



Gli auguri del CIFI al Prof. Ing. Franco DI MAJO per il suo 100° compleanno

CIFI's best wishes to Prof. Ing. Franco DI MAJO on his 100th birthday

Il 27 febbraio 2010 il Prof. Franco DI MAJO ha festeggiato con familiari ed amici il suo centesimo compleanno. A nome dell'intero sodalizio, il Collegio esprime le più vive felicitazioni ad uno dei suoi Soci più prestigiosi, consulente scientifico di Ingegneria Ferroviaria ed autore di fondamentali articoli tecnici.

Iscritto al CIFI fin dal 1933, anno in cui fu assunto nelle FS ed assegnato al Servizio Materiale e Trazione, dopo essersi laureato giovanissimo con lode al Politecnico di Torino, ha poi lavorato fino al 1974 presso la Fiat Sezione Materiale Ferroviario, dove ha raggiunto il prestigioso incarico di Direttore della Divisione Ferroviaria e promosso diverse realizzazioni, fra queste lo sviluppo della tecnica dell'assetto variabile che ha portato alla produzione del Pendolino.

Libero Docente dal 1951, ha insegnato Costruzione di Materiale Ferroviario dal 1961 al 1981 nell'Università di Pisa ed al Politecnico di Torino, dedicandosi successivamente alla ricerca sui sistemi non convenzionali, attività che lo impegna ancora oggi.

Come omaggio per questa ricorrenza, nelle pagine seguenti è pubblicato un intervento inedito del prof. DI MAJO sul tema dell'alta velocità.

Il testo è un estratto, con qualche aggiornamento, della relazione distribuita in occasione di una lezione da lui tenuta nel 1993 nell'Aula Convegni del CNR a Roma, su invito del Consiglio Nazionale delle Ricerche.

La lezione ebbe luogo in una sala gremita, con un pubblico composto in buona parte da studenti della facoltà di Ingegneria, attratti dalla rara opportunità che l'evento rappresentava. L'intervento durò ben oltre le due ore inizialmente programmate ed il pubblico presente, interessato sino alla fine, diede vita dopo l'intervento ad un lungo ed interessante dibattito.

La lezione fu arricchita da aneddoti, ricordi e testimonianze di avvenimenti ai quali il relatore aveva preso parte o assistito direttamente, riuscendo in questo modo a trasmettere la passione per la materia ferroviaria, con l'entusiasmo che lo ha sempre accompagnato ed ancora oggi è una sua specifica prerogativa.

On 27th February 2010 Prof. Franco DI MAJO celebrated his 100th birthday with friends and family. On behalf of the entire association, the Board expresses its warmest congratulations to one of its most prestigious members, scientific advisor in Ingegneria Ferroviaria and author of important technical papers.

Member of CIFI since 1933, when he was employed in the FS and assigned to the Rolling Stock and Traction Services, after graduating with first class honours at the Polytechnic of Turin, he worked until 1974 at Fiat's Railway Equipment Department, where he reached the prestigious position of Railway Division Director promoting various projects: amongst these the development of tilting train technology which lead to the production of the well known "Pendolino".

Academic lecturer from 1951, he taught Railway Equipment Construction from 1961 to 1981 at the University of Pisa and Polytechnic of Turin, later on concentrating on research on non-conventional systems, an activity that he carries out still today.

As a tribute to this anniversary, in the following pages we present an unpublished speech by Prof. DI MAJO on High Speed railways.

The article is a partially adapted excerpt of the report distributed during a 1993 lecture held in the Congress Hall of the CNR in Rome, upon invitation of the National Research Council.

The lecture was held in a fully packed hall, with audience mainly composed of students from the Faculty of Engineering, attracted by the rare opportunity that the event provided. The lecture lasted well over the two hours initially planned and the audience, who showed interest to the end, took part in a long and lively debate after the lecture.

The lecture was complemented with anecdotes, recollections and narrations of events in which the lecturer had taken part or had witnessed directly, thus transmitting his passion for railways, with the enthusiasm that had always accompanied him and is still today a specific prerogative.

assifer

ASSOCIAZIONE INDUSTRIE FERROVIARIE

contatti oggi: partners

Confindustria ANIE ha unito l'industria ferroviaria italiana nasce l'associazione unica nazionale dell'industria ferroviaria

L'adesione delle aziende Ucrifer a Confindustria ANIE, con integrazione nell'Associazione di settore ASSIFER, ha portato alla costituzione dell'unica rappresentanza nazionale dell'Industria ferroviaria.

L'associazione riunisce le aziende nazionali operanti nei settori:

> Materiale Rotabile

costruzione e riparazione di veicoli completi, sottosistemi e componenti di specializzazione meccanica ed elettrica

> Elettrificazione

sistemi ed impianti di alimentazione

> Segnalamento e Radiotelecomunicazioni

sistemi, impianti e componenti per il segnalamento e l'automazione; impianti telefonici e radiocomunicazioni

Le Aziende associate sono le principali fornitrici di FS SpA - RFI, TRENITALIA - e delle Società ferroviarie e di trasporto pubblico nazionale ed estero.

L'Associazione rappresenta circa 100 imprese, con oltre 13.000 addetti e un fatturato totale 2008 di oltre 3.000 milioni di euro, il 20% del quale esportato.

La nuova ASSIFER è Associazione di settore di Confindustria ANIE - Federazione Nazionale Imprese Elettrotecniche ed Elettroniche. L'Associazione è inoltre membro di UNIFE, l'Unione dell'Industria Ferroviaria Europea.



Viale Lancetti, 43
20158 Milano
Tel. +39 02 32.64.303
+39 055 27.07.315
Fax +39 02 3264.395

assifer@anie.it
assifer-firenze@anie.it
www.anie.it
www.assifer.org



FEDERAZIONE NAZIONALE
IMPRESSE ELETTROTECNICHE
ED ELETTRONICHE



CONFINDUSTRIA

DAL 1945 IL VALORE DELL'INNOVAZIONE



Le problematiche delle altissime velocità ferroviarie Il ruolo della ricerca scientifica^(*)

Issues concerning High Speed Railways The role of scientific research^(*)

Prof. Ing. Franco Di MAJO^(*)

1. L'evoluzione nel tempo delle velocità ferroviarie

Nella storia dei trasporti ferroviari la velocità dei treni viaggiatori, universalmente considerata come l'indice più significativo di qualità ed efficienza, ha sempre manifestato una costante tendenza all'aumento.

Nei diagrammi delle figg. da 1 a 4, solo qualitativamente validi, si è cercato di rappresentare quale è stata nel tempo l'evoluzione, sia della domanda di velocità che a questa tendenza ha dato origine, sia dell'insieme delle limitazioni che volta per volta ne hanno contrastato il soddisfacimento.

1.1. Le motivazioni

Nei primi decenni, quando la ferrovia era l'unico sistema di trasporto meccanizzato, l'incentivo ad aumentare la velocità dei treni viaggiatori era soprattutto di natura economica, motivato dall'aumento di produttività conseguente alla migliore utilizzazione del materiale rotabile e del personale viaggiante, mentre soltanto più tardi si cominciò ad apprezzare anche l'incremento di valore del trasporto, in relazione all'economia di tempo conseguente alla minor durata del viaggio.

Ma fu soltanto dopo la seconda guerra mondiale, nei primi anni '50 del novecento che, col prepotente affermarsi dell'aviazione civile, le grandi amministrazioni ferroviarie si resero conto che per difendere il traffico viaggiatori, almeno sulle medie distanze (nella fascia da 300 a 700 km) era indispensabile un sostanziale incremento della velocità dei treni in confronto a quanto fino allora praticato. "Doppio dell'auto, metà dell'aereo" era l'ingenuo slogan che voleva definire le velocità alle quali i treni avrebbero dovuto

1. Railway speed evolution over time

In the history of railway transport, train speeds, universally considered as the most significant index of quality and efficiency, have always shown a tendency to increase.

Diagrams in figures 1 to 4, valid solely from a qualitative point of view, attempt to illustrate the evolution over time of both the demand for high speed, which is at the origin of this tendency, and the ensemble of constraints that time by time represented an obstacle to its achievement.

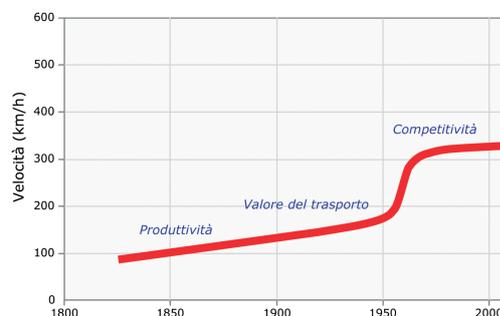


Fig. 1 - Domanda di velocità. Demand for speed.

1.1. Reasons for high speed

In the early decades, when railways were the only mechanised means of transport, the prime incentive towards reaching higher train speeds was mainly of an economical nature, motivated by an increase in productivity consequent to improved utilisation of rolling stock and

^(*) Aggiornamenti a cura dell'Autore e degli Ingg. Maurizio CAVAGNARO, Vincenzo DELLE SITE e Alessandro ELIA.

^(*) Updates provided by the author and engineers Maurizio CAVAGNARO, Vincenzo DELLE SITE and Alessandro ELIA.

operare per salvarsi dall'essere spinti fuori dal mercato. La domanda di velocità nel tempo può indicativamente essere rappresentata dal diagramma di fig. 1.

1.2. I limiti

Premesso che il tracciato delle linee deve adeguarsi alle massime velocità in modo che, nel percorrere le curve ed i raccordi, le accelerazioni laterali non compensate (a_{nc}) e le loro derivate restino al di sotto di certi limiti dettati dal comfort e dalla sicurezza (per esempio; $a_{nc} \leq 1,0 \text{ ms}^{-2}$, $\frac{da_{nc}}{dt} \leq 0,4 \text{ ms}^{-3}$, il progredire delle velocità è stato

condizionato essenzialmente dai seguenti limiti:

- potenza specifica dei mezzi di trazione;
- efficacia della frenatura;
- limiti della instabilità dinamica;
- interazioni ruota-rotaia e loro influenza sulla qualità della via;
- velocità dell'onda di perturbazione sul binario e sulla catenaria.

1.2.1. Il limite della potenza specifica (fig. 2), per quasi un secolo legato esclusivamente agli sviluppi della trazione a vapore, sale progressivamente con l'introduzione della caldaia tubolare, con il surriscaldamento del vapore, con la doppia espansione, e da ultimo con la razionalizzazione del sistema di distribuzione (Chapelon).

Dell'improvviso incremento che si registra verso la metà dell'ottocento è protagonista la G.W.R. (Great Western Railway) che, grazie ad una sagoma di ingombro legata allo scartamento di 213,4 cm (7 piedi - in assoluto il più grande mai realizzato) dispone di locomotive con caldaie e cilindri generosamente dimensionati ed in grado di fornire prestazioni che erano in anticipo di almeno 30 anni rispetto a quanto possibile sulle altre ferrovie.

La trazione Diesel che, nettamente superiore in fatto di rendimento e disponibilità, si è, a cominciare dagli anni '30 del novecento, in sempre più larga scala sostituita alla trazione a vapore, non ha però portato a nessun progresso significativo per quanto riguarda l'indice della potenza riferito all'unità di massa del treno.

Del tutto diversa la situazione della trazione Turbogas che, pur potendo contare soltanto su di un numero relativamente modesto di impieghi, ha realizzato in alcuni casi i più alti indici di potenza specifica mai raggiunti nelle trazioni autonome di qualsiasi tipo.

Le potenze della trazione elettrica, inizialmente più modeste, hanno presto superato la trazione a vapore raggiungendo poi, a partire dagli anni '60, livelli elevatissimi grazie al travolgente sviluppo della elettronica di potenza (diodi controllati, chopper, inverter, GTO, IGBT) che ha reso possibile, fra l'altro, l'impiego diretto nella trazione

travel personnel, whilst it was only at a later stage that increased transport value also started to be appreciated, in relation to time saving consequent to reduced travel times.

After the second world war, in the early 1950's, with the rapid growth of civil aviation, railway administrations realised that a significant increase in train speed was required to maintain rail transport competitive, at least over medium distances (in the 300 to 700 km range) compared to speeds in use up to then. "Twice the speed of cars, half the speed of aeroplanes" was the naive slogan that attempted to define the required operating train speeds in order to avoid being forced out of the market. Speed demand over time can be roughly summarised by the diagram in fig.1.

1.2. Limitations to high speed

Given that line lay-outs should conform to maximum speeds in such a way that, as curves and junctions are taken, non compensated side accelerations (a_{nc}) and their derivatives remain below certain limits imposed by comfort and safety (for example; $a_{nc} \leq 1,0 \text{ ms}^{-2}$, $\frac{da_{nc}}{dt} \leq 0,4 \text{ ms}^{-3}$), speed increase has been conditioned essentially by the following limits:

- traction vehicle specific power;
- braking effectiveness;
- dynamic instability limits;
- wheel/rail interaction and related influence on line quality;
- disturbance wave speed on the track and catenary.

1.2.1. Limits to specific power (fig. 2), for almost a century exclusively connected to the developments in steam traction, rose progressively with the introduction of the tubular boiler, with steam heating, double expansion and finally with the rationalisation of the distribution system (Chapelon).

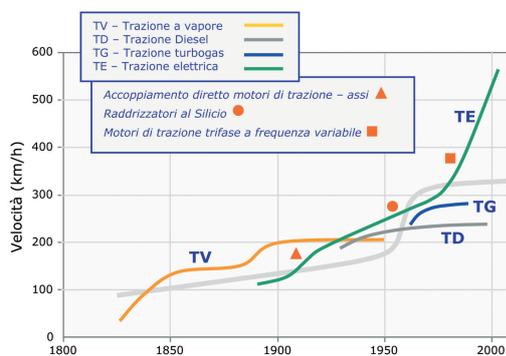


Fig. 2 - Limite della potenza. Limits of power.

degli efficientissimi motori trifase asincroni e sincroni a frequenza variabile.

Si vuole ricordare il motore lineare sincrono del tipo a statore lungo che, avendo a bordo il solo induttore e lasciando invece a terra, distribuita su tutta la via, la parte più pesante del motore, non ha praticamente limiti al raggiungimento di potenze specifiche elevatissime.

1.2.2. Il limite dell'efficienza della frenatura (fig. 3) ha nel tempo un andamento molto più uniforme rispetto a quello delle potenze specifiche di trazione.

L'incremento è legato al progressivo aumento delle distanze di arresto (passato da poche centinaia di metri dei vecchi treni a 3-4 km ed oltre dei velocissimi treni moderni) ed al miglioramento del segnalamento, ma soprattutto alle importanti innovazioni progressivamente apportate all'apparato frenante: freno continuo, freno elettropneumatico, frenatura dinamica (reostatica o a recupero), freni a disco, dispositivo antiskid, freno a pattini elettromagnetici, freno lineare a correnti di Foucault, e più recentemente i "puits de chaleur" che arrivano a dissipare 90 MJ su un solo asse.

1.2.3. Ma il limite che più ha frenato la spinta verso l'alta velocità è quello legato a fenomeni di instabilità dinamica (fig. 4).

Per un lungo periodo, praticamente fino agli anni '50 del novecento, nessuno era in grado di spiegare l'insorgere di una velocità critica, fortemente ed imprevedibilmente variabile da caso a caso, al di sopra della quale la qualità di marcia dei rotabili assumeva improvvisamente un grado di irregolarità sempre più spinto, dando luogo ad un grave abbassamento del comfort e della stessa sicurezza.

Per combattere questo inconveniente, i cosiddetti moti anomali (serpeggio, rollio, beccheggio, sobbalzo, ecc.) venivano attentamente descritti e misurati, ma quanto a possibilità di controllarli l'unica strategia applicabile era quella di imitare pedissequamente le soluzioni che in pratica già avevano dato buoni risultati.

Il maggior successo empirico sulla via dell'innalzamento delle velocità critiche fu l'introduzione dei carrelli, prima per le carrozze, poi anche per i carri e per le stesse locomotive elettriche o Diesel.

Miglioramenti (sempre però in modo non prevedibile e non ripetibile) si sono progressivamente ottenuti con un più esteso impiego di molle metalliche ad elica, in sostituzione delle classiche molle a balestra, con l'applicazione di ammortizzatori idraulici verticali ed orizzontali, con il controllo della coppia d'attrito nella rotazione relativa fra cassa e carrelli. Con tutto ciò lo studio e la costruzione di un carrello per elevate velocità continuava ad essere un'avventura sul cui esito nessuno era in grado di pronunciarsi, fino al giorno attesissimo della corsa di prova, dalla quale troppe volte arrivavano poi cocenti delusioni.

Per i ferrovieri più anziani è ancora vivo il ricordo della E 326 (roddiggio 2C2), ammiraglia della prima flotta ita-

The G.W.R. (Great Western Railway) was however responsible for the sudden increase witnessed towards the mid 19th century, thanks to a design resulting from a 213,4 cm gauge (7 feet – the largest ever built) using locomotives equipped with generously large boilers and cylinders and performances at least 30 years ahead of their time compared to other railways.

Diesel traction, decisively superior in terms of performance and availability, progressively replaced steam traction starting from the 1930's, without however leading to any significant progress in terms of the power index as a factor of the train's unit of mass.

Far different was the situation with Turbogas traction which, whilst reliant solely on a relatively modest variety of applications, in some cases reached the highest specific power indexes ever seen within the field of autonomous traction of any genre.

Electric traction power, whilst initially modest, quickly overtook steam traction reaching, from the early 1960's, extremely high levels thanks to overwhelming developments in power electronics (controlled diodes, choppers, inverters, GTO's, IGBT's) which enabled the direct use in the traction of the very efficient asynchronous and synchronous three-phase variable frequency motors.

The long stator synchronous linear motor should also be recalled as it practically has no limitations towards reaching extremely high specific powers, given that it holds only the inductor on board whilst the heaviest part of the motor is left on ground distributed along the track.

1.2.2. Limits to braking efficiency (fig. 3) followed a more uniform progress over time compared to specific power traction.

The increase is related to the progressive rise in break-

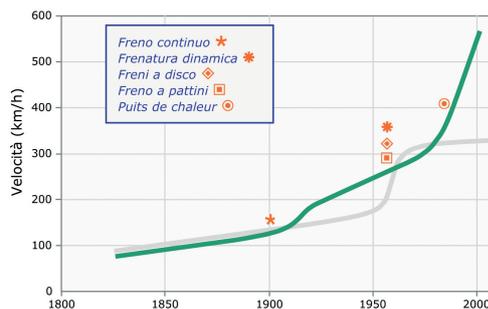


Fig. 3 - Limite della frenatura. Braking limits.

ing distances (which moved from few hundred metres in older train models to 3-4 km and above in the very fast modern trains) and to the improvements in signalling, but most of all to the important innovation progressively brought to braking systems: continuous brakes, electro-pneumatic brakes, dynamic braking (rheostatic or regen-

liana di locomotive alimentate a 3000 Volt cc, ambiziosamente destinata ai treni rapidi a 140 km/h e poi declassata a 90 km/h, dopo alcuni casi, allora inspiegabili, di svii avvenuti in rettilineo e senza che il binario presentasse alcuna apparente anomalia. Ancora più emblematico il caso di una locomotiva General Electric progettata per 160 km/h, entrata in instabilità durante il viaggio di prova e sviata in rettilineo non appena raggiunta la velocità di progetto.

E se in alcuni casi (Settebello – Elettromotrici ALE601) si sono avuti invece risultati molto soddisfacenti, spesso anche migliori delle aspettative, ciò va esclusivamente a merito della genialità di straordinari progettisti, guidati nelle loro scelte da un intuito e da una sensibilità che oggi sembrano incredibili.

Ma fu soltanto a metà degli anni '50, proprio quando più grave si era fatto il distacco fra il desiderio di velocità e la possibilità di realizzazione, che si cominciò ad affrontare il problema del comportamento dinamico dei rotabili con un approccio rigoroso, basato su procedimenti analitici razionali ed approfondimenti sperimentali scientificamente controllati.

Nata in Olanda (scuola di Delft), ma ben presto seguita da altri ricercatori in Inghilterra, Francia, Italia, Germania, Stati Uniti, Russia, Giappone, una nuova branca della ricerca scientifica, più o meno appropriatamente definita come "Dinamica Ferroviaria", ha messo a punto procedimenti matematici che consentono di valutare e descrivere analiticamente tutta la successione dei movimenti di un rotabile e dei suoi principali componenti (essenzialmente: sale montate, telai dei carrelli, cassa). Non solo la velocità critica può, fino dalla fase di progetto, essere prevista con ottima approssimazione (entro un intervallo di una decina di km/h), ma anche i cosiddetti "moti anormali" possono essere esattamente calcolati e previsti, e si riproducono molto fedelmente, quando ad un veicolo viene fatto ripetere, in tempi diversi, lo stesso percorso alla stessa velocità.

L'acquisizione più importante della Dinamica Ferroviaria consiste nella spiegazione e nella completa conoscenza dei fenomeni che hanno luogo nella zona di contatto fra ruota e rotaia, dove, entro un'area di pochi centimetri quadrati, si producono fra le superfici a contatto piccoli movimenti relativi (denominati microscorrimenti o pseudoslittamenti), dalla cui velocità e direzione dipendono l'intensità e l'orientamento delle forze di interazione fra ruota e rotaia.

Imponendo le condizioni:

- dell'equilibrio di queste forze di contatto con tutte le altre forze presenti nel sistema (forze d'inerzia proporzionali alle accelerazioni; forze di smorzamento proporzionali alle velocità; forze elastiche proporzionali agli spostamenti relativi);
- della congruità dei movimenti delle ruote con quelli di tutte le altre parti;

erative braking), disk brakes, antiskid devices, electromagnetic rail brakes, Foucault current linear brakes, and more recently the "puits de chaleur" which can dissipate as much as 90 MJ over a single axle.

1.2.3. However the greatest limit towards high speed is related to the existence of dynamic instability phenomena (fig. 4).

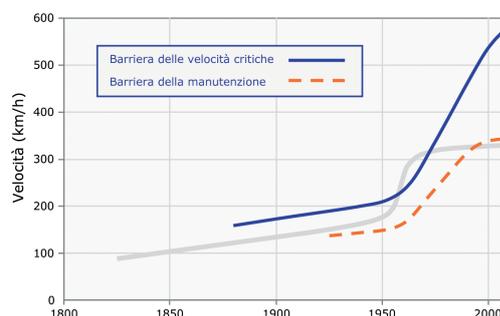


Fig. 4 - Limite della instabilità dinamica. Limits of dynamic instability.

For a long period of time, effectively until the 1950's, nobody could explain the development of a critical speed, strongly and unpredictably variable from case to case, above which travel quality suddenly became markedly more irregular, giving rise to a serious degradation in travel comfort and safety.

In order to contrast this inconvenience, the so called anomalous movements (winding, rolling, pitching, jolting, etc.) were carefully described and measured, however in terms of controlling them the only possible strategy was to slavishly use similar solutions to those which in practice had provided the best results already.

The greatest empirical success in terms of increasing critical speeds was the introduction of bogies, firstly in wagons, and later also in rail cars and in electric or Diesel locomotives.

Improvements (always however in an unpredictable and unrepeatable manner) were progressively obtained with a more extensive use of metal propeller springs, in replacement of the classic leaf springs, with the application of vertical and horizontal hydraulic dampers, with friction couple control in relation to the rotation between body and bogie. Despite this, the design and construction of a bogie for high speeds continued to be an adventure the outcome of which was anybody's bet, up to the day of the much awaited test drive, which would too often prove to be disastrously disappointing.

The more senior railway professionals recall the E326 (axle arrangement 2C2), considered the admiral of the first Italian fleet of locomotives running on 3000 Volt d.c., ambitiously destined for 140 km/h fast trains and later down

vengono impostati i sistemi di equazioni che definiscono come si muovono nel tempo i vari componenti e quali forze sono applicate a ciascuno di essi. Quanto più dettagliata è la definizione dei diversi componenti e quanto più completo è il numero di gradi di libertà che si considerano, tanto più i risultati dei calcoli risultano prossimi alla realtà, avendosi ovviamente come contropartita maggior laboriosità e costo del calcolo.

Lo sviluppo teorico fu rapido e straordinariamente regolare e già ai primi anni '60 erano stati resi noti studi, che ancor oggi stupiscono per il grado di approfondimento raggiunto, pur con strumenti di calcolo (calcolatori analogici) enormemente meno potenti di quelli di cui oggi si dispone. Il passaggio alle realizzazioni concrete richiese invece ancora qualche altro anno di lavoro, tanto che soltanto all'inizio del successivo decennio si era praticamente raggiunto il livello di 300-320 km/h, capace di soddisfare la domanda di velocità presente in quel periodo.

1.2.4. I valori delle velocità critiche, come indicati al punto precedente, sono valutati per rotabili nuovi (o appena revisionati) e per vie in perfette condizioni di manutenzione e possono rappresentare il limite di velocità per casi singoli quali ad esempio le corse di prova effettuate per la preparazione di un record.

Ma quando si tratta di definire quali limitazioni sono operanti a questo titolo in un completo sistema di linee e treni ad alta velocità, ci si deve indirizzare ad un altro ordine di considerazioni. In un concatenamento di cause ed effetti fra le irregolarità geometriche anche lievi del binario, e le conseguenti più vivaci interazioni fra ruota e rotaia, con il successivo formarsi di maggiori irregolarità da queste stesse interazioni provocate, la velocità di esercizio gioca un ruolo fondamentale.

Per velocità troppo alte il fenomeno è divergente, le interazioni si fanno via via più intense, la qualità del binario decade tanto più rapidamente quanto più il traffico è intenso, tanto che a breve scadenza si rendono necessari interventi straordinari per riportare la geometria della linea alle condizioni iniziali.

Il ripetersi di queste operazioni di manutenzione, di solito irregolari e non programmabili, con il loro accompagnamento di rallentamenti, interruzioni e servizi a semplice binario, agisce in diametrale antitesi agli obiettivi di qualsiasi sistema di alta velocità, di cui compromette le qualità più apprezzate, che sono appunto la massima regolarità e continuità del servizio.

Per stroncare alle radici questo genere di inconvenienti, è necessario individuare, per ogni tipo di rotabile che opera nel sistema, quale è il limite di velocità al di sotto del quale le interazioni ruota-rotaia danno luogo a sollecitazioni ancora sufficientemente contenute, perché non sia compromessa la stabilità del binario e non ne siano alterate, neppure in piccola misura, le condizioni geometriche.

Nasce da ciò un nuovo limite, senz'altro più severo dei precedenti, che potrebbe essere definito come la "barriera

classata a 90 km/h, after some unexplainable cases of derailments on a straightaway and without the track showing any apparent signs of abnormality. Even more puzzling the case of a General Electric locomotive designed for 160 km/h, become unstable during the test drive and derailed on a straightaway upon reaching the design speed.

On the other hand, if in some cases highly satisfactory results were obtained (Settebello - Electro motor cars ALE601), often much better than expected, this is exclusively down to the genius of the extraordinary designers, guided in their work by a level of intuition and sensitivity which today appear inconceivable.

However, it wasn't until the mid 1950's, when the conflict between the desire for high speed and the possibility of implementing it was at its peak, that the problem of dynamic behaviour of rolling stock was rigorously studied, based on rational analytical procedures and scientifically controlled experimental analyses.

Originating in Holland (school of Delft), but soon followed by other researchers in England, France, Italy, Germany, United States, Russia, Japan, a new branch of scientific research, more or less appropriately defined as "Railway Dynamics", developed mathematical procedures capable of assessing and analytically describing the complete succession of movements of rolling stock and its main components (essentially: wheel sets, bogie chassis, body). Up to the design phase, critical speed can be predicted fairly accurately (within an interval of approximately 10 km/h) as well as the so called "anomalous movements" which can also be accurately calculated, predicted and reproduced when a vehicle is made to travel along the same route at different times and at the same speed.

The most important contribution of Railway Dynamics consists in the explanation and complete knowledge of those phenomena which occur in the contact area between wheel and rail, where, within an area of only few square centimetres, small relative movements are produced between the contact surfaces (referred to as micro-sliding or pseudo-slipping), from whose speed and direction, intensity and direction of interaction forces between wheel and rail depend.

By setting the following conditions:

- of the balance of these contact forces with all the other forces present in the system (inertia forces proportional to accelerations; dampening forces proportional to speed; elastic forces proportional to related displacements);
- of the congruity of wheel movements with those of all other parts;

the system of equations can be set defining how all the various components move in time and which forces are applied to each of them. The more detailed the definition of the various components and the more complete the numbers of degree of freedom considered, the more realistic the calculation results, but having the negative effect

della manutenzione”, e che indica i massimi livelli di velocità al di sotto dei quali la circolazione dei migliori treni può continuare per periodi molto lunghi, senza che abbiano a prodursi apprezzabili deterioramenti della qualità del binario.

Si tratta evidentemente di un indice scarsamente oggettivo, essendo esso influenzabile dalla cadenza dei programmi di manutenzione della via, dalle caratteristiche dinamiche dei treni impegnati e dall'assortimento dei rotabili dei quali è prevista la circolazione.

1.2.5. Gli ultimi due limiti riguardano la velocità di propagazione delle onde di perturbazione sia sul binario che sulle linee di contatto. Entrambe queste perturbazioni avanzano nello stesso senso del treno e devono avere rispetto ad esso un discreto differenziale di velocità, per evitare fenomeni di amplificazione dei disturbi che possono compromettere la qualità di marcia o la regolarità della captazione di energia.

La velocità di propagazione sul binario, che per lo Shinkansen nel 1966 Tadashi Matsudaira (responsabile della nuova linea del Tokaido) aveva stimato in 420 km/h, è salito per le modernissime linee Francesi LGV (Lignes à Grande Vitesse) ad oltre 800 km/h e non dà più luogo pertanto ad alcun problema.

Situazione diversa per le catenarie, dove la velocità di propagazione non supera, in condizioni normali, i 400 km/h e, soltanto aumentando la tensione meccanica sui conduttori fino a sfiorare il carico di snervamento del materiale, può salire di poco sopra al limite di 600 km/h.

1.3. La breve avventura dei sistemi non convenzionali per alta velocità

Nel periodo, esteso su un arco di quasi venti anni, durante il quale il distacco fra la domanda di velocità e la possibilità di realizzazione superava i 100 km/h, mentre le nuove conoscenze della Dinamica Ferroviaria non erano ancora uscite dai confini dei Centri di Ricerca che le avevano rivelate, erano appena una esigua minoranza quanti continuavano ad avere fiducia che la ferrovia sarebbe riuscita un giorno a riconquistare la competitività perduta, mentre prendeva sempre più quota la convinzione che, senza un radicale cambiamento di rotta, non sarebbe stato possibile evitare un declino irreversibile.

Fu in questo clima che vennero alla luce i sistemi non convenzionali che, basati su sostentamento e guida senza contatto fra veicoli e via, più agevolmente potevano controllare i fenomeni di instabilità dinamica ed erano in grado di raggiungere le massime velocità, che i sempre più elevati livelli di potenza rendevano ormai possibili.

Sul piano tecnico questi sistemi “contactless” hanno raggiunto gli obiettivi, ma, a fronte di una ferrovia che intanto, superata inaspettatamente la barriera della instabilità dinamica, può anch'essa raggiungere in piena sicurezza

of a greater calculus complexity and higher cost.

Theory development took place rapidly and extraordinarily at a constant pace with studies being published as early as the beginning of the 1960's, studies which even today are surprising for the level of analysis reached using means of calculus (analogical calculators) far less powerful than those available today. A few more years were necessary before actual construction took place, to the extent that it was not until the start of the following decade that the speed of 300÷320 km/h was reached, satisfying the demand of speed of the time.

1.2.4. Values of critical speeds, as outlined in the previous paragraph, are assessed for new rolling stock (or recently revised) and for routes in perfect maintenance conditions and can represent the speed limit for single cases such as for example test drives conducted for preparation towards a record.

However, when it is necessary to define which limitations are valid within a complete system of High Speed trains and lines, the matter should be viewed from a different perspective. Within a chain of causes and effects between the even minor irregularities of the track and the consequent more accentuated interactions between wheel and rail, with a subsequent formation of greater irregularities arising from the same induced interactions, operating speed plays a fundamental role.

For excessively high speeds the phenomenon is divergent, the interactions become increasingly more intense, the quality of the track drops at a faster pace the more the traffic is intense, to the extent that within a short time extraordinary maintenance is necessary in order to bring the line's geometry back to its original condition.

Frequent maintenance, usually planned irregularly and not schedulable, with its slowing down effects, interruptions and single track services, acts in the opposite direction to the objectives of any high speed system, compromising its most appreciated characteristics, such as, precisely, great regularity and continuity of service.

In order to eliminate this type of problem at its roots, it is necessary, for each type of rolling stock operating within the system, to identify the speed limit below which the wheel/rail interactions generate acceptably contained stress, in order not to compromise the track's stability and not to alter, even minimally its geometrical conditions.

A new limit therefore arises, certainly stricter than previous ones, which can be defined as a “maintenance barrier” below which circulation of the best trains may continue for very long periods of time, without inducing substantial deterioration in the track's quality.

It is therefore evidently a poorly objective index as it may be influenced by the timing of the line's maintenance programs, by the dynamic characteristics of the trains in use and by the assortment of rolling stock in circulation.

1.2.5. The final two limits relate to disturbance wave

za ed affidabilità le velocità desiderate, essi risultano soccombenti sul piano economico a causa dei maggiori costi che le nuove soluzioni inevitabilmente comportano.

In realtà, dopo più di trent'anni di sviluppo e l'impiego di risorse stimabili in alcuni miliardi di Euro, sono presenti dei grandiosi impianti di prova, ma l'unica applicazione commerciale è rappresentata finora dal breve collegamento di 31 km fra la città di Shanghai e l'aeroporto di Pudong, realizzata nel 2002 con il sistema tedesco Transrapid.

È probabile che non mancheranno altre applicazioni nei prossimi anni, ma è facile prevedere che, anche in un lontano futuro, le realizzazioni di sistemi senza contatto ad altissima velocità avranno sul piano pratico un ruolo relativamente modesto.

Prospettive molto più incoraggianti riguardano invece l'utilizzo di sistemi senza contatto nei trasporti urbani. I nuovi sistemi, opportunamente studiati per questa specifica applicazione, possono infatti risultare competitivi non più per la velocità, ma per altri vantaggi, fra i quali prevale la possibilità di ridurre i costi di manutenzione.

1.4. Le tappe delle alte velocità

In un'indagine storica sullo sviluppo delle velocità dei treni, dagli albori fino ai giorni nostri, occorre far distinzione fra le velocità massime assolute raggiunte, una volta tanto, in episodi singolari ed in condizioni eccezionali di composizione e di sovraccarico, e le velocità massime regolarmente consentite a sistemi omogenei di treni viaggiatori operanti in un determinato complesso di linee ferroviarie.

Le prime, che si potrebbero definire le velocità dei "record", sono state conseguite in molti casi senza rispettare tutti i limiti di cui si è parlato al capitolo precedente, soprattutto per quanto si riferisce agli spazi di frenatura ed al livello delle interazioni ruota/rotaia e delle conseguenti alterazioni della geometria del binario. L'effettuazione di corse a velocità prossima a quelle dei record è infatti ripetibile soltanto per un numero di prove molto limitato.

L'altra categoria di velocità, che può definirsi "velocità di linea" può essere raggiunta e mantenuta sempre in condizioni di buon comfort, ridotte sollecitazioni alla via, frenatura assicurata entro i limiti regolamentari, ecc... La velocità "d'orario" è di solito leggermente inferiore, proprio per lasciare un certo margine di recupero, ma in particolari circostanze nulla vieta che la velocità di linea venga raggiunta anche per l'intero percorso. Normalmente all'inizio di un nuovo servizio si tengono maggiori margini che vengono poi ridotti, con miglioramento dei tempi di percorrenza, avvicinando sempre di più la velocità di orario alla velocità della linea.

I casi più significativi per l'una e per l'altra classe di velocità sono indicati in fig. 5, riportando per ogni record: il mezzo di trazione impiegato, la data e la velocità rag-

giungimento. Propagation speeds both on the track as well as on the contact lines. Both these disturbances travel in the train's same direction and should maintain a reasonable speed differential in relation to it in order to avoid disturbance amplifying phenomena which may compromise quality of travel or the regularity of energy collection.

Propagation speed on the track, which Tadashi Matsudaira (Manager for the new Tokaido line) had estimated at 420 km/h for the Shinkansen in 1966, has risen for the highly modern French LGV lines (Lignes à Grande Vitesse) to above 800 km/h without hence giving rise to any kind of problem.

Different is the situation relative to the catenaries, where, under normal conditions, the propagation speed does not exceed 400 km/h but may rise slightly above the limit of 600 km/h only when mechanical tension on the conductors is increased up to the point where the material's yield point is reached.

1.3. The brief adventure of non-conventional systems in high speed

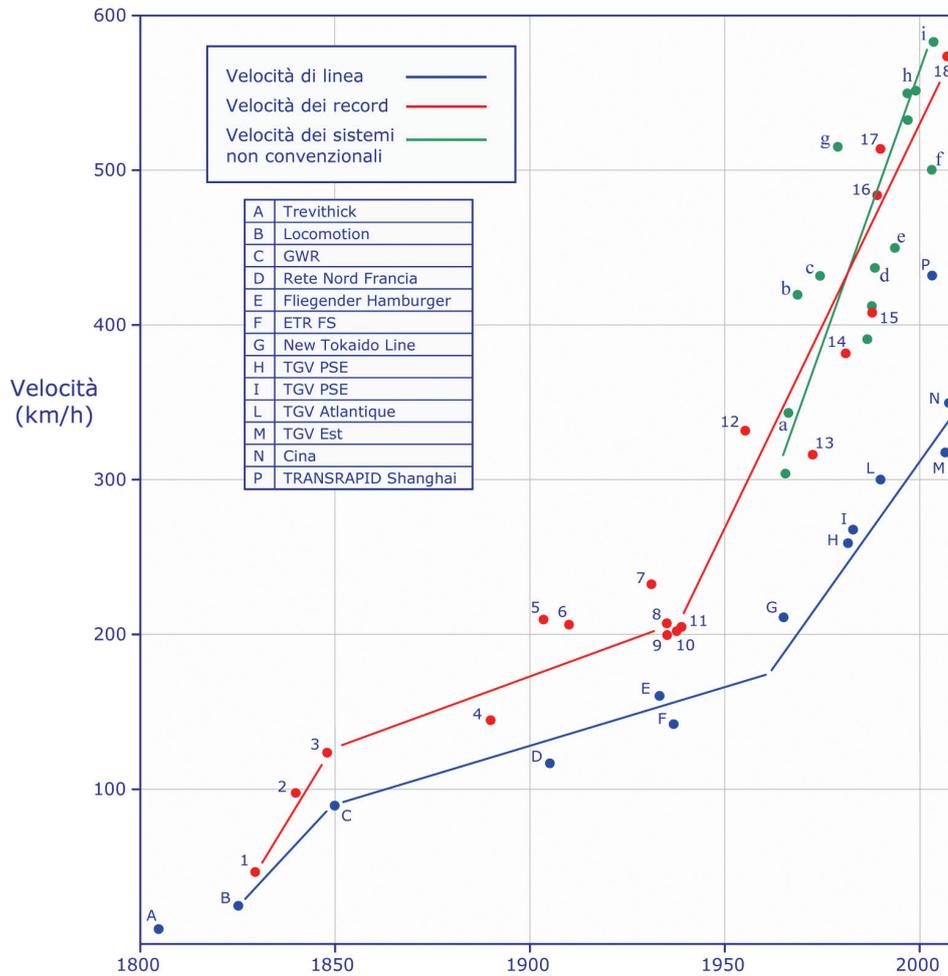
Over a period of almost 20 years, during which the difference between the demand for speed and the ability to implement it was in excess of 100 km/h, at a time when new discoveries in Railway Dynamics had still not succeeded to excel beyond the confines of the Research Centres which had revealed them, only a small minority of people continued to have faith in the fact that railways would one day win back lost competitiveness, whilst it was thought that an irreversible decline was inevitable unless a radical change.

It was within this context that non conventional systems came to light. Based on contactless support and drive between vehicle and line, they could more easily control phenomena of dynamic instability and were capable of reaching maximum speeds that the increasingly greater levels of power made possible.

On a technical level, these "contactless" systems reached their objectives. However, in a context where conventional railway can also reach desired speeds in conditions of safety and reliability they appear to be unsuitable from a cost perspective due to the greater costs that the new solutions inevitably imply.

In reality, after more than thirty years of development and investments estimated in several billions of Euro, whilst great test installations are in place, the only commercial application to date is the short connection of 31 km between the city of Shanghai and Pudong Airport, constructed in 2002 using the German Transrapid system.

It is likely that in the coming years other applications will be found, but it is easy to predict that, even in a distant future, development of very high speed contactless systems will play a marginal role.



1	Rocket	1829	47 km/h
2	GWR Firefly	17.03.1840	98 "
3	GWR Great Western	11.05.1848	125 "
4	Loc. Crampton	20.06.1890	144 "
5	Automotrice AEG	28.10.1903	210.2 "
6	Atlantic Pennsylvania R.	12.06.1905	205 "
7	Schienen Zeppelin	21.06.1931	230.2 "
8	Fliegender Hamburger	17.02.1936	205 "
9	Loc. 05 002 DRG	11.05.1936	200.4 "
10	Loc. Mallard LNER	3.07.1938	202.8 "
11	ETR 200 FS	20.07.1939	203 "
12	BB9004 SNCF	29.03.1955	331 "
13	TGV 001 SNCF	8.12.1972	319 "
14	TGV 16 SNCF	26.02.1981	380 "

15	ICE DB	1.05.1988	406.9 "
16	TGV A 325 SNCF	5.12.1989	482.4 "
17	TGV A 325 SNCF	18.05.1990	515.3 "
18	TGV POS 4402 SNCF	3.04.2007	574.8 "

a	AEROTRAIN 01	1.11.1967	345 "
b	AEROTRAIN 02	22.01.1969	422 "
c	AEROTRAIN I-80	5.03.1974	430.4 "
d	TRANSRAPID TR 07	15.12.1989	436 "
e	TRANSRAPID TR 07	17.06.1993	450 "
f	TRANSRAPID TR 08	12.11.2003	501 "
g	EDS ML-500R senza equip.	1979	517 "
h	EDS MLX 01	14.04.1999	552 "
i	EDS MLX 01	2.12.2003	581 "

Fig. 5 - Record di velocità e velocità di linea. Speed records and line speed.

giunta. Nella stessa figura sono contrassegnati in rosso i record, in blu le velocità di linea ed in verde le velocità massime raggiunte dai sistemi non convenzionali.

1.4.1. I record di velocità

Nel 1825 STEPHENSON, con il primo treno trainato dalla sua "Locomotion", diede inizio alla storia delle ferrovie. Già nel 1829, dopo soli 4 anni, la Rocket, prima locomotiva con caldaia tubolare (1●), raddoppiava la velocità del viaggio inaugurale. Nel 1848 (3●), con un progresso che ha del prodigioso, erano raggiunti i 125 km/h della locomotiva Great Western della omonima compagnia Great Western Railway, che grazie come detto al generoso dimensionamento di cilindri e caldaie, consentito dallo scartamento di 7 piedi (2134 mm), poteva permettersi prestazioni che le altre ferrovie, che avevano mantenuto lo scartamento di Stephenson (1435 mm), avrebbero raggiunto soltanto dopo alcuni decenni.

Il segno (6●): 205 km/h, toccati nel 1905 da una locomotiva tipo Atlantic della Pennsylvania Railway, testimonia l'avanzatissimo grado di sviluppo raggiunto dall'industria nordamericana di quell'epoca nella tecnica della costruzione di locomotive. Questo traguardo non fu più superato, ed anche oltre trent'anni più tardi, nel 1936 e nel 1938, le migliori locomotive tedesche (9●) ed inglesi (10●) si avvicinarono ad esso senza però raggiungerlo.

Dopo la seconda guerra mondiale, la trazione a vapore, ormai avviata al declino, ebbe ancora un sussulto di progresso per merito dell'Ing. André CHAPELON, della ex Paris Orleans, che con modifiche, ispirate alla più rigorosa razionalità (soprattutto nel tiraggio e nella distribuzione) riuscì a dare alle sue "transformées" incrementi di potenza che raggiungevano anche il 40%. Ma i perfezionamenti di CHAPELON, applicati, sia pure con innegabile successo, ad una parte soltanto del parco locomotive delle Ferrovie Francesi, non riuscirono a determinare una inversione di tendenza e tutte le risorse di studio e di progettazione furono dirottate sulla ormai emergente trazione Diesel, che entro pochi decenni doveva progressivamente sostituirsi al vapore.

Dal punto di vista della velocità l'affermarsi della trazione Diesel fu, in un certo modo, un passo indietro. Le locomotive Diesel, interessanti per l'elevato rendimento, la facilità di condotta, la disponibilità e la prontezza d'impiego, furono invece nettamente perdenti, rispetto alle locomotive a vapore, quanto a potenza specifica, e da esse non si potevano certo attendere, e non si sono infatti verificati, successi di alcun genere in fatto di velocità. Risultati migliori si sono avuti, invece, con la potenza distribuita (treni di automotrici leggere, ciascuna delle quali azionata da motori Diesel di poche centinaia di HP) che ha consentito, soprattutto per i servizi regionali, un importante ed apprezzatissimo incremento delle velocità commerciali. In fatto di record però non è stato registrato alcun episodio clamoroso, se si fa eccezione dei 205 km/h raggiunti nel 1936 da alcune automotrici del sistema Fliegender Hamburger (8●) che in quegli anni colle-

On the other hand the employment of contactless systems has more interesting and encouraging prospects within urban transport. New systems developed for this specific application, may result competitive no longer for the high speed, but for other advantages, amongst which the possibility of reducing maintenance costs prevails.

1.4. The milestones of high speed

In a historical study on the development of train speeds, from the outset to current times, it is necessary to make a distinction between maximum absolute speeds reached occasionally, in isolated episodes and in exceptional conditions of composition and overload, and the maximum speeds regularly allowed for homogeneous passenger train systems operating within a specified railway line complex.

The first, which could be defined as "record" speeds, were obtained in many cases without following all the limits described in the previous chapter, especially with reference to braking distances and to wheel/rail interaction levels and the consequent alterations in the track's geometry. Performing travel at speeds close to record speeds is in fact repeatable only for a very limited number of tests.

The other speed category, which may be defined as "line speed" can always be reached and maintained in conditions of good comfort, reduced line stress, guaranteed braking within regulation limits etc... Travel speed is usually slightly lower, precisely in order to leave a certain margin for recovery, but in particular circumstances there is no limit to reaching the line speed even for the entire route. Normally, when a new service is introduced, greater margins are kept which can later be reduced with an improvement in travel times, bringing travel speed increasingly closer to line speed.

The most significant cases for both speed classes are shown in fig. 5, and for each record the traction system used and the date on which the speed was obtained are noted. In the same illustration, records are marked in red, line speeds in blue and maximum speeds obtained by non-conventional systems in green.

1.4.1. Speed records

In 1825 STEPHENSON, with the first train driven by his "Locomotion", began railway history. After only four years in 1829, the "Rocket", the first locomotive with tubular boiler (1●), doubled the speed of the first launch. In 1848 (3●), with outstanding progress, 125 km/h were reached by the Great Western locomotive of the Great Western Railway company, which thanks to the generously sized cylinders and boilers, due to the 7 foot gauge (2134 mm), could reach performance levels which other railways, which had adopted Stephenson's gauge (1435 mm), would reach only decades later.

Point (6●): 205 km/h, obtained in 1905 by an Atlantic type locomotive of the Pennsylvania Railway, witnesses

gava Berlino ad Amburgo con una velocità media di 125 km/h.

Sulla stessa linea pochi anni prima, nel giugno 1931, erano stati raggiunti i 230 km/h da uno strano veicolo, lo Schienen Zeppelin (dirigibile su rotaie), spinto da un'elica a 4 pale a sua volta azionata da un motore a benzina di 600 cavalli (7•). Episodio che suscitò grande interesse, ma che non ebbe seguito, visto che, anche allora, un certo rispetto per l'ambiente doveva pur essere osservato.

Negli ultimi decenni dell'ottocento, la trazione elettrica, per lungo tempo utilizzata quasi esclusivamente per servizi di banlieue o per le difficili linee di valico, non ha avuto occasione di manifestare ambizioni in fatto di velocità. Queste vennero in luce soltanto sul finire degli anni '20 del secolo passato, quando cominciarono ad essere impostati in trazione elettrica anche servizi sulle medie e grandi distanze.

Poco significativo è infatti il record del 1903 (5•) a 210 km/h, ottenuto con motrici e su di una linea appositamente attrezzata, ma in condizioni del tutto lontane da quelle di una possibile applicazione commerciale; basti ricordare: la linea di contatto posta a lato della via di corsa e formata da tre conduttori sovrapposti e giacenti in un unico piano verticale, e l'alimentazione trifase con il generatore a frequenza variabile sistemato a terra e non a bordo della motrice.

Più di 30 anni dovevano ancora trascorrere prima che i 200 km/h fossero superati da un elettrotreno F.S. (11•) questa volta di serie e per il quale l'unico accorgimento speciale era stato l'innalzamento della tensione di linea da 3 a circa 3,7 kV cc.

Con il successivo record del 1955 (12•) siamo nuovamente di fronte ad una eccessiva forzatura delle condizioni di prova, con un totale distacco dalle possibilità di pratica applicazione.

La velocità di 331 km/h, raggiunta il 29 Marzo 1955 su un tratto della linea da Bordeaux a Dax dalla locomotiva BB9004 (in verità fu detto e poi smentito che la stessa velocità era già stata conquistata il giorno prima dalla locomotiva CC7107) fu pagata con un inaccettabile danneggiamento della via (decine di cm, documentate, di scorrimento laterale del binario) e con la distruzione di uno dei pantografi; l'assorbimento (con alimentazione a 1,5 kV c.c.) era tale che prima di arrivare a 300 km/h lo strisciante del primo pantografo era già completamente consumato e tagliato in due parti, tanto che per finire la prova dovette essere alzato il secondo pantografo. Per portare il treno all'arresto furono poi necessari, pur utilizzando tutti i mezzi frenanti disponibili, più di 30 km. La prova ebbe enorme risonanza, ma la vera lezione che se ne doveva trarre era che, con il materiale di cui allora si disponeva, i 300 km/h non potevano essere raggiunti in condizioni di sicurezza.

Il successivo punto (13•): 319 km/h raggiunti nel dicembre 1972 dal treno turbogas TGV001 sulla linea Pari-

the highly advanced degree of development reached by north American industry of the time in locomotive construction techniques. This goal was never improved, and even thirty years later in 1936 and 1938, the best German (9•) and British (10•) locomotives came close to it without ever reaching it.

After the second world war, the already declining steam traction, experienced a final in progress thanks to Eng. André CHAPELON, from the ex Paris Orleans, who increased the power of his "transformées" up to 40% with modifications inspired by the most rigorous rationality (especially in draft and distribution). Nevertheless CHAPELON's improvements, applied even with indisputable success to only a part of the French Railway's locomotive fleet, were unable to induce a turnaround and all research and design resources were diverted towards the emerging Diesel traction, which within few decades would progressively replace steam.

In terms of speed, the success of Diesel traction proved to be, in some ways, a step back. Diesel locomotives, which were interesting for their high performance, ease of drive, availability and readiness, were on the other hand decisively inferior to steam locomotives in terms of specific power and it was unreasonable to expect any kind of success in terms of speed which in fact failed to occur. Better results were instead obtained with distributed power (light rail cars, each driven by Diesel engines with HP in the order of few hundreds) which allowed, especially in regional services, an important as well as most appreciated increase in commercial speed. In terms of records however no exceptional events were registered, with the exception of the 205 km/h reached in 1936 by some rail cars belonging to the Fliegender Hamburger system (8•) which in those years linked Berlin to Hamburg with an average speed of 125 km/h.

A few years earlier on the same line, in June 1931, 230 km/h were reached by a strange vehicle, the Schienen Zeppelin (on track airship), driven by a 4 blades propeller itself driven by a 600 horse power engine (7•). This event stirred much interest without however having any follow up, due to the fact that even at the time a certain respect for the environment had to be naturally observed.

In the latter decades of the 19th century, electric traction, for a long time utilised almost exclusively for suburban services or for difficult mountain pass lines, did not have the opportunity to demonstrate any ambitions in terms of speed. Such ambitions only emerged in the late 1920's when medium and long distance services also started to be set up with electric traction.

Of little significance is the 1903 record (5•) of 210 km/h, obtained with electric locomotives on a specifically equipped line, but in conditions far remote from those of a possible commercial application; it is sufficient to note that the contact line on the side of the way was made of three overlapping conductors along a single vertical plane, with a three-phase power supply with a variable frequen-

gi Nantes, non è un record in senso ufficiale, ma è egualmente importantissimo, perché si tratta del primo materiale messo a punto sulla base delle nuove acquisizioni scientifiche della Dinamica Ferroviaria. La velocità massima fu raggiunta in piena regolarità, con ottimo indice di comfort e con interazioni fra treno e via così contenute che il binario, controllato dopo la prova, non indicava la benché minima alterazione rispetto alle condizioni geometriche iniziali.

Il TGV001 era in effetti il progenitore dei TGV PSE, perfettamente identico per quanto riguarda carrelli e sospensioni, mentre aveva ancora la propulsione a turbina, perché così si pensava, prima della guerra del Kippur e della crisi del petrolio, di risolvere il collegamento fra Parigi e Lione.

Il limite di 319 km/h era dovuto alla potenza non sovraccaricabile delle turbine, non certo a difficoltà di comportamento dinamico. Con alimentazione elettrica sarebbe stato possibile fin da allora avvicinarsi al record di 380 km/h che 9 anni dopo, nel 1981, doveva essere conquistato dal treno TGV n. 16 sulla nuova Direttissima Parigi Sud Est (14•).

Il record ufficiale del 1981, giunto ben 26 anni dopo il precedente record del 1955 (un argomento in più per dimostrare quanto quest'ultimo fosse stato forzato) fu a sua volta mantenuto fino al 1988 quando in primavera la Deutsche Bahn ottenne in un tratto della nuova linea Hannover Würzburg la velocità di 406,9 km/h con un treno tipo ICE di composizione convenzionale formato da 10 vetture e 2 locomotive a trazione mono-trifase (15•).

Fu questo un record molto convincente, anche perché aveva perfettamente risolto due problemi fino ad allora rimasti alquanto critici: la stabilità dello strisciante di presa corrente e l'attenuazione del colpo di pressione all'ingresso nelle gallerie.

Poche settimane dopo cominciarono a circolare voci, registrate anche da alcune riviste specializzate, che anche la SNCF avesse già raggiunto i 410 km/h, senza però averne dato notizia ufficiale. La verità venne in luce più tardi. Il record tedesco aveva creato un momento di perplessità nelle trattative in corso fra Renfe (Ferrovie Spagnole) e costruttori francesi per estendere in Spagna il sistema TGV (programma poi felicemente concluso con la realizzazione della Alta Velocidad Española: AVE, fra Madrid e Siviglia). Per rassicurare la Renfe che il TGV poteva ancora essere considerato "el más veloz del mundo", in una serie di prove non ufficiali, venne ripetutamente superata la velocità del record tedesco. Responsabili delle SNCF, messi alle strette, ammisero qualche corsa a 408 km/h delle quali non intendevano parlare, perché era in preparazione un record più ambizioso di 450 km/h.

Questo obiettivo venne superato con largo margine nel dicembre dell'anno successivo quando, sulla linea Paris-Atlantique, nei pressi di Vendôme, il treno TGV 235 toccò i 482,4 km/h (16•). Le varianti apportate al treno di serie riguardavano: la composizione, ridotta da 2 motrici

cy generator positioned on ground and not on board the locomotive.

More than thirty years would pass before 200 km/h were to be exceeded by an F.S. electric train (11•), this time a mass production vehicle, and for which the only special expedient had been to increase the line voltage from 3 to approximately 3.7 kV dc.

With the following record established in 1955 (12•) a further case of excessively pushed test conditions took place far remote from the possibility to find a practical application.

The speed of 331 km/h obtained on the 29th March 1955 on a section of the Bordeaux – Dax line by the BB9004 locomotive (in reality it had been declared, and later on denied however, that the same speed had already been reached the day before by the CC7107 locomotive) was however obtained at an exceptionally high cost with unacceptable damage to the line (tens of cm of lateral track slipping documented) and with destruction of one of the pantographs; absorption (powered at 1.5 kV d.c.) was such that before reaching 300 km/h the first pantograph's slipper was already worn out and cut in several points to the extent that in order to finish the test it was necessary to raise the second pantograph. 30km were necessary to stop the train despite using all braking power available. The test had a wide echo, but the true lesson to be learnt was that 300 km/h could not be reached in conditions of safety, with the means then available.

The next point (13•): 319 km/h obtained in December 1972 by the TGV001 turbogas train on the Paris-Nantes line. Although not an official record, it is also very important since it was the first vehicle designed on the basis of new scientific findings in Railway Dynamics. The maximum speed was reached under fully regular conditions with a very good comfort index and with train to line interactions sufficiently contained that the track, which was checked after the test, did not show even minor alterations compared to its initial geometric configuration.

The TGV001 was effectively the precursor of the TGV PSE, perfectly identical in terms of bogies and suspensions, whilst it was still turbine propelled, since that was thought to be the solution, before the Kippur war and the oil crisis, which would be employed on the connection between Paris and Lyon.

The limit of 319 km/h was due to the non-overloading turbine power, and certainly not to difficulties in terms of dynamic behaviour. With electric power it would have been possible even from that time to come close to the 380 km/h record which 9 years later in 1981 was obtained by the TGV n. 16 train on the new Paris South East direct route (14•). The official record in 1981, obtained 26 years after the previous record in 1955 (an additional point which shows how the latter had been greatly forced) was in turn held until 1988 when the Deutsche Bahn obtained the speed of 406,9 km/h on a section of the new Hannover-

e 10 rimorchi, a 2 motrici e 4 rimorchi; il diametro delle ruote motrici aumentato da 930 a 1050 mm; oltre a varie carenature in corrispondenza dei carrelli e ad una riprofilatura dell'intercomunicante, per migliorare la penetrazione aerodinamica. La tensione di alimentazione era stata innalzata durante la prova da 25 a 27 kV.

Si poteva ritenere che i 482,4 km/h, quasi esattamente corrispondenti a 300 miglia all'ora, avessero il significato di un traguardo di particolare prestigio, sui cui allori la SNCF avrebbe potuto permettersi qualche anno di relax.

Ma non fu così: progettisti (SNCF) e costruttori (Alstom), vista la facilità del successo e resisi conto che c'erano ancora buoni margini sulla possibilità di sovraccarico dei motori (sincroni trifase a corrente impressa), vollero lanciare l'ultima sfida e superare la mitica barriera dei 500 km/h.

Ciò avvenne pochi mesi dopo, nel maggio del 1990, con lo stesso treno TGV A 235 e sullo stesso rettilineo nei pressi di Vendôme. Per arrivare al risultato favoloso di 515,3 km/h (17●) la composizione del treno era stata ulteriormente ridotta a 2 motrici più 3 rimorchi, il diametro delle ruote motrici portato a 1090 mm, la tensione di alimentazione innalzata fino a 29,5 kV. Ma la variazione più determinante era data dall'incremento della trazione meccanica sulla linea di contatto, salita, rispetto ai 20 kN normali, a 33 kN, massimo valore ancora compatibile con il limite di snervamento del materiale (bronzo al nichel). In queste condizioni la velocità di propagazione della perturbazione sulla catenaria si portava a 535 km/h, con un margine di appena 20 km/h rispetto alla velocità del treno in prova.

Nella primavera del 2007, ben 17 anni dopo, arrivò il nuovo record (18●). La SNCF organizzò una campagna di prove sulla nuova linea LGV Est, prima dell'apertura al traffico. La preparazione fu molto accurata e le prove consentirono di raccogliere una grande quantità di dati tecnici (consumi, rumore, aerodinamica, vibrazioni, comportamento dinamico, interazioni ruota/rotaia, prestazioni di frenatura, alimentazione, ecc.).

Il 3 aprile 2007 il treno di prova TGV V150 raggiunse la velocità di 574,8 km/h, superando agevolmente l'obiettivo ufficiale che era stato fissato a 540 km/h, corrispondenti a 150 m/s (da cui il nome del convoglio V150). Il TGV V150 conseguì molti altri record durante i tre mesi di prove, tra cui quasi 1000 km percorsi a velocità superiore ai 500 km/h. Il convoglio era composto da due motrici, in testa ed in coda, fra le quali erano inserite tre vetture con 2 carrelli portanti e 6 carrelli motore che hanno mostrato ottime prestazioni dinamiche (fra questi 2 carrelli motore con motori sincroni a magneti permanenti, montati sul telaio di un carrello prototipo del treno di nuova generazione AGV). Le modifiche effettuate sul treno di serie riguardavano: il diametro delle ruote aumentato da 920 mm a 1092 mm; la potenza complessiva dei motori portata a 19,6 MW; alcune modifiche studiate in galleria del vento

Würzburg line with an ICE train with a conventional composition of 10 vehicles and 2 single-three phase traction locomotives (15●).

This record was highly convincing, also because it had perfectly resolved two problems which had up to then remained fairly critical: the current collection slipper's stability and the pressure blow attenuation when entering tunnels.

Few weeks later rumours started to spread, which had also circulated through specialised press, that the SNCF had reached 410 km/h without an official announcement however. The truth emerged only later. The German record determined a certain degree of hesitation during the ongoing negotiations between Renfe (Spanish Railways) and the French manufacturers to extend the TGV system to Spain (program which was later completed successfully with the construction of the Alta Velocidad Española: AVE, between Madrid and Seville). In order to reassure Renfe that the TGV could still be considered "el más veloz del mundo", during a series of unofficial trials, the German record was repeatedly exceeded. Managers of SNCF, when questioned, admitted that some tests had reached 408 km/h, yet they did not wish to talk about them since a more ambitious record of 450 Km/h was under plan.

This was exceeded with wide margin in December of the following year when, on the Paris-Atlantique line, near Vendôme, the TGV 235 train reached 482.4 km/h (16●). The train's standard asset was modified in terms of composition (reduced from 2 locomotives and 10 trailers to 2 locomotives and 4 trailers), diameter of the locomotive wheels (increased from 930 to 1050 mm), as well as by using various fairings near the bogies and a reshaping of the vestibule, in order to improve aerodynamic penetration. Supply voltage was raised during the trial from 25 to 27 kV.

One could imagine that the 482.4 km/h, almost exactly 300 miles per hour, should represent a particularly prestigious goal of which the SNCF could be proud of for a few years.

However, this was not the case: designers (SNCF) and manufacturers (Alstom), having realised the ease of success and the scope for further overloading of the engines (three-phase synchronous current fed), launched a last challenge to exceed the barrier of 500 km/h.

This took place a few months later in May 1990, with the same TGV A 235 train and on the same stretch of the line near Vendôme. In order to reach the exceptional speed of 515.3 km/h (17●) the train's composition was further shortened to 2 locomotives plus 3 trailers, the diameter of the locomotive wheels increased to 1090 mm, the supply voltage increased to 29.5 kV. However, the main variation was the increase in mechanical traction on the contact line, increased from the normal 20 kN to 33 kN, maximum limit still compatible with the material's yield stress (nickel bronze). In such conditions the propagation speed of the disturbance over the catenary increased to

(che consentirono una riduzione della resistenza aerodinamica attorno al 15%). Il tratto di via interessato dal record era stato modificato per l'occasione, aumentando la sopraelevazione in alcuni punti a 130 mm, portando la tensione di alimentazione da 25 kV a 31,7 kV, mentre la trazione meccanica sulla linea di contatto era stata aumentata da 26 kN a 40 kN.

1.4.2. I record di velocità dei sistemi non convenzionali

Per i sistemi senza contatto il raggiungimento delle alte velocità è stato immediato. Già il 5 marzo del 1974 un prototipo dell'Aérotrain francese, veicolo sospeso su cuscinio d'aria, toccò la velocità di 430,4 km/h sulla pista di prova di Orléans (c•), stabilendo il record assoluto per i trasporti terrestri dell'epoca. Nonostante questo successo, l'esperienza dell'Aérotrain terminò l'anno successivo, quando la Francia decise di abbandonare il progetto per dedicarsi allo sviluppo del TGV.

Fra i sistemi a levitazione magnetica, il primo a raggiungere la maturità tecnologica fu il Transrapid tedesco. Dopo la costruzione dell'impianto sperimentale di Emsland nel 1987, il prototipo TR07 raggiunse i 436 km/h nel 1989 (d•) ed i 450 km/h nel 1993 (e•). Nel 2001 il Consorzio Transrapid firmò il contratto per la costruzione del collegamento fra la città di Shanghai e l'aeroporto di Pudong (31 km), che fu inaugurato il 31 dicembre 2002 dopo poco più di un anno di lavori. Il 12 novembre 2003 il treno Transrapid TR08 toccò sull'impianto di Shanghai i 501 km/h (f•), che corrisponde alla massima velocità di progetto del sistema. Questa rappresenta anche la più alta velocità finora raggiunta da un treno in servizio commerciale non predisposto appositamente per il record.

Il Maglev giapponese (JR-Maglev) ha conseguito risultati ancora migliori in termini di velocità. Dopo il record del 1979, 517 km/h ottenuti sulla pista di Miyazaki da un veicolo senza equipaggio a bordo (g•), un ulteriore salto di qualità seguì l'apertura della nuova pista di prova di Yamanashi (1996) che, nelle intenzioni dei promotori, dovrebbe costituire in futuro il tratto centrale della linea Maglev fra Tokyo e Osaka, denominata Chūō Shinkansen (la JR Central prevede l'apertura del tratto Tokyo-Nagoya nel 2025). Su questa pista, nel dicembre 1997, il prototipo MLX01 con equipaggio a bordo raggiunse i 531 km/h, record superato dallo stesso treno nel 1999 (552 km/h) e nel 2003 (581 km/h). Quest'ultimo rappresenta ancora oggi il record di velocità per i trasporti guidati di ogni tipo (i•). Tutto lascia pensare che velocità ancora più alte potranno essere raggiunte senza difficoltà dal Maglev su linee più lunghe, quando queste saranno disponibili.

1.4.3. Le velocità di linea

Passando ad esaminare come sono progredite le massime velocità di linea consentite ai sistemi di treni più importanti, si osserva un andamento quasi proporzionale a quello della velocità dei record, rispetto ai quali si mantengono normalmente ad un livello del 30-40% più basso.

Dalla velocità di linea di 90 km/h alla quale già prima

535 km/h, with a margin of only 20 km/h compared to the train's speed under trial.

In the Spring of 2007, 17 years later, a new record was achieved (18•). SNCF set up a trial campaign on the new East LGV line, before opening up to traffic. Preparation was thorough and the trials allowed collection of a large quantity of technical data (consumption, noise, aerodynamics, vibrations, dynamic behaviour, wheel/rail interactions, braking performance, power supply, etc.).

On the 3rd April 2007, the test train TGV V150 reached a speed of 574.8 km/h, comfortably exceeding the official target of 540 km/h, corresponding to 150 m/s (hence the train's name V150). The TGV V150 achieved many other records during the three months of trials, amongst which over 1000 km travelled at a speed exceeding 500 km/h. The convoy was made of two locomotives, on head and tail, between which three vehicles with two carrying bogies and 6 engine bogies which showed an excellent dynamic performance (amongst which 2 engine bogies with permanent magnet synchronous motors, mounted on the chassis of a new generation AGV prototype bogie). The variations made on the standard train concerned the diameter of the wheels (increased from 920 mm to 1092 mm), the overall engine power (modified to 19,6 MW) and some wind tunnel design modifications (which allowed a reduction in aerodynamic resistance of around 15%). The line section concerned was modified for the event, by increasing the banking in some points to 130 mm, the supply voltage from 25 kV to 31.7 kV, whilst mechanical traction on the contact line was increased from 26 kN to 40 kN.

1.4.2. Non conventional system speed records

With regards to contactless systems, high speed was reached immediately. Already on the 5th March 1974 a prototype of the French Aérotrain, a suspended ground effect vehicle, reached the speed of 430.4 km/h on the Orléans test track (c•), establishing an absolute record for ground transport of the time. Despite this success, the Aérotrain's experience ended the following year, when France decided to abandon the project in order to concentrate on the development of the TGV.

Amongst magnetic levitation systems, the first to reach technological maturity was the German Transrapid. Following the construction of the experimental plant in Emsland in 1987, the TR07 prototype reached 436 km/h in 1989 (d•) and 450 km/h in 1993 (e•). In 2001 the Transrapid Consortium signed a contract for the construction of the link between the city of Shanghai and Pudong airport (31 km), which was inaugurated the 31st December 2002 after only just over a year of construction work. The 12th November 2003, the Transrapid TR08 train reached the speed of 501 km/h (f•) on the Shanghai line, the system's maximum design project speed. This represents the highest speed ever reached by a train in commercial service not specifically designed for a record.

della metà dell'ottocento operavano i treni della Great Western Railways (C•), sono dovuti passare quasi 90 anni per arrivare ai 160 km/h praticati sulla Berlino Amburgo dai treni automotori Diesel degli anni '30 del novecento (Fliegender Hamburger) (E•) e poi altri 25 anni per trovare i treni turbogas della SNCF con velocità di linea di 180 km/h. Da questo punto il ritmo di aumento si fa più rapido: 210 km/h la velocità di linea del Tokaido nel 1965 (G•); 260 km/h nel 1981 (H•) e poi subito 270 km/h nel 1983 (I•) sulla Parigi Sud Est; 300 km/h su Parigi Atlantique nel 1989 (L•).

Successivamente la velocità di linea ha raggiunto i 320 km/h su un tratto della LGV Méditerranée nel 2005, mentre la LGV Parigi Est, costruita per velocità fino a 350 km/h, è stata aperta al traffico nel 2007 accettando treni fino a 320 km/h (M•).

Nel 2008 è stata aperta in Cina la nuova linea Pechino-Tianjin con velocità fino a 350 km/h (N•), mentre i 380 km/h sono ritenuti tecnicamente praticabili su altre linee in programma, anche se, per ragioni economiche, non vi sono ancora certezze sulla opportunità di spingersi tanto in alto. Infatti, a differenza dei record, che rappresentano dei risultati episodici (con finalità promozionali, oltre che tecniche), l'innalzamento della velocità massima di esercizio presenta come contropartita un aumento notevolissimo del consumo energetico (a meno che il treno non si muova in atmosfera rarefatta), gravando in modo non trascurabile sul costo del trasporto. Le società ferroviarie dovranno quindi valutare attentamente questo aspetto e trovare un punto di equilibrio tra efficienza e costi del servizio offerto.

Attualmente la massima velocità di esercizio fra tutti i sistemi di trasporto guidato (430 km/h) è operata sulla linea Shanghai-Pudong dal treno a levitazione magnetica Transrapid (P•).

Sintetizzando in tre spezzate (fig. 5) l'evoluzione nel tempo delle massime velocità (di colore rosso per i record, blu per le velocità di linea, verde per le velocità raggiunte dai sistemi senza contatto), si evidenziano due periodi di rapidissimo progresso, inframmezzati da un lungo intervallo ad andamento molto più calmo.

Si può ben affermare che, come alla fine del primo periodo (1825-1848) il sistema ferroviario tradizionale poteva ormai considerarsi tecnicamente maturo, tanto che l'ulteriore espansione avvenuta nei successivi decenni ha cambiato ben poco rispetto alle caratteristiche originali, così anche alla fine dell'altro periodo (1970-2000), è ormai operante con una sua fisionomia ben definita una ferrovia di nuova generazione, che in questo secolo è destinata ad espandersi a livello planetario, conquistando alla rotai un ruolo egemone nei trasporti a media e medio-grande distanza, non meno importante e completo di quello che aveva caratterizzato l'ottocento, quando la diligenza od il cavallo erano gli unici concorrenti con i quali si doveva competere.

La spinta a questi sviluppi, l'una e l'altra volta prod-

The Japanese Maglev (JR-Maglev) achieved even better results in terms of speed. Following the 1979 record, 517 km/h obtained on the Miyazaki track by a an unmanned vehicle (g•), a further quality leap followed the opening of the Yamanashi test track (1996) which, in the promoters' intentions, should be in the future the central section of the Tokyo-Osaka Maglev line, named Chūō Shinkansen (JR Central foresees the opening of the Tokyo-Nagoya section in 2025). On this track, in December 1997, the MLX01 manned prototype reached 531 km/h, a record exceeded by the same train in 1999 (552 km/h) and in 2003 (581 km/h). The latter represents even today the speed record for manned ground vehicles of any type (i•). This leaves one to imagine that even higher speeds may be easily achieved by the Maglev on longer distance lines when these will be available.

1.4.3. Line Speed

Moving on to examine how maximum allowed line speeds have progressed for the most important train systems, an almost proportional progress to that of speed records can be seen, ranging approximately 30 to 40% lower.

From the line speed of 90 km/h, at which trains of the Great Western Railways operated already in the first half of the 19th Century (C•), it took almost 90 years to reach 160 km/h on the Berlin Hamburg line with the Diesel railcar trains of the 1930's (Fliegender Hamburger) (E•) and a further 25 years for the SNCF turbogas trains to appear with a line speed of 180 km/h. From this point onwards the rhythm of increase in speed accelerated: 210 km/h, the Tokaido line speed in 1965 (G•), 260 in 1981 (H•), and then 270 immediately after in 1983 (I•) on the Paris South-East; 300 km/h on the Paris Atlantique in 1989 (L•).

Later on, line speed reached 320 km/h on a section of the LGV Méditerranée in 2005, whilst the LGV Paris East, designed for speeds up to 350 km/h, was opened to traffic in 2007 allowing train speeds of up to 320 km/h (M•).

In 2008 the new Beijing-Tianjing line in China was opened with a speed of up to 350 km/h (N•), whilst 380 km/h are considered technically achievable on other lines under development, even though, for cost reasons, the advantages of pushing towards such high levels is debatable. In fact, differently to records, which are isolated results (with promotional aims as well as technical), the increase in maximum operating speed determines in return a substantial increase in energy consumption (unless the train moves in rarefied atmosphere), generating significantly higher transportation costs. Railway companies will therefore have to carefully study this aspect and find the balancing point between efficiency and cost of services provided.

Currently the maximum operating speed amongst driven transport systems (430 km/h) is operated on the Shanghai-Pudong line by the Transrapid magnetic levitation train (P•).

giosamente rapidi, è venuta per la ferrovia tradizionale dalla tecnologia meccanica, che in quel periodo cominciava a muovere i primi passi fuori dagli arsenali e dai cantieri navali, mentre per la ferrovia di nuova generazione, l'impulso al progresso è frutto delle conoscenze nei settori della Dinamica Ferroviaria e dell'elettronica di potenza delle quali la Ricerca Scientifica ha reso possibile l'acquisizione.

Come ufficiale inizio della nuova era delle altissime velocità ferroviarie, si è indicato il 2 Dicembre 1972, data della prova a 319 km/h del treno turbogas TGV 001, primo esempio di un insieme di veicoli integralmente studiati e realizzati secondo i principi della Dinamica Ferroviaria.

1.5. L'esperienza giapponese

Con questo schema risultano esclusi dall'era dell'Alta Velocità i primi anni della New Tokaido Line (N.T.L.), che pure ha rappresentato, con largo anticipo, la prima realizzazione di un grande sistema di treni operanti a velocità superiori a 200 km/h.

Questo inquadramento, che può essere motivo di una certa sorpresa, risulta però giustificato se si valutano con obiettività le condizioni e le difficoltà in cui la N.T.L. si è trovata a funzionare nella fase iniziale.

Lo studio e la progettazione dello Shinkansen (il grande sistema Giapponese ad Alta Velocità, del quale la Tokaido Line costituisce il primo episodio) si sono sviluppati in modo molto autonomo, con un ricorso meno che marginale alle esperienze ed alle conoscenze che la tecnica del mondo occidentale aveva allora acquisito, quasi si ritenesse che per un problema così nuovo ci fosse ben poco da apprendere dal passato.

Come prove di questo atteggiamento, si possono ricordare:

- l'armamento, appositamente studiato per la nuova linea, risultato però inferiore agli standards europei per alcuni aspetti (qualità del ballast; rotaia di 50,4 kg/metro, quando in Europa era impiegata la 60 UIC; procedimenti per la saldatura delle lunghe rotaie continue);

- i treni di 12 ed anche 16 motrici con tutti gli assi motori, per il timore di un presunto abbassamento di aderenza ad alta velocità;

- la sottostima del problema della Dinamica Ferroviaria.

Che questi problemi siano giunti inaspettati è provato dal programma originario che prevedeva treni viaggiatori a composizione bloccata durante il giorno (dalle ore 6 alle 23) e treni per trasporti combinati (Transcontainer e Piggy-back) durante la notte; e proprio per rendere possibile l'effettuazione di questi ultimi, era stata limitata al 15 per mille la massima pendenza della via, affrontando i co-

By summarising the evolution of maximum speeds over time in three lines (fig. 5) (records in red, line speeds in blue, speeds reached by contactless systems in green), two periods of rapid progress can be highlighted with a long and relatively calm interval in between.

It can be stated that, as at the end of the first period (1825-1848) traditional rail systems were already technically mature to the extent that their further expansion in the following decades brought very little change to its original characteristics, also at the end of the second period (1970-2000) a new generation railway was operating with its own well defined characteristics. In this century the new railway system will expand world-wide giving railways a dominant role in medium and medium-long range transport, which is not less important and complete than the role played in the 19th Century when coaches or horses were the only competitors.

The push towards these developments, both taking place at a prodigiously rapid pace, came for traditional railways from mechanical technology, which in that period started to take its first steps outside arsenals and ship yards, whilst for new generation railways, the impulse towards progress came from knowledge acquired in railway Dynamics and power electronics thanks to scientific research.

The official beginning of the new era of very high railway speeds is marked as 2nd December 1972, date of the 319 km/h trial of the turbogas TGV 001 train, the first example of a vehicle entirely designed and built according to the principles of Railway Dynamics.

1.5. The Japanese experience

This analysis does not include in the High Speed era the first years of the New Tokaido Line (N.T.L.), which represented an early and first development of a great train system operating at speeds exceeding 200 km/h.

This view, which may result as a surprise, is justified if the conditions and difficulties in which the N.T.L. was operating in the initial phase are objectively taken into consideration.

The design and development of the Shinkansen (the great Japanese high speed system, of which the Tokaido Line is the first step) took place very autonomously, only marginally utilising the experience and knowledge which western technology had acquired, almost as if for such a new problem there were little to learn from the past.

As testimony of this belief one may recall the following:

- the permanent way, specifically designed for the new line, which resulted however inferior to European standards in certain aspects (ballast quality; 50.4 kg/m rails, when in Europe the 60 UIC was in use; procedures for the soldering of the continuous long rails);

sti conseguenti alla maggior lunghezza delle gallerie. Questi treni per il trasporto combinato non videro mai la luce, appena ci si accorse che per tenere in piedi il servizio viaggiatori, da subito intensissimo, si doveva dedicare alla via una manutenzione continua, utilizzando tutti gli intervalli disponibili ed addirittura, di tanto in tanto, qualche interruzione straordinaria.

Sostanzialmente, però, il sistema ha tenuto ed ha stupito il mondo per la puntualità, la regolarità, la totale assenza di incidenti e, non ultimo, per gli ottimi risultati economici; ma tutto ciò è stato ottenuto a costo di un impegno incredibile, che soltanto la leggendaria disciplina ed operosità dei lavoratori giapponesi ha reso possibile.

In sostanza la New Tokaido Line dei primi anni è un caso "da manuale" di superamento della barriera della manutenzione, della quale si è parlato al paragrafo 1.2.4.

Per raddrizzare completamente le situazioni, le J.N.R. hanno agito senza incertezze e con grandissima determinazione. Nel giro dei primi dieci anni, le rotaie da 50 kg/m sono state sostituite, per 500 km di doppia via, con nuove rotaie di 60 kg/m, mentre, man mano che giungevano alla scadenza della grande riparazione, le prime motrici sono state inesorabilmente avviate alla rottamazione (con chilometraggi di 3-4 milioni di km, di gran lunga al di sotto della normale vita economica).

La velocità massima della linea del Tokaido è rimasta a 210 km/h per oltre 20 anni e soltanto nel 1986 sono stati autorizzati i 220 km/h, saliti poi a 270 nel 1990 per i soli treni Super Hikari.

Nonostante le difficoltà iniziali, alle quali peraltro le J.N.R. seppero sempre far fronte con grande prontezza, la Nuova Linea del Tokaido fu chiamata, fin dal primo giorno, a rispondere ad una domanda di mobilità che nel corridoio Tokyo-Osaka raggiungeva i più alti e concentrati livelli a confronto con qualsiasi altra parte del mondo (traffico normale fra i 150.000 e 200.000 viaggiatori al giorno, con punte non infrequenti anche al di sopra dei 500.000 viaggiatori/giorno).

Ad un traffico così straordinariamente elevato corrisposero, come era logico attendersi, risultati di gestione eccezionalmente favorevoli.

La divulgazione di questi successi, di cui molto si discusse al congresso UIC/ACCF tenuto a Vienna nel 1968, portò una sana ventata di ottimismo nel mondo degli operatori economici e dei politici, ormai rassegnati a considerare fisiologico il deficit di qualsiasi gestione ferroviaria, praticamente incapace di sopravvivere senza l'aiuto, in forma continuativa, della comunità.

Ad onore dei tecnici giapponesi, si vuole sottolineare che l'ultima generazione di treni europei per velocità di esercizio di 360 km/h ripropone lo schema che è sempre stato adottato in Giappone: tanti motori leggeri poggiati sui carrelli e ripartiti su tutto il convoglio e trasmissioni molto semplici.

– trains with 12 and also 16 locomotives all with engine axles, in the fear of an expected reduction in adhesion at high speed;

– an underestimation of the problem related to Railway Dynamics.

That these problems were unexpected is proved by the original program which planned passenger trains with a fixed composition during daytime (from 6am to 11pm) and combined transport trains (Transcontainers and Piggy-backs) during night time; and precisely in order to allow the latter to operate, the maximum line's gradient was limited to 15‰, with relative costs due to the greater length of the tunnels having to be incurred. These combined transport trains were never employed once it became apparent that, in order to sustain the passenger transport services, which were intense from the start, continuous maintenance to the line was necessary utilising all available intervals and additionally occasional extraordinary line interruptions.

Overall however the system functioned well surprising the world for its punctuality, regularity and total absence of accidents and, last but not least, for the excellent economic results; all this however was obtained with enormously great efforts which only the legendary discipline and hard work of the Japanese workers could make possible.

Effectively, the New Tokaido Line of the early years is a "case study" of how the barrier of maintenance, discussed in paragraph 1.2.4., can be overcome.

In order to completely rectify the situation, the J.N.R. acted without hesitation and with great determination. Within the first ten years, the 50 kg/m rails were replaced over 500 km of dual way, with new 60 kg/m rails, whilst, as the first locomotives progressively approached the time of major maintenance (with mileage in the order of 3 to 4 million km, well below normal cost life) they were duly scrapped.

The maximum speed of the Tokaido line remained at 210 km/h for over 20 years and only in 1986 220 km/h were authorised, rising to 270 in 1990 uniquely for the Super Hikari trains.

Despite initial difficulties, which the J.N.R. were always able to solve with great determination and readiness, the New Tokaido Line had to respond, from the outset, to a demand in mobility in the Tokyo-Osaka corridor which reached the highest and most concentrated levels in the world (normal traffic ranging between 150.000 and 200.000 passengers per day, with frequent peaks exceeding even 500.000 passengers/day).

With traffic so extraordinarily high, extremely favourable management results were obtained as was logical to expect.

The publication of these successful results, greatly discussed at the UIC/ACCF congress held in Vienna in 1968, brought a great degree of optimism in the business

1.6. L'esperienza francese

Dalla consapevolezza che l'Alta Velocità può vivere, invece, delle proprie risorse e proporsi come creatrice e non più come dissipatrice di ricchezza, hanno acquisito nuovo vigore gli studi intrapresi e si è accelerato lo sviluppo dei programmi che hanno successivamente portato alle prime realizzazioni del mondo occidentale.

Con 17 anni di maggior tempo per approfondire nei loro molteplici aspetti tutti i problemi dell'Alta Velocità, l'Ingegneria Ferroviaria Francese ha avuto modo di prepararsi alla sfida della Parigi-Sud Est con una completezza di studi ed una maturità tecnologica ed organizzativa che ha consentito fin dal primo giorno di esercizio il pieno raggiungimento degli obiettivi prefissati.

Traendo innanzitutto pieno profitto da tutte le acquisizioni della Dinamica Ferroviaria, vie e veicoli sono stati pensati insieme come componenti esclusivi di un unico sistema, mentre finalità centrale, dalla quale tutta la progettazione è stata condizionata, fu quella di contenere le interazioni ruota/rotaia ben al di sotto dei limiti di stabilità del binario, in modo da escluderne qualsiasi alterazione delle condizioni geometriche, anche in presenza di un traffico veloce di grande intensità.

Il materiale mobile, come già si è detto al par. 1.4.1., era per la parte meccanica già stato messo a punto con il TGV001, treno turbogas, che nel 1972 aveva raggiunto, con una perfetta qualità di marcia, la velocità di 319 km/h. Il treno era formato da due motrici, una in testa e l'altra in coda, fra le quali erano inserite tre vetture rimorchiate, il tutto collegato in una composizione articolata, tale cioè che le estremità contigue di due casse successive gravassero entrambe su di un unico carrello portante.

Questa soluzione (mantenuta su tutte le successive serie dei treni TGV) risparmia peso, riduce drasticamente la rumorosità nel comparto viaggiatori e consente l'inserimento di sistemi smorzanti fra le casse contigue, con notevole assorbimento dei disturbi trasversali.

Nella versione elettrica, i motori di trazione, applicati alla cassa, fruiscono della doppia sospensione primaria e secondaria (applicazione ispirata all'esperienza dell'ETR 401, il Pendolino Prototipo, per il quale nel 1975 questa soluzione aveva rappresentato una novità assoluta).

Nonostante l'estremo impegno del progetto, si volle far precedere la costruzione della prima serie di treni TGV da una prolungata e severissima prova di tre esemplari di preserie, nel corso della quale vennero definite e sperimentate oltre mille modifiche di progetto (alcune delle quali molto impegnative, come la variazione del passo del carrello motore da 2,9 a 3 metri). Tutte le varianti messe a punto sui primi tre treni sono state poi regolarmente applicate agli altri treni della serie.

Per quanto riguarda la via, è stato preferito l'armamento tradizionale (ballast e traverse), ricercando però, per tutti i componenti, il più alto livello di qualità possi-

and political world, which considered the deficits of railway companies as unavoidable and practically incapable of surviving without continuous aid from the community.

In honour of Japanese engineering, it should be underlined that the latest generation of European trains with operating speeds of 360 km/h utilises the scheme always adopted in Japan, which uses many light engines placed over the bogies and distributed over the entire convoy and very simple transmissions.

1.6. The French experience

From the belief that High Speed can instead survive on its own resources, making money rather than dissipating it, vigorous study recommenced with an acceleration in programs which subsequently led to the first constructions in the western world.

With 17 more years to analyse the multiple aspects of problems relating to High Speed in depth, French Railway Engineering could adequately prepare for the Paris-South East challenge with thorough research and technological and organisational maturity which, from the outset of operations, allowed objectives to be fully met.

By taking full advantage of knowledge acquired by Railway Dynamics, lines and vehicles were developed together as exclusive components of a single system, whilst the core aim, which conditioned the entire design, was to contain wheel/rail interactions well below the stability limits set by the track in order to eliminate any alteration to the geometric conditions even in the presence of fast and highly intense traffic.

Mobile equipment, as previously mentioned in par. 1.4.1., had been for the mechanical part already designed with the TGV001, a turbogas train, which in 1972 had reached the speed of 319 km/h with perfect travel quality. The train was composed of two locomotives, one at the head one at the tail, between which three trailers were interposed, all linked in an articulated composition, such that the adjoining ends of two successive bodies were both loaded on a single carrying bogie.

This solution (which was kept on all later TGV train series) saves weight, drastically reduces noise in the passenger compartment and allows the insertion of dampening systems between the adjoining bodies, with substantial absorption of transversal disturbance.

In the electric version, the traction engines applied to the body, utilise primary and secondary double suspension (application which was inspired by the experience of the ETR 401, the "Pendolino" prototype, for which in 1975 this type of solution had been an absolute innovation).

Despite the extreme effort of the project, before construction of the first series of TGV trains, it was decided to firstly run a long and strict trial on three pre-series

bile. Così, per evitare disturbi dovuti ad irregolarità di assetamento, è stata curata con estremo rigore la uniformità del suolo, praticando consolidamenti differenziati con iniezioni di cemento in prossimità dei punti singolari, quali la transizione fra le estremità dei viadotti ed il piano di campagna. In 400 km di via sono stati sbancati e non più riutilizzati alcuni milioni di metri cubi di terreno non sufficientemente stabile (per es. perché troppo ricco di *humus*). Per il ballast, a differenza dei Giapponesi, non si sono fatte economie e se ne sono impiegati almeno 5 m³ per metro corrente di via, assicurando uno spessore di 35 cm al di sotto delle traverse, che a loro volta risultano poi praticamente affondate nel pietrisco. Ritenendo interessante il suo contributo alla stabilità laterale, è stata adottata la traversa biblocco, che offre una superficie di contrasto con il ballast praticamente doppia rispetto alla traversa a corpo unico. Il pietrisco, vagliatura compresa fra i 25 e 50 mm, è stato ottenuto per frantumazione di rocce di elevata durezza e coesione in modo che oltre ad assicurare una lunga durata sotto carico, possa sopportare bene, con minime perdite per attrizione, le operazioni di livellamento eseguite dalle moderne macchine ribattitrici automatizzate. In presenza di fondi argillosi, ad evitare che parte del pietrisco venga inghiottito dal terreno, si è applicata una soletta di calcestruzzo magro, più o meno appropriatamente definita come sub-ballast.

Infine, le rotaie, ottenute con avanzati procedimenti costruttivi, presentano tolleranze geometriche molto ristrette e resistono bene all'usura, grazie a particolari trattamenti di indurimento superficiale. Sulle linee ad Alta Velocità LGV sono stati ammessi esclusivamente i treni TGV, caratterizzati da un eccellente comportamento dinamico e da un carico per asse non superiore a 170 kN.

Con questa serietà nella preparazione il successo non poteva mancare, tanto che il servizio sulla PSE è iniziato subito (1981) a 260 km/h, per poi passare a 270 km/h non appena la linea è stata completata in tutto il tratto da Parigi a Lione (1983). La manutenzione della via non ha richiesto nessun impegno particolare ed, anzi, si è rivelata mediamente meno costosa rispetto alle altre linee della rete francese.

Il servizio dei treni TGV si estende anche al di fuori della linea ad Alta Velocità, verso Clermont Ferrand, St. Etienne, Chambéry, ecc., ma nessun treno ordinario ha finora avuto accesso alla nuova linea.

Un solo incidente, dovuto all'abbattimento di un tratto di linea aerea a seguito dell'accavallamento di un archetto di presa corrente, ha turbato la regolarità dei primi mesi di servizio. È interessante ricordarne le circostanze, anche per imparare a riflettere su quanto sia difficile, quando mancano passate esperienze a cui riferirsi, individuare tutte le possibili cause di irregolarità e prevederne le conseguenze. Semplicemente, a nessuno era venuto in mente che su un terrapieno a sezione trapezia, alto più di trenta metri, un fortissimo vento trasversale avrebbe generato una componente verticale che, investendo l'archetto dal basso verso

models, during which more than a thousand project modifications were defined and experimented (some of which very demanding, such as the variation in engine body pitch from 2.9 to 3 metres). All the variants defined on the first three trains were then regularly applied to the other trains in the series.

With regards to the track, a traditional permanent way was preferred (ballasts and sleepers), although searching the highest quality possible for all components. Hence, in order to avoid disturbances due to irregularities in setting, the uniformity of the ground was controlled with extreme severity, by differentially consolidating with injections of cement near critical points, such as the transition from the viaducts to the land surface. In 400 km of track several million cubic metres of insufficiently stable and non-reusable ground was unearthed (for example because too rich in humus). On the other hand, in contrast with the Japanese experience, cost was not an issue for the ballasts resulting in at least 5 m³ per metre of track, ensuring a thickness of 35 cm below the sleepers, which in turn are practically buried in crushed stone. Since it was considered effective in its contribution to side stability, a two piece sleeper was adopted, which offers a contrast surface with the ballast which is practically double compared to a single block sleeper. The crushed stone, with riddling ranging between 25 and 50 mm, was obtained by crushing very hard and cohesive rocks in such a way that, as well as ensuring a long life under load, it may adequately sustain levelling operations conducted by modern automated hammering machines with minimum loss under friction. In presence of clayey surfaces, in order to avoid part of the crushed stone sinking into the ground, a slab of thin concrete was applied, more or less appropriately defined as sub-ballast.

Finally, the rails, obtained with advanced construction procedures, are characterised by highly restricted geometric tolerances that resist very well to wear thanks to special surface hardening treatment. The LGV High Speed lines only allowed TGV trains characterised by excellent dynamic behaviour and by a load per axle not exceeding 170 kN.

With this thoroughness in preparation, success couldn't fail to be achieved, to the extent that service on the PSE started immediately (1981) at 260 km/h, later rising to 270 km/h as soon as the line was entirely completed in the Paris to Lyon section (1983). Maintenance of the track did not require any special effort and, on the contrary, it proved to be on average less costly compared to other French network lines.

The TGV train service works outside the High Speed line, towards Clermont Ferrand, St. Etienne, Chambéry, etc., however no ordinary trains have been granted access until now to the new line.

Only one accident disturbed the regularity of the first months of service, due to the collapse of a section of the overhead line following overlapping of a current col-

l'alto, poteva facilmente provocarne il sollevamento al di sopra del limite di sicurezza. Il rimedio fu immediatamente trovato con appositi schermi aerodinamici, ma la lezione non è stata dimenticata ed anche i pantografi delle successive serie sono stati opportunamente migliorati.

2. Sviluppo attuale e problematiche aperte

La fig. 6 mostra lo sviluppo attuale della rete Europea ad alta velocità (6161 km di linee operative nel maggio del 2010, secondo il censimento dell'UIC).

Sulla base dei programmi esistenti e delle necessità che si verranno progressivamente a determinare, non è esagerato prevedere che entro lo spazio di due o al massimo tre generazioni, potrà essere operante, nelle varie parti del mondo, un insieme di 100.000-130.000 km di linee ferroviarie idonee alle altissime velocità. Le stime dell'UIC prevedono infatti che, già nel 2025, saranno in servizio più di 40.000 km di linee ad Alta Velocità in tutto il mondo, di cui quasi 18.000 km nella sola Europa (figg. 6 e 7).

Su queste nuove linee si svilupperà un traffico enorme, dell'ordine delle migliaia di miliardi di viaggiatori·km/anno, molte volte superiore al movimento che attualmente si realizza su tutta la rete convenzionale, pur avendo quest'ultima un'estensione di 1.300.000 km.

A fronte della grandiosità di queste prospettive e dell'incidenza che esse potranno avere sull'economia e sulla stessa qualità della vita delle generazioni future, una pausa di riflessione si impone per comprendere quali perfezionamenti tecnici e quali scelte strategiche sono ancora opportune, affinché il sistema ad Alta Velocità riesca, nel tempo, a concretizzarsi nelle condizioni più favorevoli e complete, in modo da raggiungere il miglior equilibrio possibile fra i benefici che genera a favore della comunità ed i costi che ad essa richiede.

2.1. Il materiale

La maturità tecnologica raggiunta dal materiale dell'Alta Velocità è notevole e costituisce l'aspetto più convincente del sistema.

2.1.1. La velocità di 350 km/h già possibile, anche se non ancora praticata, su alcuni tratti della rete LGV, rappresenta una prestazione che va al di là della stessa domanda e che potrà soddisfare tutte le esigenze future, almeno per un lunghissimo periodo di tempo.

Quanto a potenza specifica, l'apparato motore non richiede perciò ulteriori migliorie e quasi tutti i perfezionamenti che ancora si possono attendere, interesseranno i circuiti di alimentazione che, avvalendosi di avanzate tecnologie elettroniche, contribuiranno ad eliminare, anche nelle conversioni più complesse, tutti i disturbi secondari, quali armoniche di ordine superiore o rumore di fondo.

lection sliding bow. It is interesting to note the circumstances in which this occurred, in order to reflect on the difficulties in identifying all possible causes of irregularity and foreseeing the consequences when it is not possible to refer to past experiences. Simply put, nobody had thought that on a trapezium section embankment, more than thirty metres high, a very strong transversal wind could generate a vertical component which hitting the sliding bow from below upwards, could so easily lift it beyond the safety limit. The solution was immediately found by using special aerodynamic shields, however the lesson was not forgotten and even the pantographs in the following series were appropriately improved.

2. Present extension and open problems

Fig. 6 shows the present extension of the European High Speed network (6161 km of lines in operation at the date of May 2010 according to the census of the UIC).

On the basis of the existing programs and the future necessities it is not excessive to predict that about 100.000 – 130.000 km of railway lines for very high speeds will be in operation, in the different parts of the world, in a time space of two or maximum three generations.

UIC estimates indeed that in 2025 more than 40.000 km of high speed lines will be in operation in the whole world, of which 18.000 km in Europe (fig. 6 and 7).

These new lines will be interested by a huge amount of traffic, of the order of thousands of billions of passengers • km/year, many times greater than the present traffic on the traditional network, whose extension is of 1.300.000 km.

In the light of these colossal perspectives and the influence they could have on both the economy and the life quality of the future generations, it is necessary a breathing space in order to understand which technical improvements and strategic choices are necessary for the High Speed system to evolve in the most favorable and complete conditions, thus reaching the best possible balance between benefits and costs for the community.

2.1. Rolling stock

The technological maturity reached by the High Speed rolling stock is considerable and represents the most persuasive aspect of the system.

2.1.1. The speed of 350 km/h, already technically possible on some sections of the LGV network even though not yet reached in the commercial operation, will be able to satisfy all the future necessities for a very long period of time.

As regards the specific power, the engine system does-

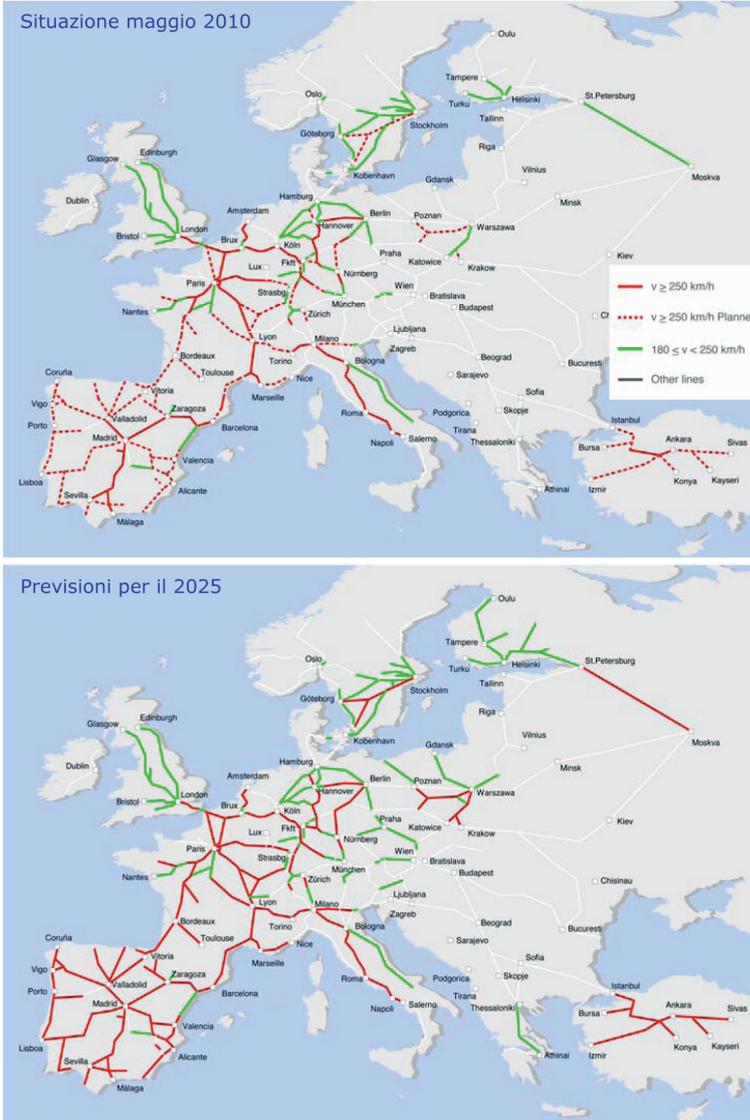
Anche per quanto riguarda la frenatura, ulteriori progressi sono attesi non tanto dal miglioramento dei singoli componenti (freno a dischi, freno a corrente di Foucault, freno a pattini, freno dinamico o a recupero), quanto dall'ottimizzazione del contributo percentuale richiesto a ciascuno di questi dispositivi. La ripartizione deve essere regolata alle varie velocità in modo da ottenere in tutte le condizioni il minimo costo espresso in termini di usura e deterioramento del sistema frenante nella sua globalità.

2.1.2. Gli aspetti tecnici, sui quali maggiormente occorre approfondire le conoscenze, sono quelli collegati ai fenomeni aerodinamici. Fra i più importanti, la necessità di sottrarre l'ambiente viaggiatori alle variazioni, talvolta rilevanti, della pressione esterna che si verificano sia negli incroci in piena velocità, sia negli ingressi in galleria. Nel materiale più recente il fenomeno è meglio controllato rispetto ai treni delle prime serie, ma ulteriori perfezionamenti sono auspicabili per giungere alla completa eliminazione del disturbo.

Assai importante, sempre in questo tema, è la riduzione nella massima misura possibile della resistenza dell'aria, dalla quale, alle alte velocità, dipende praticamente la quasi totalità del consumo energetico. Le maggiori economie si possono raggiungere agendo sulle caratteristiche delle superfici laterali, che debbono risultare il più possibile continue, anche in corrispondenza degli intercomunicanti, delle carenature e dei contorni dei finestrini. Con il miglioramento di forma si ottiene anche una riduzione del rombo di penetrazione, che al di sopra delle velocità di circa 350 km/h assume un'importanza paragonabile a quella del rumore prodotto dal contatto ruota-rotai.

È proprio da quest'ultimo che provengono le maggiori preoccupazioni. Finora si è rimediato quasi esclusiva-

nt require any further upgrading and almost all the possible expected improvements will concern the traction power supply circuits that, with the help of advanced electronic technologies, will contribute to eliminate all the secondary disturbances such as higher order harmonics or background noise even in the most complicated energy



(Fonte: UIC)

Fig. 6 - Rete Europea ad Alta Velocità: situazione nel maggio 2010 e previsioni al 2025. *European High Speed network: status in May 2010 and forecast for 2025.*

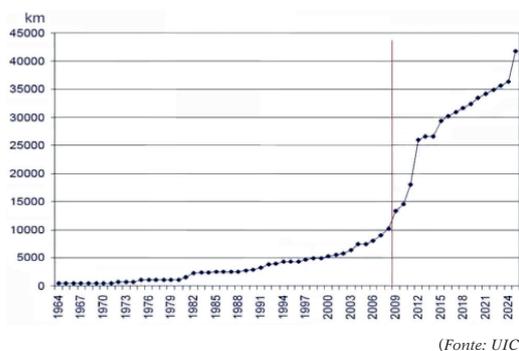


Fig. 7 - Evoluzione prevista della rete mondiale ad Alta Velocità.
Evolution predicted for the worldwide High Speed network.

mente con provvedimenti indiretti, come pareti insonorizzate, talvolta (linea Stuttgart-Mannheim) con gallerie artificiali, con interventi protettivi (doppi vetri) o con indennizzi alle proprietà affacciate alle nuove linee; ma prove recenti confermano la maggiore efficacia dei provvedimenti che agiscono sulla sorgente, come: molatura delle rotaie (già utile, anche se limitata a spessori di pochi decimi di millimetro), perfetta tornitura delle ruote, rivestimenti con materiali assorbenti della cartella verticale della rotaia o della superficie esterna del centro ruota.

Quanto a rodiggi e sospensioni, oltre a qualche miglioria marginale rispetto alle già molto soddisfacenti realizzazioni, si potrebbero approfondire alcuni fronti di indagine: su architetture (assi sterzanti, ruote indipendenti per gli assi portanti); su componenti (elementi di frizione controllati, ammortizzatori adattativi o attivi, guide boccola ad elevata rigidità dinamica). Queste applicazioni, peraltro, non sono esenti da notevoli complessità, e richiedono l'ausilio di una diagnostica della qualità di marcia molto più articolata rispetto all'attuale stato dell'arte. Dalle nuove architetture si attende soprattutto una minor usura delle superfici di rotolamento dei cerchioni col vantaggio di poter prolungare (raddoppiare o triplicare) l'intervallo fra torniture successive, senza che venga abbassato il livello della qualità di marcia. Dai nuovi componenti si può attendere un miglioramento della qualità di marcia alle massime velocità di esercizio, ed una riduzione delle sollecitazioni laterali (già peraltro contenute) tra ruota e rotaia.

2.2. La gestione

Mentre l'evoluzione tecnologica dei sistemi ad Alta Velocità presenta ben poche incertezze, tanto che fin d'ora è possibile prevedere quali progressi saranno realizzati in un futuro anche non prossimo, la situazione è completamente diversa per le scelte gestionali a fronte delle quali esiste una totale dispersione di intenti e di vedute strategiche.

conversions.

Further progresses are even expected in the braking system. The expected improvements will marginally concern the single components (disk brake, eddy-current rail brake, shoe brake, dynamic brake or recovery brake) and mainly the optimization of the percentage contribution required to such braking devices. The apportionment has to be adjusted at the different speeds in such a way to achieve the minimum cost in terms of wear and deterioration of the whole braking system.

2.1.2. The technical aspects on which a deepening is necessary are those connected with the aerodynamic phenomena. One of the most important is the necessity to reduce the effects of the external pressure variation in the passenger environment as in some cases like high speed train crossings and tunnel entrances it can reach quite high values. This phenomenon is better controlled in the recent rolling stock than in the train of the first series but further improvements are anyway hoped to reach a full disturb elimination.

Very important in this context is to reach the highest possible reduction of the air resistance being practically responsible of almost all the energy consumption at the high speeds. The greatest savings can be achieved by acting on the characteristics of the side surfaces that have to be as continuous as possible even in the vicinity of gangways, streamlining and window profiles.

The shape improvement allows even to achieving a reduction of the penetration rumble that above the speed of about 350 km/h has an importance that can be compared to the importance of the wheel-rail contact noise.

The greatest concerns descend from this last aspect. Only indirect measures have been taken till now such as soundproof walls, artificial tunnels as in the case of the Stuttgart-Mannheim line, protection actions (double glasses) or compensations for the properties alongside the new lines; recent tests confirm anyway the greater efficiency of the measures acting on the noise source such as: rail grinding (useful even though limited to thicknesses of few tenths of millimeters), perfect rail turning and coverings with absorbing materials of the rail vertical wad or the outer surface of the centre of the wheel.

As far as the wheel arrangements and the suspensions are concerned only some marginal improvements are expected with respect to the present very satisfying implementations; some research aspects could be anyway deepened concerning the architectures (steering axles, independent wheels of the carrying axles) and the components (controlled friction elements, adaptive or active dampers, axle-box guides with high dynamic stiffness).

These applications are not however devoid of considerable difficulties and require the support of a running quality diagnostics that is much more qualified and well-constructed with respect to the present state of the art. The new architectures are in particular expected to show

2.2.1. Le ferrovie francesi, che da oltre venti anni detengono, sia per i record che per l'esercizio commerciale, il primato dell'Alta Velocità, attribuiscono in gran parte il loro successo alla scelta intransigente di ammettere sulle nuove linee LGV soltanto treni TGV, caratterizzati da un comportamento dinamico eccellente, cui contribuisce un peso per asse non superiore a 170 kN ed un contenimento spinto al massimo delle masse non sospese o semisospese (motori di trazione applicati alla cassa).

Questa posizione, senza dubbio molto severa, ha comunque avuto risultati incontestabili, se si pensa che la manutenzione delle nuove linee LGV costa meno di quella delle linee tradizionali, sulle quali a velocità nettamente più basse circolano treni di tutti i tipi, e che praticamente il servizio veloce si è sempre sviluppato in piena regolarità, senza mai richiedere interruzioni straordinarie o prolungati periodi di rallentamento; inoltre, circostanza importantissima, con l'impiego di un unico tipo di materiale a composizione bloccata, è stato possibile inserire pendenze fino al 35‰ (ed anche più, se necessario), riducendo od addirittura annullando la proporzione di gallerie in confronto ai tracciati con le pendenze classiche intorno al 12-15‰.

In realtà il costo delle linee francesi corrispondeva già negli anni '90 del secolo scorso alla metà circa dei costi consuntivi delle nuove linee Tedesche o Giapponesi.

2.2.2. Nonostante il successo, la scuola francese non ha fatto proseliti e prevale in tutte le Amministrazioni interessate a programmi di Alta Velocità il principio che ogni nuova linea, intesa come un potenziamento di tutta la rete, deve accettare, accanto ai treni viaggiatori, anche treni ordinari o, addirittura, treni merci a lungo percorso.

Su questa logica operano le NBS tedesche: Stuttgart-Mannheim e Würzburg-Hannover, la Rete Ferroviaria Italiana e persino la Madrid - Siviglia nella quale accanto ai treni A.V.E. (copia quasi conforme del TGV Atlantique) circolano i treni Talgo, trainati da locomotive Bo Bo da 22,5 t/asse.

La posizione Giapponese richiede, invece, una valutazione a parte.

Impostata fin dagli anni '50 del secolo scorso, quando in Europa l'Alta Velocità era ancora un obiettivo molto lontano, la rete Shinkansen, oltre ai treni composti di sole elettromotrici, avrebbe dovuto accogliere anche treni speciali (Transcontainers o Piggy-back) trainati da locomotive con pesi assiali ovviamente adeguati al tipo di prestazioni richieste; e proprio in coerenza con questo programma, le pendenze della prima linea NTL - New Tokaido Line, furono mantenute entro i limiti del 15‰, rinunciando così alle economie che l'impiego di pendenze più elevate avrebbe reso possibili.

In realtà, come si è detto, la prevista effettuazione di treni merci sulla NTL non poté essere realizzata a fronte della immediata eccezionale intensità del traffico viaggiatori, associata ad una grave ed inattesa difficoltà di manutenzione della via. Ma anche sulle altre linee, Joetsu e

a lower wear of the tire rolling surfaces with the advantage to be able to increase (double or triple) the time period between subsequent turnings without reducing the running quality level. The new components are expected to determine an improvement of the running quality at the highest operation speeds and a reduction of the wheel-rail side stresses (anyway already limited).

2.2. Management

While the technical evolution of the High Speed Systems is characterized by few uncertainties that make it possible to predict the relevant progresses even in a far future, the situation is completely different for the management choices as they are characterized by a generalized dispersion of purposes and strategic views.

2.2.1. The French Railways have been maintaining for twenty years the High Speed supremacy both for the records and for the commercial traffic; they attribute great part of their success to the uncompromising decision to accept on the new LGV lines exclusively TGV trains, characterized by a weight per axle not higher than 170 kN and a limitation of the unsprung or half-sprung masses (traction engines applied to the body) thus contributing to have an excellent dynamic behavior.

This severe position had anyway undeniable results as the maintenance of the new LGV lines has revealed to be less expensive than the maintenance of the traditional lines on which all types of trains run at quite lower speeds; it has to be even taken into consideration that the high speed operation has been always regular without extraordinary interruptions or long slowing down periods.

Moreover the utilization of a unique type of fixed formation rolling stock allowed to reaching slope values up to 35‰ (and even more if necessary) thus reducing or annulling the tunnel section proportion with respect to the line layouts characterized by classical slopes of about 12-15‰. In the 90's the cost of the French lines was already about 50% of the final cost of the new Japanese and German lines.

2.2.2. Despite its success the French school had no followers and all the Railway Administrations involved in High Speed programs consider the new lines as an increase of capacity of the whole network and consequently they accept even ordinary trains or long run freight trains. This is the logic adopted by the German NBS (Stuttgart-Mannheim and Würzburg-Hannover), by the Rete Ferroviaria Italiana and even in the Madrid-Seville line that is run by Talgo trains, hauled by Bo Bo locomotives (22.5 t/axle), and A.V.E. high speed trains.

The Japanese position requires a different and specific evaluation.

The Shinkansen network was planned and set in the

Tohoku, dove il traffico è stato sempre decisamente meno intenso, non hanno mai circolato treni di nessun tipo trainati da locomotive. Tutta la nuova rete Shinkansen è perciò percorsa esclusivamente da treni composti da automotrici di massa contenuta, col risultato di configurare una situazione di servizio del tutto simile al modello francese.

Si tratta però di una scelta obbligata e non convinta, come dimostra il fatto che anche le linee entrate in servizio 18 anni dopo il Tokaido sono costruite con pendenze non superiori ai valori adatti per la circolazione di treni pesanti trainati da locomotive, quasi a voler confermare il principio che, ad ogni costo, anche le linee per Alta Velocità dovranno risultare idonee ad un servizio universale.

In queste circostanze, neppure l'enorme esperienza delle Ferrovie Giapponesi può oggettivamente contribuire a dare razionale risposta al quesito fondamentale, se cioè l'impiego di materiale promiscuo sia o no compatibile con l'assoluta regolarità e continuità di esercizio, che un servizio ferroviario ad Alta Velocità necessariamente richiede.

2.3. Servizio esclusivo o promiscuo?

Nella posizione che diversi interessati assumono a fronte di questo fondamentale dilemma, prevalgono atteggiamenti di intransigenza, mentre sarebbe più che necessario ragionare serenamente sulla base di valutazioni oggettive.

2.3.1. La Francia è ferma sul principio di ammettere sulle linee ad Alta Velocità soltanto materiale speciale con ben definite ed eccellenti caratteristiche dinamiche e con peso assiale limitato a 170 kN. Effettivamente l'esperienza ha ormai confermato che, quando questi limiti vengono accettati, la geometria del binario può, con l'aiuto di una manutenzione assidua, ma non gravosa, essere mantenuta entro le strette tolleranze iniziali, anche dopo anni di traffico intenso, assicurando totale regolarità e continuità all'esercizio dell'Alta Velocità.

I Giapponesi, come si è visto, non sono pienamente convinti, ma si comportano come se lo fossero, anche perché, con l'intensità di traffico che si ritrovano, non hanno né bisogno, né convenienza ad inserire nel loro grafico treni più lenti, che creerebbero disturbo alla circolazione ed abbasserebbero la potenzialità della linea.

Non così la pensano tutti gli altri che, nel timore di non raggiungere con i soli servizi ad Alta Velocità un livello di traffico sufficiente per assicurare la redditività desiderata, si preoccupano di acquisire maggiori ricavi, accettando sulla linea altre categorie di treni.

Ciò non vuol dire che si possa pretendere di sfruttare la linea ad Alta Velocità come un qualsiasi quadruplicamento, utilizzandola per ogni sorta di materiale rotabile. Una simile scelta, certamente sbagliata, verrebbe, entro breve termine, pagata con il decadimento della qualità della via e con l'inaffidabilità del servizio veloce.

50's when the European High Speed system was a quite distant target. It should have accepted trains composed of sole electric railcars and even special trains (Transcontainers or Piggy-back) hauled by locomotives with a suitable axial weight for the required performances; in the context of this program the slopes of the first line NTL – New Tokaido line were maintained below the limit of 15‰ thus abandoning the savings connected with the adoption of higher slopes.

Indeed the planned freight train operation on the NTL line was not carried out because of the immediate particularly high passenger traffic and a serious and unexpected problem of line maintenance. Even the other lines named Joetsu and Tohoku, where the traffic has always been less intense, have never accepted trains hauled by locomotives. The whole Shinkansen network is then run exclusively by limited mass railcars thus resulting in an operation condition that is quite similar to the French one.

It is anyway an obliged and not convinced choice, as revealed by the fact that even the railway lines put in operation 18 years later than Tokaido are constructed with similar slopes, not higher than the typical values adopted for the running of heavy hauled trains in the traditional lines, thus seeming to confirm the principle that the High Speed lines will have to be suitable for a universal operation.

Neither the huge experience of the Japanese railways can give a rational answer to the question regarding the compatibility of promiscuous rolling stock with the regular operation of High Speed railway service.

2.3. Exclusive or promiscuous operation?

Intransigent attitudes prevail among the positions that many different involved persons assume with respect to this main question, while it would be necessary to reason on the base of objective evaluations.

2.3.1. France accepts on the High Speed lines only special rolling stock with well-defined and excellent dynamic characteristics and axle weight limited to 170 kN. The experience has indeed confirmed that when this limit is accepted the track geometry can be maintained, with the help of a continuous but not onerous maintenance, within the strict initial tolerances even after years of intense traffic thus ensuring the full regularity and continuity of the High Speed operation.

Japanese as already seen are not fully convinced but they behave as they were convinced. The Japanese high traffic intensity makes it not necessary and not convenient to insert slower trains in the timetable as these trains would represent a running disturb and would reduce the line capacity.

All the others have different points of view as they are afraid not to reach with the sole High Speed services a suf-

2.3.2. Occorre invece la massima cautela per assicurarsi che le sollecitazioni alla via, prodotte dal materiale di composizione tradizionale ammesso a far servizio sulle nuove linee, non risultino, alla velocità ad esso consentita, in nessun caso più gravi di quelle generate a 300-350 km/h dai treni specializzati (TGV, ICE, ETR 500, ecc.).

L'aspetto più difficile del problema riguarda le locomotive che, in questo tipo di impiego, debbono rispondere a molte esigenze fra loro contrastanti:

- velocità (non meno del 65-70% della velocità massima del TGV);
- carico da rimorchiare (almeno 6-7 carrozze);
- peso per asse ($\leq 190-200$ kN/asse);
- masse non sospese ($\leq 2000-2500$ kg/asse).

Nella maggior parte dei casi, ciò richiede un progetto ed una costruzione ad hoc, soprattutto per quanto attiene all'ultima esigenza (masse non sospese), che comporta la sospensione dei motori di trazione alla cassa della locomotiva e l'adozione di una trasmissione a grande deformabilità fra motori e cassa.

Per i veicoli rimorchiati le difficoltà sono meno critiche, visto che i carrelli portanti hanno pesi assiali ridotti e che tutte le maggiori Amministrazioni dispongono di vetture con comportamenti dinamici più che soddisfacenti.

Quanto alle merci, la circolazione dei treni ordinari sulle nuove linee è senz'altro da escludere, anche perché l'eccessiva differenza di velocità penalizzerebbe pesantemente la stessa potenzialità del sistema, ma con materiale appositamente studiato, in tutto molto simile al materiale viaggiatori specializzato, non ci sono controindicazioni a trasportare, in aperta concorrenza al mezzo aereo, merci urgenti di alto valore intrinseco o di facile deperibilità.

Una simile esperienza, d'altronde, ha già avuto pieno successo con i treni TGV postali della Paris Sud Est, sui quali, tra l'altro, è stata realizzata, per la prima volta, la sospensione secondaria pneumatica, che ha poi rappresentato una delle migliorie più efficaci attuate sui treni TGV Atlantique e sulle serie successive.

2.4. L'unificazione Europea

A monte di tutte le difficoltà tecniche ed organizzative, incombe per gli operatori dell'Alta Velocità in Europa un problema di grandissimo rilievo, per venire a capo del quale dovranno correre fiumi di buona volontà, di disponibilità e di reciproca comprensione. Si tratta dell'unificazione della rete europea, rete che si prepara a divenire il più importante sistema ad Alta Velocità esistente al mondo, quando alle linee del Plan Directeur si aggiungeranno altre migliaia di km di nuove vie dei Paesi dell'Europa centrale ed orientale.

efficient traffic level to guarantee the desired profitability; for this reason they look for other gain sources and they accept even other train types on the high speed lines.

The choice to exploit a High Speed line as a simple quadrupling line and use it for any type of rolling stock is certainly a wrong choice that would be paid soon with the degradation of the line quality and the unreliability of the high speed operation.

2.3.2. It is instead necessary the maximum caution to ensure that the line stresses induced by traditional formation rolling stock running the new lines at the permitted speed are not more severe than the stresses generated by specialized trains (TGV, ICE, ETR 500, ecc.) running the said lines at 300-350 km/h.

The most difficult aspect of the problem concerns locomotives that in this type of utilization have to satisfy many different and opposite needs:

- speed (not lower than 65-70% of the TGV maximum speed);
- hauled load (at least 6-7 coaches);
- weight per axle ($\leq 190-200$ kN/axle);
- unsprung masses ($\leq 2000-2500$ kg/axle).

In most cases it is necessary a customized design and construction due in particular to the last need (unsprung masses) that requires the suspension of the traction engines at the locomotive body and the adoption of a high deformability transmission system between engines and body.

The situation is less critical for the hauled vehicles as the bogies have limited axial weight and the main Railway Administrations have vehicles with more than satisfying dynamic behavior.

Freight traffic on the new lines can be certainly excluded even because the excessive speed difference would penalize the system capacity; anyway in case that a specific rolling stock is studied and designed, similar to the specialized passenger rolling stock, there are no counter-indications for the transportation of urgent freights of high intrinsic value or easy perishability in open competition with the air transportation.

A similar experience has already obtained a great success with the postal TGV trains of the Paris South East line on which were installed for the first time the pneumatic secondary suspensions that have then represented one of the most efficient improvements adopted on the trains of the TGV Atlantique and following series.

2.4. European Unification

Above the technical and organization difficulties there is a problem of great importance whose solution will require to the European High Speed operators a huge amount of good will, availability and reciprocal under-

Se non si trova un accordo e si lascia che ogni Amministrazione attivi la sua parte di via, secondo gli standard che le sono propri, avremo fra 40 o 50 anni una rete estremamente disomogenea, sulla quale vecchi confini politici, completamente inutili e dimenticati, manterranno un significato soltanto per segnare le discontinuità: nella circolazione, ora a destra ora a sinistra, nell'alimentazione elettrica, nel segnalamento, nel sistema di posa delle rotaie ed addirittura nello scartamento.

Qualche passo nella giusta direzione è stato compiuto, come la decisione di RENFE di passare allo scartamento Europeo per le linee ad Alta Velocità e come la scelta italiana di adottare per le nuove vie l'alimentazione elettrica a 25 kV 50 Hz.

L'impianto PBKA (Paris-Bruxelles-Köln-Amsterdam) è invece un esempio concentrato della attuale disomogeneità della rete europea. Su poche centinaia di km coesistono: quattro alimentazioni elettriche (1,5 kV c.c., 25 kV 50 Hz, 3 kV c.c., 15 kV 16,7 Hz); quattro sistemi di segnalamento; due modi di posa delle rotaie, con inclinazione di 1/20 in Francia e Belgio e di 1/40 in Germania ed in Olanda.

Non resta che sperare che, invece di essere il primo di una serie di tanti altri casi analoghi, PBKA stimoli riflessione e consapevolezza sulla necessità, da parte di tutti, di perseguire con determinazione, ma anche con grande apertura mentale, il miraggio dell'unificazione. Unificazione che, per essere all'altezza degli obiettivi di una Grande Europa, non deve limitarsi all'armamento, alla catenaria ed alle comunicazioni terra-treno, ma deve piuttosto essere una super-impresa che, dall'Atlantico agli Urali, operi con un'unica impostazione in materia di orari, di tariffe, di regolamenti, ma anche di inquadramento del personale, e di rapporti gerarchici senza escludere che, nel lungo termine, possa anche essere adottato un unico linguaggio di servizio, come nei trasporti aerei.

3. Il ruolo della ricerca

Molti degli interrogativi, che da questo problema hanno origine, possono trovare risposta in alcune attività di ricerca sviluppate negli ultimi 30-40 anni e suscettibili di ulteriori sviluppi ed applicazioni nel futuro.

Faremo solo un breve cenno ad alcuni studi e le ricerche che interessano in genere il comportamento dinamico del materiale per Alta Velocità.

3.1. Il modello dinamico universale

Fra le attività di ricerca sviluppate in Italia a partire dai primi anni '80 del secolo scorso, meritano un cenno particolare i programmi finanziati dal CNR e, all'inizio

standing. It concerns the unification and integration of the European network that will become the most important High Speed system in the world when some more thousands of km of new lines of the Central and East European countries will add to the lines of the Plan Directeur.

If the European Operators don't find an agreement and decide to activate their respective parts of HS railway lines according to their national standards, the European network will become extremely non homogeneous within 40 or 50 years and the old political borders, useless and forgotten, will maintain their meaning only to mark the railway system discontinuities: in the right or left running, in the electrical supply system, in the signaling system, in the track laying system and even in the gauge.

The RENFE decision to adopting the European gauge on the High Speed lines and the Italian choice to adopting the 25 kV 50 Hz supply system for the new HS lines represent some steps in the right direction.

The PBKA (Paris-Bruxelles-Köln-Amsterdam) installation is instead a concentrated example of the present non-homogeneous condition of the European network. Four types of electrical supply systems (1,5 kV d.c., 25 kV 50 Hz, 3 kV d.c., 15 kV 16,7 Hz), four types of signaling systems, two track laying modes, with 1/20 cant in France and Belgium and 1/40 cant in Germany and Netherland, co-exist in few hundred kilometers.

It is to be hoped that the PBKA installation is not the first of a long series of similar cases but on the contrary it stimulates considerations and consciousness of the general necessity to follow with determination and great mind opening the mirage of the network unification. In order to be at the same level of the aims of a Great Europe, this unification shall not have to be limited to the permanent way, the contact line and the ground-train communication; it will have indeed to be a super-company operating from the Atlantic to the Urals with a unique organization in terms of timetables, fares, regulations and even staff placement and hierarchical relations without excluding the possibility that in the future a unique service language could be adopted like in the air transport sector.

3. The research role

Many questions originating from this problem can find an answer in some research activities developed in the last 30-40 years that can be object of further developments and applications in the future.

A brief mention will be here done to some studies and researches concerning the dynamic behavior of the High Speed rolling stock.

degli anni 2000, alcune attività di progettazione sistemica e diagnostica basati sui finanziamenti della legge 46: i primi hanno portato allo sviluppo di modelli dinamici opportunamente "sintetizzati", a carattere praticamente universale, nel quale i fondamentali componenti dei rotabili e del binario sono stati modellizzati in modo accortamente semplificato, senza perdere la generalità di applicazione. Questi modelli hanno consentito di affinare le capacità predittive nella progettazione dei carrelli per rotabili ad Alta Velocità, e di creare una vera e propria "sensibilità" e "capacità di sintesi", utile ancor oggi per valutare la plausibilità dei risultati forniti dai codici "multi-corpo".

3.2. Il modello diagnostico

Sin dagli anni '70 del novecento, anche con il progredire della potenza di analisi dati in tempo reale, è stata sviluppata la diagnostica della dinamica di marcia dei rotabili. Inoltre, risale allo stesso periodo la capacità, ora ormai prassi consolidata, di valutare, in modo semplice e ad intervalli molto ravvicinati, le caratteristiche geometriche della linea, analizzando per confronto su base temporale le risposte dinamiche dei rotabili sulle tratte AV. La strumentazione diagnostica, è costituita da accelerometri, montati preferibilmente sul carrello, che consentono, mediante controlli incrociati e valutazione di rilievi successivi, una quantificazione per livelli delle difettosità del binario, e, per confronto fra i segnali rilevati sui diversi carrelli, una valutazione diagnostica, almeno per livelli, della idoneità all'esercizio dei singoli rodiggi.

La taratura del dispositivo richiede il contemporaneo rilievo geometrico della via mediante la carrozza rilievo binario. Come metodologia alternativa, di notevole interesse teorico-strumentale, e per l'epoca decisamente innovativa, è stato messo a punto negli anni '90 (sempre in ambito CNR PFT) un dispositivo accelerometrico-ottico in grado di definire, in modo semplificato rispetto ad una completa piattaforma inerziale, la deformata del binario di prova in coordinate assolute per lunghezze d'onda fino ad alcune centinaia di metri.

Con attrezzature di questo impegno, il periodo di esercizio sperimentale, comunque necessario per accertare l'idoneità di un nuovo tipo di rotabile ad operare su una data linea ad Alta Velocità, può ridursi drasticamente (settimane invece di semestri), senza escludere, volta per volta, interventi "sul campo" con varianti ed adattamenti, della cui efficacia sarà poi possibile ottenere una verifica quasi immediata.

La diagnostica della qualità di marcia dei rotabili AV, residente a bordo treno, si presenta a tutt'oggi come una "sfida" di grande valore tecnologico, potenzialmente in grado di far fare al sistema Alta Velocità un importante progresso nel monitoraggio *in tempo reale* della idoneità all'esercizio sia del rotabile che della via.

3.1. Universal dynamic model

Among the survey activities that have been developing since the early 80's a particular mention has to be done to the programs financed by CNR and to some diagnostic and systemic design activities (at the early 2000) based on the financing of the Law n. 46: the former led to the development of dynamic models, properly "synthesized" and of practically universal character, where the main rolling stock and track components have been modeled in a simplified way without losing the generality of the application. These models allowed to sharpening the predictive capacity in the design of bogies for HS rolling stock and to creating a true "sensitivity" and "synthesis capacity" that is still today useful to evaluate the plausibility of the results of the "multi-body" codes.

3.2. The diagnostic model

The diagnostic of the rolling stock running dynamics has been developing since the 70's even thanks to the progressive increase of the real time data analysis capacity. Another methodology that is at present well-established was developed in the 70's to evaluate in a simple way the line geometrical characteristics at very close time intervals by comparing on a time base the rolling stock dynamic responses on the HS railway lines.

The diagnostic instruments are composed of accelerometers, preferably mounted on the bogie, that make it possible a level quantification of the track defects by means of crossed controls and evaluation of the subsequent surveys. They even allow a level diagnostic evaluation of the operation suitability of the single running gears by comparing the signals detected on the different bogies.

The device calibration requires the contemporary geometric survey of the line by means of the track surveying coach. As an alternative methodology of high theoretical-instrumental interest, and definitely innovative at the time, an optical-accelerometer device was developed in the 90's (by CNR PFT). It was able to define, in a simplified way with respect to the complete inertial platform, the test track warping profile in absolute coordinates for wave lengths up to some hundred meters.

The utilization of such devices may allow a drastic reduction of the experimental operation period (weeks instead of semesters) that is anyway necessary to assess the suitability of a new type of rolling stock to run a given High Speed line. It cannot be anyway excluded the necessity of "on field" interventions for modifications and adaptations whose efficiency will be able to be verified almost immediately.

Diagnostics of the HS rolling stock running quality, implemented onboard, represents a "challenge" of great technological content that has the potentiality to allow an important progress of the High Speed system in the real *time monitoring* of the operation suitability of both the rolling stock and the line.