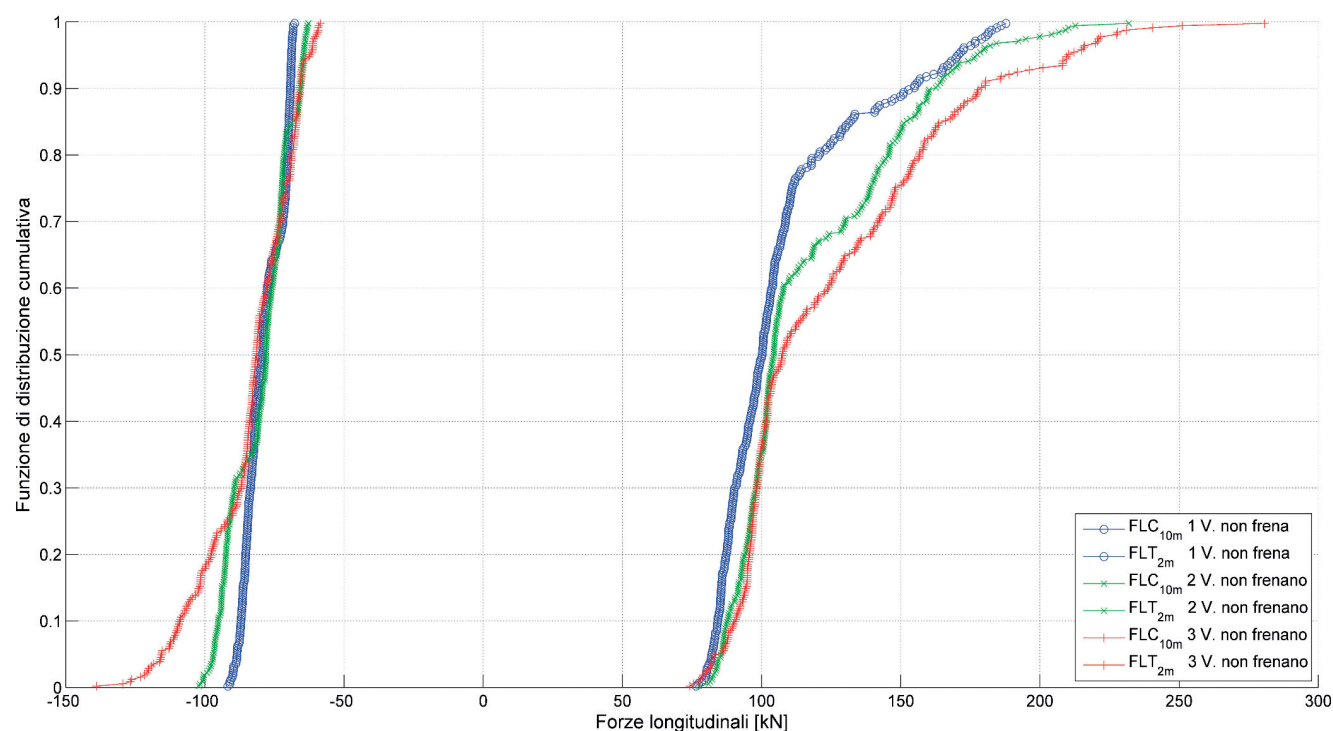


Fig. 7 - Funzione di distribuzione cumulativa delle forze longitudinali per treno trasporto rottami da 3000 t in G quando vi siano fino a 3 veicoli che non frenano.

Fig. 7 - Cumulative distribution function of the longitudinal forces for 3000 t scrap transport train in G when there are up to 3 vehicles that do not brake.

## SCIENZA E TECNICA

### 5. Manovra di accelerazione seguita da frenatura di emergenza

Si focalizza qui l'attenzione sul solo trasporto siderurgico, che dalle precedenti analisi ha mostrato valori maggiori di forze longitudinali. Si analizzano i valori che assumono queste forze in famiglie di treni merci aventi le caratteristiche di distribuzione delle masse e della tipologia di carri impiegati, uguali al caso precedente, ma per una tipologia di operazione ferroviaria che accade raramente, ovvero la frenatura di emergenza a partire da una condizione di piena trazione: è questa un'operazione ferroviaria in grado di provocare elevate forze longitudinali di trazione che, in taluni casi, possono portare allo "spezzamento" del treno per rottura dei ganci di trazione. Nel dettaglio, l'operazione ferroviaria in esame è un'accelerazione da velocità nulla fino a 30 km/h, seguita da una frenatura di emergenza fino all'arresto. Tale situazione si potrebbe verificare se un macchinista, ripartendo con piena trazione da una "deviata", protetta a 30 km/h, eccedesse la velocità limite prima che tutto il treno fosse uscito dalla deviata facendo così intervenire l'apparecchiatura di sicurezza con conseguente immediata frenatura di emergenza del treno. Nelle simulazioni effettuate, si è iniziato lo svuotamento della condotta generale non appena si richiede l'attivazione della frenatura di emergenza e, quindi, quando vi è ancora forza motrice applicata, come avviene nella realtà nel caso di intervento dell'apparecchiatura di sicurezza.

La fig. 8 riporta gli andamenti delle funzioni di distribuzione cumulativa riferiti a treni in regime LL aventi massa rimorchiata di 1600 t e con massa di ogni carro vicina alla massa d'inversione (l'etichetta usata in leggenda è "1600 t carico vicino m.i."). Nella stessa figura sono anche considerati casi di treni con massa rimorchiata di 1800 t e distribuzione del carico tra i diversi carri realistica (etichetta "c.r." in leggenda) sia con piena potenza motrice, ma con gradiente di riduzione della forza di trazione dimezzato (da 80 kN/s a 40 kN/s), sia con potenza motrice dimezzata (indicata in leggenda con l'etichetta "Lim"). Le simulazioni con potenza motrice dimezzata sono state effettuate:

- a) con disposizione casuale dei carri;
- b) con carri disposti in modo da avere una percentuale di massa frenata decrescente lungo il treno.

Le simulazioni con gradiente dimezzato di rimozione della potenza motrice sono state condotte con disposizione casuale dei carri. È da notare che lo spazio necessario per accelerare un treno da velocità nulla fino a 100 km/h, applicando fino a 30 km/h la metà della potenza disponibile e poi applicandola tutta oltre i 30 km/h, è superiore al massimo del 8.5% circa a quello necessario nel caso in cui dall'inizio si applica tutta la potenza motrice (con un incremento di spazio pari a circa 160 m). Inoltre, il dimezzamento del gradiente di rimozione della forza motrice porta ad un incremento dello spazio d'arresto (da 30 km/h) di circa il 7.7% (pari a circa 5.5 m).

with engine power halved (labelled "Lim" in the legend) are also considered in the same figure. Simulations with engine power halved were carried out:

- a) with random arrangement of wagons;
- b) with wagons arranged in order to have a decreasing percentage of braking mass along the train.

Simulations with halved engine power removal gradient were conducted with random arrangement of wagons. It should be noted that the space needed to accelerate a train from zero speed up to 100 km/h, using half of the power available up to 30 km/h and then applying it all over 30 km/h, is higher at the most than 8.5% than that necessary in case all the engine power is applied at the beginning (with an increase of approximately 160 m). In addition, the halving of the gradient of removal of the driving force leads to an increase of braking distance (from 30 km/h) of about 7.7% (equal to about 5.5 m).

As shown in fig. 8, in order to increase the hauled mass without excessive longitudinal forces (in compression and traction), the following three criteria can be used:

- reduce the driving traction force;
- arrange the wagons in an orderly manner according to a decreasing percentage of braking mass;
- reduce the gradient of removal of the driving force.

The results show that the halving of the gradient of removal of the driving force allows obtaining an increase in the hauled mass due to the fact that the longitudinal forces of compression and traction always remain small regardless of the actual arrangement of the wagons in the train (having fixed the total hauled mass). It is also worth noting that, if the reference is given by the worst possible case covered by the current Fiche UIC 421, the other two criteria proposed here can also be advantageously applied to increase the hauled mass. It should be noted that for the railway operation analysed here and for the type of train braking system, the hauled mass increase leads to longitudinal forces values that are most critical for breaking of hooks rather than for train derailments (due to high compression forces at the buffers).

Fig. 9 refers to the G regime and uses a notation in the legend similar to that of the previous figure. As with the simple emergency braking manoeuvre, the first thing to point out is that the train in G regime is subject to minor longitudinal traction and compression forces compared to the LL regime. Hence, provided that greater stopping distances are tolerated, the G regime allows achieving greater hauled mass values with less longitudinal forces. Even in this case, the previously used mitigating interventions provide good results and among them, the best is the reduction of the gradient according to which the traction force is removed during emergency braking. Reducing this gradient, on average, an increase in the braking distance is observed, equal to 3.7% corresponding to an increase in the braking distance of approximately 3.5 m (with initial braking speed of 30 km/h).

## SCIENZA E TECNICA

Come mostrato in fig. 8, al fine di incrementare la massa rimorchiata senza avere eccessive forze longitudinali (in compressione e trazione), è possibile utilizzare i seguenti tre criteri:

- ridurre la forza motrice di trazione;
- disporre in maniera ordinata i carri secondo una decrescente percentuale di massa frenata;
- ridurre il gradiente di rimozione della forza motrice.

I risultati mostrano che il dimezzamento del gradiente di rimozione della forza motrice consente di ottenere in sicurezza un incremento della massa rimorchiata a causa del fatto che le forze longitudinali di compressione e di trazione si mantengono sempre di entità modesta indipendentemente dall'effettiva disposizione dei carri nel treno (fissata la massa complessivamente rimorchiata). È altresì da notare che, se il riferimento è dato dal caso peggiore possibile contemplato dall'attuale Fiche UIC 421, anche gli altri due criteri qui proposti possono essere vantaggiosamente applicati per aumentare la massa rimorchiata. Si noti che per l'operazione ferroviaria qui esaminata e per il tipo di regime di frenatura del treno, l'incremento di massa rimorchiata conduce a valori di forze longitudinali che sono più critici per la rottura dei ganci, piuttosto che per lo svio del treno (dovuto ad alte forze di compressione ai respingenti).

La fig. 9 si riferisce al regime G ed utilizza una notazione nella leggenda simile a quella della figura precedente. La prima cosa da evidenziare è che il treno in regime G è soggetto, come per la semplice manovra di frenatura d'e-

*General consideration on the traction forces, valid for both braking systems is that they are mainly governed by the maximum driving force (notice the vertical lines in figures 8 and 9), but there are particular mass arrangements of wagons for which the maximum values of longitudinal traction forces are observed more or less when the train is stopping, as shown in fig. 10, where the initial traction part is well evident followed by emergency braking. This figure refers to the train characterised by maximum longitudinal traction force (with reference to fig. 9) travelling in G regime and with a hauled mass of 3000 t with halved traction force (see first part of fig. 10) and arrangement of the wagons in order to have an increasing percentage of braking mass along the train.*

*Unfortunately, the coupling position at which the maximum longitudinal traction force is observed is also dependent on the specific arrangement of the mass of wagons along the train, but this position is always in the first half of the train, as shown in fig. 11, which refers to the same family of trains of the previous figure, namely: G regime, mass of 3000 t, halved traction force and a growing percentage of braking mass along the train. Fig. 11 shows the histogram of the positions, dimensionless with respect to the length of the train, in which the maximum longitudinal traction forces are observed: because the maximum figure x-axis is 0.5, it follows that the maximum longitudinal traction forces are always in the first half of the train; for each position the maximum value taken from the longitudinal traction force (in [kN]) at that point is also indicated: the maximum values of longitudinal traction forces (in this*

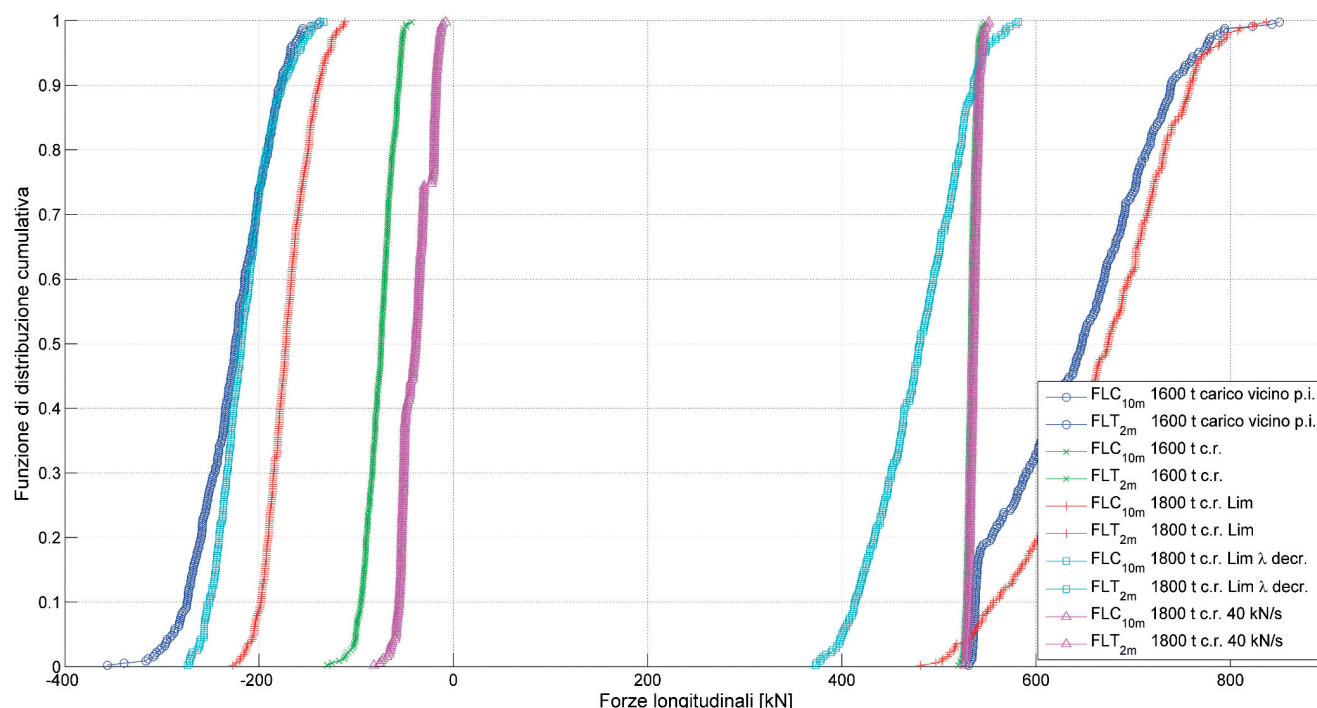
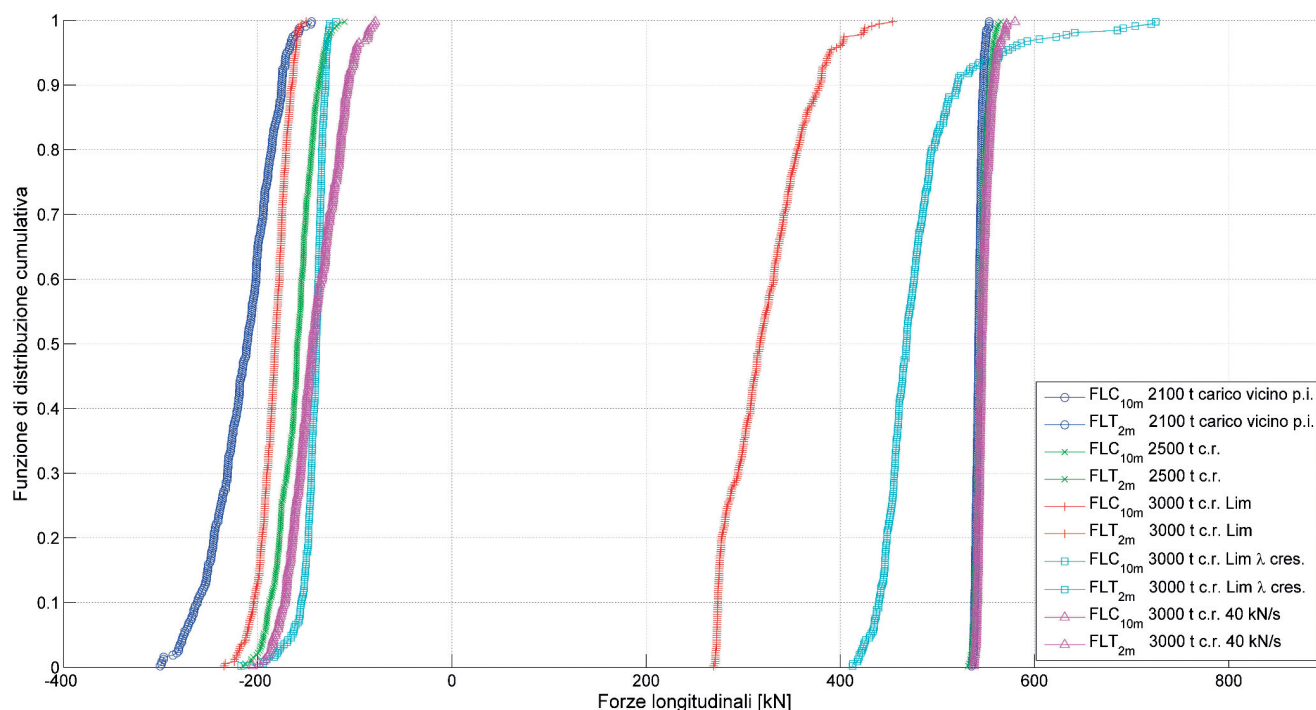


Fig. 8 - Funzione di distribuzione cumulativa per accelerazioni del treno seguite da frenatura d'emergenza in regime LL.  
Fig. 8 - Cumulative distribution function for the train accelerations followed by emergency braking in LL regime.





mergenza, a minori forze longitudinali di trazione e compressione rispetto al regime LL. A patto, quindi, di tollerare distanze d'arresto maggiori, il regime G consente di raggiungere maggiori valori di massa rimorchiata con minori forze longitudinali. Anche in questo caso, gli interventi mitigativi usati in precedenza forniscono buoni risultati e tra questi, il migliore è dato dalla riduzione del gradiente secondo cui si rimuove la forza di trazione durante la frenatura di emergenza. Riducendo tale gradiente si registra, in media, un incremento dello spazio d'arresto, pari al 3.7% corrispondente ad un aumento dello spazio d'arresto di circa 3.5 m (con velocità iniziale di frenatura di 30 km/h).

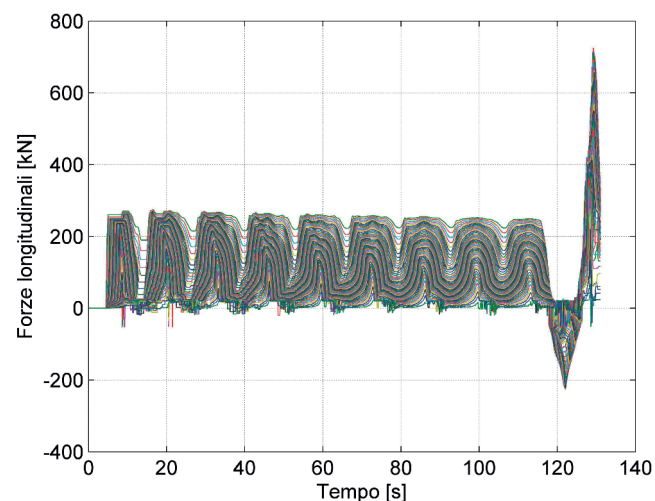
Una considerazione generale sulle forze di trazione, valida per entrambi i regimi di frenatura, è che esse sono principalmente governate dalla massima forza motrice (si osservino le linee all'incirca verticali delle figg. 8 e 9), ma esistono particolari disposizioni di massa dei carri per le quali i valori massimi delle forze longitudinali di trazione si registrano all'incirca quando il treno si sta fermando, come mostra la fig. 10, dove è ben evidente l'iniziale parte di trazione seguita dalla frenatura di emergenza. La figura in esame si riferisce al treno caratterizzato dalla massima forza longitudinale di trazione (in riferimento alla fig. 9) viaggiante in regime G e avente massa rimorchiata di 3000 t con forza di trazione dimezzata (si veda la prima parte della fig. 10) e una disposizione dei carri in modo da avere una percentuale di massa frenata crescente lungo il treno.

Purtroppo, la posizione dell'accoppiamento in corrispondenza del quale si registra il valore massimo della

case 720 kN) occur at about 1/3 of the length of the train, with a probability distribution of the positions that resembles a Gaussian.

## 6. Conclusions

The new version of Fiche UIC 421 on interoperability of rail freight traffic supports a prescriptive type classical



## SCIENZA E TECNICA

forza longitudinale di trazione è anch'essa dipendente dalla specifica disposizione della massa dei carri lungo il treno, ma detta posizione si trova sempre nella prima metà del treno, come mostra la fig. 11, che si riferisce alla stessa famiglia di treni della figura precedente, vale a dire: regime G, massa di 3000 t, forza di trazione dimezzata e una percentuale di massa frenata crescente lungo il treno. La fig. 11 riporta l'istogramma delle posizioni, adimensionalizzate rispetto alla lunghezza del treno, in corrispondenza delle quali si registrano le massime forze longitudinali di trazione: poiché la massima ascissa della figura è 0.5, si deduce che le massime forze longitudinali di trazione si hanno sempre nella prima metà del treno; per ogni posizione è anche indicato il valore massimo assunto dalla forza longitudinale di trazione (in [kN]) in quel punto: i valori massimi delle forze longitudinali di trazione (nel caso specifico 720 kN) si verificano circa ad 1/3 della lunghezza del treno, con una distribuzione di probabilità delle posizioni che assomiglia ad una gaussiana.

### 6. Conclusioni

La nuova versione della Fiche UIC 421 sull'interoperabilità del traffico ferroviario merci affianca, ad un approccio classico di tipo prescrittivo, uno più innovativo, definito "relativo", con il quale si indica la metodologia da impiegare per porre in circolazione treni aventi massa e/o lunghezza superiore ai limiti in essa prescritti. A tale scopo, il presente lavoro illustra un metodo numerico per la generazione automatica di composizioni di treni merci, alternativo a quello facoltativo prospettato dalla Fiche. Per mezzo di questo metodo, presentato già in [22], è stato possibile analizzare due tipologie di trasporto merci adottate in Italia, traffico siderurgico e rottami, e calcolarne le funzioni di distribuzione cumulativa delle forze longitudinali in compressione e trazione. Da questo calcolo, eseguito nel rispetto dei limiti di lunghezza e massa prescritti, ma considerando valori della massa rimorchiata vicini ai rispettivi valori delle "masse d'inversione," è stato possibile stabilire i limiti entro cui porre le nuove configurazioni di treno, aventi masse superiori a quelle imposte dalla Fiche analizzata. Inoltre, il confronto tra i diversi regimi di frenatura ha permesso di stabilire che con il regime G è possibile trasportare in sicurezza una massa superiore di oltre il 50% rispetto al caso di locomotiva lunga (LL), a patto di poter tollerare spazi d'arresto superiori in media del 20% circa. Tra le diverse strategie per trasportare una maggiore massa, indipendentemente da ulteriori considerazioni logistiche ed operative, sono state qui considerate:

- la disposizione ordinata dei carri secondo la loro percentuale di massa frenata;
- la riduzione della massima forza di trazione;
- la riduzione del gradiente di rimozione della forza motrice in frenatura.

Di dette strategie, la prima ha conseguenze sia nella

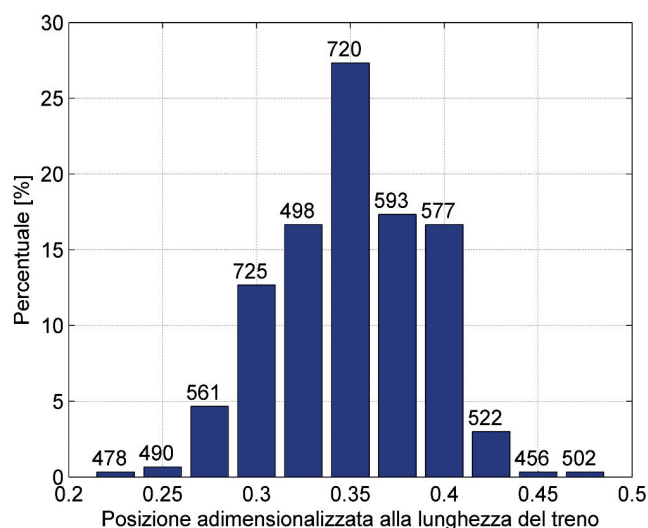


Fig. 11 - Istogramma della posizione delle massime forze di trazione, con indicazione dei valori massimi dalle forze longitudinali in trazione (in [kN]), assunti per ogni posizione.

Fig. 11- Histogram of maximum traction forces position, with an indication of the maximum values from the longitudinal traction forces (in [kN]), taken for each position.

approach with a more innovative one, defined as "relative", that indicates the methodology to be used to put trains with mass and/or length over the limits prescribed in circulation. To this end, this paper shows a numerical method for the automatic generation of freight train compositions, alternative to the optional one proposed by the Fiche. By means of this method, already presented in [22], it was possible to analyse two different types of freight transport adopted in Italy, steel and scrap traffic, and calculate the cumulative distribution functions of longitudinal forces in compression and traction. From this calculation, performed in accordance with the length and mass limits prescribed, but taking into consideration the values of the hauled mass close to the respective values of "inversion masses," it was possible to establish the limits within which the new train configurations are to be set, with masses greater than those imposed by the fiche analysed. In addition, the comparison of the different braking systems has made it possible to establish that with regime G a mass greater than 50% can be carried safely with respect to the case of a long locomotive (LL), assuming that greater braking distances, on average 20%, can be tolerated. Among the various strategies to transport a greater mass, regardless of additional logistical and operational considerations, the following have been considered here:

- orderly arrangement of wagons according to their percentage of braking mass;
- reduction of the maximum traction force;
- reduction of the gradient of removal of the driving force in braking.

Of these strategies, the first has consequences both in

## SCIENZA E TECNICA

manovra di frenatura che in quella di accelerazione e poi frenatura, mentre le altre due hanno influenza solo in quest'ultima manovra. Infine, il lavoro mostra come, per il traffico rottami ove i carri hanno circa la stessa massa rimorchiata, il limite di 2500 t possa essere superato anche considerando l'evenienza di uno o più veicoli non frenanti.

*the braking manoeuvre and in the acceleration one, while the other two only impact on the latter manoeuvre. Finally, the paper shows how, for scrap traffic where wagons have approximately the same hauled mass, the 2500 t limit can be exceeded even considering the occurrence of one or more vehicles without braking equipment.*

### BIBLIOGRAFIA - REFERENCES

- [1] UIC 421 OR, "Rules of the consist and braking of international freight trains", 9<sup>th</sup> edition, January 2012.
- [2] "Effetto serra emissioni di CO<sub>2</sub> nel trasporto merci", quaderno n°109/1, novembre 1998 a cura di centro studi Confetra.
- [3] "Il treno e l'ambiente", Direzione Centrale Comunicazioni Esterne di Ferrovie dello Stato Italiane, Maggio 2012.
- [4] S. IWICKI, "Handbook of Railway Vehicle Dynamics", CRC Press, Boca Raton, 2006.
- [5] B.J. JOLLY, B.G. SISMEY, "DOUBLING THE LENGTH OF COALS TRAINS IN THE HUNTER VALLEY", Fourth International Heavy Haul Conference, Brisbane, pp. 579-583, 1989.
- [6] P. GERBER, "Class Re 465 locomotives for heavy-haul freight service", Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit January 1, 2001 vol. 215, no. 1, 25-35. Doi: 10.1243/0954409011530595.
- [7] P. BELFORTE, F. CHELI, G. DIANA, "Numerical and experimental approach for the evaluation of severe longitudinal dynamics of heavy freight trains", Vehicle System Dynamics. 46, 2008, pp. 937-955.
- [8] T. WITT, L. MULLER, "Methods for the validation of algorithms for the simulation of longitudinal dynamics", Vehicle System Dynamics, 33, 1999, pp. 386-393.
- [9] L. CANTONE, A. PALAZZOLO, "Validazione pneumatica di TrainDy con dati sperimentali Trenitalia", Ingegneria Ferroviaria, Nr. 5, pp. 409-418, 2008.
- [10] L. CANTONE, D. NEGRETTI, A. PALAZZOLO, R. KARBSTEIN, "Validazione dinamica di TrainDy con dati sperimentali DB e Trenitalia", Ingegneria Ferroviaria, Nr. 2, pp. 165-172, 2009.
- [11] L. CANTONE, R. KARBSTEIN, D. NEGRETTI, L. MULLER, "Validation of TrainDy", RTR, European Rail Technology Review, 4/2009, pp. 11-16.
- [12] L. CANTONE, "TrainDy: the new Union Internationale des Chemins de Fer software for freight train interoperability", Proc. IMechE, Part F: J. Rail and Rapid Transit, 2011, 225 (F1), 57-70. DOI 10.1243/09544097JRRT347.
- [13] L. CANTONE, E. CRESCENTINI, P. SALVINI, R. VERZICCO, V. VULLO, "Sviluppo e validazione di un modello fluidodinamico per la simulazione della condotta generale di un convoglio ferroviario", Ingegneria Ferroviaria, Nr. 1, pp. 27-38, 2007.
- [14] L. CANTONE, E. CRESCENTINI, P. SALVINI, R. VERZICCO, V. VULLO, "Modello numerico per lo studio della manovra di sfrenatura", Ingegneria Ferroviaria, Nr. 7/8, pp. 575-588, 2007.
- [15] L. CANTONE, E. CRESCENTINI, R. VERZICCO, V. VULLO, "A numerical model for the analysis of unsteady train braking and releasing manoeuvres", Proc. IMechE, Part F: J. Rail and Rapid Transit, 2009, 223 (F3), 305-317. DOI 10.1243/09544097JRRT240.
- [16] M.A. MURTAZA, S.B.L. GARG, "Brake modelling in train simulation studies", Proc. IMechE, Part F: J. Rail and Rapid Transit, 1989, 203(F1), 87-95. DOI: 10.1243/PIME\_PROC\_1989\_203\_215\_02.
- [17] M.A. MURTAZA, S.B.L. GARG, "Transient performance during a railway air brake release demand", Proc. IMechE, Part F: J. Rail and Rapid Transit, 1990, 204(F1), 31-38. DOI: 10.1243/PIME\_PROC\_1990\_204\_183\_02.2.
- [18] M.A. MURTAZA, S.B.L. GARG, "Parametric study of railway air brake system", Proc. IMechE, Part F: J. Rail and Rapid Transit, 1992, 206(F1), 21-36. DOI: 10.1243/PIME\_PROC\_1992\_206\_214\_02.
- [19] J.E. FUNK, T.R. ROBE, "Transients in pneumatic transmission lines subjected to large pressure changes", Int. J. Mech. Sci., 1970, 12, 245-257.



## SCIENZA E TECNICA

- [20] L. PUGI, M. MALVEZZI, B. ALLOTTA, L. BANCHI, P.A. PRESCIANI, "A parametric library for the simulation of UIC pneumatic braking system", Proc. IMechE, Part F: J. Rail and Rapid Transit, 2004, 218, 117–132. DOI: 10.1243/0954409041319632.
- [21] M. ANSARI, E. ESMAILZADEH, D. YOUNESIAN, "Longitudinal dynamics of freight trains", International Journal of Heavy Vehicle Systems, Vol. 16, No. 1-2/2009, pp. 102-131.
- [22] L. CANTONE, V. VULLO, "Analisi e ricerca di zone operative per treni merci a trazione distribuita", 42° Convegno Nazionale Associazione Italiana per l'Analisi delle Sollecitazioni (AIAS 2013), 11-14 Settembre 2013, Università degli Studi di Salerno.

### Sommaire

#### MÉTHODOLOGIES POUR L'AUGMENTATION DE LA MASSE REMORQUÉE PAR LES TRAINS DE FRET DANS LE RESPECT DE LA FICHE UIC 421

La version actuelle de la Fiche UIC 421, qui porte sur l'inter opérationnalité des trains de fret, est caractérisée par une approche, dite "relative", au fins de la définition de nouvelles configurations pour trains avec masses supérieures à celles d'une famille de trains en libre circulation. L'étude, réalisée grâce à l'emploi du logiciel de calcul UIT TrainDy, calcule de façon statique la valeur limite des forces longitudinales en compression et traction des trains de fret, ayant valeurs de masse et longueur compatibles avec la Fiche UIC 421 et représentant une typologie diffusée de circulation. En outre, il est démontré qu'il est possible admettre à la circulation les trains de fret ayant des valeurs de masses transportées et/ou lanceur supérieures au limites prescrits par la Fiche UIC 421, mais soumis à des forces longitudinales inférieures à celles calculées précédemment.

### Zusammenfassung

#### VERFAHREN ZUR STEIGERUNG DER GÜTERZUGENMASSE IN HINSICHT DER GRENZEN DER FICHE UIC 421

Die im Titel benannte Fiche beschäftigt sich mit der Interoperabilität der Güterzüge, die höheren Massen oder Längen vorstellen, als jenen von der Fiche bestimmt. In dieser Forschung wurden die Berechnungen mittels dem UIC-Software TrainDy ausgeführt. Zuerst wurden statistisch die Werten der Längskräften in den Zügen berechnet, die die maximale Masse oder Länge von Fiche 421 erlaubt vorstellen. Diese maximale Werten werden als Grenzwerten erfasst. Danach wird das Benehm von Zügen von höheren Masse oder Länge charakterisiert erforscht. Von diesen können auch erlaubt werden nur die die schon benannten Längskräften grenzen beachten.

## AVVISO AI LETTORI

### Rinnovo Quote Sociali e Abbonamenti 2015

Si fa presente ai Signori lettori che è scaduto il termine per rinnovare le **Quote Associate** e gli **Abbonamenti** per l'anno 2015.

Per tutti coloro che intendono riconfermare le *Quote Associate* e gli *Abbonamenti* sono pregati di mettersi in regola entro e non oltre il 31 marzo 2015.

I versamenti potranno essere eseguiti con le seguenti modalità:

- ccp n. 31569007 intestato al CIFI – Via G. Giolitti, 48 – 00185 Roma;
- bonifico bancario intestato al CIFI: Unicredit Banca – Ag. Roma Orlando - Via Vittorio Emanuele Orlando, 70 – 00185 Roma - IBAN: IT 29 U 02008 05203 00010 1180047 Codice BIC SWIFT: UNCRITM1704
- mediante pagamento online collegandosi al sito [www.cifi.it](http://www.cifi.it)
- tramite Carta Bancomat.

### INSERZIONI PUBBLICITARIE SU “INGEGNERIA FERROVIARIA”

**Materiale richiesto:** CD con prova colore, file in formato TIFF o PDF con risoluzione 300 DPI salvati in quadricromia (CMYK)  
c/o CIFI – Via G. Giolitti 48 – 00185 Roma  
Indirizzo e-mail: [redazionetp@cifi.it](mailto:redazionetp@cifi.it)

**Misure pagine:** I di Copertina mm 195 x 170 (+ 3 mm di smarginato per ogni lato)  
1 pagina interna mm 210 x 297 (+ 3 mm di smarginato per ogni lato)  
1/2 pagina interna mm 180 x 120 (+ 3 mm di smarginato per ogni lato)

**Consegna materiale:** almeno 40 giorni prima dell'uscita del fascicolo

**Variazione e modifiche:** modifiche e correzioni agli avvisi in corso di lavorazione potranno essere effettuati se giungeranno scritte entro 35 giorni dalla pubblicazione

### “FORNITORI DEI PRODOTTI E SERVIZI”

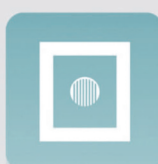
A richiesta è possibile l'inserimento nei “*Fornitori di prodotti e servizi*” pubblicato mensilmente nella rivista.

#### Per informazioni:

C.I.F.I. – Collegio Ingegneri Ferroviari Italiani – Via G. Giolitti, 48 – 00185 Roma  
Sig.ra MANNA Tel. 06.47307819 – Fax 06.4742987 – E-mail: [redazionetp@cifi.it](mailto:redazionetp@cifi.it)

C.I.F.I. – Sezione di Milano – P.za Luigi Di Savoia, 1 – 20124 Milano  
Sig. RIVOIRA Tel. 339-1220777 – 02.63712002 – Fax 02.63712538 – E-mail: [segreteria@cifimilano.it](mailto:segreteria@cifimilano.it)

# SISTEMI COMPLETI DI TERRA E DI BORDO PER L'ESERCIZIO FERROVIARIO E METROPOLITANO



**VITAL RAIL PROTEC**  
Sistema  
di protezione  
del personale  
sui cantieri ferroviari



**SISTEMI DI  
EFFICIENTAMENTO  
ENERGETICO**



**MULTI RAIL LOCK**  
Blocco Conta Assi



**AUSIF**  
Piattaforma  
di controllo remoto



**HMR9**  
Sistema  
di Interlocking  
Computerizzato



**MTR**  
Monitoraggio  
Temperatura  
Rotaia



**TCS640**  
Sistema  
di telecontrollo  
e telecomando



**MTPS**  
Sistema  
ultra compatto  
per il controllo  
della marcia del treno







Dal 1958 ECM progetta e realizza sistemi e prodotti per l'efficienza, la sicurezza e l'alimentazione delle ferrovie. I prodotti ECM sono sinonimo di durabilità, economia di esercizio ed affidabilità: i nostri sistemi di Protezione Automatica della Marcia del treno garantiscono ogni giorno una circolazione più rapida e sicura su migliaia di chilometri di linea ferroviaria in Italia e all'estero.

L'installazione dei nostri segnali a LED offre al gestore della rete un'affidabilità di esercizio ed una manutenibilità senza precedenti, sintesi di tecnologia e ricerca di assoluta avanguardia nel settore.

Il sistema di interlocking computerizzato HMR9® sviluppato da ECM rappresenta la nuova frontiera per la gestione dell'infrastruttura ferroviaria: la possibilità di organizzare integralmente tutte le operazioni di manutenzione, diagnostica e telecontrollo di un nodo ferroviario da un unico posto centrale è oggi una realtà. Grazie al nostro sistema l'utente è in grado, semplicemente attraverso un browser, di gestire centinaia di chilometri di linea interfacciandosi liberamente con i sistemi e prodotti esistenti in modo rapido ed efficiente.



**SISTEMI DI  
ALIMENTAZIONE**



**SISTEMI DI  
DIAGNOSTICA**



**RCE**  
Registratore  
Cronologico  
di Eventi



**SSC**  
Sistema  
di Supporto  
alla Condotta



**SCMT**  
Sistema  
di Controllo  
della Marcia  
dei Treni



**DISCOLUX**  
Segnali LED  
ad alta  
Performance



**ETCS  
Livello 1**  
Sistema Europeo  
per il controllo  
della marcia del treno



## AGENDA FERROVIARIA CIFI 2015

È stata pubblicata L'AGENDA FERROVIARIA 2015 dedicata, come ogni anno, alle principali ricorrenze ferroviarie.

### CONTENUTI

I	Indice e presentazione del Presidente
II	Avvenimenti e celebrazioni dell'anno
III	Organigramma del C.I.F.I. con indirizzi e numeri telefonici
IV	Elenco Soci Collettivi del C.I.F.I.
V	Pagine pubblicitarie (distribuite nel testo)
VI	Pagine Agenda settimanale
VII	U.I.C., UITP, UNIFE, Amministrazioni Ferroviarie Europee ed altre Organizzazioni del trasporto su rotaia
VIII	Commissione Europea, Direzione Generale Energia e Trasporti, ERA, ANSF
IX	Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Dipartimento dei Trasporti Terrestri
X	Gruppo FS - altre Imprese Ferroviarie - Interporti - Porti
XI	Assessorati Regionali Trasporti - Società di Trasporto Pubblico Locale
XII	Organizzazioni sindacali, sociali e culturali del settore trasporti
XIII	Ordini degli Ingegneri
XIV	Elenco Soci SIDT (Società Italiana Docenti Trasporti)
XV	Repertorio Industrie
XVI	Indice alfabetico dei nominativi dei dirigenti nominati nell'Agenda
XVII	Rubrica telefonica

In relazione alle attuali normative sulla privacy, è possibile che alcuni Organigrammi possano avere variazioni rispetto all'edizione 2014.

Il costo dell'Agenda è fissato in € 20.00 comprensive di IVA 22% e spese di spedizione (€ 16,00 per i Soci CIFI).

Per le inserzioni pubblicitarie, gli interessati possono prendere contatti con la Sig.ra Grillo (Tel. 06/4742986 Fax 06/4742987) e mail: [biblioteca@cifi.it](mailto:biblioteca@cifi.it) nonché consultare il sito [www.cifi.it](http://www.cifi.it).

Per ordinativi è richiesto l'invio di pagamento anticipato mediante:

- ccp. N. 31569007 intestato al Collegio Ingegneri Ferroviari Italiani Via Giolitti 48 00185 Roma;
- Bonifico Bancario sul C/C N 000101180047 intestato al CIFI presso UNICREDIT BANCA AG. ROMA ORLANDO Via Vittorio Emanuele Orlando 70 00185 Roma IBAN: IT 29 U 02008 05203 000101180047 codice BIC SWIFT: UNCRITM1704;
- pagamento on-line.

### SCHEDA DATI AZIENDE

Denominazione Sociale .....

Indirizzo – Sede Legale .....

Sede Commerciale .....

Telefono..... email ..... Sito Internet.....

Produzione o Attività Imprenditoriale:

.....

.....

Presidente ..... Tel.....

Amm. Del./Dir.Gen ..... Tel.....

Altra Funzione..... Tel.....

**Per ulteriori contatti Sig.ra GRILLO – Tel. 06/4742986-06/4882129**