



Impianti per la manutenzione del materiale rotabile ad alta velocità: un esempio di simulazione riferito all'ICE

Plant installations for the maintenance of high-speed trains: a simulation example referred to ICE

Dott. Ing. Giuliano DANIELE,
Prof. Ing. Bruno DALLA CHIARA^(*)

1. Introduzione

L'articolo riguarda gli impianti per la manutenzione dei treni ad alta velocità: viene presentato, con riferimento alla simulazione e ad alcuni dati sperimentali, un iter progettuale che segue le nuove tendenze e la cui applicazione costituisce un valore aggiunto come regola di buona tecnica nella progettazione del materiale rotabile: il nuovo approccio permette di inglobare già in fase di progetto le necessità della manutenzione previste dall'esercizio dei rotabili e relativi impianti.

2. Considerazioni generali

Gli impianti di manutenzione dei veicoli per il trasporto ferroviario, in passato ed ancora oggi, hanno seguito la logica secondo la quale tutti i componenti di un sistema di trasporto devono essere sottoposti a periodici interventi di ripristino o prolungamento nel tempo delle caratteristiche funzionali e dei requisiti di sicurezza [1, 2]. La gestione, in generale, di tutte le attività di mantenimento delle *performance* tecniche dei veicoli si è appoggiata storicamente alle competenze accumulate o *know how* delle singole amministrazioni ferroviarie che, forti del proprio bagaglio d'esperienza, hanno solitamente posizionato le esigenze di manutenzione a valle dell'intero processo di progettazione, sviluppo e costruzione dei rotabili.

Con la diffusione del trasporto ad alta velocità, però, si è andata affermando una nuova metodologia di manutenzione del materiale rotabile [3]; in particolare, è andato emergendo un approccio sistematico per quanto riguarda

1. Introduction

This article deals with the plant layout for the maintenance of high-speed trains: it presents – with reference to simulation and to some experimental data – a project procedure which pursues the new trends and whose application generates added value as a rule of good technique in rolling stock engineering and design: this new approach enables to incorporate the maintenance requirements for the servicing of the rolling stock and the relevant equipment starting from the first stage of engineering.

2. General considerations

The maintenance systems for the rolling stock maintenance have followed – and still follow – a logic by which all the components of a transport system are to undergo periodical interventions to restore or lengthen in time both the functional characteristics and the safety requirements [1, 2]. In general terms, the management of all the activities aimed at maintaining the technical performance of the vehicles have historically relied on the accumulated competences or know-how of the different railway administrations which, strengthened by their own background of experience, usually set the maintenance requirements downstream the whole process of design, development and building of the rolling stock.

With the spreading of high-speed rail transport, however, a new maintenance methodology has surfaced [3]; in particular, a systematic approach has started to emerge in the design, implementation and management of the maintenance

(*) Politecnico di Torino, Dipartimento DITIC-Trasporti.

(*) Politecnico di Torino, Dept. DITIC-Transport Engineering.

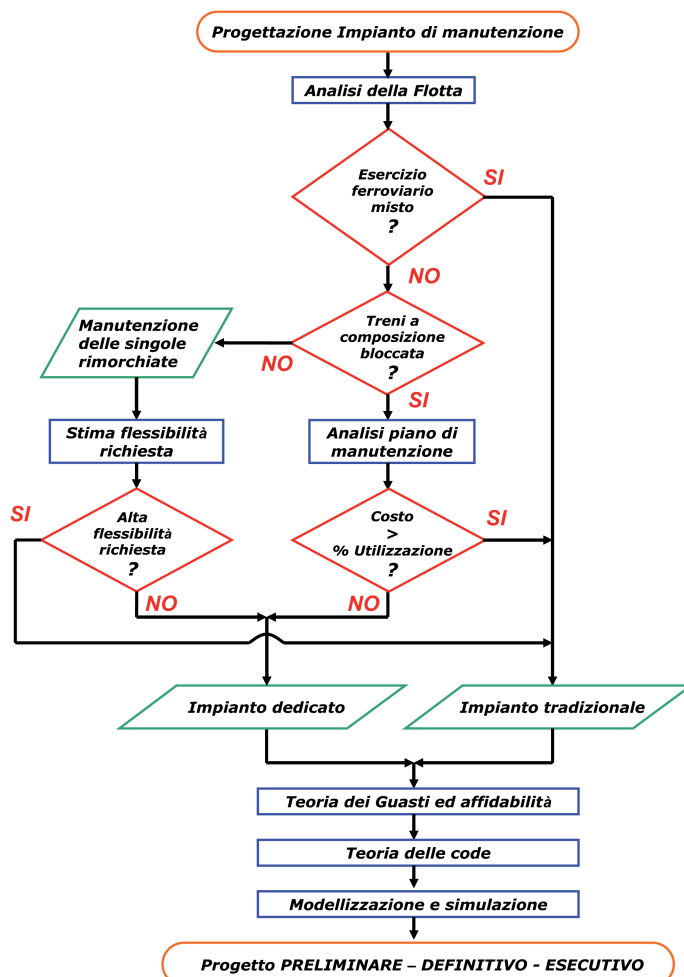


Fig. 1 – Diagramma di flusso del processo di progettazione di un impianto di manutenzione. Flow diagram of a maintenance system design process. (Development of a maintenance system; Analysis of the Fleet; Mixed railway service?; Maintenance of single coaches; Blocked-composition trains?; Estimate of the flexibility required; Analysis of the maintenance plan; High flexibility required?; Cost > % of use; Dedicated plant installation; Conventional plant installation; Theory of Failures and reliability; Queueing theory; Modelling and simulation; PRELIMINARY – FINAL – EXECUTIVE Project).

la progettazione, la realizzazione e la gestione degli impianti per la manutenzione, che porti a dimensionare l'impianto stesso attraverso l'utilizzo della teoria delle code e della simulazione al computer. Il vantaggio evidente di questo processo di *co-engineering* è quello di tenere sotto controllo variabili che, se lasciate emergere sotto forma interventi correttivi durante il ciclo di vita utile del sistema, inficiano o possono compromettere la qualità e la sicurezza dell'esercizio ferroviario [3, 4].

nance systems, namely: the sizing of the plant installation itself through the use of the queuing theory and of computer simulation. The obvious advantage of such *co-engineering* process is that it keeps under control these variables which – if left as mere corrective actions during the life cycle of the system – affect and may jeopardize the quality and safety of the railway service [3, 4].

This article illustrates a project procedure that pursues the new trends and whose application generates added value as a rule of good technique in the engineering and design of the rolling stock: such state-of-the-art approach enables to incorporate the maintenance requirements and the relevant equipment [5] as from design stage.

One of the best examples of this philosophy is shown in the system developed by the DB in Hamburg, Germany⁽¹⁾ [6].

The objective is to highlight how the *co-engineering* approach between design and maintenance planning generates unquestionable advantages to the railway service, in terms of efficiency and safety of the transport system, when the events or needs do not emerge unexpectedly. The contribution to innovation proposed in the article is linking computer simulation to the design procedure and is testing it through the analysis of the procedures which have already been adopted and consolidated in the advanced model implemented by the German DB.

3. The state-of-the-art maintenance of the rolling stock

The approach to the design of an advanced maintenance system may be represented by a flow chart (fig. 1) that represents the actual grounds which lead to the choice of developing a *conventional* plant installation rather than a *dedicated* one. The distinc-

⁽¹⁾ As a concept, the Hamburg plant installation dates back to the nineteen eighties, and it was expressly built for ICE1 when the service was started. Other installations (e.g. in Munich) have then been developed for ICE2 and 3 with a simpler setup.

In questo articolo viene presentato un iter progettuale che segue le nuove tendenze e la cui applicazione costituisce un valore aggiunto come regola di buona tecnica nella progettazione del materiale rotabile: il recente approccio permette d'inglobare le necessità della manutenzione e relativi impianti [5] già in fase di progetto.

Uno dei migliori esempi di questa filosofia è rappresentato dall'impianto realizzato dalle DB presso Amburgo⁽¹⁾, in Germania [6].

L'obiettivo è mettere in evidenza come l'approccio in *co-engineering* tra progettazione e pianificazione della manutenzione porti indubbi vantaggi all'esercizio ferroviario, in termini di efficienza e sicurezza – allorché s'intervenga in modo non previsto – del sistema di trasporto. L'apporto d'innovazione contenuto nell'articolo è quello di annessere all'iter progettuale la simulazione al calcolatore e testarla tramite l'analisi delle procedure già adottate e consolidate nel moderno impianto tedesco delle DB.

3. La manutenzione al passo con i tempi del materiale rotabile

L'iter progettuale di un moderno impianto di manutenzione può essere rappresentato da un diagramma di flusso (fig. 1) che rappresenta la logica sulla quale basare la scelta di realizzare uno stabilimento *tradizionale* piuttosto che *dedicato*. La distinzione tra impianto tradizionale e dedicato presentata nel diagramma può essere riassunta definendo le peculiarità di ciascuna categoria (cfr. tabella a fianco).

La minore flessibilità dei singoli binari di un impianto tradizionale è compensata dalla possibilità di sottoporre a manutenzione diverse tipologie di rotabili e di poter effettuare ogni operazione di sostituzione o riparazione dei componenti soggetti ad usura.

D'altro canto, la planimetria (*layout*) dei singoli binari di un impianto dedicato garantisce flessibilità nella gestione operativa della manutenzione. Infatti, grazie ai tre livelli d'accessibilità al veicolo – sotto il piano del ferro, a livello del pavimento e sul tetto – ogni binario può essere impegnato per qualunque esigenza del convoglio, favorito anche dalla composizione bloccata. La contropartita per l'alta flessibilità è un elevato costo d'esercizio causato dall'impossibilità di utilizzare l'impianto per tipologie diverse di materiale rotabile e dalla limitata adattabilità all'evoluzione dei convogli.

Non è dunque possibile stabilire la tipologia di un impianto senza aver considerato a quale flotta dovrà essere abbinato.

⁽¹⁾ L'impianto di Amburgo risale, come concetto, agli anni ottanta ed è stato costruito espressamente per ICE1 all'atto dell'entrata in esercizio. Successivamente altri impianti sono stati realizzati per ICE2 e 3 con impostazione più semplice (ad esempio, impianto di Monaco di Baviera)

tion between conventional and dedicated installations shown in the diagram may be summarized by defining the features of each category, namely:

Impianto di manutenzione tradizionale <i>Conventional plant installation for maintenance</i>
– Elevato numero di binari – <i>High number of tracks</i>
– Disponibilità di binari con funzioni “specializzate” – <i>Availability of tracks with “dedicated” functions</i>
– Presenza di officine attrezzate per riparazioni complete – <i>Presence of workshops equipped for complete repairs</i>
– Aree dedicate per le revisioni e la verniciatura – <i>Dedicated areas for overhauls and painting</i>
– Tornio in fossa ad alta portata – <i>Under-floor wheel lathes of high capacity</i>
– Alto costo di realizzazione – <i>High implementation cost</i>
– Alta percentuale di utilizzazione → basso costo di esercizio – <i>High percentage of use → low operational cost</i>
– Adattabilità a diverse “mission” a lungo termine – <i>Adaptability to different long-term “missions”</i>
Impianto di manutenzione dedicato <i>Dedicated plant installation for maintenance</i>
– Numero di binari contenuto – <i>Limited number of tracks</i>
– Disponibilità di 3 livelli di accessibilità per ogni binario – <i>Availability of 3 levels of accessibility for every track</i>
– Alta flessibilità nella gestione operativa – <i>High flexibility in the operational management</i>
– Layout “snello” orientato alla sostituzione dei componenti – <i>“Lean” lay-out, oriented to the replacement of components</i>
– Officine attrezzate per piccole riparazioni – <i>Workshops equipped for small repairs</i>
– Costo di realizzazione limitato – <i>Limited implementation cost</i>
– Alto costo di esercizio – <i>High service cost</i>
– Ciclo di vita dell'impianto legato ai rotabili – <i>System life cycle connected to the rolling stock</i>

The lower flexibility of the single track in a conventional system is compensated by the viability of main-

Le linee guida che definiscono le scelte del progettista nelle varie fasi di concezione e realizzazione di un impianto di manutenzione partono dalla considerazione della tipologia del materiale rotabile, che può essere ad uso promiscuo o dedicato. L'analisi della *flotta* e del *piano di manutenzione* permette quindi di suddividere l'impianto in *aree d'impiego*, di attribuire il necessario *numero di binari* che, a loro volta, potranno essere strutturati su tre *livelli* d'accessibilità oppure essere costruiti per soddisfare specifiche richieste. La planimetria o *layout* di queste aree dedicate risponde principalmente all'esigenza di smaltire gli interventi caratterizzati da una maggiore frequenza e alla richiesta di spazio necessaria al funzionamento delle attrezzature per le riparazioni.

Il soddisfacimento di questi requisiti spesso determina il posizionamento delle risorse maggiormente utilizzate in aree facilmente raggiungibili dai veicoli, relegando le officine di maggiore estensione ed i macchinari per le revisioni ai margini della superficie occupata dall'intero impianto. Allo stesso tempo, la planimetria delle risorse viene determinato anche tenendo conto dell'ottimizzazione degli interventi di manutenzione, prevedendo la possibilità di effettuare operazioni simultanee su sottosistemi indipendenti del veicolo.

In base ai suddetti criteri, viene individuata la *tipologia* di ciascuna macro-area della manutenzione: *meccanica, elettrica, strutturale*. A questo punto, l'analisi dei *cicli* necessari per gli interventi di manutenzione determina il dimensionamento dei *tempi di servizio* delle attrezzature e di conseguenza dei *buffer* ad esse associate.

4. Il problema delle code

Per creare un modello dell'impianto di manutenzione oggetto di studio è auspicabile ricorrere alla *teoria delle code*, al fine di descrivere e gestire le soste richieste ai rotabili per l'effettuazione degli interventi [7]. La *teoria delle code* si occupa:

- dello studio della *formazione delle code* presso una o più stazioni di servizio;
- dell'individuazione del numero di stazioni di servizio necessario per soddisfare, nel modo più economico, le richieste dei clienti;
- dello studio dell'ordine secondo il quale devono essere servite le unità presenti in coda.

Un obiettivo della teoria è trovare la soluzione per la quale la *somma* tra il costo dovuto all'attesa dei clienti e quello dovuto ai servizi risulti minima. Le grandezze richieste per l'applicazione della teoria delle code sono: la distribuzione degli arrivi, il numero di arrivi in coda per unità di tempo, la quantità di attrezzature di servizio, il tempo di utilizzo dell'unità di servizio.

A partire da questi dati si può, quindi, ripianificare gli arrivi, modificare le unità di servizio, variare il numero e il layout dei canali. In un problema di code si devono ave-

re differenti tipi di rolling stock e carrying out any replacement or repair operation on the wear parts.

On the other hand, the layout of the single tracks in a dedicated system ensures flexibility in the operational management of maintenance. The three levels of accessibility – i.e. under the top of rail, at floor level and on the roof – enable every track to be used for any requirement of the train, also thanks to the blocked composition. The offset of such extreme flexibility is the high cost of operation, since the system cannot be used for different types of rolling stock and because of the limited adaptability to the evolution of the trains.

Subsequently, the typology of a system cannot be established without considering what fleet it has to be related to.

The guidelines which define the designer's choices in the different stages of development and implementation of a maintenance plant installation start from taking into account the type of rolling stock use, which can be either promiscuous or dedicated. The analysis of both the *fleet* and *maintenance plan*, therefore, allows dividing the plant installation into *areas of use* and allocating the required *number of tracks* which – on their turn – can be either structured on three *levels* of accessibility or built to meet specific requirements. The layout of such dedicated areas mainly responds to the need of processing the most frequent actions and to the demand of space needed by the repair equipment.

The response to such requirements often determines the location of the most frequently utilized resources in areas the vehicles can more easily reach; the workshops of greater extension and the overhaul equipment is therefore left to the margins of the surface occupied by the whole system. At the same time, the layout of the resources is determined also taking into account the optimization of the maintenance interventions, by planning the viability of performing simultaneous operations on sub-systems which are independent on the vehicle.

The typology of every maintenance macro-area (namely: *mechanical, electrical and structural*) is defined on the basis of the criteria above. Then, the analysis of the *cycles* required for the maintenance interventions determines the sizing of the *service time* of the equipment and – consequently – of the *buffers* associated to it.

4. The queuing issue

When generating a model of the maintenance plant installation which is the subject of this study, the *queuing theory* reveals to be a useful tool in describing and managing the downtime demanded to the rolling stock for the carrying out of the actions [7]. The *queuing theory* deals with the following aspects:

- the investigation of the generation of queues at one or more service stations;

re informazioni sulla popolazione degli arrivi, sul numero di canali, sulla disciplina della coda, sulla distribuzione degli arrivi e dei servizi.

La teoria delle code stabilisce che se il numero degli arrivi in un dato intervallo di tempo è distribuito secondo una curva di *Poisson*, allora i tempi tra gli arrivi hanno una distribuzione esponenziale negativa, e viceversa.

Per stabilire se la distribuzione degli arrivi segua effettivamente una *poissoniana*, si ricorre ai test analitici e in particolare al test KS [8].

Come esemplificato nel paragrafo successivo, alcuni moderni software di simulazione implementano al loro interno i modelli statistici per la trattazione dei problemi di code. In questo modo i sistemi di trasporto vengono dimensionati tenendo conto della casualità sia della domanda (arrivi) che dell'offerta (servizi), ottimizzando la gestione dell'esercizio ferroviario.

5. Simulazione dell'impianto

Per simulare al computer l'impianto di manutenzione oggetto di studio, si è scelto di usufruire del software *Automod*, che è in grado di gestire la casualità dell'insorgere dei guasti, grazie alla possibilità di generare flussi indipendenti di numeri casuali che possono essere convertiti nella distribuzione statistica desiderata [9]. Si possono quindi rappresentare tempi di arrivo, dimensione dei lotti, tempi di lavorazione, tempi di riparazione, frequenze di guasto e altro.

Il software permette di gestire le code grazie alle formule della teoria delle code implementate al suo interno [9, 10].

Nell'ambiente *Automod* con un sistema di trasporto o movimentazione simulato ("*path mover system*") si possono rappresentare più veicoli o persone che si spostano lungo un percorso predefinito, caricando persone o oggetti (*loads*) dal luogo di "imbarco" alla destinazione di "consegna". Pertanto, un "*path mover system*" è stato scelto per rappresentare il fascio di binari dell'impianto di manutenzione (fig. 2), perché particolarmente adatto a simula-

– the identification of the number of service stations required to meet the demand of the customers in the most cost-effective way;

– the study of the order by which the queuing units are to be served.

A purpose of the theory is finding a solution which minimizes the *sum* resulting from the cost due to the waiting time of the customers and the one due to the services. The values requested for the application of the queuing theory are: the distribution of the vehicles in arrival, the number of queuing vehicles per time unit and the actual utilization time of the service unit.

Starting from these data, the planning of the arrivals can be revised, the service units can be modified, and the layout of the channels can be varied. When dealing with a queue issue, information needs to be available on the population of the arrivals, on the number of channels, on the queue discipline as well as on the distribution of arrivals and services.

The queuing theory establishes that – if the number of arrivals in a given time interval is distributed along a *Poisson* function– the time between the arrivals has negative exponential distribution, and vice versa.

Analytical assessments and – in particular – the KS [8] test are resorted to in order to establish whether the distribution of the arrivals truly follows a *Poisson* curve.

As reported in the following paragraph, modern simulation software incorporates the statistical models to process the queue issues. This enables the transport systems to be sized keeping into account the randomness of both the demand (arrivals) and the offer (service), thus optimizing the management of the railway service.

5. Simulation of the plant installation

In order to run a computer simulation of the maintenance system which constitutes the subject of this study, we have chosen to adopt the *Automod* software, which can manage the randomness in the occurrence of failures thanks to its property of generating independent flows of random figures that can then be converted into the wished statistic distribution [9, 10]. Therefore, *Automod* enables to represent the arrival time, the size of the lots, the process and repair time, the frequency of failures, etc.

The software also allows managing the queues by means of the queuing theory formulas implemented in it [10].

Within the *Automod* environment, a simulated transport or handling ("*path mover*") system enables to represent several vehicles or people moving along a previously defined pathway, loading people or objects (*loads*) from the "boarding" place up to the "delivery" destination. Subsequently, a "*path mover system*" was selected to represent the set of tracks in the maintenance plant installation (fig. 2),

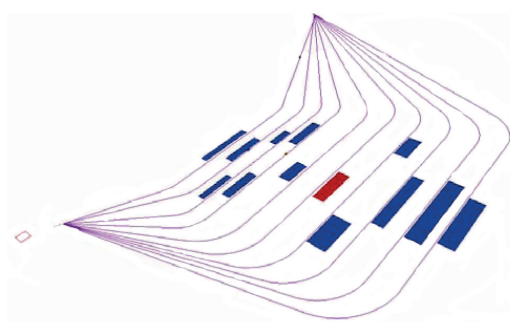


Fig. 2 – Pianta dell'impianto rappresentato come modello con Automod. Plant installation layout modelled by Automod.

re veicoli che seguono un tracciato predefinito, come il materiale rotabile ferroviario.

I veicoli che si è pensato di dover sottoporre a manutenzione compongono una flotta di 25 convogli. Nella simulazione ciascun convoglio è chiamato a garantire una percorrenza media annua di 480'000 km, distribuiti su un servizio di 20 ore al giorno. Sulla base di queste specifiche di esercizio, è stato simulato il seguente programma di manutenzione programmata relativo ad ogni treno; il programma ha fatto riferimento alla manutenzione ipotizzata con l'entrata in servizio dell'AGV e dati derivanti dall'esperienza, non ufficiali.

- 4'000 km / 60 h (2,5 g) - binario 1:
pulizia degli arredi interni, lavaggio toilette, rifornimento di acqua e sabbie, check-up stato di usura delle ruote, check-up dei pantografi.
Durata dell'ispezione: 1,5 h;
- 20'000 km / 299 h (12,5 g) - binario 3:
check-up e ripristino dell'impianto frenante.
Durata dell'ispezione: 2,5 h;
- 30'000 km / 449 h (19 g) - binario 2:
pulizia completa degli interni con impianto a vapore.
Durata dell'ispezione: 8 h;
- 60'000 km / 898 h (39 g) - binari 3,4,6:
riparazione/sostituzione dell'impianto frenante, ripristino del profilo ruote, manutenzione dell'impianto dell'aria condizionata, dell'impianto elettrico.
Durata dell'ispezione: 16 h;
- 80'000 km / 1197 h (50 g) - binari 3,4:
check-up e ripristino dell'impianto frenante, dell'impianto pneumatico, delle batterie.
Durata dell'ispezione: 8 h;
- 240'000 km / 3592 h (150 g) - binari 4,5:
controllo ad ultrasuoni degli assili, manutenzione dei sistemi elettronici, lubrificazione degli assili e dei cuscinetti.
Durata dell'ispezione: 16 h;
- 480'000 km / 7184 h (299 g) - binario 7:
check-up dei motori elettrici, dei trasformatori e degli accoppiatori.
Durata dell'ispezione: 24 h;
- 1'200'000 km / 17959 h (748 g) - binari 8,10:
1^a revisione – sostituzione carrelli portanti, revisione carrelli motori, verniciatura.
Durata dell'ispezione: 240 h;
- 2'400'000 km / 17959 h (748 g) - binari 9,10:

since it is particularly suitable to simulate vehicles which follow a defined pathway, as it is the case of the railway rolling stock.

The vehicles assumed to undergo maintenance compose a fleet of 25 trains. In the simulation, every train is called to ensure an average yearly pathway of 480,000 km, distributed on a 20-hour/day service. On the basis of these specifications, the following routine maintenance program was simulated for every train; the program referred to the maintenance assumed for the coming into service of the AGV and to unofficial data deriving from experience.

- 4,000 km / 60 h (2.5 days) - track 1:
Cleaning of the interior furniture, cleaning of the toilets, water and sand supply, check-up of the wheel wear and of pantographs.
Length of the inspection: 1.5 h;
- 20,000 km / 299 h (12.5 days) - track 3:
check-up and reset of the braking system.
Length of the inspection: 2.5 h;
- 30,000 km / 449 h (19 days) - track 2:
Complete cleaning of the interior by steam.
Length of the inspection: 8 h;
- 60,000 km / 898 h (39 days) - tracks 3, 4, 6:
Repair/replacement of the braking system, reset of the wheels' profile, maintenance of the air conditioning and electrical systems.
Length of the inspection: 16 h;
- 80,000 km / 1197 h (50 days) - tracks 3, 4:
Check-up and reset of the braking and pneumatic systems as well as of the batteries.
Length of the inspection: 8 h;
- 240,000 km / 3592 h (150 days) - tracks 4, 5:
Ultra-sonic check of the axles, maintenance of the electronic systems, lubrication of both axles and bearings.
Length of the inspection: 16 h;
- 480,000 km / 7,184 h (299 days) - track 7:
check-up of motors, transformers and couplers.
Length of the inspection: 24 h;
- 1,200,000 km / 17,959 h (748 days) - tracks 8,10:
1st overhaul – replacement of the carrying bogies, overhaul of the motor bogies, painting.
Length of the inspection: 240 h;
- 2,400,000 km / 17,959 h (748 days) - tracks 9, 10:

2^a revisione – sostituzione carrelli portanti, sostituzione carrelli motori, verniciatura.

Durata dell'ispezione: 240 h.

La planimetria o layout del fascio di binari è stata quindi determinata basandosi delle esigenze richieste dal piano di manutenzione (fig. 3), in particolare posizionan-

2nd overhaul – replacement of the carrying and motor bogies, painting.

Length of the inspection: 240 h.

Subsequently, the layout of the siding was determined on the basis of the maintenance plan (fig. 3), in particular locating all the resources involved at the same time be-

tween the involved tracks – for instance, tracks 3, 4 and 5, 6 have resources which allow simultaneous use.

The passing-through factory sidings take a larger surface, but usually ensure larger availability. However, a configuration of lower installation cost can be opted for because of different requirements and/or for an organization not based on the specialization of every track.

It may also be noticed that every resource is mated to a resource cycle (fig. 4), which allows simulating the lack of availability by introducing the distribution of the service time (we have selected the exponential distribution for all the resources) and by establishing the average value as well as the *MTTF* (Mean Time To Failure) and *MTTR* (Mean Time To Repair) distribution.

This has led to the generation of a randomness model by which – under actual circumstances – a machine may not be available, or in maintenance. In the diagram, *Auto-mod* allocates a colour to each of the three states in which a resource can be, namely:

– resource inactive, waiting to receive a load (object or person), in blue;

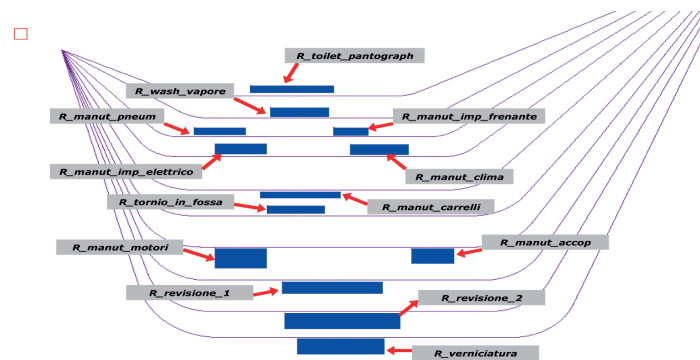


Fig. 3 - Planimetria binari e risorse (resources). Layout of tracks and resources.

do le risorse coinvolte contemporaneamente negli interventi tutte a cavallo dei binari interessati – esempio: i binari 3, 4 e 5, 6 hanno le risorse con la possibilità di utilizzo contemporaneo.

I binari passanti implicano una superficie più elevata, a fronte di una disponibilità normalmente maggiore; tuttavia, per altre esigenze e per un'organizzazione non basata sulla specializzazione dei singoli binari, si può optare per una configurazione con minori costi d'impianto.

È anche possibile notare che ad ogni risorsa (resource) è accoppiato un ciclo delle risorse (resource cycle, fig. 4)

File Edit Format Select			
Control 1		do infinite begin	MTTF/MTTR
	Control	When	Action
1	do infinite begin		
2		after rn stream_RC_toil_pant_1 exponenti	take resource down
3		after rn stream_RC_toil_pant_2 exponenti	bring resource up
4	end		
5			

Fig. 4 – Esempio di cicli delle risorse (Resource Cycles). Examples of resource cycles.

che permette di simulare le indisponibilità introducendo la distribuzione del tempo di servizio (scelta ricaduta sulla distribuzione esponenziale per tutte le risorse) e stabilendo il valor medio e la distribuzione di *MTTF* (Mean Time To Failure) e *MTTR* (Mean Time To Repair).

In questo modo è stato possibile creare un modello sulla casualità con cui nella realtà una macchina può non

– resource in “load-processing”, in green;
– resource not available because of failure or in maintenance, in red (fig. 5).

In order to contain the maximum length of the simulation, a maximum machine time – and, therefore, of simulation with the calculation program – of 10 hours

- risorsa inattiva e in attesa di ricevere un'entità (*load*), oggetto o persona, in blu;
- risorsa in fase di “load-processing”, in verde;
- risorsa ferma per guasto o manutenzione, in rosso

(fig. 5).

time of the 2nd overhaul.

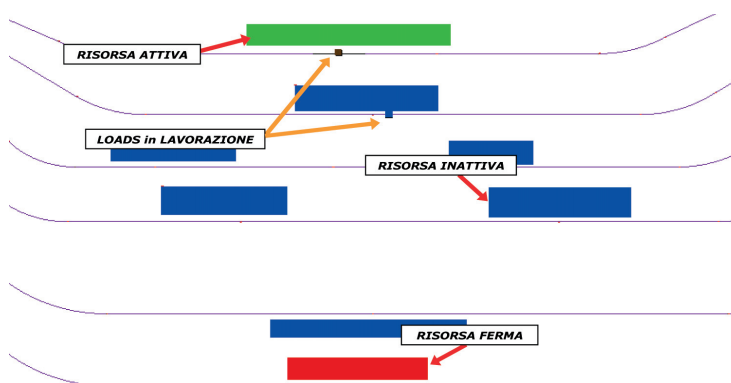


Fig. 5 - Stati possibili per le risorse. *Possible status of the resources*

The *Automod* software can represent the typical variability of the actual processes; this enables to associate the most appropriate probability distribution to the listed lengths.

As stated in the queuing theory, the description which best describes the service time of the resources is the exponential distribution, which was therefore mated to the maintenance operations relevant to each resource.

In base alla suddetta scala temporale, sono stati espressi: la durata degli interventi di ripristino e gli intervalli di tempo che intercorrono tra le fermate per la manutenzione.

Come enunciato dalla teoria delle code, la distribuzione che meglio descrive il tempo di servizio delle risorse è la distribuzione esponenziale, che è stata perciò abbinata alle operazioni di manutenzione relative a ciascuna risorsa.

Therefore, the reality to be simulated and the parameters relevant to the different *Automod* subjects are related and interact thanks to the programming logic contained in the source file. Like in many other programming languages, the source file may include *if* and/or *while* cycles, as well as other specific instructions of the *Automod* language, such as *use*, *move into*, *travel to*.

One of the objectives in the design of the maintenance system was preventing the generation of queues due to bottlenecks formed because of the undersizing of some processes. Furthermore, we had to apply the *fail-safe* concept to the most critical (i.e. most frequent) operations, planning – in case of *down-time* – the use of a replacement equipment or – at least – of a degraded operational mode. Nevertheless, economic reasons recommend not having parallel equipment to be utilized in case the main equipment is not available. Subsequently, the operation in degraded mode should be arranged in order to exclude the buffering of the essential activities of the system under any operational conditions.

There are two critical conditions which may interrupt any process of the system, namely:

- maximum downtime;
- maximum frequency of arrivals.

A scenario analysis highlighting the criticalities of every resource can be run by changing the values of these

grammazione, il file sorgente (*source file*) può includere cicli *if*, *while* ed altre istruzioni specifiche del linguaggio Automod, come *use*, *move into*, *travel to*.

Uno degli obiettivi della progettazione dell'impianto di manutenzione era evitare la formazione di code dovute a colli di bottiglia formati per il sottodimensionamento di qualche processo. Occorreva, inoltre, applicare il concetto *fail-safe* alle operazioni più critiche (ovvero quelle più frequenti), prevedendo in caso di *down-time* l'utilizzo di un'attrezzatura sostitutiva o almeno il ricorso ad una condizione di funzionamento degradata. Spesso, tuttavia, ragioni economiche suggeriscono di non avere attrezzature in parallelo da utilizzare in caso di indisponibilità della macchina principale. Pertanto, è opportuno prevedere il funzionamento delle risorse in modalità degradata in modo da escludere in ogni condizione di funzionamento la *bufferizzazione* delle attività fondamentali per l'impianto.

Le condizioni che possono interrompere ciascun processo dell'impianto sono riassumibili in due situazioni critiche:

- tempo massimo di fermo (*downtime*);
- frequenza massima degli arrivi.

Cambiando il valore di queste due variabili, rispettivamente sulla distribuzione dei tempi di guasto e di servizio delle risorse e sulla distribuzione dei tempi di arrivo delle entità o carichi (*loads*), è possibile fare un'analisi di scenario che evidenzia le criticità di ogni risorsa.

Lo scenario base è definito dall'esercizio dei 25 convogli. Il programma di simulazione permette di analizzare l'evoluzione delle informazioni statistiche più significative attraverso la creazione di diagrammi definiti "*Business graphs*". Tali dati sono raccolti a partire dall'inizio della simulazione. Sono riportati i grafici relativi alle risorse presenti nello scenario base.

Sull'asse delle ascisse è riportato il tempo di simulazione (si ricorda che 1 h _{VIRTUALE} equivale a 150 g _{REALI}) mentre sull'asse delle ordinate sono indicate le entità o "*loads*" totali prese in carico e smaltite da ciascuna risorsa; tali *load* sono null'altro che una rappresentazione informatica o un modello che implica una o più attività da svolgere, quali la verniciatura, la pulizia, la sostituzione di un componente; un *load* comporterà di conseguenza un certo tempo, con relativa distribuzione, ed una serie di operazioni. Come da previsione, la risorsa maggiormente utilizzata per la manutenzione è la "*R_toilet_and_pantogr*", a causa della più alta frequenza degli arrivi richiesta per la pulizia e disinfezione delle toilette e per le verifiche o check-up sui pantografi (fig. 6).

two variables, respectively on the distribution of the failure and service time and on the distribution of the arrival time of the loads.

The basic scenario is defined by the service of the 25 trains. The simulation program enables to analyze the evolution of the most significant statistical information through the generation of "*Business graphs*". Such data are collected at the beginning of the simulation. The diagrams relevant to the resources present in the basic scenario are reported hereafter.

The X-axis reports the simulation time (we wish to remind that 1 h _{VIRTUAL} is equal to a 150 days _{ACTUAL}), whilst the Y-axis reports the total loads taken into charge and treated by every resource; such "*loads*" are nothing but a computerized representation or model involving one or more activities to be developed, such as painting, cleaning and replacement of a component. Consequently, a load will take some time – with relevant distribution – and a set of operations. As expected, the resource which is most widely used for maintenance is "*R_toilet_and_pantogr*", because of the highest frequency of requests concerning toilet cleaning and disinfection, as well as the check-up on the pantographs (fig. 6).

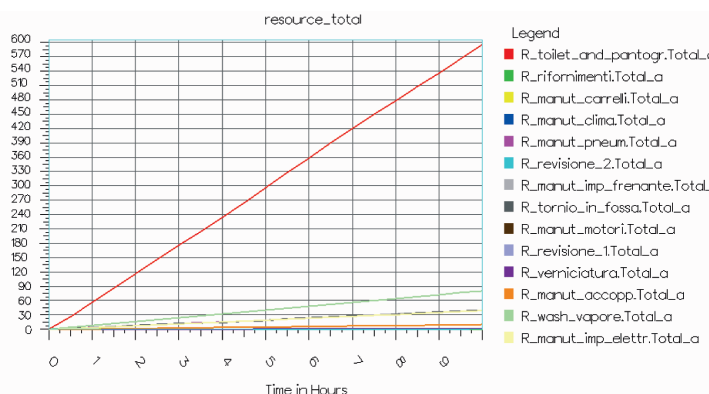


Fig. 6 – Carichi smaltiti dalle risorse. *Loads processed by resources: Business graph.*

The X-axis of the Business Graph reports the virtual time of the simulation, whilst the Y-axis represents the percentage of use of the resources relevant to the basic scenario. It may be noticed that no conditions of probable bottleneck generation are occurring, since the percentages of use remain rather low and confirm the deductions made on the basis of the *Resource Report* (fig. 7). The utilization of the system generally remains contained within few percentage units and this would mean obvious waste if it were exclusively destined to the simulated fleet: such perspective changes radically in favour of greater cost-effectiveness of the system if the structure is used not only for high-speed passenger trains and makes full use of its flexibility.

Nel *Business Graph* sull'asse x è riportato il tempo virtuale di simulazione, mentre sull'asse y viene rappresentata la percentuale di utilizzazione delle risorse relative allo scenario base. Si può notare che non si verificano situazioni di probabile formazione di colli di bottiglia, poiché le percentuali di utilizzazione rimangono sempre basse, a conferma delle deduzioni fatte in base al *Resource Report* (fig. 7). L'utilizzo dell'impianto rimane in genere contenuto entro poche unità percentuali, il che implicherebbe un evidente spreco se fosse destinato esclusivamente alla flotta simulata: molto cambia – a favore di una più equilibrata economia dell'impianto stesso – nel momento in cui la struttura sia utilizzata non solo per treni passeggeri ad alta velocità, avvalendosi della sua flessibilità.

La prima delle due condizioni critiche per la gestione del sistema individua lo scenario di massimo fermo o *downtime*, in cui si suppone che la disponibilità delle risorse peggiori drasticamente. Come già visto, esiste la possibilità in *Automod* di intervenire su valor medio e distribuzione sia del *MTTF* sia del *MTTR*.

Lo scenario è stato perciò costruito pensando di aumentare la frequenza di fermo o *downtime* di ciascuna risorsa ad un valore molto alto, pari al 75% del tempo d'impiego della risorsa funzionante, mantenendo lo stesso *MTTR* relativo allo scenario base. Si potrebbero in questo modo verificare inefficienze in grado di generare code sui binari. Per verificare le ipotesi su cui è costruito lo scenario, si procede con un'analisi dei report analoga a quella effettuata per lo scenario base.

Il grafico delle entità (*loads*) totali smaltite, relativo allo scenario di massimo *downtime* (fig. 8), non è mutato rispetto allo scenario base e ciò evidenzia come, nonostante l'indisponibilità delle risorse sia aumentata di un valore pari al 75% del proprio *process time*, il sistema riesca comunque a gestire lo stesso numero totale di entità (*loads*).

Tale comportamento è indice di una buona reazione dell'impianto ad un calo drastico della disponibilità delle proprie risorse.

Come prevedibile, la percentuale d'utilizzazione delle risorse relative allo scenario di massimo fer-

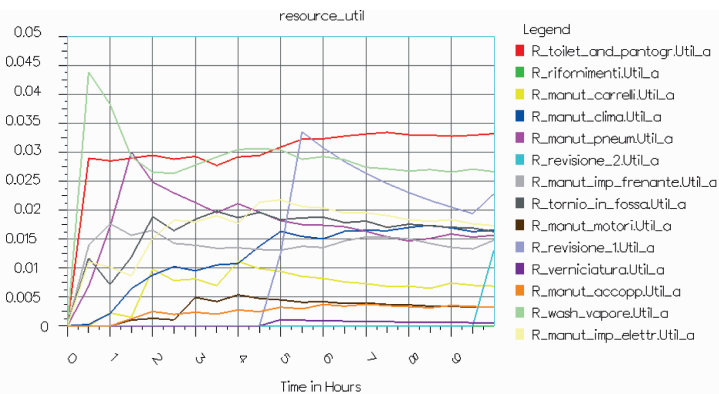


Fig. 7 – Utilizzo delle risorse. *Resources utilization: Business Graph.*

The first of the two critical conditions for the management of the system identifies the maximum downtime scenario, where it is assumed that the availability of the resources decreases drastically. As already pointed out, *Automod* enables to intervene on the average value and distribution of both *MTTF* and *MTTR*.

Therefore, the scenario was built to increase the downtime frequency of every resource to a very high value, i.e. 75% of the utilization time of the functioning resource, keeping the same *MTTR* of the basic scenario. This would enable to identify those inefficiencies which might generate queues on the tracks. A report analysis similar to the one of the basic scenario is then developed to verify such assumptions.

The diagram of the total loads processed relevant to the maximum downtime scenario (fig. 8), did not change versus the basic scenario and this highlights that – even though the non-availability of the resources has increased

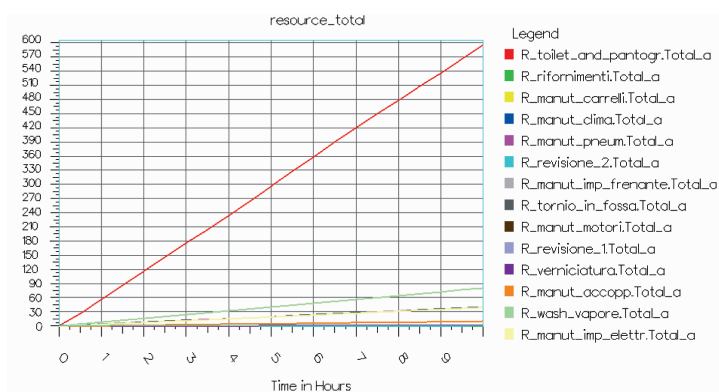


Fig. 8 – Entità smaltite dalle risorse ("Loads processed by Resources") nello scenario di massimo fermo o *downtime*. *Loads processed by Resources in the maximum downtime scenario.*

mo macchina (*downtime*) è scesa a causa di una più alta presenza di tempi di fermo (fig. 9).

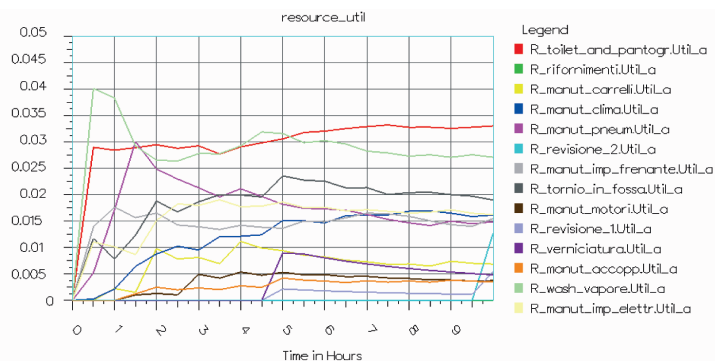


Fig. 9 – Utilizzo delle risorse (*Resources utilization*) nello scenario di massimo fermo (*downtime*). *Resources utilization in the maximum downtime scenario.*

La seconda delle condizioni critiche per la gestione del sistema individua lo scenario di massima frequenza degli arrivi, in cui si suppone che il tempo di generazione di due *load* successivi peggiori drasticamente. In particolare, si è pensato ad uno scenario in cui il tempo tra due successivi arrivi di ciascuna entità (*load*) fosse pari ad un terzo dello stesso tempo nello scenario base. Per verificare le ipotesi su cui è costruito lo scenario, si procede con un'analisi dei *report* analoga a quella effettuata per lo scenario base.

Il *Business Graph* relativo allo scenario di massima frequenza degli arrivi rivela subito un notevole aumento delle entità (*load*) smaltite (fig. 10), che passano da circa 600 a quasi 2000 per la risorsa che riceve più arrivi ("R_toilet_and_pantogr").

Le percentuali di utilizzazione aumentano di un ordine di grandezza, arrivando a percentuali del 10-13 % (fig. 11). Questo non comporta problemi ad eccezione della formazione di code in corrispondenza del binario 1, dove la riduzione di due terzi del tempo intercorso tra due successivi interventi alle toilette e pantografi determinerebbe pertanto l'introduzione di una risorsa parallela per raddoppiare la capacità e dimezzare il tempo di servizio o anche la possibilità di costruire un nuovo binario con le stesse funzioni del binario 1. A questo punto, la scelta sarebbe dettata da considerazioni economiche.

by 75% of its own process time – the system can in any case manage the same overall number of loads.

Such behaviour is an index of a good reaction of the system even in front of a dramatic decrease in the availability of its own resources.

As it could be expected, the percentage of use of the resources relevant to the maximum downtime scenario lowered as a result of a higher presence of downtime (fig. 9).

The second critical condition for the management of the system detects the scenario of greatest frequency of the arrivals, where the generation time of two successive loads is assumed to worsen drastically. In particular, we have assumed circumstances where the time between two subsequent arrivals of every load is one third of the same time in the basic scenario. In order to verify such conditions, a report analysis similar to the one developed for the basic scenario has been carried out.

The *Business Graph* relevant to the scenario with the highest frequency of arrivals immediately reveals a remarkable increase in the processed loads (fig. 10), which

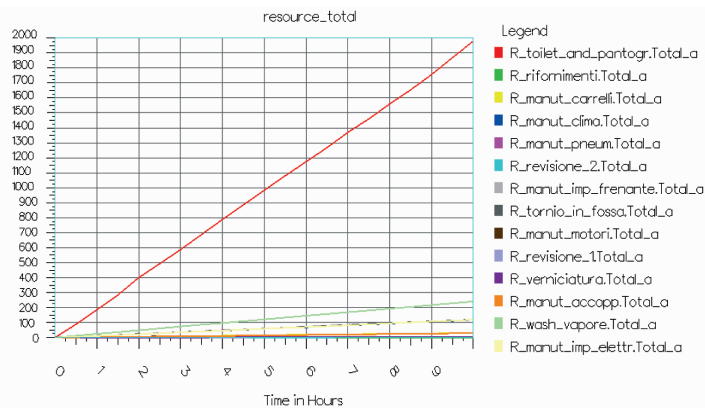


Fig. 10 – Entità smaltite dalle risorse ("*Loads processed by Resources*"), scenario di massima frequenza degli arrivi. *Loads processed by Resources, scenario with the maximum frequency of arrivals.*

pass from approximately 600 to almost 2,000 for the resource which received the highest amount of arrivals (i.e. "R_toilet_and_pantogr").

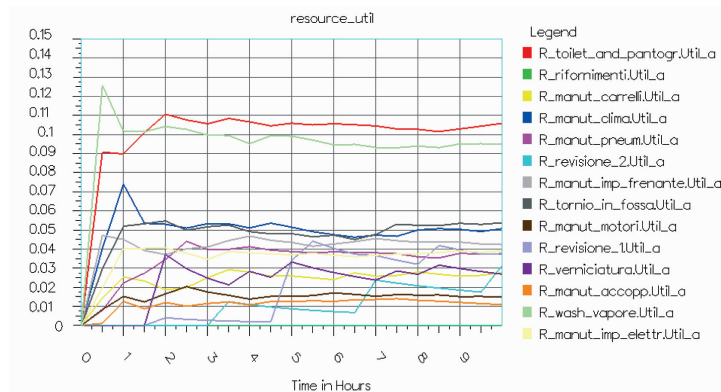


Fig. 11 – Utilizzo delle risorse ("Resources utilization") nello scenario di massima frequenza degli arrivi. *Resources utilization in the scenario with the highest frequency of arrivals.*

The percentages of utilization increase by an order of magnitude, reaching percentages of 10 to 13 % (fig. 11). This does not involve any difficulties except the generation of queues in correspondence to track 1, where the reduction by two thirds of the time between two subsequent interventions to the toilets and pantographs would therefore determine the introduction of a parallel resource to double the capacity and halve the service time. Otherwise, a new track might be built with the same functions of track 1: the choice is dictated by economic considerations.

6. La metodologia di manutenzione dei treni ICE

Un'applicazione già realizzata nei primi anni '80 dell'approccio totale alla manutenzione è ben rappresentata dai treni ad alta velocità delle Ferrovie Tedesche, gli ICE – *InterCityExpress* [11]. Infatti, caratteristica fondamentale di un sistema ad alta velocità è l'accurata manutenzione dei veicoli e dell'infrastruttura [12, 13, 14, 15].

Alcune iniziali intenzioni di adottare una strategia di interventi dedicati alle singole carrozze fu abbandonata a favore di un servizio integrato per l'intero convoglio. Questo aprì la strada ad una concezione innovativa che trovò realizzazione nell'impianto di *Hamburg-Eidelstedt* in Germania (fig. 12).

Inoltre, la possibilità d'usufruire della connessione a banda larga rese poi più semplice le operazioni di manutenzione, grazie al continuo monitoraggio in tempo reale, alla conoscenza di possibili difetti o rotture durante la corsa del veicolo e la successiva preparazione dell'impianto prima dell'arrivo del treno.

Tuttora l'impianto è uno stabilimento ancora altamente moderno, progettato esclusivamente per servire la flotta ICE riducendo i tempi di fermo officina, permettendo inoltre ai convogli di essere in servizio per 20 ore al giorno. Il perno dell'impianto è l'officina – lunga 430 m, larga 65 m, alta 13 m – dotata di 8 binari a 2.4 m di altezza dal piano di calpestio inferiore⁽²⁾. All'interno dell'officina, ogni

6. The maintenance concept of the ICE trains

An application of the total maintenance approach, which was already developed in the early nineteen eighties, is well represented by the high speed trains of the German Railways, the so-called ICE – *InterCityExpress* [11]. The essential feature of a high-speed system is the accurate maintenance of both the vehicles and the infrastructure [12, 13, 14, 15].

Some initial intentions of adopting a strategy of interventions dedicated to the single coaches were then abandoned in favour of an integrated service for the whole train. This paved the way to an innovative concept, which was then developed in the Hamburg-Eidelstedt plant installation in Germany (fig. 12).

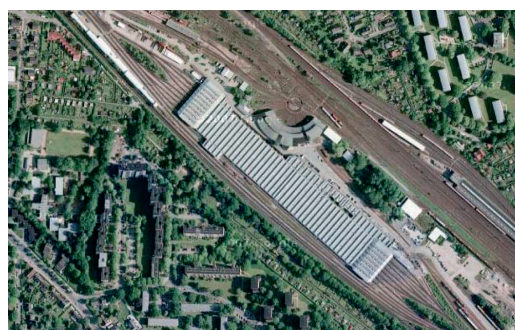


Fig. 12 - Eidelstedt Plant plan. *Eidelstedt Plant.*

⁽²⁾ Il piano di calpestio del piano inferiore è 2.4 m al di sotto del piano del ferro, cosicché le attrezzature su carrelli semoventi o su cuscino d'aria - quali elevatori cala-assi, cala-carrelli, ecc. - possano circolare indipendentemente in qualunque direzione, come emerge dalla fig. 13.

Furthermore, the opportunity of resorting to the wide-band communication simplified the maintenance operations, thanks to the continuous monitoring in real time as well as to the knowledge of any faults or breakages during

binario può garantire ogni tipo di riparazione ed operazione, grazie all'utilizzo di attrezzature semoventi per via elettro-pneumatica (veicoli *hovercraft*); torni ed impianto di verniciatura, nel caso specifico, sono all'esterno del fabbricato coperto, in apposite strutture.

La caratteristica più importante dell'impianto è l'esistenza di 3 livelli di lavoro (fig. 13), il più basso dei quali dedicato alla movimentazione delle attrezzature, con 56 sezioni di



Fig. 13 - Piattaforme elettro-pneumatiche in azione tra le rotaie sopraelevate. *Electro-pneumatic platforms in action between the overhead rails.*

In un edificio adiacente, lungo 250 m, vengono immagazzinati attrezzi, materiali e componenti di ricambio, uffici per 600 lavoratori. Un altro edificio di 210 m permette di effettuare le misure automatiche e il lavaggio dei convogli, comprensivo di impianto per il riciclo del 70% dell'acqua [6].

Il programma di manutenzione dell'impianto di *Hamburg-Eidesteld* è strutturato come segue:

1. ogni circa 4'000 km ha luogo un'ispezione di 1 1/2 h, in cui vengono rabboccati i serbatoi d'acqua, svuotati i cestini per la spazzatura, effettuata una serie di test per la sicurezza – come testare la pressione esercitata dai pantografi, lo stato dei trasformatori, lo stato delle ruote;
2. ogni circa 20'000 km ha luogo un'ispezione di 2 1/2 h, chiamata *Nachschau*, in cui vengono controllati principalmente i freni e i loro sistemi anti bloccaggio;
3. ogni circa 80'000 km il treno viene ispezionato in due moduli, ognuno di 8 h di lunghezza, nei quali i freni vengono completamente revisionati, così come l'impianto di climatizzazione e il reparto cucina/ristorante. Vengono controllate le batterie, i sedili e sistemi informatici destinati ai passeggeri;
4. ogni circa 240'000 km il convoglio subisce un check-up completo dei motori elettrici, dei cuscinetti, degli assi delle ruote e degli accoppiatori;

the travel of the vehicle and subsequent setting of the system before the arrival of the train.

The plant installation is still today a highly modern system, exclusively designed to serve the ICE fleet with a reduction of the downtime, enabling – furthermore – the vehicles to be in service 20 hours a day. The core of the system is the workshop, which is 430 m long, 65 m wide and 13 m high and provided with 8 tracks at a height of 2.4 m from the lowest floor surface⁽²⁾. Inside the workshop, every track can guarantee any type of repair and operation, thanks to the use of electro-pneumatic self-propelled equipment (*hovercraft* vehicles). In this specific case, the lathe mills and paint system are located outside the covered building, in purposely-allocated structures.

The most important feature of the system is the presence of 3 work levels (fig. 13), the lowest one of which is dedicated to the handling of the equipment, with 56 removable track sections to facilitate the repair of wheels and axles. The second level is allocated to the maintenance of coaches and interior. The third level is used for the inspection of the vehicle roofs. The structure includes cranes and bridge-cranes for the lifting of coaches and motors and the transfer to other specialized plants by freight wagon. An adjacent building, of a length of 250 m, is allocated to the storage of tools, materials and spare parts, as well as to offices for 600 employees. Another 210 m building enables to carry out the automatic measures and the washing of the trains, and also includes a system to recycle 70% of the water [6].

The maintenance program of the *Hamburg-Eidesteld* plant is structured as follows:

1. a 1 1/2 h inspection is carried out every 4,000 km approx.: the water tanks are topped up, the garbage bins are emptied and a series of safety tests is performed – such as the test on the pressure exerted by the pantographs; the status of both the transformers and wheels is checked;
2. a 1 1/2 inspection – called *Nachschau* – is performed every 20,000 km approximately to mainly check the brakes and their anti-blocking system;
3. every 80,000 km approximately, the train is inspected in two modules of 8 hours each, where the brakes are fully overhauled, as well as the air-conditioning system and the kitchen/restaurant department. The batteries, seats and passenger safety systems are checked;
4. every approximately 240,000 km, the train is submitted to a complete check-up of the motors, bearings, wheel axles and couplers;
5. approximately once a year, i.e. every approximately 480,000 km, the pneumatic systems and the cooling systems of the transformers are checked up in addition to the actions performed every 240,000 km in 3 shifts of 8 hours each;

⁽²⁾ The lowest floor surface is 2.4 meters below the top of rail, so that equipment on self-propelled bogies or on air cushion, such as axles-elevators or bogies-elevators, etc. - can circulate independently on any direction, as shown in fig. 13.

5. circa una volta all'anno, ogni circa 480'000 km, in treni da 8 ore si aggiungono agli interventi dei 240'000 km i check-up agli impianti pneumatici e agli impianti di raffreddamento dei trasformatori;

6. la prima revisione completa si ha dopo circa 1.2 milioni di km e include un check-up completo di tutti i componenti del treno, protrandosi in 2 segmenti di 5 giorni l'uno;

7. il passo finale si ha con la seconda revisione, a circa 2.4 milioni di km. I carrelli vengono sostituiti e molte componenti del treno sono smontate e verificate in due lassi di tempo di 5 giorni ciascuno.

7. Conclusioni

Dall'analisi del nuovo approccio alla manutenzione, risulta evidente come la progettazione congiunta tra lo sviluppo del materiale rotabile e dell'impianto per la manutenzione (*maintenance plant*) dia valore aggiunto alla realizzazione e gestione dell'intero sistema di trasporto. Infatti, in questo modo si controllano fin dall'inizio del ciclo di vita (*life cycle*) la casualità delle variabili che determinano l'insorgere dei guasti. Pertanto, l'impianto adibito al controllo, all'individuazione e alla risoluzione dei guasti stessi (*failure*) viene dimensionato non più a valle di una serie di fasi progettuali e realizzative consequenziali, ma si integra ad ogni livello con la realizzazione del veicolo.

La tendenza progettuale che si delinea per il futuro sposta nella *progettazione* e *sperimentazione* virtuale il processo di *co-engineering* di veicoli ed attrezzature. Come sottolineato nell'articolo, i software per la simulazione di problemi di code e per la creazione di modelli statistici della variabilità dei guasti permettono di gestire processi e procedure a calcolo nonché implementare strategie di controllo e di miglioramento da applicare in fase di prototipazione dei veicoli e di avvio o *start up* degli impianti.

L'accelerazione, soprattutto nel continente europeo, nella pianificazione e realizzazione del trasporto ferroviario ad alta velocità darà presumibilmente impulso alla diffusione di questo nuovo modo di concepire il sistema di trasporto ferroviario.

Ringraziamenti

Si ringrazia l'Ing. Marco GALFRÉ, consigliere del CIFI, Sezione di Torino, per il supporto nella redazione dello studio dal quale è derivato questo articolo. Si ringraziano l'Ing. Torsten KWAUKA ed il Dott. Bernd BREDOW dell'impianto di Eidelstedt ad Amburgo per la gentile accoglienza nel periodo di permanenza presso l'impianto medesimo.

6. the first complete overhaul is performed after approximately 1.2 million km and includes a complete check-up of all the train components. Such activity is taking 2 segments of 5 days each;

7. the final step is the second overhaul, after approximately 2.4 million km. The bogies are replaced and many components of the train are dismantled and checked in two time lapses of 5 days each.

7. Conclusions

The analysis of the new approach to maintenance clearly shows that the joint design of the rolling stock and maintenance plant installation provides added value to the development and management of the transport system, since it enables to control the randomness of the variables which determine the generation of failures from the very beginning of the life cycle. Therefore, the system allocated to the control, identification and resolution of the failures is no longer sized downstream a series of consequential design and implementation stages, but it integrates at every level into the development of the vehicle.

The design trend which outlines for the future is leading the *co-engineering* process into the *design* and *virtual experimentation* of vehicles and equipment. As underlined in the article, the software for the simulation of queuing issues and for the generation of statistic models of the failure variability enables to manage processes and calculation procedures, as well as to implement control and improvement strategies to be applied when the prototype vehicles are built or at the start-up of the systems.

Most likely, the acceleration – mainly in Europe – in the planning and development of high-speed rail transport will boost this new way of conceiving the railway transport system.

Acknowledgments

The authors would like to thank Dr. Eng. Marco Galfré, member of the council of the Italian College of Railway Engineers (CIFI) in the section of Turin, for his support in drafting the study from which this study was derived. We also thank Dr. Eng. Torstein KWAUKA and Dr. Bernd BREDOW of the Eidelstedt plant installation in Hamburg for their kind reception during the period of internship at the aforementioned plant.

BIBLIOGRAFIA - REFERENCES

- [1] G. VICUNA, "Organizzazione e tecnica ferroviaria", C.I.F.I., 1976.
- [2] F. BARSOTTI, "La verifica del materiale rotabile", La tecnica professionale, 2006.

OSSERVATORIO

- [3] M. ROSSETTO, "Dispense dal corso «Sperimentazione e Affidabilità delle Costruzioni Meccaniche»", Corso di Laurea Magistrale in Ing. Meccanica, Politecnico di Torino, 2007.
- [4] S. FARNÈ, "Dispense dal corso «Qualità e Misure»", Corso di Laurea in Ing. dell'Autoveicolo, Politecnico di Torino, 2004.
- [5] G. BONORA, C. FOCACCI, "Funzionalità e Progettazione degli Impianti Ferroviari", C.I.F.I., 2002.
- [6] M. ACKERMANN, K. BECKER-LINDHORST, W. LÖBEL, "State-of-the-Art ICE Workshop", International Railway Journal, 1991.
- [7] D. GROSS, C.M. HARRIS, "Fundamentals of Queueing Theory", Wiley, 1998.
- [8] A.P. BASU, S.E. RIGDON, "Statistical methods for the reliability of repairable systems", John Wiley & Sons, 2000.
- [9] J. BANKS, "Getting started with Automod", 2nd Ed., Brooks Automation Inc., 2004.
- [10] W.D. KELTON, R.P. SADOWSKI, "Simulation with Arena", 2nd Ed., McGraw-Hill Series in Industrial Engineering and Management Science, 2002.
- [11] H. HOCHBRUCK, F.W. MÖLLER, T. RAHN, "ICE: High-tech on rails", Hestra-Verlag, 1993.
- [12] T. LEICHNITZ, M. WOLFARD, "Construction of high-speed railway lines in the Federal Republic of Germany", Railway Technical Review, 1988.
- [13] B.D. SANDS, "InterCity Express: A Technical and Commercial Assessment", U.C. Transportation Center, 1992.
- [14] H. KURZ, "Power Collection Showcase", International Railway Journal, 1990.
- [15] A. MONTE, "Elementi di impianti industriali", Volumi 1 e 2, 2009, Ed. Cortina, Torino.

PUBBLICAZIONI CIFI

L'ALTA VELOCITA' FERROVIARIA

Il CIFI ha pubblicato L'ALTA VELOCITÀ FERROVIARIA. Il nuovo volume rappresenta un riferimento unico ed originale della storia e della evoluzione dell'Alta Velocità in Italia, dalle prime direttissime, alla Firenze-Roma, alle nuove linee AV-AC di recente entrate in servizio. Un immancabile "compagno" della *Storia e Tecnica Ferroviaria* già edita dal CIFI e un testo indispensabile per tutti i cultori, studiosi e appassionati del modo delle ferrovie. Una strenna ideale per ... se stessi, oltre che per amici personali, clienti e dipendenti delle aziende. Volume in pregiata edizione, cartonato, formato A4, pagine 208 a colori ampiamente illustrate.

INDICE

- Ricerca e sviluppo della Velocità ferroviaria
- Le caratteristiche tecniche dell'AV
- Linee AV nel mondo
- Le Direttissime in Italia
- Nasce l'Alta Velocità-Alta Capacità
- Le Nuove Linee
- Milano-Bologna e Bologna-Firenze
- Nuove linee sui valichi alpini

Prezzo del volume € 40,00 (per i Soci CIFI € 32,00), acquistabile alle normali condizioni del Collegio Ingegneri Ferroviari Italiani.

