



La rete ferroviaria ad Alta Velocità in Corea del Sud

The High-Speed Rail network in South Korea

Prof. Ing. Anna GRANA^()*

1. Le tappe principali del progetto dell'Alta Velocità ferroviaria in Corea del Sud

In Corea del Sud, sotto la spinta delle nuove politiche economiche seguite alla crisi finanziaria del 1997, la privatizzazione delle imprese statali inizia un percorso partecipativo volto a coinvolgere diversi settori chiave dell'economia e, tra questi, il settore delle infrastrutture ferroviarie, prima riservato all'investimento pubblico.

Il governo sudcoreano, consapevole che una maggiore velocità, anche sulle linee ferroviarie già attive, non può che tradursi in una rete ferroviaria più produttiva ed efficiente, sceglie di affidarsi all'alta velocità ferroviaria, stabilendo la costruzione della prima linea nel maggio 1989. La decisione, derivata inizialmente dalla duplice necessità di rilassare la congestione del corridoio nord-sud tra la capitale Seoul ed il porto di Busan e di potenziarne la capacità di trasporto, segna l'innalzamento del profilo ferroviario del Paese e dona un nuovo impulso al settore ferroviario, sia per quanto attiene al materiale rotabile, sia pure alle infrastrutture dedicate.

Il piano di modernizzazione delle infrastrutture e dei servizi ferroviari sudcoreani prevede l'introduzione di treni ad alta velocità (AV) prima lungo l'asse Seoul-Busan, successivamente anche lungo i collegamenti tra la capitale e le aree a sud-ovest. La mappa della rete ferroviaria sudcoreana ad alta velocità è riportata in fig. 1.

Il Korean Train eXpress, più noto con l'acronimo di KTX, è il treno ad alta velocità di fabbricazione sudcoreana e rappresenta il sistema ad alta velocità del paese. La tecnologia del KTX è basata in gran parte su quella del Train Grande Vitesse (TGV), poi sviluppata con contributi autoctoni attraverso la valorizzazione di risorse esistenti nel territorio nazionale. La costruzione e la messa in servizio della rete ferroviaria ad alta velocità seguono uno schema graduale articolato in due fasi: la prima tratta di linea KTX lungo il collegamento tra le città di Seoul e Busan, separata dalla rete convenzionale, è inaugurata nell'aprile 2004. Il treno ad alta velocità sudcoreano, anche denominato "Hanvit", ovvero fascio di luce concen-

1. The main milestones of High Speed rail project in South Korea

In South Korea, under the influence of new economic policies that followed the financial crisis in 1997, the privatization of state companies started a participatory process aiming to involve different economic sectors and, among these, the railway infrastructure, previously reserved to public investment.

The South Korean Government aware that a higher speed, even on the railway lines already operating, can only result in a more productive and efficient railway network, chose to rely on high-speed railway and established the construction of the first high-speed rail line in May 1989. The decision, originally derived from the dual need to relax the congestion of the North-South corridor between the capital Seoul and the port of Busan and to enhance its transport capacity, helped to raise the quality level of the South Korean railway network and gave a new boost to the railway sector with regard to infrastructure and rolling stock.

The Modernization Project of the railway infrastructure and services in South Korea foresaw the introduction of high-speed trains, first along the Seoul-Busan axis, then also along the links among Seoul and Southwestern areas. Fig. 1 shows the map of the high-speed railway network in South Korea.

The South Korean Train eXpress, well known by the acronym of KTX, is the high-speed train manufactured in South Korea and represents the high-speed railway system of the Country. The Korean high-speed railway system used the Train Grande Vitesse (TGV) technology from France, but high-speed equipment is increasingly being manufactured from domestic companies. The construction of high-speed rail network and the following startup of rail services followed a gradual process divided into two phases: the first section of KTX line within the Seoul-Busan corridor, separated from the conventional rail network, was inaugurated in April 2004. The South Korean high speed train, renamed "Hanvit" meaning

^(*) Professore Associato di Strade Ferrovie Aeroporti - Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale, Aerospaziale, dei Materiali - Università degli Studi di Palermo.

^(*) Associate professor of Road, Railway, Airport - Department of Civil, Environmental, Aerospace, Material Engineering - University of Palermo, Italy.

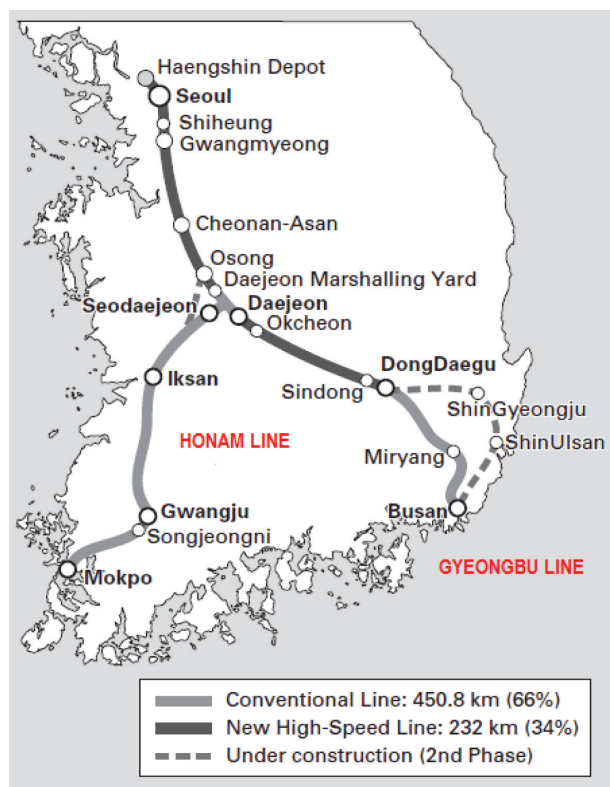


Fig. 1 - Mappa della rete ferroviaria sudcoreana ad alta velocità. *The high speed railway network in South Korea [4].*

trata, ha raggiunto la velocità di 352,4 km/h durante una corsa di test condotta nel dicembre 2004.

Senza la pretesa di esaurire il tema, l'articolo si prefigge di fornire una visione d'insieme del percorso evolutivo della rete ferroviaria sudcoreana ad alta velocità su linee appositamente costruite o adeguate, percorrendone la storia nelle sue fasi più importanti e nelle scelte progettuali che ne hanno permesso lo sviluppo ed hanno aperto la via dell'innovazione in Corea del Sud. Sono poi descritte le principali caratteristiche dei rotabili, anche attraverso la presentazione dei più noti treni prototipo, ed, infine, illustrati gli effetti (e le opportunità) generati dal lancio dei nuovi servizi KTX per l'intero settore sudcoreano dei trasporti.

1.1. L'evoluzione storica della rete ferroviaria Sudcoreana

L'asse Seoul-Busan, attraversando la Corea del Sud dalla capitale Seoul (a nord) fino al porto della città di Busan (a sud), rappresenta da tempo immemorabile il principale corridoio di traffico del Paese.

"streak of intense light", achieved the South Korean rail speed record of 352.4 km/h during a test run in December 2004.

With no claim to exhaust the subject, this paper aims to provide a brief overview of the evolution of the South Korean high-speed rail network along specifically built lines or gradually upgraded conventional lines; it also describes the history of the high-speed rail project through the most important steps and the design choices that allowed the development and cleared the way of innovation in South Korea. The main characteristics of the rolling stock are then analyzed, also including the presentation of the South Korean prototype trains. At last, the effects (and opportunities) generated by the launch of the new KTX services for the entire South Korean transport sector are introduced.

1.1. The history of the South Korean Railway network

The Seoul-Busan axis, running through South Korea from Seoul (at North) to the port city of Busan (at South), is the main traffic corridor of the Country from time immemorial.

In the early '80s, the operating transport infrastructures along the Seoul-Busan axis (the Gyeongbu⁽¹⁾ Expressway and Korail's Gyeongbu line) were used, for passenger and freight movements, by a high percentage of the population (more than 65%). In the '90s, this percentage grew to 73%, when the axis carried 66% of 7 million people riding railways in South Korea each day [1]. To meet the increased traffic demand and to decongest the corridor, the need to introduce an alternative form of transportation became increasingly urgent for the South Korean Government [2]. So, in order to expand limits of transport capacity for the Seoul-Busan axis, the best solution was to use the high-speed rail technologies, considered essential to make the rail sector capable of attracting passenger traffic of medium and long distance [2][3][4][5][6].

In 1984 the feasibility study for the construction of the high-speed rail line between Seoul and Busan started. The preliminary design lasted for two years (1989-1991) and was conducted exclusively by local technicians to make the choice of the design alternative more responsive to needs of the South Korean territory. In this phase of analysis different railway layouts, together with the location of stations, and the possible procurement proce-

⁽¹⁾ Gyeongbu: Gyeong indicates the capital Seoul and bu represents the city of Busan.

Agli inizi degli anni '80 le infrastrutture in esercizio lungo l'asse Seoul-Busan (l'autostrada Gyeongbu⁽¹⁾ e l'omonima linea ferroviaria Gyeongbu gestita dalla Korean Railroad, Korail) servono, per lo spostamento del traffico passeggeri e merci, un'elevata percentuale della popolazione (oltre il 65%). Negli anni '90 la suddetta percentuale cresce al 73%, quando l'asse convoglia il 66% dei 7 milioni di passeggeri che viaggiano quotidianamente su ferro [1]. Per soddisfare la crescita del traffico e decongestionare l'itinerario diviene sempre più pressante per il Governo sudcoreano la necessità di introdurre una forma di trasporto alternativo [2]. Così, per ampliare i limiti della capacità di trasporto dell'asse Seoul-Busan, la soluzione più adeguata consiste nel ricorrere alle tecnologie dell'alta velocità ferroviaria, ritenute indispensabili per rendere il settore ferroviario idoneo ad attrarre il traffico passeggeri di media e di lunga distanza [2][3][4][5][6].

Nel 1984 ha inizio lo studio di fattibilità per la costruzione della linea ferroviaria ad alta velocità tra Seoul e Busan. La progettazione preliminare si protrae per due anni (1989-1991) ed è condotta esclusivamente da tecnici locali per effettuare la scelta dell'alternativa progettuale maggiormente rispondente alle esigenze del territorio sudcoreano. In questa fase di analisi sono valutate più ipotesi di tracciato, unitamente all'ubicazione delle stazioni, e le possibili procedure di appalto alla luce dei diversi scenari delineati. La fattibilità di un sistema ferroviario nazionale ad alta velocità a livello di rete viene rivalutata in un momento di approfondimento progettuale successivo [3][5].

Il progetto prevede un itinerario con sviluppo complessivo iniziale di circa 409 km, quattro stazioni intermedie ed una velocità operativa massima di 300 km/h. Il costo inizialmente stimato per sostenere la realizzazione dell'intervento progettuale, successivamente incrementato per le discrepanze constatate tra costi di realizzazione stimati ed effettivi, si attesta a circa 4 miliardi di Euro, dei quali l'80% circa per le infrastrutture ed i rimanenti per il materiale rotabile [3]. I tassi di crescita dell'economia nazionale, unitamente all'esigenza di soddisfare la forte domanda di mobilità interna, indicano subito che il futuro della Corea del Sud corre su rotaia e che i costi di investimento del KTX potranno essere gradualmente ripagati dai maggiori benefici per gli utenti in termini di riduzione dei tempi di viaggio, di efficienza del sistema logistico, incremento del traffico merci su ferro, minore inquinamento e congestione da traffico [3][6].

Nel marzo 1992 viene istituita l'Autorità sudcoreana preposta alla realizzazione della rete ferroviaria ad alta velocità (inizialmente denominata Korea High Speed Rail Construction Authority, KHRC) [2][3]. Nel

dures based on different outlined scenarios, were valued. The feasibility of a national high-speed rail system at the network level was re-assessed at a subsequent level of design development [3][5].

The project included an itinerary with total length of about 409 km, four intermediate stations and a maximum operating speed of 300 km/h. The cost initially estimated to support the realization of the project, subsequently increased due to the discrepancies found between the estimated and actual construction costs, was around 4 billion euros, of which about 80% for infrastructure and the remaining for rolling stock [3]. The growth rates of the national economy, together with the need to satisfy the strong demand for internal mobility, indicated at once that future in South Korea will move on rail and that the investment costs of the KTX could be gradually repaid by the greater benefits for users in terms of reduced travel times, improved efficiency of the logistic system, increase in rail freight services, reduction of pollution and traffic congestion [3][6].

In March of 1992, the South Korean Authority was instituted as a field agency for high-speed railway construction and was initially called the Korea High Speed Rail Construction Authority (KHRC) [2][3]. In June of 1992, only one year after the start of the detailed design, construction works of the Gyeongbu high-speed rail line started. In particular construction works started by the 57 km long section from Cheonan to Daejeon, a double-track segment made with ballast support and concrete sleepers; this section was intended for use as high-speed test track. The test track, opened in 1999, was very useful for defining the later technical and design choices and for the on-field evaluation of design variables most suitable for the three high-speed rail systems at the time being examined by South Korean engineers [3][6].

Table 1 shows the main design criteria of the South Korean high-speed rail. So higher speeds could be reached in service along lines specially constructed differing from conventional lines for the geometric characteristics of the track layout: in particular, the minimum curve radius, assumed wide and equal to 7,000 m, was significantly increased compared to 600 m value characterizing the existing conventional lines [7]; this new minimum curve radius was also comparable with minimum curve radii of foreign high-speed systems: curves on the Italian TAV are calibrated on 5,450 m, the German DB lines on 7,000 m, the Japanese Shinkansen lines, the SNCF French lines and AVE Spanish lines are calibrated on 4,000 m (15,000 m are achieved only on the French track record of LGV) [8][9].

Various changes were made to the South Korean high-speed rail project, such as derived from needs and problems encountered during the progress of works; they marked the next five-year development plans by which the strategies to be followed in public and sectoral policies were drawn [10].

⁽¹⁾ Gyeongbu: Gyeong indica la capitale Seoul e bu indica la città di Busan.

giugno 1992, un anno dopo l'inizio della progettazione di dettaglio, viene avviata la costruzione della tratta ferroviaria sperimentale a doppio binario tra Cheonan e Daejeon di 57 km lungo l'asse Seoul-Busan, realizzata con ballast e traversine di cemento. Il tracciato "test", inaugurato nel 1999, rappresenta un banco di prova per la definizione delle scelte tecnico-progettuali successive e risulta utile per la valutazione diretta sul campo delle variabili di progetto più idonee per i tre sistemi ad alta velocità ferroviaria all'epoca al vaglio dei tecnici [3][6].

La tabella 1 mostra i principali criteri di progettazione assunti per l'alta velocità sudcoreana. Velocità più elevate sono così raggiungibili sulla linea specificamente costruita che si differenzia dalle linee convenzionali per le caratteristiche geometriche del tracciato: in particolare, il raggio minimo di curvatura, assunto ampio e pari a 7000 m, è sensibilmente accresciuto rispetto al valore di 600 m delle linee convenzionali in esercizio [7]; il raggio minimo di curvatura è, inoltre, comparabile con i valori assunti dai sistemi AV esteri: ad esempio, le curve sulle TAV italiane sono calibrate su 5450 m, le linee DB tedesche su 7000 m; le linee Shinkansen giapponesi, le linee SNCF francesi e le AVE spagnole sono calibrate su 4000 m (15000 m sono raggiunti solamente sul "tratto da record" LGV francese) [8][9].

Dalle esigenze e criticità ravvisate durante l'avanzamento dei lavori derivano diverse proposte di modifica al progetto dell'alta velocità ferroviaria sudcoreana, che segnano anche i successivi piani quinquennali di sviluppo con cui vengono tracciate le linee strategiche da seguire nella definizione delle politiche governative e settoriali di dettaglio [10].

Nel 1993 i costi stimati per la realizzazione del progetto lievitano a poco più di sette miliardi di euro, prevalentemente a causa dell'inflazione, ma anche per la previsione di ulteriori 13 km di tracciato e per diverse modifiche alle variabili di progetto [3]. Altre variazioni riguardano l'introduzione sulla linea Seoul-Busan di un'ulteriore stazione alla periferia sud di Seoul, oltre alle quattro già presenti lungo la linea in corrispondenza delle località di Cheonan, Daejeon, Daegu e Gyeongju; il rinvio della data di completamento del progetto dal 1998 al 2001, per l'avvio della prima fase di operatività della linea ad alta velocità condivisa con la linea convenzionale tra la stazione principale di Seoul e la stazione Seoul-Sud; l'avvio della seconda fase di operatività nel 2010 della tratta di linea esclusiva ad alta velocità tra la stazione principale di Seoul e la stazione Seoul-Sud; la previsione di stazioni intermedie a quota piano stradale e non interrate [3]. La tabella 2 mostra la ripartizione percentuale delle fonti di finanziamento per la costruzione della linea ferroviaria KTX tra Seoul e Busan (fase 1).

Per la fornitura del materiale rotabile, degli impianti elettrici e di segnalamento, inizialmente sono disponibili

In 1993 costs of the project increased to over seven billion euros, mainly due to inflation, but also attributed to an increase in track length (of approximately 13 km) and changes to building requirements [3]. Other changes included the introduction along the Seoul-Busan line of another station at the outskirts of Seoul (South-Seoul station), in addition to the four already present along the Seoul-Busan line corresponding to locations of Cheonan, Daejeon, Daegu and Gyeongju; the postponement of the project completion date from 1998 to 2001 for launching the first phase of operations for the high-speed line shared with conventional rail line between Seoul main station and South-Seoul station; the opening of the second phase of operations with the new high-speed segment between Seoul main station and South-Seoul station in 2010; the construction of all intermediate stations at street level instead of underground [3]. Table 2 shows the percentage distribution of funding sources for the construction of the KTX Seoul-Busan line (phase 1).

Three competitors bid for the supply of the core system, which included the rolling stock, catenary and signaling: consortia led by GEC-Alsthom, today Alstom, one of the builders of France's TGV trains, Siemens, one of the builders of Germany's ICE trains, and Mitsubishi, one of the builders of Japan's Shinkansen trains [2]. In 1993 the Korea TGV consortium, organized as reported in [3], born from the alliance of GEC-Alsthom and its Korean subsidiary Eukorail; the contract for rolling stock procurement was signed in June 1994 [7][11].

In 1998, a phased scheme of construction and commissioning for KTX lines was utilized (see section 1.2). For the first phase, the total length for the Seoul-Busan line was expected to be 408.5 km long, including the new high-speed line and the upgraded line. Once the second phase was completed, the total line was 412 km long [1][4]. Moreover, the travel time from Seoul to Busan was cut from 4 hours 10 minutes before the KTX opening to 2 hours 40 minutes; further reduction was expected with the completion of works in 2010, when the consecutive segments between stations located along the Seoul-Busan line could be covered in 116 minutes in total at an average speed of 213 km/h [3]. The travel time along the Honam line linking Seoul to Mokpo (at Southwest) was also expected to be shortened from 4 hours 42 minutes before the KTX opening to 2 hours 58 minutes [12]. A total of 46 train sets were expected to operate on the line, of which 12 built entirely in France by Alstom; the production of the remainder trains were moved gradually in South Korea through the know-how transfer from Alstom to local partners (TGV Korea-consortium) [1][6].

The Societe Nationale des Chemins de Fer (SNCF) was also involved in construction works of the KTX network in South Korea. The SNCF International's involvement in Korea included in summary: assistance by the French company to South Korean engineers in electrifying the Daegu-Busan and Daejeon-Mokpo lines and on linking the existing conventional rails to the high-speed

TABELLA 1 - TABLE 1

I PRINCIPALI CRITERI PROGETTUALI DELL'ALTA VELOCITÀ SUDCOREANA - THE MAIN DESIGN CRITERIA OF THE SOUTH KOREAN HIGH-SPEED RAIL [1][3]

Velocità operativa massima <i>Max operating speed</i>	300 km/h
Velocità di progetto <i>Design speed</i>	350 km/h
Raggio minimo <i>Standard radius</i>	7,000 m
Intervia <i>Track centerline spacing</i>	5 m
Sezione trasversale in galleria <i>Tunnel cross section</i>	107 m ²
Lunghezza totale della linea <i>Total line length</i>	408.5 km (I fase)
Estesa linea in scavo <i>Earthwork</i>	119.59 km (29%)
Estesa ponti <i>Bridge</i>	152.73 km (37%)
Estesa gallerie <i>Tunnel</i>	138.68 km (34%)
Scartamento <i>Track gauge</i>	standard (1435 mm)
Armamento <i>Track</i>	UIC 60
Pendenza massima <i>Maximum grade</i>	15‰
Pendenza adottata nell'estesa <i>Grade by percent</i>	(100%)
Meno di 5 ‰ <i>Less than 5‰</i>	191.74 km (47%)
Da 5 al 10 ‰ <i>5 to 10‰</i>	96.06 km (23%)
Dal 10 al 15 ‰ <i>10 to 15‰</i>	123.20 (30%)

GEC-Alsthom (oggi Alstom), Siemens e Mitsubishi, rispettivamente costruttori dei treni francesi TGV, dei treni tedeschi ICE e dei treni giapponesi Shinkansen [2]. Nel 1993, dall'alleanza tra Alstom e la coreana Eukorail nasce il consorzio Korea-TGV (Korea TGV consortium), organizzato come riportato in [3], che nel giugno 1994 ottiene il contratto per gli appalti del materiale rotabile [7][11].

Nel 1998 viene stabilito uno schema graduale di costruzione e messa in servizio della linea ad alta velocità in due fasi (cfr. paragrafo 1.2). Al termine della prima fase di lavori la lunghezza totale prevista per la linea ad alta velocità Seoul-Busan è di 408,5 km (comprensivi della linea appositamente costruita e di quella adeguata); al termine

TABELLA 2 - TABLE 2

RIPARTIZIONE PERCENTUALE DELLE FONTI DI FINANZIAMENTO PER LA COSTRUZIONE DELLA LINEA KTX SEOUL-BUSAN - FASE 1 - PERCENTAGE DISTRIBUTION OF FUNDING SOURCES FOR THE CONSTRUCTION OF THE KTX SEOUL-BUSAN LINE - PHASE 1 [3]

Fonte di finanziamento <i>funding</i>	Piano del 1993 <i>Original plan</i>	Piano del 1998 <i>Revised plan</i>
	(%)	(%)
Contributo statale <i>Gov't contribution</i>	45	45
Sovvenzione <i>Subsidy</i>	35	35
Prestito <i>Loan</i>	10	10
Finanziamento KHRC <i>Financing by KHRC</i>	55	55
Obbligazioni in valuta locale <i>Local currency bonds</i>	31	29
finanziamento offshore <i>Offshore financing</i>	18	24
capitale privato <i>Private capital</i>	6	2
Totale <i>Total</i>	100	100

lines, making their way of functioning compatible to the transit of KTX trains; supervision of the homologation tests and factory acceptance of the KTX trainsets before test running each of them (KHRC wanted to obtain the viewpoint of a consultant who was neutral with respect to the manufacturer); training in high-speed operations management in France. SNCF is continuing to supervise maintenance, training and operation assistance on the high-speed lines; SNCF experts are sent regularly to Korea in order to assist the client in maintaining its high-speed infrastructure [13].

Performance-validation tests of KTX trains were possible before commissioning of the high-speed line (commercial launching of the KTX happened on April 1, 2004) with the opening in 1999 of the pilot segment within the Gyeongbu line. Fig. 2 shows KTX network, detailing the segments and the travel times in relation to the planned construction phases [4].

1.2. Construction stages of the High-Speed network

The first phase of construction of the KTX network, completed in 2004, involved the construction of the high-speed link between the Southwestern outskirts of Seoul and Daegu (about two-thirds of high-speed line between

della seconda fase, la lunghezza totale prevista per la stessa linea viene estesa a 412 km [1][4]. Inoltre, con l'avvio dei servizi KTX sulle tratte successive dell'itinerario Seoul-Busan si prevede la riduzione complessiva del tempo di percorrenza, rispetto al tipo di servizio ferroviario precedentemente erogato, da poco più di 4 ore a 2 ore e 40 minuti; un'ulteriore riduzione è auspicata con il completamento dei lavori nel 2010, quando i segmenti di linea tra le stazioni dislocate lungo l'itinerario Seoul-Busan diventeranno percorribili nel complesso in 116 minuti alla velocità media di 213 km/h [3]. Sull'altra linea ad alta velocità (linea Honam), che connette la capitale con la città di Mokpo, a sud-ovest, è anche prevista la riduzione del tempo di percorrenza, rispetto al tipo di servizio precedente, da 4 ore e 42 minuti a 2 ore e 58 minuti [12].

All'entrata in servizio sono attesi in linea 46 treni KTX, di cui dodici sono realizzati interamente in Francia da Alstom; la produzione dei rimanenti treni è spostata progressivamente in Corea del Sud grazie al trasferimento del know-how da Alstom ai partners locali (consorzio Korea-TGV) [1][6]. Anche la Société Nationale des Chemins de Fer (SNCF) è coinvolta nei lavori di realizzazione della rete KTX in Corea del Sud; il coinvolgimento internazionale di SNCF prevede nelle linee essenziali: l'assistenza, da parte della società francese, ai tecnici sudcoreani nei lavori di adeguamento delle tratte di linee convenzionali Daegu-Busan e Daejeon-Mokpo e nei lavori di collegamento delle linee convenzionali alle linee ad alta velocità progressivamente svolti per consentire il transito dei primi treni KTX; la supervisione delle prove di omologazione e di accettazione in fabbrica per la fase formale di collaudo dei treni KTX (SNCF è consulente neutrale di KHRC rispetto al costruttore); lo svolgimento in Francia di attività di training sulla gestione dei servizi KTX. SNCF continua fino a tempi recenti a supervisionare le attività di manutenzione, di formazione del personale e di esercizio delle linee ad alta velocità in Corea del Sud ed a inviare tecnici esperti al fine di fornire un supporto adeguato al mantenimento efficiente della rete ferroviaria veloce sudcoreana [13]. Il test di funzionalità e sicurezza dei treni KTX è possibile prima dell'entrata in servizio della linea AV avvenuto nel 2004, grazie all'inaugurazione nel 1999 del tratto pilota ricadente nella linea Gyeongbu.

La fig. 2 fornisce la mappa delle linee ferroviarie KTX ad alta velocità, con indicazione delle tratte successive e dei relativi tempi di percorrenza [4].

1.2. Fasi costruttive del sistema AV

La prima fase costruttiva della rete ferroviaria KTX, completata nel 2004, prevede la realizzazione del collegamento ad alta velocità tra la periferia sud-ovest di Seoul e Daegu (circa due terzi della linea ad alta velocità tra Seoul e Busan) ed il mantenimento della linea ferroviaria convenzionale tra Daegu e Busan (cfr. fig. 1). Il progetto prevede anche l'adeguamento funzionale e l'elettificazione delle restanti tratte della linea Gyeongbu e della linea Honam da

Seoul and Busan), and the maintenance of the conventional rail line between Daegu and Busan (see fig. 1). The project also included the functional upgrades and electrification of the remaining sections of the Gyeongbu line and the Honam line from Daejeon to Mokpo; the latter is the second equally important route for KTX services [2].

After further design changes, the new high-speed tracks along Gyeongbu line were built over a length of 232 km in total (Seoul-Busan line) with 15 km of interconnections to conventional Gyeongbu line and a short interruption in Daejeon [4]. According to what was reported in 2009 by Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MLTM), the high-speed section itself included 83.1 km of viaducts and 75.6 km of tunnels [2]. Moreover, the completion of electrification works interested different segments of connection to the conventional line: the segment across Daegu and on to Busan (on the Gyeongbu line); the link along the Honam line across Daejeon, Iksan, Gwangju up to Mokpo, to faster movements towards the Southwestern areas [4]. The initial KTX system went into service on April 1, 2004, with the opening of the high-speed services on the Gyeongbu line (I phase: Seoul-Daegu) [4][11].

According to the gradual schema of construction and commissioning of high-speed lines in two phases introduced in 1998, the second phase project of the KTX railway network, completed in 2010, involved the construction of the high-speed link between Daegu and Busan on the Gyeongbu line (see fig. 2); the available budget was about 4 billion euro and the distribution of funding share was the same of the first phase (see table 2). In 2006 the project was modified again to include the Daejeon and Daegu urban area passages, as well as additional stations along the phase 1 section. For these additions, the budget and the government's share of the funding were increased inevitably [2]. Construction started in June 2002. The 128.1 km long line, which follows a long curve to the northeast of the existing Gyeongbu Line, was finished; 54 viaducts with a total length of 23.4 km and 38 tunnels with a total length of 74.2 km were completed [2]. The two largest structures are the 20 km Geomjeung Tunnel, at the end of the line corresponding to Busan and the 13 km Wonhyo Tunnel under Mount Cheonseong at South-West of Ulsan (cfr. fig. 1). The operations involved in the construction of the second tunnel suffered high delays: the construction of the tunnel was contested by environmental groups opposed to the construction of the tunnel, because it was considered a poor design choice in an area to be protected under the naturalistic, landscape and environmental profiles for the presence of alpine plains, wheat fields and about 20 swamps. The main concerns were related to the damage that could be caused by excavation works to the regime of surface and deep waters and the possible draining of wetlands crossed by the railway tunnel. The local Buddhist community was also opposed to the construction of the railway tunnel, both for reasons of environmental protection, and for the pres-

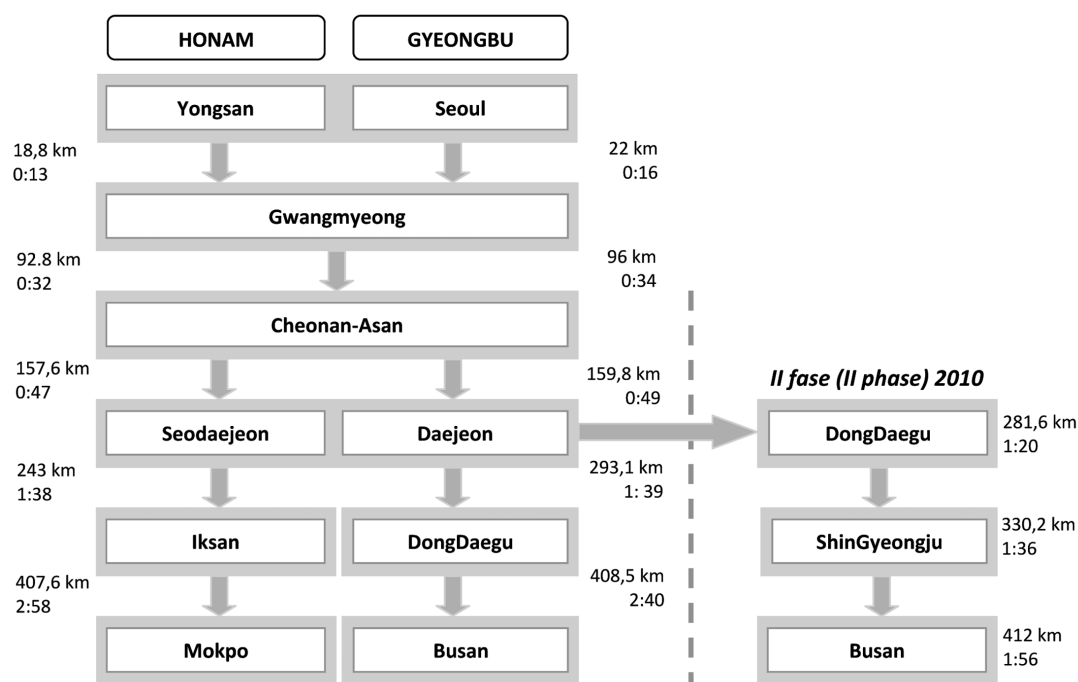


Fig. 2 - Mappa delle linee ferroviarie KTX ad alta velocità, con indicazione delle tratte e dei relativi tempi di percorrenza in relazione alle fasi costruttive previste [4] [unità in ore:minuti]. *KTX network, detailing the segments and the travel times in relation to the planned construction phases [4] [unit: hours:minutes].*

Daejeon a Mokpo; quest'ultima rappresenta un secondo itinerario altrettanto importante per i servizi KTX [2].

Dopo ulteriori modifiche al progetto, sono complessivamente costruiti ex novo 232 km lungo la linea ad alta velocità Gyeongju (itinerario Seoul-Busan) e 15 km di interconnessioni alla linea Gyeongju convenzionale, prevedendo una breve interruzione a Daejeon [4]. Secondo quanto riferito dal Ministero del Territorio, Trasporti e Affari Marittimi (Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, MLTM) nel 2009, la linea ad alta velocità include 83,1 km in viadotto e 75,6 km in galleria [2]. Il completamento dei lavori di elettrificazione interessa, inoltre, diverse tratte di collegamento lungo la linea convenzionale: la tratta tra le città di Daegu e Busan (linea Gyeongju); il collegamento lungo la linea Honam tra le città di Daejeon, Iksan, Gwangju fino a Mokpo per velocizzare gli spostamenti verso sud-ovest [4]. Il sistema KTX diventa operativo il 1 Aprile 2004 con l'inaugurazione ed il successivo avvio dei servizi ad alta velocità sulla linea Gyeongju (fase 1: Seoul-Daegu) [4][11].

Secondo lo schema graduale di costruzione e messa in servizio della linea ad alta velocità in due fasi introdotto nel 1998, la seconda fase progettuale della rete ferroviaria KTX, completata nel 2010, prevede la realizzazione

ence of various Buddhist temples, also of historic value, in the territory covered by works [14][15]. The bright tones of protest led to a suspension of works in 2005, and only ended with a supreme court ruling in June 2006 [2].

In 2008 construction works for 28.6 km of underground line and two new stations in the metropolitan area of Seoul, already envisaged in the project, but not yet realized, were announced. With the exception of the two sections across the urban areas of Daejeon and Daegu, that will be finished by 2014, the high-speed Daegu-Busan section on the Gyeongju line built in the second phase went into service on November 1, 2010; the total cost of the second phase was estimated at 5.5 billion euros [2].

The KTX railway network expansion also included further upgrades for connecting conventional lines to KTX high-speed lines and further high-speed lines; a picture of the future development of the KTX network in South Korea, taken from [5], is shown in fig. 3.

Among upgrades of conventional lines should be mentioned the electrification and the completion of the realignment and double-tracking of the Jeolla Line, which branches from the Honam Line at Iksan and continues up to Yeosu, with the aim to introduce KTX services in

della tratta ad alta velocità tra Daegu e Busan sulla linea Gyeongbu (cfr. fig. 2); il budget disponibile è di circa 4 miliardi di euro e la ripartizione delle fonti di finanziamento è analoga alla prima fase (cfr. tabella 2). Ulteriori modifiche al progetto, apportate nel 2006, prevedono la sistemazione urbana delle aree interessate dal passaggio della linea ad alta velocità (tratta Daejeon-Daegu) e la costruzione di diverse stazioni lungo la linea già realizzata nella fase 1. Inevitabile l'aumento dei costi di realizzazione e del contributo statale ai lavori [2].

I lavori di costruzione iniziano nel giugno 2002 e comprendono la realizzazione di 128,1 km di linea lungo un'ampia curva a nord-est della linea Gyeongbu esistente. Sono completati in questa seconda fase ben 54 viadotti e 38 gallerie con sviluppo complessivo rispettivamente di 23,4 km e 74,2 km [2]. Tra le opere più imponenti si citano la galleria Geomjeung (lunga circa 20 km) a ridosso del capolinea Busan e la galleria Wonhyo, che attraversa per circa 13 km il monte Cheonseong a sud-ovest di Ulsan (cfr. fig. 1). Il programma dei lavori inerenti alla costruzione della seconda galleria subisce forti rallentamenti: la costruzione della galleria è contestata da gruppi di ambientalisti contrari alla realizzazione del tunnel sotterraneo, perché ritenuto una scelta di progetto inadeguata in un territorio considerato da proteggere sotto il profilo naturalistico, paesaggistico ed ambientale, per la presenza di pianure alpine, campi di grano e circa 20 paludi. I principali timori sono imputabili al danno arrecabile dai lavori di scavo al regime delle acque superficiali e profonde ed al possibile prosciugamento delle aree umide attraversate dal tunnel ferroviario. Anche la comunità buddista locale si oppone alla costruzione della galleria ferroviaria, sia per ragioni di salvaguardia ambientale, sia pure per la presenza nel territorio interessato dai lavori di diversi templi buddisti, anche di pregio storico [14][15]. I toni accesi della protesta determinano la sospensione dei lavori nel 2005, poi riavviati in seguito alla sentenza favorevole della Corte Suprema coreana nel giugno 2006 [2]. Nel 2008 vengono annunziate la costruzione di 28,6 km di linea sotterranea e di due nuove stazioni nell'area metropolitana di Seoul, già previsti in progetto, ma non ancora realizzati.

Ad eccezione delle tratte ferroviarie passanti per le aree urbane di Daejeon e Daegu, da completare entro il 2014, la tratta AV tra Daegu e Busan lungo la linea KTX Gyeongbu realizzata nella seconda fase costruttiva entra in servizio l'1 novembre 2010; per la sua costruzione sono spesi circa 5,5 miliardi di euro [2].

Il programma di espansione della rete ferroviaria KTX prevede ulteriori potenziamenti per le connessioni delle linee convenzionali alla rete "veloce" e la costruzione di ulteriori linee ad alta velocità; un prospetto dell'evoluzione futura della rete KTX in Corea del Sud, tratto da [5], è riportato in fig. 3.

Tra i progetti di potenziamento inerenti alle linee convenzionali si citano i lavori di elettrificazione ed il completamento delle modifiche di allineamento e della posa del doppio binario lungo la linea Jeolla, che si dirama

time for the Expo 2012 in Yeosu and to raise top speed from 120 to 180 km/h. Similar treatments involved the Gyeongjeon line from Samnangjin (at the junction with the Gyeongbu line near Busan) to Suncheon; the upgrade is to be completed by 2014 [5]. Other actions included: raising the maximum speed from 120 to 180 km/h along the existing conventional rail lines between Incheon and Gimpo airports and Seoul (the upgraded segment between the two airports Incheon-Gimpo was inaugurated in 2007; the upgraded segment between Gimpo airport and Seoul was opened in 2010 [11]; Korail has provided for the opening of KTX services from/to the Incheon International Airport by 2012); the upgrade of the Ulsan-Gyeongju-Pohang section, slated to be opened by December 2014, to allow at Gyeongju on the high-speed Gyeongbu line the direct access of KTX trains to the two extreme cities (Ulsan and Pohang) [2].

On September 1, 2010, the South Korean Government announced a strategic plan to reduce travel times to under 2 hours by 2020 from Seoul towards the most important cities in South Korea. The main new element of the plan was to aim for top speeds of 230–250 km/h in view of the extensive KTX services on additional new high speed lines and conventional to be upgraded. The plan included, in fact, the construction of high-speed lines along the coasts and some high-speed lines connecting to internal areas of the country. Figure 4 illustrates the high-speed rail construction plan by 2020, as reported in [16].

Several other high-speed lines are planned or under construction: it is worth mentioning, in particular, the upgrading of links from Seoul to the Southwestern areas through the construction of the second high-speed line (the Honam Line), which branches off from the Gyeongbu line to connect Seoul to Mokpo (see fig. 1). The design studies were completed in 2006. The construction of the Honam line was divided two stages: the first step for the construction of 185.75 km from Osong station on KTX Gyeongbu line) up to Gwangju, to be completed by 2014 (the budget was set initially at about 5 billion euros); the second step for the realization of the remaining 48.74 km up to Mokpo, to be completed by 2017 (the budget was set at about 1 billion euros) [2].

On December 4, 2009, the pilot high-speed Osong-Iksan segment was inaugurated; it was also intended for use as high-speed test track for rolling stock development. In September 2010, project progress was known and the estimate of the project budget for the entire line stood at about 8 billion euros [2].

The expansion plan in the long term has provided for the re-opening of rail connections with North Korea and the strengthening of the fast rail links with neighboring countries, in view of the connections to Tran-Siberian and Tran-Chinese rail corridors [6]. Among these mention should be made of the reconnecting both to the Gyeongui line (to link Seoul to the city of Sinuiju in North Korea), and to the Donghae Line, a former railway line that connected the present-day city of Anbyon

dalla linea Honam (a Iksan) fino Yeosu, con l'intento di avviare i servizi KTX in tempo per l'Expo 2012 a Yeosu e di aumentare la velocità massima in linea da 120 a 180 km/h. Analoghi trattamenti interessano la linea Gyeongjeon da Samnangjin (posta all'intersezione con la linea Gyeongbu nei pressi di Busan) a Suncheon, da completarsi entro il 2014 [5]. Altri interventi comprendono: l'innalzamento della velocità massima da 120 a 180 km/h lungo le linee ferroviarie preesistenti di tipo convenzionale tra Seoul e gli aeroporti Gimpo e Incheon (la tratta adeguata tra i due aeroporti Incheon-Gimpo è inaugurata nel 2007; la tratta adeguata tra l'aeroporto Gimpo e Seoul è inaugurata nel 2010 [11]; Korail prevede l'avvio dei servizi KTX da/per l'aeroporto internazionale di Incheon entro il 2012); la riqualificazione della tratta Ulsan-Gyeongju-Pohang, da ultimare entro il 2014, per consentire in corrispondenza di Gyeongju, posta sulla linea ad alta velocità Gyeongbu, l'accesso diretto del KTX alle due città di estremità (Ulsan e Pohang) [2].

L'1 settembre 2010, il governo sudcoreano annuncia un piano strategico per la riduzione dei tempi di viaggio a meno di 2 ore entro il 2020 da Seoul verso le principali città del Paese. L'elemento innovativo del piano proposto consiste nell'innalzamento della velocità massima di percorrenza a 230-250 km/h in vista dell'introduzione estensiva dei treni veloci KTX su ulteriori nuove linee ad alta velocità e su quelle convenzionali da adeguare. Il piano include, infatti, la costruzione di linee costiere ad alta velocità e di alcune tratte AV di collegamento alle zone più interne del Paese. La fig. 4 illustra le previsioni di piano con orizzonte al 2020, come riferite in [16].

Diverse altre linee ad alta velocità sono in programma o in corso di realizzazione: occorre citare, in particolare, il potenziamento dei collegamenti da Seoul verso sud-ovest attraverso la definizione della seconda linea ad alta velocità (linea Honam) che si dirama dalla linea Gyeongbu per collegare Seoul a Mokpo (cfr fig. 1). I relativi studi progettuali sono completati nel 2006. Il progetto della linea Honam si articola in un primo step per la costruzione di 185,75 km dalla stazione di Osong (sulla linea KTX Gyeongbu) fino a Gwangju, da completare entro il 2014 (l'iniziale previsione di budget è



Fig. 3 - Mappa della rete ferroviaria sudcoreana aggiornata al 2008. *The South Korea's railway network up to date to 2008* [5].

in North Korea, with Yangyang, in South Korea; after the division of Korean Peninsula, the second line was closed to transit. The program is the most typical example of infrastructure cooperation not only for the Korean Peninsula, but also for the countries of Northeast Asia through the implementation of the transcontinental rail systems of interest for the Korean Peninsula, Russia, Central Asia and Europe, which will necessarily require uniform technical specifications for interoperability. The main problem concerns the cooperation between the two

pari a circa 5 miliardi di euro); il secondo step per la realizzazione dei rimanenti 48,74 km fino a Mokpo, da completare entro il 2017 (con un budget previsto pari a circa 1 miliardo di euro) [2]. Il 4 dicembre del 2009 è inaugurata la tratta pilota ad alta velocità Osong-Iksan utile per testare il materiale rotabile. Nel settembre 2010, sono già noti gli stati di avanzamento progettuali e le nuove stime di budget che ammonta a circa 8 miliardi di euro per la realizzazione dell'intera linea [2].

È nei propositi la riapertura dei collegamenti ferroviari con la Corea del Nord ed il rafforzamento dei collegamenti ferroviari veloci verso diversi paesi limitrofi, in vista della connessione con le ferrovie Transiberiana e Transinese [6]. Sono in previsione, seppur nel lungo termine, il ricongiungimento sia alla linea ferroviaria Gyeongui (per collegare Seoul alla città di Sinuiju in Corea del Nord), sia alla linea ferroviaria Donghae, attualmente in disuso, che collegava l'attuale città di Anbyon in Corea del Nord, con Yangyang, in Corea del Sud; la linea è stata dismessa in seguito alla divisione delle due Coree. Il programma rappresenta un esempio tipico di cooperazione infrastrutturale interessando non solo le due Coree, ma anche i paesi del nord-est asiatico attraverso l'attuazione di un sistema ferroviario transcontinentale di interesse per la penisola coreana, la Russia, l'Asia centrale e l'Europa, che richiederà necessariamente specifiche tecniche omogenee di interoperabilità. Il principale problema riguarda la cooperazione tra le due Coree nel campo dei trasporti. Sebbene il volume degli scambi tra Corea del Sud e Corea del Nord sia aumentato con una media annua del 15% dal 1991 al 2006 e solo negli anni 2005-2006 del 27,9%, sussistono diverse questioni da affrontare: l'infrastruttura richiede connessioni tra le reti ferroviarie delle due Coree, ma la linea ferrata in Corea del Nord, totalmente elettrificata e più del 90% con scartamento standard, è prevalentemente a binario unico; le differenze nei sistemi di elettrificazione ferroviari dei due paesi limitano il livello di accesso reciproco e di interoperabilità; gli alti costi della logistica, particolarmente in Corea del Nord, limitano ancora gli scambi commerciali con la Corea del Sud [17][18].

Ulteriori interventi inerenti alle linee KTX comprendono l'estensione della linea Honam fino alla stazione Suseo, a sud-est di Seoul, inizialmente pensata come capolinea. Il progetto di dettaglio di 61,1 km di linea è in corso dal settembre 2010; l'entrata in servizio è prevista entro la fine del 2014 [2][19]. L'estensione della linea ad alta velocità include nel lungo termine la realizzazione della tratta Seoul-Sokcho a nord-est e la diramazione verso sud della linea KTX Gyeongbu fino a Jinju [16] (cfr.



Fig. 4 - Mappa della rete ferroviaria KTX ad alta velocità - scenario 2020. Map of the KTX high-speed rail network by 2020 [16].

Koreas in the field of transport. Although the trade volume between South and North Korea is increased about 15% from 1991 to 2006 on average annually and only from 2005 to 2006 is increased about 27.9%, there are several issues to be addressed: infrastructure requires connections between the rail networks of the two Koreas, but the railroad in North Korea, totally electrified and over 90% with standard gauge, it is still a single-track railway; differences in railway electrification systems of the two countries restrict the level of reciprocal

TABELLA 3 - TABLE 3

EVOLUZIONE DELLA RETE FERROVIARIA SUDCOREANA: LE TAPPE SALIENTI
 EVOLUTION OF SOUTH KOREA'S RAIL NETWORK: THE MAIN STAGES

1899	Apertura della prima linea tra Noryangjin e Jemulpo <i>Opening of the first line between Noryangjin and Jemulpo</i>
1905	Apertura della linea Seoul-Busan <i>Opening of the Seoul-Busan line</i>
1914	Apertura della linea Daejeon-Mokpo <i>The Daejeon-Mokpo line is opened</i>
1948	Istituzione del Ministero dei Trasporti <i>Creation of the Ministry of Transportation</i>
1963	Istituzione della Ferrovia Nazionale Coreana <i>Creation of the Korean National Railroad</i>
1973	Primi studi per un treno ad alta velocità <i>First studies for a High-Speed train</i>
1989	Decisione inerente alla costruzione della linea ad alta velocità Seoul-Busan <i>Decision on constructions of the Seoul-Busan high-speed line</i>
1992	Avvio lavori di ingegneria civile <i>Start civil engineering works</i>
1993	Selezione della tecnologia francese TGV <i>French TGV technology selection</i>
1994	Firma del contratto con Alstom <i>Signature of a contract with Alstom</i>
1997	Presentazione del progetto del primo treno sudcoreano ad alta velocità <i>Presentation of the project for the first South Korean high speed train</i>
1998	Decisione di realizzazione del progetto in fasi <i>Decision of developing the high-speed project in phases</i>
1999	Inaugurazione della tratta pilota lungo l'asse Seoul-Busan <i>Inauguration of the pilot segment along the Seoul-Busan line</i>
2001	Inizio lavori di elettrificazione di circa 300 km di linea convenzionale <i>Start of electrification works for 300 km of conventional line</i>
30 marzo 2004 <i>March 30, 2004</i>	Inaugurazione del KTX <i>Inauguration of the KTX</i>
1 aprile 2004 <i>April 1, 2004</i>	Avvio dei servizi commerciali del KTX – fase I <i>Commercial launching of the KTX – phase I</i>
2010	Avvio dei servizi commerciali del KTX – fase II <i>Commercial launching of the KTX – phase II</i>

fig. 4). In tabella 3 le date salienti dell'evoluzione della rete ferroviaria sudcoreana.

2. Il materiale rotabile

2.1. Dal KTX al treno prototipoX

La Corea del Sud avvia il progetto di sviluppo dell'alta velocità ferroviaria con il preciso intento di acquisire leadership nel settore, seppur inizialmente non disponga di una tecnologia avanzata per i treni AV.

I 46 convogli del KTX di prima generazione, detti

access and interoperability; particularly the high cost of logistics in North Korea still limit trade exchanges with South Korea [17][18].

Other actions related to KTX lines include the extension of the Honam line to the Suseo Station, in the Southeast of Seoul, initially foresaw as a terminus. The detailed design of the 61.1 km line is underway since September 2010, with opening planned by the end of 2014 [2][19]. For the longer term, a new high-speed line will be constructed from Seoul to Sokcho on the Northeastern coast, as well as a direct branch from the KTX Gyeongbu line towards South up to Jinju [16] (see fig.4). Table 3 shows key dates in the evolution of the South Korean rail network.

2. The rolling stock

2.1. From the KTX to the HSR-350X prototype train

The South Korea started the development project of high-speed railway with the specific intention to acquire leadership in the rail sector, although the country initially did not have an advanced technology for the high-speed trains.

The 46 KTX trainsets of first generation, also known as KTX-I or as TGV-K, were built partly in France by Alstom and mainly in South Korea by Rotem (now Hyundai Rotem) [1][2][3][6][20]. The development of the KTX was shared by the Korea High Speed Railway (KHSR), which built the new high-speed lines and by the Korean National Railroad (KNR)⁽²⁾, which upgraded existing lines and

⁽²⁾ In January 2004, KNR is divided into two governmental agencies: Korail, responsible for managing rail transport services, including high-speed rail services, and Korea Rail Network Authority, KRNA (previously named KHRC), which owns the infrastructure [13], responsible for the construction of new lines and upgrades of the existing rail lines [1].

KTX-I ed anche TGV-K, sono costruiti in parte in Francia da Alstom e prevalentemente in Corea del Sud da Rotem (oggi Hyundai Rotem) [1][2][3][6][20]. La creazione del KTX viene condivisa dal Korea High Speed Railway (KHSR), che effettua la costruzione delle nuove linee ad alta velocità e dal Korean National Railroad (KNR)⁽²⁾, che effettua i lavori di adeguamento delle linee esistenti e avvia i servizi ad alta velocità a lavori ultimati [1].

Il progetto di sviluppo della tecnologia sudcoreana dell'alta velocità ferroviaria viene scandito in fasi: la prima fase di ricerca e sviluppo del progetto G7 (1996-2002), seguita dalla fase sperimentale più operativa del treno sudcoreano ad alta velocità [21]. Il Korea Railroad Research Institute (KRRI), istituito alla fine degli anni '90 grazie alla collaborazione tra il Governo Coreano, diversi consorzi privati e alcune università, è l'organismo facente capo alla Korail specializzato in ricerca e sviluppo [13][21]. Per garantire lo svolgimento del progetto secondo le fasi pianificate vengono stanziati circa 140 milioni di euro [21]. L'elemento principale del progetto G7, avviato e gestito in prima linea da KRRI, consiste nella costruzione del treno sperimentale ad alta velocità HSR-350x, concepito come il prototipo di un treno destinato al servizio commerciale. Il treno prototipo HSR-350x, costruito da Rotem (oggi Hyundai Rotem) e da altri sub-appaltatori, effettua le prime corse sperimentali nel 2002 [22]. Durante la fase di test, l'HSR-350x mantiene in linea velocità anche superiori a 300 km/h, raggiungendo la velocità massima di 352,4 km/h nel dicembre 2004 [21][22]. L'HSR-350x è poi ribattezzato "Hanvit 350", ovvero fascio di luce concentrata [21].

Il treno prototipo HSR-350x consiste di due automotrici, due carrozze motorizzate e tre rimorchi [22]. In termini di configurazione, la versione commerciale del treno può essere composta in modo flessibile sia con 20, sia con 11 carrozze [21]. Korail ha ordinato la prima serie di treni HSR-350x, prevedendo l'entrata in servizio di sei treni sulla linea Honam nel 2009 e di ulteriori quattro nel 2012 sulla linea Jeolla che si dirama dalla linea Honam a Iksan per servire la città di Yeosu a sud. Tenuto conto della domanda più contenuta su queste due linee, la composizione del treno non è di 20 carrozze, come per i treni KTX-I (limitati ad una composizione di 20 carrozze), all'epoca già operativi fino a Mokpo [22].

L'Hanvit 350 è diverso dalla prima generazione di treni KTX, sia nell'aspetto esteriore, sia sotto il profilo tecnologico. Laddove la carrozzeria del KTX-I è in acciaio dolce, la carrozzeria dell'Hanvit 350 è in alluminio; quest'ultimo ricorre ad altre nuove tecnologie e prevede, ana-

started the high-speed services after completing construction works [1].

The high-speed rail project in South Korea consisted of two phases: the first phase for the G7 research and development project (1996-2002), followed by an experimental testing phase for the South Korean high-speed train [21].

The Korea Railroad Research Institute (KRRI), instituted in the late '90s thanks to the alliance of South Korean government, research agencies, universities and private companies, is a subsidiary company of Korail specialized in research and development [13][21]. To ensure the projects proceeded as planned, about 140 million euros in project funds were allocated [21].

The main element of the G7 project, started and managed at the forefront by KRRI, was the experimental high-speed train named HSR-350x, originally meant as the prototype of a train for commercial services. The HSR-350x prototype train manufactured by Rotem (now Hyundai Rotem) and other sub-contractors, started trials in 2002 [22]. In the course of test runs, the HSR-350x reached speeds in excess of 300 km/h, achieving the maximum speed of 352.4 km/h in December 2004 [21][22]. The HSR-350x train was later officially renamed Hanvit 350, meaning streak of intense light [21]. The HSR-350x prototype train consists of two power cars, two motorized cars and three trailers [22]. In terms of configuration, the commercial train can be flexibly configured with either 20-cars or 11-cars [21].

Korail ordered the first batch of HSR-350x trains: six destined for KTX services planned on the Honam Line from 2009, followed a year later by four more for the Jeolla line, that branches off the Honam line at Iksan to serve the Southern city of Yeosu. Considering the low traffic demand on these lines, each train did not have 20-cars as for KTX-I trains (KTX-I is restricted to a 20-car formation), already operating up to Mokpo [22].

Hanvit 350 is clearly different from the first generation of KTX, both in terms of external appearance and technologies. Whereas mild steel was used for the car body of KTX-I, aluminum was used as the material of the car body for Hanvit 350; the last train also adopted many other new technologies and used, similarly to the evolution happened in France, asynchronous motors, which offer advantages in maintenance and repair. Its aerodynamic nose was designed to reduce air resistance by 14% compared with the first KTX trains [22]. Maximum design speed for KTX is 330 km/h; maximum design speed for Hanvit 350 is 385 km/h with a maximum planned operating speed of 350 km/h [21]. Aluminium car bodies, asynchronous motors, integrated gate commutated thyristor (IGCT) power switching devices were manufactured in South Korea [22]. Braking systems also reflected advances made over the last decade, both for the optimization of blending strategies with respect to the KTX-I, and for eddy-current brakes fitted to Hanvit 350, creating a

⁽²⁾ Nel gennaio 2004, KNR è divisa in due agenzie governative: Korail, preposta alla gestione dei servizi di trasporto ferroviario, anche ad alta velocità, e Korea Rail Network Authority, KR-NA (precedentemente denominata KHRC), proprietaria dell'infrastruttura [13] e preposta alla costruzione di nuove linee ed al miglioramento delle linee ferroviarie esistenti [1].

logamente all'evoluzione avvenuta in Francia, motori asincroni, che risultano vantaggiosi in fase di manutenzione e di ricambio. La sua forma consente di ridurre la resistenza aerodinamica del 14% rispetto ai primi modelli di treni KTX [22]. La velocità di progetto massima del KTX è di 330 km/h e quella dell'Hanvit 350 è di 385 km/h, con una velocità massima in esercizio di 350 km/h [21]. Sono fabbricati in Corea la carrozzeria in alluminio, i motori asincroni, i dispositivi semiconduttori di potenza a tiristori commutati a gate integrato (Integrated Gate Commuted Thyristor, IGCT) [22].

Anche il sistema frenante dell'Hanvit 350 riflette i progressi fatti negli ultimi dieci anni, sia per l'ottimizzazione delle strategie di blending rispetto al KTX-I, sia per l'aggiunta al treno HSR350x di freni che sfruttano le correnti parassite presenti sulla superficie del disco frenante (eddy current), le quali creano un'azione repulsiva rispetto al magnete frenante. In aggiunta la versione commerciale dell'Hanvit 350 è dotata a bordo di un sistema di misurazione in grado di registrare circa 400 parametri [21]. In tabella 4 un sintetico confronto tra le principali caratteristiche dei treni KTX-I e HSR350x, anche riferite in [4][6][7][20].

2.2. Il KTX-II

Le tecnologie sviluppate nella costruzione del treno Hanvit 350 sono applicate nella seconda metà degli anni 2000 alla messa a punto di un nuovo treno: il KTX-II, fabbricato da Hyundai Rotem, è il treno commerciale sudcoreano progettato per una velocità massima di 350 km/h ed una velocità in servizio di 300 km/h [21]. Degni di nota sia la flessibilità interna dei vagoni, nei quali i sedili sono orientabili secondo il senso di marcia del treno, sia la forma della testata anteriore del treno, ridisegnata a partire dall'Hanvit 350 per minimizzare la resistenza aerodinamica e resa somigliante ad un pesce locale [21]. Il KTX-II è in seguito battezzato KTX-Sancheon (in coreano sancheon corrisponde al nome di una specie locale di salmone) [2]. La produzione dei treni KTX-II è incrementata nel 2009 per rafforzare già nell'anno successivo i servizi commerciali sul collegamento ad alta velocità tra Daejeon, Iksan, Gwangju e Mokpo lungo la linea Honam (cfr. Figura 1) e sulla linea Jeolla di recente elettrificata per connettere Iksan, Suncheon e Yeosu (cfr. Figura 3). La minore domanda di trasporto che caratterizza le linee Honam e Jeolla rispetto all'asse Seoul-Busan, induce Korail a sostituire, sin dall'entrata in servizio del KTX-II, i treni KTX-I composti da 20 carrozze con treni KTX-II composti da 10 carrozze ed assegnare i treni KTX-I (con 20 carrozze) eccedenti alla linea Seoul-Busan per accrescerne la capacità di trasporto [21].

Nel febbraio 2011 il grande impatto mediatico del deragliamento di un treno KTX-Sancheon in prossimità della stazione Gwangmyeong (a sud della capitale) sulla linea Seoul-Busan spinge Korail, nonostante la modesta entità dei danni arrecati e ci fossero sufficienti garanzie

repulsive action with respect to the braking magnet [21]. In addition the commercial version had an on-board measurement system which can measure approximately 400 items [21]. In table 4 a brief comparison between the main characteristics of KTX-I and HSR350x trains, also reported in [4][6][7][20].

2.2. The KTX-II train

The technologies developed through Hanvit 350 were applied in the second half of the 2000s to a new train: the KTX-II, built by Hyundai Rotem, is the commercial high-speed train developed in South Korea with the maximum speed of 350 km/h and the revenue service speed of 300 km/h [21].

The train is characterized both by an interior flexible configuration for passenger cars, in which swiveling seats can be rotated around at terminal stations so that they always face in the direction of travel, and by the front head shape, designed basing on Hanvit 350 to minimize air resistance and inspired by an indigenous fish [21]. The KTX-II was officially renamed as KTX-Sancheon (where sancheon is cherry salmon in Korean) [2].

More KTX-II trains were built in 2009 to enhance, already the year after, the commercial services on the high-speed Honam line linking Daejeon, Iksan, Gwangju and Mokpo (see fig. 1) and on the recently electrified Jeolla Line to connect Iksan, Suncheon and Yeosu (see fig. 3). The traffic demand on the Honam and Jeolla lines was relatively low compared to the Seoul-Busan line; for this reason, immediately after the entry into service of the KTX-II, Korail substituted 20-car KTX-I trains on the Honam and Jeolla lines for 10-car KTX-II trains and allocated surplus 20-car KTX-I trains to Seoul-Busan line to increase transport capacity [21].

In February 2011, the big media impact of the derailment of a train KTX-Sancheon near the Gwangmyeong station (just at the South of Seoul) on the Seoul-Busan line induced Korail, despite the modest extent of damage and there were sufficient guarantees of safety and security on train operations, to ask the manufacturer Hyundai-Rotem the suspension of service performed by 19 KTX-Sancheon trains for a general review. Later investigation found no problems with the train, but indicated that the accident was caused by human errors in the night previous to the passage of the train by maintenance workers; therefore if timely notice had been given regarding on maintenance works and the segment had been made inaccessible to trains until the completion of works, the derailment would not have happened [2][23].

2.3. The South Korean tilting train – The prototype TTX train

Trials with another new electric train, the prototype tilting train (Tilting Train eXpress:TTX, later also re-

TABELLA 4 - TABLE 4

DATI A CONFRONTO DEL KTX-I E DEL TRENO HSR350X - COMPARING KTX-I AND HSR350X TRAINS

Dati - Data	KTX-I*	HSR-350x **
Produttore <i>Manufacturer</i>	Alstom: 12 convogli - <i>12 high-speed trains</i> Rotem, oggi Hyundai Rotem: 34 convogli <i>Rotem, now Hyundai Rotem: 34 high-speed trains</i>	Rotem, oggi Hyundai Rotem <i>Rotem, now Hyundai Rotem</i>
Altro nome <i>Other name</i>	TGV-K	Hanvit
Data di produzione <i>Constructed</i>	1997-2000 (12 convogli); 2002-2003 (34 convogli) <i>1997-2000 (12 trains); 2002-2003 (34 trains)</i>	1996-2002
In servizio <i>Entered service</i>	dal 2004 <i>from 2004</i>	2002-2008
Treni prodotti <i>Number built</i>	46	1
Treni in servizio <i>Number in service</i>	46	0
Composizione del convoglio <i>Formation</i>	PC+MT+16 IT+MT+PC PC: automotrice di testa <i>power car - traction head</i> MT: carrozza passeggeri con carrello motorizzato <i>motorized trailer - passenger car with one bogie powered</i> IT: carrozza passeggeri intermedia <i>Intermediate trailer passenger car</i>	PC+MT+3T+M'+PC [22] PC: automotrici di testa - <i>Power car-traction head</i> ; MT: carrozza passeggeri con carrello motorizzato <i>Passenger car with one bogie powered</i> ; M': carrozza passeggeri intermedia con carrello motorizzato nella versione commerciale <i>Passenger car with one bogie powered intended for the middle of the commercial version</i> ; T: carrozza passeggeri - <i>Passenger car</i>
Capacità <i>Capacity</i>	(935+30): 127 in I classe - <i>127 first class</i> ; 808 classe standard - <i>808 standard class</i> ; 30 sedili ribaltabili - <i>30 folding seats</i>	871: versione commerciale con 20 carrozze <i>871: commercial train with 20 cars</i>
Operatore <i>Operator</i>	Korail	KRRI
Rimessa ferroviaria <i>Depots</i>	Goyang	Osong
Linee operate <i>Lines served</i>	Linea AV Gyeongbu - <i>Gyeongbu High Speed Railway</i> Linea convenzionale Gyeongbu - <i>Gyeongbu Line</i> Linea convenzionale Honam - <i>Honam Line</i>	Linea AV Gyeongbu - <i>Gyeongbu High Speed Railway</i>
SPECIFICHE TECNICHE - SPECIFICATIONS		
Carrozzeria <i>Car body</i>	Acciaio dolce <i>Steel</i>	Alluminio per la carrozza passeggeri <i>Aluminum for passenger cars</i> Automotrici di testa in acciaio - <i>Traction heads: steel</i>
lunghezza convoglio <i>Train length</i>	388,104 m	145,17 m
Lunghezza carrozza <i>Car length</i>	Automotrice di testa: 22607 mm <i>Traction heads: 22,607 mm</i> Carrozza passeggeri motorizzata: 21845 mm <i>Powered passenger cars: 21,845 mm</i> Carrozza passeggeri non motorizzata: 18700 mm <i>Unpowered passenger cars: 18,700 mm</i>	Automotrice di testa: 22690 mm <i>Traction head: 22,690 mm</i> Carrozza passeggeri motorizzata: 21845 mm <i>Powered passenger cars: 21,845 mm</i> Carrozza passeggeri non motorizzata: 18700 mm <i>Unpowered passenger cars: 18,700 mm</i>
Larghezza <i>Width</i>	Automotrice di testa: 2814 mm <i>Traction heads: 2,814 mm</i> Carrozza passeggeri: 2904 mm <i>Passenger cars: 2,904 mm</i>	Automotrice di testa: 2814 mm <i>Traction head: 2,814 mm</i> Carrozza passeggeri: 2970 mm <i>Passenger cars: 2,970 mm</i>

(segue)

TABELLA 4 - TABLE 4

(continuazione)

Altezza Height	Automotrice di testa: 4062 mm Traction heads: 4,062 mm Carrozze passeggeri motorizzate: 4100 mm Powered passenger cars: 4,100 mm Carrozze passeggeri non motorizzate: 3484 mm Unpowered passenger cars: 3,484 mm	Carrozze motorizzate: 4055 mm Powered cars: 4,055 mm Carrozze passeggeri non motorizzate: 3690 mm Unpowered passenger cars: 3,690 mm
Porte Doors	Altezza: 1835 mm - 1,835 mm - high Larghezza: 700 mm - 700 mm - wide	–
Quota piano di calpestio Floor height	–	1212 mm
Velocità max Maximum speed	Velocità operativa - Dervice speed: 305 km/h Velocità di progetto - Design speed: 330 km/h	Velocità nei test - Achieved in tests: 352,4 km/h Velocità di progetto - Planned in tests/design: 385 km/h Velocità operativa prevista - Planned in service: 350 km/h
Massa Weigh	A vuoto: 701 t (690 t lunghe ⁺⁺ ; 773 t corte ⁺⁺) Empty: 701 t; (690 long t ⁺⁺ ; 773 short t ⁺⁺) A carico max: 771 t (759 t lunghe ⁺⁺ ; 850 t corte ⁺⁺) Max load: 771 t; (759 long t ⁺⁺ ; 850 short t ⁺⁺)	A vuoto: 310 t; 342 t corte ⁺⁺ Empty: 310 t; 342 short t ⁺⁺ A pieno carico: 332 t; 366 t corte ⁺⁺ Loaded: 332 t; 366 short t ⁺⁺ Aderente: 204 t; 225 t corte ⁺⁺ Adhesive weight: 204 t; 225 short t ⁺⁺ Per asse: max 17 t; 19 t corte ⁺⁺ Axle load: max. 17 t; 19 short t ⁺⁺
Motore di trazione Traction system	(12 x SM47) motore sincro trifase self-commuting invertitore a tiristore Three-phase self-commuting synchronous motors thyristor inverters	(12x) motore asincrono trifase - invertitori VVVF con 6 moduli di controllo IGCT (1 a carrello) 12 three-phase asynchronous induction motors 6 IGCT-based VVVF inverters -1 per bogie
Potenza resa Power output	12 x 1130 kW (1520 hp) totale (total) 13,56 MW (18180 hp)	12 x 1,100 kW (1,500 hp) totale - total 13200 MW (17700 hp)
Accelerazione Acceleration	da 0 a 300 km/h in 365 sec e 30 km (from 0 to 300 km/h in 365 seconds and 30 km)	–
Decelerazione Deleration	1,04 m/s ² da 300 a 0 km/h in 74 sec e 3,3 km 1.04 m/s ² from 300 to 0 km/h in 74 seconds and 3.3 km	–
Componenti ausiliari Auxiliaries	Gate Turn-Off thyristors (GTO)	1,4+0,7 MW che forniscono 670 V DC 1.4+0.7 MW, supplying 670 V DC
Sistema di alimentazione/ sistema elettrico Electric systems	Catenaria (catenary): 25 kV/60 Hz AC	Catenaria (catenary): 25 kV/60 Hz AC
Captazione Current collection method	Pantografo (monobraccio Faiveley GPU-25K) Pantograph type: single-arm, Faiveley GPU-25K	pantografo (monobraccio) (pantograph; type: single-arm)
Classificazione UIC UIC classification	Bo'Bo'+Bo'(2)(2)(2)(2)(2)(2)(2)(2)(2)(2)(2) (2)(2)(2)Bo'+Bo'Bo'	Bo'Bo'+Bo'(2)(2)(2)(2)Bo'+Bo'Bo'
Carrelli Bogies	Carrelli Jacobs tra carrozze intermedie Jacobs bogies between intermediate cars	Carrelli Jacobs tra carrozze intermedie Jacobs bogies between intermediate cars
Sistema frenante Braking system	freno rigenerativo regenerative freno reostatico rheostatic sistema di alimentazione power system freno ad attrito (assi motore) wheel tread - powered axles freno a disco (assi trainati) disc - unpowered axles	6x freno rigenerativo, freno reostatico -1 a invertitore 6x regenerative, rheostatic - 1 per inverter 8x freno ad attrito - trazione asse di testa 8x wheel tread -1 per traction head axle 4x freno a disco - 1x asse carrozza passeggeri a motore 4x wheel disc -1 per powered passenger car axle 24x freno a disco -3x asse non a motore 24 x disc - 3 per unpowered axle 4x freno eddy current - 1x carrello non motorizzato 4x eddy current - 1 per unpowered bogie

(segue)

TABELLA 4 - TABLE 4

(continuazione)

Sistema di sicurezza <i>Safety system</i>	TVM 430 (ATC), ATS	TVM 430 (ATC), ATS
Sistema di accoppiamento <i>Coupling system</i>	Scharfenberg (di emergenza) <i>Emergency</i>	Scharfenberg (di emergenza) <i>Emergency</i>
Scartamento <i>(Gauge)</i>	1435 mm <i>(1,435 mm standard gauge)</i>	1435 mm <i>(1,435 mm standard gauge)</i>

⁽⁺⁾ Unità di misura di massa del sistema anglosassone: 1 t lunga = 1,016 t; 1 t corta = 0, 907 t - *The units of mass so called in the Imperial system of measurements, as used in the United Kingdom and several other Commonwealth countries: 1 long t is equal to 1,016 kg; 1 short t is equal to 0, 907 t.*

^(*) Fonte: in Wikipedia: <http://en.wikipedia.org/wiki/KTX-I>; ^(**) fonte: in Wikipedia: <http://en.wikipedia.org/wiki/HSR-350x>.

di sicurezza sulla operatività dei treni, a chiedere al produttore Hyundai-Rotem la sospensione dei servizi svolti dai 19 treni KTX-Sancheon in esercizio per una revisione di portata globale. Il deragliament, imputato in seguito agli accertamenti ad un'inadeguata manutenzione dei binari realizzata da una squadra di operai durante la notte precedente al passaggio del treno, sarebbe stato, quindi, evitato se fosse stata data tempestiva comunicazione dei lavori in corso e la tratta fosse stata resa inaccessibile ai treni fino a lavoro ultimato [2][23].

2.3. Il pendolino coreano – Il treno prototipo TTX

Nel 2007, dopo cinque anni di studio condotto da KRRI e da un consorzio di produttori coreani, ha inizio la sperimentazione del prototipo TTX (Tilting Train eXpress: TTX, in seguito denominato anche Hanvit 200) dell'elettrotreno coreano ad assetto variabile con velocità di progetto di 200 km/h e velocità prevista in esercizio fissata a 180 km/h [22]. Ciascun carrello del treno TTX è dotato di attuatori elettromeccanici che consentono il tilting della cassa, collegata alla trave oscillante (bolster), fino a 8° verso l'interno della curva. Il sistema elettronico del TTX consente il riconoscimento della curva tramite sensori a giroscopio ed il calcolo dell'inclinazione del treno corrispondente alla velocità attuata tramite accelerometri, in combinazione con i dispositivi installati a bordo per la localizzazione del treno [22]. Un'interessante verifica sperimentale della sicurezza strutturale della trave oscillante (bolster) connessa al carrello ferroviario del pendolino coreano è riportato in [24].

Il treno TTX rappresenta per KRRI il primo treno con carrozzeria a struttura ibrida avente la parte superiore in composito leggero ed il telaio in acciaio inossidabile che garantisce al sistema robustezza ed un centro di gravità basso. La carrozzeria, in composito con fibre di carbonio con struttura a nido d'ape fabbricato ad alta pressione e temperatura con la tecnologia della formatura in autoclave, è più leggera circa del 30% di un treno convenzionale. Le prove statiche e di fatica eseguite hanno confermato il progetto della carrozzeria sotto il profilo della sicurezza. Il treno TTX è composto da sei carrozze, lunghe 23,5 m o

named as Hanvit 200), started in 2007, following five years of development by KRRI and a consortium of Korean manufacturers; the TTX train has a design speed of 200 km/h and a planned service speed of 180 km/h [22]. Electromechanical actuators on each bogie tilt the body, which is supported on a tilting bolster by up to 8° toward the inside of the curve. The electronic system of the TTX train allows to detect the curve by means of gyroscopic sensors and to calculate the inclination of the train corresponding to operating speed by means of accelerometers, in conjunction with the on-board installed devices which verify the train location [22]. An interesting evaluation of structural safety of the tilting bolster of the South Korean tilting train is reported in [24].

According to what said by KRRI, the TTX train will be the first train to have a hybrid body structure consisting of a light-weight composite upper part and a stainless steel underframe to give strength and a low centre of gravity. The carbody is made by carbon fibre composite skins with a honeycomb core fabricated at high pressure and temperature in a large autoclave; this reduces the carbody mass by 30% compared to a conventional train body. Fatigue load and static load tests performed on the carbody confirmed that the design was safe. The train formation has six-cars, which are either 23.5 m or 24.5 m long, having a maximum axle-load of 14 t; 8 bogies are powered with two 250 kW motors per bogie to produce a total output of 4MW [22].

2.4. From HEMU-400X train to KTX-III train

In 2007 KRRI started with Hyundai-Rotem, involving the Korea Institute of Construction & Transportation Evaluation and Planning (KICTEP), as well as other 20 companies and 13 universities, a further project to develop a distributed traction high-speed train with the top test speed of 400 km/h.

In order to develop this train, named Hemu-400X (High-speed Electric Multiple Unit - 400 km/h eXperiment), there were six years of experimenting; a budget of about 63 million euros was estimated as necessary for

24,5 m, con una massa per asse di 14 t; otto carrelli sono alimentati da due motori da 250kW per carrello per produrre una potenza complessiva di 4 MW [22].

2.4. Dal treno HEMU-400X al KTX-III

Nel 2007 KRRI ha avviato con Hyundai-Rotem (coinvolgendo il Korea Institute of Construction & Transportation Evaluation and Planning, KICTEP, oltre ad altre 20 imprese e 13 università) un ulteriore progetto per sviluppare un treno ad alta velocità a trazione distribuita e velocità massima di 400 km/h. Per lo sviluppo del treno, denominato Hemu-400X (High-speed Electric Multiple Unit - 400 km/h eXperiment), sono previsti sei anni di sperimentazione ed un budget di circa 63 milioni di euro [25]. Il progetto del treno prototipo a sei elementi viene completato e presentato nel mese di ottobre 2010; il prototipo è ultimato nel 2011. I test in laboratorio e poi le corse sperimentali in linea sono avviate agli inizi del 2012 e sono destinate a durare fino al luglio 2013. Sono previste corse sperimentali per 100.000 km con velocità fino a 400 km/h prima dell'entrata in servizio prevista nel 2014, solo dopo i test di affidabilità in linea [25].

Il derivato commerciale del treno Hemu-400X (noto anche come Hanvit 400) è il KTX-III, la cui entrata in servizio è prevista nel 2015. Il KTX-III è stato destinato a ridurre il tempo di percorrenza della tratta Seoul-Busan a 1 ora e 50 minuti con una velocità operativa massima di 350 km/h (poi elevata a 370 km/h). Nella configurazione di base, il treno KTX-III è dotato di 378 posti a sedere per passeggeri distribuiti in 8 carrozze. In tabella 5 un sintetico confronto tra le principali caratteristiche dei treni KTX-II e HEMU-400X. Di seguito sono riportate diverse immagini dei treni sudcoreani ad alta velocità (figg. 5, 6, 7, 8 e 9).

3. L'impatto dei servizi KTX

Il KTX apre una nuova era nella storia dei trasporti sudcoreani sin dalla sua entrata in servizio l'1 aprile



[<http://en.wikipedia.org/wiki/KTX-I>]

Fig. 5 - Il treno KTX-I. *The KTX-I train.*



[<http://en.wikipedia.org/wiki/HSR-350x>]

Fig. 6 - Il treno HSR350x. *The HSR350x train.*



[http://www.koreatimes.co.kr/www/news/nation/2011/05/117_86847.html]

Fig. 7 - Il treno KTX Sancheon. *The KTX Sancheon train.*



[<http://inspector.tistory.com/entry>]

Fig. 8 - Il treno Hemu-400X. *The Hemu-400X train.*

TABELLA 5 - TABLE 5

DATI A CONFRONTO DEL KTX-II E DEL TRENO HEMU-400X - COMPARING KTX-II AND HEMU-400X TRAINS

Dati	KTX-II*	HEMU-400X**
Produttore <i>Manufacturer</i>	Hyundai Rotem	Hyundai Rotem
Altro nome <i>Other name</i>	Hanvit	Hanvit
Data di produzione <i>Constructed</i>	2008-2011	2010-2011
In servizio <i>Entered service</i>	dal 2010 <i>from 2010</i>	dal 2011 (test in linea) <i>from 2010 (run tests)</i>
Treni prodotti <i>Number built</i>	24	1
Treni in servizio <i>Number in service</i>	19	0
Composizione del convoglio <i>Formation</i>	PC+8T+PC PC: automotrice di testa - <i>power car - traction head</i> T: carrozza passeggeri intermedia <i>Trailer - intermediate passenger car</i>	TC+4M+MC ^(It) (En) TC: carrozza rimorchio non alimentata <i>Trailer car -unpowered driving trailer</i> M: carrozza motorizzata intermedia <i>Motorized intermediate car</i> MC: carrozza rimorchio motorizzata - rimorchio alimentato <i>Motorized trailer car - powered driving trailer</i> <small>(It) Il modello commerciale è di 8 elementi con 378 posti (En) The commercial train is 8 elements with 378 seats</small>
Capacità <i>Capacity</i>	363 posti: 30 in I classe, 328 posti in classe standard, 5 posti per disabili <i>363 seats: 30 first class, 328 standard class, 5 seats for disabled persons</i>	-
Operatore <i>Operator</i>	Korail	Korail
Rimessa ferroviaria <i>Depots</i>	Goyang, Osong	Osong
Linee operate <i>Lines served</i>	Linea AV Gyeongbu - <i>Gyeongbu High Speed Railway</i> Linee convenzionali Gyeongbu, Honam, Gyeongjeon, Jeolla (da Aprile 2011) <i>Gyeongbu Line, Honam Line, Gyeongjeon Line, Jeolla Line (from April 2011)</i>	Linee AV Gyeongbu e Honam <i>Gyeongbu and Honam High Speed Railway lines</i>
SPECIFICHE TECNICHE (SPECIFICATIONS)		
Carrozzeria <i>Car body</i>	Automotrice di testa in acciaio dolce; carrozze in alluminio <i>Traction heads: steel; intermediate cars: aluminum</i>	Alluminio, composito <i>Aluminum, composite</i>
Lunghezza convoglio <i>Train length</i>	201 m	147,4 m
Lunghezza carrozza <i>Car length</i>	Automotrice di testa: 22690 mm <i>Traction heads: 22,690 mm</i> Carrozze intermedie d'estremità: 21845 mm <i>Extreme intermediate cars: 21,845 mm</i> Carrozze intermedie: 18700 mm <i>Intermediate cars: 18,700 mm</i>	Carrozze estreme: 23,5 m <i>End cars: 23.5 m</i> Carrozze intermedie: 25,1 m <i>Intermediate cars: 25.1 m</i>
Larghezza <i>Width</i>	Automotrice di testa: 2814 mm <i>Traction heads: 2,814 mm</i> Carrozza intermedia: 2970 mm <i>Intermediate cars: 2,970 mm</i>	3100 mm

(segue)

TABELLA 5 - TABLE 5
(continuazione)

Altezza Height	Automotrice di testa: 4062 mm Traction heads: 4,062 mm Carrozze intermedie d'estremità: 4100 mm Extreme intermediate cars: 4,100 mm Carrozze intermedie: 3480 mm intermediate cars: 3,480 mm	3720 mm
Quota piano di calpestio Floor height	1125 mm	–
Velocità max Maximum speed	Velocità operativa - service: 305 km/h Velocità di progetto - design: 350 km/h [21]	velocità di progetto - planned in tests/design: 400 km/h velocità max operativa prevista per il modello commerciale KTX-III planned in service for commercial train KTX-III: 350 - 370 km/h
Massa Weight	A vuoto: 403 t; 397 t lunghe ⁺⁺ ; 444 t corte ⁺⁺ Empty: 403 t; 397 long t ⁺⁺ ; 444 short t ⁺⁺ A pieno carico: 434 t [427 t lunghe ⁺⁺ ; 478 t corte ⁺⁺ Loaded: 434 t; 427 long t ⁺⁺ ; 478 short t ⁺⁺	Carico per asse: max 14 t (15,4 t corte ⁺⁺ ; 13,8 t lunghe ⁺⁺ Axle load: max. 14 t; 15.4 short t ⁺⁺ ; 13.8 long t ⁺⁺
Motore di trazione Traction system	8x motore asincrono trifase 8 three-phase asynchronous induction motors Invertitori VVVF-4 con modulo di controllo IGCT 4 IGBT-based VVVF inverters	18x motore asincrono trifase e motore sincro a magneti permanenti, invertitori VVVF, con modulo di controllo Insulate Gate Bipolar Transistor (IGBT) 18 three-phase asynchronous induction motors and permanent magnet synchronous motors, IGBT-based VVVF inverters
Potenza resa Power output	8 x 1100 kW (1500 hp) (8.8 MW/11800 hp)	20 x 410 kW (550 hp) (8,20 MW/11000 hp)
Accelerazione Acceleration	0.45 m/s ² fino a 60 km/h (da 0 a 300 km/h in 316 sec e 16,4 km) (0.45 m/s ² up to 60 km/h - 0 to 300 km/h in 316 s and 16.4 km)	0.5 m/s ² fino a 150 km/h 0.5 m/s ² up to 150 km/h: – da 0 a 300 km/h: 230 sec e 11,67 km 0 to 300 km/h: 230 s and 11.67 km; – da 0 a 350 km/h in 346 sec e 22,27 km 0 to 350 km/h in 346 s and 22.27 km; – da 0 a 400 km/h in 673 sec e 56,98 km 0 to 400 km/h in 673 s and 56.98 km
Decelerazione Deleration	In esercizio: 1.06 m/s ² (da 300 a 0 km/h in 3,3 km); in emergenza: 1.10 m/s ² Service: 1.06 m/s ² from 300 to 0 km/h in 3.3 km; emergency: 1.10 m/s ²	–
Componenti ausiliari Auxiliaries	2x1,0 MW, fornitura 670V DC, con IGBT 2 x 1.0 MW, supplying 670 V DC; IGBT-based	–
Sistema di alimentazione sistema elettrico Electric systems)	Catenaria (25 kV/60 Hz AC) Catenary 25 kV/60 Hz AC	Catenaria 25 kV/60 Hz AC Catenary 25 kV/60 Hz AC
Captazione Current collection method	Pantografo monobraccio SSS4000+ Pantograph type: single-arm, SSS4000+	Pantografo: single-bar Pantograph type: single-bar
Classificazione Classification UIC	Bo'Bo'+2'(2)(2)(2)(2)(2)2'+Bo'Bo'	2'2'+Bo'Bo'+Bo'Bo'+Bo'Bo'+Bo'Bo'+Bo'Bo'
Sistema frenante Braking system	Rigenerativo, reostatico, a disco, eddy current Regenerative, rheostatic, disc, eddy current	Rigenerativo, reostatico, a disco, eddy current Regenerative, rheostatic, disc, eddy current
Sistema di sicurezza Safety system	TVM 430 (ATC), ATP, ATS	TVM 430 (ATC), ATP, ATS

(segue)

TABELLA 5 - TABLE 5

(continuazione)

Sistema di accoppiamento <i>Coupling system</i>	Scharfenberg (di emergenza) <i>Emergency</i>	–
Scartamento <i>Gauge</i>	1435 mm <i>1,435 mm standard gauge</i>	1435 mm <i>1,435 mm standard gauge</i>

(**) Unità di misura di massa del sistema anglosassone: 1 t lunga = 1,016 t; 1 t corta = 0,907 t - *The units of mass so called in the Imperial system of measurements, as used in the United Kingdom and several other Commonwealth countries: 1 long t is equal to 1,016 kg; 1 short t is equal to 0,907 t.*

(*) KTX-II, in <http://en.wikipedia.org/wiki/KTX-II>; **HEMU-400X, in <http://en.wikipedia.org/wiki/HEMU-400X>.



[http://en.wikipedia.org/wiki/Tilting_Train_Express]

Fig. 9 - Il treno coreano TTX. The TTX train.

2004. I servizi ferroviari, però, si caratterizzano inizialmente per disguidi ed interruzioni, poiché il treno ad alta velocità condivide alcune tratte con le linee ferroviarie convenzionali. In conseguenza dei primi disservizi, l'orario dei treni viene ampiamente riorganizzato per valorizzare i treni ad alta velocità immessi sulle linee Gyeongbu e Honam. A differenza di altri paesi nei quali l'introduzione dell'alta velocità ferroviaria ha determinato drastiche riduzioni nei servizi ferroviari non-AV, la Corea del Sud ripropone diverse corse di treni locali per i collegamenti alle regioni dove i servizi KTX non sono disponibili [1]. Dai dati di tabella 6 è possibile confrontare le corse (andata-e-ritorno) sulle linee operate dal KTX e sulle linee convenzionali (linee Gyeongbu e Honam) prima e dopo l'apertura dei servizi "veloci".

Il target del gestore consiste nell'uso di almeno il 90% dei 46 treni KTX per massimizzarne la disponibilità sulle linee ferroviarie. Tuttavia la stabilizzazione dei servizi ad alta velocità richiede più impegno rispetto a quanto previsto e le autorità ferroviarie coreane sono costrette in primo luogo a ridurre la disponibilità dei treni ad alta velocità al 70%, per incrementarla poi in modo graduale nel tempo [1]. Nonostante i problemi di start-up nessuna corsa viene inizialmente cancellata e solo dopo quattro mesi di attività la puntualità dei treni KTX raggiunge un livello

the development of the project [25]. Detailed designs of the 6-car prototype train were presented in October 2010; the prototype was completed in 2011. Laboratory tests and then line tests started in early 2012 and are intended to last until July 2013. Experimental runs are planned for 100,000 km of testing with speeds up to 400 km/h before entering regular service in 2014, just after the performance-validation test in line [25]. The commercial derivative of HEMU-400X (also known as Hanvit 400) is the KTX-III train scheduled to enter service in 2015. The goal for maximum operating speed of the KTX-III train was originally 350 km/h (later raised to 370 km/h), in order to enable travel times of 1 hour 50 minutes on Seoul-Busan line. In the default configuration, the 8-car KTX-III train is equipped with 378 seats for passengers. In table 5 a brief comparison of the main characteristics of the KTX-II and Hemu-400X trains. Several pictures of the South Korean high-speed trains are showed from fig. 5 to fig. 9.

3. Impact of KTX

The KTX opened up a new era in South Korean transport history since it entered revenue operations on April 1, 2004. However, rail services were initially characterized by hitches and snags, because high-speed trains shared some sections of conventional railway lines. As a result of early failures, the train timetable was extensively reorganized around KTX services on the Gyeongbu and Honam lines. Differently from other countries where the launch of high-speed train services caused sharp reductions in regular rail services, South Korea repurposed large numbers of non-express trains to regions where KTX services were not available [1]. Data in Table 6 allow to compare trains operations (roundtrips) for KTX lines and conventional lines for Seoul-Busan and Seoul-Mokpo corridors before and after KTX.

The main objective of the rail operator was to use 90% of the 46 KTX train sets in order to maximize availability on railway lines. However, the stabilization of high-speed train services took much longer than expected; so the railway authorities had to reduce KTX availability to 70% at first and then made gradual increases over time [1].

TABELLA 6 - TABLE 6

SERVIZI FERROVIARI (CORSE ANDATA-E-RITORNO) SULLE LINEE KTX E SULLE LINEE CONVENZIONALI
TRAINS OPERATIONS (ROUNDTrips) FOR KTX LINES AND CONVENTIONAL LINES [1][7]

	Linee convenzionali nel 2003 <i>Conventional lines in 2003</i>	Introduzione del KTX <i>KTX introduction</i>		Totale <i>Total</i>	Rapporto <i>Increase rate</i>
		KTX	Linee convenzionali <i>Conventional lines</i>		
Seoul-Busan - <i>Gyeongbu Line</i>	167	96	92	188	13%
Seoul-Mokpo - <i>Honam Line</i>	62	34	36	70	13%
Totale - <i>Total</i>	229	130	128	258	13%

da record nelle corse giornaliere andata-e-ritorno che si attesta a circa il 99% (con una tolleranza di dieci minuti rispetto all'orario prestabilito) [1]. Korail considera la puntualità uno dei principali parametri per la valutazione della qualità del servizio e si impegna in tal senso sin dai primi mesi di apertura delle linee KTX: ricorre alla manutenzione preventiva, alla formazione dei macchinisti dei treni KTX e del personale di stazione, all'assegnazione di team di supporto tecnico ai macchinisti, appronta (nelle stazioni principali) treni di emergenza disponibili anche con breve preavviso, distribuisce nei depositi del materiale rotabile unità speciali per la risoluzione dei problemi tecnici. Nonostante l'indubbio successo, i mass media coreani lamentano alcuni problemi minori (le sedute troppo strette nella classe economy e i posti a sedere fissi che non possono essere ruotati per assecondare il verso di marcia), inizialmente sacrificati (per puntare ad un servizio quanto più possibile veloce ed efficiente, anche sotto il profilo economico), poi affrontati da Korail per migliorare l'offerta e catturare più passeggeri [1].

Le tariffe dei treni KTX sono determinate grazie a studi condotti da organizzazioni dei consumatori ed in base alle opinioni degli utenti acquisite in audizioni pubbliche. Le tariffe di base del servizio KTX su alcune tratte della rete ferroviaria e le tariffe corrispondenti applicate agli analoghi collegamenti in aereo sono riportati in tabella 7 tratta da [1].

La politica tariffaria nei servizi KTX poggia sul criterio dell'applicazione di tariffe più economiche in propor-

Despite the problems of start-up no run was initially cleared and, only after four months, punctuality of the KTX trains reached a record for daily roundtrip operations stood at about 99% (within 10 minutes of on-time service) [1]. Korail considers punctuality to be a key parameter in evaluating the quality of service; since the early months of KTX opening, it has made a great deal of effort to improve the punctuality level of its trains through preventive maintenance, training drivers of KTX trains and station personnel, assigning technical support teams to KTX train drivers, introducing (in main stations) emergency train sets available at short notice, and distributing in the rolling stock deposits special units for the resolution of technical problems. In spite of these undoubted successes, the Korean mass media found many faults with many minor problems (the narrow seats in economy class and the fixed seats that could not be turned to face the travel direction) that were initially sacrificed (to point to a service as much as possible fast and efficient, even in economic terms), then resolved by Korail in order to improve KTX train services and increase passenger demand [1].

The KTX fares were determined based on studies by consumer organizations and public opinions collected from public hearings. The basic fares for KTX services on some sections of the rail network and the corresponding fares for analogous trips by air are shown in table 7 drawn from [1].

The fare policy reflected a tapered system in which fares became proportionally cheaper as distance increased; KTX services were set to be 30% cheaper than competing airfares and 35% more expensive than Saemaul expresses trains, which before the opening of KTX services were in South Korea the fast class of trains operating on the Gyeongbu line and other selected conventional lines (although the travel time from Seoul to Busan was almost 5 hours). To attract more passengers, Korail started to offer various discounts: pass discounts of 60% for 30 days, reservation discounts from 3.5% to 20%, commuter passes from 15% to 30%, and group discounts (10% for 10 people or more) [1].

The number of passengers in the Gyeongbu and Honam lines, however, was lower than expected,

TABELLA 7 - TABLE 7

TARIFFE KTX VS TARIFFE AEREO IN WON SUDCOREANI
KTX FARES IN WON^(*) [1]

Tratta <i>Segment</i>	KTX		Aereo <i>Airplane</i>
	Business	Economy	
Seoul-Daegu	48900 (33.35)	34900 (23.80)	62000 (42.28)
Seoul-Busan	63000 (42.96)	45000 (30.69)	70500 (48.08)
Seoul-Gwangju	51200 (34.92)	36600 (24.96)	62500 (42.62)
Seoul-Mokpo	58200 (39.69)	41400 (28.23)	67900 (46.31)

(*) 1 Won = 0.0007 Euro (la cifra in parentesi è in euro). The amount in brackets is in euros.

zione alla maggiore distanza da percorrere; ciò per rendere i servizi KTX più economici del 30% delle concorrenti tariffe aeree, anche se più care del 35% di quelle dei treni espressi Saemaul che, prima dell'introduzione dei treni KTX, rappresentavano in Corea del Sud la classe veloce di treni operanti sulla linea convenzionale Gyeongbu e su altre linee selezionate (sebbene collegassero Seoul e Busan in quasi 5 ore). Per attrarre più passeggeri, Korail inizia ad offrire diverse tariffe scontate: abbonamenti scontati del 60% per 30 giorni, sconto sulla prenotazione dal 3,5% al 20%, abbonamenti per pendolari dal 15% al 30%, sconti per gruppi (10% per 10 o più persone) [1].

Il numero dei passeggeri nelle linee Gyeongbu e Honam è però minore rispetto a quanto atteso, sia per la crisi economica coreana, sia per l'opposizione di gruppi di utenti delle linee ferroviarie convenzionali all'introduzione dell'alta velocità. Sebbene Korail non riesca a catturare subito la domanda di viaggio prevista, è in grado di stabilire il record mondiale di trasporto di 1 milione di passeggeri nei primi 14 giorni di servizio e 10 milioni in 142 giorni [1]. Vi è qualche evidenza che la depressione dell'economia coreana del più recente passato impedisca il trasferimento di passeggeri da altri modi di trasporto: si assiste ad una carenza di posti a sedere nelle principali corse del KTX nelle fasce orarie di punta, particolarmente nel fine settimana, e tanti posti vuoti nelle ore di morbida. Kim Chun-Hwan (2005) sottolinea che l'introduzione di più corse di treni KTX nei periodi di elevata domanda non può che favorire i servizi KTX nell'attrarre maggiori utilizzatori [1]. Infatti, all'avvio sono operativi 128 servizi KTX; il numero è poi progressivamente incrementato per assecondare le evoluzioni della domanda e le sue punte (l'aumento degli utenti del venerdì con la diffusione della settimana a 5 giorni lavorativi). Nel 2007, circa 140-149 servizi KTX operano nei giorni feriali e 164 nei weekend; la sola tratta Seoul-Busan conta da 104 a 126 corse (circa il 75% del totale) [4].

Il trend osservato è in ogni caso favorevole ai servizi di alta velocità. Nei primi quattro mesi dall'entrata in servizio si registra un aumento nel numero medio giornaliero di passeggeri sulle linee Gyeongbu e Honam, circa 1,3 volte superiore ai valori del 2003; da aprile a luglio 2004 circa 22 milioni di passeggeri fruiscono del servizio ferroviario (poco più di otto milioni di passeggeri utilizzano i servizi KTX e circa tredici milioni viaggiano sulle linee ferroviarie convenzionali) [1]. Già nell'agosto 2004 i treni KTX in servizio trasportano circa 70 mila persone al giorno [1][4]; il numero medio giornaliero di passeggeri raggiunge la cifra di 88 mila nel 2005, di 100 mila nel 2006 fino a 103 mila nel marzo 2007. Il numero totale di passeggeri trasportati dal KTX dall'entrata in servizio nell'aprile 2004 fino al mese di aprile 2007 supera i 100 milioni, risultato raggiunto solo in Giappone ed in Francia [4].

Dal lancio del KTX i proventi introitati dai servizi ferroviari seguono un trend di crescita e le vendite di biglietti aumentano considerevolmente, quasi raddoppiando i numeri registrati nello stesso periodo dell'anno pre-

due both to the Korean economic crisis, and to objections that conventional train users had against the new high-speed rail. Although the KTX did not achieve the anticipated travel demand, it was able to establish a world record of carrying 1 million passengers in the first 14 days and 10 million in 142 days [1]. There was some evidence that the recent depressed Korean economy hindered transfer of passengers from other transport modes: there were seat shortages in many KTX runs during peak hours, especially on weekends, and lots of seats were empty during non-peak hours. Kim Chun-Hwan (2005) explained in [1] that a larger availability of KTX trains during high-demand periods would have captured more users. At the KTX opening, indeed, there were 128 KTX services; then the number was increased in response to the changing demand and its peaks (the increase in the number of Friday users with the spread of a 5-day working week). In 2007 there were 140-149 services on weekdays and 164 on weekends; the Seoul-Busan section had 104 to 126 runs (about 75% of the total) [4]. The observed trend was in any case favorable to the high-speed services. In the first four months from the KTX opening, average daily passenger numbers on the Gyeongbu e Honam lines increased about 1.3 fold over 2003 levels; from April to July 2004 about 22 million passengers travelled by trains (about 8 million passengers travelled by KTX trains and about 13 million passengers travelled by conventional trains) [1]. As of August 2004 the KTX trains carried about 70,000 people a day [1][4]; the daily average number of passengers rose to 88,000 in 2005, passing 100,000 in 2006 up to more 103,000 in March 2007. The total number of passengers carried by KTX, from the KTX opening in April 2004 until April 2007, exceeded 100 million, a result achieved only in Japan and France [4]. Since the launch of the KTX, train operating income followed a growth trend and the ticket sales increased significantly, almost doubling the numbers recorded in the same period of the previous year (total ticket sales recorded receipts amounted to about 174 million euros with only the KTX services for the period from April to July 2004 [1]). The KTX earned about 1.4 million euros per day [1]; the data was recorded since 2005, when the KTX services already moved about 52% of the nation's total rail volume and recorded 45% of the total rail operating income, rose to 66% in 2007 [1][4].

One of the main benefits of the start of KTX services was the widespread reduction in travel time; thanks to high-speed services, the time savings were undeniable: about 70% of the nation was within 3 hours from the rest of the country. For example, the travel time from Seoul to Busan was shortened by about 2 hours and the travel time from Seoul to Mokpo was shortened by more than 4 hours and 30 minutes (April 2003) to 2 hours and 58 minutes (April 2004), compared to earlier conventional train services [1][4]. A travel time comparison for different transport modes on some segments of the Seoul-Busan line is shown in Table 8 as drawn from [1][7].

cedente (le vendite totali di biglietti registrano nel periodo aprile-luglio 2004 incassi pari a circa 174 milioni di euro solo con i servizi KTX [1]). I guadagni imputabili all'AV si attestano a circa 1,4 milioni di euro al giorno [1]; il dato è registrato sin dal 2005, quando il servizio KTX già assorbe il 52% del volume di traffico ferroviario del paese e registra un incasso pari al 45% delle entrate totali dei servizi ferroviari, elevato al 66% nel 2007 [1][4].

Uno dei principali benefici dell'introduzione dell'alta velocità ferroviaria è rappresentato dall'ampia riduzione nei tempi di viaggio; il risparmio di tempo è innegabile grazie all'alta velocità: circa il 70% della nazione è raggiungibile in 3 ore circa dal resto del paese. Ad esempio, il tempo di viaggio da Seoul a Busan si riduce di circa due ore e quello da Seoul a Mokpo si riduce da più di 4 ore e mezza (aprile 2003) a 2 ore e 58 minuti (aprile 2004), rispetto al precedente servizio ferroviario convenzionale [1][4]. La tabella 8 confronta i tempi di viaggio impiegati da modi di trasporto diversi su alcune tratte dell'itinerario Seoul-Busan, come desunte da [1][7].

L'aumento dei tempi di viaggio osservabili per i servizi ferroviari convenzionali lungo l'itinerario Seoul-Busan (tabella 8), così come la riduzione di alcuni servizi ferroviari convenzionali registrata subito dopo l'introduzione dei treni KTX, sono riconducibili sia alle limitazioni di capacità sofferte dai servizi ferroviari non AV lungo le tratte ad uso condiviso con i servizi ferroviari ad alta velocità, sia all'aumento della frequenza delle fermate in stazione da parte dei treni convenzionali (con conseguenti aumenti nei tempi di viaggio), per garantire adeguati distanziamenti tra i treni in linea [7]. Il KTX estende anche i collegamenti pendolari da/per l'area metropolitana di Seoul abbracciando distanze fino a 150-200 km con una significativa riduzione dei tempi di viaggio.

Un ulteriore beneficio conseguente all'introduzione del KTX è riconducibile all'aumento immediato della capacità di trasporto. In termini di posti a sedere l'aumento registrato nel 2004 sulle linee Gyeongbu e Honam è di circa 1,67 volte superiore ai valori del 2003 (da 101812 posti al giorno nel 2003 a 170268 posti nel 2004, dei quali il 67% circa sulle linee ad alta velocità) [1].

La domanda di trasporto presenta però differenze significative tra le tratte Seoul-Busan e Seoul-Mokpo, sia in ragione delle diverse economie locali, sia pure in relazione alla differente densità abitativa, caratterizzanti le aree attraversate dalle linee ad alta velocità; la linea Seoul-Mokpo, inoltre, stenta a captare utenti per la preesistenza di un servizio di trasporto pubblico locale su gomma molto competitivo [4].

Un cambiamento significativo è l'aumento della quota di mercato ferroviario. Analogamente a quanto osservato in Giappone, in Francia ed in Italia con l'introduzione dei rispettivi sistemi ferroviari ad alta velocità, il trasporto ferroviario riesce ad attrarre una quota significativa di

TABELLA 8 - TABLE 8

CONFRONTO DEI TEMPI DI VIAGGIO - ITINERARIO
SEOUL-BUSAN [7]
TRAVEL TIME COMPARISON - SEOUL-BUSAN LINE

Tratta Segment	Tempi di viaggio per modo di trasporto Competing Modes			KTX
	Servizi ferroviari dei treni Saemaul ^(*) Saemaul trains	Pullman Express Bus	Aereo Air	
Seoul-Cheonan	0:57 (1:04) ^(**)	1:30	–	0:34
Seoul-Daejeon	1:39 (1:51)	1:50	–	0:51
Seoul-Daegu	3:15 (3: 40)	3:50	0:55	1:39
Seoul-Busan	4:27 (5:02)	5:20	1:00	2:40

^(*) Classe di treni Korail che operano su linee convenzionali. *Class of Korail trains operating on conventional lines*

^(**) In parentesi l'incremento dei tempi di viaggio dei treni Saemaul dopo l'avvio dei servizi KTX. *Saemaul travel time in parentheses shows increased travel time with KTX operation.*

With KTX introduction the increase of the travel time for conventional rail services on the Seoul-Busan line (see Table 8), as well as the reduction in the number of some conventional rail services were caused by two factors: the capacity limitation suffered by conventional trains on shared segments with high-speed trains (so to accommodate addition of KTX operation, service frequency of conventional trains was reduced); to compensate for longer headway, conventional trains stopped at more stations (with inevitable increase in their travel time) [7]. The KTX also expanded commuter connections from/to the Seoul metropolitan area being able to cover distances up to 150-200 km with a significant reduction in travel time.

The KTX also gave good contributions to the immediate increase of the transport capacity. In terms of seating capacity, the increase observed in 2004 on the Gyeongbu and Honam lines was about 1.67 times exceeding the values in 2003 (from 101,812 seats per day in 2003 to 170,268 seats in 2004, of which KTX seats were about 67%) [1]. However, there were large differences in passengers demand between Seoul-Busan line and Seoul-Mokpo line, explained by the nature of the local economies and population size in the areas that the two rail lines passed through; moreover, the Seoul-Mokpo line found it hard to capture users due to more competitive highway buses, already existing, running over the same section [4].

Another significant change consisted in a surge in rail's market share. Similarly to that observed in Japan, France and Italy with the introduction of their respective high-speed rail systems, rail transport was able to attract a significant proportion in airline passengers over the same sections directly affected by the launch of KTX services [4].

With the KTX opening, in fact, from January to June 2004 the monthly number of flights fell from 2,771 to

RIPARTIZIONE TRA MODI DI TRASPORTO PER LA TRATTA SEOUL-BUSAN SULLA LINEA GYEONGBU
MODAL SHARE FOR SEOUL-BUSAN KTX LINE

Tratta Section	Classificazione Classification	Autovetture Cars	Pullman Express bus	Aereo Airplane	ferrovia (railway)				Totale Total
					Totale Total	KTX	Saemaul	Mugungwha ^(*)	
Seoul-Busan	Passeggeri Passengers	3082	1912	6837	22666	20768	814	1084	34497
	quota (%)	8.9	5.5	19.8	65.7	60.2	2.4	3.1	100

^(*) La classe più economica di treni della Korail che opera su linee rurali anche con posti in piedi. *The most economical class of Korail trains operating on rural lines with standing passengers* [in http://en.wikipedia.org/wiki/Transport_in_South_Korea; <http://en.wikipedia.org/wiki/Mugungwha-ho>].

utenti che si servono del mezzo aereo lungo gli itinerari direttamente influenzati dall'introduzione dei servizi ferroviari KTX [4]. Con l'avvio delle corse dei treni AV, infatti, il numero mensile di voli si riduce da gennaio a giugno 2004 da 2771 a 2089 lungo la tratta Seoul-Busan e da 56 a 42 lungo la tratta Seoul-Mokpo. Inoltre, per effetto dell'apertura delle linee ad alta velocità servite dal KTX, la domanda di trasporto aereo, confrontando il periodo aprile 2003/marzo 2004 ed il periodo aprile 2004/marzo 2005, subisce una riduzione nel numero medio giornaliero di passeggeri per le tratte Seoul-Busan e Seoul-Mokpo rispettivamente del 36,6% e del 61,1% [7]. Lungo la tratta Seoul-Busan, inoltre, il numero medio giornaliero di passeggeri che fruiscono del mezzo aereo subisce un netto taglio da 14300 (circa 5 milioni di passeggeri annui) registrati prima dell'apertura del servizio KTX a 7360 (circa 2,7 milioni annui) nel 2006.

Il numero medio giornaliero di passeggeri che scelgono il mezzo aereo diminuisce da circa 4 mila, prima dell'apertura dei servizi KTX, a 220 nel 2006 sulla tratta Seoul-Daegu; la riduzione è più significativa rispetto alla tratta Seoul-Busan operata dai treni KTX che all'epoca viaggiano tra Daegu e Busan sulla linea convenzionale esistente e che impiegano per il viaggio complessivamente 2 ore e 40 minuti (il corrispondente tempo di viaggio in aereo è pari a circa un'ora [4]). In tabella 9 la ripartizione tra modi di trasporto per la tratta Seoul-Busan tratta da [4].

Va sottolineato che il KTX rappresenta prevalentemente un servizio di trasporto per la media e lunga percorrenza: all'avvio il KTX si assicura il 7,7% del mercato di breve distanza (fino a 100 km), il 25,2 % di quello di media distanza (da 100 a 300 km) e il 56,4 % di quello di lunga distanza (oltre i 300 km) [4]. Nel trasporto di lunga distanza la scelta del mezzo di trasporto operata dagli utenti dipende da alcuni fattori, quali il prezzo del biglietto e la sicurezza; a tal riguardo in tabella 10 è riportata la ripartizione percentuale tra i principali fattori di decisione come riferiti in [1].

Una variazione seppur meno significativa interessa la domanda di servizi di trasporto pubblico gomma (pullman "espressi") sulle lunghe distanze: il numero

2,089 on the Seoul-Busan route and from 56 to 42 on the Seoul-Mokpo route. Furthermore, air demand with KTX introduction, comparing the period from April 2003 to March 2004 with the period from April 2004 to March 2005, suffered a reduction in average daily number of airline passengers on Seoul-Busan and Seoul-Mokpo routes, by 36.6% and 61.1% respectively [7]. On the Seoul-Busan section, the average daily number of airline passengers halved from about 14,300 (about 5 million passengers annually) before the KTX opening to about 7,360 (about 2.7 million passengers annually) in 2006. The average daily number of airline passengers decreased from 4,000 before the KTX opening to 200 in 2006 on the Seoul-Daegu section; the reduction was more significant than on the Seoul-Busan section served by KTX trains that at the time travelled from Daegu to Busan on the existing conventional line with a total travel time of 2 hours and 40 minutes (the corresponding total air travel is only about 1 hour [4]). In Table 9 the modal share for Seoul-Busan KTX line drawn from [4].

It should be noted that the KTX represents mostly a medium- and long-distance transport mode; with the launch the KTX secured 7.7% in the short-distance market up to 100 km, 25.2% in the medium-distance market from 100 km up to 300 km and 56.4% in the long-distance market over 300 km [4]. Different decision factors can contribute in choosing transport means of long-distance transport; among these users usually give more importance to fare and safety. Decision factors when considering long-distance journey are shown in Table 10, as reported by [1].

An interesting variation though less significant interested express bus demand over long distances: the daily number of passengers was reduced by about 35% on the Seoul-Busan section from 2,605 passenger/day (from April 2003 to March 2004) to 1,680 passenger/day (from April 2004 to March 2005) and rose by 10% on the Seoul Mokpo section from 884 to 972 passenger/day during the same periods above mentioned for the Seoul-Busan line [7]. On short-distance routes (100 km or less) the number of users using express long-distance buses increased by about 20% [1]. Automobiles running on expressway were

TABELLA 10 - TABLE 10

FATTORI DI DECISIONE CONSIDERATI NELLA SCELTA DEL MODO DI TRASPORTO NELLA LUNGA PERCORRENZA – DECISION FACTORS WHEN CONSIDERING LONG-DISTANCE JOURNEY [1]

Tariffa <i>Fare</i>	Tempo di viaggio <i>Journey time</i>	Sicurezza <i>Safety</i>	Accessibilità <i>Accessibility</i>	Confort <i>Comfort</i>	Frequenza <i>Frequency</i>	Totale <i>Total</i>
32.8%	15.3%	22.5%	18.5%	6.8%	4.15	100%

giornaliero di passeggeri si riduce del 35% circa sulla tratta Seoul-Busan da 2605 passeggeri/giorno (periodo aprile 2003/marzo 2004) a 1680 passeggeri/giorno (periodo aprile 2004/marzo 2005) ed aumenta del 10% sulla tratta Seoul-Mokpo da 884 a 972 passeggeri/giorno nei periodi pocanzi richiamati per la tratta Seoul-Busan [7]. Lungo i collegamenti che coprono fino a 100 km il numero di utenti che fruisce dei servizi di trasporto pubblico gomma cresce del 20% circa [1]. Anche il servizio di trasporto privato su gomma risente dell'introduzione dei servizi del KTX, specialmente lungo l'asse Seoul-Busan dove si assiste ad una riduzione della domanda del 17% circa [7]. Progressivamente, il numero di passeggeri che possono raggiungere Seoul in meno di un'ora con i servizi KTX aumenta; ciò riguarda particolarmente le tratte da/per le località di Cheonan e Daejeon [4]. Nelle figg. 10 e 11 è riportata la ripartizione modale negli spostamenti lungo le linee KTX Gyeongbu e Honam.

I passeggeri sono prevalentemente lavoratori dipendenti di azienda (74%) e autonomi (13% circa), di sesso maschile, spesso con posizioni dirigenziali (con laurea o titolo superiore) [4]. Le principali motivazioni allo spostamento sono ricollegabili all'attività lavorativa (circa il 60%) nei giorni feriali e da diporto (circa il 65%) nel weekend. Altri effetti di più ampio respiro indotti dall'in-

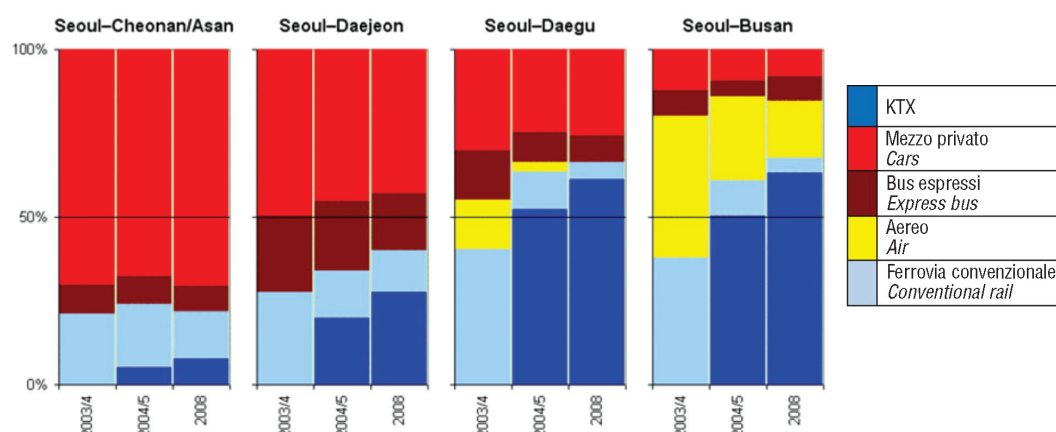
also affected by the KTX opening, especially on the Seoul-Busan section where traffic demand was reduced by about 17% [7].

Gradually, the number of passengers that can reach Seoul in less than an hour with the KTX services increased, and this applied particularly to the connections from/to the destinations of Cheonan and Daejeon [4].

Figures 10 and 11 show KTX modal share on the Gyeongbu line and Honam line. Among KTX passengers 74% were company workers and 13.2% were self-employed; the largest passengers group was formed by men often in specialist/management positions with a high educational background (college graduate or higher) [4]. For travel purpose, business totaled about 60% on weekdays and private about 65% on weekends. Other effects of longer-term produced by the launch of high-speed train services were: the significant contribution made by the KTX to decentralization by increasing the number of people commuting by train between the regions and large cities; the renewal programmes around KTX stations to improve accessibility (with positive effects on the real estate market), the promotion of tourism, even in small towns. The South Korean high-speed lines operated by Korail are currently used by more than 50 million passengers annually. Figure 12 shows trends in the daily number of users on KTX Honam and Gyeongbu lines in 2004-2010. Table 11 shows KTX annual passenger traffic, by year and in total, for passenger traffic using the KTX services on high-speed lines in 2004-2011.

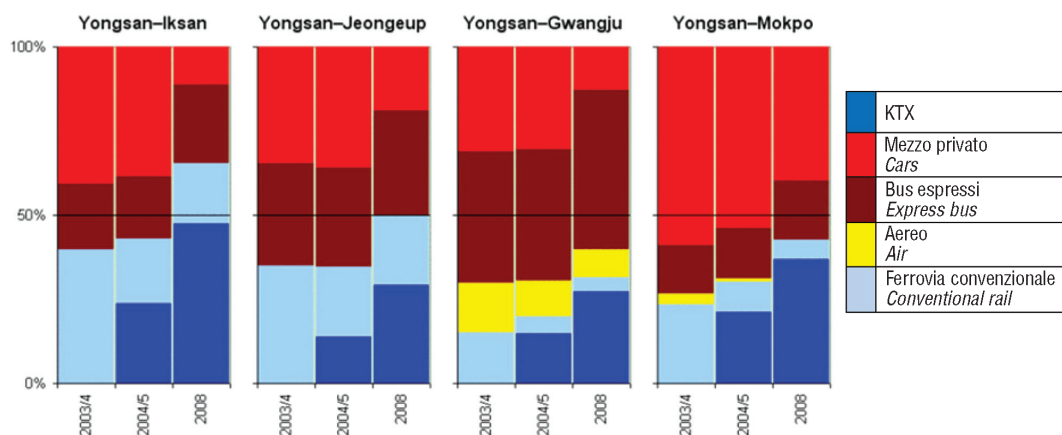
4. Conclusive considerations

South Korea has come a long way in terms of technological advances in the transport sector by developing



[<http://en.wikipedia.org/wiki/File:KTX-Gyeongbu-modal-share.gif>, in Wikipedia]

Fig. 10 - Ripartizione modale negli spostamenti lungo la linea KTX Gyeongbu. *KTX-Gyeongbu line-modal-share*.



[<http://en.wikipedia.org/wiki/File:KTX-Honam-modal-share.gif>, in Wikipedia]

Fig. 11 - Ripartizione modale negli spostamenti lungo la linea KTX Honam. *KTX-Honam line-modal-share*.

roduzione dell'alta velocità ferroviaria riguardano: il contributo alla decentralizzazione dei servizi (in aumento il numero di pendolari che fruiscono del treno per raggiungere le grandi città da zone lontane), i programmi di riqualificazione urbana attorno le stazioni del KTX, anche per migliorarne l'accessibilità (con ricadute positive sul mercato immobiliare), la promozione del turismo, anche nelle piccole città. Le linee ad alta velocità coreane gestite da Korail sono attualmente fruite da più di 50 milioni di passeggeri all'anno. La fig. 12 riporta per gli anni 2004-2010 l'andamento del numero giornaliero di utenti sulle linee KTX Gyeongbu e Honam. La tabella 11 riporta i dati, per anno ed in totale, per il traffico passeggeri che fruisce dei servizi KTX sulle linee ad alta velocità negli anni 2004-2011.

high-speed rail and creating an alternative mode of transport, being progressively framed in a context of network to meet the needs of national, regional and urban mobility in a long-term perspective.

The KTX has played a leading role in the evolution of South Korea's rail network, in helping both to create the conditions for growth and to enhance the potential of rail services for intercity connections. Since joining service in 2004, KTX has contributed to increase significantly the number of passengers traveling by train and has favored the revitalization of the railway industry, which compared to the more recent past, was benefited by a greater resource allocation. The financial resources allocated to that date, in fact, involved mainly road constructions at the expense of upgrades in railway infrastructures and

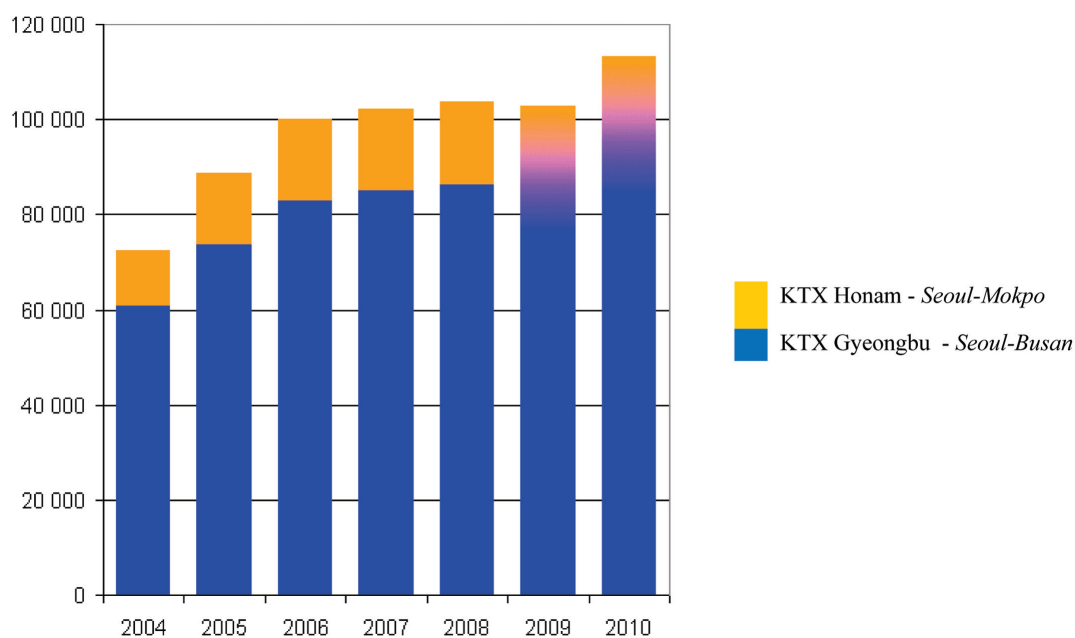
TABELLA 11 - TABLE 11

TREND DEL TRAFFICO PASSEGGERI NELLE LINEE - KTX ANNUAL PASSENGER TRAFFIC

Linea - Line	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
KTX GYEONGBU	16699	26852	30191	30979	31533	31010	34342	39060
Tasso di riempimento - Occupancy rate ^(*)	73	79	83	82	79	78	87	130
KTX HONAM	3183	5516	6299	6305	6482	6384	6842	7313
Tasso di riempimento - Occupancy rate ^(*)	37	45	52	52	53	52	60	67
KTX GYEONGJEON	-	-	-	-	-	-	118	3627
Tasso di riempimento - Occupancy rate ^(*)	-	-	-	-	-	-	107	104
KTX JEOLLA	-	-	-	-	-	-	-	309
Tasso di riempimento - Occupancy rate ^(*)	-	-	-	-	-	-	-	101
TOTALE (TOTAL)	19882	32368	36490	37284	38015	37394	41303	50309
Tasso di riempimento Occupancy rate ^(*)	63	70	75	75	73	72	81	95

Fonte - Source: Korean Government Statistics, 2011 [<http://kostat.go.kr>] - Unità: milioni.

(*) Tasso di riempimento (%): passeggeri/posti*100. Unit: passengers (million); Occupancy rate (%): passengers/seats * 100).



[<http://en.wikipedia.org/wiki/File:KTX-ridership-daily.gif>, in Wikipedia]

Fig. 12 - Andamento del numero giornaliero di utenti sulle linee KTX Gyeongbu e Honam - anni 2004-2010. *KTX-ridership-daily on the Honam and Gyeongbu lines - years 2004-2010.*

4. Considerazioni conclusive

La Corea del Sud ha percorso a grandi passi la via dell'innovazione nel settore dei trasporti sviluppando la ferrovia ad alta velocità e creando un modo alternativo di trasporto che progressivamente si inquadra in un contesto di sistema a rete atto a rispondere alle esigenze di mobilità nazionale, regionale e urbana in una prospettiva di lungo termine.

Il KTX ha giocato un ruolo da protagonista nel processo evolutivo delle reti ferroviaria sudcoreana, concorrendo a realizzare le condizioni della crescita e contribuendo alla valorizzazione del potenziale delle ferrovie a sostegno dei servizi di collegamento interurbani. Con il suo avvento nel 2004 il KTX ha contribuito in modo significativo all'aumento del numero dei passeggeri che viaggiano su ferro ed al rilancio dell'industria ferroviaria che, rispetto al più recente passato, ha potuto contare su maggiori stanziamenti di risorse.

Le risorse finanziarie stanziare fino a quella data, infatti, hanno interessato prevalentemente il settore delle costruzioni stradali a scapito del miglioramento nei servizi di trasporto ferroviario. Il settore ferroviario, più specificamente, sembrava costituire l'anello più debole dell'intero sistema di trasporto sudcoreano per le modeste velocità operative mantenute nei servizi erogati all'utenza. Ad eccezione delle tratte Seoul-Busan e Seoul-Mokpo, l'effici-

services. The rail sector, more specifically, seemed to be the weakest link in the South Korean transportation system because of low operating speeds in rail services provided to users.

Excluding the Seoul-Busan and Seoul-Mokpo lines, operating speeds have stayed for so long about at 90 to 120 km/h; this prevented to railways to compete with faster and more flexible private cars and express buses on highways [4]. Only with the opening of KTX services, by applying innovative French technologies in the production of rolling stock, as well as by constructing new high-speed lines separated by conventional rail lines, railways really became for South Korea an efficient and effective modal choice [26].

The rapid adoption of French technology and the subsequent local production of the rolling stock are strengths for high-speed railways in South Korea. To meet changing mobility needs and new trends in demand progressively outlined in the national territory, South Korea has invested (and is continuing to invest) a lot of resources, also including measures finalized to improve the rail know-how. Another factor contributing to the success achieved in rail transport was due to the structural reform of Korean railways which allowed the separation between operations and infrastructure. As in the other countries, structural reform contributed to reinforce specialties and responsible management, clarifying the role between government and operator; it also helped to guar-

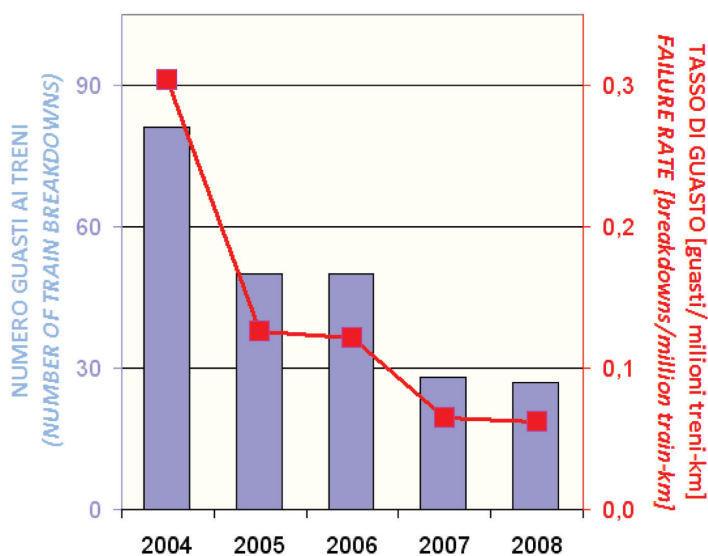
cienza operativa delle linee ferroviarie si attestava su velocità comprese tra 90 e 120 km/h, rendendo per tanto tempo il modo di trasporto su ferro poco competitivo rispetto al trasporto (privato e pubblico) su gomma, più flessibile e veloce [4]. Solo con l'avvio dei servizi KTX, grazie all'introduzione dell'innovativa tecnologia francese nella produzione del materiale rotabile ed alla costruzione di infrastrutture dedicate alle linee ad alta velocità, il trasporto ferroviario è realmente diventato per la Corea del Sud una scelta modale valida ed efficiente [26].

Il rapido recepimento della tecnologia francese e la successiva produzione in sede dei rotabili rappresentano punti di forza per l'alta velocità ferroviaria sudcoreana. Per stare al passo con le mutate esigenze di mobilità e con i nuovi trend della domanda che progressivamente si sono delineati nel territorio nazionale, la Corea del Sud ha investito (e continua ad investire) molte risorse, anche in azioni volte a potenziare il proprio know-how ferroviario.

Un altro fattore contributivo al successo raggiunto nel campo del trasporto ferroviario è riconducibile alla riforma strutturale delle ferrovie coreane che ha permesso la separazione del servizio di trasporto ferroviario dalle questioni pertinenti all'infrastruttura. Analogamente ad altri paesi, la suddetta riforma ha favorito l'alta specializzazione nel settore e la responsabilizzazione dei vertici istituzionali e aziendali ed ha contribuito a chiarire i ruoli delle parti interessate; essa ha anche contribuito a garantire coerenza a livello nazionale tra i piani di sviluppo della ferrovia ed i programmi di sviluppo tecnologico [4].

Inoltre, la crescente sensibilità per le questioni ambientali, nel contesto del dibattito globale sul cambiamento climatico, ha consolidato l'esigenza del trasporto su ferro, perché ritenuto più sostenibile in confronto agli altri modi di trasporto.

In Corea del Sud l'anidride carbonica è, infatti, responsabile per l'86% delle emissioni di gas a effetto serra. Il 30% delle emissioni totali di agenti inquinanti proviene dal settore dei trasporti, che contribuisce con un tasso di incremento annuo dell'8%. L'alta velocità ferroviaria non produce effetti inquinanti, perché utilizza energia elettrica; essa, inoltre, presenta un'efficienza energetica due volte superiore a quella automobilistica e quattro volte superiore a quella del mezzo aereo [27]. Sotto il profilo ambientale il treno veloce gioca un ruolo significativo nel contribuire alla riduzione delle emissioni di anidride carbonica e, in generale, dell'inquinamento atmosferico, te-



[<http://en.wikipedia.org/wiki/File:KTX-breakdowns.gif>, in Wikipedia]

Fig. 13 - Andamento negli anni 2004-2008 dei guasti ai treni e del tasso di guasto. KTX-breakdowns, 2004-2008 years.

antee consistency between national railway development plans and technology development schedules [4].

Moreover, the growing sensitivity to environmental issues within the global debate on climate change, strengthened the need of rail transport, because it is considered more sustainable compared to other transport modes.

In South Korea, 86% of the greenhouse gas emissions is due to carbon dioxide. Transportation accounts for 30% of total emission, and the rate of increase is about 8.1% annually. High-speed railroad has almost no pollutant, because it uses electricity; moreover, its energy efficiency is twice higher than the automobile, four times higher than the airline [27]. In environmental terms, high-speed trains play a significant role in reducing carbon dioxide emissions and, in general, air pollution, taking into account that KTX services are able to capture many users from private cars and aviation.

The last national plan for interconnection of major Korean cities by high-speed rail lines, presented by the Korean Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MLTM) has provided for the creation by 2017 of connections among the seven areas with the highest concentration of population in the South Korean peninsula (Seoul-Gyeongin, Daejeon, Gwangju, Daegu, Busan-Ulsan, Gangwon and Jeju), with a travel time less than 90 minutes, served by KTX-II trains with a maximum speed of 352.4 km/h. In plan forecasts, the construction of the railway network can give a significant contribution to reducing greenhouse gas emissions [27][28].

nuto conto che i servizi KTX catturano numerosi utenti dal mezzo privato e da quello aereo. L'ultimo piano nazionale di interconnessione tra le principali città coreane con linee ferroviarie ad alta velocità, presentato dal Ministero Coreano del Territorio, Trasporti e Affari Marittimi (Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, MLTM), prevede entro il 2017 la realizzazione dei collegamenti tra le maggiori sette aree a concentrazione abitativa della penisola sudcoreana (Seoul-Gyeongin, Daejeon, Gwangju, Daegu, Busan-Ulsan, Gangwon e Jeju) con tempi inferiori a 90 minuti, serviti da treni KTX-II con velocità massima di 352.4 km/h. Nelle previsioni di piano la realizzazione della rete ferroviaria può rappresentare un significativo contributo alla riduzione delle emissioni di gas serra [27][28].

Studi recenti hanno indagato le prestazioni ambientali dei materiali utilizzati nella costruzione dei due sistemi binario con massicciata e senza massicciata per la nuova linea ad alta velocità Seoul-Busan in Corea del Sud. L'indagine, eseguita in conformità alle norme ISO 14040 e 14041, ha coperto l'intero ciclo di vita dei due sistemi, dall'estrazione delle materie prime fino alle attività di manutenzione, per un orizzonte temporale di 20 anni. Lo studio ha confermato le migliori performance ambientali, per ciascuna voce di impatto, del sistema binario con massicciata [29].

L'opinione pubblica sudcoreana è molto attenta alle vicende evolutive della rete ferroviaria nazionale ed il governo sudcoreano e Korail sono sempre attivi, rispondendo prontamente alle domande da essa poste. Le ingenti risorse necessarie da allocare per il potenziamento e per la modernizzazione della rete ferroviaria nella sua interezza e per sostenere i costi delle contromisure necessarie ad affrontare gli inconvenienti e gli incidenti (nei quali gli utenti possono incorrere nell'esercizio di un sistema di trasporto in evoluzione) creano ancora qualche perplessità. A tal riguardo si ricordano, solo a titolo informativo, il ritardo nell'introduzione delle norme di prevenzione degli incendi, considerate nella progettazione delle linee ad alta velocità solo nel novembre 2003, quando diverse gallerie erano già in corso di realizzazione [30][31]; le irregolarità di funzionamento riscontrate in apertura riguardanti il materiale rotabile, il segnalamento, l'elettificazione ed il binario ed i guasti nei primi anni di attività imputati all'inesperienza del personale ed all'insufficienza dei controlli in fase di manutenzione [7]; la prassi attuata da Korail in caso di urgenza (senza presunti effetti sulla sicurezza in ragione delle garanzie sulla fornitura delle parti di ricambio) relativa all'uso di componenti di altri treni come pezzi di ricambio per i treni KTX (l'ente è stato indotto a mettere a punto pezzi nuovi in sostituzione dei componenti importati, in seguito a diversi incidenti accaduti in fase di esercizio, sia in piena linea, sia in stazione [2]). E ancora, secondo quanto riportato dal Ministero dei Trasporti sudcoreano, i problemi operativi ed i malfunzionamenti registrati in esercizio dal KTX-Sancheon, che

Recent studies have investigated the environmental life-cycle performance of the gravel ballast track system and the concrete track system, implemented on the new high-speed Seoul-Busan line in South Korea. The study, performed to the framework of the ISO 14040 e 14041 standards, covered the whole life-cycle of the systems, from the raw material extraction to the maintenance activities, over a service life of 20 years. The main findings were that the ballast track system had a better environmental performance than the concrete track system, for every impact categories [29].

Public opinion in South Korea is very careful to the developmental events of the national railway network and the South Korean government and Korail put much attention, responding promptly to questions posed by it.

The huge resources needed to be allocated in order to upgrade and modernize the rail network in its entirety, and to bear the costs of countermeasures necessary to prevent incidents and accidents (in which users may incur using an evolving transport system), are still creating some concerns. In this regard it must be remembered, for information purposes only, the delay in introducing fire prevention standards, which were considered in the design of high-speed lines only in November 2003, when many tunnels were already under construction [30][31]; operating irregularities found in the opening on the rolling stock, signaling, electrification and track and failures in the first years of activity attributed to the inexperience of staff and insufficient controls during maintenance [7]; practices, implemented by Korail in case of urgency (without safety effect because of the guarantees on the supply of spare parts), to use parts from other trains for spare parts of KTX trains (following several failures occurred during operations, both in line, and in station, Korail was induced to develop replacements for imported parts [2]).

And more, as reported the South Korean Ministry of Transport, operational problems and failures recorded during operations by the KTX-Sancheon, which led Korail to review all operating trains with positive effects on efficiency of service [2]. In fig. 13 KTX-breakdowns for the years 2004-2008 [2].

Finally some curiosities. If the two Koreas were still unified, extending ideally the Gyeongbu line in South Korea up to the old Gyeongui line in North Korea, it would be theoretically possible to reach Europe [32]. This could be implemented in view of realizing the Northern Corridor of Trans-Asian Railway, planned to connect Europe to the Pacific Ocean, passing through Germany, Poland, Belarus, Russia, Kazakhstan, Mongolia, China and the two Koreas [33]. Much of this planned corridor is covered by approximately 9,000 km of the Trans-Siberian



Fig. 14 - Chipochipo, simbolo dell'alta velocità sudcoreana. Chipochipo, the symbol of high-speed in South Korea.

hanno indotto Korail a revisionare tutti i treni in servizio con ricadute positive sull'efficienza del servizio [2]. In fig. 13 gli andamenti del numero di guasti ai treni e del tasso di guasto per gli anni 2004-2008 [2].

Per concludere qualche curiosità. Se le due Coree fossero ancora unite, prolungando idealmente la linea sudcoreana Gyeongbu lungo la "vecchia" linea Gyeongui in Corea del Nord, sarebbe teoricamente possibile raggiungere l'Europa [32]. Ciò potrebbe attuarsi in vista della realizzazione del Corridoio settentrionale della Ferrovia Trans-asiatica prevista per collegare l'Europa all'Oceano Pacifico, via Germania, Polonia, Bielorussia, Russia, Kazakistan, Mongolia, Cina e le due Coree [33]. Gran parte di questo itinerario è coperto da circa 9 mila km della Ferrovia Transiberiana, attraverso la quale oggi una grande quantità di merce raggiunge Mosca (e l'Europa) dall'est asiatico. Diversi ostacoli fisici e non dovranno essere superati: a causa dei problemi politici tra Corea del Sud e Corea del Nord, le merci sudcoreane sono obbligate ancora ad effettuare la prima parte del tragitto a bordo di navi sino al porto di Vladivostok dove vengono messe a bordo dei carri ferroviari. Nell'anno 2000, solo la tratta di attraversamento del confine tra le due Coree è stata riunita e saltuariamente utilizzata per gli spostamenti delle reciproche delegazioni. Nello stesso anno in Corea del Sud sono stati avviati lavori di prolungamento della linea Gyeongbu per collegare Seoul a Munsan posta al confine con la Corea del Nord; i lavori sono ancora in corso [32].

"Chipochipo" è il personaggio disegnato per promuovere l'immagine delle ferrovie coreane (fig. 14): il cappello sulla sua testa è un richiamo al treno ad alta velocità e le sue braccia tese esprimono l'atteggiamento di accoglienza del personale Korail verso gli utenti dei treni veloci [13]; infine, in fig. 15, una veduta della stazione di Seoul, sempre tratta da [13].

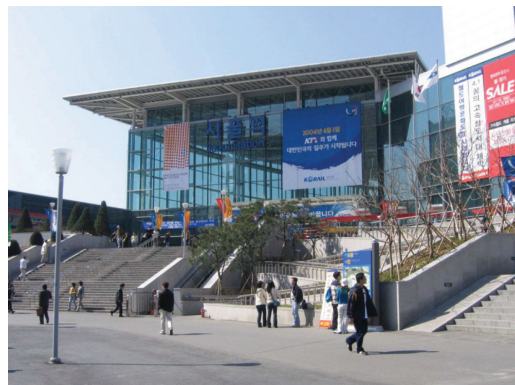


Fig. 15 - La stazione di Seoul. The Seoul station.

Railway and up to now by this route a large quantity of goods reaches Moscow (and Europe) from East Asia. Several obstacles, physical and not, must be overcome: due to political problems between South Korea and North Korea, the South Korean goods are still required to make the first part of the journey by ship up to the port of Vladivostok, to continue the route by train. In 2000, only the segment crossing the border between the two Koreas was rejoined and only occasionally used for trips of mutual delegations. In the same year South Korea started works to extend the Gyeongbu line from Seoul to Munsan, near North Korea; works are still underway [32].

"Chipochipo" has been designed to promote the image of Korean Railways (see fig. 14); the hat on its head symbolizes speed in this era of high-speed transport and its outstretched arms illustrate the welcoming attitude of Korail's staff towards customers [13]. Finally, in fig. 15, a view of Seoul station, also taken from [13].

BIBLIOGRAFIA – REFERENCES

- [1] K. CHUN-HWAN (2005), "Transportation Revolution: the Korean High-speed railway", Japan Railway & Transport Review, 40: 8-13.
- [2] Korea Train Express, in http://en.wikipedia.org/wiki/Korea_Train_Express, ultima consultazione 27.05.2012.
- [3] D. SUH, SUNDUCK (2000), "Risk Management in a Large-Scale New Railway Transport System Project, Evaluation of Korean High Speed Railway Experience", IATSS Research, 24(2): 53-63.
- [4] L. KYUNG CHUL (2007), "Launch of Korean high-speed railway and efforts to innovate future Korean railway", Japan Railway & Transport Review, 48: 30-35.
- [5] D. BRIGINSHAW (2008), "Korea's railways face a bright future", International Railway Journal, 48(7): 23-26.
- [6] A. FEDERICI (2004), "La Corea parte con l'Alta velocità", Tutto Treno, 16(175): 20-24.
- [7] D. SUH, SUNDUCK, K.Y. YANG, J.-H. LEE, B.-M. AHN, J.H. KIM (2005), "Effects of Korean Train Express (KTX) Operation on the National Transport System", Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 5: 175-189.
- [8] Alta velocità ferroviaria (High-speed rail), in http://it.wikipedia.org/wiki/Alta_velocit%C3%A0_ferroviaria, ultima consultazione 20.05.2012.

- [9] F. POLICICCHIO, (2007), "Lineamenti di Infrastrutture ferroviarie", Firenze University press.
- [10] J. RO, (2002), "Infrastructure Development in Korea", Paper prepared for The PEO Structure Specialists Meeting Infrastructure Development in the Pacific Region, September 23-24, 2002, Osaka, Japan, pp. 1-29.
- [11] J. KHOO, (2012), "Alstom in Korea", <http://www.alstom.com>, ultima consultazione: 18.05.2012.
- [12] Korail-Korea Railroad, "Outline: the era of super-speed railway", in http://info.korail.com/2007/eng/ein/ein01000/w_ein01100.jsp, ultima consultazione: 18.05.2012.
- [13] SNCF International in South Korea (2008), Leaflet n. 1, in http://www.sncf-international.net/upl/file/FP_Coree-du-Sud_GB.pdf.
- [14] Y. WOONG-SUK (2006) "Korean Risk Management Practices: a Contractor's Perspective", ITA-AITES World Tunnel Congress 2006 & 32nd General Assembly. Seoul, Korea, 22-27 Aprile, 2006; presentazione scaricabile da <http://www.ita-aites.org>.
- [15] D.-B. SEOK (2005), "Mount Cheonseong's Background", The Dong-A Ilbo, February 4, 2005. http://english.donga.com/srv/service.php3?biid=2005020522178&path_dir=20050205, ultima consultazione: 18.05.2012.
- [16] H.M. KIM (2012), "Bullet trains coming to a town near you by 2020", Korea JoongAng Daily, September, 10, 2010, <http://koreajoongangdaily.joinsmsn.com/news/article/article.aspx?aid=2925474>, ultima consultazione: 16.05.2012.
- [17] "Research underpins Korail's drive to be a global player", Railway Gazette International, May 1, 2007, <http://www.railwaygazette.com/news/single-view/view/research-underpins-korails-drive-to-be-a-global-player.html>, ultima consultazione: 18.05.2012.
- [18] H.-S., NA (2011), "Strategy of Trans-Korean Railway Transportation and Development of International Corridors", A presentation of the Head of Trans-Korea & Transcontinental Railway Research Department, Korea Railroad Research Institute: http://www.unescap.org/ttdw/common/TIS/CorridorStudy/EGM_files/ROK_1.pdf.
- [19] Ji-eun, Seo (2009). "KTX ready for big expansion in 2010". Korea JoongAng Daily, December 31, 2009. <http://koreajoongangdaily.joinsmsn.com/news/article/article.aspx?aid=2914691>, ultima consultazione: 18.05.2012.
- [20] H. LEE, D.S. MOON (2005), "Next generation of Korea Train Express (KTX): prospect and strategies", Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 5:255 - 262.
- [21] K. KIM (2008) "Korea develops high-speed ambitions". International Railway Journal, 48(5): 35-36
- [22] Briginshaw, David (2007). "KTX takes the lead in Korea", International Railway Journal, 47(1): 21-23.
- [23] H.S. LEE (2011), "Public concern mounts over bullet train", The Korea Times National, Nov. 2011, http://www.koreatimes.co.kr/www/news/nation/2011/05/117_86847.html, ultima consultazione: 18.05.2012.
- [24] K. JUNG-SEOK, K. NAM-PO (2006), "Evaluation of structural safety of a tilting bolster", Engineering Failure Analysis, 14(1): 63-72.
- [25] Project overview of HEMU-400X, in http://hispeedtrain.re.kr/eng/project/01_overview.asp, ultima consultazione: 19.05.2012.
- [26] M. VAN HATTEM (2011), "Fast times in Asia", Trains, April 2011: 32-35.
- [27] Korail - Korea Railroad, "Clean high-speed railroad", in http://info.korail.com/2007/eng/ein/ein01000/w_ein01203.jsp, ultima consultazione 16.05.2012.
- [28] A. TATA (2010), in http://m.unife.it/ricerca/finanziamenti-gestione/ricerca-internazionale/riset/schede-4/404_Corea_altavelocit.pdf, ultima consultazione 16.05.2012.
- [29] C.K. LEE, J.Y. KIM, Y.K. (2008), "Comparison of environmental loads with rail track systems using simplified life cycle assessment (LCA)", Urban Transport XIV - WIT Transactions on The Built Environment, Vol. 101: 367-372, © 2008 WIT Press, ISSN 1743-3509 (on-line), doi:10.2495/UT080361,
- [30] T.-H. HWANG (2005), "What If There Is a Fire in a Railroad Tunnel?", The Dong-A Ilbo, in http://english.donga.com/srv/service.php3?biid=2005061445518&path_dir=20050614, ultima consultazione: 19.05.2012.
- [31] News from Korea (2005), "New Disaster Manuals Outline Emergency Response", The Chosun Ilbo, in http://english.chosun.com/site/data/html_dir/2005/11/29/2005112961025.html, ultima consultazione: 19.05.2012.
- [32] Linea Gyeongui, in http://it.wikipedia.org/wiki/Linea_Gyeongui, in Wikipedia, ultima consultazione: 19.05.2012.
- [33] B. DALLA CHIARA, M. PELLICELLI, L. DE BONIS (2012), "Le connessioni ferroviarie nelle nuove relazioni economiche Europa-Asia /The railway connections in the new Europe-Asia economic relationships", Ingegneria ferroviaria, 3/2012: 249-272.