

Classificazione delle linee ferroviarie in base alla velocità - Una panoramica mondiale su infrastrutture, materiale rotabile e servizi ad altissima velocità

Classification of railway lines based on speed – A worldwide overview of very high-speed infrastructure, rolling stock and services

Christos PYRGIDIS
Sotirios SAVVAS^(*)
Alexandros DOLIANITIS^(**)

Sommario - Questo documento adotta una procedura specifica per fare una distinzione tra rotaia a velocità convenzionale, rotaia ad alta velocità e rotaia ad altissima velocità. I criteri adottati corrispondono alle esigenze degli attori che gestiscono i 3 componenti di un sistema ferroviario e in particolare i gestori dell'infrastruttura (binario) e gli operatori (materiale rotabile, servizi ferroviari). Sulla base di questa distinzione, la ricerca si è concentrata su:

- a) l'identificazione di tutti i paesi, che possiedono almeno un binario ad altissima velocità;
- b) la costruzione di un database, per tutti i paesi identificati, della lunghezza totale dei binari che sono caratterizzati come binari ad altissima velocità;
- c) l'analisi dell'evoluzione della costruzione di binari ad altissima velocità nel corso degli anni;
- d) la costruzione di un database dei treni ad altissima velocità messi in circolazione negli ultimi 5 anni;
- e) la costruzione di un database per paese, delle direttive più lunghe che forniscono servizi ad altissima velocità sulla base della definizione adottata.

1. Introduzione

Negli ultimi anni, i progressi della tecnologia hanno portato ad un rapido e continuo aumento della lunghezza dei binari ferroviari ad alta velocità in tutto il mondo, con un corrispondente aumento delle velocità di marcia. Di conseguenza, sono necessari aggiornamenti

Summary - In this paper, a specific procedure is adopted for making a distinction between conventional-speed rail, high-speed rail, and very high-speed rail. The criteria adopted correspond to the needs of the actors that manage the 3 constituents of a railway system and namely the infrastructure managers (track) and the operators (rolling stock, railway services). Based on this distinction, research was focused on:

- a) identifying all countries, which possess at least one track of very high-speed
- b) making a record, for all the identified countries, of the total length of tracks that are characterized as very high-speed tracks
- c) analyzing the evolution of the construction of very high-speed tracks over the years
- d) making a record of very high-speed trains that were set in circulation over the last 5 years

Making a record per country, of the longest direct route, which, based on the adopted definition, provides services of very high-speed.

1. Introduction

Over the last years, the rapid advances in technologies have led to a rapid and continuous increase in the length of high-speed railway tracks worldwide accompanied by a corresponding increase in running speeds. As a result, there exists a need for regular updates of relevant data. The required data, as they are presented in this paper, correspond

^(*) Ingegnere civile.

^(**) Laurea in Discipline Scientifiche, ingegnere civile, Università Aristotele di Salonicco, Grecia.

^(*) Civil engineer.

^(**) MSc, civil engineer, Aristotle University of Thessaloniki, Greece.

OSSERVATORIO

regolari dei dati pertinenti. I dati richiesti, così come sono presentati in questo documento, corrispondono a tutti e 3 i componenti di un sistema ferroviario, vale a dire l'infrastruttura, il materiale rotabile e l'esercizio. In particolare, nel caso dei sistemi ferroviari ad alta velocità, per poter creare un database delle loro caratteristiche, tali dati devono prima essere definiti. È molto importante che tutti gli attori che contribuiscono a questo processo o per i quali questo processo è utile (gestori dell'infrastruttura ferroviaria, operatori ferroviari, enti di regolamentazione, industria ferroviaria, organizzazioni finanziarie, agenzie di viaggio, utenti, ecc.) "parlino la stessa lingua" quando si riferiscono a tali sistemi, nel senso che tutti comprendono le stesse caratteristiche strutturali e operative.

Al momento, non esiste un'unica definizione di distinzione tra ferrovia convenzionale, ad alta e altissima velocità. Al contrario, nella letteratura pertinente si possono trovare vari approcci proposti da diverse organizzazioni ferroviarie o ricercatori [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10].

Questo documento adotta una procedura specifica per fare tale distinzione. Le sezioni successive di questo documento formulano criteri separati per ciascuno dei 3 componenti di un sistema ferroviario. Tali criteri differiscono per ciascun componente e includono sia i parametri strutturali che operativi del sistema. Essi corrispondono e caratterizzano in una certa misura alle esigenze degli attori che gestiscono questi componenti, in particolare i gestori dell'infrastruttura ferroviaria (binario) e gli operatori del sistema ferroviario (materiale rotabile, servizi ferroviari).

Il processo di costruzione del database di tutti i sistemi ferroviari che possono essere definiti "ad altissima velocità" in tutto il mondo è avviato sulla base di questi criteri. Tali risultati sono, da un lato aggiornati poiché l'arco temporale per l'acquisizione dei dati è fissato alla fine del 2019 e, dall'altro, potrebbero essere facilmente aggiornati in futuro se si adotterà la stessa definizione per caratterizzare l'estensione o l'introduzione di nuovi sistemi.

In particolare, la ricerca si è concentrata sulle seguenti aree tematiche:

- Presentazione delle varie velocità "caratteristiche" utilizzate nell'ingegneria ferroviaria, la loro definizione e il chiarimento dei concetti.
- Classificazione dell'infrastruttura, del materiale rotabile e dei servizi forniti nei sistemi ferroviari interurbani e regionali per passeggeri, in 3 categorie sulla base dei livelli di velocità: (a) velocità convenzionale; (b) alta velocità; e (c) altissima velocità.
- Adozione di criteri per l'esecuzione della suddetta classificazione.
- Memorizzazione delle caratteristiche strutturali e operative di base di ciascuna categoria.

to all 3 constituents of a railway system, namely infrastructure, rolling stock, and operation. Specifically, in the case of high-speed railway systems, for their characteristics to be recorded, first they have to be defined. It is very important that all actors that contribute to this process or for whom this process is useful (railway infrastructure managers, railway operators, regulating organizations, railway industry, financing organizations, travel agents, users, etc.) 'speak the same language' when referring to such systems, meaning that they all understand the same structural and operational characteristics.

As of yet, there exists no single definition of distinguishing between conventional, high, and very high-speed rail. On the contrary, various approaches may be found in the relevant literature as proposed by different railway organizations or researchers [1],[2],[3],[4],[5],[6],[7],[8],[9],[10].

In this paper, a specific procedure is adopted for making such a distinction. In later sections of this paper, separate criteria for each of the 3 constituents of a railway system are formulated. These criteria differ for each constituent and include both structural and operational parameters of the system. They correspond and characterize to an extent the needs of the actors that manage these constituents, namely the railway infrastructure managers (track) and the railway system operators (rolling stock, railway services).

Based on these criteria, the process of recording all railway systems that may be characterized as 'very high-speed' worldwide is undertaken. These findings are, on the one hand, up-to-date since the timeframe for data acquisition was the end of 2019 and, on the other hand, may easily be updated in the future if the same definition is adopted to characterize expanding or new systems.

Specifically, research was focused on the following thematic areas:

- *Presenting the various 'characteristic' speeds that are used in railway engineering, their definition, and a clarification of concepts.*
- *Classifying the infrastructure, rolling stock, and provided services of intercity and regional passenger railway systems into 3 categories based on speed: (a) conventional speed; (b) high-speed ; and (c) very high-speed.*
- *Adopting criteria for undertaking the aforementioned classification.*
- *Recording the basic structural and operational characteristics of each category.*
- *Identifying all countries, which based on the adopted definition, possess at least one track¹ of very high-speed*

⁽¹⁾ Refers to the railway permanent way, which is defined by two parallel rails. The term 'track' is mostly utilized when one refers to the infrastructure (superstructure, substructure, civil engineering works, and systems/premises) of a railway system. A track link two stations. It is divided into track sections. The permanent way may include one track (single track), two tracks (double track), or more than two tracks.

- Identificazione di tutti i paesi, che in base alla definizione adottata, possiedono almeno un binario¹ ad altissima velocità (il che significa che lungo l'intera o la maggior parte della lunghezza del binario le velocità di progettazione sono $V_d \geq 250 \text{ km/h}$).
- Creare un database, per tutti i paesi identificati, della lunghezza totale dei binari caratterizzati come binari ad altissima velocità, analizzando i dati che corrispondono all'anno in cui queste linee² sono diventate operative, alla loro progettazione e alle massime velocità di esercizio e alla proporzione della loro lunghezza per paese sulla lunghezza totale dei binari ad altissima velocità in tutto il mondo.
- Costruire un database dei treni ad altissima velocità messi in circolazione negli ultimi 5 anni (dopo il 2014). Sono presentate le caratteristiche di base per ogni tipo di materiale rotabile.
- Costruire un database distinto per paese che possiede binari ad altissima velocità, del percorso diretto più lungo e che, sulla base della definizione adottata, fornisce servizi ad altissima velocità e presentare le sue caratteristiche di base.
- Individuazione e memorizzazione della massima velocità di marcia media tra due fermate successive e la massima velocità commerciale per paese.

2. Velocità nell'ingegneria ferroviaria

Il termine "velocità" in un contesto ferroviario può essere definito in vari modi, sulla base del contesto tecnico e/o operativo considerato. Sono comunemente utilizzate le seguenti definizioni [5]:

- La velocità di progettazione del binario (V_d), definita come la velocità per cui il tracciato del binario e la corrispondente infrastruttura ferroviaria nel suo insieme (sovrastruttura, sottostruttura, strutture di ingegneria civile, sistemi/locali) è stata progettata e costruita. Pertanto, questa è considerata la velocità massima a cui un treno può operare in modo sicuro e confortevole su un determinato binario. Tale velocità non è correlata ad alcun vincolo di capacità operativa o di binario.

⁽¹⁾ Fa riferimento all'armamento ferroviario, che è definito da due binari paralleli. Il termine "binario" è utilizzato principalmente quando si fa riferimento all'infrastruttura (sovrastruttura, sottostruttura, opere di ingegneria civile e sistemi/locali) di un sistema ferroviario. Un binario collega due stazioni. È diviso in sezioni di binario. L'armamento può includere un binario (binario singolo), due binari (binario doppio) o più di due binari.

⁽²⁾ Fa riferimento all'armamento ferroviario, che è definito da due binari paralleli. Il termine "linea" è utilizzato principalmente quando si fa riferimento all'integrazione geografica e al funzionamento del sistema ferroviario. Una linea di solito collega due stazioni importanti. La linea può includere un binario (binario singolo), due binari (binario doppio) o più di due binari.

(meaning that along the entirety or most of the length of the track design speeds are $V_d \geq 250 \text{ km/h}$).

- Making a record, for all the identified countries, of the total length of tracks that are characterized as very high-speed tracks. Analyzing the data that corresponds to the year these lines² became operational, to their design and maximum running speeds, and to the proportion of their length per country over the total length of very high-speed tracks worldwide.
- Making a record of very high-speed trains that were set in circulation over the last 5 years (after 2014). For each type of rolling stock, their basic characteristics are presented.
- Making a record per country that has very high-speed tracks, of the longest direct route, which, based on the adopted definition, provides services of very high-speed and presenting its basic characteristics.
- Identifying and recording the highest average running speed between two successive stops and the maximum commercial speed per country.

2. Speed in railway engineering

The term 'speed' in a railway context may be defined in various ways, depending on the technical and/or operational context being considered. The following definitions are commonly used [5]:

- Track design speed (V_d), which is defined as the speed the track alignment and corresponding railway infrastructure as a whole (superstructure, substructure, civil engineering structures, systems/premises) has been designed and constructed for. Thus, it is regarded as the maximum speed a train can safely and comfortably operate at on a given track. This speed is not related to any operational or track capacity constraints.
- Permissible track speed ($V_{max,tr}$), which is defined as the maximum speed that may be developed on a railway track section at the time a given rolling stock is commissioned. This speed is determined by the infrastructure manager of a railway network taking into consideration the track ride quality as well as other performance aspects at the moment. The permissible track speed is directly related to the maintenance level of the track.
- Maximum running speed (V_{max}), which is defined as the maximum speed developed by a particular train type on a given line, while performing a scheduled route. This

⁽²⁾ Refers to the railway permanent way, which is defined by two parallel rails. The term 'line' is mostly used when one refers to the geographical integration and the operation of the railway system. A line usually connects two stations of importance. A line may include one track (single track line), two tracks (double track line), or more than two tracks.

OSSERVATORIO

- Velocità ammissibile del binario (V_{\maxtr}), definita come la velocità massima che può essere sviluppata su una sezione del binario ferroviario al momento della messa in servizio di un determinato materiale rotabile. Questa velocità è determinata dal gestore dell'infrastruttura di una rete ferroviaria prendendo in considerazione il livello di comfort (qualità di marcia) sul binario e altri aspetti prestazionali. La velocità ammissibile del binario è direttamente correlata al livello di manutenzione del binario.
- Velocità massima di marcia (V_{\max}), definita come la velocità massima sviluppata da un determinato tipo di treno su una determinata linea, durante l'esecuzione di un percorso programmato. Questa velocità può riferirsi ad una breve tratta della linea oppure può essere sviluppata lungo la parte più lunga del percorso.
- Velocità di transito (V_p), definita come la velocità costante con cui un treno passa per una particolare tratta caratteristica della linea che è di breve estensione (ad es. passaggio attraverso un tunnel, transito nelle stazioni, ecc.).
- Velocità istantanea (V_i), definita come la velocità con cui un treno passa per una ben determinata progressiva chilometrica specifica in un fissato istante.
- Velocità commerciale (V_c), definita come il rapporto tra la lunghezza di un percorso ferroviario (di solito tra i due terminali) e il tempo impiegato per percorrerlo, compresi i tempi di sosta in tutte le stazioni intermedie e i ritardi. La velocità commerciale si riferisce sempre a un particolare tipo di treno e un determinato percorso.
- Velocità media di marcia (V_{ar}), definita come il quoziente tra la lunghezza di un segmento di linea (di solito tra due fermate successive), ed il tempo relativo alla sua percorrenza, considerando le normali condizioni del traffico (ad es. nessun ritardo imprevisto). La velocità media di marcia si riferisce sempre a un particolare tipo di treno e a una determinata tratta di linea. Se in un percorso specifico non esistono fermate intermedie, la velocità media di marcia coincide con la velocità commerciale.
- Velocità di progettazione del materiale rotabile (V_{rs}), definita come la velocità massima che, secondo il costruttore, può essere raggiunta da un particolare tipo di locomotiva, o con la quale un veicolo rimorchio può muoversi, o, infine, la velocità massima che può essere sviluppata da un'unità multipla di data composizione, prendendo in considerazione il sistema di trazione (diesel o energia elettrica), il peso trainato, il progetto di tracciamento della geometria del binario e considerando che il binario permetta una ottima qualità di viaggio.

Usualmente vale la seguente relazione:

$$V_{ar} \leq V_{\maxtr} \leq V_d \quad (1)$$

Occorre notare che:

speed may either refer to a small segment of the line, or it may be developed along the longest part of the route.

- *Passage speed (V_p), which is defined as the constant speed with which a train passes from a particular, characteristic segment of the line which is of small length (e.g. passing through a tunnel, passing through stations, etc.).*
- *Instant speed (V_i), which is defined as the speed with which a train passes from a specific kilometric point at a specific time.*
- *Commercial speed (V_c), which is defined as the ratio of the length of a railway route (usually between the two terminals) to the time it takes to cover it, including dwell times at all intermediate stations and delays. Commercial speed always refers to a particular type of train and a given route.*
- *Average running speed (V_{ar}), which is defined as the quotient of the length of a line segment (usually between two successive stops), to the time taken to pass this segment, considering normal traffic conditions (e.g. no unforeseen delays). The average running speed always refers to a particular train type and a given line segment. If in a specific route, no intermediate stops exist, then the average running speed coincides with the commercial speed.*
- *Rolling stock design speed (V_{rs}), which is defined as the maximum speed that, according to the manufacturer, can be developed by a particular type of locomotive, or with which a trailer vehicle can move, or, finally, the maximum speed that can be developed by a multiple unit of a given formation taking into consideration the traction system (diesel or electric power), the hauled weight, the track geometry alignment design and considering the track to be of very good ride quality.*

The following mathematical expressions generally apply:

$$V_{ar} \leq V_{\maxtr} \leq V_d \quad (1)$$

It should be noted that:

- *The track design speed is a structural parameter of the system. It concerns designers and construction contractors of railway systems and subsequently railway infrastructure managers. The track design speed should be the same on all track sections of a railway corridor.*
- *Commercial speed is an operational parameter of the system. It is directly associated with run time and concerns the users of railways systems and subsequently railway system operators.*
- *As regards to the quality of the railway infrastructure, it is secured when V_{\maxtr} at individual track segments coincides with the track design speed V_d which, however, corresponds to a particular traction system.*
- *As regards to the combination of track-rolling stock, the design speed of the rolling stock (V_{rs}) must be slightly greater than V_d or at least equal to V_d .*

OSSERVATORIO

- La velocità di progettazione del binario è un parametro strutturale del sistema. Deve essere oggetto di considerazione da parte di progettisti e appaltatori di costruzione di sistemi ferroviari e successivamente di gestori di infrastrutture ferroviarie. La velocità di progettazione del binario dovrebbe essere la stessa su tutte le sezioni di binario di un corridoio ferroviario.
- La velocità commerciale è un parametro operativo del sistema. È direttamente associata al tempo di esercizio e riguarda gli utenti dei sistemi ferroviari e successivamente i gestori dei sistemi ferroviari.
- Per quanto riguarda la qualità dell'infrastruttura ferroviaria, essa è garantita quando V_{\maxtr} , relativa a singoli segmenti di binario, coincide con la velocità di progetto del binario V_d che, tuttavia, corrisponde a un particolare sistema di trazione.
- Per quanto riguarda la composizione del materiale rotabile, la velocità di progetto del materiale rotabile (V_{rs}) deve essere leggermente superiore a V_d o almeno pari a V_d .
- Infine, per quanto riguarda il livello di servizio e, più specificamente, i tempi di esecuzione, la massima velocità di marcia V_{\max} deve essere raggiunta per la maggior parte del percorso.

La Fig. 1 illustra la rappresentazione grafica delle velocità V_d , V_{\maxtr} , V_{ar} , V_o per un percorso con una fermata intermedia considerando che le velocità V_d , V_{\maxtr} sono le stesse per tutta la lunghezza del percorso S.

3. Classificazione dei sistemi ferroviari interurbani e regionali per passeggeri in base alla velocità

Il termine "sistemi ferroviari interurbani per passeggeri" si riferisce a sistemi ferroviari che determinano esclusivamente il trasporto passeggeri su direttive di almeno 150 km di lunghezza. Le stazioni terminali di solito si trovano in grandi centri urbani.

Il termine "sistemi ferroviari regionali per passeggeri" si riferisce a sistemi ferroviari che determinano esclusivamente il trasporto passeggeri lungo direttrici con una lunghezza tra 50-150 km. Una delle due stazioni terminali di solito si trova in un centro urbano piccolo o medio.

In base alla velocità, l'infrastruttura ferroviaria, il materiale rotabile ed i servizi forniti da tali sistemi possono essere classificati in 3 categorie:

1. Velocità convenzionale.
2. Alta Velocità.
3. Altissima velocità o superveloce.

La stessa classificazione può essere applicata a tutti i sistemi.

➤ Con riferimento all'infrastruttura ferroviaria e, in senso lato, ai gestori dell'infrastruttura ferroviaria (e

- Finally, regarding the level of service and, more specifically, the run times, the maximum running speed V_{\max} must be achieved for the biggest part of the route.

Fig. 1 illustrates the graphical representation of the speeds V_d , V_{\maxtr} , V_{ar} , V_o for a route with an intermediate stop considering that the speeds V_d , V_{\maxtr} are the same for all of the route length S.

3. Classification of intercity and regional passenger railway systems based on speed

The term 'intercity passenger railway systems' refers to railway systems that serve exclusively passenger transport along routes of at least 150 km in length. Terminal stations usually are located in large urban centers.

The term 'regional passenger railway systems' refers to railway systems that serve exclusively passenger transport along routes in the range of 50 - 150 km in length. One of the two terminal stations usually is located in a small or medium urban center.

Based on speed the railway infrastructure of, the rolling stock of, and the services provided by such systems may be classified into 3 categories:

1. Conventional-speed
2. High-speed
3. Very high-speed or super-fast

The same classification may be applied to the systems as a whole.

As regards to the railway infrastructure and in a broader sense the railway infrastructure managers (and possibly other actors such as financing organizations):

A single criterion is proposed and specifically, the value of the maximum permissible track speed (V_{\maxtr}) along a specific track or track section.

If the infrastructure is maintained at optimal conditions, then this value will coincide with the one of track design speed ($V_{\maxtr} = V_d$).

For this distinction of the infrastructure based on speed, the following V_{\maxtr} (V_d) limits are adopted:

1. Conventional-speed tracks: $V_{\maxtr} (V_d) < 200 \text{ km/h}$ (2)

2. High-speed tracks: $200 \text{ km/h} \leq V_{\maxtr} (V_d) < 250 \text{ km/h}$ (3)

3. Very high-speed tracks: $V_{\maxtr} (V_d) \geq 250 \text{ km/h}$ (4)

It must be noted at this point that in terms of railway infrastructure this definition is generally adopted by all involved partners [3],[4]. A lot of actors also adopt the same distinction for the rest of the system's constituents as well as for the systems themselves. That approach differs from the one proposed, as it is presented below, by the authors.

As regards to the railway services and in a broader sense the system operator (as well as other actors such as travel agents and the users of the system):

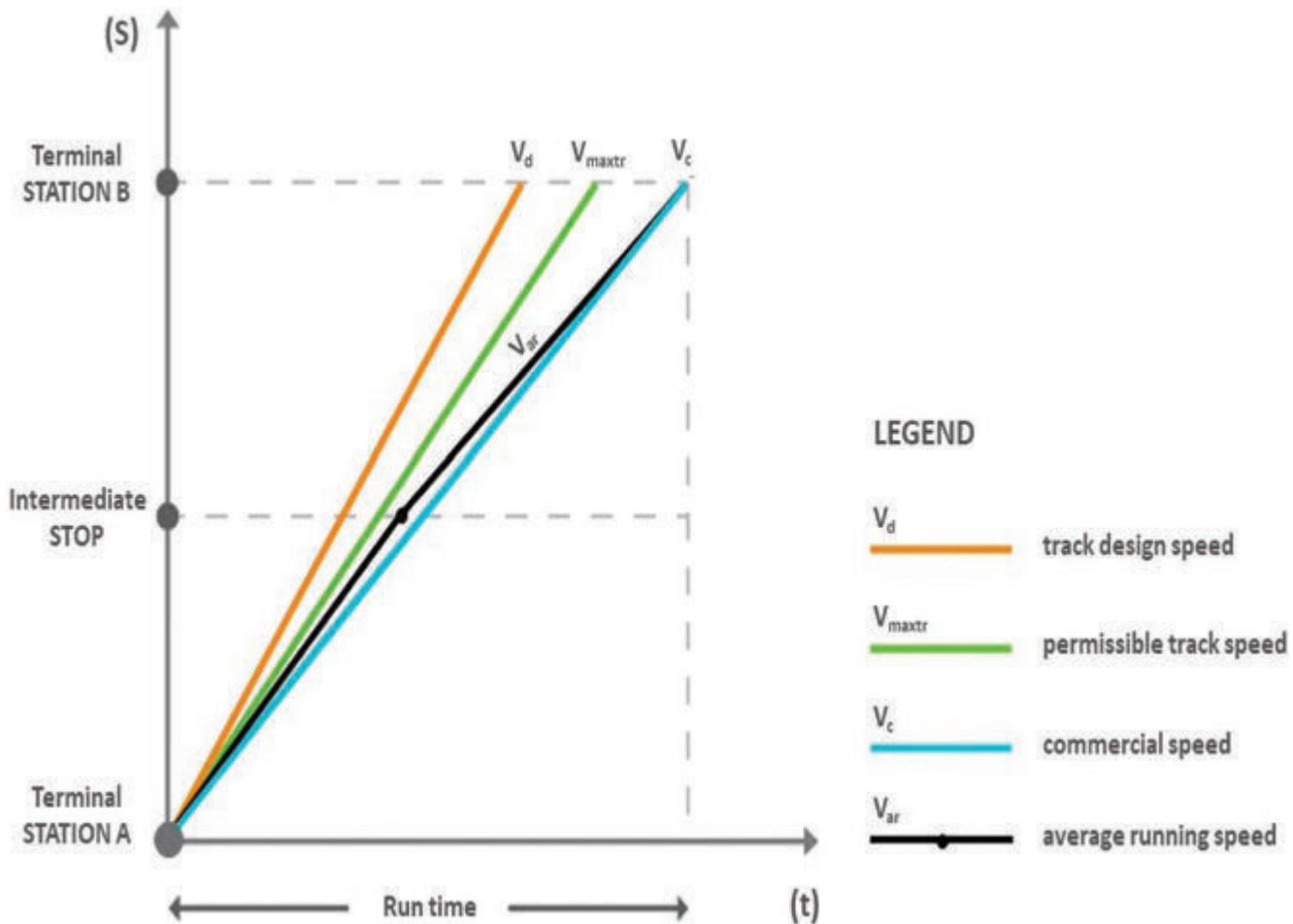


Figura 1 – Velocità caratteristiche nell'ingegneria ferroviaria.
Figure 1 – Characteristic speeds in railway engineering.

possibilmente altri attori come le organizzazioni finanziarie):

viene proposto un singolo criterio e, in particolare, il valore della velocità massima ammessa del binario (V_{\maxtr}) lungo un binario specifico o tratta del binario. Se l'infrastruttura è mantenuta in condizioni ottimali, questo valore coinciderà con quello della velocità di progetto del binario ($V_{\maxtr} = V_d$).

Per questa distinzione dell'infrastruttura, basata sulla velocità, si adottano i seguenti limiti V_{\maxtr} (V_d):

1. Binari a velocità convenzionale:

$$V_{\maxtr} (V_d) < 200 \text{ km/h} \quad (2)$$

2. Binari ad alta velocità: $200 \text{ km/h} \leq V_{\maxtr} (V_d) < 250 \text{ km/h}$

$$(3)$$

3. Binari ad altissima velocità: $V_{\maxtr} (V_d) \geq 250 \text{ km/h}$

A questo punto si dovrebbe notare che in termini di infrastruttura ferroviaria questa definizione è generalmente adottata da tutti i partner coinvolti [3], [4]. Molti

(a) For conventional-speed services, a single criterion is proposed. This criterion may be expressed by either the commercial speed (V_c) or by the average running speed (V_{ar}). For this distinction of railway services based on speed, the following V_c (V_{ar}) limit is adopted:

$$1. \text{ Conventional speed services } V_c (V_{ar}) < 150 \text{ km/h} \quad (5)$$

(b) For high-speed and very high-speed services 3 criteria, which must be concurrently fulfilled, are proposed:

Specifically, the length of the route (S), the maximum running speed (V_{max}), and the commercial (V_c) or average running speed (V_{ar}). This distinction essentially reflects whether a railway service offered along a specific route may be characterized as a 'high/very high-speed service'. This characterization is based to a large extent on whether, for this specific route, railways offer run times and more importantly, door-to-door travel times that are competitive to other modes of transport, namely private cars, and airplanes. As it is described in [2] in the USA, the Department

OSSERVATORIO

attori ferroviari adottano la stessa distinzione per il resto dei componenti del sistema e per i sistemi stessi. Tale approccio differisce da quello proposto dagli autori, come presentato a seguire.

➤ Per quanto riguarda i servizi ferroviari e in senso lato l'operatore del sistema (così come altri attori come gli agenti di viaggio e gli utenti del sistema).

(a) si propone un unico criterio per i servizi a velocità convenzionale. Tale criterio può essere espresso dalla velocità commerciale (V_c) o dalla velocità media di marcia (V_{ar}). Per questa distinzione dei servizi ferroviari basata sulla velocità, si è adottato il seguente limite V_c (V_{ar}):

1. Servizi di velocità convenzionali.

$$V_c (V_{ar}) < 150 \text{ km/h} \quad (5)$$

(b) per i servizi ad alta e altissima velocità si propongono 3 criteri, che devono essere soddisfatti contemporaneamente:

in particolare, la lunghezza del percorso (S), la velocità massima di marcia (V_{max}) e la velocità commerciale (V_c) o media (V_{ar}). Tale distinzione riflette essenzialmente se un servizio ferroviario, offerto lungo un percorso specifico, possa essere caratterizzato come un "servizio ad alta/altissima velocità". Questa caratterizzazione si basa in larga misura sul fatto che, per questo specifico percorso, le ferrovie offrono tempi di percorrenza e, soprattutto, tempi di percorrenza "porta-a-porta" competitivi rispetto ad altre modalità di trasporto, vale a dire le auto private e gli aerei. Come descritto in [2] negli Stati Uniti, il Dipartimento dei Trasporti (DOT) e l'Amministrazione Federale Ferroviaria (FRA) hanno definito la ferrovia ad alta velocità come un servizio concorrenziale per il trasporto aereo e/o stradale per direttrici che vanno da 160-800 km (100-500 miglia) di estensione. Come affermato da FRA, tale definizione deriva dal riconoscimento che quando si sceglie una modalità di trasporto, i passeggeri sono più interessati al tempo di viaggio complessivo che alla velocità di marcia (e quindi al tempo di esecuzione) di un particolare modo di trasporto.

I valori limite variano per servizi ad alta e altissima velocità. In particolare:

1. Servizi ad alta velocità.

Per i servizi ad alta velocità, possono essere identificati due casi. Il primo caso si riferisce a un servizio che copre l'intera lunghezza (S) di una linea ferroviaria (indipendentemente dalla presenza di fermate intermedie). In questo caso vengono adottati 3 criteri, con i seguenti valori limite:

- a. $V_{max} \geq 200 \text{ km/h}$
- b. $S \geq 150 \text{ km}$
- c. $V_c \geq 150 \text{ km/h}$

In secondo luogo, esiste il caso di un servizio che percorre solo una parte (L_{st}) di una linea ferroviaria (S) com-

of Transportation (DOT) and the Federal Railroad Administration (FRA) have defined high-speed rail as a service that is competitive to air and/or road travel for routes ranging from 160 - 800 km (100 - 500 miles). As stated by FRA, this definition arises from the recognition that when choosing a transport mode, passengers are more interested in the overall travel time than in the running speed (and therefore run time) of a particular transport mode.

The limit values vary for high and very high-speed services. More specifically:

1. High-speed services

For high-speed services, two cases may be identified. The first case refers to a service that covers the whole length (S) of a railway line (whether or not intermediate stops exist). In this case 3 criteria, with the following limit values are adopted:

- a. $V_{max} \geq 200 \text{ km/h}$
- b. $S \geq 150 \text{ km}$
- c. $V_c \geq 150 \text{ km/h}$

Secondly, there is the case of a service that runs over only a part (L_{st}) of a railway line (S) including intermediate stops. In this case, the adopted criteria and limit values are as follows:

- a. $V_{max} \geq 200 \text{ km/h}$
- b. $L_{st} \geq 150 \text{ km}$
- c. $V_{ar} \geq 150 \text{ km/h}$

High-speed railway services compete with air transportation and, mostly, with relatively short distance travel with the use of private cars.

2. Very high-speed services.

- a. $V_{max} \geq 250 \text{ km/h}$
- b. $S \geq 300 \text{ km} \div 400 \text{ km}$
- c. $V_c \geq 180 \div 200 \text{ km/h}$

Such services typically involve long distances and compete primarily with air transportation.

The scientific/methodological background for extracting the relations (2) to (8) and the associating limit values are presented in previous related articles [6], [7].

As regards to the rolling stock and in a broader sense the railway industry (as well as other actors such as the railway operators):

A single criterion is proposed. This criterion is the rolling stock design speed (V_{rs}) and the following limit values are adopted:

- a. Conventional-speed trains: $V_{rs} < 200 \text{ km/h}$

- b. High-speed trains (fast trains):
 $200 \text{ km/h} \leq V_{rs} \leq 250 \text{ km/h}$

- c. Very high-speed trains (super-fast trains):
 $V_{rs} > 250 \text{ km/h}$

OSSERVATORIO

prese le fermate intermedie. In questo caso, i criteri e i valori limite adottati sono i seguenti:

- a. $V_{max} \geq 200 \text{ km/h}$
- b. $L_{st} \geq 150 \text{ km}$
- c. $V_{ar} \geq 150 \text{ km/h}$

I servizi ferroviari ad alta velocità competono con il trasporto aereo e, soprattutto, con viaggi relativamente brevi con l'uso di auto private.

2. Servizi ad altissima velocità.

- a. $V_{max} \geq 250 \text{ km/h}$
- b. $S \geq 300 \text{ km} \div 400 \text{ km}$
- c. $V_c \geq 180 \div 200 \text{ km/h}$

Tali servizi in genere comportano lunghe distanze e competono principalmente con il trasporto aereo.

Il contesto scientifico/metodologico per l'estrazione delle relazioni da (2) a (8) e dei valori limite associati sono presentati in precedenti articoli correlati [6], [7].

➤ Per quanto riguarda il materiale rotabile e, in senso lato, l'industria ferroviaria (nonché altri attori come gli operatori ferroviari).

Si propone un unico criterio. Tale criterio è la velocità di progetto del materiale rotabile (V_s) e si adottano i seguenti valori limite:

a. Treni a velocità convenzionale: $V_s < 200 \text{ km/h}$ (9)

b. Treni ad alta velocità (treni veloci):

$$200 \text{ km/h} \leq V_s \leq 250 \text{ km/h} \quad (10)$$

c. Treni ad altissima velocità (treni supervaloci):

$$V_s > 250 \text{ km/h} \quad (11)$$

La Tab. 1 presenta le caratteristiche strutturali e operative di base dei sistemi passeggeri regionali/interurbani e per tutti e 3 i componenti di tali sistemi, differenziati per velocità.

La Fig. 2 presenta complessivamente diverse caratteristiche dei sistemi ferroviari interurbani per passeggeri a velocità convenzionale, ad alta velocità e ad altissima velocità. In particolare, per ciascuno dei suddetti tipi di sistema ferroviario sono presentati la velocità di progettazione del binario, la velocità commerciale, la velocità di progettazione del materiale rotabile, la lunghezza minima del percorso, la distanza media tra le fermate e il raggio di allineamento minimo.

4. Una panoramica di binari ad altissima velocità

Si è cercato di identificare tutti i paesi che possiedono almeno una direttive che può essere definita come ad altissima velocità (nel senso che nella totalità o nella maggior parte della sua lunghezza $V_d \geq 250 \text{ km/h}$ o $V_{max} \geq 250 \text{ km/h}$).

Secondo gli ultimi dati, aggiornati alla fine del 2019 [14], 19 paesi appartengono a questo gruppo. In partico-

Tab. 1 presents basic structural and operational characteristics of regional/intercity passenger systems and for all 3 constituents of such systems as differentiated by speed.

Fig. 2 presents collectively several characteristics of the conventional-speed, high-speed, and very high-speed intercity passenger railway systems. Specifically, the track design speed, the commercial speed, the rolling stock design speed, the minimum route length, the average distance between stops, and the minimum alignment radius are presented for each of the aforementioned railway system types.

4. An overview of very high-speed tracks

An identification of all the countries that possess at least one track that may be characterized as very high-speed (meaning that in the entirety or the majority of its length $V_d \geq 250 \text{ km/h}$ or $V_{max} \geq 250 \text{ km/h}$) was attempted.

According to data last updated in the end of 2019 [14], 19 countries belong in this group. Specifically, the countries that possess at least one length of very high-speed track are Austria, Belgium, China, France, Germany, Italy, Japan, Morocco, S. Korea, the Netherlands, Poland, Russia, Saudi Arabia, Spain, Switzerland, Taiwan, Turkey, United Kingdom, and Uzbekistan.

Tab. 2 depicts for each country (column 2), the total length of very high-speed tracks (column 3), the percentage of worldwide very high-speed tracks associated with that country (column 4), the maximum design speed of a least one track for that country (column 5), the maximum running speed (column 6), and finally the subtotals of lengths of track per specific track design speed (column 7).

Tab. 3 depicts as, an example, additional data for Italy. It showcases the high and very high-speed lines in operation within the country.

The data recorded in Tabs. 2 and 3 relate to the year 2019. The raw data were obtained both per country and per line, from various available sources and cross-checked [14]³. Afterward, they were further manipulated for the needs of this paper.

The total length of very high-speed tracks in these 19 countries amounts to 42,238 km. China is first amongst them possessing 63.96% or 27,016 km.

The total length of both very high and high-speed tracks of these 19 countries amounts to 52,072 km. China is first amongst them possessing 63.42% or 33,029 km.

Fig. 3 showcases the distribution of very high-speed lines

⁽³⁾ Data in reference [14] were collected from various internet sources as well as a number of issues of the 'Railway Gazette International' and 'International Railway Journal' publications from 2015 to 2019.

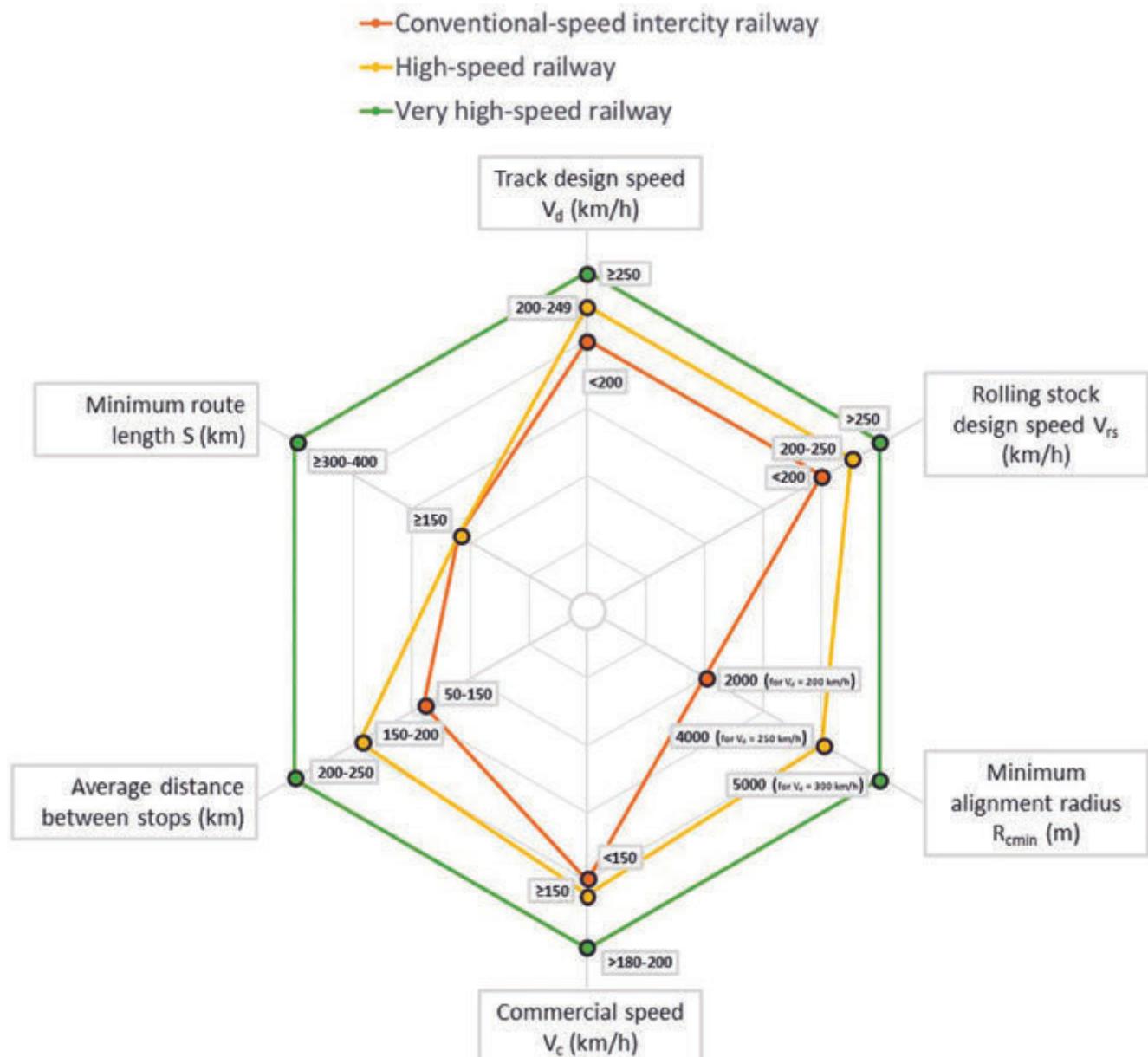


Figura 2 – Valori tipici delle caratteristiche dei sistemi ferroviari interurbani per passeggeri a velocità convenzionale, ad alta velocità e ad altissima velocità.

Figure 2 – Typical values of characteristics of the conventional-speed, high-speed and very high-speed intercity passenger railway systems.

lare, i paesi che possiedono almeno una estensione di binario ad altissima velocità sono Austria, Belgio, Cina, Francia, Germania, Italia, Giappone, Marocco, Corea del Sud, Paesi Bassi, Polonia, Russia, Arabia Saudita, Spagna, Svizzera, Taiwan, Turchia, Regno Unito e Uzbekistan.

La Tab. 2 mostra per ogni paese (cfr. colonna 2), la lunghezza totale delle direttive ad altissima velocità (co-

around the world based on their design speed and based on the data of column (7) of Tab. 2. It can be observed that lines with speed $V_d = 250\text{km/h}$ and $250\text{km/h} < V_d \leq 300\text{km/h}$ amount to closely 40% of the worldwide length each, while lines with $V_d > 300\text{ km/h}$ to about 20%.

In Fig. 4 an evolution of the construction of very high-speed tracks over the last years is presented. Data are presented for 5-year segments. The period of 1964 - 2004 was

OSSERVATORIO

Tabella 1 – Table 1

Caratteristiche strutturali e operative tipiche dei componenti dei sistemi ferroviari regionali e interurbani per passeggeri differenziati per velocità [5].

Typical structural and operational characteristics of constituents of regional and intercity passenger railway systems as differentiated by speed [5].

| Sistema ferroviario Railway system | Infrastruttura Infrastructure | Materiale rotabile Rolling stock | Esercizio Operation |
|---|---|--|--|
| Interurbano a velocità convenzionale e ferrovia regionale <i>Conventional-speed intercity and regional railway</i> | <p>$V_d < 200 \text{ km/h}$: Binario doppio o singolo, tutti gli scartamenti. Binario con massicciata, UIC 54, CWR (Lunga rotaia saldata, raramente giunzioni a scorrimento), tutti i tipi di traverse (per $V > 120 \text{ km}$ sono escluse le traverse in acciaio). Passaggi a livello: consentiti. Pendenze: $0 \div 3,5\%$. Segnalamento: Laterale di tipo elettrico/ATP (Protezione Automatica del Treno). Costo di attuazione: $\text{€ } 8 \div 12 \text{ M per binario al km (infrastruttura, doppio binario)}$. Per $V_d = 200 \text{ km/h}$, R_{\min} (raggio minimo di curva) = 2.000 m (proposto).</p> <p>$V_d < 200 \text{ km/h}$ Double or single track, all gauges Ballasted track, UIC 54, CWR (Continuously Welded Rails) (rarely fishplates), all types of sleepers (for $V > 120 \text{ km steel sleepers are excluded}$) Levels crossings: Permitted Slopes: $0 - 3,5\%$ Signalling: Electric side/ATP (Automatic Train Protection) Implementation cost: € 8 - 12 M per track-km (infrastructure, double track) For $V_d = 200 \text{ km/h}$ R_{\min} (minimum alignment radii) = 2,000m (proposed)</p> | <p>$V_{rs} < 200 \text{ km/h}$: Unità Multiple Elettriche (EMU) o Unità Multiple Diesel (DMU) o treni diesel o trainati da locomotive elettriche ($4 \div 10$ veicoli). Cassa del veicolo convenzionale o cassa del veicolo dotata di tecnologia di pendolamento [11], [12]. Veicoli con carrelli convenzionali (normalmente). Veicoli a un piano (solitamente). Veicoli con compartimenti o singoli sedili passeggeri. Veicoli di Classe A e B. $V_{rs} < 200 \text{ km/h}$ Electrical Multiple Units (EMU) or Diesel Multiple Units (DMU) or diesel or electric loco-hauled trains (4 - 10 vehicles) Conventional car-body or car-body equipped with tilting technology [11], [12] Vehicles with conventional bogies (usually) Single deck vehicles (usually) Vehicles with compartments or with individual passenger seats A and B Class vehicles</p> | <p>Interurbano: $V_c < 150 \text{ km/h}$. Lunghezza del percorso: $\geq 150 \text{ km}$. Distanza tra le fermate: normalmente $50 \div 150 \text{ km}$. Intercity: $V_c < 150 \text{ km/h}$ Route length: $\geq 150 \text{ km}$ Distance between stops: Normally 50 - 150 km</p> <p>Regionale: $V_c < 100 \text{ km/h}$ Lunghezza del percorso: $50 \div 150 \text{ km}$ Distanza tra le fermate: normalmente $10 \div 30 \text{ km}$. Regional: $V_c < 100 \text{ km/h}$ Route length: 50 - 150 km Distance between stops: Normally 10 - 30 km</p> |
| Ferrovia ad alta velocità <i>High-speed railway</i> | <p>$200 \text{ km/h} \leq V_d < 250 \text{ km/h}$: Doppio binario, scartamento normale o largo. Binario con massicciata o con piastrone, UIC 60, lunga rotaia saldata, attacchi elastici, traverse in cemento o legno. Pendenze: $0 \div 4\%$. Segnalamento in cabina. Passaggi a livello: proibiti. Costo di attuazione: $\text{€ } 10 \div 30 \text{ M per binario al km (infrastruttura, doppio binario)}$. Per $V_d = 250 \text{ km/h}$, $R_{\min} = 4.000 \text{ m}$ (proposto).</p> <p>$200 \text{ km/h} \leq V_d < 250 \text{ km/h}$ Double track, normal or broad gauge Ballasted or slab track, UIC 60, CWR, elastic fastenings, concrete or wooden sleepers Slopes: $0 - 4\%$ Cab signalling Levels crossings: Prohibited Implementation cost: € 10-30 M per track-km (infrastructure, double track) For $V_d = 250 \text{ km/h}$ $R_{\min} = 4.000 \text{ m}$ (proposed)</p> | <p>$200 \text{ km/h} \leq V_{rs} \leq 250 \text{ km/h}$: EMU o treni elettrici trainati da locomotiva ($4 \div 10$ veicoli). Cassa del veicolo convenzionale o cassa del veicolo dotata di pendolamento [11], [12]. Veicoli con carrelli di tipo Jakobs o carrelli convenzionali o carrelli con ruote indipendenti [13]. Convogli a uno o due piani. Treni con struttura della carrozza a tenuta stagna. Veicoli con compartimenti o singoli sedili passeggeri. Veicoli di Classe A e B.</p> <p>$200 \text{ km/h} \leq V_{rs} \leq 250 \text{ km/h}$ EMU or electric loco-hauled trains (4 - 10 vehicles) Conventional car-body or car-body equipped with tilting technology [11], [12] Vehicles with Jakobs-type bogies or conventional bogies or bogies with independently rotating wheels [13] Single deck or double deck vehicles Trains with air-tight car-body structure Vehicles with compartments or with individual passenger seats A and B Class vehicles</p> | <p>$V_c \geq 150 \text{ km/h}$: Lunghezza del percorso: $\geq 150 \text{ km}$. Distanza tra le fermate: normalmente $150 \div 200 \text{ km}$. Alta frequenza. $V_c \geq 150 \text{ km/h}$ Route length: $\geq 150 \text{ km}$ Distance between stops: Normally 150 - 200 km High frequency</p> |

(segue... - follows...)

OSSERVATORIO

(segue tab. 1 - follows tab. 1)

| | | | |
|--|---|---|--|
| <p>Ferrovia ad altissima velocità <i>Intercity:</i> <i>Very high-speed railway</i></p> | <p>$V_d \geq 250 \text{ km/h}$: Doppio binario, scartamento normale Binario massiccio o con lastra, UIC 60, CWR, attacchi elastici, traverse in cemento. Pendenze: 0 ÷ 4%. Passaggi a livello: proibiti. Segnalamento in cabina. Per $V_d = 300 \text{ km/h}$, $R_{cmin} = 5.000 \text{ m}$ (proposto) Costo di attuazione: € 15 ÷ 40 M per binario - km (infrastruttura, doppio binario). $V_d \geq 250 \text{ km/h}$ <i>Double track, normal gauge</i> <i>Ballasted or slab track, UIC 60, CWR, elastic fastenings, concrete sleepers</i> <i>Slopes: 0 - 4 %</i> <i>Levels crossings: Prohibited</i> <i>Cab signalling</i> <i>For $V_d = 300 \text{ km/h}$ $R_{cmin} = 5,000 \text{ m}$ (proposed)</i> <i>Implementation cost: € 15 - 40 M per track- km (infrastructure, double track)</i></p> | <p>$V_{rs} > 250 \text{ km/h}$: EMU o treni elettrici trainati da locomotiva (4 ÷ 10 veicoli). Cassa del veicolo convenzionale. Veicoli con carrelli di tipo Jakobs o carrelli convenzionali o carrelli con ruote indipendenti. Convogli a uno o due piani. Treni con struttura della carrozza a tenuta stagna. Veicoli con compartimenti o singoli sedili passeggeri. Veicoli di Classe A e B. $V_c > 250 \text{ km/h}$ <i>EMU or electric loco-hauled trains (4 - 10 vehicles)</i> <i>Conventional car-body</i> <i>Vehicles with Jakobs-type bogies or conventional bogies or bogies with independently rotating wheels</i> <i>Single deck or double deck vehicles</i> <i>Trains with air-tight car-body structure</i> <i>Vehicles with compartments or with individual passenger seats</i> <i>A and B Class vehicles</i></p> | <p>$V_c \geq 180 \div 200 \text{ km/h}$: Lunghezza del percorso: ≥ 300 ÷ 400 km. Distanza tra le fermate: normalmente 200 ÷ 250 km. Altissima frequenza. $V_c \geq 180 - 200 \text{ km/h}$ <i>Route length: ≥ 300 - 400 km</i> <i>Distance between stops: Normally 200 - 250 km</i> <i>Very high frequency</i></p> |
|--|---|---|--|

lonna 3), la percentuale di binari mondiali ad altissima velocità associati a quel paese (colonna 4), la velocità massima di progetto di almeno un binario per quel paese (colonna 5), la massima velocità di marcia (colonna 6) e infine i totali parziali delle lunghezze del binario per specifica velocità di progetto del binario (colonna 7).

La Tab. 3 mostra, ad esempio, dati aggiuntivi per l'Italia. Mostra le linee ad alta e altissima velocità in esercizio all'interno di quel Paese.

I dati registrati nella Tab. 2 e Tab. 3 si riferiscono all'anno 2019.

I dati grezzi sono stati ottenuti, per Paese e per linea, da varie fonti disponibili e sottoposti a controlli incrociati [14]³. Successivamente, sono stati ulteriormente gestiti per le esigenze computazionali esposte in questo documento.

La lunghezza totale dei binari ad altissima velocità in questi 19 paesi ammonta a 42.238 km. La Cina è la prima con il 63,96% o 27.016 km.

La lunghezza totale sia di binari ad altissima ed alta velocità di questi 19 paesi ammonta a 52.072 km. La Cina è la prima con il 63,42% o 33.029 km.

La Fig. 3 mostra la distribuzione di linee ad altissima velocità in tutto il mondo, in base alla loro velocità di progettazione e in base ai dati della colonna (7) della Tab.

taken as a single segment since the technology and related construction was still at an infant stage.

5. An overview of very high-speed services

Tab. 4 depicts per country (column 1) the longest direct services (column 2) that fulfill the criteria of relation (8) for being characterized as a very high-speed rail service. For each route, the origin-destination terminals, the maximum running speed (column 3), the length (column 4), and the commercial speed (column 5) are given. Data are taken as of 2020 [14].

Based on Tab. 4, 7 countries offer very high-speed rail services. These countries are China, France, Italy, Japan, S. Korea, Russia, and Spain. China offers very high-speed services along several routes within its network. The longest such route is the one from Hong Kong to Beijing Nan, which has a length of 2,439 km and a commercial speed of $V_c = 273 \text{ km/h}$ (6 intermediate stops).

In Tab. 5 data are presented for the countries with the top 5 average running speeds between two successive stations. China as of 2019 offers the fastest in terms of average running speed services between Beijing and Nanjing ($S = 1021.9 \text{ km}$), with a $V_{ar} = 317.7 \text{ km/h}$. China holds also the record of the highest commercial speed at $V_c = 304.1 \text{ km/h}$ (Beijing Nan-Shanghai, $S=1,307.6 \text{ km}$, one intermediate stop) based on 2019 data [14].

6. An overview of very high-speed trains

Tab. 6 displays the basic constructional and operational characteristics of very high-speed trains that were

⁽³⁾ I dati di riferimento [14] sono stati raccolti da varie fonti di Internet, nonché una serie di numeri delle pubblicazioni "Railway Gazette International" e "International Railway Journal" dal 2015 al 2019.

OSSERVATORIO

Tabella 2 – Table 2

Paesi che possiedono almeno un binario che può essere identificato come ad altissima velocità - Lunghezza dei binari ad altissima velocità per Paese.

Countries possessing at least one track that may be characterized as very high-speed - Length of very high-speed tracks per country.

| (1) | Paese Country (2) | Lunghezza (km) Length (km) (3) | Percentuale sulla lunghezza totale (%) <i>Percentage over total length (%)</i> (4) | Velocità massima di progetto del binario (km/h) <i>Maximum track design speed (km/h)</i> (5) | Massima velocità di marcia (km/h) <i>Maximum running speed (km/h)</i> (6) | Velocità di progettazione del binario (lunghezza del binario) <i>Track design speed (Track length)</i> (7) |
|-----|-------------------------------|--|--|--|---|--|
| 1 | Cina China | 27.016 | 63,96 | 350 (380 in 142 km) | 350 | 380 km/h (142 km), 350 km/h (11.712 km), 300 km/h (1.858 km), 250 km/h (13.304 km) |
| 2 | Spagna Spain | 2.789 | 6,60 | 350 | 320 | 350 km/h (1.750 km), 300 km/h (924 km), 250 km/h (115 km) |
| 3 | Francia France | 2.556 | 6,05 | 320 | 320 | 320 km/h (1.273 km), 300 km/h (1.283 km) |
| 4 | Giappone Japan | 2.495 | 5,90 | 320 | 320 | 320 km/h (675 km), 300 km/h (554 km), 285 km/h (515 km), 260 km/h (751 km) |
| 5 | Italia Italy | 992 | 2,35 | 300 | 300 | 300 km/h (709 km), 250 km/h (283 km) |
| 6 | Germania Germany | 1.288 ⁴ | 3,05 | 300 | 300 | 300 km/h (518 km), 280 km/h (426 km), 250 km/h (344 km) |
| 7 | Turchia Turkey | 745 | 1,76 | 250 | 250 | 250 km/h (745 km) |
| 8 | Russia Russia | 1.110 ⁵ | 2,63 | 250 | 250 | 250 km/h (1.110 km) |
| 9 | Corea del Sud South Korea | 880 | 2,08 | 350 | 305 | 350 km/h (412 km), 300 km/h (245 km), 250 km/h (223 km) |
| 10 | Taiwan Taiwan | 354 | 0,84 | 300 | 300 | 300 km/h (354 km) |
| 11 | Belgio Belgium | 214 | 0,51 | 300 | 300 | 300 km/h (172 km), 260 km/h (42 km) |
| 12 | Olanda Netherlands | 125 | 0,30 | 300 | 300 | 300 km/h (125 km) |
| 13 | Regno Unito United Kingdom | 114 | 0,27 | 300 ⁶ | 300 | 300 km/h (114 km) |

(segue... - follows...)

⁽⁴⁾ La lunghezza dei binari ad altissima velocità in Germania è più breve poiché per la linea Berlino-Hannover (258 km) la velocità di marcia oscilla tra 160 - 250 km/h.

⁽⁵⁾ La lunghezza dei binari ad altissima velocità in Russia è inferiore poiché per la linea Mosca-Nizhny Novgorod (460 km) sono consentite velocità di marcia di 250 km/h nei tratti brevi.

⁽⁶⁾ I treni Eurostar viaggiano fino a 300 km/h nel Regno Unito ma non trasportano passeggeri nazionali.

⁽⁴⁾ The length of very high-speed tracks in Germany is shorter since for the Berlin-Hanover line (258 km) the running speed fluctuates between 160 - 250 km/h.

⁽⁵⁾ The length of very high-speed tracks in Russia is shorter since for the line Moscow-Nizhny Novgorod (460 km) running speeds of 250 km/h are allowed in short segments.

⁽⁶⁾ Eurostar trains run at up to 300 km/h in the UK but do not carry domestic passengers.

(segue tab. 2 - follows tab. 2)

| | | | | | | |
|----|--------------------------------|---------------|-------------|------------------|-----|-------------------|
| 14 | Uzbekistan Uzbekistan | 600 | 1,42 | 250 | 200 | 250 km/h (600 km) |
| 15 | Austria Austria | 43 | 0,10 | 250 | 230 | 250 km/h (43 km) |
| 16 | Arabia Saudita Saudi Arabia | 453 | 1,07 | 300 | 200 | 300 km/h (453 km) |
| 17 | Marocco Morocco | 183 | 0,43 | 350 | 300 | 350 km/h (183 km) |
| 18 | Polonia Poland | 224 | 0,53 | 250 ⁷ | 200 | 250 km/h (224 km) |
| 19 | Svizzera Switzerland | 57 | 0,14 | 250 | 200 | 250 km/h (57 km) |
| | Totale | 42.238 | 100% | - | - | 42.238 |

2. Si può osservare che le linee con velocità $V_d = 250$ km/h e $250 \text{ km/h} < V_d \leq 300 \text{ km/h}$ equivalgono a circa il 40% della lunghezza mondiale ciascuna, mentre le linee con velocità $V_d > 300 \text{ km/h}$ a circa il 20%.

Nella Fig. 4 è presentata un'evoluzione della costruzione di binari ad altissima velocità negli ultimi anni. I dati sono presentati ad intervalli temporali di 5 anni. Il periodo tra il 1964 e il 2004 è stato considerato come un singolo intervallo poiché la tecnologia e la relativa costruzione erano ancora al primo stadio.

5. Panoramica dei servizi ad altissima velocità

La Tab. 4 mostra per Paese (colonna 1) gli esercizi diretti più lunghi (colonna 2) che soddisfano i criteri di connessione (8), in modo da essere identificati come servizio ferroviario ad altissima velocità. Per ciascuna direttrice sono indicati le località di origine-destinazione (terminali), la velocità massima di marcia (colonna 3), la lunghezza (colonna 4) e la velocità commerciale (colonna 5). I dati sono stati presi a partire dal 2020 [14].

Sulla base della Tab. 4, 7 Paesi offrono servizi ferroviari ad altissima velocità. Questi paesi sono Cina, Francia, Italia, Giappone, Corea del Sud, Russia e Spagna. La Cina offre servizi ad altissima velocità lungo varie rotte all'interno della sua rete. Il percorso più lungo è quello da Hong Kong a Pechino Nan, con una lunghezza di 2.439 km e una velocità commerciale di $V_c = 273$ km/h (6 fermate intermedie).

La Tab. 5 mostra i dati per i paesi con le prime 5 velocità di funzionamento medie tra due stazioni successi-

put in circulation around the world over the last 5 years. Data cover up to the end of 2019 [14],[16].

It should be noted that for rolling stock to be characterized as high or very high-speed the following must be true [5]:

- Low equivalent conicity ($\gamma_e < 0.10$)
- Long wheel-bases of bogies ($2a = 3.0m$)
- Large wheel diameter ($2r_o = 0.90m$)
- Low axle load ($Q < 17t$)
- Relatively high longitudinal and lateral stiffness of the primary suspension

7. Conclusions

Technical developments in both the fields of railway infrastructure and rolling stock have made possible for trains to run at speeds of 350 km/h. High-speed train operation either takes place on a newly-built dedicated high-speed track, or on an upgraded existing track. The speed of 200 km/h was initially established as a limit of distinction between a train running at 'conventional' speeds and a train running at 'high' speeds. However, as to the term high-speed rail, no explicit definition exists as various criteria are adopted from different railway institutions and researchers.

In this paper, a specific procedure is adopted for making such a distinction. Initially, based on speed the railway infrastructure of, the rolling stock of, and the services provided by passenger intercity and regional railway systems are classified into 3 categories:

⁽⁷⁾ Attualmente la Polonia non ha linee ad alta velocità che viaggiano a velocità superiori a 200 km/h. La linea ferroviaria centrale, che collega Varsavia a Katowice e Cracovia, è stata progettata con un allineamento che consente 250 km/h.

⁽⁷⁾ Poland currently has no high-speed lines operating at speeds above 200 km/h.. The Central Rail Line, which links Warsaw to Katowice and Kraków, was designed with an alignment that permits 250 km/h.

Tabella 3 – Table 3

Linee ad alta e altissima velocità nel territorio italiano - dati 2019 [14].
High and very high-speed lines within the territory of Italy - 2019 data [14].

| Linea <i>Line</i> | Lunghezza (km) <i>Length</i> (km) | Anno di inizio Esercizio <i>Starting year of operation</i> | Vd (km/h) <i>Vd</i> (km/h) |
|--|--|--|-------------------------------------|
| Roma-Firenze <i>Rome-Florence</i> | 254 | 1978/92 (a tappe) 1978/92 (in stages) | 250 |
| Roma-Napoli <i>Rome-Naples</i> | 205 | 2006/2009 (a tappe) 2006/2009 (in stages) | 300 |
| Torino-Milano <i>Turin-Milan</i> | 125 | 2006/09 (a tappe) 2006/09 (in stages) | 300 |
| Padova-Venezia (Mestre) <i>Padova-Venice (Mestre)</i> | 25 | 2007 | 220 |
| Bologna-Firenze <i>Bologna-Florence</i> | 79 | 2009 | 300 |
| Milano-Bologna <i>Milan-Bologna</i> | 215 | 2008/09 (a tappe) 2008/09 (in stages) | 300 |
| Milano-Treviglio <i>Milan-Treviglio</i> | 27 | 2007 | 300 |
| Napoli-Salerno <i>Naples-Salerno</i> | 29 | 2008/09 | 250 |
| Bologna-Verona <i>Bologna-Verona</i> | 114 | 2009 | 200 |
| Milano(Treviglio)-Brescia <i>Milan(Treviglio)-Brescia</i> | 58 | 2016 | 300 |
| Totale <i>Total</i> | 1.131 | - | - |

ve. Dal 2019 la Cina offre il dato più veloce in termini di servizi di velocità media di marcia tra Pechino e Nan-chino ($S = 1021,9$ km), con un $V_{ar} = 317,7$ km/h. La Cina detiene anche il record della massima velocità commerciale a $V_c = 304,1$ km/h (Pechino Nan-Shanghai, $S=1.307,6$ km, una fermata intermedia) sulla base dei dati del 2019 [14].

6. Panoramica dei treni ad altissima velocità

La Tab. 6 mostra le caratteristiche costruttive e operative di base dei treni ad altissima velocità messi in circolazione in tutto il mondo negli ultimi 5 anni. I dati coprono un periodo temporale fino alla fine del 2019 [14], [16].

Si precisa che affinché il materiale rotabile sia caratterizzato da alta o altissima velocità, deve essere verificato quanto segue [5]:

1. *Conventional-speed*
2. *High-speed*
3. *Very high-speed or superfast*

The same classification is applied to the system as a whole.

Subsequently, separate criteria for each of the 3 constituents of a railway system are formulated (infrastructure, rolling stock, operation). They correspond and characterize to an extent the needs of the actors that manage these constituents, namely the railway infrastructure managers (track) and the railway system operators (rolling stock, railway services)

The rail infrastructure manager is interested in whether a track / track section can be characterized as a 'high-speed track /track section'. In this regard, the definition of high-speed rail is proposed to be based on the per-

- Conicità equivalente bassa ($c_e < 0,10$).
- Passi lunghi del carrello ($2a = 3,0$ m).
- Diametro ruota grande ($2r_o = 0,90$ m).
- Carico asse basso ($Q < 17$ t).
- Rigidità longitudinale e laterale relativamente elevata della sospensione primaria.

7. Conclusioni

Gli sviluppi tecnici in entrambi i settori dell'infrastruttura ferroviaria e del materiale rotabile hanno reso possibile la circolazione dei treni a una velocità di 350 km/h. L'esercizio del treno ad alta velocità avviene su un binario dedicato o di nuova costruzione o su un binario esistente potenziato. La velocità di 200 km/h è stata inizialmente stabilita come limite di distinzione tra un treno a velocità "convenzionale" e un treno a velocità "elevata". Tuttavia, per quanto riguarda la dizione "ferrovia ad alta velocità", non esiste una definizione esplicita, poiché sono adottati vari criteri da diversi Istituti e ricercatori ferroviari.

In questo documento, è adottata una procedura specifica per indicare tale distinzione. Inizialmente in base alla velocità permessa dall'infrastruttura ferroviaria, del materiale rotabile e dei servizi forniti dai sistemi ferroviari interurbani e regionali si distingua una classificazione in 3 categorie:

1. Velocità convenzionale.
2. Alta Velocità.
3. Altissima velocità o superveloce.

La stessa classificazione è applicata al sistema nel suo complesso.

Successivamente, sono formulati criteri separati per ciascuno dei 3 componenti di un sistema ferroviario (infrastruttura, materiale rotabile, esercizio). Questi criteri corrispondono e caratterizzano, in una certa misura, le esigenze degli attori che gestiscono i relativi componenti, in particolare i gestori dell'infrastruttura ferroviaria (binario) e gli operatori del sistema ferroviario (materiale rotabile, servizi ferroviari).

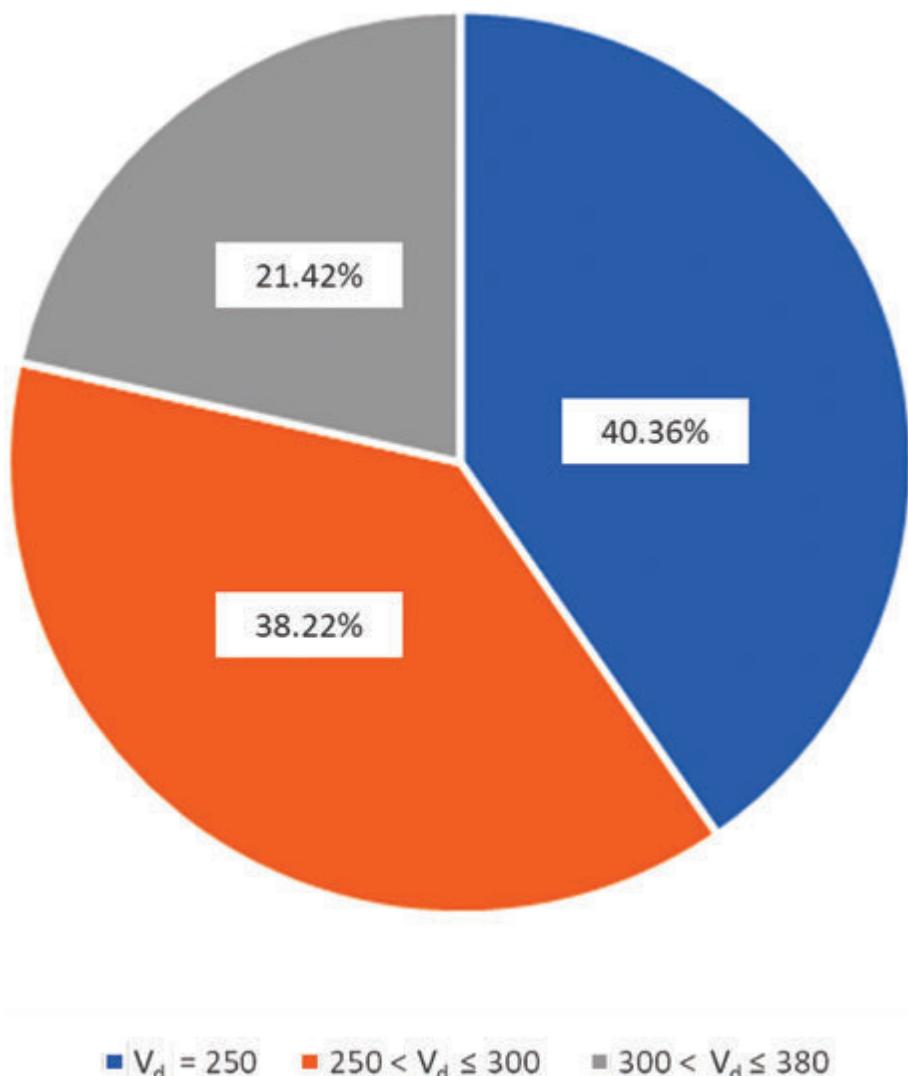


Figura 3 – Distribuzione basata sulla velocità di progettazione dei binari di linee ad altissima velocità in tutto il mondo.

Figure 3 – Distribution based on track design speed of very high-speed lines worldwide.

mitted track speed that may be developed on a specific track / track section.

The railway operator is interested in whether a train service that is offered on a specific route can be characterized as a 'high-speed service', which depends on whether or not, on a specific route, the rail transport mode offers competitive travel times (door-to-door services), as compared to other transport modes. In this regard, the definition of high-speed rail is proposed to be based on the maximum running speed, on the commercial speed and on the length of the route.

Based on these criteria, the process of recording all railway systems that may be characterized as 'very high-speed' worldwide is undertaken. These findings are on the

OSSERVATORIO

Il gestore dell'infrastruttura ferroviaria è interessato a stabilire se un binario/sezione di binario può essere definito come "un binario/sezione di binario ad alta velocità". A questo proposito, si propone di definire una ferrovia ad alta velocità sulla base della velocità di binario consentita, che può essere sviluppata su un binario specifico o sezione di binario.

L'operatore ferroviario è interessato a sapere se un servizio ferroviario, offerto su un percorso specifico, può essere identificato come "servizio ad alta velocità". L'attribuzione dipende dal fatto che, su un percorso specifico, la modalità di trasporto ferroviario offre o non offre tempi di percorrenza competitivi (servizio "porta-a-porta"), rispetto ad altre modalità di trasporto. A questo proposito, si propone di definire una "ferrovia ad alta velocità" sulla base della velocità di marcia massima, della velocità commerciale e della lunghezza del percorso.

Il processo di acquisizione e memorizzazione del database di tutti i sistemi ferroviari che possono essere definiti "ad altissima velocità" in tutto il mondo è stato avviato sulla base di questi criteri. Questi risultati sono da un lato aggiornati, dal momento che l'arco temporale per l'acquisizione dei dati comprende la fine del 2019, e dall'altro potrebbero essere facilmente aggiornati in futuro, se si adotterà la stessa definizione per identificare tali sistemi.

La più estesa rete ferroviaria ad altissima velocità in termini di lunghezza dei binari è quella cinese, che è complessivamente più lunga delle reti di tutti gli altri paesi messi insieme e pari a 2/3 del totale mondiale. Sin dalle Olimpiadi di Pechino, la Rete Cinese si è sviluppata rapidamente rispetto ad altre reti. Al contrario, l'Europa, forse a causa della crisi economica dell'ultimo decennio, mostra un lieve dispiegamento di nuove linee ad altissima velocità con diversi progetti rinviati. Oltre alla Cina e all'Europa, è emerso un interesse mondiale per le ferrovie ad altissima velocità con il nuovo Marocco e l'Arabia Saudita che hanno inaugurato le loro prime direttive negli ultimi due anni. Sulla base dei dati del 2019, la Cina detiene il record della maggiore velocità di marcia media tra due fermate successive ($V_{ar} = 317,7$ km/h) e la maggiore velocità commerciale lungo un tracciato ($V_c = 304,1$ km/h).

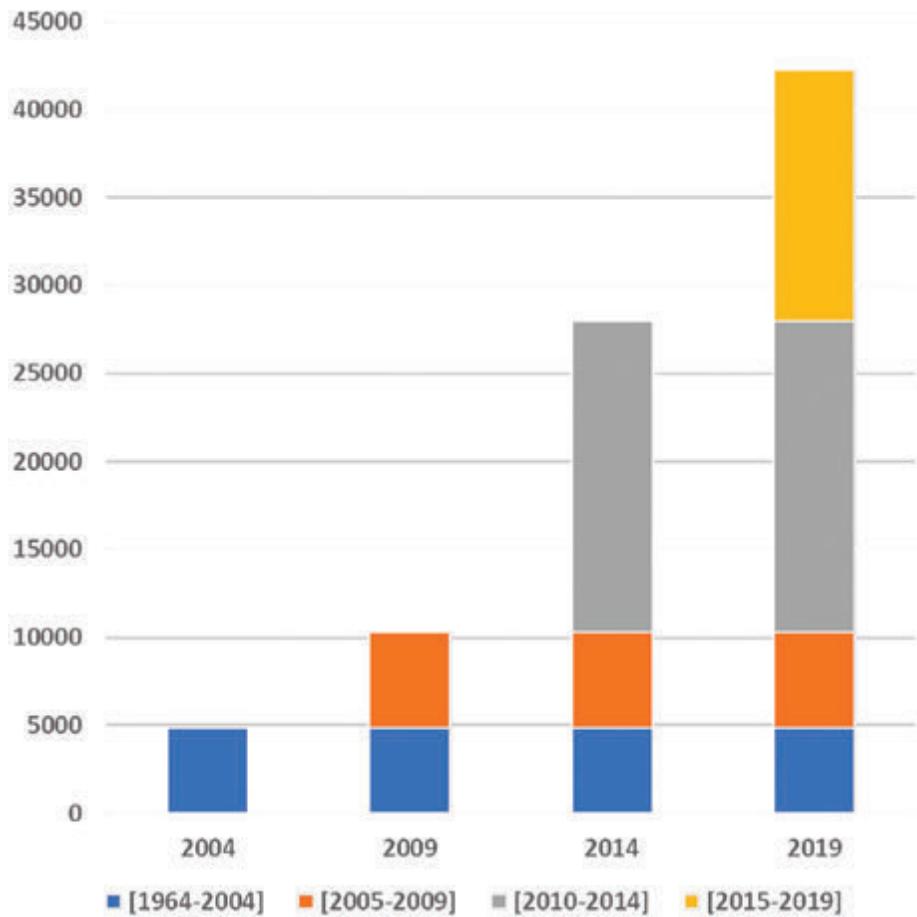


Figura 4 – Evoluzione della costruzione mondiale di binari ad alta velocità in segmenti di 5 anni.

Figure 4 – Evolution of worldwide high-speed tracks construction in 5-year segments.

one hand up-to-date, since the timeframe for data acquisition was the end of 2019, and on the other hand may easily be updated in the future if the same definition is adopted to characterize these systems.

The largest very high-speed railway network in terms of track length is that of China, which is overall longer than networks of all other countries combined, amounting to 2/3 of the world total. Ever since the Beijing Olympics the Chinese network has been developing rapidly when compared to other networks. On the contrary, Europe, perhaps due to the economic crisis of the past decade, showcases a mild deployment of new very high-speed lines with several projects having been postponed. Besides China and Europe, a worldwide interest in very high-speed railway has emerged with new Morocco and Saudi Arabia having inaugurated their first such lines in the past two years. China, based on 2019 data, holds the record of the higher average running speed between two successive stops ($V_{ar} = 317,7$ km/h) and the higher commercial speed along a route ($V_c = 304,1$ km/h).

OSSERVATORIO

Tabella 4 – Table 4

Dati a partire dal 2020 per il servizio/percorso diretto ad alta velocità più lungo per paese.
Data as of 2020 for the longest high-speed direct service/route per country.

| Paese (1) Country (1) | Tracciato più lungo (2) <i>Longest route</i> (2) | V_{max} (km/h) (3) V_{max} (km/h) (3) | Lunghezza (km) (4) <i>Length (km)</i> (4) | V_c (km/h) (5) V_c (km/h) (5) |
|--------------------------------|---|--|--|--|
| Cina China | Hong Kong (West Kowloon) - Pechino Xi <i>Hong Kong (West Kowloon) - Beijing Xi</i> | 350 | 2.439 | 273 |
| Spagna Spain | Madrid Atocha - Barcellona Sants Siviglia Santa Justa - Barcellona <i>Madrid Atocha - Barcelona Sants</i> <i>Sevilla Santa Justa - Barcelona</i> | 310 | 621 1.093 | 248,4 197,5 |
| Francia France | Parigi - Lione - Marsiglia St Charles <i>Paris - Lyon - Marseille St Charles</i> | 320 | 750 | 238,1 |
| Italia Italy | Rome Tiburtina - Milano Rogoredo <i>Rome Tiburtina - Milano Rogoredo</i> | 300 | 560,3 | 212,8 |
| Giappone Japan | Tokyo - Aomori Tokyo - Hakodate <i>Tokyo - Aomori</i> <i>Tokyo - Hakodate</i> | 320 | 675 824 | 203,5 185,7 |
| Corea del Nord North Korea | Seoul Main - Busan <i>Seoul Main - Busan</i> | 305 | 418 | 185,8 |
| Russia Russia | San Pietroburgo - Mosca <i>St Petersburg - Moskow</i> | 250 | 650 | 185,7 |

Tabella 5 – Table 5

Dati per i primi 5 paesi in base alla velocità di marcia media tra due stazioni successive - 2019 [15].
Data for the top 5 countries based on the average running speed between two successive stations - 2019 [15].

| Paese Country | Collegamento <i>Link</i> | Lunghezza (km) <i>Length</i> (km) | V_{max} (km/h) V_{max} (km/h) | V_{ar} (km/h) V_{ar} (km/h) |
|-------------------|---|--|--|--|
| Cina China | Beijing Nan - Nanchino Nan <i>Beijing Nan - Nanjing Nan</i> | 1.021,9 | 350 | 317,7 |
| Francia France | Champagne - Ardenne TGV - Lorraine TGV <i>Champagne - Ardenne TGV - Lorraine TGV</i> | 167,6 | 320 | 271,8 |
| Giappone Japan | Omija - Sendai <i>Omija - Sendai</i> | 294,1 | 320 | 267,4 |
| Spain Spain | Saragozza Delicias - Guadalajara-Yebes <i>Zaragoza Delicias - Guadalajara-Yebes</i> | 242,3 | 310 | 259,6 |
| Taiwan Taiwan | Zuoying - Taichung <i>Zuoying - Taichung</i> | 179,5 | 300 | 256,4 |

OSSERVATORIO

Tabella 6 – *Table 6*

Treni ad altissima velocità messi in circolazione dopo il 2014.
Very high-speed trains that were put in circulation after 2014.

| Nome e tipo di treno <i>Name and type of train</i> | Operatore / Paese <i>Operator / country</i> | Vmax (Vrs) (km/h) <i>Vmax (Vrs) (km/h)</i> | Potenza nominale totale del motore (kW) <i>Total nominal motor's power (kW)</i> | Capacità (passeggeri) <i>Transport capacity (passengers)</i> | Lunghezza del treno (m) <i>Train length (m)</i> | Primo esercizio <i>First operation</i> |
|---|---|--|--|---|--|---|
| TGV Euroduplex | SNCF / Francia <i>SNCF / France</i> | 320 (320) | 9.280 | 556 | 200,0 | 2017 |
| ETR1000 Zefiro | TRENITALIA / Italia <i>TRENITALIA / Italy</i> | 300 (400) | 9.800 | 457 | 202,0 | 2017 |
| KTX-Honam | Korail / Corea del Sud <i>Korail / S.Korea</i> | 300 (330) | 8.800 | 410 | 201 | 2015 |
| SRT-Suseo | Korail / Corea del Sud <i>Korail / S.Korea</i> | 300 (330) | 8.800 | 410 | 201 | 2015 |
| KTX-Wongang | Korail / Corea del Sud <i>Korail / S.Korea</i> | 305 (330) | 8.800 | 410 | 201,0 | 2017 |
| E320 | Korail / Corea del Sud <i>Korail / S.Korea</i> | 320 | - | 515 | | 2019 |
| Talgo 350 | SRO, ADIFF, RENFE / Saudi Arabia <i>SRO, ADIFF, RENFE / Saudi Arabia</i> | 300 (350) | 8.000 | 404 | 215,0 | 2018 |
| HT80000 | TCDD / Turchia <i>TCDD / Turkey</i> | 300 (320) | 8.000 | 446 | 200,7 | 2015 |
| HT80100 | TCDD / Turchia <i>TCDD / Turkey</i> | 300 | 8.000 | 483 | 200,7 | 2016 |
| S103 | RENFE / Spagna <i>RENFE / Spain</i> | 350 | 8.800 | 403 | 200,0 | 2017 |
| RGV-M | Oncf / Marocco <i>Oncf / Morocco</i> | 300 (320) | - | 533 | 200 | 2018 |
| CR400BF | CR / Cina <i>CR / China</i> | 350 (400) | 9.750 | 556 | 209,0 | 2017 |
| CR400AF | CR / Cina <i>CR / China</i> | 350 (400) | 9750 | 556 | 209,0 | 2017 |
| CR400AF-A | CR / Cina <i>CR / China</i> | 400 | 19.200 | 1.193 | 415 | 2017 |
| CR400BF-A | CR / Cina <i>CR / China</i> | 350 (400) | 20.280 | 1.193 | 415 | 2017 |
| MTR CRH380A | CR / Cina <i>CR / China</i> | 350 | 9.280 | 357 | 200,0 | 2018 |
| Serie H5 Shinkansen | JR Hokaido / Giappone <i>JR Hokaido / Japan</i> | 320 | 9.600 | 731 | 253,0 | 2016 |

BIBLIOGRAFIA - REFERENCES

- [1] EC Council Directive 96/48/EC of 23 July 1996 on the interoperability of the trans-European high-speed rail system, Official Journal L 235, 17/09/1996 P. 0006 – 0024.
- [2] PETERMAN D.R., FRITTELLI J., MALLET W., (2009), "High Speed Rail (HSR) in the United States, Congressional Research Service" (www.crs.org), 7-5700, R40973, 8 December.
- [3] Commission Regulation (EU) No 1299/2014 of 18 November 2014 on the technical specifications for interoperability relating to the 'infrastructure' subsystem of the rail system in the European Union, Official Journal of the European Union, 12/12/2014, L 356.
- [4] UIC, General definitions for high speed, International Union of Railways [online], available from: <http://www.uic.org/spip.php?article3229> (accessed on July 28th, 2014)
- [5] PYRGIDIS, C., (2016), "Railway Transportation Systems: Design, Construction and Operation", CRC Press -Taylor and Francis Group, 1st edition.
- [6] PYRGIDIS C., ANAGNOSTOPOULOS E., DIMITRIADIS P., (2017), "Defining high-speed rail: a proposal that endeavors to meet the requirements of both rail infrastructure manager and railway operator", Rail Engineering International, No 2, pp. 14-16.
- [7] PYRGIDIS C., (2018), "A Proposal to Define High-Speed Rail, 8th International Symposium on Speed-up and Sustainable Technology for Railway and Maglev Systems" (STECH2018), Barcelona, Spain, 3 – 7.
- [8] United Nations Economic Commission for Europe, Trans-European Railway High-speed Master Plan Study, s.l.: United Nations, 2017.
- [9] UIC, "The definition of High Speed Rail", https://www.uic.org/com/uic-e-news/596-high-speed/article/the-definition-of-high-speed-rail?page=thickbox_enews.
- [10] ZELKI B., (2018), "Competition is key as high speed rail keeps growing", Railway Gazette International, June, pp. 21-24.
- [11] CHIARA B., HAUSER G., ELIA A., (2008), "I treni ad assetto variabile: evoluzione, prestazioni e prospettive", Ingegneria Ferroviaria, July - August, 7-8, 2008, pp. 609-648.
- [12] PYRGIDIS C., (2009), "Tilting/Conventional trains – Comparison of the lateral forces acting on the track", Ingegneria Ferroviaria, April, No 4, pp. 361-371.
- [13] PANAGIN R., (1978), "La tecnica delle ruote indipendenti al fine di eliminare l'instabilità laterale nei veicoli ferroviari", Ingegneria Ferroviaria, Febbraio, No 2, pp. 143-150.
- [14] SAVVAS S., (2020), "Overview of railway systems of high and very high-speed-Horizon end 2019, thesis of final studies", Civil Engineering Department, Aristotle University of Thessaloniki, Greece.
- [15] HARTILL J., (2019), "China powers ahead as new entrants' clock in", Railway Gazette International, July 2019, pp. 25-29.
- [16] ZHOU L., SHEN, Z., (2011), "Progress in high-speed train technology around the world", Journal of Modern Transportation, Volume 19, pp. 1-6.