



Le locomotive a vapore americane tipo Duplex

(Breve excursus storico su un tipo di locomotiva poco convenzionale, il suo sviluppo, i successi e gli insuccessi e il suo rapido tramonto dalla scena ferroviaria nordamericana)

American steam locomotives: the Duplex

(Brief historical overview of a non-conventional type of locomotive, its development, successes, failures and its rapid fading from the North American railroad scene)

Dott. Carlo CRAVERO^(*)

1. Premessa: l'origine dell'azionamento "Duplex"

All'apice del suo sviluppo, la rete ferroviaria degli Stati Uniti d'America (USA) si estendeva nel 1930 per quasi 700.000 km e la consistenza del materiale da trazione relativo alle amministrazioni di Classe I contava un parco di oltre 56.000 locomotive [9], come riportato in tabella 1.

Le amministrazioni di Classe I includevano i maggiori operatori del settore, in funzione del loro fatturato annuo [33].

Il parco era costituito in massima parte da locomotive a vapore e la sua consistenza testimonia lo straordinario sviluppo del modo di trasporto ferroviario negli USA nella seconda e terza decade del Novecento. La crisi economica del 1929, che fece pesantemente sentire i suoi effetti

1. Foreword: the origin of the Duplex-drive

At the top of its development, the railroad network in the United States of America encompassed almost 700,000 km (430,000 miles) in 1930, and the consistency of the traction rolling stock relevant to the class I railroads was accounted by more than 56,000 locomotives [9], as shown in table 1.

The class I railroads included the major operators in the field as a function of their gross revenue [33].

This vast fleet was mostly made of steam locomotives, and its size is the proof of the extraordinary development of railroad transportation during the second and third decade of the 20th. Century. The economic crisis of 1929, whose effects were deeply felt in the following years, had significantly slowed down such growth while research and development devoted to the design and construction of more modern and powerful locomotives did not recede.

In passenger transportation, higher speeds and hauled higher loads due to the new and heavier passenger cars put into service, equipped with every comfort such as air conditioning, had characterized the tendencies of the following years [20].

Although the infrastructure of the major lines in North America, especially in the USA, allowed for very high axial loads, frequently greater than 30 tons, even the heaviest and fastest steam locomotives equipped with three coupled axles type *Pacific* (UIC 2'C1', Whyte 4-6-2) began to show their limitations and many operators gradually replaced them with larger and more powerful locomotives. Among these particular relevance had the locomotives with four coupled axles, of the *Northern* type (UIC 2'D2', Whyte 4-8-4) which, because of the rear bogie equipped with a double axle, offered larger grate surfaces and firebox volumes than other four axle locomotives, such as the *Mountain* (UIC 2'D1', Whyte 4-8-2).

The *Northern*, introduced for the first time by *Northern Pacific Railway* in 1926 [8], were excellent "dual service"

TABELLA 1 – TABLE 1

USA – Amministrazioni ferroviarie di Classe I USA - Class I railroads I		
Anno: 1930 - Year: 1930		
Linee in esercizio <i>Operating lines</i>	migliaia/km <i>miles/km</i>	429 883/691 682
Parco locomotive <i>Locomotives</i>	n.	56 582
Parco vagoni passeggeri <i>Passenger cars</i>	n.	52 130
Parco vagoni merci <i>Freight cars</i>	n.	2 276 867
Addetti <i>Staff</i>	n.	1 660 850

(Fonte - Source: G. H. DRURY, *The Historical Guide to North American Railroads*, p. 13)

^(*) Ex dipendente IVECO a riposo.

negli anni seguenti, rallentò quantitativamente tale crescita mentre non si arrestarono ricerca e sviluppo indirizzati alla progettazione ed alla costruzione di mezzi più moderni e potenti.

Nel trasporto viaggiatori, velocità sempre maggiori e pesi trainati ancora più gravosi a causa delle nuove e più pesanti carrozze immesse in servizio, dotate di tutti i *comfort* come gli impianti di condizionamento, caratterizzarono le tendenze degli anni seguenti [20].

Ancorché le infrastrutture delle linee principali in Nord America e in modo particolare negli USA permettesero carichi assai elevatissimi, non di rado superiori alle 30 t, anche le più pesanti locomotive a vapore veloci a tre assi accoppiati in rodiggio *Pacific* (UIC 2'C1', Whyte 4-6-2) iniziarono ad evidenziare i loro limiti e furono progressivamente sostituite, da parte di molte amministrazioni, con locomotive ancora più grandi e potenti. Tra queste si distinsero in modo particolare le locomotive a quattro assi accoppiati tipo *Northern* (UIC 2'D2', Whyte 4-8-4) che, in virtù del carrello posteriore a doppio asse, offrivano superfici di griglia e forni di dimensioni superiori ad altri tipi a quattro assi quali le *Mountain* (UIC 2'D1', Whyte 4-8-2).

Le *Northern*, introdotte per la prima volta dalla *Northern Pacific Railway* nel 1926 [8], erano un formidabile mezzo "dual service" capaci di trainare sia veloci convogli passeggeri che, ove necessario, pesanti treni merci sulle grandi distanze del continente nordamericano e riscosero grande successo, venendo immesse in servizio presso le maggiori amministrazioni ferroviarie, benché con qualche eccezione di rilievo, come evidenziato successivamente.

Nella trazione a vapore l'orientamento tecnico nordamericano privilegiava robustezza e semplicità nell'architettura costruttiva dei motori alla raffinatezza tecnica ed alla complessità caratteristiche della scuola europea. In massima parte le locomotive a vapore USA (ed anche canadesi) a gruppo motore singolo adottarono la soluzione dei due cilindri a semplice espansione (s.e.).

Motori pluricilindrici o la doppia espansione (d.e.) sulle locomotive con un unico meccanismo non suscitavano mai grande interesse presso le amministrazioni ferroviarie nordamericane. Locomotive tipo *Compound*, prima a due e poi a quattro cilindri, fecero la loro comparsa tra il XIX e il XX secolo, ma la s.e. finì con l'affermarsi in modo decisivo dopo l'introduzione del vapore surriscaldato e molte locomotive a d.e. furono in seguito modificate in s.e. D'altra parte in Nord America furono immesse in servizio soltanto 265 locomotive a vapore trilocindriche dal 1900 al 1930 [8] e successivamente non ne furono più costruite di nuove, mentre i quattro cilindri, sempre disposti esternamente, rimanevano confinati alle grandi locomotive articolate a doppia motorizzazione.

Le amministrazioni ferroviarie USA consideravano le locomotive con cilindri interni troppo complicate e soprattutto troppo onerose per la manutenzione, attività che

locomotive capable of hauling either fast passenger trains or, where needed, heavy freight trains over the long distances of the American continent, and gained a great success as they were put into service by the major railroad carriers, even though there were some exceptions, as outlined below.

In steam traction, the technical orientation adopted in North America tended to privilege strength and simplicity in the architectural design of the engines as opposed to the technical refinements and characteristic complexities adopted in Europe. In most cases American (and Canadian) steam locomotives with a single engine group adopted the solution of two cylinders and simple expansion (s.e.).

Locomotives equipped with multiple cylinders or double expansion (d.e.) with only one engine group, did not gain much interest among the North American railroad operators. *Compound* type locomotives, first two- then four-cylinder, began to appear between the XIX and XX century, but the s.e. gained significant presence after the introduction of superheated steam, and many of them were subsequently modified as simple engines. On the other hand in North America only 265 three-cylinder steam locomotives were put into service between 1900 and 1930 [8], and no more were built subsequently, while the four-cylinders, arranged externally as usual, were limited to the large articulated locomotives with two sets of engines.

The U.S. railroad operators considered locomotives with internal cylinders to be too complicated and costly to maintain, an activity that required the availability of appropriate pits for inspection and intervention as needed. Both in USA and Canada the needs for strength and simple constructability prevailed over the technical refinements, thus guaranteeing low operating costs and very long distances covered without the need of maintenance.

In the beginning of the Thirties, Ralph P. JOHNSON, *Chief engineer* at Baldwin, raised the problem about the question if the most modern and fast steam locomotives, such as the *Northern* with four coupled axles and a two-cylinder s.e. engine, were approaching the overloading limits on mechanisms related to reciprocating motion, such as the rods and the crankpin, because of the enormous thrust developed by the huge cylinders working at ever increasing pressures [20]. The increased speeds and the elongation of the rods, a necessary measure due to the increment of the number of coupled axles, developed inertial forces such to generate not only excessive stress on the materials, but also potentially dangerous damage to the fixed structures (the so called *hammer blow*). Ralph. P. JOHNSON also expressed some concerns about the adequacy of the modern piston valves in feeding efficiently the steam to increasingly larger cylinders at high speeds.

In 1932 Ralph P. JOHNSON proposed therefore to divide the large fast locomotives with four coupled axles into two separate and autonomous engine groups, each of them operated by two external cylinders with s.e. Such splitting

necessitava altresì della disponibilità di fosse adeguate per l'ispezione e per l'eventuale intervento. Sia negli USA che in Canada le esigenze di robustezza e semplicità costruttiva prevalsero sulla raffinatezza tecnica, a garanzia di bassi costi di esercizio e di elevatissime percorrenze senza interventi manutentivi.

All'inizio degli anni Trenta, Ralph P. JOHNSON, *Chief engineer* del costruttore Baldwin, si pose il problema se le locomotive a vapore veloci più moderne e potenti, quali le *Northern* a quattro assi accoppiati e motore bicilindrico s.e., non fossero ormai prossime ai limiti di sovraccarico sui meccanismi in movimento alternativo e rotatorio, quali i biellismi ed i perni di manovella, a causa delle enormi spinte sviluppate dai grandi cilindri funzionanti a pressioni sempre più elevate [20]. Le accresciute velocità e l'allungamento delle bielle, reso necessario per l'incremento numero di assi accoppiati, sviluppavano forze inerziali tali da generare non solo eccessive sollecitazioni sui materiali, ma anche danni potenzialmente pericolosi alle strutture fisse (il cosiddetto "hammer blow"). Ralph P. JOHNSON esprimeva altresì perplessità circa l'adeguatezza dei moderni distributori cilindrici del vapore ad alimentare in modo efficiente cilindri con dimensioni sempre più grandi alle alte velocità [20, 24].

Nel 1932 il JOHNSON propose pertanto di suddividere la motorizzazione delle grandi locomotive veloci a quattro assi accoppiati in due gruppi separati ed autonomi, ciascuno azionato da due motori a cilindri esterni a s.e. Questa ripartizione avrebbe consentito l'utilizzo di cilindri con dimensioni sensibilmente inferiori e biellismi, leveraggi e le altre parti in movimento avrebbero parimenti beneficiato di pesi e dimensioni più contenuti [24].

La suddivisione della motorizzazione era già stata applicata sulle locomotive articolate, molto diffuse negli USA, con il sistema della d.e. (tipo *Mallet*) e della più recente s.e. Ma il successo e la diffusione delle locomotive articolate erano circoscritti al trasporto merci, per il quale obiettivo dei progettisti era la disponibilità di molti assi su cui ripartire i grandi sforzi di trazione necessari, mentre a quel tempo l'articolazione era da escludere nell'ambito del trasporto passeggeri, a causa dell'intrinseca instabilità del carro anteriore a velocità elevate [20, 26]. Va infatti ricordato che a quel tempo le locomotive articolate non erano progettate per velocità superiori a 50 miglia orarie (80 km/h) e solo dopo il 1936 le nuove *Challenger* (2'CC2', 4-6-6-4) della Union Pacific Railroad furono in grado di raggiungere e superare le 70 miglia orarie (112 km/h), mentre i dubbi del JOHNSON concernevano gamme di velocità superiori [24].

La "novità" della soluzione proposta presupponeva invece una locomotiva a doppia motorizzazione, con funzionamento indipendente, su un unico telaio rigido, senza articolazioni e quindi stabile ed idoneo a sopportare le sollecitazioni derivanti dalle più elevate velocità, sul quale i primi due assi erano mossi da una coppia di cilindri posti anteriormente, mentre il terzo e il quarto asse veni-

would have allowed the use of cylinders whose dimensions were substantially smaller, and linkages, leverages, and other moving parts would have at the same time benefited of reduced weights and dimensions.

The partitioning of the engine had already been applied on articulated locomotives, very common in the USA, with the compounding system (*Mallet* type) and with the more recent s.e. However, the success and the diffusion of articulated locomotives were limited to freight transportation for which the main objective of the designers was the availability of many axles upon which distribute the large tractive efforts required, while at that time the articulation was not considered in the passenger service due to the intrinsic instability of the leading bogie at high speeds [20, 26]. As a matter of fact it should be noted that at that time articulated locomotives were designed to not exceed speeds of 50 mph (80 km/h), and only after 1936 the new *Challenger* six coupled axle locomotives (2'CC2', 4-6-6-4) of the Union Pacific Railroad were able to reach and exceed a speed of 70 mph (112 km/h), while JOHNSON's concerns were related to higher speed ranges [24].

The "innovation" of the proposed solution assumed instead a two-engine locomotive, with independent operation, under one rigid frame without articulations, thus stable and adapt to bear the stresses induced by the higher speeds. The first two axles were driven by a pair of cylinders placed in front, while the remaining two axles were driven by a second pair of cylinders placed at the centre. All cylinders were operated as s.e. [12]. The "Duplex"⁽¹⁾ concept was thus conceived, and it was denoted in the U.S. as "Duplex or divided drive" [8, 20].

2. The experimental passenger locomotive Class N-1 5600 George H. Emerson of the Baltimore & Ohio Railroad

Between 1932 and 1936 Ralph P. JOHNSON and Baldwin first proposed their solution to the Baltimore & Ohio Railroad (B&O) and subsequently to other railroad operators, but without success. The reasoning behind the refusal was

⁽¹⁾ It should be noted that in 1932 the French company Paris-Lyon-Méditerranée (PLM) introduced ten powerful locomotives with five coupled axles and four d.e. cylinders to pull freight convoys on the line Digione-Laroche that was characterized by long ramps with a grade of 8‰ where double traction was often necessary. Such Locomotives, named PLM 151A 1-10, with a rigid frame and an unusual axle arrangement 1'BC1', were all characterized by external cylinders whose motion was shared between the two engine groups. The low pressure cylinders drove the front group while the high pressure cylinders, located in the central part of the frame, drove the three rear axles. In order to guarantee an homogeneous operation of the cylinders, without loss of adhesion, the two engine groups were connected to each other by means of two inner rods, which had double cranks 90 degrees apart, between the second and the third coupled axle [2, 11, 20]. These locomotives can then be rather considered as "Santa Fe" type (1'E1' - 2-10-2) with four external cylinders (20).

vano mossi da un'altra coppia di cilindri posti a centro macchina, tutti azionati a s.e. [12]. Era nato il concetto della locomotiva ad azionamento "Duplex"⁽¹⁾, denominato negli USA "Duplex o divided drive" [8, 20].

2. La locomotiva sperimentale Classe N-1 5600 George H. Emerson della Baltimore & Ohio Railroad

Fra il 1932 e il 1936 Ralph P. JOHNSON e la Baldwin proposero la loro soluzione prima alla Baltimore & Ohio Railroad (B&O) e quindi ad altre amministrazioni, ma senza successo. La motivazione del rifiuto risiedeva nell'eccessiva lunghezza del carro a telaio rigido [20] e le grandi locomotive bicilindriche a s.e. continuarono a dominare lo scenario del trasporto passeggeri, sia negli USA che nel Canada.

Soltanto nel 1937 la stessa B&O, che per il trasporto viaggiatori utilizzava principalmente locomotive a tre assi accoppiati tipo *Pacific* ed alcune *Mountain* a quattro assi, introdusse in pratica il concetto di locomotiva ad azionamento Duplex su una locomotiva sperimentale costruita in proprio, la N-1 5600 denominata *George H. Emerson*, in onore del suo progettista e *Chief of motive power* [20, 24].

Questa locomotiva, realizzata negli stabilimenti B&O di Mt. Clare (MD) fu la prima di tipo Duplex ad essere messa in servizio in Nord America. Le sue linee semplici e gradevoli ricordavano esternamente lo stile adottato per alcuni tipi di locomotive inglesi [28].

Il rodiggio era del tipo 2'BB2' (Whyte 4-4-4-4), con gli assi motori azionati da quattro cilindri esterni eguali, funzionanti a s.e., di dimensioni considerevolmente ridotte (457 x 673 mm), mentre le ruote motrici avevano il diametro di 1.930 mm. [3] Anche le dimensioni degli altri organi del movimento risultavano assai inferiori a quelle delle locomotive bicilindriche della stessa classe di potenza.

La massa complessiva di poco più di 175 t poneva la N-1 5600 sullo stesso livello delle due recenti *Mountain* Classe T-1/T-2 della stessa amministrazione, ma le masse

that the length of the rigid frame was excessive [20], so the large two-cylinder locomotives with s.e. continued to dominate the passenger transportation scenario in both the United States and Canada.

Only in 1937 the same B&O, who was primarily using three coupled axle locomotives such as the *Pacific* and some four-axle *Mountain* for its passenger transportation, put into practice the concept of a Duplex-drive locomotive through an experimental unit, the *George H. Emerson*, after its designer and *Chief of motive power* [20, 24].

This locomotive, built in B&O's shops at Mt. Clare (MD) was the first Duplex type to be put into service in North America. Its handsome and simple design resembled from the outside the style adopted on some of the English locomotives [28].

The axle (wheel) arrangement was 2'BB2' (4-4-4-4), with the coupled axles driven by four equal external cylinders s.e., with a significant reduced size (457 x 673 mm), while the driving wheels had a diameter of 1,930 mm (76 in) [3]. At the same time, the dimensions of the other moving parts turned out to be significantly smaller compared to the two-cylinder locomotives of the same power range.

With a total weight of just over 175 t the N-1 5600 was placed at the same level as the *Mountain* Class T-1/T-2 of the same carrier, but the weight of the principal moving parts resulted in being half [20]. The average axial load of 27 t, not excessively high, allowed the locomotive to be operated freely on most of the B&O lines.

For the purpose of not burdening moving gears with additional mechanisms such as connecting rods between the second and the third axle and to secure a movement without excessive vibrations at high speeds, the application of any type of connection between the two engine groups was excluded [17].

The solution developed by B&O on this experimental locomotive did use however a different layout in the arrangement of the cylinders from that proposed by Ralph P. JOHNSON and Baldwin.

In order to satisfy the need to not exceed the length of the chassis of the *Mountain* locomotives in service, and in order to be able to utilize the existing turntables, a peculiar solution was adopted with the N-1 5600, i.e. rotate the rear cylinder groups by 180°, positioning them behind their respective driving wheels group (figs. 1 and 2). Thus the two rear cylinders were functioning with an opposed movement with respect to the front ones and, given their reduced dimensions, were located in the front end of the firebox [18]. Such solution permitted to bypass the issue of the excessive locomotive length typical of the Duplex locomotives [20, 24].

The classical Walschaerts motion had to be however adapted to the unusual position of the rear cylinders [24], and the bearing load on the rear bogie, of about 40 t, resulted in 60% of the non-adhesive mass [3]. Moreover the distance between the wheel centers of the last coupled

⁽¹⁾ Va ricordato che proprio nel 1932 la società francese Paris-Lyon-Méditerranée (PLM) aveva introdotto dieci potenti locomotive a cinque assi motori e quattro cilindri d.e. per il traino di convogli merci sulla linea Digione-Laroche, che presentava prolungate rampe all'8‰ su cui si doveva sovente far ricorso alla doppia trazione. Tali locomotive, denominate PLM 151A 1-10, a telaio rigido e con l'inusuale rodiggio 1'BC1', avevano tutti i cilindri esterni con azionamento suddiviso su due gruppi motori. I cilindri a bassa pressione azionavano il gruppo motore anteriore, mentre i cilindri ad alta pressione, posizionati nella parte centrale del telaio, agivano sui tre assi posteriori. Ma, al fine di assicurare un funzionamento omogeneo dei cilindri e privo di perdite di aderenza, i due meccanismi erano resi solidali fra di loro per mezzo di due bielle interne, calettate con un angolo di 90°, che collegavano il secondo ed il terzo asse motore [2, 11, 20]. Pertanto queste locomotive possono piuttosto configurarsi come delle "Santa Fe" (1'E1') a quattro cilindri esterni (20).



(Fonte - Source: North East Rails, B&O Steam Roster, <http://www.northeast.railfan.net/bo_steam1.html> (Ultima consultazione - Last consultation: 16 luglio 2010).

Fig. 1 – La locomotiva sperimentale N-1 5600 della Baltimore & Ohio a Washington, D.C., 1938. I cilindri posteriori erano posizionati sotto la parte anteriore del forno. *The experimental locomotive N-1 5600 of Baltimore & Ohio at Washington, D.C., 1938. The rear cylinders were positioned in the front part of the firebox.*

dei principali organi del movimento risultavano più che dimezzate [20]. Il carico assiale medio di 27 t non eccessivamente elevato consentiva libertà di circolazione sulla maggior parte delle linee della B&O.

Al fine di non gravare gli organi del movimento con meccanismi aggiuntivi, quali bielle di accoppiamento fra il secondo e terzo asse e di assicurare una marcia senza vibrazioni eccessive alle alte velocità, fu esclusa l'applicazione di qualsiasi collegamento tra i due gruppi motori [17].

La soluzione ideata dalla B&O su questo mezzo sperimentale adottava tuttavia un'architettura nella disposizione dei cilindri differente da quella proposta da Ralph P. JOHNSON e dalla Baldwin.

Per soddisfare la necessità di non superare la lunghezza del telaio delle locomotive *Mountain* in servizio e poter utilizzare le piattaforme girevoli esistenti, con la N-1 5600

axle and the first axle of the rear bogie of 3.67 m (12 ft) was unusually long (fig. 2).

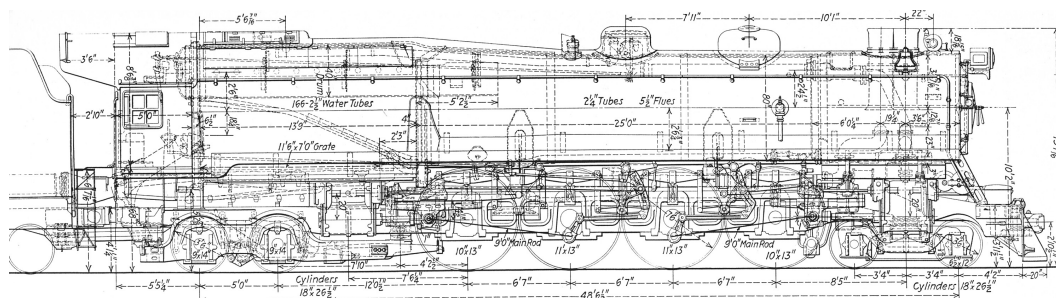
Under B&O's intentions, the new experimental locomotive would have developed the same tractive effort of that of the *Mountain* types, despite the availability of a greater diameter for the driving wheels. The increase in performance was supposed to come from the Duplex-drive, in addition to a new type of boiler, also in its experimental phase on other B&O prototypes, that used a water-tube firebox allowed at the uncommon pressure of 350 psi⁽²⁾ (24,1 bar) [20].

Despite its notable length, the approach to curves with a limited radius did not constitute a problem for the *George H. Emerson* locomotive, because the first and fourth coupled axle were equipped with a lateral movement, thus permitting a reduction of the rigid wheel-base to 2,007 mm (79 in) [17]. The coupling rods of the front engine group were connected to the second axle, while the rear cylinders operated the third one.

For two years the N-1 was tested extensively on all of B&O's main lines, proving to be fast and powerful, even though it would suffer loss of adhesion when hauling even medium sized convoys. In addition, the two independent engine groups had the tendency to synchronize their motion, thus producing dynamic instabilities between the two engine groups in case of variations of the adhesion [17, 25, 28].

To work around the issue, the thickness of the wheels tires of one of the two engine groups, the rear one, was reduced by 1 inch in order to easier bring out of phase its travel motion [8, 17, 25]. Thanks to such modification the running regularity was improved significantly [17].

According to a comparison done in 1937 with the most powerful *Pacific* locomotives in service at B&O, the streamlined P-7a of the *President* class, and the experimental P-9a with a water-tube firebox, no significant dif-



(Fonte - Source: Train Shed Cyclopedia No.23, Steam Locomotives and Tenders from the 1938 Locomotive Cyclopedia of American Practice, Part 2, Newton K. Gregg Publisher, Novato, 1974)

Fig. 2 – Schema della locomotiva sperimentale N-1 5600 della B&O. *Schema of the B&O experimental locomotive N-1 5600.*

si adottò la singolare soluzione di ruotare il gruppo cilindri posteriori di 180°, sistemandoli dietro il rispettivo

⁽²⁾ Pounds per squared inch.

gruppo di ruote motrici, anziché davanti (figg. 1 e 2). I due cilindri posteriori funzionavano pertanto con movimento opposto rispetto agli anteriori e, date le loro ridotte dimensioni, trovavano sistemazione sotto la parte anteriore del forno [18]. Tale soluzione permise di ovviare al problema dell'eccessiva lunghezza del telaio caratteristico delle locomotive tipo Duplex [20, 24].

Tuttavia la classica distribuzione Walschaerts dovette essere adattata alla posizione inusuale dei cilindri posteriori [24] ed il carico gravante sul carrello posteriore, di circa 40 t, risultava pari al 60% della massa non aderente [3]. Inoltre la distanza tra i centri ruota dell'ultimo asse accoppiato e del primo asse del carrello posteriore raggiungeva ben 3,67 m (fig. 2).

Nelle intenzioni della B&O la nuova locomotiva sperimentale avrebbe dovuto sviluppare lo stesso sforzo di trazione delle *Mountain*, pur disponendo di ruote motrici con diametro superiore. L'incremento delle prestazioni doveva derivare dall'azionamento Duplex, oltre che dal nuovo tipo di generatore, in fase di sperimentazione anche su altri prototipi della B&O, che adottava la soluzione di una caldaia con forno a tubi d'acqua autorizzata all'inconsueta pressione di 350 psi⁽²⁾ (24,1 bar) [20].

Nonostante la sua notevole lunghezza l'iscrizione in curve anche di raggio limitato non costituiva un problema per la *George H. Emerson*, in quanto il primo e quarto asse motore erano dotati di movimento laterale, riducendo il passo rigido a soli 2.007 mm [17]. Le bielle motrici del gruppo propulsore anteriore erano collegate al secondo asse, mentre i cilindri posteriori azionavano il terzo.

Per due anni la N-1 fu sottoposta a numerosi test su tutte le principali linee della B&O risultando veloce e potente, anche se soggetta a perdite di aderenza all'avviamento di convogli anche di media composizione. Inoltre i due meccanismi motori, ancorché indipendenti tra loro, tendevano a sincronizzarsi nel movimento e si verificavano squilibri dinamici tra i due gruppi nella ripartizione delle masse aderenti e della coppia motrice [17, 25, 28].

Per ovviare all'inconveniente si ridusse di 25,4 mm lo spessore dei cerchi delle ruote in uno dei due gruppi motori, il posteriore, in modo da portare più facilmente fuori fase il loro movimento in corsa [8, 17, 25]. A seguito di tale modifica la regolarità di marcia risultò sensibilmente migliorata [17].

Da un raffronto effettuato nel 1937 con le più potenti locomotive *Pacific* in servizio alla B&O, la P-7a carenata della serie *President* e la P-9a sperimentale con generatore a tubi d'acqua, sullo stesso percorso ed al traino di treni passeggeri con caratteristiche di masse trainate abbastan-

ferenze in performance were noted on the same line and hauling passenger trains with similar hauled masses as the 5600, which achieved a measured speed of 138 km/h (86 mph) pulling a 610 t train from Washington, DC and Baltimore, MD [29]⁽³⁾ (table 2). Moreover the 4,000 indicated horsepower (i.h.p.) were not greater compared to other experimental locomotives with three coupled axles of the type *Hudson* (2'C2'-4-6-4) Class V, as well equipped with water-tube fireboxes, which on the contrary were less sensitive to slippage, and consumed 20% less fuel [17].

After being presented at a "convention" of the Association of American Railroads, the 5600 was sent to the New York World's Fair in 1939 and 1940 [24], and subsequently resumed service to continue the trials.

The *George H. Emerson* however was spending most of its time in maintenance stops [8]. The bad positioning of the rear cylinder group in contact with the firebox, was producing excessive overheating and frequent filths in the engines [17, 20], while the connection of the firebox with the long and low frame did not offer points of support, thus the components were subjected to ruptures [11].

Moreover the drafting of the front part of the grate was compromised because of the obstruction of the reinforced crossbars that were needed to accommodate the rear cylinders [11], while the braking system was insufficient – with great concern for the train crew – and the locomotive presented difficulties in stopping heavier trains at designated stops [17, 25].

As anomalies continued to arise and because of the excessive number of maintenance stops, the N-1 5600 was shortly after relegated to secondary services, brought out of service in 1943 and dismantled in 1950 at Mt. Clare where it had been built [20].

Thus this Duplex locomotive remained at an experimental phase at B&O, and was not built in series.

3. The Pennsylvania Railroad high speed experimental locomotive Class S1 6100

As opposed to other US railroad operators, the Pennsylvania Railroad (PRR), the largest north American carrier [34] with a network of almost 17,000 km (over 10,000 miles) (table 3), was not using locomotives with four coupled axles designed for passenger trains, such as the modern *Northern*. It was mostly relying on a large fleet of 696 *Pacific* type locomotives of which 425 of Class K4s [8].

The K4s were powerful locomotives, fast and reliable, but had been designed in 1914, on the basis of the transportation needs of the time, when the hauled masses were lower. Subsequently the PRR's technical management did not design any new speed locomotive [24].

⁽²⁾ Libbre per pollice quadrato.

⁽³⁾ Tale velocità fu raggiunta su una breve tratta pianeggiante del percorso di circa 60 km, che presentava numerose, ancorché lievi pendenze e contropendenze.

⁽³⁾ Such speed was reached on a short flat section about 60 km in length showing several light slopes and counter-slopes.

za simili, non si rilevarono differenze di prestazioni significative a vantaggio della 5600, che raggiunse la velocità cronometrata di 138 km/h con un convoglio di 610 t tra Washington e Baltimora (MD) [29]⁽³⁾ (tabella 2). Inoltre, la potenza ai cilindri di circa 4.000 CV non era superiore rispetto ad altre locomotive sperimentali a tre assi accoppiati tipo *Hudson* (2'C2') Classe V in prova, dotate parimenti di caldaie a tubi d'acqua, che al contrario erano meno sensibili alle perdite di aderenza e consumavano il 20% in meno di combustibile [17].

Dopo essere stata presentata ad una "convention" dell'Association of American Railroads, la 5600 venne inviata in esposizione alla Fiera mondiale di New York del 1939 e 1940 [24] e ritornò successivamente in servizio, per proseguire la sperimentazione.

Ma la *George H. Emerson* trascorreva molto tempo in soste di manutenzione [8]. L'infelice posizione del gruppo cilindri posteriore, a contatto col forno, generava infatti eccessivi surriscaldamenti e frequente sporcizia ai motori

Moreover, some of the lines managed by PRR allowed higher speeds than those generally permitted (80 mph – 128 km/h), and speeds of 100 mph (160 km/h) or higher could be achieved on the Chicago(IL) – Crestline (OH) corridor within the Fort Wayne Division [14] (table 3), which presented a profile essentially tangent and grades not greater than 5‰ [18].

Beginning from the summer time table of 1938, with the increase of the hauled masses in passenger trains, for most of such trains PRR had to utilize double traction, using its old *Pacific* locomotives [14, 20].

Continuing with the studies that were begun by the Association of American Railroads, who had specifically created a specialized committee [24], PRR's technical management summoned in 1938 the most prominent North American locomotive builders to define the design of an experimental locomotive developing 6,500 i.h.p., and capable to haul on tangent track and at grade a passenger train of 1,100 t at a speed of 100 mph (160 km/h) [20, 24].

TABELLA 2 – TABLE 2

BALTIMORE & OHIO - CORSA DEL TRENO N. 28 TRA WASHINGTON E BALTIMORE IN DATA 16-09-1937 BALTIMORE & OHIO – RUN OF TRAIN N. 28 FROM WASHINGTON TO BALTIMORE DATED 16-09-1937					
Composizione: 8 vetture, massa trainata 608 t - Mezzo di trazione: locomotiva 5600 Classe N-1 della B&O Composition: 8 cars, hauled mass 608 t – Traction engine: locomotive 5600 Class N-1 B&O					
Località - Location	Distanza Distance km		Pendenze Grades ‰	Velocità media Average Speed km/h	Velocità max Maximum Speed km/h
	Totale Total	Parziale Partial	Settore Sector	Settore Sector	Località Location
Washington Terminal	0	0	-	-	-
New York Avenue	1.3	1.3	-	25.7	n.r.
F Tower	2.4	1.1	+9.5	45	n.r.
Alexandria Junction	8.8	6.4	-3.6/-5.1	90.9	114.2
Berwyn	13.5	4.7	+4.0	-	125.5
Muikirk	22	8.5	+3.7/+4.0	121.8	n.r.
Muikirk Hill	23.6	1.6	+4.0	-	120.7
Laurel	28	4.4	0	-	138.4
Ft. Meade Junction	33.5	5.5	+4/-4	130.5	131.9/135.2
Hanover curve	43.4	9.9	0	-	120.7
Halethorpe	50.5	7.1	-3.7/-4.0	107.8	80.4/56.4 (Relay viaduct)
Halethorpe post	53.7	3.2	0	-	80.4
Camden Station	59.2	5.5	-0.8/0/-0.8	74.5	n.r.
Mt. Royal Station	61.6	2.4	0.8	41.3	-
Note: Notes:	ascesa (+) / discesa (-) ascending (+) / descending (-)				n.r. = non rilevata n.r. = not reported

(Fonte - Source: E.L. THOMPSON, 86 mph behind a 4-4-4-4, in *Trains*, September 1964, p. 24-27)

[17, 20], mentre il collegamento del forno con il lungo e basso telaio non offriva punti di appoggio ed entrambi i componenti erano soggetti a rotture [11].

Inoltre il tiraggio della parte anteriore della griglia era compromesso a causa dell'ostruzione costituita dalle traverse rinforzate, necessarie per ospitare i cilindri posteriori [11], mentre l'impianto frenante risultava insufficiente -con grande ansia del personale di macchina- e la locomotiva aveva difficoltà ad arrestare i treni più pesanti nei punti di fermata [17, 25].

Col progredire degli inconvenienti ed a seguito degli eccessivi interventi di manutenzione la N-1 5600 fu in breve relegata a servizi secondari, nel 1943 ritirata dal servizio e smantellata nel 1950 a Mt. Clare, dove era stata costruita [20].

Questa locomotiva Duplex rimase pertanto presso la B&O allo stadio di sperimentazione e non fu costruita in serie.

3. La locomotiva sperimentale da velocità Classe S1 6100 della Pennsylvania Railroad

Diversamente da molte altre amministrazioni USA, la Pennsylvania Railroad (PRR), il maggiore *carrier* nordamericano [34], con un'estensione delle linee di quasi 17.000 km (tabella 3), non aveva in esercizio locomotive a quattro assi motori progettate per treni viaggiatori, quali le moderne *Northern*, e si affidava essenzialmente ad una grande flotta di 696 locomotive tipo *Pacific*, delle quali 425 della Classe K4s [8].

Le K4s erano locomotive potenti, veloci ed affidabili, ma erano state progettate nel 1914, sulla base delle esigenze trasportistiche dell'epoca, quando le masse rimorchiate erano assai inferiori. In seguito, la direzione tecnica della PRR non aveva più progettato nessun'altra nuova locomotiva da velocità [24].

Inoltre, alcune linee gestite dalla PRR permettevano velocità superiori a quelle generalmente ammesse (80 miglia orarie, 128 km/h) e velocità di 100 miglia (161 km/h) od anche superiori potevano essere praticate sulla direttrice Chicago (IL) - Crestline (OH) della Fort Wayne Division [14] (tabella 3), che presentava un profilo prevalentemente rettilineo e pendenze non superiori al 5‰ [18].

Ad iniziare dall'orario estivo del 1938, con l'incremento delle masse trainate dei convogli viaggiatori, per numerosi treni viaggiatori la PRR dovette far ricorso alla doppia trazione con le sue anziane *Pacific* [14, 20].

Proseguendo negli studi iniziati dalla Association of American Railroads, che aveva costituito un apposito comitato specialistico [24], la Direzione tecnica della PRR convocò nel 1938 i più importanti costruttori nordamericani per definire progettualmente una locomotiva sperimentale con potenza indicata di 6.500 HP e capace di trainare in piano ed in rettilineo un convoglio passeggeri di 1.100 t a 100 miglia orarie (161 km/h) [20, 24]. Prevalse l'idea della Baldwin di fare ricorso ad una locomotiva a

Baldwin's idea to utilize a four cylinder locomotive divided into two separate engine groups under one rigid frame, each group driving two coupled axles, eventually prevailed [24].

The planned high operating speeds, and most of all the issue of the mass repartition of a locomotive of such power and size forced the designers to adopt front and rear bogies with three axles. Thus was born a particular Duplex-drive locomotive with the unusual and unique axle (wheel) arrangement 3'BB3' (6-4-4-6) [2].

The locomotive was built as proposed by the PRR at its Juniata shops (Altoona, PA) in March 1939, and was numbered 6100.

As opposed to the experimental locomotive 5600 *George H. Emerson* of B&O, the position of the cylinders was more orthodox, as they were located in front of their respective group of driving wheels.

For the purpose of improving the aerodynamic performance while staying tuned at the same time with the style tendencies of the time the 6100 was coated with a complete streamlining, a work done by designer Raymond LOEWY, who had previously authored a similar casing for one of the PRR *Pacific* K4s locomotives [20].

The dimensions of the new 6100 Duplex locomotive were exceptionally large. The driving wheels had a diameter of 84 in (2.134 mm), the largest ever applied to a four axle locomotive; the mass of the locomotive without tender was 276 t, while the length of the chassis was 23.7 m (78 ft). The frame itself was molded as single-piece cast steel, and was 4 m longer compared to the six coupled axle locomotives class 9000 used in Union Pacific for high speed freight trains [20]. The tender had also exceptional dimensions; it was the first one to have eight axles and a total mass of 205 t, and it was capable of transporting 91 m³ of water and 24 t of coal.

Equally enormous were the dimensions of the boiler with a diameter of 2.591 mm (102 in) and working at 300 psi (20,7 bar), the firebox with a volume of 23,8 m³ (841 cubic feet), and the grate with a surface of 12,1 m². All these dimensions were significantly larger than those of the biggest *Northern* locomotives, while the four twin cylinders with a diameter of 559 mm (22 in) and a stroke of just 660 mm (26 in), were able to develop a unit thrust 25 % less than that of a conventional *Northern* locomotive [24].

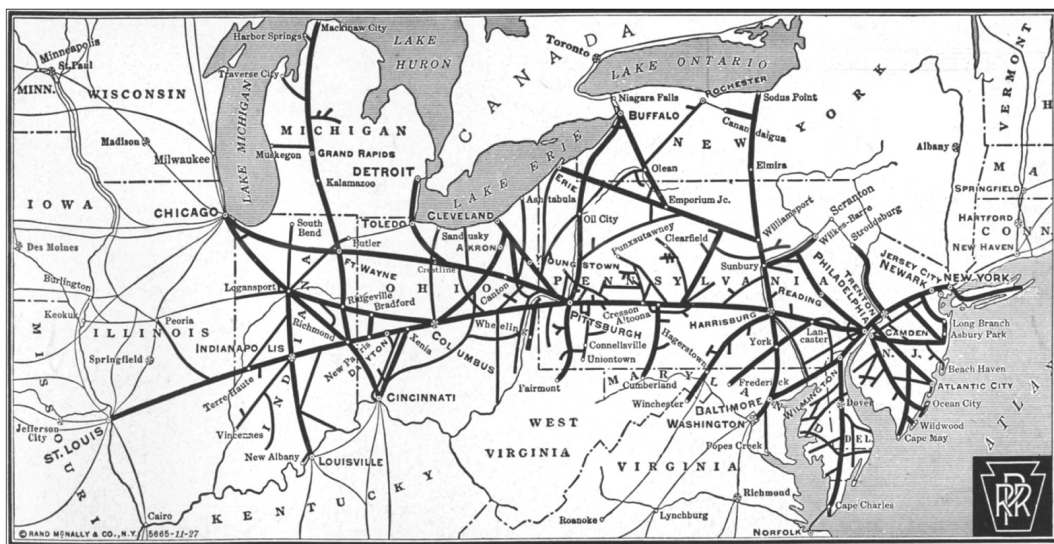
It was therefore the biggest non-articulated locomotive ever built, and for such reason it was referred to as "the Big Engine" [20, 26].

Its principal characteristics are shown in table 4 in comparison to other Duplex locomotives.

The new Duplex locomotive caused sensation in the railroad world, and Alfred W. BRUCE, ALCo engineer, declared the locomotive as the most important achievement in the design of locomotives with reciprocating motion [20].

TABELLA 3 - TABLE 3

LE LINEE DELLA PENNSYLVANIA RAILROAD SYSTEM (estensione: 16.914 km al 1929)
 THE PENNSYLVANIA RAILROAD SYSTEM (extension: 16.914 km in 1929)



Verso la fine degli anni Trenta, la città di Harrisburg (PA) costituiva il limite della trazione elettrica sulla direttrice est-ovest. Le linee principali verso la costa atlantica erano infatti elettrificate, mentre ad ovest la trazione era a vapore o diesel.

La linea più importante, Harrisburg-Chicago (IL) di 1.148 km, si suddivideva in tre tranches:

- Harrisburg-Pittsburgh (PA) (Middle & Pittsburgh Division), 392 km;
- Pittsburgh-Crestline (OH) (Eastern Division), 301 km;
- Crestline-Chicago (Fort Wayne Division), 455 km.

La tratta Harrisburg-Pittsburgh comprendeva, nel settore tra Altoona (PA) e Pittsburgh di 186 km, l'attraversamento dei Monti Allegheny ad ovest di Altoona e la linea in questa sezione affrontava rampe con pendenza fino al 18,5‰ verso ovest e del 14,5‰ in direzione opposta. Su entrambe le rampe i convogli più pesanti venivano assistiti da una o due locomotive di spinta. Nei pressi di Altoona si trovava la celebre "Horseshoe Curve", curva a semicerchio di 220° a raggio variabile, lunga 735 m ed inserita in una rampa al 17,5‰ in direzione ovest. Il suo raggio minimo era di 185 m, risultando la curva più impegnativa di tutto il tragitto. Poco oltre la linea, a doppio binario per ciascun senso di marcia, percorreva due tunnel di lunghezza differente presso Gallitzin (PA), raggiungendo in questa zona la sua massima elevazione su quote leggermente diverse (659 m i binari verso ovest e 669 m verso est). La velocità massima permessa sulla tratta Altoona-Pittsburgh era limitata a 70 miglia (112 km/h).

Tra Pittsburgh e Crestline la linea era prevalentemente pianeggiante, con acclività che non superavano il 9‰ in entrambe le direzioni e raggi di curvatura superiori a 330 m, ad eccezione dell'accesso alla stazione di Pittsburgh (v. nota 5 del testo).

Infine la linea tra Crestline e Chicago si presentava molto regolare, con pendenze contenute entro il 5‰, mentre le rare curve avevano raggi molto ampi, superiori ad 900 m, consentendo velocità elevate e giustificando la sua fama di "autostrada".

In the late Thirties, the city of Harrisburg (PA) represented the electric traction limit on the East-West corridor. The main lines toward the Atlantic Coast were indeed electrified while traction in the West was mainly steam or diesel.

The most important line, Harrisburg-Chicago (IL), 1,148 km in length, was divided into three sections:

- Harrisburg-Pittsburgh (PA) (Middle & Pittsburgh Division), 392 km;
- Pittsburgh-Crestline (OH) (Eastern Division), 301 km;
- Crestline-Chicago (Fort Wayne Division), 455 km.

The line section Harrisburg-Pittsburgh, in the section of 186 km between Altoona (PA) and Pittsburgh, had to cross the Allegheny Mountains west of Altoona; this section was characterized by ramps with grades up to 18,5‰ westward and up to 14,5‰ in the opposite direction. On both ramps the convoys were assisted by one or two thrust locomotives. Near Altoona was situated the famous "Horseshoe Curve", a semicircle curve of 220° with variable radius, 735 m in length, inserted in a ramp with a grade of 17,5‰ westward. Its minimum radius was 185 m thus resulting the most challenging of all the route. Shortly after the line section, which had a double track layout per each running direction, reached its maximum elevation (659 m the tracks westward and 669 m eastward) crossing two tunnels of different length near Gallitzin (PA).

The maximum permitted speed on the section Altoona-Pittsburgh was limited to 70 mph (112 km/h).

The line section between Pittsburgh and Crestline was mainly flat, with grades not exceeding 9‰ in both directions and curves with radius greater than 330 m, with the exception of the access to the Pittsburgh station (see note 5).

Finally the line section between Crestline and Chicago was quite regular with very light grades, within 5‰, while the rare curves had very ample radiuses, greater than 900 m, thus allowing high speeds and justifying its fame of "speedway".

(Fonti - Sources: Neil BURNELL, A Reassessment of T1 #6110 & #6111 - Comparing the Two T1 Prototypes, 1942 to 1945, in *The Keystone* Vol. 37, Nr. 1 (Spring 2004), p. 18-39.

G.H. DRURY, *The Historical Guide to North American Railroads*, Kalmbach Publishing Co;
E.T. HARLEY, *Pennsy Q Class. Classic Power 5*, N.J. International Inc;
<http://multimodalways.org/archives/rfs/PRR/PRR.html>
<http://www.railsandtrails.com/diagrams.htm>

quattro cilindri suddivisi in due gruppi motori separati sotto un unico telaio rigido, ciascuno azionante due assi accoppiati [24].

Le alte velocità d'esercizio previste e soprattutto il problema della ripartizione delle masse di una locomotiva di tale potenza e dimensioni imposero ai progettisti di adottare carrelli portanti anteriore e posteriore a tre assi. Nacque così un mezzo dall'inconsueto ed unico rodiggio 3'BB3' (Whyte 6-4-4-6) ad azionamento Duplex [2].

La locomotiva così disegnata venne costruita dalla PRR nei suoi stabilimenti di Juniata ad Altoona (PA) nel marzo del 1939 e prese la numerazione 6100.

Contrariamente alla locomotiva sperimentale 5600 *George H. Emerson* della B&O, il posizionamento dei cilindri era più ortodosso, trovando essi sistemazione anteriormente al rispettivo gruppo di ruote motrici.

Al fine di migliorarne l'efficienza aerodinamica ed in sintonia con le tendenze stilistiche dell'epoca, la 6100 venne rivestita di una carenatura integrale, opera dello stilista Raymond LOEWY, già autore di altre realizzazioni e di una carenatura simile applicata ad un mezzo della flotta di *Pacific K4s* della stessa PRR [20].

Le dimensioni della nuova locomotiva Duplex 6100 erano eccezionalmente grandi. Le ruote motrici avevano il diametro di 2.134 mm, il più grande realizzato su una locomotiva a quattro assi motori; la massa del mezzo senza tender era di 276 t, mentre la lunghezza del suo telaio di 23,7 m, realizzato per fusione di acciaio in un unico blocco, era di circa 4 m superiore a quello delle locomotive a sei assi accoppiati per treni merci veloci della Union Pacific Classe 9000 [20]. Anche il tender aveva dimensioni eccezionali: fu il primo ad avere otto assi e con una massa totale di 205 t trasportava scorte d'acqua per 91,7 m³ e 24 t di carbone [14].

Eguale enormi erano le dimensioni della caldaia, con diametro di 2.591 mm e timbrata a 300 psi (20,7 bar), del forno con un volume di 23,8 m³ e della griglia con 12,1 m² di superficie, tutti sensibilmente superiori alle più grandi locomotive *Northern*; mentre i quattro cilindri gemelli, con un diametro di 559 mm ed una corsa di soli 660 mm, sviluppavano una spinta unitaria del 25% inferiore a quelli di una *Northern* convenzionale [24].

Si trattava quindi della più grande locomotiva non articolata mai costruita e venne denominata, a ragione, "the Big Engine" [20, 26].

Le sue caratteristiche principali sono riportate nella tabella 4 di raffronto con le altre locomotive Duplex.

La nuova Duplex destò sensazione nel mondo ferroviario e venne acclamata da Alfred W. Bruce, ingegnere della ALCo, come la più importante realizzazione di locomotiva a vapore a movimento alternativo [20].

The new and futuristic accomplishment received great prominence, and the 6100 was without doubt the absolute character on PRR's calendars of 1939, 1940 and 1941 [6].

Completed in 1939, the "Big Engine" was shipped to the World's Fair in New York, not without shipping difficulties due to its considerable size. It was exhibited at the Fair during 1939 and 1940 with just the number 6100, and one unique fantasy name *American Railroads* on the tender (fig. 3). The locomotive was placed on a reinforced concrete podium equipped with rollers (figs. 4 & 5) thus to simulate movement and operation [20].

Once the exhibition period was over, the "Big Engine" was put in service with the PRR using the label Class S1, while maintaining the original 6100 numbering.

Its exceptional length, 42,7 m (140 ft) including the tender⁽⁴⁾, forced PRR to constrain the 6100 to services along the 455 km (283 mi) Chicago-Crestline route, because only on this route there existed turntables large enough to turn around the locomotive and tender, which had a total wheel-base length of 37,7 m (124 ft). A third turntable large enough was in Pittsburgh, PA, but the radius of the curves leading to the station⁽⁵⁾ had to be avoided by the 6100, derailment being the penalty. A derailment had in fact occurred during its maiden voyage when hauling the 20 car *Broadway* train, despite the fact that the first and third axle of the locomotive were able to displace laterally by 57 mm (2 1/4 in) [14].

The properties of the driving stability of the 6100 turned out to be excellent [20] thanks to the front three axle bogie and to the double engine groups. The S1 proved to be able to reach speeds of 100 mph (161 km/h) while hauling a mass of over 1,200 t; when starting however extremely heavy passenger trains, the "Big Engine" suffered high sensitivity to adhesion loss, sometimes presenting a surge tendency [24]. Even though the degree of the steam cut-off to the cylinders was limited to 70% thus reducing the maximum tractive effort [23, 24], the not extremely high axial load – just over 30 t – was not sufficient to balance the power developed by the engines.

Another point of criticism was related to the way the suspension system was assembled: the carrying bogie was in fact equipped with a stand-alone suspension, not connected to that of the coupled axle group (4). Moreover the

⁽⁴⁾ For comparison, the famous *Big Boy*-type articulated locomotives of *Union Pacific* (1941) had an overall length of 40,4 meters [31].

⁽⁵⁾ The line from the west (Crestline), at the entrance of the Pennsylvania Station, had two sharp curves (one to the right and the other to the left) with respective radius of 210 and 140 m for the connection to the viaduct on the river Allegheny [35, 36].

TABELLA 4 – TABLE 4

CONFRONTO FRA LE LOCOMOTIVE TIPO “DUPLEX”
 “DUPLEX” LOCOMOTIVES COMPARISON

Amministrazione	B&O	PRR	PRR	PRR	PRR
Utilizzo	Passeggeri	Passeggeri	Passeggeri	Merci	Merci
Classe	N-1	S1	T1	Q1	Q2
Numerazione * prototipi	5600	6100	6110-11*/5500-49	6130	6131/6175-99
Anno di costruzione	1937	1939	1942 */1945-46	1942	1944/1945
Costruttore	B&O	PRR	Baldwin-PRR	PRR	PRR
Rodiggio (UIC)	2'BB2'	3'BB3'	2'BB2'	2'CB2'	2'BC2'
Cilindri gruppo ant. (dia x corsa) in/mm	18x26,5 / 457x673	22x26 / 559x660	19,75x26 / 502x660	23x28 / 584 x 711	19,75x28 / 502x711
Cilindri gruppo post. (dia x corsa) in/mm	18x26,5 / 457x673	22x26 / 559x660	19,75x26 / 502x660	19,5x26 / 495 x 660	23,75x29 / 603x737
Distribuzione tipo	Walschaerts	Walschaerts	Valvole - Franklin "A"	Walschaerts	Walschaerts
Ruote motrici in/mm	76 / 1.930	84 / 2.134	80 / 2.032	77 / 1.956	69 / 1.753
Pressione caldaia psi/bar	350 / 24,14	300 / 20,7	300 / 20,7	300 / 20,7	300 / 20,7
Diametro max caldaia (esterno) in/mm	81,5 / 2.076	102 / 2.591	100 / 2.540	100 / 2.540	106 / 2.692
Superficie totale di riscaldamento ft²/m²	4.897 / 454,9 (1)	5.661 / 525,9	4.218 / 391,9	5.518 / 512,6	6.725 / 624,7
Superficie di surriscaldamento ft²/m²	1.313 / 121,9	2.085 / 193,7	1.680 / 156,0	2.290 / 212,7	2.930 / 272,2
Superficie di griglia ft²/m²	80,5 / 7,5	132 / 12,3	92 / 8,5	98,3 / 9,1	121,7 / 11,3
Massa locomotiva lb/t	386.500 / 175,3	608.200 / 275,9	502.200 / 227,8	593.500 / 269,2	619.100 / 280,8
Massa aderente b/t	238.000 / 108	281.450 / 127,7	279.900 / 127,0	356.700 / 161,8	393.000 / 178,3
Massa tender (a pieno carico) lb/t	350.000 / 158,8	451.750 / 204,9	442.500 / 200,7	434.370 / 197	430.000 / 195
Lunghezza totale fra respingenti ft-in/m	117' - 0,25" / 35,67	140' - 2,50" / 42,74	121' - 8,7" / 37,10	122' - 3,75" / 37,43	124' - 7,12" / 37,98
Passo rigido locomotiva ft-in/m	6' - 7" / 2,01	19' / 5,79	18' - 5" / 5,61	20' - 1,25" / 6,13	20' - 4" / 6,2
Passo totale locomotiva+tender ft-in/m	103' - 7,25" / 31,58	123' - 9,25" / 37,73	105' - 10,9" / 32,28	107' - 7" / 32,79	107' - 7,5" / 32,80
Potenza ai cilindri HP/CV	3.936 / 3.991	- (2)	6.550 / 6.644	4.800 / 4.867 (4)	7.987 / 8.099
Sforzo di trazione max (85%) lb/daN	65.000/28.915	76.400 / 33.986 (3)	64.650 / 28.759	81.800 / 36.388	100.800 / 44.840
Fattore aderenza locomotiva rapporto	3,7	3,7	4,3	4,3	3,9
Sforzo di trazione booster lb/daN	-	-	13.500 / 6.005 (solo 6111)	11.250 / 5.004	15.000 / 6.673
Fonti - Sources: A. Haas, in Lok Magazin 42,48,49,97 E.T. Harley, Pennsy Q Class R.L. Hundman, The Locomotive Cycloped- ia, Vol II B. Reed, Loco profile 24 - Pennsy Duplexii Train Shed Cyclopedia 23,56, Newton K. Gregg Publ. http://www.steamlocomotive.com.duplex/	(1) forno a tubi d'acqua	(2) potenza di caldaia: >8200 CV (3) teorico - con grado di introduzione vapore limitato al 70%, sforzo di traz: lb _f 71.900 pari a daN 31.984	Modifiche successive: a) riduzione dia. cilindri di 1 in / 25,4 mm b) n. 5500 distr. Valvole Franklin "B" - n. 5547 distr. Walschaerts	(4) al gancio	

Grande risalto pubblicitario venne attribuito alla nuova e futuristica realizzazione e la 6100 fu protagonista assoluta sui calendari della PRR negli anni 1939, 1940 e 1941 [6].

Ultimata nel 1939, la “Big Engine” venne inviata, non senza difficoltà di trasporto a causa delle sue dimensioni,

axle's suspensions on both engine groups were equalized longitudinally, not transversally, thus producing as a result imbalances in the distribution of weights when entering a curve with a reduction of load acting upon the coupled axles of the front engine group (4).

alla Fiera mondiale di New York. Qui fu esposta nel corso del 1939 e del 1940 con la sola numerazione 6100 ed un'unica grande scritta di fantasia *American Railroads* sul tender (fig. 3) e fu installata su un podio in cemento armato dotato di appositi rulli (figg. 4 e 5), potendo in tal modo effettuare simulazioni di marcia e di funzionamento [20].

Terminato il periodo d'esposizione, la "Big Engine" venne immessa in servizio dalla PRR con la denominazione di Classe S1, mantenendo la numerazione d'origine 6100.

La sua eccezionale lunghezza, 42,7 m tender incluso⁽⁴⁾, costrinse la PRR a limitare la 6100 ai servizi sulla sezione Chicago-Crestline di 455 km, in quanto soltanto su questa linea esistevano due piattaforme di dimensioni tali da poter girare locomotiva e tender, che presentavano un passo complessivo di 37,7 m. Una terza piattaforma di dimensioni sufficienti era presente a Pittsburgh (PA), ma i raggi di curva esistenti all'ingresso della stazione⁽⁵⁾ dovevano essere evitati dalla 6100, pena il suo sviamento, occorso peraltro nel suo viaggio inaugurale con il treno "Broadway" composto da 20 carrozze, nonostante il primo ed il terzo asse motore disponessero di un movimento laterale di 57 mm [14].

Le caratteristiche di stabilità di marcia della 6100 risultarono eccellenti [20], in virtù del carrello anteriore a tre assi e della doppia motorizzazione. La S1 si dimostrò capace di raggiungere 100 miglia orarie, 161 km/h, con una massa trainata di oltre 1.200 t; tuttavia, all'avviamento dei pesantissimi convogli viaggiatori, la "Big Engine" risultò molto sensibile a perdite di aderenza, manifestando talvolta tendenza al cabraggio [24]. Benché il grado d'introduzione del vapore nei cilindri fosse limitato al 70%, riducendo lo sforzo di trazione massimo [23, 24], il carico assiale non elevatissimo - di poco superiore alle 30 t - non era sufficiente a compensare l'esuberanza dei motori.

Un'altra criticità concerneva l'assemblaggio delle sospensioni: il carrello portante anteriore era infatti munito di sospensione a sé stante, senza essere collegata con quella del primo gruppo di assi accoppiati (4). Inoltre le sospensioni degli assi di entrambi i gruppi motori erano bilanciate in senso longitudinale, ma non trasversalmente, causando scompensi nella distribuzione dei pesi all'iscrizione in curva, con alleggerimento degli assi accoppiati del gruppo motore anteriore (4).

L'accelerazione media alle basse velocità e fino alla soglia dei 100 km/h era relativamente bassa in quanto il macchinista doveva utilizzare il regolatore con estrema cautela, per evitare continue perdite di aderenza, che iniziavano a manifestarsi sul gruppo motore anteriore e la PRR dovette incentivare economicamente i macchinisti

⁽⁴⁾ A titolo di raffronto, le famose locomotive articolate tipo *Big Boy* della *Union Pacific* (1941) avevano una lunghezza complessiva di 40,4 m [31].

⁽⁵⁾ La linea, proveniente da ovest (Crestline), all'ingresso della Pennsylvania Station, presentava una curva a destra ed una a sinistra con raggi rispettivamente di 210 e 140 m per consentire il collegamento al viadotto sul fiume Allegheny [35, 36].



(Fonte - Source: Pennsylvania Railroad Photographs, <<http://www.billspearsphotos.com/>> (Ultima consultazione - Last consultation: 03.08.2010).

(Foto - Photo: Pennsylvania Railroad (collezione Pennsylvania Railroad Technical and Historical Society).

Fig. 3 – La Duplex 6100 della Pennsylvania Railroad in esposizione alla Fiera Mondiale di New York (1939-40) con la scritta "American Railroads" sul tender. Era sistemata su un podio in cemento con rulli per dimostrazioni statiche. *The Duplex locomotive 6100 of the Pennsylvania Railroad exhibited at the New York World Fair (1939-40) with "American Railroads" lettering on tender. It was placed on a concrete podium equipped with rollers for static demonstrations.*



(Fonte - Source: Pennsylvania Railroad Photographs, <<http://www.billspearsphotos.com/>> (Ultima consultazione - Last consultation: 03.08.2010).

(Foto - Photo: Pennsylvania Railroad (collezione Pennsylvania Railroad Technical and Historical Society).

Fig. 4 – La 6100 in azione all'esposizione di New York. Si notano le ruote motrici sui rulli di scorrimento. *The 6100 locomotive running at the New York Fair. The driving wheels on the sliding rollers can be noted.*

The average acceleration at low speeds, and up to the threshold speed of 100 km/h (62 mph), was relatively low because the locomotive engineer had to operate the regulator with extreme caution in order to prevent adhesion losses that were revealed at the front engine group. PRR



(Fonte - Source: Pennsylvania Railroad Photographs, <<http://www.billsphotos.com/>> (Ultima consultazione - Last consultation: 03.08.2010).

(Foto - Photo: Pennsylvania Railroad (collezione Pennsylvania Railroad Technical and Historical Society).

Fig. 5 – Particolare degli assi accoppiati della 6100 esposta alla Fiera di New York. Le ruote motrici poggianti sugli appositi rulli avevano un diametro di 2.134 mm. *Detail of the coupled axles of the 6100 locomotive at the New York World's Fair. The driving wheels resting on special rollers had a diameter of 84 in.*

assegnati alla 6100 per evitarne boicottaggi al servizio. Oltre i 100 km/h la 6100 accelerava vigorosamente senza più problemi di aderenza e quanto più elevata era la velocità tanto maggiore risultava l'accelerazione [14].

Della S1 6100 non esistono purtroppo risultati di prove dinamometriche della potenza o degli sforzi sviluppati, come sarebbe stato grandemente auspicabile per quella che fu la più potente locomotiva a vapore mai realizzata per treni viaggiatori [2].

A seguito di prove effettuate negli stabilimenti PRR di Altoona su banchi di prova fu unicamente misurata la potenza di caldaia, di oltre 8.200 CV, corrispondenti a 7.000 CV al gancio [14], anche se quest'ultimo valore venne soltanto stimato.

I consumi di combustibile e di acqua della S1 erano altrettanto eccezionali quanto la potenza sviluppata: i livelli dell'acqua venivano ripristinati aspirandola in velocità da apposite fosse, mentre con un consumo medio di carbone di 100-110 kg al miglio (1,609 km), incluso il fabbisogno per il riscaldamento del convoglio [24], le scorte dovevano essere approvvigionate ogni 350-380 km di percorrenza.

Assegnata al traino di due rapidi composti da 16-20 vetture denominati "The Trail Blazer" e "The General", sulla linea Chicago-Crestline e con una sola fermata intermedia a Fort Wayne (IN), la 6100 poteva trarre vantaggio dalla sua enorme potenza in quanto su tale sezione le velocità massime permesse erano, eccezionalmente, dell'ordine di 180-190 km/h e nell'esercizio era in grado di rimorchiare convogli di 1.000 t a 120 miglia orarie (193 km/h)

had to monetarily incentivate the locomotive engineers to avoid any boycotts from service. Beyond 100 km/h the 6100 would accelerate vigorously without presenting the adhesion issues, and the magnitude of the acceleration was greater at even higher speeds [14].

Unfortunately for the S1 6100 there are no results of dynamometric tests of either power or tractive effort, as it would have been highly desirable for what was considered to be the most powerful steam locomotive ever built for passenger trains [2].

Following some tests performed at the PRR shops of Altoona the boiler power was the only quantity measured, over 8,200 HP, corresponding to 7,000 HP at the drawbar [14], even though the latter value is only an estimate.

The fuel and water consumption of the S1 were exceptional as well as the developed power: the water levels were restored by scooping it from specific track pans while travelling at speed, while, with an average coal consumption of 210-250 lb/mi including the needs for heating the train [24], coal had to be stocked every 350-380 km (220-240 mi)

Assigned to haul two express trains composed of 16-20 cars, labeled "The Trail Blazer", and "The General" on the line Chicago – Crestline, and with only one intermediate stop at Fort Wayne, IN, the 6100 could take full advantage from its enormous power. In fact on that section of the line the maximum allowed speeds were exceptionally in the order of 180-190 km/h (112-119 mph), and during operation the locomotive was capable to haul convoys up to 1,000 t at 120 mph (193 km/h) [14]. This line in fact had a particularly favorable profile, with a path that was practically all on tangent track and at grade, thus the nickname of "Speedway" [18].

Arnold HAAS, an author who knew extremely well the North American railroads, in particular the PRR because of his direct experience, referred about a not documented record trip of the S1 between Crestline and Chicago [14].

According to HAAS, rumors about the exceptional speed capabilities of the "Big Engine" were eventually heard by the federal agency overseeing safety, the Interstate Commerce Commission (ICC), who ordered two of its clerks, equipped with a stopwatch, to travel on trains hauled by the S1. After a few months with no recorded irregularities, in March 1946, the *Trail Blazer* train departed from Crestline towards Chicago with a heavy accumulated delay. The locomotive engineer decided to recover the delay by pushing the 6100 to its maximum without noticing that the speedometer indicator had scaled out. The speedometer would record a speed up to 120 mph, but the train kept accelerating, thus achieving a speed that could not be recorded. A few days later the ICC fined the PRR based on the fact that the questioned train not only did exceed the maximum permitted speed of 120 mph, but was, by stopwatch, found to have traveled at 141 mph (226 km/h). Whether the measurement was exact or not, it was not verifiable. But if the measurement were true, the 6100

[14]. Questa linea presentava infatti un profilo particolarmente favorevole, con percorso praticamente rettilineo e pianeggiante, tanto da essere denominata "speedway" (autostrada) [18].

Una marcia record della S1 tra Crestline e Chicago, per altro non documentata, fu riferita da Arnold HAAS, esperto conoscitore del mondo ferroviario USA ed in particolare della PRR per sua esperienza diretta [14].

Secondo l'HAAS, le voci circa le eccezionali doti velocistiche della "Big Engine" erano giunte a conoscenza dell'organo di vigilanza federale sulla sicurezza, Interstate Commerce Commission (ICC), che incaricò due suoi controllori muniti di cronometro a viaggiare sui treni rimorchiati dalla S1. Dopo alcuni mesi senza alcuna irregolarità, nel marzo del 1946, il treno "Trail Blazer" ripartì da Crestline verso Chicago avendo accumulato un forte ritardo. Il macchinista decise di recuperare e spinse al massimo la 6100 senza rilevare che l'indicatore di velocità, tarato fino a 120 miglia orarie (193 km/h), era sul "fine corsa" ed il treno continuò ad accelerare, raggiungendo una velocità che non poté essere misurata. Dopo alcuni giorni, la ICC cominciò alla PRR una sanzione contestando che il treno in questione non soltanto aveva superato il limite di 120 miglia, ma era stato cronometrato a 141 miglia orarie (226 km/h). Se la misurazione sia stata esatta non è verificabile, ma se così fosse alla 6100 apparterebbe il primato di velocità ufficiale per locomotive a vapore. Trattandosi di un "record" realizzato illegalmente la PRR preferì in seguito tacere sull'episodio, mentre successivamente a questo evento la ICC emanò una direttiva in forza della quale la velocità massima permessa sulla linea Chicago-Crestline veniva ridotta da 193 a 161 km/h (100 miglia orarie) [14].

E' comunque da sottolineare che, essendo l'episodio privo di conferme, la sua attendibilità è stata posta in dubbio da parte di alcune fonti.

La 6100 fece molte soste in officina per operazioni di manutenzione che, per essere agevolate, costrinsero il personale tecnico a rimuovere la carenatura laterale e rendere quindi più accessibili gli organi del movimento. A costi di esercizio molto elevati faceva riscontro uno scarso grado di utilizzo e nell'autunno del 1946 la 6100 venne trasferita ai servizi merci rapidi, per i quali non risultò evidentemente idonea e venne accantonata. Nessun'altra amministrazione la volle, neanche per i musei risultava interessante perché troppo grande e nel 1949, a soli dieci anni dalla sua costruzione, la 6100 terminò la sua breve carriera presso il demolitore [14].

Troppo grande, potente e veloce per le ferrovie del tempo: così in estrema sintesi si riassume l'insuccesso in servizio della locomotiva 6100 Classe S1 della PRR.

4. Le locomotive da velocità Classe T1 della Pennsylvania Railroad

L'esperienza che stava maturando con l'utilizzo della

would have detained the unofficial top record speed for steam locomotives. Because the "record run" was illegally achieved, the PRR preferred to maintain silence over the episode, while on the other hand the ICC issued a regulation by which the maximum authorized speed on the Chicago - Crestline line was to be reduced to 100 mph [14].

It is worth of note that since the episode lacks of evidence, its credibility has been questioned by some sources.

The 6100 stopped frequently at the shop for maintenance operations. Such operations were made easier by removing the side casing, thus making accessible the moving parts. The very high operational costs were not balanced by an adequate degree of use, thus in the autumn of 1946 the locomotive was assigned to haul express freight trains. It was evident that the locomotive was not up to this job, thus it was sent to the depot. No other railroad operator wanted the locomotive, even the museums did not find it interesting because it was too big. Therefore in 1949, after just ten years of service, the 6100 was dismantled [14].

Too big and too powerful and fast for the railways of that time: this is in a nutshell the failure of the 6100 Class S1 locomotive in service at PRR.

4. The PRR fast passenger Locomotives Class T1

The experience gained through the utilization of the "Big Engine" forced PRR to change its plans and rethink the ideal dimensions of a more usable locomotive for service. At the same time Baldwin was continuing its development on a project of a Duplex-drive locomotive for fast passenger service capable of similar or even better performances than the *Northern* locomotives. During the year 1940 Baldwin announced its will to build a non-articulated prototype with four coupled axles divided into two engine groups, which would have served as a demonstrator.

PRR anticipated its construction by ordering at Baldwin two locomotives based on the new drawings and technical design specifications [20].

For such means PRR asked the builder for a hauling capacity of 800 t at 100 mph on flat surface [20] and chose the Franklin poppet valve gear instead of the classic Walschaerts system [26].

Baldwin was favorable towards the Walschaerts gear because the moving masses were to be fractioned anyways due to the Duplex-drive, thus proposed to build one locomotive with the Franklin valve gear, and the other with the Walschaerts motion with the purpose to evaluate both solutions. At the time of the order PRR, who was enthusiast of the power increase and performance obtained on the *Pacific* locomotive no. 5399 with the installation of the Franklin poppet valves type "A" that were operated by oscillating camshafts, opted for this solution, so both Duplex locomotives were equipped with this type of motion

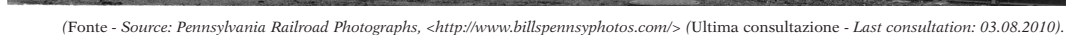


Fig. 6 – Locomotiva di pre-serie Classe T1 6110 della Pennsylvania Railroad in una immagine di fabbrica (1942). *Prototype locomotive of Class T1 6110 of the Pennsylvania Railroad in a builder's photo (1942).*

[20]. Each cylinder had eight valves divided into two groups for each of its ends; each single group included two inlet valves with a diameter of 127 mm (5 in) and two exhaust valves with a diameter of 152.4 mm (6 in) [7]. The maximum steam cut-off was set to 75 % of the cylinder's stroke [19].

On the 6111 a booster was installed⁽⁶⁾ on the rear bogie, while the 6110 did not have it, even though it was designed to have one [24].

Per questi mezzi la PRR richiede unicamente al costruttore una capacità di traino di 800 t a 100 miglia orarie in piano su percorso rettilineo [20] e si orientò verso l'adozione del sistema di distribuzione a valvole della Franklin, anziché del classico sistema Walschaerts [26].

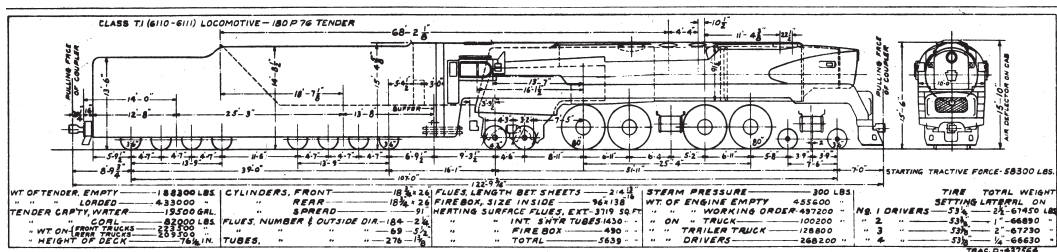


Fig. 7 – Schema delle locomotive di pre-serie Classe T1 6110-6111 della Pennsylvania Railroad. *Schema of the prototype locomotives of Class T1 6110-6111 of the Pennsylvania Railroad.*

⁽⁶⁾ Auxiliary gear that, at the discretion of the driver, temporarily makes a rear bogie axle or one of the two tender's axles to become a driving wheel axle thus increasing the adhesive weight available for the traction. Its insertion is carried out at the starting of the convoy and operated at speed values not higher than 50 km/h [1].

fine di valutare entrambe le soluzioni. Al momento del conferimento dell'ordine la PRR, entusiasta per l'incremento di potenza e di prestazioni ottenute con l'installazione sulla sua *Pacific* n. 5399 della distribuzione a valvole Franklin tipo "A", azionate da camme oscillanti, optò per quest'ultima soluzione ed entrambe le nuove locomotive Duplex vennero dotate con tale tipo di distribuzione [20]. Ogni cilindro disponeva di otto valvole, suddivise in due gruppi per ciascuna delle sue estremità; ogni singolo gruppo comprendeva a sua volta due valvole di introduzione del diametro di 127 mm e due di scarico da 152,4 mm [7]. Il massimo grado di introduzione fu fissato in 75% della corsa del cilindro [19].

Le due nuove locomotive, in rodiggio 2'BB2' (Whyte 4-4-4-4), furono consegnate alla PRR nel 1942 e presero la denominazione di Classe T1, numeri 6110 e 6111 (figg. 6 e 7). La disposizione dei cilindri esterni era identica alla S1 e parimenti a quest'ultima i motori azionavano il secondo ed il quarto asse.

Sulla 6111 venne installato un propulsore ausiliario ("booster")⁽⁶⁾ sul carrello posteriore, mentre la 6110 ne era sprovvista, benché fosse stata dotata di relativa predisposizione [24].

Similmente alla S1 6100 anche le nuove T1 ricevettero una carenatura aerodinamica, disegnata sempre da Raymond LOEWY [20]. Ma diversamente dal disegno adottato in precedenza, esse furono rivestite di una carenatura stilisticamente avveniristica e più aggressiva, a causa della caratteristica prominenza a "prua di nave" [23, 24].

Alla modernità delle linee, ampiamente pubblicizzata dalla PRR, si accompagnò l'utilizzo di materiali leggeri, come l'uso di alluminio per le lamiere della carenatura, della cabina e di altri particolari non soggetti a carichi dinamici allo scopo di economizzare sui pesi [15], mentre alcuni organi del movimento, quali le bielle, furono realizzate in leghe di acciaio, leggere e particolarmente resistenti, fornite dalla società Timken [26].

Il telaio della locomotiva, comprendente gli alloggiamenti per i due gruppi motori, ed i telai di entrambi i carrelli portanti erano realizzati per fusione di acciaio in unico blocco [30].

Anche gli organi più delicati del carro e del movimento ricevettero particolari raffinatezze costruttive: le boccole di tutti gli assi ed i biellismi vennero dotati di cuscinetti a rullo Timken, mentre per la prima volta negli USA vennero applicati freni a ganasce, azionati pneumaticamente, su tutte le ruote, incluse quelle motrici e sviluppati una forza pari all'80% del peso frenato [8, 24].

⁽⁶⁾ Meccanismo supplementare che, a volontà del macchinista, rende temporaneamente motore un asse portante della macchina oppure uno o due assi del tender e quindi aumenta il peso aderente disponibile ai fini della trazione. Il suo inserimento si effettua all'avviamento del convoglio ed a velocità non superiori a 50 km/h [1].

design, the locomotives received a more futuristic and aggressive streamlining due to the characteristic prominence as a "ships' prow" [23, 24].

The modernity of its lines, largely advertised by PRR, was accompanied with the use of light materials, such as aluminium for the plates of the casing, the cab and other details not subject to dynamic loads, for the purpose to economize the weights [15], while some of the moving parts, such as the rods, were built in alloy steel, which were light and particularly resistant. These were built by Timken [26].

The locomotive's frame, which included room for the two engine groups, and the frame of both the carrying bogies were built in single-piece cast steel [30].

Even the more delicate parts of the truck and moving parts received detailed constructive refinements: the journal-boxes of all axles and the main and side rods were equipped with Timken roller bearings, while for the first time in the US brake shoes were applied, air operated on all wheels, including the driving ones, and able to develop a braking power of 80% of the braked weight [8, 24].

The front bogie was of the constant resistance type, with specific centering devices, and the wheels with a diameter of 914 mm (36 in) were made of thermally resistant steel [30].

As usual with modern American locomotives, the front bogie was provided with lateral motion, with the axles sitting on a chassis and equipped with their own suspension. The connection to the locomotive's frame was done through a pin which transmitted part of the load to the bogie. On the lower part the pin rested on the bogie by means of a center casting installed on an oscillating beam which, sustained by a swing link moving laterally and anchored to the bogie's frame, allowed the same bogie to turn, and to transversally move independently from the locomotive's chassis. [2].

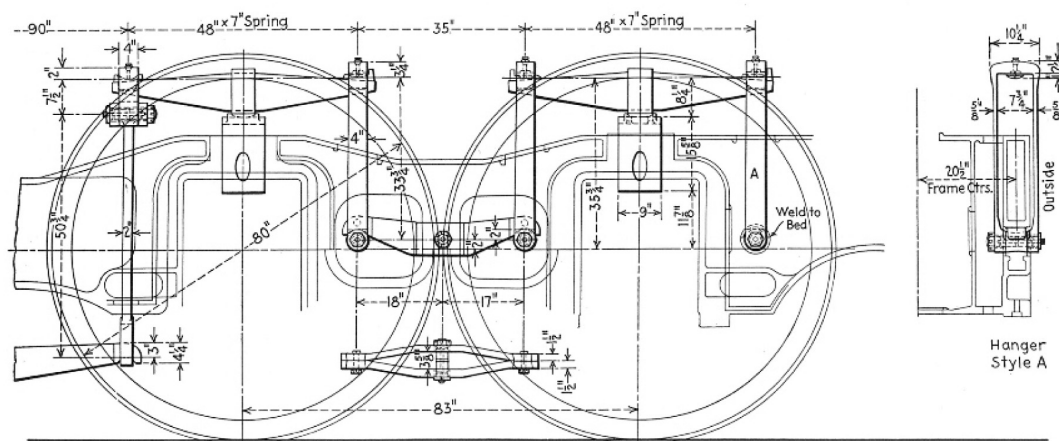
The rear bogie, of "Delta" type with radial motion [30], was connected to the locomotive's chassis through a pin positioned 84 cm (33 in) behind the last coupled axle [24]. The wheel-base was particularly short (1,372 mm or 54 in, see fig. 7) with benefit to the weight reduction, and the wheels, made of treated steel, had a diameter of 1,067 mm (42 in) [30].

The lateral movement was done the same way as that of the front bogie, while centering devices allowed realignment with respect to the locomotive's chassis [2, 30].

The rear bogie's suspension was assembled with equalizers for the load distribution (24) and was connected with the suspension of the coupled axles, while the leading bogie had a stand-alone suspension (4).

In fig. 8 is shown the spring rigging of the two coupled axles of the engine group, with a detail of the leaf springs, hangers and equalizers.

In order not to repeat the mistakes made with the "Big



(Fonte - Source: Train Shed Cyclopedia No. 56, Pennsylvania T-1 locomotives, from *Railway Mechanical Engineer*, Jan 1943. Newton K. Gregg Publisher, Novato, 1977).

Fig. 8 – Assemblaggio sospensione degli assi accoppiati della T1. In evidenza le balestre, il bilanciante ed i relativi tiranti. Section of the spring rigging of the T1 locomotive coupled axles. Shown are hanger and equalizer details.

Il carrello anteriore era del tipo a resistenza costante, con appositi dispositivi di richiamo e le ruote, del diametro di 914 mm, erano in acciaio ad alta resistenza termica [30].

Come consuetudine per le locomotive americane moderne, il carrello anteriore era girevole, con gli assi poggiati su un telaio e muniti di sospensione propria. Il collegamento al telaio della locomotiva era assicurato da un perno, che ne trasmetteva parte del peso al carrello. Inferiormente il perno poggiava sul carrello per mezzo di una ralla installata su una trave oscillante che, sostenuta da pendini dotati di movimento laterale ed ancorati al telaio del carrello, permetteva allo stesso di sterzare e di spostarsi trasversalmente, indipendentemente dal telaio della locomotiva [2].

Il carrello posteriore, di tipo "Delta" a spostamento radiale [30], era collegato al telaio della locomotiva con un perno posizionato 84 cm dietro l'ultimo asse accoppiato [24]. Il suo passo era particolarmente corto (1.372 mm, cfr. fig. 7) a tutto beneficio del contenimento dei pesi e le ruote, egualmente in acciaio trattato, avevano il diametro di 1.067 mm [30].

Il movimento trasversale era realizzato allo stesso modo del carrello anteriore, mentre dispositivi di richiamo permettevano il riallineamento rispetto al carro della locomotiva [2, 30].

La sospensione del carrello posteriore era assemblata con bilanciatori per equilibrare la distribuzione dei carichi (24) ed era collegata con la sospensione degli assi accoppiati, mentre il carrello portante aveva sospensione a sé stante (4).

In fig. 8 è evidenziato l'assemblaggio della sospensione dei due assi accoppiati del gruppo motore, con dettaglio delle balestre, dei tiranti e del bilanciante.

Engine" 6100, the two new locomotives were designed and built by Baldwin on a reduced dimensional scale, even though they turned out to be as heavy as the largest *Northern* currently in service [24]. The full mass of the T1 without tender was in fact 225 t (50 less than the S1, but 50 more than the *George H. Emerson*), of which 121.5 t of adhesive weight (a little less than the S1). The size of the boiler however, and in particular of the firebox and of the grate resulted slightly sacrificed and somehow smaller compared to the largest *Northern* locomotives [28].

In a comparison with locomotives of the same size and type such as the *Northern*, the T1 had a rod and machinery weight of reciprocating parts reduced in the measure of 24%, and a single cylinder thrust more than halved [19].

To achieve the design speed of 100 mph (161 km/h) the driving wheels, of Boxpok disc type, had a diameter of 2,032 mm (80 in), while the huge tender equipped with eight axles, also streamlined, could accommodate coal stock up to 38.6 t and 73.8 m³ of water. Thus the two T1 Duplex prototypes, placed in service on the 1,148 km Harrisburg, PA – Chicago, IL line were able to cover the entire distance with one stop for refueling at Millbrook, OH [15, 20].

Despite their considerable dimensions, the T1s had the capability to negotiate curves with a minimum radius of 117 m at a low speed (approximately 20 km/h) (7) thanks to the lateral movement of 50.8 mm on the first and third coupled axle (30), and were enabled to perform service in the difficult line section between Altoona and Pittsburgh, which had curve radiuses even less than 200 m (table 3).

In their maiden trips the two prototypes produced an excellent performance: the 6110 hauling a 14 car train with a total mass of 900 t on the flat line Crestline – Fort

Nell'ottica di non ripetere gli errori commessi con la "Big Engine" 6100, le due nuove locomotive erano state progettate e costruite da Baldwin su una scala dimensionale più ridotta, anche se esse risultarono altrettanto pesanti quanto le più grandi *Northern* in circolazione [24]. La massa in servizio delle T1 senza tender superava infatti 225 t (50 in meno della S1, ma 50 in più della *George H. Emerson*), dei quali 121,5 t aderenti (di poco al di sotto della S1). Tuttavia le dimensioni della caldaia ed in particolare del forno e della griglia risultarono un po' sacrificate ed alquanto inferiori alle maggiori locomotive *Northern* [28].

Nel confronto con locomotive tipo *Northern* della stessa classe di peso, la T1 presentava masse in movimento ridotte del 24% e spinta per cilindro poco più che dimezzata [19].

Per raggiungere la velocità di progetto di 100 miglia orarie (161 km/h) le ruote motrici, di tipo Boxpok a disco, avevano un diametro di 2.032 mm, mentre l'enorme tender ad otto assi, anch'esso carenato, poteva ospitare scorte di 38,6 t di carbone e 73,8 m³ di acqua. Pertanto le due Duplex T1, immesse in servizio sulla linea Harrisburg (PA) - Chicago di 1.148 km, potevano percorrere l'intera tratta con una sola sosta di rifornimento a Millbrook (OH) [15, 20].

Malgrado le loro ragguardevoli dimensioni, le T1 avevano la capacità di iscriversi in curve con un raggio minimo di 117 m, a velocità ridotta (circa 20 km/h) (7), in virtù del movimento laterale di 50,8 mm di cui erano dotati il primo ed il terzo asse accoppiato (30), ed erano abilitate al servizio sulla difficile sezione compresa tra Altoona e Pittsburgh che aveva raggi di curvatura inferiori anche a 200 m (tabella 3).

Nei loro viaggi inaugurali i due prototipi fornirono prestazioni eccezionali: la 6110, al traino di un convoglio composto da 14 carrozze e della massa di 900 t sulla linea pianeggiante Crestline - Fort Wayne - Chicago mantenne velocità costanti comprese tra 155 e 160 km/ora, con un risparmio di oltre mezz'ora sull'orario ufficiale [15], mentre la 6111, trainando 16 vetture con una massa di 1.040 t, mantenne una velocità media di 164 km/ora per 111 km consecutivi, grazie anche al profilo favorevole del tracciato [24].

Nell'aprile del 1944 la 6110, dopo avere percorso 193.000 km, venne sottoposta a test di potenza e di controllo efficienza negli stabilimenti PRR di Altoona [15]. I risultati furono ancora una volta eccezionali: la potenza massima ai cilindri fu misurata in 6.552 HP (6.644 CV) ad una velocità di 137 km/h, con un grado di introduzione del vapore pari al 25%. La capacità evaporativa massima del generatore di tipo Belpaire fu di 47.780 kg/h e la temperatura di surriscaldamento registrata di 402° C, mentre le pressioni misurate in caldaia ed ai cilindri di distribuzione furono rispettivamente di 20,3 e 19,8 bar, con un "salto" estremamente ridotto, inferiore al 3% [7, 15, 20, 24]. Anche l'efficienza della macchina risultò elevatissima, superiore al 90% a tutte le velocità, in virtù della distribuzione a valvole e dall'applicazione dei cuscinetti a rulli su tutto l'apparato del movimento [7].

Wayne - Chicago was able to maintain constant speeds between 155 and 160 km/h with a total gain of 30 minutes with respect to the official timetable [15], while the 6111, which hauled a 16 car train with a total mass of 1,040 t, was able to maintain an average speed of 164 km/h for 111 consecutive kilometers, also thanks to a favorable profile of the line [24].

In April 1944 the 6110, after covering 193,000 km underwent a power test and an efficiency control test on PRR's shops in Altoona [15]. Once again the results were exceptional: the maximum indicated horsepower was measured to be 6,522 HP at a speed of 137 km/h with a cylinder cut-off equal to 25 %. The maximum evaporative capacity of the Belpaire type firebox was 47,78 kg/h, and the superheating temperature was recorded at 402 °C, while the measured steam pressures in the boiler and at the valve chest were found to be 20.3 and 19.8 bar respectively, with an extremely reduced drop, less than 3% [7, 15, 20, 24]. The machine efficiency was also very high, over 90 % at all speeds thanks to the poppet valve motion, and to the application of the roller bearings to the entire running gear [7].

During their operational activities the two prototypes showed a series of problems that were documented in numerous runs done between Harrisburg and Chicago [4]. Such problems may be summarized as follows:

- loss of adhesion of the front engine group when accelerating, especially between 8 and 16 km/h (but slipping occurred also at higher speeds) with the need to shut the regulator for a short time;
- sanders with insufficient capacity, and sand distribution system to the rails sometimes defective;
- non optimized regulation of the suspensions, with a "rough" riding and dynamic load transfer from an engine group to the other;
- the configuration and maintenance of the Franklin valves was very laborious, the lubrication was difficult, and loss of lubricant worsened adherence;
- steaming was sometimes insufficient, due to a bad draft caused by the double exhaust, and generation of back pressure at the cylinders;
- strong turbulences generated on the tender due to the aerodynamic casing, with aspiration and inlet of elevated quantities of coal dust in the driver's cab.

In some of the cases, such as the suspension regulation and draft, the issues were solved by equalizing the bogies and the related engine group⁽⁷⁾ and eliminating the double exhaust with a single stack [4]. The T1 prototypes continued however to show adhesion problems when starting heavy compositions, mitigated only by particular maneu-

⁽⁷⁾ The suspension modification was carried out in 1946 on two prototypes and such assembly was then implemented on all the series units [4].

Nell'attività in servizio i due prototipi manifestarono una serie di problemi che furono documentati in occasione di numerose corse effettuate tra Harrisburg e Chicago [4]. Essi possono riassumersi in:

- perdite di aderenza del gruppo propulsore anteriore in accelerazione, soprattutto fra 8 e 16 km/h (ma slittamenti si verificavano a velocità anche superiori) con necessità di chiudere il regolatore per brevi istanti;
- sabbie con scorte insufficienti e sistema di distribuzione sulle rotaie talvolta difettoso.
- regolazione non ottimale delle sospensioni, con comportamento "ruvido" in corsa e trasferimenti di carichi dinamici da un gruppo motore all'altro;
- messa a punto e manutenzione del sistema di distribuzione a valvole Franklin molto laboriosa, lubrificazione difficoltosa e perdite di lubrificante che peggioravano l'aderenza;
- vaporizzazione talvolta insufficiente, a causa di cattivo tiraggio ascrivibile al doppio scappamento e generazione di contropressione ai cilindri;
- forti turbolenze generate in velocità sul tender a causa della carenatura aerodinamica, con aspirazione ed immissione di elevate quantità di polveri di carbone in cabina di guida;

Alcuni degli inconvenienti, quali la regolazione delle sospensioni e del tiraggio, vennero risolti, equilibrando rispettivamente le tarature fra il carrello portante ed il relativo gruppo motore⁽⁷⁾ e sostituendo il doppio scappamento con uno singolo [4]. Tuttavia i due prototipi T1 continuarono a manifestare perdite di aderenza all'avviamento di pesanti composizioni, solo mitigate dalle particolari tecniche di condotta dei mezzi, con l'utilizzo molto attento ed accurato del regolatore, che richiesero il ricorso a personale di macchina esperto ed addestrato [15]. Le soste di manutenzione in officina furono particolarmente numerose, principalmente a causa del delicato sistema di distribuzione a valvole.

La sperimentazione dei due prototipi si protrasse fino al 1945 ed in conclusione la direzione tecnica della PRR certificò che le due locomotive erano in grado di rimorchiare i convogli secondo i parametri progettuali, mentre molti degli inconvenienti rilevati inizialmente erano stati risolti. Si specificava altresì che le locomotive richiedevano una preparazione e livelli di manutenzione appropriati, soprattutto per quanto concerneva la lubrificazione e le sabbie. Infine, si raccomandava di immettere le T1 in servizio tra Harrisburg e Pittsburgh, senza fermate intermedie e dopo una sosta di servizio a Pittsburgh utilizzarle sulla linea di Chicago, verso nord-ovest e di St. Louis (MO) a sud-ovest, con un unico stop intermedio su en-

tering techniques and a careful use of the regulators. Such actions required the expertise of trained personnel [15]. Maintenance stops at a shop were significantly numerous, primarily because of the delicate valves gear.

The testing of the prototypes was carried until 1945. By then the technical management of PRR stated that the two locomotives were able to haul convoys in accordance to the design parameters while most of the documented issues had been resolved. It was specified as well that the locomotives required a preparation and appropriate maintenance levels, especially those concerned with the lubrication and the sand distributors [5]. Finally it was recommended to put the T1s in service between Harrisburg and Pittsburgh without intermediate stops, and, after a service stop at Pittsburgh, use them on the Chicago line, on the North West, and on the St. Louis line on the South West, with only one intermediate stop on both lines to load fuel.

In the same year, when World War II ended along with the restrictions imposed by the government with respect to the construction of new locomotives for passenger trains, PRR placed an order of 50 locomotives of the T1 class, half of which were to be built in its own facilities in Altoona and the remaining by Baldwin. The standard locomotives were in all similar to the prototypes, and maintained the same labeling by receiving the numeration 5500-49, following the sequence of the older *Pacific K4s* to which they were to succeed [6].

PRR, who had electrified before the war its most important lines of the eastern coast, decided to widely advertise the Duplex T1s as the equivalent of its own modern and powerful six powered axle locomotives GG1, but operating on the non electrified lines, for which this railroad operator, as opposed to the others, was still bound to steam traction rather than diesel [19, 20].

The production T1s only presented minor detail differences compared to the two prototypes: externally they were distinguishable for the absence of the upper plates of the lateral casing with the purpose to ease the access to the moving parts (fig. 9). Their total and adhesive masses shown in table 4 however resulted to be slightly higher compared to that of the prototypes [24].

Like the two prototypes, the standard T1s were all equipped with the Franklin type "A" valve motion [20].

The supply of the T1 series ended in August 1946, PRR's centenary year, but also the first year in terms of economic difficulties. PRR had to face cost increments, a decline in passenger transportation on rail, and extended loss of operation. At the same time the railroad industry, led by automaker General Motors, was offering diesel locomotives with more advanced technology, more economical and more flexible compared to steam traction because of their capability to be coupled in multiple units. The last standard T1, the 5549, delivered in August 1946 was also the last steam locomotive delivered to PRR [23].

⁽⁷⁾ La modifica alla sospensione venne eseguita nel 1946 sui due prototipi e tale assemblaggio venne introdotto anche su tutte le macchine di serie [4].

trambe le direttrici per il rifornimento di combustibile [5].

Lo stesso anno, al termine della Seconda Guerra Mondiale e delle restrizioni governative imposte alle nuove costruzioni di locomotive per treni viaggiatori, la PRR ordinò 50 locomotive T1 di serie, per metà prodotte nei propri stabilimenti di Altoona e le rimanenti dalla Baldwin. Le locomotive di serie erano del tutto simili ai due prototipi e mantennero la stessa denominazione, ricevendo la numerazione 5500-49, in sequenza rispetto alla numerazione delle anziane *Pacific K4s*, alle quali avrebbero dovuto succedere [6].

La PRR, che aveva già elettrificato prima della guerra le più importanti linee della costa orientale, pubblicizzò le Duplex T1 come l'equivalente dei suoi moderni e potenti locomotori a sei assi motori GG1 sulle linee non elettrificate, per le quali questa amministrazione ferroviaria, diversamente da molte altre, era ancora orientata alla trazione a vapore anziché diesel [19, 20].

Le T1 di serie presentavano solo differenze di dettaglio rispetto ai due prototipi: esternamente si distinguevano per l'assenza delle pareti superiori sulla carenatura laterale, allo scopo di permettere un migliore accesso agli apparati del movimento (fig. 9). Tuttavia le loro masse totali e aderenti riportate in tabella 4 risultarono leggermente superiori a quelle dei prototipi [24].

Come i due prototipi, anche le T1 di serie furono tutte equipaggiate con la distribuzione a valvole Franklin tipo "A" [20].

La fornitura delle T1 di serie si esaurì nell'agosto del 1946, anno del centenario della PRR, ma anche il primo



(Fonte - Source: Pennsylvania Railroad Photographs, <<http://www.billsPENNSYphotos.com/>> (Ultima consultazione - Last consultation: 03.08.2010).

(Foto - Source: Pennsylvania Railroad (collezione Pennsylvania Railroad Technical and Historical Society).

Fig. 9 – La T1 5505, produzione di serie, in una foto di fabbrica del 1945. Rispetto ai due prototipi, la carenatura laterale era leggermente alleggerita, per favorire l'accessibilità ai meccanismi del movimento. *Engine 5505, T1 Class series production, in a builder's photo, 1945. The side casing was slightly lighter with respect to the two prototypes aiming to ease the accessibility to the running gears.*

PRR remained faithful to steam traction until 1948 when its president, Martin W. CLEMENT, announced that within a short period of time all passenger traffic traveling on non-electrified lines west off Harrisburg (bound to Chicago and St. Louis) would be migrated to diesel traction [20].

When and how much the behavior of the T1s in operation had influenced PRR's decision to abandon steam traction and to favor diesel has been one of the most debated and controversial among the discussions related to the Duplex locomotives.

To attempt to give an objective answer one needs to analyze the use in operation of the T1s: the 52 units, 50 standard and the two prototypes were allocated to all not-electrified lines, and were to pull the heaviest trains. This disposition found the various depots unprepared because most of their locomotive personnel were not trained to operate the new locomotives, which were very sensitive to the use of the regulator, as mentioned previously. The consequences were negative, and the T1s suffered the same kind of issue that affected the experimental S1 locomotive, with several and serious difficulties in starting up trains due to the loss of adhesion of the coupled axles, where such losses could occur to speeds up to 80 km/h [15].

E.T. HARLEY, who worked for PRR, even cites a sudden slippage of a T1 travelling at 112 km/h while hauling a heavy troop convoy. The event occurred on the other hand in difficult conditions (fog and humidity), and it would reveal itself all of a sudden through prolonged vibrations in the driving cab. The locomotive engineer was forced to immediately shut the regulator, and cautiously reactivate it once the driving wheels stopped slipping [18].

The issue, previously outlined during the testing phase, worsened during the normal routine service to which all the T1s were assigned, due to the frequent stops scheduled by the timetable. It was a type of operation that was not appropriate to the T1s, and the smaller and older *Pacific* were able to better accelerate the trains [13].

The T1s were designed to pull faster and more prestigious trains (the *Blue Ribbon*) on flat paths and with few stops, in substitution to the *K4s Pacific* in double traction [27]. Their use in normal service flipped instead their design features: in order to increase adhesion and improve the operational availability, it was decided to reduce the maximum tractive effort by reducing the diameter of the cylinders by 1 inch (25.4 mm) [23]. The modification was done on one of the prototypes, the 6111, and was subsequently extended to seven standard T1s⁽⁸⁾ during the period from 1947 to 1948 [24].

⁽⁸⁾ Based on the account of some sources (e.g. B. PENNY-PACKER) the modification was extended to the entire locomotives roster.

delle sue difficoltà economiche, dovendo far fronte all'incremento dei costi, al declino del trasporto viaggiatori su rotaia ed a diffuse perdite d'esercizio. Nel contempo l'industria ferroviaria, in testa la grande casa automobilistica General Motors, offriva locomotori Diesel tecnologicamente sempre più avanzati, più economici e più flessibili della trazione a vapore in quanto accoppiabili in multiplo. L'ultima T1 di serie, la 5549, consegnata nell'agosto 1946 fu anche l'ultima locomotiva a vapore fornita alla PRR [23].

La PRR era rimasta a lungo fedele al vapore, ma all'inizio del 1948, il suo Presidente Martin W. CLEMENT annunciò che a breve tutto il traffico passeggeri pesante sulle linee non elettrificate ad ovest di Harrisburg (verso Chicago e St. Louis) sarebbe passato alla trazione Diesel [20].

Se e quanto il comportamento delle T1 nell'esercizio abbia influito sulla decisione della PRR di abbandonare la trazione a vapore a favore del Diesel è stato uno dei temi più dibattuti e controversi nelle discussioni relative alle locomotive Duplex.

Per tentare di formulare una risposta oggettiva occorre analizzare l'impiego in servizio delle T1: le 52 unità, 50 di serie e i 2 prototipi, erano state assegnate a tutte le linee non elettrificate al traino dei convogli più pesanti. Questa disposizione trovò impreparati i vari depositi, in quanto molta parte del personale di macchina non era addestrata alla condotta dei nuovi mezzi, che si mostravano - come rilevato - alquanto sensibili all'utilizzo del regolatore. Le conseguenze furono negative e le T1 ebbero a soffrire dello stesso tipo di inconveniente che aveva afflitto la locomotiva sperimentale S1, con numerose e gravi difficoltà all'avviamento a causa di perdite di aderenza degli assi motori, che potevano verificarsi fino a velocità intorno ad 80 km/h [15].

E.T. HARLEY, che prestò servizio presso la PRR, cita addirittura una repentina perdita di aderenza di una T1 lanciata a 112 km/h al traino di un pesante convoglio trasporto truppe, occorsa per altro in difficili condizioni ambientali (nebbia e umidità) e del suo improvviso manifestarsi con prolungate vibrazioni nella cabina di guida. Il macchinista fu costretto a chiudere immediatamente il regolatore ed a riattivarlo cautamente quando le ruote motrici cessarono di slittare [18].

Il problema, già evidenziato nel periodo di prova, si aggravò ulteriormente nella normale *routine* di servizio a cui tutte le T1 vennero assegnate, a causa delle numerose fermate previste dall'orario. Era un tipo di servizio per il quale le T1 non erano affatto adatte e le più piccole ed anziane *Pacific* acceleravano meglio i convogli [13].

Le T1 erano state progettate per rimorchiare i treni più veloci e prestigiosi ("*blue ribbon*"), su percorsi pianeggianti e con poche fermate, in sostituzione delle K4s *Pacific* in doppia trazione [27]. Il loro utilizzo in servizio ne stravolse invece le caratteristiche progettuali: allo scopo di aumentarne l'aderenza e migliorare il livello di operatività si decise di abbassare lo sforzo di trazione massimo riducen-

The T1s had a favorable factor of adhesion⁽⁹⁾ slightly higher than the safety threshold of 4, but the Association of American Railroads had suggested that the Duplex locomotives were to include in their design a higher factor of adhesion compared to traditional locomotives, due to the lower number of coupled axles operated by each engine group [7, 19, 20].

Around 1948 the T1s began to be used in double traction with diesel locomotives, which took care of the traction of the trains during the starting up and acceleration phase, and later disabled leaving at speed only the T1s [15].

Moreover the detailed maintenance that was needed due to the complexity of these engines, especially the valves gear, was often times performed inappropriately, and over the time the repair interventions became more frequent and costly [15].

One of the units, the 5547, received in 1949 piston valves with the classic Walschaerts motion, thus being reclassified T1a (fig. 10), while another, the 5500, in 1948, was equipped with the Franklin type "B" valve distribution controlled by rotating camshafts instead of the oscillating ones. This had the advantage of a greater constructive simplicity and a better accessibility. PRR however decided not to extend either system to the other locomotives [15, 24].

Work was done also on the esthetics in order to improve accessibility to the distribution parts, thus the casing plates that still covered the cylinders and part of the front were removed. Moreover the ordinary maintenance and cleaning of the locomotives became more and more rare.

Starting from the years 1950-51 the T1s did no longer receive revisions or extraordinary maintenance of any kind, and were gradually dismissed. Ironically many of the old Pacific K4s were kept in service for a longer time, assigned to haul local trains [15].

Despite the overall negative results recorded during service, there are on the other hand direct testimonials from the locomotive personnel who would indicate how the T1 was indeed a difficult locomotive to operate, but yet, with a careful control of the regulator and of the cut-off as well as an adequate use of the sand distributors, it was able to even start heavier trains without showing excessive adhesion problems, by all means manageable, while at speed was able to easily accelerate [4].

The T1 would behave like a true racer [20]: a locomotive engineer reported that he was able to achieve a speed

⁽⁹⁾ "Factor of adhesion", calculated as the ratio between the adhesive mass of the locomotive and the maximum tractive effort exerted, expressed in pounds. In a conventional two-cylinder steam locomotive design that ratio must be around 4, if lower the risk of spin of the driving wheels will rise, as the coefficient of friction between wheel and rail under normal conditions is 0.25 [8, 22].

do il diametro dei cilindri di un pollice (25,4 mm)[23]. La modifica venne effettuata su uno dei due prototipi, la 6111, e successivamente fu estesa ad altre sette macchine di serie⁽⁸⁾, nel corso degli anni 1947 e 1948 [24].

Le T1 possedevano un fattore di aderenza⁽⁹⁾ favorevole, leggermente superiore alla soglia di sicurezza di 4, ma la Association of American Railroads aveva suggerito che le locomotive Duplex dovessero prevedere a progetto un fattore di aderenza superiore rispetto alle locomotive convenzionali, a causa del numero inferiore di assi accoppiati azionati da ciascun gruppo motore [7, 19, 20].

Intorno al 1948 le T1 iniziarono ad essere utilizzate in doppia trazione con locomotive Diesel, che provvedevano alla trazione dei convogli in fase di avviamento e di accelerazione, per poi essere disinserite lasciando, in velocità, la trazione alle sole T1 [15].

Inoltre l'accurata manutenzione, necessaria per la complessità di queste macchine, in particolare all'apparato di distribuzione, era spesso eseguita inadeguatamente e col passare del tempo gli interventi di riparazione si rivelarono troppo frequenti e costosi [15].

Una unità di serie, la 5547, ricevette nel 1949 distributori cilindrici con il classico sistema Walschaerts, venendo riclassificata T1a (fig. 10), mentre su un'altra, la 5500, era stata installata nel 1948 la distribuzione a valvole Franklin tipo B, comandate da camme rotanti anziché oscillanti, che aveva il pregio di una maggiore semplicità costruttiva e di una migliore accessibilità, ma la PRR decise di non estendere l'uno o l'altro sistema alle altre macchine [15, 24].

Si intervenne anche sull'estetica al fine di migliorare l'accessibilità agli organi della distribuzione e vennero rimosse le parti di carenatura che ancora celavano i cilindri e parte del frontale. Inoltre la manutenzione ordinaria delle locomotive e la loro stessa pulizia col tempo divennero sempre più rare.

A partire dal 1950-51 le T1 non vennero più sottoposte a revisioni o manutenzioni straordinarie di nessun genere ed iniziarono ad essere dismesse; paradossalmente molte delle anziane *Pacific* K4s rimasero in servizio più a lungo, assegnate al traino di convogli locali [15].

A fronte dei risultati complessivamente negativi rilevati in servizio, esistono testimonianze dirette da parte del personale di macchina che indicano come la T1 fosse sì una locomotiva difficile da condurre, ma con un utilizzo

di 105 mph (169 km/h) in una favorevole sezione di the Pittsburgh Division⁽¹⁰⁾ and how surprised he was in verifying how easy it was to accelerate the train at high speeds; he decided not to further accelerate the train, as he had exceeded the allowed speed on the line, and, fearing a rough handling of the train and to receive a warning from the conductor, he decided to gradually slow the train [4].

Reliable, but not documented sources, say that the T1 was able to reach a top speed in the range of 205-209 km/h (130 – 132 mph) while hauling heavy trains composed of 16 cars [15, 20].

The T1s were also evaluated by other railroad operators, where they were used on a temporary basis. In September 1946 the Chesapeake & Ohio Railway (C&O) borrowed two standard T1 to test them in pulling trains of regular and heavy composition (580 – 950 t) on steep and difficult lines that connected the state of Virginia with Ohio, with the purpose of comparing them with their 2'D2' Northern⁽¹¹⁾ Class J-3, about to be substituted. The reports about these tests did not evidence cases where there was serious loss of adhesion, except two very unfavorable occurrences. In comparing the 2'D2' J-3 of C&O,



(Fonte - Source: Pennsylvania Railroad Photographs, <<http://www.billsennysphotos.com/>> (Ultima consultazione - Last consultation: 03.08.2010).

(Foto - Photo: Pennsylvania Railroad (collezione Pennsylvania Railroad Technical and Historical Society).

Fig. 10 – La 5547, unico esemplare della Classe T1 con sistema di distribuzione Walschaerts e riclassificata T1a. La carenatura laterale risulta ulteriormente ridotta per facilitare la manutenzione ai due gruppi motori. *Engine 5547 was the unique T1 Class locomotive with Walschaerts motion, and re-classified as T1a. The side was further reduced to ease the maintenance of the engine groups.*

⁽⁸⁾ Secondo alcuni autori (ad es. B. PENNYPACKER) la riduzione del diametro cilindri riguardò l'intera flotta.

⁽⁹⁾ "Factor of adhesion", calcolato come rapporto tra massa aderente della locomotiva e sforzo di trazione massimo esercitato, espressi in libbre. In una locomotiva a vapore convenzionale bicilindrica tale rapporto non dev'essere a progetto inferiore a 4, pena la perdita di aderenza delle ruote motrici all'avviamento, essendo il coefficiente di attrito tra ruota e rotaia in condizioni normali pari a 0,25 [8, 22].

⁽¹⁰⁾ The maximum speed referred by the engine driver was reached between Seward (PA) and Lockport (PA), on a 13 km section of the line Altoona-Pittsburgh characterized by average slight descending grades of about 1‰ and curve radiuses not lower than 870 m. (4,35). Such speed value was well above the speed limit of 112 km/h permitted on this line (see table 3).

⁽¹¹⁾ Indeed named *Greenbrier* instead of *Northern* by Chesapeake&Ohio, an historical well established company in the South of the Country.

attento del regolatore e del grado di introduzione del vapore nei cilindri nonché un adeguato uso della sabbiera essa era in grado di avviare anche i convogli più pesanti senza che i problemi di aderenza si manifestassero in modo eccessivo, essendo comunque sempre controllabili, mentre in velocità accelerava con grande facilità [4].

La T1 si comportava da vero e proprio cavallo da corsa [20]: un macchinista riferì di avere raggiunto 105 miglia orarie (169 km/h) in una sezione favorevole della Pittsburgh Division⁽¹⁰⁾ e di essere rimasto sorpreso dalla facilità con la quale la locomotiva accelerava il convoglio alle alte velocità; egli decise di non aumentare ulteriormente l'andatura in quanto aveva superato i limiti imposti dalla linea e temendo di rendere la corsa del treno poco confortevole e di incorrere in un'ammonizione del capotreno provvide a rallentare progressivamente [4].

Fonti attendibili, ma non documentate, attribuiscono alle T1 velocità massime dell'ordine di 205-209 km/h, raggiunte al traino di pesanti convogli composti da 16 vetture [15, 20].

Le T1 furono valutate anche da altre amministrazioni ferroviarie, presso le quali prestarono temporaneamente servizio. Nel settembre del 1946 la Chesapeake & Ohio Railway (C&O) acquisì in prestito due T1 di serie per eseguire prove di traino di regolari convogli a pesante composizione (850-950 t) sulle linee acclivi e talvolta tormentate che collegavano lo Stato della Virginia con l'Ohio, a scopo di comparazione con le sue 2'D2' *Northern*⁽¹¹⁾ Classe J-3, in procinto di essere sostituite. I rapporti di questi test non segnalano casi di perdita di aderenza gravi da parte delle T1, salvo due evenienze particolarmente sfavorevoli. Nel confronto con le 2'D2' J-3 della C&O, che avevano ruote motrici di diametro inferiore (1.880 anziché 2.032 mm) e, soprattutto, erano equipaggiate di "booster", le T1 risultavano più lente all'avviamento e in accelerazione alle basse velocità. Tuttavia il loro comportamento nella marcia veloce risultò eccellente e la velocità massima raggiunta fu di 132 km/h, su linee che non consentivano di superare le 80 miglia orarie (128 km/h). Su una delle T1 in prova vennero inoltre effettuate rilevazioni per mezzo di un carro dinamometrico e fu misurata una potenza al gancio di 5.012 HP (5.082 CV) a 68 km/h. [27].

Indubbiamente le T1 erano sensibili alle perdite di aderenza e acceleravano con difficoltà alle basse velocità; inoltre l'apparato di distribuzione a valvole si rivelò alquanto delicato. Con molta probabilità l'applicazione del "booster" a tutta la flotta e l'utilizzo di un apparato di di-

that had a smaller driving wheel diameter (1,880 as opposed to 2,032 mm) and, most of all, were equipped with a booster, the T1s resulted to be slower at startup and acceleration at low speeds. Their behavior however at high speeds turned out to be excellent and the top speed achieved was 132 km/h on lines where the maximum allowed speed was 80 mph (128 km/h). Additionally on one of the T1s measurements with a dynamometric car were taken and it was measured a power at the drawbar of 5,012 HP at a speed of 68 km/h (42.5 mph) [27].

Without doubt the T1s were sensitive to adhesion losses and would experience difficulty in accelerating at low speeds; additionally the valves gear turned out to be somewhat delicate. Most likely the application of the booster to the entire fleet and the use of a less complex while more reliable motion apparatus would have at least mitigated, if not completely resolved the issue. Certainly the Walschaerts motion, which was not extensively tested on the locomotive no. 5547, would have reduced the number and the cost of the maintenance interventions. On the other hand, at the time when the two prototypes were ordered, Baldwin suggested to PRR to not to overlap two important tests such as the Duplex-drive and the poppet valves gear in one engine, because it would have been virtually impossible to determine the cause of potential operating problems [22].

To conclude, it can be said that the T1s were well designed and built locomotives, but were operated in service conditions that were very different from the trial environment. Too much attention was given by PRR to shop tests, and too little was given to real service conditions [22].

PRR had decided anyway to switch from steam to diesel, much more economic and flexible, thus did not have any more interest in finding adequate solutions to problems of the T1s. Such solutions would have been implemented if the steam traction had survived [26].

Powerful and fast, the T1s became too costly in terms of maintenance and repair, and with all likelihood they accelerated the transition process to diesel traction.

The T1s represented the most ambitious project among the Duplex locomotives, and with the 52 units put into service accounted as the most numerous Class, but had also the shortest lifetime: between 1951 and 1953 all locomotives were scrapped [24].

5. The Pennsylvania Railroad experimental freight locomotive Class Q1 6130

The use of Duplex-drive locomotives was extended to freight trains.

PRR possessed a large fleet (598 units) of heavy locomotives with five coupled axles of *Decapod* type (1'E, 2-10-0) of the Class I1s, utilized to pull freight train [8]. These were units capable to develop an exceptional tractive effort, but were slow and inadequate for regular freight

⁽¹⁰⁾ Per l'esattezza tra Seward (PA) e Lockport (PA), su una sezione della linea Altoona-Pittsburgh di circa 13 km in lievissima discesa mediamente dell'1 per mille e con curve di raggio non inferiore ad 870 m, fu raggiunta la velocità massima riferita dal macchinista (4,35). Tale velocità era ben superiore al limite di 112 km/h permesso su questa linea (cfr. tabella 3).

⁽¹¹⁾ In realtà denominate *Greenbrier* anziché *Northern* dalla Chesapeake&Ohio, società storicamente radicata nel sud del Paese.

stribuzione meno complesso e più affidabile avrebbero almeno mitigato, anche se forse non risolto del tutto, l'inconveniente. Sicuramente la distribuzione Walschaerts, che non fu estensivamente testata sulla locomotiva 5547, avrebbe ridotto la numerosità ed i costi degli interventi di manutenzione. D'altra parte al momento dell'ordine dei due prototipi il costruttore Baldwin aveva consigliato la PRR di non sovrapporre due importanti sperimentazioni, quali l'azionamento Duplex e la distribuzione a valvole in una sola macchina, in quanto sarebbe stato virtualmente impossibile stabilire l'origine di eventuali problemi operativi [22].

In conclusione, vi è da ritenere che le T1 furono macchine ben progettate e costruite, ma si trovarono ad operare in condizioni di servizio molto differenti rispetto alle prove. Troppa attenzione venne attribuita dalla PRR ai test di officina e poca alle condizioni reali di utilizzo [22].

La PRR aveva comunque deciso la transizione dal vapore al Diesel, molto più economico e flessibile, e non ebbe più interesse a trovare soluzioni adeguate ai problemi delle T1, soluzioni che sarebbero state sicuramente messe in atto se la trazione a vapore fosse sopravvissuta [26].

Locomotive potenti e veloci, le T1 divennero troppo onerose per gli interventi di manutenzione e riparazione e ciò con ogni probabilità accelerò il processo di transizione verso la trazione Diesel.

Le T1 rappresentarono il progetto più ambizioso e costoso tra le locomotive ad azionamento Duplex e con le 52 unità messe in servizio la Classe più numerosa, ma anche dalla carriera più breve, in quanto tutte le locomotive furono demolite fra il 1951 ed il 1953 [24].

5. La locomotiva sperimentale per treni merci Classe Q1 6130 della Pennsylvania Railroad

L'applicazione del sistema di azionamento Duplex fu estesa anche alle locomotive per treni merci.

La PRR possedeva una grande flotta (598 mezzi) di pesanti locomotive a cinque assi accoppiati in rodiggio *Decapod* (1'E, 2-10-0) della classe I1s, adibite al traino di convogli merci [8]. Erano mezzi capaci di un eccezionale sforzo di trazione, ma lenti e poco adatti ad una marcia regolare e disponevano di una superficie di griglia insufficiente ad alimentare la caldaia su lunghi percorsi [21].

Per il traino di convogli merci veloci la PRR utilizzava locomotive tipo *Mountain* (2'D1', 4-8-2) della Classe M1s che, per quanto potenti ed affidabili, disponevano pur sempre di soli quattro assi motori. Ne furono immesse in servizio 301 esemplari e in virtù delle loro ruote motrici di 1.830 mm erano talora utilizzate per il traino di convogli viaggiatori su linee acclivi [8].

Vi era in servizio anche un numero minore di pesanti locomotive tipo *Santa Fe* (1'E1', 2-10-2), ma il problema delle masse inerziali in gioco e la lunghezza dell'interasse degli assi accoppiati ne limitava l'utilizzo.



(Fonte - Source: Pennsylvania Railroad Photographs, <<http://www.billspenneyphotos.com/>> (Ultima consultazione Last consultation: 03.08. 2010).

(Foto - Photo: Pennsylvania Railroad (collezione Pennsylvania Railroad Technical and Historical Society).

Fig. 11 – La Q1 6130, con carenatura aerodinamica d'origine (1942). In evidenza i cilindri contrapposti dei due gruppi motori. Le dimensioni dei cilindri posteriori erano più ridotte rispetto agli anteriori. *The Q1 6130, with its streamlining of origin (1942). The opposed cylinders of the two engine groups are visible. The rear cylinders were smaller than the front engine cylinders.*

trains, and had a grate surface that was not sufficient to feed the boiler on long distances [21].

For hauling fast freight trains PRR was using *Mountain* type locomotives (2'D1', 4-8-2) of Class M1s which, despite being powerful and reliable, were equipped with only four coupled axles. 301 units were put into service, and because of the diameter of 1,830 mm (72 in) of the driving wheels, they were sometimes used to pull passenger trains on steep lines [8].

A small number of heavy *Santa Fe* locomotives (1'E1', 2-10-2) was also on service but their use was limited due to the issue related to their moving masses and the wheel-base length of the coupled axles.

Additionally, being these two-cylinder locomotives, the great thrusts generated by their large cylinders presented the same issues previously evidenced with respect to passenger train locomotives.

On the other hand the articulated locomotives were rarely used in PRR, with the exception of some units put in service years before as pushers or experimental units [8].

In 1939 PRR's President showed interest for a locomotive that was adequate to haul fast freight trains, when related to a possible speed upgrade from 50 to 60 mph (80 to 96 km/h). He asked if it was possible to fit the M1s with a booster so to increase their tractive effort. The answer from the technical office came back as negative, underlining that the M1s, yet powerful, did not have a boiler with such features to adequately feed an auxiliary engine [5].

Inoltre, essendo tutte queste locomotive bicilindriche, le grandi spinte generate dai loro grandi cilindri ripresentavano le stesse problematiche ed incognite evidenziate precedentemente con le locomotive per treni passeggeri.

Le locomotive articolate trovarono invece presso la PRR scarso utilizzo, ad eccezione di alcune unità messe in servizio anni prima come mezzi di spinta o sperimentali [8].

Nel 1939 il Presidente della PRR manifestò interesse per una locomotiva idonea al traino di treni merci celeri, in relazione ad un loro possibile incremento di velocità da 50 a 60 miglia orarie (da 80 a 96 km/h) e chiese se fosse possibile allestire le *Mountain* M1s con un "booster" al fine di accrescerne lo sforzo di trazione. La risposta degli uffici tecnici fu negativa, in quanto le M1s, pur potenti, non possedevano una caldaia dalle caratteristiche tali da alimentare adeguatamente anche un propulsore ausiliario [5].

La S1 sperimentale esposta a New York aveva destato meraviglia e sensazione nel mondo ferroviario ed aveva convinto i progettisti della PRR che il futuro della moderna trazione a vapore si sarebbe indirizzato verso l'azionamento Duplex non solo sulle locomotive per treni viaggiatori, ma si sarebbe esteso anche ai mezzi destinati ai treni merci [16].

La PRR studiò quindi una soluzione radicalmente innovativa e decise di sperimentare l'azionamento a doppia motorizzazione sotto un unico telaio rigido anche su un mezzo a cinque assi accoppiati di nuova costruzione, idoneo al traino di treni merci veloci [5].

La nuova locomotiva Duplex fu costruita negli stabilimenti PRR ad Altoona nel 1942, senza alcuna pubblicità nei comunicati stampa e fu denominata Classe Q1 numero 6130 [20].

La 6130, prodotta nell'inconsueto rodiggio 2'CB2' (4-6-4-4)⁽¹²⁾, ripresentava la disposizione dei cilindri posteriori identica alla *George H. Emerson* sperimentale della B&O, cioè dietro il secondo gruppo di ruote motrici, in corrispondenza della parte anteriore del forno ed in posizione opposta rispetto ai cilindri anteriori (fig. 11).

Anche per la Q1 la motivazione risiedeva nella necessità di contenere la lunghezza del passo fisso della locomotiva, ma la soluzione ripresentava gli stessi problemi verificatisi con la N-1 e cioè sporcizia e temperature eccessive all'apparato motore, tubazioni disposte in modo scomodo e soprattutto carenza di spazi disponibili. Quest'ultimo vincolo fu la causa dell'adozione di cilindri posteriori di piccole dimensioni (495 x 660 mm), inferiori ai cilindri anteriori (584 x 711 mm), per cui essi poterono azionare soltanto due assi. Inoltre gli spazi limitati costrinsero ad utilizzare sul gruppo motore posteriore distributori di soli 254 mm, pari al 51% del diametro cilindri [24].

⁽¹²⁾ Il progetto in origine prevedeva un carrello posteriore a tre assi, ma la necessità di installarvi un apparato motore ausiliario ("booster") per accrescere lo sforzo di trazione all'avviamento portò alla decisione di optare per un carrello a due assi [5].

The S1 locomotive presented in New York drew marvels and sensation in the railroad world, and had convinced PRR's designers that the future of modern steam traction was oriented to the Duplex-drive not only for passenger train locomotives, but also for freight trains locomotives as well [16].

Thus PRR developed a radically innovative solution, and decided to test the operation of a non articulated locomotive of new construction with two engine groups and five coupled axles, adequate to pull freight trains [5].

The new Duplex locomotive was built at PRR's in Altoona in 1942 without any publicity in any press releases, and was labeled Class Q1 number 6130 [20].

The 6130, built with the uncommon axle (wheel) arrangement 2'CB2' (4-6-4-4)⁽¹²⁾, had the rear cylinder arrangement identical to that of the experimental B&O's *George H. Emerson*, that is, placed behind the second group of coupled axles, in correspondence to the front part of the firebox and opposite with respect to the front cylinders (fig. 11).

As well for the Q1 the reasoning behind was the need to limit the length of the fixed wheel-base of the locomotive. The solution however presented the same issues detected with the B&O N-1, that is, dirt and excessive temperatures in the engine apparatus, pipes that were badly arranged, and most of all lack of available spaces. This last constraint was the reason why small dimension rear cylinders (495 x 660 mm) were adopted, smaller than the front ones (584 x 711 mm), thus they could operate on two axles only. Additionally the limited space forced the use of 254 mm (10 in) piston valves on the rear engine group, or 51% of the diameter of the cylinders [24].

The technical difficulties derived from the arrangement of the coupled axles and cylinders convinced PRR's technical personnel to adopt the classic Walschaerts motion as opposed to the T1.

The construction of the firebox had also been affected by the limited space in the rear: the combustion chamber had to be excluded and the 9.1 m² grate surface was similarly sacrificed to the large heating and superheating surface, the latter being even larger than that of the S1 "Big Engine" [16], even though some sources argued that the dimensions of the grate have been a subject of a comparison study done by the designer with other locomotives in operation, before making the final choice [5].

Yet designed as a freight train locomotive, the Q1 was fitted with large diameter driving wheels (1,956 mm, 77 in), the largest ever made for that type of locomotive. The locomotive received an aerodynamic shrouding shaped as a bulb, which allowed access to the moving parts from both sides [24].

⁽¹²⁾ The project originally provided a three-axle rear bogie but the need to install an auxiliary engine ("booster") to increase the tractive effort at the start-up led to the decision of implementing a two-axle bogie [5].

Le difficoltà tecniche costituite dalla disposizione degli assi accoppiati e dei cilindri convinse i tecnici della PRR ad adottare il classico sistema di distribuzione Walshaerts, diversamente dalla T1.

Anche la realizzazione del forno risenti della ristrettezza dello spazio posteriore: si dovette rinunciare alla camera di combustione e la superficie di griglia di 9,1 m² risultò sacrificata in relazione alla grande superficie di riscaldamento e di surriscaldamento, quest'ultima addirittura superiore alla S1 "Big Engine" [16], benché alcune fonti sostengano che le dimensioni della griglia furono oggetto di studio comparativo da parte dei progettisti con altre locomotive in esercizio, prima della scelta definitiva [5].

Anorché progettata come locomotiva per treni merci, la Q1 venne allestita con ruote motrici di grande diametro, 1.956 mm, il maggiore realizzato per tale tipo di locomotiva e fu rivestita con una carenatura aerodinamica a forma di bulbo, che lasciava accessibili gli organi in movimento sulle due fiancate [24].

Il passo degli assi accoppiati di 8.179 mm, era il più lungo tra tutte le locomotive Duplex, e le ruote del gruppo motore anteriore vennero dotate di movimento laterale sistema ALCo, riducendo il passo rigido a 6,13 m, mentre le ruote del quinto asse avevano cerchi privi di bordini [6, 24]. Il gruppo propulsore anteriore trasmetteva il movimento all'asse centrale ed i cilindri posteriori al quarto asse.

Il "booster" era sistemato sul carrello posteriore ed azionava la coppia estrema di ruote, del diametro di 1.422 mm, 254 mm più grandi delle altre due ruote anteriori [24].

Immersa in servizio nella primavera del 1942 senza il clamore delle T1 di pre serie, la Q1 sperimentale effettuò il suo viaggio inaugurale il 31 maggio tra East Altoona (PA) ed Enola (PA), presso Harrisburg, al traino di un convoglio composto da 125 carri e della massa complessiva di 9.000 t⁽¹³⁾. La locomotiva si comportò in modo convincente raggiungendo in piano le 40 miglia orarie (64 km/h) con un grado di introduzione del 40% e metà regolatore aperto. Il "booster" fu azionato ad ogni avviamento del convoglio, senza inconvenienti. Tuttavia il livello di vaporizzazione non fu soddisfacente e si raggiunse una pressione di 250 psi (17,25 bar) anziché dei 300 psi previsti (20,7 bar), fu rilevata un'eccessiva formazione di residui della combustione nella camera a fumo e si verificarono perdite di aderenza al gruppo motore posteriore [5].

Dai report di numerosi altri test effettuati in quel periodo, sempre al traino di pesantissime composizioni, emerge che il problema della vaporizzazione fu risolto in modo soddisfacente con la modifica agli ugelli del doppio scarico, mentre la formazione eccessiva di ceneri e soprat-

The wheel base, 8,179 mm, was the longest among all Duplex locomotives, and the wheels of the engine group were equipped with lateral movement of the ALCo system, reducing the rigid wheel-base to 6.13 m, while the wheels of the fifth axle were flangeless [6, 24]. The front engine group transmitted the motion to the central axle, and the rear cylinders to the fourth axle.

A booster was positioned on the rear bogie and operated the last axle wheels whose diameter was 1,422 mm (56 in), 254 mm (10 in) larger than the two front wheels [24].

In Spring 1942 the Q1 was put into service without the fanfare given to the T1 prototypes, and made its maiden trip on the 31st May from East Altoona, PA to Enola, PA, near Harrisburg, hauling a 9000 t train made of 125 cars⁽¹³⁾. The locomotive gave a convincing performance achieving on flat surface the speed of 40 mph (64 km/h) with a 40% cut-off and half regulator open. The booster was operated at every startup of the train without any problems. The steaming however was not satisfactory and the working boiler pressure achieved was 250 psi (17.25 bar) instead of 300 psi (20.7 bar) [5].

According to several other reports done in that period with the 6130 while pulling very heavy compositions, it emerged that the steaming issue was solved in a satisfactory manner by means of modifying the double exhaust, while it was still an issue the formation of excessive ash, and most of all, loss of adhesion especially on the rear engine group [5].

Curiously sanders were not applied to all wheels, but only to the first, second, and fourth pair of driving wheels, while it would have been recommended that the fifth pair should have also been equipped with a sand distributor, having considered the anomalous behavior of the rear engine [5].

The tendency of the rear engine group to slip was somewhat reduced by intervening on the regulation of the rear bogie's suspension with a displacement forward of the pivot and a 25 mm pushback of the equalizers' location between the second and third coupled axle. The issue was not however completely eliminated [5].

Using a dynamometric car, the maximum power at the tender's couple of the Q1 was measured to be 4,800 HP at a speed between 40 and 45 mph (64 and 72.5 km/h). Such power was slightly less than that measured on the T1 in tests done by C&O. A more generous grate area would have, without doubt, allowed the Q1 to develop a significantly higher power [5].

The unfolding events related to the war and the pressing need to concentrate all efforts and resources to the

⁽¹³⁾ La linea presentava un profilo favorevole verso Harrisburg, con pendenze inferiori al 4‰ e raggi di curvatura superiori a 300 m. In direzione opposta la linea era prevalentemente in lieve ascesa, con pendenza massima del 5,6‰, in uscita da Harrisburg (36).

⁽¹³⁾ The line in this section had a favorable profile in the direction of Harrisburg, with grades lower than 4‰ and curve radii greater than 300 m. In the opposite direction the line was mostly ascending with a maximum grade of 5,6 ‰ leaving Harrisburg (36).

tutto le perdite di aderenza, più accentuate sul gruppo motore posteriore, continuarono ad affliggere la 6130 [5].

Stranamente le sabbie non erano state applicate a tutte le ruote, ma soltanto alla prima, seconda e quarta coppia di ruote, mentre sarebbe stato auspicabile che anche il quinto asse ne fosse stato dotato, considerato il comportamento anomalo del gruppo motore posteriore [5].

Intervenendo sulla regolazione della sospensione del carrello posteriore con lo spostamento del fulcro in avanti e l'arretramento di 25 mm delle sedi dei bilancieri tra il secondo ed il terzo asse accoppiato si ridusse sensibilmente la tendenza allo slittamento del gruppo motore posteriore, anche se non si poté eliminare completamente l'inconveniente [5].

Per mezzo di un carro dinamometrico si misurò la potenza massima sviluppata al gancio del tender della Q1: essa risultò pari a 4.800 HP (4.867 CV) ad una velocità compresa tra 64 e 72,5 km/h, potenza di poco inferiore alle misurazioni effettuate sulla T1 in prova da parte della C&O. Indubbiamente una griglia dalle dimensioni più generose avrebbe permesso di sviluppare potenze sensibilmente superiori [5].

Gli avvenimenti bellici in corso e la pressante necessità di concentrare sforzi e risorse sui trasporti di rifornimenti e truppe comportarono una progressiva riduzione della normale manutenzione sulla 6130 e la rinuncia ad effettuare un ciclo completo di test sui banchi di prova di Altoona [15]. Quando fu inviata alla Western Region per continuare la sperimentazione in servizio, la 6130 aveva il "booster" non funzionante, un elemento del surriscaldatore guasto ed altri numerosi inconvenienti su apparecchiature ausiliarie [5].

Nel corso del 1942 la PRR, dovendo mettere in servizio nuove locomotive, poiché in carenza di materiale motore per l'accresciuto traffico merci, dovette suo malgrado ripiegare su un precedente progetto del 1929 -per altro validissimo- di locomotiva bicilindrica a cinque assi accoppiati di un altro costruttore per un'altra amministrazione.

Il War Production Board⁽¹⁴⁾, a conoscenza dei difetti della Q1, impose infatti alla PRR di adottare un progetto già collaudato con successo per la realizzazione di nuove locomotive per treni merci [22]. Vennero così costruite negli stabilimenti di Altoona 125 pesanti locomotive della Classe J1-J1a in rodiggio *Texas* 1'E2' (2-10-4), derivate dalle T-1 realizzate da Lima nel 1930 per la C&O, con alcune modifiche di dettaglio [18].

Le J1 svolsero in modo egregio i gravosi servizi del periodo bellico e, pur senza essere locomotive particolarmente veloci, potevano raggiungere e superare le 50 miglia orarie, velocità caratteristica dei treni merci del tem-

transportation of supplies to the troops produced as a result a gradual reduction of the ordinary maintenance of the 6130, and the decision to suspend a complete test cycle at the shops in Altoona [15]. When it was sent to the Western Region to continue testing while in service, its booster was no longer working, one element of the superheater was faulty, and other issues to auxiliary parts started to appear [5].

During 1942 PRR had to go back to an old project dated 1929 – yet still extremely valid – regarding a two-cylinder locomotive with five coupled axles designed and built for another railroad carrier, due to the need to put into service new locomotives because of the lack of rolling stock to cope with the increased freight traffic.

The War Production Board⁽¹⁴⁾, knowing the defects of the Q1, forced in fact PRR to build new freight locomotives adopting an existing design that was already tested with success [22]. Thus 125 heavy locomotives were built in the shops of Altoona. The locomotives were of the Class J1-J1a of *Texas* type 1'E2' (2-10-4), derived from the T-1 Class that had been built by Lima in 1930 for C&O, with a few modifications [18].

The J1s did an excellent job in performing heavy services during war time, and despite the fact that they were not fast locomotives, they could reach speeds of 50 mph, typical for freight trains of that time; in addition, these locomotives were capable of providing a 20% of additional tractive effort compared to the Q1 which suffered from the excessive diameter of its driving wheels.

After 1945 the 6130 was gradually retired from service, and its covered distance decreased significantly; at the same time the useless streamlining was removed. It was rarely used subsequently in medium to light compositions [16]. Its presence was still recorded in the roundhouse in 1949, and it was finally retired in January 1952 [23] and subsequently scrapped.

With all due cautions in judgment, the Q1 was shown to be a project that was a failure in various aspects. On the other hand its testing – even though not completed because of the war events – and its failures were used as a starting point for the development of the successive Duplex freight locomotives [5, 16, 18].

6. The Pennsylvania Railroad freight locomotives Class Q2

Delivery of the 125 J1 five coupled axle two-cylinder locomotives was completed in 1944. PRR however needed other rolling stock to meet the increasing freight traffic demand during the War period. The railroad operator

⁽¹⁴⁾ Ente federale USA di supervisione alla produzione ferroviaria che, durante il periodo bellico, impose l'utilizzo di progetti esistenti e di particolari materiali nella costruzione di nuove locomotive, per salvaguardare gli sforzi in campo militare.

⁽¹⁴⁾ U.S. Federal Agency for the railway production supervision. During the War period it imposed the utilization of existing projects and particular materials for the construction of new locomotives aiming to safeguard the military efforts.

po; inoltre fornivano sforzi di trazione di quasi il 20% superiori alla Q1, penalizzata dal diametro eccessivo delle sue ruote motrici.

Dopo il 1945 la 6130 venne progressivamente ritirata dal servizio e la sua percorrenza diminuì rapidamente; nello stesso periodo fu eliminata l'inutile carenatura. Successivamente fu ancora raramente utilizzata in testa a convogli a composizione media o leggera [16]. La sua presenza fu ancora segnalata in deposito nel 1949 ed infine venne radiata nel gennaio del 1952 e demolita [23].

Pur con le dovute cautele di giudizio, la Q1 si dimostrò un progetto per molti aspetti errato. Tuttavia la sua sperimentazione -benché lacunosa a causa delle urgenze imposte dalla guerra- ed i suoi errori servirono come base di partenza per lo sviluppo delle successive Duplex per treni merci della Classe Q2 [5, 16, 18].

6. Le locomotive per treni merci Classe Q2 della Pennsylvania Railroad

La fornitura delle 125 J1 bicilindriche a cinque assi fu completata nel 1944. Ma la PRR necessitava di altre macchine per far fronte alla crescente domanda del traffico merci del periodo bellico e si apprestò ad ordinare altri 25 mezzi dello stesso tipo al costruttore Lima, in virtù del successo riscontrato nell'utilizzo di queste pesanti locomotive. Questo secondo lotto avrebbe dovuto costituire la sottoclasse J1a, numerazione 6175-99 [23, 24].

La PRR tuttavia continuava a perseguire la progettazione di una locomotiva per treni merci più veloce e soprattutto con un comportamento dinamico più equilibrato in velocità delle grandi *Texas* J1 e nacque in tal modo l'idea di sviluppare un'altra locomotiva a cinque assi con azionamento Duplex, derivata dall'esperienza acquisita con la Q1, ma senza ripetere gli errori di progetto [16] e con un generatore ancora più capace.

Venne pertanto allestito ad Altoona il prototipo di una "*Duplex II*", come venne chiamata dagli uffici tecnici, utilizzando l'enorme generatore delle J1, con le stesse superfici di griglia (11,2 m²) e surriscaldante (270 m²), un leggero allungamento della camera di combustione e l'aumento della pressione di esercizio da 270 (18,6 bar) a 300 psi (20,7 bar) [16, 23]. Anche il forno differiva dalle J1, essendo del tipo Belpaire, come consuetudine nelle locomotive progettate e costruite dalla PRR [16].

Il nuovo prototipo, completato nel 1944, venne ufficialmente denominato Classe Q2, numero 6131.

La nuova Duplex si differenziava dalla precedente Q1 per l'architettura classica nella disposizione dei cilindri e per l'adozione di ruote motrici con diametro più conveniente (1.753 mm) al tipo di utilizzo [16].

La corretta disposizione dei cilindri posteriori permise ai progettisti di incrementare sia il volume dei cilindri che di ampliare grandemente le dimensioni del forno e della griglia rispetto alla Q1.

therefore placed an order of 25 additional units of the same type with builder Lima, thanks to the success gained in the operation of these heavy locomotives. This second lot was supposed to constitute the J1a subclass with numbers 6175-99 [23, 24].

PRR however was still pursuing the design of a faster freight locomotive, most of all with a more equilibrated dynamic behavior at speed than the *Texas* J1. Thus it was conceived the idea to develop another Duplex locomotive with five coupled axles derived from the experience made on the experimental Q1, but without repeating the same design mistakes [16], and with an even more capable boiler.

A prototype of a *Duplex II*, this was the name given by the technical office, was therefore assembled at Altoona by utilizing the enormous boiler of the J1 with the same grate area (11.2 m²) and superheater (270 m²), a slight lengthening of the combustion chamber; and an increase of the boiler pressure from 270 to 300 psi (18.6 to 20.7 bar) [16, 23]. The firebox also differed from the J1, being a Belpaire type, as usual in locomotives designed and built by PRR [16].

The new prototype was completed in 1944, and was denoted as Class Q2, number 6131.

The new Duplex differentiated itself from the previous Q1 thanks to the classic layout related to the arrangement of the cylinders, besides the adoption of driving wheels with a more convenient diameter (1,753 mm, 69 in) for freight operations [16].

The correct arrangement of the cylinders allowed the designers to increase both their volume and to greatly amplify the firebox and the grate size compared to the Q1.

The front engine was equipped with 502 x 711 mm cylinders that operated two coupled axles, while the rear one, with cylinders of a different size (603 x 737 mm), would operate three axles, with the motions transmitted to the last wheel pairs. The new Q2 had an axle (wheel) arrangement 2'BC2' (4-4-6-4) [16].

Firebox and combustion chamber were contoured by nine water tubes ("*circulators*")⁽¹⁵⁾, instead of being equipped with thermal siphons. The tubes were connecting the legs and the firebox crown with the purpose of further increasing the level of steaming. The resulting heating surface of the Q2 locomotive was therefore 618.7 m², the largest ever on any PRR locomotive, and even larger than the same J1 which shared the same generator [16, 24]. The heating and superheating surfaces resulted to be 21 and respectively 28 % greater than those of the Q1.

The wheel-base of the coupled axles (8,039 mm), was slightly shorter compared to that of the Q1, thanks to the

⁽¹⁵⁾ Solution introduced with the S1 and extended to the subsequent Duplex [24].

Il gruppo motore anteriore con cilindri di 502 x 711 mm azionava due assi accoppiati, mentre quello posteriore, con cilindri dimensionalmente differenti (603 x 737 mm) ne azionava tre, con il movimento trasmesso all'ultima coppia di ruote. Il rodiggio della nuova Q2 si configurò pertanto in 2'BC2' (4-4-6-4) [16].

Forno e camera di combustione, anziché essere dotati di sifoni termici, erano contornati da nove grandi tubi di circolazione d'acqua ("circulators")⁽¹⁵⁾ colleganti le pareti ed il cielo del forno, allo scopo di elevare ulteriormente il livello di evaporazione; con il che la superficie riscaldante totale della Q2 risultò di 618,7 m², la maggiore realizzata su qualsiasi locomotiva della PRR e superiore alle stesse J1 con le quali aveva in comune il generatore [16, 24]. Rispetto alla Q1 le superfici riscaldanti e surriscaldanti risultavano superiori rispettivamente del 21 e del 28%.

L'interasse degli assi accoppiati, di 8.039 mm, risultò leggermente ridotto rispetto alla Q1 in virtù del diametro inferiore delle ruote motrici ed esse furono tutte dotate di movimento laterale, ad ampiezza differenziata [18]. Tuttavia alcuni degli assi accoppiati avevano uno spostamento laterale puramente nominale [24] ed il passo rigido della Q2 risultò il più lungo fra tutte le locomotive Duplex (6,2 m).

L'assemblaggio della sospensione fu particolarmente curato. Infatti le sospensioni del carrello portante anteriore e dei due assi accoppiati del primo gruppo motore erano collegate ed equilibrate tra loro per mezzo di bilancieri; allo stesso modo lo erano anche le sospensioni del secondo gruppo di assi accoppiati e del carrello posteriore. Inoltre molle elicoidali, aggiuntive alle balestre a foglia, assicuravano alla sospensione una migliore sensibilità, essendo in grado di smorzare gli urti trasmessi alle balestre dalle irregolarità della linea (18).

Sul carrello posteriore venne installato un "booster" sviluppante uno sforzo di trazione leggermente superiore rispetto alla Q1; le ruote di entrambi gli assi del carrello posteriore erano identiche per diametro, di 1.118 mm [24].

Lo scappamento del tipo Kylchap [16] era doppio, ciascun gruppo composto da ugelli di scarico dal diametro complessivo differente in base alla diversa cilindrata di ciascun apparato motore e confluyente in un unico cammino di forma ovale [24].

Come per la Q1 6130, anche sulla Q2 venne mantenuta la distribuzione tipo Walschaerts, evitando il salto nel buio di altre sperimentazioni.

La massa complessiva della Q2 risultò la più elevata fra tutte le locomotive della PRR non articolate, con 280,8 t della sola motrice, mentre su ciascun asse accoppiato gravavano mediamente 35,7 t, con un massimo di 36,3 t, superiore alle 35,1 t delle J1 [16].

smaller diameter of the driving wheels, and the same wheels were all fitted with side motion of different amplitude [18]. Some of the coupled axles however had merely a nominal lateral movement [24] and the rigid wheel-base of the Q2 resulted longer among all the Duplex locomotives (6.2 m).

The suspension assembly was particularly detailed. In fact the springs of the front carrying bogie and of the two coupled axles of the first engine group were connected to each other through equalizers; the springs of the rear group of coupled axles and the rear bogie were connected the same way. Moreover helical springs, which were added to the leaf springs, were able to provide a better sensitivity to the suspension, thanks to their capability to dissipate any shock transmitted from the railroad track to the leaf spring (18).

A booster was installed on the rear bogie. It was able to develop a tractive effort that was slightly higher than that of the Q1; the wheels of both axles of the rear bogie had identical diameters (1,118 mm, 44 in) [24].

The Kylchap exhaust [16] was of the double type. Each had an exhaust inlet with an overall diameter that was different based upon the different displacement of each engine group. Both exhausts would then merge into one single oval stack [24].

Similarly to the Q1 6130, the Walschaerts motion was maintained also on the Q2, thus avoiding the uncertainty of other experiments.

The total mass of the Q2 turned out to be the highest among all non-articulated PRR's locomotives, the main engine weighing 280.8 t by itself, while each coupled axle would carry an average load of 35.7 t with a maximum of 36.3 t, value that was higher than the 35.1 t applied to the J1 [16].

The ratio between the adhesion weight and the tractive effort of the Q2 resulted to be only a little higher than 3.9, lower than the safety limit defined for conventional locomotives. Such ratio value was due to the enormous tractive effort developed, 100,800 lb (with the addition of 15,000 lb of the booster).

The designers brilliantly approached this delicate issue. First of all the front engine group, the most critical in the start-up because more exposed to adhesion loss due to a load reduction, was fitted with smaller cylinders in order to correctly balance the efforts developed by both groups [11].

The real novelty, introduced for the first and last time on a steam locomotive, was an automatic slip arrester device designed by PRR [16], developed and built by American Brake Shoe [18]. The device consisted in electric sensors connected to the rotation of the driving wheels no. 2 and 3. In case of adhesion loss, detected at every slip of half turn of the wheel [16, 26], the sensors would shut-off pneumatically butterfly valves, located in the steam pipes of each engine group, thus interrupting the steam admit-

⁽¹⁵⁾ Soluzione introdotta con la S1 ed estesa alle Duplex successive [24].

Tuttavia a causa dell'enorme sforzo di trazione sviluppato, pari a 44.840 daN (oltre a 6.673 daN del "booster"), il rapporto tra peso aderente e lo sforzo di trazione della Q2 risultava soltanto di poco superiore a 3,9, quindi al di sotto del limite di sicurezza definito per le locomotive convenzionali.

I progettisti affrontarono brillantemente il delicato problema. Innanzi tutto il gruppo motore anteriore, cioè quello più critico all'avviamento perché maggiormente soggetto a perdita di aderenza per riduzione dei carichi, venne dotato di cilindri con dimensioni inferiori allo scopo di bilanciare correttamente gli sforzi sviluppati da entrambi i gruppi [11].

Ma la novità, introdotta per la prima ed unica volta su una locomotiva a vapore, fu un dispositivo automatico di antislittamento progettato dalla stessa PRR [16] e sviluppato e costruito dalla American Brake Shoe [18]. Esso consisteva in sensori elettrici collegati alla rotazione delle ruote motrici n. 2 e 3. In caso di perdita di aderenza, rilevata ad ogni slittamento di mezzo giro della ruota [16, 26], i sensori chiudevano pneumaticamente valvole a farfalla situate nei condotti del vapore di ciascun gruppo motore, interrompendone l'immissione nei cilindri del gruppo motore soggetto all'inconveniente. Una volta riequilibrata l'aderenza, l'aria veniva eliminata ed il vapore riapriva la valvola a farfalla riprendendo regolarmente l'introduzione nei cilindri. Il punto debole del meccanismo era la durata della valvola a farfalla, fortemente sollecitata nel suo lavoro, ma il dispositivo avrebbe potuto essere convenientemente perfezionato nel tempo [18]. Risulta inoltre che esso non fosse molto gradito dal personale addetto alle manutenzioni in quanto piuttosto complesso [26]; oltre a ciò si trattava pur sempre di un dispositivo idoneo ad ovviare al fenomeno, ma non ad eliminarne le cause. Pur tuttavia esso si dimostrò sufficientemente efficace e la Q2, unica tra tutte le locomotive Duplex, non risultò particolarmente soggetta al fenomeno di slittamento [16].

Stranamente il dispositivo non fu invece installato sulle T1, delle quali per altro si conosceva la tendenza alle perdite di aderenza, essendo i due prototipi ormai da tempo in esercizio.

La Q2 6131, venne messa in servizio come prototipo nell'agosto del 1944, a due anni di distanza dalle prime T1 ed i test risultarono subito positivi, per cui nell'autunno dello stesso anno la PRR ottenne dal War Production Board l'autorizzazione a stornare l'ordine alla Lima per le 25 locomotive tipo *Texas* J1a aggiuntive ed il Presidente Clement approvò la costruzione in proprio di altrettante Duplex Q2 mantenendo la stessa numerazione delle locomotive stornate, 6175-99 [16, 18, 24].

Alla base della scelta, i vantaggi offerti: la riduzione del 40% delle forze verticali sulle strutture fisse rispetto alle J1 bicilindriche, la capacità di traino superiore alle J1 in tutte le gamme di velocità e la possibilità di utilizzare le piattaforme girevoli esistenti da 110ft (33,5 m) e di non superare le dimensioni di sagoma delle J1 [18].

ted to the cylinders of the engine affected by the issue. Once the adhesion was regained, the air was eliminated, thus the steam would reopen the butterfly valves and readmitted to the cylinders. The weak point of this system was the lifetime of the butterfly valve, which was subjected to high stress during its operation. The device however could have been improved in time [18]. It also appeared that this system was not so popular among maintenance personnel due to its complexity [26]; in addition it was after all a device appropriate to check and control the issue, even though the cause was not eliminated. At any rate the automatic anti-slipping device proved to be quite effective, and the Q2, the only one among all Duplex locomotives, did not present a particular tendency to slipping [16].

Curiously the device was not installed on the T1, of which on the other hand their adhesion problems were well known, as both prototypes had been in operation for some time.

The Q2 6131 was placed in service as a prototype in August 1944, two years after the first T1 locomotives. The tests immediately gave positive results, thus convincing PRR to apply for and obtain from the War Production Board the permission to cancel the order to builder Lima for additional 25 locomotives *Texas* J1a, and President Clement approved the construction of an equal number of Duplex Q2 in the PRR own shops, using the same numbering of the cancelled locomotives, 6175-99 [16, 18, 24].

At the base of the choice were the following advantages: a 40 % reduction of vertical forces acting on fixed structures with respect to the two-cylinder J1; hauling capacity superior to the J1 at all speed ranges; finally the possibility of using the existing 110 ft (33.5 m) turntables, and not to exceed the profile limits of the J1[18].

The 25 standard units of the Class Q2 were all built between January and June 1945, a few months before the production of the 25 standard T1, allocated in the Altoona facilities [18].

Externally the Q2 did not have extensive streamlining, but their massive aspect was made more attractive with a partial and well done casing of some parts of the external boiler barrel (fig. 12), following an idea by designer Raymond LOEWY, who received compensation for his work as a form of royalty [18].

The external boiler diameter was the greatest of all the Duplex locomotives, its dimensions were such that the locomotive's personnel complained about the insufficient visibility from the cab when approaching curves [26].

The first of the standard Q2, the 6175, was immediately sent to the facilities in Altoona to perform power tests. Following are the results released in June 1945 [2, 16, 18].

- The maximum power of the Q2 resulted to be 7,987 i.h.p at a speed of 92.4 km/h (57.4 mph), with a 40 % cut-off, the highest ever recorded by PRR. The measured power was 1,000 HP higher compared to J1s and was the highest i.h.p ever measured on a steam locomotive.

Le 25 unità di serie della Classe Q2 furono tutte costruite tra gennaio e giugno del 1945, qualche mese prima dell'inizio di produzione del lotto delle 25 T1 di serie allocate agli stabilimenti di Altoona [18].

Esternamente le Q2 si presentavano senza estese carenature, ma il loro aspetto massiccio venne reso più attraente con il parziale e riuscito rivestimento di alcuni particolari del corpo cilindrico (fig. 12) ideato dal designer Raymond LOEWY, al quale furono corrisposti compensi a titolo di *royalty* [18].

Il diametro esterno della caldaia fu il maggiore tra tutte le locomotive Duplex e le dimensioni erano tali che il personale di macchina ebbe a lamentarsi per la scarsa visibilità dalla cabina di guida nell'iscrizione in curva della locomotiva [26].

La prima delle Q2 di serie, n. 6175, venne immediatamente inviata agli stabilimenti di Altoona per effettuare prove di potenza. Questi i risultati dei test, rilasciati nel giugno del 1945 [2, 16, 18]:

- la potenza indicata della Q2 risultò pari a 7.987 HP (8.099 CV) alla velocità di 92,4 km/h e con un grado di introduzione del 40%, la più alta mai registrata dalla PRR e superiore di circa 1.000 HP alla potenza misurata sulle J1. Essa risulta anche la più elevata potenza ai cilindri rilevata su una locomotiva a vapore;
- la produzione massima di vapore fu calcolata in 62.260 Kg_p di acqua all'ora, erogata da un nuovo tipo di preriscaldatore Worthington tipo 6-1/2A che, grazie alla condensazione dello scarico, riduceva del 7-9,5% il prelievo di acqua dal tender;
- la temperatura massima del vapore fu misurata in 395° C, leggermente inferiore a quella delle T1 (sulle quali generava qualche problema di lubrificazione);
- la ripartizione degli sforzi di trazione sviluppati dai due gruppi motori risultò di 44% sull'anteriore (a progetto il calcolo prevedeva il 40%, ma le dimensioni inferiori dei cilindri e la loro posizione ne aumentavano il rendimento effettivo);
- non si misurò lo sforzo di trazione massimo al gancio in quanto non fu possibile ridurre la velocità degli assi accoppiati di entrambi i gruppi motori, che erano stati sincronizzati, al di sotto di 160 giri al minuto, pari a 33 miglia orarie (53 km/h), a causa delle forti vibrazioni longitudinali generate al gancio di traino, essendo il bilanciamento alle ruote delle masse in movimento alternativo soltanto pari al 28,5%.

Sottoposta a prove dinamiche la Q2 trascinò un convoglio di 10.800 t alla velocità di 60 miglia orarie (96 km/h) sulla linea pianeggiante della Fort Wayne Division, con un livello di prestazione pari a sei locomotori Diesel accoppiati da 1.500 HP nominali ciascuno [23].

Le Q2 furono immesse in regolare servizio ad ovest di Altoona su tutte le linee che potevano sopportare i loro carichi assiali e si affiancarono alle J1 già in circolazione



(Fonte - Source: Pennsylvania Railroad Photographs, <<http://www.billsppennsyphotos.com/>> (Ultima consultazione - Last consultation: 03.08.2010).

(Foto - Photo: Pennsylvania Railroad (collezione Pennsylvania Railroad Technical and Historical Society).

Fig. 12 – La 6131, ripresa nuova di produzione nell'agosto del 1944, fu il primo esemplare della Classe Q2, la più pesante e potente delle locomotive Duplex. Sono visibili le dimensioni differenti dei gruppi cilindri. *The 6131, freshly out-shopped in August 1944, was the first unit of the Class Q2, the heaviest and most powerful Duplex Locomotive. The different dimensions of the two cylinder groups are visible.*

- The maximum boiler evaporation was calculated to be 62.260 Kg_p of water per hour. Such output was delivered through the use of a Worthington type 6-1/2A feedwater heater. Thanks to this device, which condensed water at the exhaust, the water intake from the tender was reduced by 7-9.5%
- The maximum steam temperature was measured to be 395 °C, slightly lower than that of the T1 (on which there were some problems with lubrication).
- The tractive effort split by the two engine groups turned out to be 44% on the front (the design value was supposed to be 40% but the smaller dimensions of the cylinders and their position increased the effective performance).
- The maximum drawbar tractive effort was not measured because it was not possible to reduce the speed of the coupled axles of both each groups, which were synchronized, to less than 160 rpms, equal to 33 mph (53 km/h). This was because of the strong longitudinal vibrations generated, being the reciprocating weight only balanced 28.8% at the wheels.

When dynamic tested, the Q2 pulled a 10,800 t train at a speed of 60 mph (96 km/h) along the flat line of the Fort Wayne Division, with a performance level equal to six coupled diesel locomotives with a nominal power of 1500 HP each [23].

The Q2s were placed in regular service west of Altoona on all those lines that were able to bear their axial loads,

[16]. Tuttavia le Q2, a causa del loro lungo passo rigido, evitavano la difficile linea Altoona-Pittsburgh e percorrevano generalmente le linee ad ovest di Pittsburgh, che presentavano raggi di curvatura superiori a 300 m [24], benché a queste locomotive fosse consentito di attraversare, a velocità di manovra, curve con raggio di 122 m⁽¹⁶⁾.

Il loro comportamento fu soddisfacente ed E.T. HARLEY ricorda, in un viaggio effettuato nel 1950 in cabina di guida, una Q2 al traino di 125 carri superare senza problemi la livelletta del 5‰ all'uscita di Fort Wayne e proseguire alla velocità di 105 km/h sulla linea con profilo pianeggiante e rettilineo in direzione di Chicago [18].

Ma la superiorità delle Q2 rispetto alle *Texas* bicilindriche non risultò tale, in servizio, da giustificare la produzione di altre macchine. Inoltre dopo la Seconda Guerra Mondiale la PRR iniziava ad utilizzare un numero sempre maggiore di locomotive Diesel anche nei servizi merci e si rinunciò alla costruzione di nuove macchine a vapore [16].

Le J1 bicilindriche, che risultavano più economiche nei consumi di combustibile e soprattutto di acqua, vennero mantenute in servizio più a lungo delle Q2, mentre queste ultime, essendo anche più onerose quanto a manutenzione⁽¹⁷⁾, iniziarono ad essere accantonate tra la fine del 1949 e l'inizio del 1950, dopo una brevissima carriera. Tra il 1953 ed il 1955 vennero tutte radiate e cedute ai demolitori [16, 18].

La Q2 fu la locomotiva per treni merci non articolata più potente e più avanzata tecnologicamente; fu anche in assoluto la Duplex di maggior successo in servizio. Avrebbe potuto contribuire ad ampliare il mercato delle locomotive Duplex negli USA, ma giunse sulla scena del vapore quando ormai questo modo di trazione era al tramonto [11] e la PRR, come la più parte delle altre amministrazioni, si rivolse alla trazione Diesel, più flessibile per utilizzo ed economicamente più vantaggiosa.

Le caratteristiche principali della Classe Q2 e dell'esemplare sperimentale Classe Q1 sono esposte nella tabella 4.

7. Conclusioni

Complessivamente furono costruite e messe in servizio negli USA 80 locomotive ad azionamento Duplex, delle quali 79 presso la PRR. Nessun mezzo è stato purtroppo preservato.

Il progetto Duplex è considerato da taluni autori un in-

and joined the J1s already in service [16]. On the other hand, because of their long rigid wheel-base, the locomotives avoided the difficult Altoona – Pittsburgh line, and would generally run along the lines west of Pittsburgh, which had a radius of curvature greater than 300 m [24], even though the same locomotives were allowed to travel on 122 m curves at low speed⁽¹⁶⁾.

Their behavior was found to be satisfactory, and E.T. HARLEY recalls during a journey in 1950 in the cab, a Q2 hauling 125 freight cars overcoming with no problems a grade of 5‰ out of Fort Wayne, and continue at a speed of 105 km/h on the line with a flat and straight profile in direction of Chicago [18].

But the superiority of the Q2s compared to the two-cylinder *Texas* was not high enough, in service, to justify production of additional locomotives. Moreover, after the Second World War, PRR was beginning to use an ever increasing number of diesel locomotives even on its freight service, and thus receded from building additional steam locomotives [16].

The two-cylinder J1s, more economical in fuel consumption, especially in water, were kept in service longer than the Q2s, while the latter, being more costly in terms of maintenance⁽¹⁷⁾, began to be dismissed by the end of 1949 and the beginning of 1950 after a very short service period. Between 1953 and 1955 all locomotives were retired and sent to the shop for demolition [16, 18].

The Q2 was the most powerful and technologically advanced non-articulated freight locomotive; in absolute it was the most successful Duplex in the USA, but gained the scenes in a time when steam traction was beginning to fade away [11] and PRR, like all other railroad operators, started to opt for the more flexible and economically advantageous diesel traction.

The main characteristics of the Class Q2 and of the prototype Class Q1 are summarized in table 4.

7. Conclusions

Overall 80 Duplex locomotives were built and operated in the USA, 79 of which with PRR. None of them has been preserved.

The Duplex project has been considered by some as a total failure, especially under the economic point of view in terms of cost-benefit ratio [24]. Many people had ques-

⁽¹⁶⁾ Il dato è riferito da P. RANSOME-WALLIS nella *Illustrated Encyclopedia of World Railway Locomotives*, ma non trova riscontro presso altri autori.

⁽¹⁷⁾ Secondo l'autore Don BALL, citato in [32], l'insaziabile "sete" delle Q2 abbreviava la loro autonomia a circa un'ora e mezza di marcia al massimo della prestazione; inoltre si rese necessario eseguire estesi lavori di riparazione a causa di trafilamenti occorsi ai punti di saldatura del corpo cilindrico della caldaia, in corrispondenza del secondo gruppo motore.

⁽¹⁶⁾ Information referred by P. RANSOME-WALLIS in the *Illustrated Encyclopedia of World Railway Locomotives*, without any feedback by other authors.

⁽¹⁷⁾ According to the author Don BALL, mentioned in [32], the insatiable "thirst" of the Q2s limited their autonomy to about one and half an hour at their maximum performance; it was moreover necessary to undertake extensive repairing works because of leakages by the welding points of the cylindrical barrel of the boiler, at the second engine group.

successo, in particolare dal punto di vista economico, nel rapporto tra costi e benefici [24]. In molti si sono chiesti, senza risposta, il perché di quest'avventura in un progetto di tale portata economica, calcolato in 25 milioni di dollari dell'epoca, da parte della PRR, unica amministrazione ferroviaria che ebbe in servizio locomotive Duplex di serie [22]. E' possibile che la PRR, rimasta ferma per oltre due decenni nella progettazione di nuove locomotive veloci dopo le fortunate *Pacific* K4s, abbia ricercato soluzioni d'avanguardia che avrebbero dovuto, teoricamente, segnare un vantaggio tecnico decisivo rispetto alle migliori locomotive bicilindriche del tempo.

Altri autori tendono a trarre un bilancio meno sfavorevole, mettendo piuttosto in risalto le scelte incoerenti della PRR: le sperimentazioni incomplete, l'assegnazione al servizio delle T1 indiscriminatamente su tutte le rotte, lo scarso addestramento del personale di macchina ed una inadeguata manutenzione, anche a causa degli eventi bellici, che contribuirono a lasciare non solo irrisolti i difetti di origine ma addirittura ad accrescerli.

L'inconveniente tecnico più evidente delle locomotive Duplex risultò la perdita di aderenza con slittamento di uno o di entrambi i gruppi motori. I tecnici francesi della PLM affrontarono con successo il problema applicando il costoso e complesso meccanismo delle bielle interne di collegamento fra i due gruppi motori (cfr. nota 1), soluzione che negli USA difficilmente sarebbe stata accettata per la sua complessità [2, 8]. I tecnici americani introdussero sulle Q2 un apparato anti slittamento che non eliminava il problema, ma permetteva di gestirlo efficacemente ed è verosimile ritenere che avrebbero trovato una soluzione soddisfacente anche per le T1, se esse fossero rimaste più a lungo in servizio.

Tuttavia il repentino cambiamento registratosi alla fine della Seconda Guerra Mondiale, segnato da una forte contrazione del traffico ferroviario e da costi operativi crescenti, non permise alla PRR di dedicare altre risorse economiche per gestire l'oneroso progetto Duplex [20].

È da sottolineare come con lo sviluppo delle locomotive Duplex si raggiunse, dal punto di vista del progresso tecnico, il culmine nello sviluppo della trazione a vapore negli USA: la più potente locomotiva a vapore fu con ogni probabilità la Q2, così come la più veloce, forse, la S1 sperimentale e sicuramente la T1 poteva vantare un'efficienza insuperata. Ma l'esperienza delle Duplex rimase circoscritta alla sola PRR e si esaurì rapidamente: avrebbe dovuto - nelle intenzioni - rappresentare il futuro della trazione a vapore arginando l'avanzata della trazione Diesel ed invece ne accelerò la transizione.

W.A. GARDNER, ex tecnico della PRR e successivamente della General Motors Electro-Motive Division (EMD), ha raccontato un'illuminante esperienza maturata a partire dall'autunno del 1945 sui nuovissimi locomotori Diesel-elettrici in prova presso il deposito di Harrisburg, al quale venivano contemporaneamente assegnate le prime locomotive T1 di serie. Due locomotori accoppiati E7 della

tioned, without obtaining an answer, the rationale behind this adventure of such economic impact, evaluated to be 25 million dollars of the time, undertaken by PRR, only railroad operator to have in regular service Duplex locomotives [22]. It may be possible that PRR, remaining stranded in the design of new fast locomotives for over two decades following the fortunate *Pacific* K4s, wished to implement advanced solutions that were supposed to mark, at least in theory, a break in the technical advantage on the best two-cylinder locomotives of that time.

Other authors had the tendency to draw a less unfavorable balance, by rather evidencing the not always consistent choices made by PRR: incomplete testing, the assignment of the T1s to all routes, the poor training to locomotive personnel, and an inappropriate maintenance, which was also a consequence of the war events that contributed to not only leave origin defects unresolved, but also to worsen them.

The most evident technical issue of the Duplex locomotives was the adhesion loss with consequent slipping of one or more engine groups. The French technicians of PLM tackled with success the issue by applying the costly and complex system of internal rods to connect the two engine groups (see note 1), solution that would have been difficult to accept in the USA [2, 8]. The American technicians introduced on the Q2s an anti-slipping device which did not eliminate the problem, but allowed to effectively manage it, and most likely they would have found a satisfactory solution for the T1s as well, if those locomotives were kept longer in service.

However the sudden change seen at the end of the Second World War, marked by a heavy contraction of railroad traffic and increasing operating costs, did not allow PRR to dedicate additional financial resources to manage the costly Duplex project [20].

It has to be noted how the development of the Duplex locomotive sparked, under a technical perspective, the highest development of steam traction in the United States; the most powerful steam locomotive was most likely the Q2, like the fastest one was the S1 prototype, while the T1 could by sure exhibit a never overcome efficiency. But the Duplex experience remained limited to PRR only and faded rapidly: under its original intentions it was supposed to represent the future of steam traction, thus containing the advancement of diesel traction, while in fact it accelerated the transition.

W.A. GARDNER, former technician at PRR and later at General Motors Electro-Motive Division (EMD) has reported an illuminating experience gained starting from fall 1945 on the new diesel-electric locomotives, being tested at the facilities in Harrisburg. The facility technicians were simultaneously testing the standard T1 locomotives. Two coupled E7 EMD locomotives were extensively tested with total success by PRR for about six months, at the end of which they had covered a distance of 110,000 km. During the same period the new T1s Du-

EMD furono provati in modo approfondito dalla PRR per circa sei mesi, con pieno successo, al termine dei quali avevano percorso oltre 110.000 km. Nello stesso periodo le nuove Duplex T1 avevano coperto, come massimo, meno di 5.000 km e sostavano continuamente in officina. I tecnici della manutenzione erano sconcertati per la rapidità degli interventi sui locomotori Diesel, avendo abitudine alla complessità ed ai tempi delle macchine a vapore [10]. Affidabilità, disponibilità ed economicità nei costi d'esercizio si rivelarono i fattori decisivi a favore della trazione Diesel e nella rinuncia alle costose locomotive Duplex.

Risulta inoltre assodato che tipi di locomotive convenzionali particolarmente riusciti, quali le grandi *Northern* o *Texas* bicilindriche, furono maggiormente apprezzate in servizio, senza che si verificassero nell'esercizio gli inconvenienti paventati anni addietro; ed anche le locomotive articolate dell'ultima generazione risultarono più durature ed apprezzate, oltretutto capaci di velocità di tutto rispetto.

Un'altra amministrazione ferroviaria, la Norfolk & Western Railway, che ancora nel dopoguerra continuava ad immettere in servizio nuove locomotive a vapore sempre più perfezionate ed ebbe in prova dalla PRR sia la T1 che la Q2, preferì ad esse le sue articolate a sei assi motori Classe A.

Un giudizio complessivo può efficacemente riassumersi con l'affermazione di un noto autore e specialista del vapore, David P. MORGAN, secondo cui l'idea dell'azionamento Duplex fu veramente nuova, ma l'esperimento nacque e morì come tale, ed è ricordato più come l'evoluzione finale delle locomotive a vapore che per i risultati pratici ottenuti [21].

plex had at most covered 5000 km, and were continuously stopping at the shop for maintenance. The maintenance personnel was bewildered by how fast interventions were carried out on the diesel locomotives, them being used to the complex and time consuming interventions on steam locomotives [10]. Reliability, availability and economics in operating costs turned out to be decisive factors that heavily favored diesel traction and renounce to the expensive Duplex locomotives.

It appears to be an established fact that the conventional types of locomotives particularly well designed, such as the two-cylinder *Northern* and *Texas* types were mostly appreciated during service, without the occurrence of all the issues feared years before; even the latest articulated locomotives were more durable and more appreciated, as well as being capable to achieve respectable speeds.

Another railroad operator and builder, the Norfolk & Western Railway, who was still putting into service after the end of World War 2 new and further improved steam locomotives, was able to test the T1 and Q2, both leased from PRR. To these Duplex types N&W preferred its own *Northern* and its Class A articulated locomotives with six coupled axles.

An overall judgment can be effectively summarized in the statement of a well-known author and steam specialist, David P. MORGAN. According to him, the idea of Duplex-drive locomotives was truly new, but the experiment was born and died as such, thus it is remembered more as the final evolution of steam locomotives than for the practical results obtained [21].

BIBLIOGRAFIA - REFERENCES

- [1] U. BAJOCCHI, "Locomotiva", in Enciclopedia italiana di scienza lettere e arti, Appendice II, 1938-48, Vol. I-Z, Roma, Istituto della enciclopedia italiana, 1949, p. 217-225;
- [2] A.W. BRUCE, "The Steam Locomotive in America. Its Development in the Twentieth Century", New York, Bonanza Books, 1952.
- [3] H. BUCHMANN, "Dampflokomotiven in den USA 1825-1950. Band 2", Basel, Birkhäuser Verlag, 1978. ISBN 3-7643-1016-2.
- [4] N. BURNELL, "A Reassessment of T1 #6110 & #6111 - Comparing the Two T1 Prototypes, 1942 to 1945", in The Keystone Vol. 37, Nr. 1 (Spring 2004), p. 18-39.
- [5] N. BURNELL, "The Q1 - An Alternate View", in The Keystone Vol. 39, Nr. 2 (Summer 2006), p. 7-30.
- [6] P. CARLETON, "Pennsy Steam A to T", Dunnellon, D. Carleton Railbooks, 1989.
- [7] P. CARLETON, "Pennsy Steam: a second Look", Dunnellon, D. Carleton Railbooks, 1991.
- [8] G.H. DRURY, "Guide to North American Steam Locomotives", Waukesha, Kalmbach Publishing, 1993. ISBN 0-89024-206-2.
- [9] G.H. DRURY, "The Historical Guide to North American Railroads", Waukesha, Kalmbach Publishing, 1985-1991. ISBN 0-89024-072-8.
- [10] W.A. GARDNER, "A reputation for reliability: the E7 experience - 3", in Trains, Jan. 1979, p. 48-51

- [11] A. GIESL-GIESLINGEN, *"Anatomie der Dampflokomotive International"*, Wien, Otto Slezak Verlag, 1986. ISBN 3-85416-089-5.
- [12] L. GREGGIO, *"Le locomotive a vapore. Modelli di tutto il mondo dalle origini a oggi con dati tecnici"*, Milano, A. Mondadori, 1977.
- [13] A. HAAS, *"Dampflokomotiven in Nordamerika. USA und Kanada"*, Stuttgart, Franckh, 1978. ISBN 3-440-04493-9.
- [14] A. HAAS, *"Pennsy 6100 - größte Schnellzuglokomotive der Welt"*, in Lok Magazin 42 (6-1970), p. 196-203.
- [15] A. HAAS, *"Die Lokomotiven der Klasse N-1s, N-2s und T-1 der Pennsylvania Railroad"*, in Lok Magazin 48 (6-1971), p. 664-674.
- [16] A. HAAS, *"Die letzten Dampflokomotiven der Pennsylvania Railroad"*, in Lok Magazin 49 (8-1971), p. 732-747.
- [17] A. HAAS, *"Oberst Emerson und seine Versuchslokomotiven für die Baltimore & Ohio Railroad"*, in Lok Magazin 97 (7/8-1979), p. 273-286.
- [18] E.T. HARLEY, *"Pennsy Q Class. Classic Power 5"*, Hicksville, N.J. International Inc. ISBN 0-934088-09-8.
- [19] R.L. HUNDMAN & B. PENNYPACKER, *"Pennsylvania T-1 4-4-4-4"*, in The Locomotive Cyclopedia, Vol. II, Mukilteo, Hundman Publishing Inc., 2005. ISBN 0-945434-61-8.
- [20] D.P. MORGAN, *"Duplex - Drive"*, in Trains, Nov. 1959, p. 16-25.
- [21] D.P. MORGAN, *"Steam's Finest Hour"*, Waukesha, Kalmbach Publishing, 1959. ISBN 0-89024-002-7.
- [22] J. PARKER LAMB, *"Perfecting the American Steam Locomotive"*, Bloomington, Indiana University Press, 2003. ISBN 0-253-34219-8.
- [23] B. PENNYPACKER, *"The final new Concepts"*, in [6], p. 127-144.
- [24] B. REED, *"Loco Profile 24. Pennsylvania Duplexii"*, Windsor (UK), Profile Publications Ltd, 1972.
- [25] L.J. SAGLE, *"B&O Power. Steam, Diesel and electric power of the Baltimore and Ohio Railroad 1829-1964"*, Alvin F. Stauffer Publishing, 1964-1980.
- [26] ALVIN F. STAUFER, *Pennsy Power. Steam and electric locomotives of the Pennsylvania Railroad 1900-1957*, Carrollton, The Standard Printing & Publishing Co., 1962.
- [27] D. STEPHENSON, *"Chesapeake & Ohio Tests the PRR T1"*, in Chesapeake and Ohio Historical Magazine, May 2005, <http://findarticles.com/p/articles/mi_qa3943/is_200505/ai_n13642634/?tag=content;col1> (ultima consultazione: 31 maggio 2010).
- [28] F.M. SWENGEL, *"The American Steam Locomotives. Vol I. Evolution"*, Davenport, Midwest Rails Publications Inc., 1967.
- [29] E.L. THOMPOS, *"86 mph behind a 4-4-4-4 - How B&O burned the ballast in 1937"*, in Trains, Sept. 1964, p. 24-27.
- [30] *Train Shed Cyclopedia* No. 56, *"Pennsylvania T-1 Locomotives, from Railway Mechanical Engineer, Jan. 1943"*, Novato, Newton K. Gregg Publisher, 1977.
- [31] *Steam Locomotive, Duplex Drive Locomotives*, <<http://www.steamlocomotive.com/duplex/>> (ultima consultazione: 31 maggio 2010).
- [32] *Steam Locomotive, Pennsylvania Duplex Drive Locomotives*, <<http://www.steamlocomotive.com/duplex/?page=prp>> data provided by Steve Llanos (ultima consultazione: 31 maggio 2010).
- [33] *Class I Railroads, History*, in Wikipedia, <http://en.wikipedia.org/wiki/Class_I_railroad> (ultima consultazione 30 maggio 2010).
- [34] *Pennsylvania Railroad*, in Wikipedia, <http://en.wikipedia.org/wiki/Pennsylvania_Railroad> (ultima consultazione 30 maggio 2010).
- [35] *Pennsylvania Railroad Maps and Track Charts*, <http://multimodalways.org/archives/rrs/PRR/PRR.html> (ultima consultazione 18 dicembre 2010).
- [36] *Straight Line Track Diagrams - Grade Profiles*, <http://www.railsandtrails.com/diagrams.htm> (ultima consultazione 18 dicembre 2010).