



Note sullo sviluppo di un pensiero scientifico originale nelle ferrovie. Parte seconda – La circolazione negli impianti e nelle linee

Notes on the development of an original scientific thought in the rail system. Part 2 – Rail traffic at stations and on lines

Giuseppe Romolo CORAZZA ^(*)
Maria Vittoria CORAZZA ^(**)

Sommario - Questo articolo si propone di analizzare l'evoluzione storica e tecnica del pensiero scientifico in tema di circolazione ferroviaria ed impianti, sottolineando il ruolo di autori il cui contributo è fondamentale per lo studio dei problemi affrontati.

1. Introduzione

Con un primo articolo del 2016 veniva affrontato il problema della quantità di ingegneri necessari all'esercizio di una ferrovia [1]. La trattazione imponeva, alla fine del lavoro, di illustrare le tecniche e i contenuti didattici destinati ad essere posseduti e gestiti dagli ingegneri ferroviari. Ciò focalizzava l'attenzione sui moderni programmi di insegnamento universitario e sulla necessità di inquadrare tali argomenti in una scienza ferroviaria di cui si intende dimostrarne, con una serie di lavori a ciò dedicati, l'esistenza. Così, nel numero di settembre 2018 di questa rivista è stato pubblicato un articolo [2] il cui argomento centrale riguardava la marcia di un veicolo in rettilineo e curva. Il presente articolo è, altresì, dedicato alla circolazione ferroviaria nella sua evoluzione scientifica (con specifica attenzione a capisaldi quali: piani di stazione, impiantistica, controllo e regolazione), i cui tentativi di ricerca in materia si presenteranno molto più tardi di quelli già osservati in [2]. La trattatistica su questi temi comincia, infatti, a svilupparsi in inglese, francese e tedesco nell'ultimo scorcio del XIX secolo. L'interesse per tali contributi è di carattere bibliografico, più che scientifico, e se ne omette un'analisi dettagliata, salvo citare alcuni casi più avanti.

In Italia, è solo nel 1912 che compare una pubblicazione in merito, dedicata alla formazione dei neo-Ispettori delle FS, nella quale veniva presentato un primo contributo riguardante lo sviluppo dei piani di stazione con l'esemplificazione di 200 casi pratici (Fig. 1) che avrebbero dovuto risolvere tutti i problemi riguardanti i disegni dei piani stessi [3].

Summary - This article analyzes the historical and technical evolution of the scientific thought on railway traffic at stations and on lines, emphasizing the role of authors whose contribution is central to the study of the problems addressed.

1. Introduction

In 2016, a first article addressed the problem of the appropriate amount of engineers required for managing railway operations [1]. To this aim the discussion required, at the end of the work, to illustrate the techniques and educational contents to be mastered and managed by the railway engineers. This shifted the focus on the contemporary university teaching programs and on the need to frame these subjects in a railway science whose existence was intended to be demonstrated, via a series of dedicated works. Thus, in the September 2018 issue of this journal an article was published [2] whose central topic was the railway vehicle behavior, while running on straight track and cornering. This article, in turn, is focused on the scientific development of rail traffic concepts (with a focus on major topics as stations, plants, control, management and regulations), the investigations of which will start later than those observed in [2]. Indeed, the treatises on these themes begin to develop in English, French and German in the late nineteenth century. The interest in these contributions is bibliographic, rather than scientific, and a detailed analysis is omitted, except to mention some cases further ahead. In Italy, it was only in 1912 that a publication appeared on the subject, dedicated to the training of the newly-appointed FS inspectors. There, a first contribution appeared concerning the development of station plans with the exemplification of 200 practical cases (Fig. 1) to solve all the problems concerning plans drawings [3].

As already mentioned, all of the above does not exclude, a priori, the issue of interesting theories dating back to 1912, especially for the part concerning the initial technical bibliography of the CIFI, strongly damaged during the WW2. However,

^(*) Sapienza, Università di Roma, DICEA, Prof. Ord. A.R..

^(**) Sapienza, Università di Roma, DICEA, Ricercatore.

^(*) Sapienza, Università di Roma, DICEA, Prof. Ord. A.R..

^(**) Sapienza, Università di Roma, DICEA, Ricercatore.

Come già accennato, quanto precede non esclude, a priori, l'esistenza di interessanti teorie risalenti anteriormente al 1912, specie per la parte riguardante la bibliografia tecnica iniziale del CIFI, fortemente danneggiata durante l'ultima guerra. Tuttavia, anche all'estero pubblicazioni anteriori al 1912 sono prevalentemente assimilabili alla produzione di letteratura grigia normativa, come il caso dei manuali di esercizio su impianti e segnali ([4], [5], [6]), o quelli focalizzati sugli aspetti economici, sviluppati soprattutto in nord America ([7], [8]), con continue riedizioni. La produzione di letteratura scientifica vera e propria si avvia, di fatto, solo alcuni anni dopo.

Bisogna, comunque, sottolineare l'importanza pratica del contributo italiano del 1912, ancora in uso fino a non molti anni addietro, ma anche la sua sterilità a produrre nuovi sviluppi. Un ampliamento di questi argomenti, dedicato tuttavia a pochi casi, è costituito dal quarto volume del trattato di Grismeyer [9] che risale al 1927, nel quale non viene affrontato il problema del loro esercizio, mentre le tecnologie illustrate, per l'azionamento di segnali e deviatori, provengono dal settore industriale esterno alle ferrovie.

1.1 Il caso americano/francese

Nel 1917 l'entrata in guerra degli Stati Uniti comportava il rapido trasferimento dai porti sull'Atlantico al fronte di circa un milione di uomini e relativi equipaggiamenti, oltre agli intensi rifornimenti da assicurare con continuità.

Il problema fu posto alle compagnie ferroviarie francesi potenzialmente coinvolte nell'esecuzione di questo mastodontico trasporto. Dopo un accurato esame fu dichiarato che le condizioni imposte dalle richieste americane non erano realizzabili sulle ferrovie francesi con le tecniche e i regolamenti allora vigenti. Il problema venne allora risolto dagli americani importando dagli Stati Uniti personale e metodi di gestione del trasporto ai livelli di intensità richiesti.

Questa breve notizia veniva raccolta in occasione di visite tecniche e

even abroad publications prior to 1912 are mainly in the shape of gray literature on regulations, such as the case of exercise manuals on plants and signals ([4], [5], [6]), or those focused on economic aspects, developed especially in north

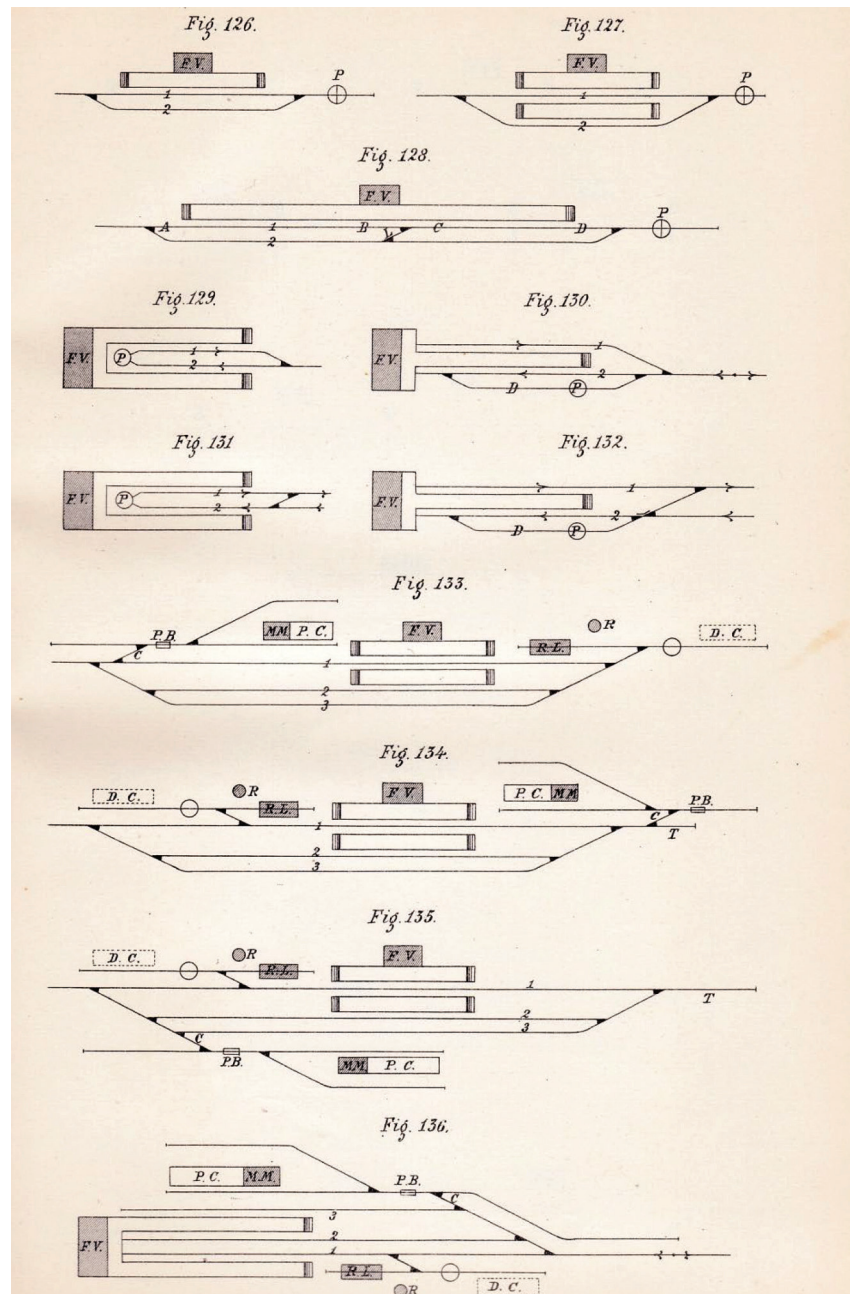


Fig. 1 - Esempificazione dei piani di stazione [3]

(D.C. dirigenza; F.V. fabbricato viaggiatori; M.M. magazzino merci; P.B. posto di blocco; P.C. posto di controllo; R.L. rifornitore locomotive; C. collegamento; D. deviazione; P. paracolpi o piattaforma girevole; T. tronchino; 1,2,3 binari di corsa).

Fig. 1 - Stations, examples [3].

(D.C. management; F.V. passenger building; M.M. freight shed; P.B. block post; P.C. check point; R.L. water supplier; C. connecting track; D. switching point; P. track end or turntable; T. dead-end track; 1,2,3 tracks).

didattiche alle ferrovie francesi. Una prima conseguenza degli studi realizzati per l'occasione riguarda la formalizzazione delle condizioni necessarie e sufficienti ad assicurare la marcia di un treno su un determinato tratto di linea. Tali condizioni riguardano:

1. esistenza del tratto da percorrere, sia in linea che in stazione;
2. libertà da altri veicoli o impedimenti nel tratto da percorrere;
3. disposizione dei deviatori consona al tratto da percorrere o da impedire (al fine di stabilire una ripartizione tra gli itinerari compatibili e quelli incompatibili). Il successivo legame con la posizione dei segnali completa la formazione della condizione di sicurezza;
4. irrevocabilità dell'itinerario da percorrere così costituito.

L'ultima condizione determina la necessità di un'azione liberatoria generata dal transito del treno.

Si noti il potenziale di questa formulazione nella quale si intravedono le strutture circuituali degli Apparat Centrali Elettrici (ACE) ancora lontani da venire, nonché la struttura gerarchica di gestione degli impianti di linea.

2. La rappresentazione della circolazione

La prima rappresentazione che viene alla mente è quella dell'orario grafico nel quale è riconoscibile il progredire dei singoli treni in un piano tempo-spazio (Fig. 2). Questa rappresentazione, a sua volta, determina la richiesta di comportamenti umani e/o materiali, nonché la necessità di determinati mezzi fisici o disposizioni regolamentari.

2.1. Il contributo di Mueller

Un fondamentale passo in avanti viene compiuto da MUELLER [11], che nel 1953 pubblicava un trattato che sviscerava a fondo i problemi di progettazione dei piani di stazione e del loro esercizio. È, in particolare, da segnalare la presentazione di un metodo topologico per ottenere da un determinato piano di stazione di transito l'equivalente impianto di testa e viceversa (Fig. 3).

America ([7], [8]), with continuous re-editions. The production of scientific literature itself starts, actually, only a few years later. However, it is necessary to stress the practical importance of the Italian contribution of 1912, still in use until not many years ago, but also its sterility to give rise to new developments. An advance in these topics, although based on a few cases, is constituted by the fourth volume of the 1927 Grismeyer's treatise [9]. This did not address operational problems, aside from the technologies to operate signals and switches, which came from the industrial sectors outside the railways'.

1.1. The American-French case

In 1917 the United States' entry into the war called for the rapid transfer from the Atlantic ports to the European front of about one million men and related equipment, in addition to the massive supplies and replenishments, to be assured with continuity.

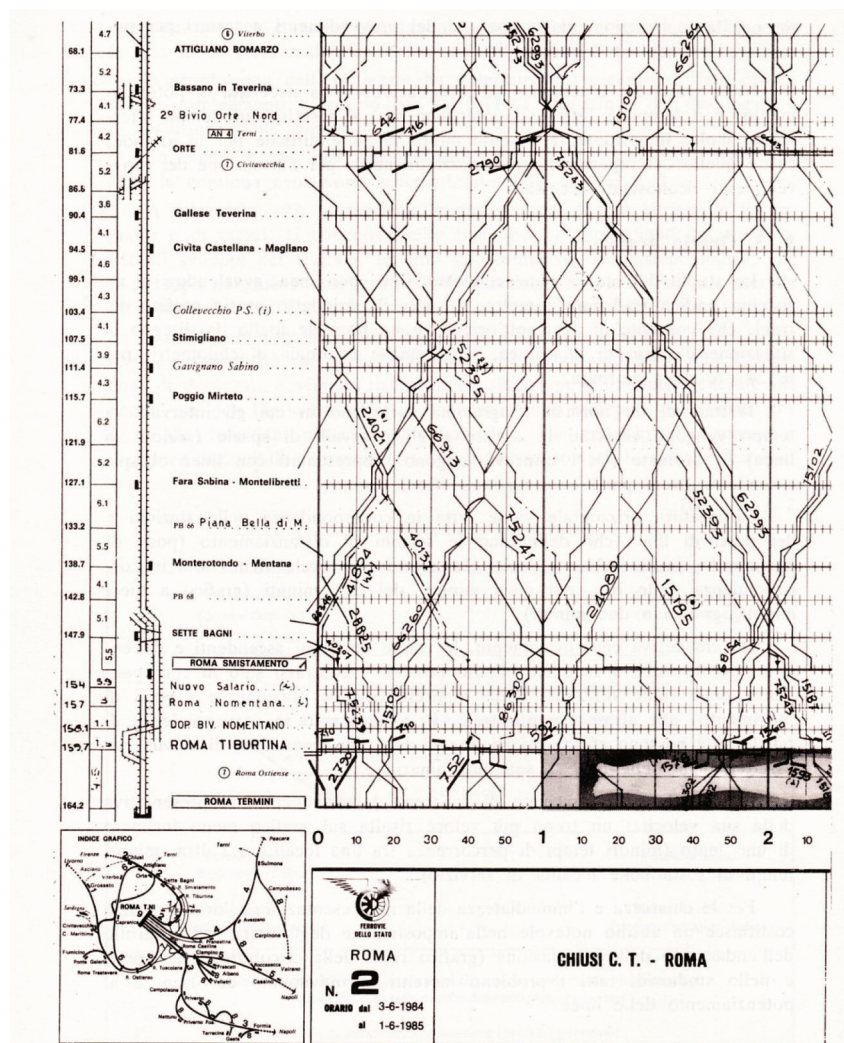


Fig. 2 - Estratto di un vecchio orario grafico [10].
Fig. 2 - An example of an old graphic timetable [10].

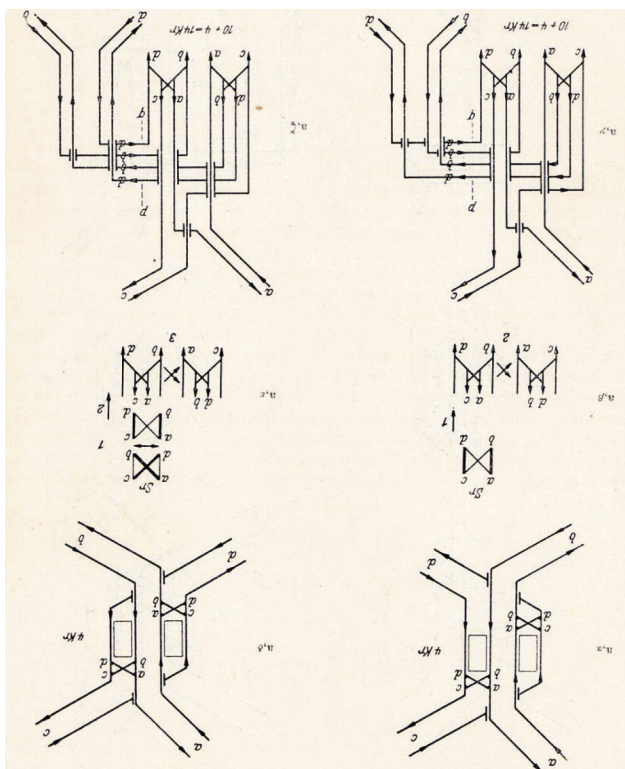


Fig. 3 - Metodo topologico di MUELLER, Casi esemplificativi di stazione che offre la possibilità di coincidenza e di incrocio dei treni nelle due forme di transito e di testa [11] (Kr incrocio; a,b,c,d linee; Sr esercizio con versi simmetrici; pq sottopasso; 1 prevalenza di traffico sull'incrocio tra linee; 2 prevalenza di traffico sulle linee parallele).

Fig. 3 - MUELLER's topological method, examples of layouts for connecting or crossing trains, at terminal or through stations [11].

(Kr crossing; a,b,c,d lines; Sr operations-symmetrical; pq underpass; 1 traffic dominance at crossing lines; 2 traffic dominance at parallel lines).

MUELLER, inoltre, elaborò anche un codice grafico per la rappresentazione sintetica delle funzioni di un piano di stazione (Fig. 4).

È da sottolineare come partendo da semplici esempi, MUELLER arrivò a trattare casi di impianti molto complessi. Il problema della circolazione attraverso questi impianti veniva, a sua volta, sinteticamente tratteggiato, consentendo all'autore anche di stimare i costi di esercizio.

3. Evoluzione dei gruppi di ricerca

Nel periodo in cui appariva l'opera di MUELLER la struttura industriale e politica dell'Europa assumeva rapidamente forme destinate a rimanere inalterate fino alla caduta del muro di Berlino. Nell'ambito di queste trasformazioni va annoverata quella riguardante gruppi di ricerca operanti nelle singole nazioni. Per la parte che qui in-

The problem was posed to the French railway companies potentially involved in this gigantic transport.

After an accurate examination, it was concluded that the requests asked by the Americans were not feasible on the French railways by the then-in-force techniques and regulations. The problem was, then, solved by the Americans themselves by importing staff and transportation management methods from the United States to ensure the required levels of service.

This brief news was collected during a technical and educational visit to the French railways.

A first consequence of the studies carried out for such occasion concerns the formalization of the necessary and sufficient requirements to ensure the running of a train on a specific route section. These requirements concern:

1. existing route section to run, either at station or in line;
2. absence of other vehicles or any hindrance along the section to run;
3. switches' appropriate positioning along the section to run (to define two sets of compatible/uncompatible routes). The subsequent condition with the switch setting fully meet the safety requirements;
4. irrevocability of the resulting route section to be run.

The last requirement determines the need to free the section once the train has passed.

To be noted the potential of this set of requirements which forecast the signal boxes' circuits framework, yet to come, and the hierarchy-based management of track installations.

2. Traffic description

The first type of description that comes to mind is the graphic timetables, where train journeys can be reported via a space-time diagram (Fig. 2). This diagram, in turn, dictates specific staff and resources performance, along with the need of given actions or regulations.

2.1. Mueller's contribution

A fundamental step forward is made by MUELLER [11] who, in 1953, published an essay that thoroughly examined the problems associated with the design of station layouts and their operations. It is worth to be noted the presentation of a topological method to pass from a through station layout to that of a terminal, and viceversa (Fig. 3).

Moreover, MUELLER developed a graphic code to synthetically describe the functions of a given station layout (Fig. 4).

It should be stressed how MUELLER, starting from layouts' simple examples, progressed until dealing with highly complex cases. Traffic problems associated with these types of layouts were, then, synthetically described, thus enabling the author also to estimate operational costs.

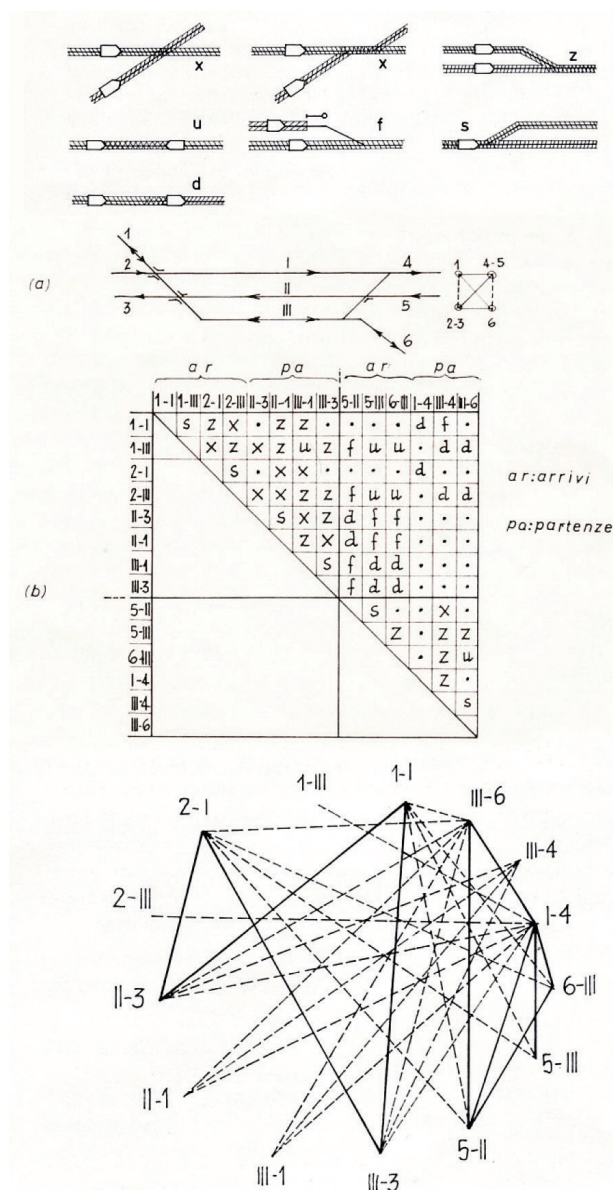


Fig. 4 - Incompatibilità fra itinerari (sopra), piano di stazione con relativa figura di MUELLER che ne definisce la funzionalità e matrice degli itinerari (centro), grafico degli itinerari (sotto) [9]

(X incrocio; Z convergenza; U urto; D inseguimento; F convergenza condizionata da segnale; S divergenza; itinerario possibile; arrivi; partenze; I,II,III binari di stazionamento e/o transito; 1, 2,...6 punti di inizio e termine degli itinerari; tratto continuo coppie di itinerari possibili; tratteggio coppie di itinerari interdetti). Fig. 4 - Route incompatibility (above), station layout and related MUELLER's graph to describe functions and route matrix (center), route graph (down) [9]

(X crossing; Z convergence; U impact; D following; F converging under signal condition; S diverging; possible route; ar arrivals; pa departures; I,II,III holding and/or through tracks; 1, 2,...6 route starting ending points; continuous line possible routes pairs; dashed line not-possible routes pairs).

3. Research evolution

In the period in which Mueller's work appeared first, the industrial and political structure of Europe rapidly underwent transformations until a status quo which remained unaltered until the fall of the Berlin wall. Contemporarily, research groups from different countries underwent the same process. More specifically, the division of Germany between the two blocs in the East and West resulted into two different and symmetric phenomena. In the Western bloc, the railway intelligentsia moved to the traditional research centers, in Aachen, West Berlin, Frankfurt, Minden, Munich and many others. The migration was facilitated by the common language and shared technologies. Unlike the West, the symmetric phenomenon in the Eastern bloc did occur under different conditions, in an operational environment with different languages and technologies. A marked Russian influence affected the German Democratic Republic, resulting into the development of an original and independent scientific progress. The research major center was, and still is, the Technical University in Dresden.

4. Analysis of the timetable

The methodology developed by the authors from post-WW2 on enables to describe the operational framework of a railway system composed by one or more lines, for the traffic of a variable amount of trains. This provides information on the quality of operations and reliable forecasting of its progress features over a given period, starting from a given time.

It is worth to be noted that, on the one hand, locomotion mechanics enable a full description of running trains on given lines, independently; on the other hand, line installations, operational regulations and exogenous random factors are able to create not negligible constraints on running trains, especially in terms of stops and delays. All the heterogeneous factors arising in a common framework need to be itemized, for further identification and comparison.

The first among the authors involved in this research field, along with MUELLER, is Gerhard POTTHOFF, an academician at the Dresden University and chair of the Railway Operations course, a prominent researcher still to this day. His most commended work is on the railway traffic (Verkehrsstroemungslehre), in five volumes, synthesized in Tab. 1 [12]. This is not an isolated, one-off work, but the outcomes of a profound study activity started at the end of the 1940s and ended in the 1970s.

The situations in which phenomena capable of interfering between running trains and the exogenous binding factors may occur concern station installations, signaling systems, the availability of interfering operations, variability of boarding and alighting times, the freight trains load, and more. Research goals can be, then, the quantification of delays according to a given traffic situation, delay randomness within a given headway, the traffic consequent development once adjusting countermeasures are undertaken.

teressa è da ricordare come la bipartizione della Germania determinasse due fenomeni diversi e simmetrici. Ad Ovest, l'*intelligentia* ferroviaria migrava verso i centri di ricerca tradizionali preesistenti, in particolare verso Aachen, Berlino Ovest, Francoforte, Minden, Monaco di Baviera ed altri ancora; l'azione era facilitata dall'uniformità linguistica e tecnologica. L'operazione simmetrica ad Est avveniva, invece, in condizioni ben diverse, collocandosi in un ambiente di esercenti caratterizzati da diversità linguistiche e tecnologiche. In particolare nella DDR veniva ad esercitarsi una forte influenza di origine russa. Ciò ha prodotto uno stimolo allo sviluppo di un patrimonio scientifico in buona parte originale ed indipendente. Il centro di maggior rilievo di queste attività è, tuttora, l'università tecnica di Dresda.

4. L'orario di circolazione e la sua analisi

La metodologia sviluppata dagli autori che operano a cominciare dal secondo dopoguerra permette di avere un quadro funzionale di un sistema ferroviario composto da una o più linee, utilizzato per la circolazione di una quantità variabile di treni. Ciò consente di ottenere indicazioni circa la qualità del funzionamento, nonché previsioni ragionevoli dell'evoluzione delle sue caratteristiche in un determinato lasso di tempo a partire da un istante predefinito. Si noti, infatti, che da un lato, la meccanica della locomozione fornisce la rappresentazione della marcia di un treno su una linea assegnata, senza influenze esterne; dall'altro, gli impianti di linea, le regole di esercizio e fattori aleatori di provenienza esterna sono in grado di produrre condizionamenti non trascurabili della marcia di un treno, in termini di soste e ritardi. Occorre, pertanto, riportare tutti gli elementi eterogenei che emergono nell'ambito di un quadro comune che ne permetta la determinazione ed il confronto.

Partendo dal primo degli autori che entrano in questo ordine di ricerca, come MUELLER, va subito richiamata e sottolineata l'opera di Gerhard POTTHOFF, cattedratico di Esercizio delle Ferrovie dell'università di Dresda, ancora a tutt'oggi figura centrale di questi sviluppi. La sua opera più nota è il trattato di ricerca sulla circolazione ferroviaria (*Verkehrsstroemungslehre*) in cinque volumi richiamato in Tab. 1 [12]. Non si tratta di un'opera isolata, bensì di una intensa attività di studio iniziata sul finire degli anni '40 e terminata negli anni '70.

Le situazioni nelle quali possono prodursi fenomeni capaci di interferire tra la marcia del treno e gli elementi esterni condizionanti riguardano gli impianti di stazione, gli im-

POTTHOFF addresses these topics as they are itemized in Table 1. In particular, station layouts are associated with a route matrix, where in each row and column available routes are reported. The matrix cells have each a conventional symbol which describes whether the two considered routes (respectively per row and column) are compatible or not (see also Fig. 4).

Matrix calculation simple rules and methods enable to assess average passing times through a given station, average amount of running trains, average amount of interferences over a given period, the comparison between the time needed for traffic and that actually available.

It is interesting to note how POTTHOFF deduces from the route matrix a graph apt to describe the operational features of a given station layout (Fig. 5). The same methodology can be adopted to different route sections which, in somehow, are considered as single stations.

5. Further experiences

The above-reported description is scarcely adequate to fully describe POTTHOFF's methodology. To cope with that, a series of articles, in Italian, published in this journal and elsewhere, address what is left aside here ([13], [14], [15], [16], [17], [18], [19]). More specifically, they deal with:

- Development of station layouts to operate according to specific functions and performance;*
- Performance comparison among the different layouts developed in a) [14];*
- Calculation of the expected average amount of trains circulating through a station ([16], [17]);*

Tab. 1 – Tab. 1

Volume Volume	Argomento Topic	Anno di pubblicazione Year of publication	Bibliografia Bibliography	
			Titoli Cited references	Autocitazioni Self-citations
1	Distanziamento dei treni in linea e nelle stazioni <i>Spacing of trains en-route and at stations</i>	1970	422	60
2	Tecnica di esercizio delle manovre per vetture e carri <i>Operational techniques for maneuvering passenger cars and wagons</i>	1968	505	30
3	Flussi di traffico nelle reti <i>Networks traffic flows</i>	1970	412	37
4	Analisi dei sistemi di trasporto <i>Analysis of Transportation System</i>	1972	91	11
5	Teoria dei servizi <i>Theory of Services</i>	1975	161	20

piani di segnalamento, la presenza di tracce interferenti, la variabilità dei tempi di salita e discesa, di sosta e quindi la massa dei treni merci, ed altro ancora. Obiettivi dell'indagine possono, pertanto, essere la determinazione della quantità di ritardi prodotti da una generica situazione di traffico, l'aleatorietà dei ritardi entro determinati intervalli, l'evoluzione della circolazione derivante da provvedimenti correttivi. POTTHOFF affronta questi argomenti secondo l'ordine con cui sono genericamente richiamati nella Tabella 1. In particolare, ai piani di stazione viene associata una matrice degli itinerari, nella quale sono riportati in riga e colonna gli itinerari offerti dall'impianto stesso. Ogni cella della matrice presenta un segno convenzionale che esprime la compatibilità o meno dei due itinerari, rispettivamente in riga ed in colonna, che la identificano (cfr. anche Fig. 4). Regole e metodi relativamente semplici del calcolo matriciale permettono di calcolare tempi medi di transito nella stazione, numero medio di treni in circolazione, numero medio di interferenze in un determinato tempo, il confronto tra tempi utilizzati per la circolazione e l'intervallo di tempo effettivamente disponibile. È interessante notare come POTTHOFF deduca dalla matrice degli itinerari un grafo teoricamente capace di descrivere in modo sintetico le possibilità di funzionamento dell'impianto (Fig. 5). La stessa metodica si applica ai vari tratti di linea che, in certo qual modo, vengono assimilati a singole stazioni.

La teoria dei servizi, infine, consente di analizzare soprattutto gli effetti dell'aleatorietà dei fenomeni ora osservati a vari livelli di dettaglio.

Nell'ambito di questa trattazione, POTTHOFF non affronta le questioni economiche studiate di MUELLER.

5. Approfondimenti

È doveroso sottolineare l'inadeguatezza delle poche notizie richiamate alla fine del punto precedente a descrivere con maggior approfondimento la metodica di POTTHOFF. Questa difficoltà, tuttavia, si presta ad essere agevolmente superata grazie ad una serie di articoli in lingua italiana apparsi su questa stessa rivista, e altrove, che affrontano quanto viene lasciato da parte ([13], [14], [15], [16], [17], [18], [19]). Nello specifico gli approfondimenti introdotti riguardano i seguenti argomenti:

- genesis dei piani di stazione in grado di assolvere a determinate funzioni;
- confronto prestazionale dei piani di stazione definiti in a) [14];
- calcolo del numero medio atteso di circolazioni in un impianto [16], [17];
- costruzione di un albero degli stati di impianto (Fig. 6 da [14]) che permette il calcolo del numero medio atteso di circolazioni per le varie combinazioni possibili

- Development of a tree-shaped diagram describing different possible station situations (Fig. 6, from [14]) which enables the calculation of the expected average amount of trains circulating, for each possible situation ([16], [17]). This method is fully included in the international technical literature ([15], [20], [21]);
- Simulation software for complex station layouts ([18], [22]).

5.1. Specific cases

A special case is represented by medium-large marshalling yards. This type of facility was developed in the last century with ever increasing size and performance; the Maschen yard, south of Hamburg, with its wagons high traffic and huge area serves as a case in point. These yards operate incoming freight trains, sort wagons according to their final destination and set them accordingly. The process is reiterated until a given amount of wagons equating that of a train is reached. Under the scientific point of view, when designing and managing such yards, two methodologies are adopted. One concerns wagons' boosting and gravity operations [23] and the other, contemplated within the Theory of Services, deals with the wagons kicking order, pass-through times (including standing times) across the yard, and the optimization in building and operating the outbound trains.

Kicking-train mechanics give rise to complex technological problems, often of high scientific relevance. Unfortunately, the drastic decrease of freight traffic due to the aggressive rubber-tired competing option resulted into modest through flows, far below the designed maximum capacity.

Moreover, there is a plenty of scientific works focusing on installations and traffic, unfortunately with no sequels, although of the utmost interest still to present days. A short list

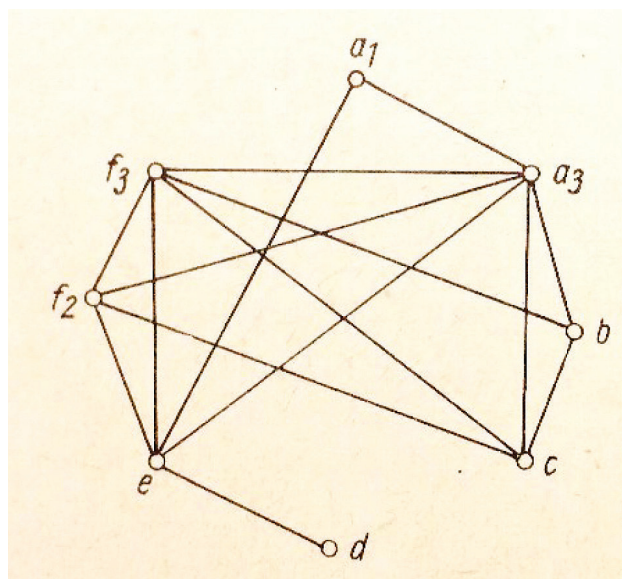


Fig. 5 - Grafo degli itinerari elaborato da POTTHOFF [12].
Fig. 5 - Route Graph by POTTHOFF [12].

([16], [17]). Il metodo usato è stato accettato anche nella letteratura tecnica internazionale ([15], [20], [21]);

- e) impiego di metodi di simulazione in impianti ferroviari complessi ([18], [22]).

5.1. Casi particolari

Un caso particolare è rappresentato dalle stazioni di smistamento di dimensioni medio-grandi. Questo tipo di impianto si è sviluppato nel secolo scorso fino ad assumere dimensioni e prestazioni sempre crescenti, basti pensare all'impianto di Maschen, a sud di Amburgo, previsto per un traffico di parecchie migliaia di carri al giorno e sviluppantesi in lunghezza e larghezza chilometriche. Le funzioni di questi impianti sono quelle di ricevere i treni merci, suddividere i carri in base alla direzione di uscita che contiene la loro destinazione finale ed, infine, di ordinarli secondo la successione delle loro destinazioni. Il processo continua fino a raggiungere un determinato numero di carri pari a quello di un treno. Dal punto di vista scientifico, nella progettazione e nella gestione dell'impianto, intervengono due diverse metodiche, una che riguarda la meccanica della marcia per spinta e gravità dei singoli carri [23] e un'altra, che rientra nella teoria dei servizi, e che tratta dei problemi dell'ordine con cui conviene lanciare i vari treni, dei tempi di transito dei carri attraverso l'impianto (ivi comprese le attese) e dell'ottimizzazione della formazione e invio dei treni in uscita. La meccanica del lancio comporta complessi problemi tecnologici, che non di rado conservano notevole interesse. Purtroppo, la drastica contrazione del traffico merci connessa all'aggressività concorrenziale del trasporto su gomma ha ridotto i flussi in transito a quantitativi modesti e ben lontani dai massimi progettuali.

Esiste, inoltre, una notevole quantità di lavori scientifici in tema di impiantistica e circolazione, che però sono rimasti senza seguito, nonostante conservino tutt'ora un notevole interesse. In bibliografia se ne riporta un breve elenco ([23], [24], [25], [26], [27], [28], [29]). L'esplorazione dell'assieme di queste pubblicazioni è comunque possibile partendo dalla bibliografia di POTTHOFF [12], proseguendo con quella di PACHL ([20], [21]). L'ampliamento viene assicurato dalla rivista con la rubrica mensile "Biblio IF" che per i primi venti anni di questo secolo presenta circa 500 segnalazioni bibliografiche in materia, quanto basta a soddisfare ogni esigenza per i discenti.

6. La circolazione

Nella letteratura tecnica italiana si riscontra un primo sostanziale contributo all'analisi dei problemi della circolazione dei treni con la serie di articoli di GUZZANTI ([30], [31], [32], [33], [34]) il primo dei quali, si fa notare, risale al 1944. Questa serie di lavori conduce direttamente al volume primo di POTTHOFF [12], ricco della bibliografia richiamata in Tabella 1. La naturale evoluzione della pubblicistica scientifica in materia conduce, a sua

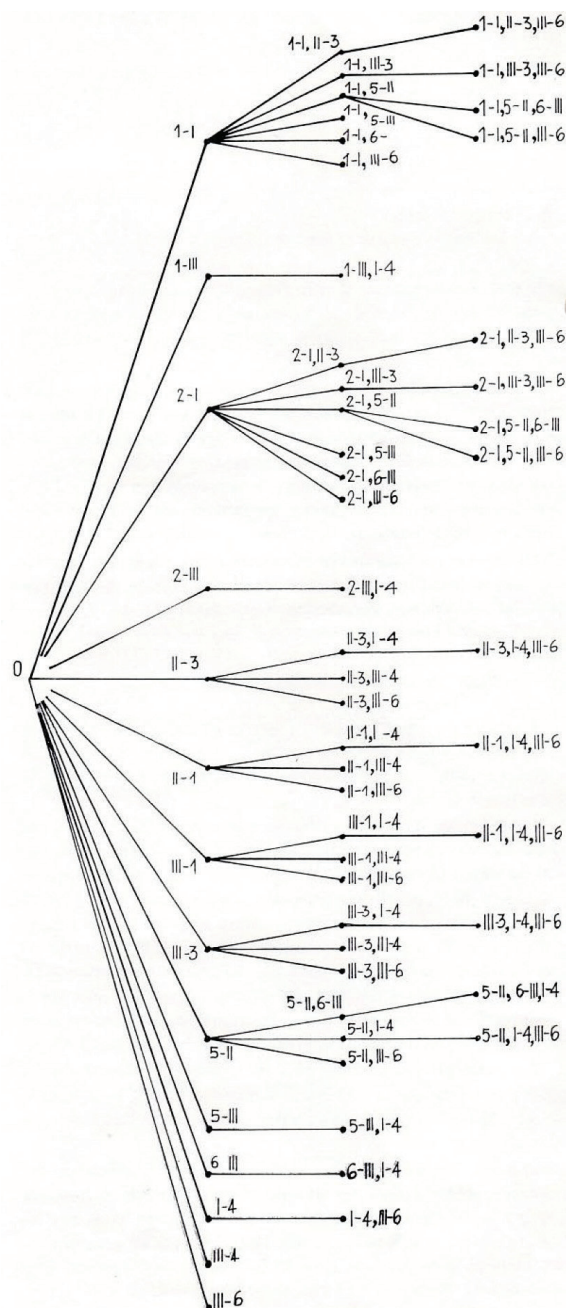


Fig. 6 - Albero degli stati di impianto [14]
(gli archi rappresentano la possibilità di passare direttamente da una ennupla all'ennupla gerarchicamente superiore o inferiore; i vertici o nodi rappresentano ordinatamente ennuple di itinerari la cui composizione varia da 0 al numero massimo ottenibile sull'albero; caratteri arabi e romani seguono la spiegazione di Fig. 4).

Fig. 6 Tree-shaped graph of the possible station situations [14]
(the links represent the possibility to move from a given n-tuple to that hierarchically higher or lower; the nodes represent sets of route n-tuples whose amount varies from 0 to the maximum achievable by the graph; for numerals refer to the keys to numerals in Fig. 4).

volta, nel 1999 al lavoro di PACHL ([20], [21]). In parallelo alla normale attività scientifica (in buona parte proveniente dal mondo accademico, ma non solo, ad esempio in [35]), si affianca per la prima volta una consistente attività di ricerca e normazione elaborata da UIC ([36], [37], [38]). A titolo esemplificativo si riporta in Fig. 7 l'analisi di un orario grafico sviluppata in questo ambito.

7. Metodologia di sintesi

L'ulteriore sviluppo della metodologia di sintesi dei problemi di circolazione negli impianti e nelle linee costituisce l'elemento centrale delle attività in corso, ben lungi dal poter essere considerate conclusive. Tali attività derivano direttamente dal settore informatico, estraneo alla scienza originale ferroviaria, e consistono in programmi di simulazione dell'esercizio ferroviario e di ottimizzazione di determinati parametri della circolazione stessa. Ad esempio, la capacità di circolazione di una linea, per una assegnata quantità da trasportare, viene espressa in terne di risultati riguardanti il numero di treni necessario, il numero di conflitti e di ritardi generati.

8. Studi e prospettive

Lo scopo di questo articolo è quello di delineare il pensiero scientifico sulla circolazione ferroviaria a partire dai fondamenti della materia fino, primariamente, alla fine del secolo scorso, quale principale orizzonte temporale di riferimento. Quando si rifletta sugli importanti risultati ora descritti e sintetizzati nella loro evoluzione in Fig. 8, si "scatena" letteralmente un insieme di problemi che debbono essere risolti e compatibili con questi. Qui basterà elencarli in vista di un ulteriore studio complementare a quello che qui si conclude. La buona parte di questi problemi sono di natura statistica, aleatoria o afferenti alla teoria dei servizi. In particolare essi riguardano:

- i turni del materiale mobile;
- i turni del personale impiegato a bordo dei treni ed a terra negli impianti;
- l'affidabilità del materiale mobile e degli impianti;
- la disponibilità di energie e materiali necessari, come i precedenti, al funzionamento del sistema;
- la disponibilità della via;
- l'organizzazione generale del sistema

e sui quali si spera altri autori vogliano contribuire all'approfondimento.

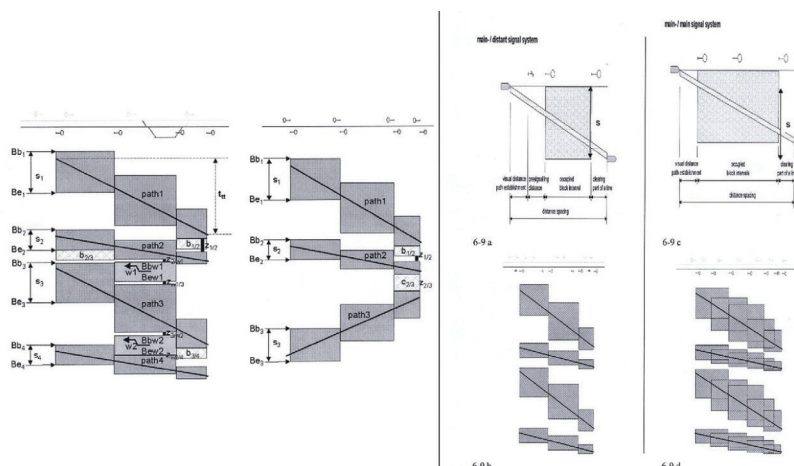


Fig. 7 - Frazionamento dei tempi susseguente ad una compressione dell'orario (sinistra) ed esempi di tempi di occupazione con sistemi di segnalamento diversi (destra) [36].

Fig. 7 - Times variations due to a compacted timetable and examples of standing times with different signaling systems (right) [36].

is available in the reference section ([23], [24], [25], [26], [27], [28], [29]). It is possible to review them starting POTTHOFF's bibliography [12] first, and then PACHL's ([20], [21]). To complete, the monthly column "Biblio IF", by more than 500 annotated references in this field just in the last 20 years, provides enough to meet any study requirement.

6. Traffic

A first major contribution on rail traffic problems, available in the Italian technical literature, is represented by GUZZANTI's series of articles ([30], [31], [32], [33], [34]) the first of which, to be noted, was issued in 1944. This series of works leads straight to POTTHOFF's first volume [12], where the references mentioned in Table 1 abound. The natural evolution of scientific publications on the subject leads, in turn, to the PACHL's work in 1999 ([20], [21]).

Along with the regular scientific contributions (mostly from academic sources, but not only as in [35]), a robust research and regulatory action is also provided, for the first time, by UIC ([36], [37], [38]). The analysis of a timetable, developed within UIC, is provided in Fig. 7 as an example.

7. The Synthesis Methodology

The further development of the synthesis methodology on traffic problems at stations and on lines is the core the present activities, far from being considered as conclusive. Such activities originate from the IT fields, alien to the original rail science, and are based on the development of software to model rail operations and to optimize given traffic parameters. For example, a line capacity for a given amount of traffic

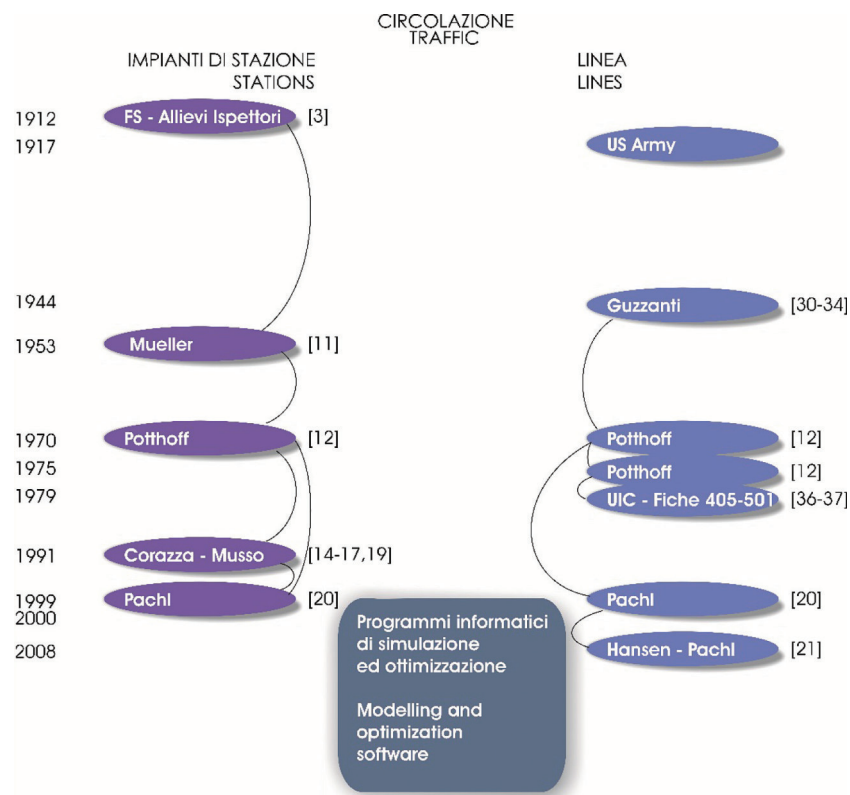


Fig. 8 - Evoluzione del pensiero scientifico in tema di circolazione negli impianti e nelle linee.

Fig. 8 - Development of the scientific thought on rail traffic at stations and on lines.

is described via three kinds of results: amount of needed trains, generated conflicts and delays.

8. Studies and outlook

The goal of this paper is to outline the development of scientific thought on rail traffic starting from its origins until the end of the last century, as major reference horizon. When pondering upon the main outcomes above described and synthesized in Fig. 8, a set of problems to solve arises. Suffice it to mention them in view of further complementing studies to the one in hand. Most of these problems are of statistical or aleatory nature, or related to the Theory of Services. More specifically, they concern:

- Rolling stock turn round;
 - on-board and ground staff rosters;
 - reliability of rolling stock and installations;
 - availability of resources, as for c), to operate the system;
 - line availability;
 - system general organization
- on which more authors, hopefully, shall contribute to deepening.

BIBLIOGRAFIA - REFERENCES

- BRUNER M., CORAZZA G.R., CORAZZA M. V. (2016), "Divagazioni sull'ingegnere ferroviario", in: *Ingegneria Ferroviaria*, n. 7, luglio-agosto, pp. 603-613.
- BRUNER M., CORAZZA G.R. (2018), "Note sullo sviluppo di un pensiero scientifico originale nelle ferrovie. La marcia in rettilineo e in curva", in: *Ingegneria Ferroviaria*, n. 9, settembre, pp. 707-725.
- Ferrovie dello Stato – Direzione Generale (1912), "Sunti delle conferenze tenute agli allievi ispettori di nuova nomina nel 1912", vol. 2, Roma.
- REUTER D. (2019). "Sicher, pünktlich, wirtschaftlich. Souverän", in: *BahnPraxis*, n. 5.
- LEWIS L.P. (1912), "Railway Signal Engineering", New York.
- LE GOASTER H. (1912), "Cours de Chemin" de Fer, Paris.
- MUNDY F. W. (1908), *The Earning Power of Railroads*, New York.
- POOR H. V. (1900), "Poor's manual of railroads of the United States", New York.
- GRISMAYER E. (1927), "Tecnica ed esercizio delle strade ferrate", parte IV, Regia Scuola d'Ingegneria di Roma – Ufficio Dispense, Roma.
- VICUNA G. (1986), "Organizzazione e tecnica ferroviaria", CIFI, Roma.
- MUELLER W. (1953), "Eisenbahnanlagen und Fahrdynamik: Bahnlinie und Fahrdynamik der Zugförderung", vol. 2, Springer Verlag, Berlino.

- [12] POTTHOFF G. (1970), "*Verkehrsströmungslehre*", Transpress VEB Verlag für Verkehrswesen, Berlino.
- [13] CORAZZA G.R., FLORIO L. (1979), "Il problema del nodo e la verifica degli impianti di stazione", in *Ingegneria Ferroviaria*, n. 4, aprile.
- [14] CORAZZA G.R., MUSSO A. (1987), "Gli impianti di stazione e la loro analisi topologica", in *Ingegneria Ferroviaria*, n. 11, novembre.
- [15] CORAZZA G.R., MUSSO A. (1990), "*Methodologie zur Planung der Gestaltung von Bahnhofsgleisanlagen*", in *Schienen der Welt*, n. 1, gennaio, edito anche in inglese, francese e russo.
- [16] CORAZZA G.R., MUSSO A. (1991), "La circolazione ferroviaria e gli impianti di stazione. Lo stato dell'arte della metodologia per la verifica", in *Ingegneria Ferroviaria*, n. 8, luglio-agosto.
- [17] CORAZZA G.R., MUSSO A. (1991), "La circolazione ferroviaria e gli impianti di stazione. La verifica a lunghi termini", in *Ingegneria Ferroviaria*, n. 10, ottobre.
- [18] CORAZZA G.R., ROTA R. (1992), "Osservazione sull'impiego della simulazione per lo studio degli impianti ferroviari complessi", in *Ingegneria Ferroviaria*, n. 6, giugno.
- [19] CORAZZA G.R., MUSSO A. (1995), "Problemi di topologia e capacità di trasporto degli impianti nodali ferroviari", in *Atti del Convegno "Risparmiare sui trasporti si può?"*, Napoli, 23-24 febbraio, pp. 11.
- [20] PACHL J. (1999), "*Systemtechnik des Schienenverkehrs*", Teubner, Stoccarda.
- [21] HANSEN I.A., PACHL J. (2008), "*Railway Timetabling and Operations*", Eurailpress, Amburgo.
- [22] ANTOGNOLI M., CORAZZA G.R., GUIDA P. (2001), "Analisi di un impianto di stazione, mediante osservazioni in condizioni reali di esercizio", in *Ingegneria Ferroviaria*, n. 7, luglio.
- [23] PETER J., SCHÖNBRODT J. (2011), "*Erhöhung der Leistungsfähigkeit von Ablaufanlagen durch genauere Laufwiderstände*", in *ETR – Eisenbahntechnische Rundschau*, n. 4.
- [24] RICCI S., TIERI A. (2009), "Verifica e previsione della regolarità del traffico ferroviario con un modello di simulazione basato sulle Reti di Petri", in *Ingegneria Ferroviaria*, n. 9, settembre.
- [25] CIUFFINI F. (2007), "Capacità di una stazione elementare di testa", in *Ingegneria Ferroviaria*, n. 10, ottobre.
- [26] CIUFFINI F. (2014), "Un metodo per la valutazione dell'effetto frequenza sul tempo di viaggio complessivo", in *Ingegneria Ferroviaria*, n. 10, ottobre.
- [27] RICCI S. (1998), "Nuove tecniche di movimentazione dei carri nelle stazioni di smistamento", in *Ingegneria Ferroviaria*, n. 3, marzo.
- [28] CANCIANI G. (1999), "Modelli di teoria delle code per impianti a deflusso controllato", in *Ingegneria Ferroviaria*, n. 6, giugno.
- [29] GIOVINE V., LEONARDI G.A. (1992), "Un criterio per il dimensionamento di impianti dinamici di manutenzione e pulizia dei rotabili ferroviari", in *Ingegneria Ferroviaria*, n. 2, febbraio.
- [30] GUZZANTI C. (1944), "La potenzialità delle linee ferroviarie con circolazione di treni ad uguale velocità", in *Rivista tecnica delle Ferrovie italiane*, n. 1-4, gennaio-aprile.
- [31] GUZZANTI C. (1946), "La potenzialità delle linee ferroviarie con circolazione bitachica alternante", in *Ingegneria Ferroviaria*, n. 1, luglio.
- [32] GUZZANTI C. (1947), "Gli impianti per la circolazione dei treni e la potenzialità delle linee ferroviarie – parte I", in *Ingegneria Ferroviaria*, n. 7-8, luglio-agosto.
- [33] GUZZANTI C. (1947), "Gli impianti per la circolazione dei treni e la potenzialità delle linee ferroviarie – parte II", in *Ingegneria Ferroviaria*, n. 9, settembre.
- [34] GUZZANTI C. (1948), "Frenatura concentrata o ripetuta nelle stazioni di smistamento a gravità?", in *Ingegneria Ferroviaria*, n. 5, maggio.
- [35] CERQUARELLI V., GIOVINE V., VIGLIETTI A. (2019), "L'evoluzione tecnologica e organizzativa della circolazione ferroviaria in Italia", in *Ingegneria Ferroviaria*, n. 6, giugno.
- [36] UIC., *Fiche 405-1* (2003) – "*Methode destinee a determiner la capacite des lignes*", Parigi 1979, ried.
- [37] UIC., *Fiche 405-2* (1983) – "*Mesures en vue d'accroitre la capacite des lignes a fort trafic*", Parigi.
- [38] UIC., *Fiche 406* (2013) – "*Capacité*", Parigi.