



Sfruttare le tecnologie emergenti: un'analisi approfondita della nuova era della rincalzatura del binario

Leveraging emerging technologies: an in-depth analysis of the new era of track tamping

Bernhard LICHTBERGER ^(*)
Werner MOLING ^(**)

(<https://www.medra.org/servlet/view?lang=it&doi=10.57597/IF.09.2024.ART.2>)

Come la digitalizzazione sta trasformando radicalmente la manutenzione ferroviaria
How digitalisation is radically transforming railway maintenance

Sommario - La rincalzatura del binario è un intervento essenziale per la manutenzione della rete ferroviaria, garantendo sicurezza, efficienza e comfort nel trasporto su rotaia. Tradizionalmente effettuato con macchine operatrici che utilizzano moto di vibrazione e compressione [1], il processo di compattazione del ballast preserva l'integrità strutturale e la funzionalità dell'infrastruttura ferroviaria. Le metodologie convenzionali, basate su sistemi meccanici con alberi eccentrici, affrontano oggi sfide legate all'evoluzione delle esigenze operative, alla sostenibilità e alla digitalizzazione dei processi. Tra le principali sfide vi sono la necessità di una compattazione omogenea e ottimale, la gestione dell'usura dei componenti e l'ergonomia per il personale operativo. Con l'espansione dell'infrastruttura ferroviaria e l'incremento delle esigenze funzionali e ambientali, si presentano nuove problematiche, tra cui difficoltà di sincronizzazione dovute ai sistemi di misurazione analogici, emissioni rumorose e inquinanti, e dispersione di polveri nocive. La tecnologia ferroviaria si sta trasformando con l'integrazione di sistemi digitali, telecamere avanzate, unità di misura inerziali e tecniche di machine learning e intelligenza artificiale, migliorando la precisione e l'efficienza e favorendo la manutenzione predittiva. Queste innovazioni, basate su tecnologie chiave abilitanti (KET) [11], accelerano la transizione verso un'infrastruttura ferroviaria più avanzata e sostenibile.

1. Soluzioni tecniche delle rincalzatrici convenzionali e stato dell'arte

Le rincalzatrici convenzionali attualmente in esercizio, operano generando [...] l'azione vibrante tramite alberi eccentrici che sviluppano una frequenza di rincalzatura

Summary - The track tamping is an essential intervention for the maintenance of the railway network, ensuring safety, efficiency and comfort in rail transport. Traditionally carried out with operating machines that use vibration and compression motion [1], the ballast compaction process preserves the structural integrity and functionality of the railway infrastructure. Conventional methodologies, based on mechanical systems with eccentric shafts, today face challenges related to the evolution of operational needs, sustainability and digitisation of processes. The need for homogeneous and optimal compaction, component wear management and ergonomics for operating personnel are among the main challenges. New problems arise with the expansion of railway infrastructure and the increase in functional and environmental needs, including synchronisation difficulties due to analogue measurement systems, noise and pollutant emissions, and the dispersion of harmful dust. Railway technology is changing with the integration of digital systems, advanced cameras, inertial measurement units and machine learning and artificial intelligence techniques, improving accuracy and efficiency and promoting predictive maintenance. Based on key enabling technologies (KETs) [11], these innovations, accelerate the transition to a more advanced and sustainable railway infrastructure.

1. Technical solutions of conventional tamping machines and state of the art

Conventional tamping machines actually in service, operate by generating [...] the vibrating action through eccentric shafts that develop a tamping frequency proportional to the number of revolutions of the drive motors. The oscillations are known to have an amplitude of 10-11 mm with a cycle

^(*) Direttore Tecnico System7 rail GmbH, bernhard.lichtberger@s7-rail.com.

^(**) Direttore Tecnico m2 Railgroup S.r.l., w.moling@m2railgroup.com.

^(*) Technical Director System7 rail GmbH, bernhard.lichtberger@s7-rail.com.

^(**) Technical Director m2 Railgroup S.r.l., w.moling@m2railgroup.com.

proporzionale al numero di giri dei motori degli azionamenti. Le oscillazioni hanno un'ampiezza notoriamente di 10-11 mm con una frequenza di cicli pari a 35,5-36 HZ [1]. Questo sistema produce una vibrazione lineare ad ampiezza costante, tipicamente di circa 35 Hz, trasferita alle batte di rinalzatura attraverso un punto rotatorio fisso. L'ampiezza di compattazione, intesa come l'ampiezza del movimento laterale o verticale dei martelli vibranti che compattano il ballast intorno alle traverse, risulta fissa e dipende dall'eccentricità meccanica dell'azionamento. Lo stringimento avviene secondo tempi prestabiliti e i parametri di rinalzatura, quali durezza della massicciata e forza/tempo di stringimento, vengono impostati soggettivamente dall'operatore. Inoltre, un volano funge da accumulatore di energia e stabilizza la velocità, mentre il movimento di stringimento rimane sempre lineare. Ciò significa che l'ampiezza della vibrazione è indipendente dal grado di compattazione o dalla resistenza esercitata dalla massicciata e i grandi picchi di potenza possono essere distribuiti per un breve periodo di tempo accumulando l'energia rotazionale. Il grado di compattazione della massicciata, in maniera più specifica, è definito in base alla durezza del pietrisco e, di conseguenza, dallo stato di compattazione del pietrisco.

I dispositivi di comando e misurazione sono costituiti da due funi d'acciaio, per il livello longitudinale, e da una fune d'acciaio centrale per la linea (freccia), limitando gli spazi di costruzione della rinalzatrice (Fig. 1). I valori di misura vengono rilevati mediante trascinatori collegati a trasduttori elettrici che rilevano la posizione delle funi. Le forze applicate alle funi ne determinano la tensione, esse vibrano e si rompono quando vengono sollecitate eccessivamente. Le funi d'acciaio acquisiscono la geometria del binario secondo la seguente formula:

$$f = \frac{a \cdot b}{2 \cdot R}$$

dove a e b corrispondono alle sezioni della corda, R è il raggio e f è la freccia per l'allineamento longitudinale. Questo campionamento porta ad una funzione di trasferimento che dipende dalla lunghezza d'onda del difetto secondo fase e amplificazione.

L'inclinazione trasversale (sopraelevazione) è registrata da pendoli fisici, che devono essere calibrati e mantenuti regolarmente. Le vibrazioni hanno un effetto dannoso sulla precisione dei pendoli, così come nel percorrere tratti in curva, dove gli errori di rilievo, causati dall'accelerazione centrifuga, dipendono dalla velocità e dal raggio della curva stessa. Le corse di misurazione sono quindi limitate a velocità di < 5 km/h.

Il progresso tecnologico ha condotto all'implementazione di soluzioni innovative volte ad affrontare le sfide precedentemente menzionate, manifestandosi in un significativo avanzamento della tecnologia finora disponibile. Tale avanzamento è riflesso nel passaggio da un azionamento di rinalzatura meccanico a uno esclusivamente idraulico. Un sistema idraulico consente di ridurre significativamente la dipendenza da componenti soggetti

frequency of 35.5-36 HZ [1]. This system produces a linear vibration of constant amplitude, typically about 35 Hz, transferred to the tamping picks through a fixed rotating point. The compaction amplitude, understood as the amplitude of the lateral or vertical movement of the vibrating hammers that compact the ballast around the sleepers, is fixed and dependent on the mechanical eccentricity of the drive. The tightening takes place according to pre-established times and the tamping parameters, such as hardness of the ballast and force/tightening time, are set subjectively by the operator. In addition, a flywheel acts as an energy accumulator and stabilises the speed, while the tightening movement always remains linear. This means that the amplitude of the vibration is independent of the degree of compaction, or the resistance exerted by the ballast and the large power peaks can be distributed for a short period of time accumulating the rotational energy. The degree of compaction of the ballast, more specifically, is defined on the basis of the hardness of the ballast and, consequently, the state of compaction of the ballast.

The command and measuring devices consist of two steel cables, for the longitudinal level, and a central steel cable for the line (versed sine), limiting the construction spaces of the tamping machine (Fig. 1). The measurement values are detected by means of drivers connected to electrical transducers that detect the position of the cables. The forces applied to the cables determine their tension, they vibrate and break when they are stressed excessively. Steel cables acquire the geometry of the track according to the following formula:

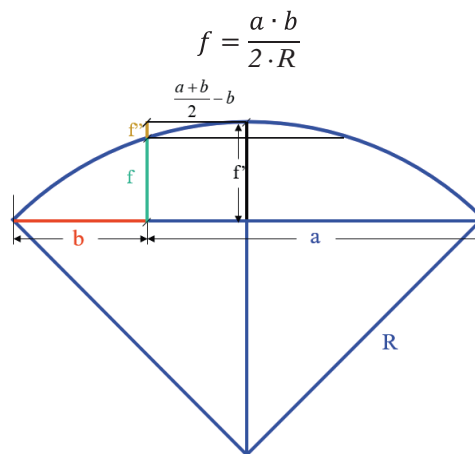


Figura 1 – Esempio misura di freccia su corda asimmetrica
Figure 1 – Example of versed sine measurement on asymmetric chord.

where a and b correspond to the sections of the chord, R is the radius and f is the versed sine for longitudinal alignment. This sampling leads to a transfer function that depends on the defect wavelength according to phase and amplification.

The transverse inclination (superelevation) is recorded by physical pendulums, which must be calibrated and maintained regularly. The vibrations have a detrimental effect

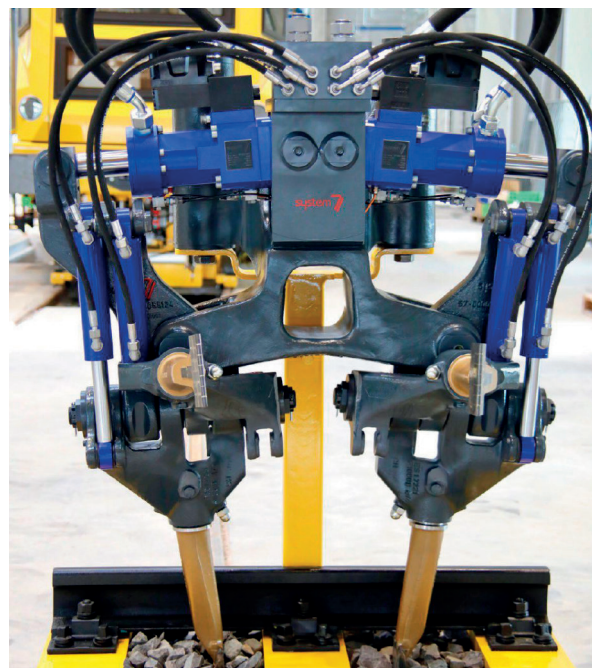
a usura, come alberi eccentrici, cuscinetti volventi, bielle, volani e motori di azionamento. Questa innovazione non solo prolunga la durata delle unità di rincalzatura, ma allo stesso tempo riduce anche i costi di manutenzione e i costi complessivi del ciclo di vita come dimostrano gli studi condotti da Colas Rail e Network Rail.

La caratteristica distintiva dell'azionamento idraulico (Fig. 2) risiede nella regolazione elettronica di una valvola ad alte prestazioni per generare le vibrazioni necessarie alla compattazione e controllare la corsa di stringimento. L'ampiezza di rincalzatura e la frequenza di compattazione sono liberamente regolabili e con l'utilizzo di pressostati e sensori di spostamento integrati nell'azionamento (cilindro di stringimento), l'andamento e l'entità della forza di compattazione vengono continuamente rielaborati fornendo i relativi report e specifiche dei dati raccolti. L'unità di rincalzatura diventa così un dispositivo di misura che registra le proprietà della massicciata, determinando automaticamente la compattazione ottimale in base all'andamento della forza di stringimento. La situazione ottimale viene raggiunta quando la compattazione della massicciata è tale da spingere il pietrisco a fluire verso le estremità delle traverse. L'andamento della forza di compattazione fornisce informazioni sulla durezza, la compattezza, la rigidità e il fattore di attenuazione della massicciata. Durante il processo di rincalzatura gli aggregati vibrano solamente durante la fase di penetrazione nella massicciata e durante il processo di stringimento/compattazione. Una volta raggiunta la compattazione ottimale, la vibrazione viene disattivata su ciascun azionamento, lasciandolo in posizione di mantenimento. Solo quando tutti gli azionamenti hanno raggiunto la compattazione ottimale, i martelli si aprono e l'aggregato si solleva (rientro in posizione alta). Questo approccio riduce significativamente i livelli di rumore [3], l'emissione di polveri [7] e comporta un minor consumo di energia, riducendo le emissioni di CO₂ del 35% rispetto ai sistemi di rincalzatura tradizionali [12]. I tempi usuali di stringimento per raggiungere una compattazione ottimale sono distribuiti statisticamente intorno a 0,7 - 0,8 secondi, rappresentando l'intervallo in cui si ottiene, statisticamente, la migliore compattazione. Attraverso l'impiego di sensori e controlli elettronici, un aggregato di rincalzatura diventa interconnesso e sincronizzato per un monitoraggio costante (monitoraggio in continuo effettuato dai programmi di gestione della macchina) e rendendo disponibili tutte le informazioni anche per l'accesso da remoto. Ciò consente l'implementazione di una modalità automatica di rincalzatura che, senza richiedere intervento umano diretto, determina il tempo di stringimento ottimale, controllando singolarmente e indipendentemente ogni azionamento. La modalità automatica produce coni di compattazione più ampi e ottimali sotto la traversa, estendendo del 30% la durata media tra una rincalzatura e l'altra rispetto agli azionamenti eccentrici convenzionali. Studi condotti da Network Rail nel Regno Unito hanno dimostrato una diminuzione del 50% nel tasso di deterioramento dei binari nelle sezioni lavorate in modalità automatica [4][6]

on the accuracy of the pendulums, as well as in cornering, where the land survey errors, caused by centrifugal acceleration, depend on the speed and radius of the curve itself. The measurement runs are therefore limited to speeds of < 5 km/h.

Technological progress has led to the implementation of innovative solutions aimed at addressing the aforementioned challenges, manifesting itself in a significant progress of the technology available so far. This progress is reflected in the transition from a mechanical to an exclusively hydraulic tamping drive. A hydraulic system allows to significantly reduce the dependence on components subject to wear, such as eccentric shafts, rolling bearings, connecting rods, flywheels and drive motors. This innovation not only prolongs the life of the tamping units, but at the same time also reduces maintenance costs and overall life cycle costs as shown by the studies conducted by Colas Rail and Network Rail.

The distinguishing feature of the hydraulic drive (Fig. 2) lies in the electronic adjustment of a high-performance valve to generate the vibrations necessary for compaction and to control the tightening stroke. The tamping amplitude and compaction frequency are freely adjustable and with the use of pressure switches and displacement sensors integrated into the drive (auxiliary cylinder), the trend and magnitude of the compaction force are continuously reworked by providing the relevant reports and specifications of the data collected. The tamping unit thus becomes a measuring device that records the properties of the ballast, automatically



(Fonte - Source: System7 rail GmbH)

Figura 2 – Aggregato di rincalzatura ad azionamento idraulico.

Figure 2 – Hydraulically operated tamping unit.

[9] (50% delle tratte lavorate ha registrato una riduzione del deterioramento). Il controllo elettronico delle singole unità di rinalzata consente così un perfetto sincronismo, ottimizzando la qualità del lavoro di rinalzata e prevenendo in gran parte la generazione di vibrazioni indesiderate.

Anche nei sistemi di misura, le tecnologie attualmente utilizzate si differenziano notevolmente dai metodi e dagli approcci tradizionali che si basano sull'impiego di funi d'acciaio. Una delle tecnologie attuali più innovative consiste nell'utilizzo di telecamere digitali ad alta risoluzione per il riconoscimento delle immagini e unità trasmissive a LED posizionate su carrelli esterni. A differenza delle soluzioni convenzionali, l'approccio adottato si basa su un sistema di rilievo ottico avanzato. Gli elementi del sistema di misura sono disposti lungo un asse ottico e i trasmettitori a LED emettono una modulazione luminosa di elevata intensità al fine di minimizzare l'interferenza della luce solare. Il sistema adotta tecnologie di identificazione delle immagini, come l'intelligenza artificiale e tecniche associate di *deep learning* per rilevare i motivi luminosi emessi dai trasmettitori elaborandoli in base agli standard di riferimento oltre che ad elaborare risposte rapide e affidabili circa lo stato della lavorazione. L'eventuale presenza o accumulo di polveri derivate dalle lavorazioni o dallo stazionamento non interferisce con il funzionamento delle strumentazioni di rilievo a parte in casi di contaminazione molto elevata. Il sistema è stato progettato con una tolleranza ai guasti e una funzione di autocontrollo, consentendo la misurazione simultanea del livello longitudinale, trasversale e dell'allineamento su tutti e tre i punti di misura in corrispondenza del carrello di misura anteriore, centrale e posteriore. Il sistema offre un alto grado di affidabilità in quanto controlla costantemente le proprie prestazioni e invia un allarme all'operatore se si verifica un errore o un malfunzionamento. L'IMU, acronimo di "*Inertial Measurement Unit*" (Unità di Misura Inerziale), rappresenta una caratteristica distintiva di questo sistema. Oltre a scandire il livello longitudinale delle rotaie, l'allineamento e il livello trasversale (cinque gradi di libertà), questa unità offre un livello di precisione senza precedenti. Il sistema di misurazione inerziale, che non utilizza pendoli per misurare la sopraelevazione, è insensibile a urti, accelerazioni e vibrazioni e ha poche o nessuna parte mobile in base all'allestimento utilizzato.

Con questo sistema, la misurazione della sopraelevazione è estremamente precisa e accurata e indipendente dalle vibrazioni causate dalla rinalzata. La precisione di registrazione è nell'ordine dei centesimi di millimetro, il che consente di calcolare con grande precisione gli errori di posizione del binario.

2. Universal Tamper 4.0 e relative tecnologie

Le tecnologie precedentemente delineate trovano applicazione nel robot di rinalzata Universal Tamper 4.0 della società austriaca System 7 rail GmbH. La progetta-

determining the optimal compaction based on the trend of the tightening force. The optimal situation is reached when the compaction of the ballast is such as to push the ballast to flow towards the ends of the sleepers. The compaction force trend provides information on the hardness, compactness, rigidity and attenuation factor of the ballast. During the tamping process the units vibrate only during the penetration phase into the ballast and during the tightening/compacting process. Once the optimal compaction is reached, the vibration is deactivated on each drive, leaving it in the holding position. Only when all the drives have reached optimal compaction, the tamping picks open and the unit rises (return to the high position). This approach significantly reduces noise levels [3], dust emission [7] and results in lower energy consumption, reducing CO₂ emissions by 35% compared to traditional tamping systems [12]. The usual tightening times to achieve optimal compaction are statistically distributed around 0.7 - 0.8 seconds, representing the interval in which the best compaction is obtained, statistically. Through the use of sensors and electronic controls, a tamping unit becomes interconnected and synchronised for constant monitoring (continuous monitoring carried out by the machine management programmes) and making all information available also for remote access. This allows the implementation of an automatic tamping mode that, without requiring direct human intervention, determines the optimal tightening time, individually and independently controlling each drive. The automatic mode produces broader and more optimal compaction cones under the sleeper, extending the average life between one tamping and the other by 30% compared to conventional eccentric drives. Studies conducted in the UK by Network Rail have shown a 50% decrease in the deterioration rate of the tracks in the sections worked in automatic mode [4][6][9] (50% of the sections worked recorded a reduction in deterioration). The electronic control of the individual tamping units thus allows perfect synchronism, optimising the quality of the tamping work and largely preventing the generation of unwanted vibrations.

Even in measurement systems, the technologies currently used differ considerably from traditional methods and approaches that are based on the use of steel cables. One of the most innovative technologies today is the use of high-resolution digital cameras for image recognition and LED transmission units placed on external trolleys. Unlike conventional solutions, the approach adopted is based on an advanced optical surveying system. The elements of the measuring system are arranged along an optical axis and the led transmitters emit a high intensity light modulation in order to minimise the interference of sunlight. The system adopts image identification technologies, such as artificial intelligence and associated deep learning techniques to detect the light patterns emitted by the transmitters, processing them according to the reference standards, as well as processing quick and reliable responses concerning the processing status. The possible presence or accumulation of dust derived from processing or parking does not interfere with the operation of the relevant equipment, except for very high contamination cases. The system has been designed with

zione e la costruzione di questo robot sono state guidate dai principi di affidabilità, disponibilità, manutenibilità e sicurezza (criteri RAMS), che hanno determinato la scelta delle soluzioni tecniche e dei componenti utilizzati. Tale approccio ha automaticamente contribuito a ridurre i costi del ciclo di vita (LLC¹) associati. In particolare, il sistema di rinalzata completamente idraulico rappresenta un'innovazione significativa nel settore, in quanto elimina la presenza di masse rotanti soggette ad usura. La semplificazione del sistema di rinalzata ha portato a una significativa riduzione dei costi del ciclo di vita, quantificata fino a circa il 50% in meno rispetto agli azionamenti eccentrici convenzionali [9].

Un aspetto chiave del sistema idraulico è la sua capacità di rilevare e analizzare le proprietà della massicciata durante l'operazione di rinalzata, tra cui: densità, compattazione, rigidità e assorbimento delle vibrazioni [7]. Questa funzionalità di raccolta dati permette di condurre analisi approfondite sulle condizioni della massicciata ma anche del macchinario stesso, fornendo rapporti dettagliati che supportano le decisioni di manutenzione e gestione dell'infrastruttura ferroviaria.

La facilità di manutenzione rappresenta un ulteriore vantaggio grazie alla possibilità di sostituire i componenti del sistema di rinalzata direttamente in cantiere in pochi minuti. Questa caratteristica aumenta l'efficienza operativa e riduce al minimo i tempi di inattività della rinalzatrice, garantendo una maggiore produttività complessiva delle operazioni di manutenzione.

Oltre agli evidenti vantaggi in termini di affidabilità e manutenzione, il sistema di azionamento completamente idraulico contribuisce anche a ridurre la produzione di polveri sottili e delle emissioni acustiche e, di conseguenza, a migliorare l'ambiente di lavoro riducendo l'impatto ambientale complessivo del processo di rinalzata rispetto ai tradizionali motori ad albero eccentrico.

Per quanto sopra descritto, la definizione di robot di rinalzata risulta particolarmente appropriata in considerazione della quantità di processi che vengono gestiti in maniera automatica grazie all'impiego di sensoristica all'avanguardia. Nei seguenti capoversi, tali soluzioni e automazioni verranno descritte in maniera più approfondita e completa.

La Fig. 3 illustra un esempio di aggregati split-head con azionamento completamente idraulico, dotati di sensori di spostamento integrati e sensori di pressione per misurare il percorso e la forza di stringimento. Considerando i costi normalmente sostenuti per la revisione o la sostituzione degli aggregati di rinalzata, si è studiato un metodo di applicazione dei sistemi idraulici in modo da convertire gli aggregati di rinalzata convenzionali con albero eccentrico, diminuendo conseguentemente i costi di una sostituzione totale.

⁽¹⁾ Life Circle Costs.

a fault tolerance and a self-control function, allowing the simultaneous measurement of the longitudinal, transverse and alignment level on all three measuring points at the front, central and rear measuring trolley. The system offers a high degree of reliability as it constantly monitors its performance and sends an alarm to the operator if an error or malfunction occurs. The IMU (Inertial Measurement Unit) is a distinctive feature of this system. In addition to marking the longitudinal level of the rails, the alignment and the transversal level (five degrees of freedom), this unit offers an unprecedented level of precision. The inertial measurement system, which does not use pendulums to measure superelevation, is insensitive to shocks, accelerations and vibrations and has few or no moving parts depending on the set-up used.

With this system, the elevation measurement is extremely precise and accurate and independent of the vibrations caused by the tamping. The recording accuracy is in the order of hundredths of a millimetre, which allows the track position errors to be calculated with great precision.

2. 4.0 Universal Tamber and related technologies

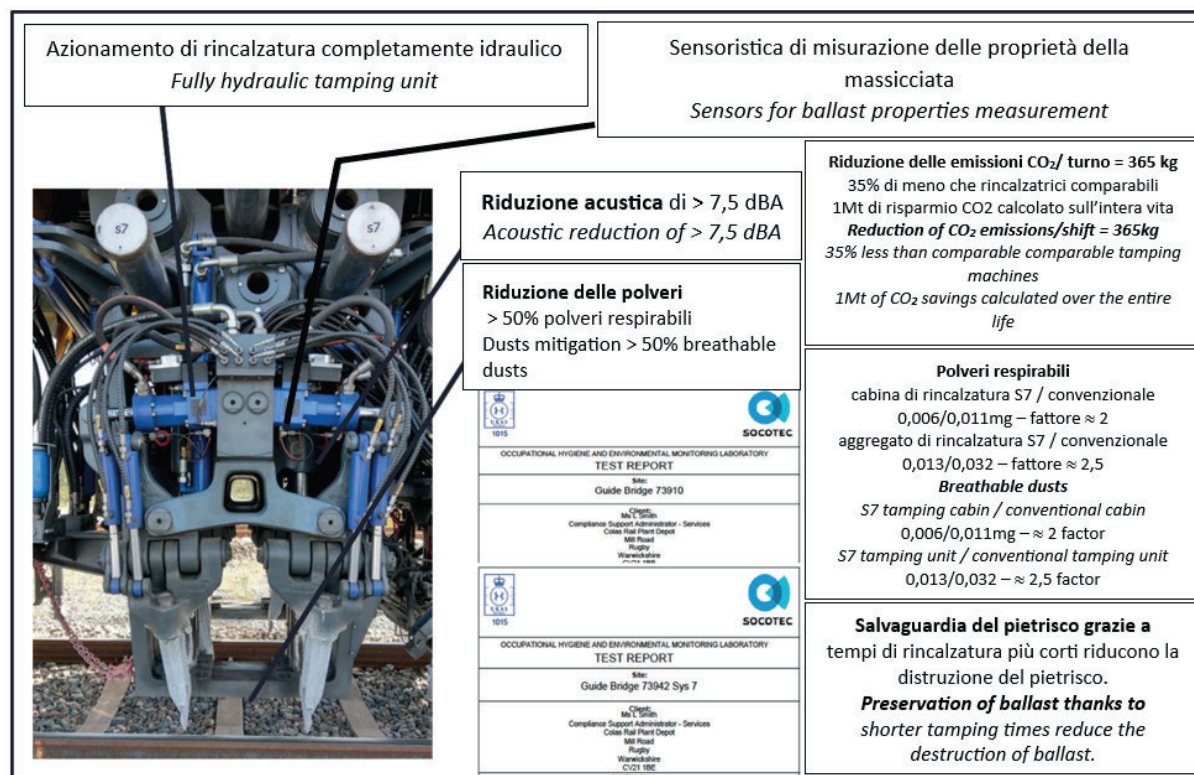
The technologies outlined above are applied in the Universal Tamber 4.0 tamping robot of the Austrian company System 7 rail GmbH. The design and construction of this robot were guided by the principles of reliability, availability, maintainability and safety (RAMS criteria), which determined the choice of technical solutions and components used. Such an approach automatically contributed to reducing the associated life cycle costs (LLCs¹). In particular, the fully hydraulic tamping system represents a significant innovation in the sector, as it eliminates the presence of rotating masses subject to wear. The simplification of the tamping system has led to a significant reduction in life cycle costs, quantified to be up to about 50% less than conventional eccentric drives [9].

A key aspect of the hydraulic system is its ability to detect and analyse the properties of the ballast during the tamping operation, including density, compaction, rigidity and vibration absorption [7]. This data collection functionality allows for in-depth analyses of the conditions of the ballast but also of the machinery itself, providing detailed reports that support railway infrastructure maintenance and management decisions.

The ease of maintenance is an additional advantage thanks to the possibility of replacing the components of the tamping system directly on site in a few minutes. This feature increases operational efficiency and minimises downtime of the tamping machine, ensuring greater overall productivity of maintenance operations.

In addition to the obvious advantages in terms of reliability and maintenance, the fully hydraulic drive system also

⁽¹⁾ Life Circle Costs.



(Fonte - Source: System7 rail GmbH)

Figura 3 – Unità aggregati di rinalzata a testa divisa (split-head).
Figure 3 – Split-head tamping unit.

Anche nella scelta degli utensili di sollevamento del binario l'automazione prende un ruolo fondamentale. La gestione dei deviatori richiede specifiche configurazioni delle unità di rinalzata, specialmente durante l'operazione di trasbordo dell'aggregato split-head sul ramo deviato e il conseguente sollevamento tramite l'alzamento aggiuntivo (terzo punto) (Fig. 4). Per rilevare la posizione delle rotaie, degli organi di attacco, delle traverse e degli ostacoli in spazi ristretti, vengono impiegati scanner laser montati verticalmente rispetto all'unità di sollevamento e livellamento.

Oltre all'utilizzo delle pinze a rullo, è necessario selezionare con attenzione i ganci di sollevamento negli spazi confinati. A tal fine, il sistema AHRC (Automatic Height and Reach Control) effettua automaticamente la scelta dell'utensile di sollevamento appropriato. Esso determina il punto di aggancio, che può essere la testa o la suola della rotaia, e, se necessario, effettua uno spostamento longitudinale (nella direzione di lavoro) dell'unità di sollevamento binario. Ciò consente l'aggancio alla suola della rotaia nel rispettivo cassonetto.

contributes to reducing the production of fine dust and noise emissions and, consequently, to improving the working environment by reducing the overall environmental impact of the tamping process compared to traditional eccentric shaft motors.

As described above, the definition of tamping robots is particularly appropriate in view of the number of processes that are managed automatically thanks to the use of state-of-the-art sensors. These solutions and automations will be described in greater depth and completeness in the following paragraphs.

Fig. 3 illustrates an example of split-head aggregates with fully hydraulic drive, equipped with integrated displacement sensors and pressure sensors to measure the path and tightening force. Considering the costs normally incurred for the revision or replacement of the tamping aggregates, an application method of the hydraulic systems was studied to convert the conventional tamping units with eccentric shaft, consequently reducing the costs of a total replacement.

Automation also plays a fundamental role in the choice of track lifting tools. The management of Switches requires



(Fonte – Source: m2 Railtech S.r.l./GCF S.p.A.)

Figura 4 – Robot di rincalzatura 4.0 al lavoro per la rincalzatura di un deviatoio.

Figure 4 – 4.0 Tamping robot at work for tamping of a switch.

Inoltre, il robot di rincalzatura è caratterizzato dall'adozione di un sistema di misurazione ottico innovativo e brevettato, denominato OMS (Optical Measurement System) (Fig. 5). Nell'ambito dell'OMS è da notare che grazie all'uso di giroscopi per l'unità di navigazione inerziale, la piattaforma è in grado di misurare simultaneamente il livello longitudinale e la sopraelevazione (o livello trasversale e la freccia), elaborando automaticamente il livello planimetrico della linea rincalzata. L'unità di navigazione inerziale [4] ha dimostrato la sua efficacia nelle applicazioni di Airbus nel settore aeronautico e ora è impiegata in diverse macchine adibite all'armamento ferroviario.

specific configurations of the tamping units, especially during the transshipment operation of the split-head unit on the switching section and the consequent lifting by means of additional lifting (third point) (Fig. 4). Laser scanners mounted vertically with respect to the lifting and levelling unit are used to detect the position of the rails, fasteners, sleepers and obstacles in confined spaces.

In addition to the use of roller grippers, the lifting hooks in the confined spaces must be carefully selected. To this end, the AHRC (Automatic Height and Reach Control) system automatically makes the choice of the appropriate lifting tool. It determines the coupling point, which can be the crown or the base of the rail, and, if necessary, performs a longitudinal displacement (in the working direction) of the track lifting unit. This allows the coupling to the base of the rail in the respective casing.

In addition, the tamping robot is characterised by the adoption of an innovative and patented optical measurement system, called OMS (Optical Measurement System) (Fig. 5). Within the OMS it should be noted that thanks to the use of gyroscopes for the inertial navigation unit, the platform can simultaneously measure the longitudinal level and the superelevation (or transverse level and the versed sine), automatically processing the planimetric level of the tamped line. The inertial navigation unit [4] has proven its effectiveness in Airbus applications in the aeronautical sector and is now used in several machines used for railway permanent way.

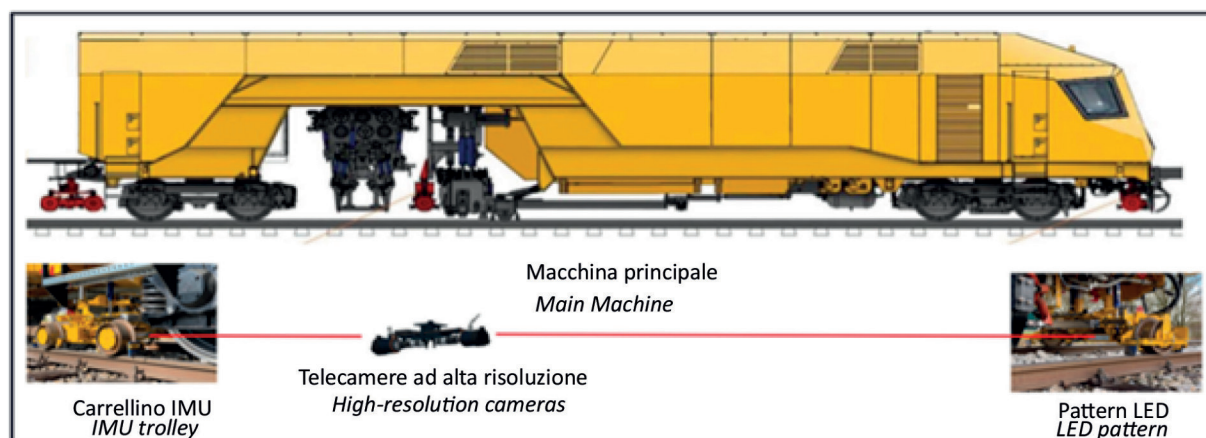


Figura 5 – Sistema di misura ottico con sistema di riconoscimento delle immagini e istruito per il rilevamento automatico del livello longitudinale, allineamento e sopraelevazione.

Figure 5 – Optical measurement system with image recognition system and instructed for automatic longitudinal level, alignment and superelevation detection.

Composta da tre giroscopi connessi con fibra ottica e tre inclinometri di precisione, orientati nelle tre direzioni spaziali, il sistema è autocontrollato e conforme al livello di sicurezza SIL3, con una frequenza di misurazione di cento volte al secondo. Il vantaggio principale di questa unità è la sua insensibilità all'accelerazione, consentendo l'utilizzo a velocità di misurazione elevate. Questo è particolarmente rilevante poiché le rinalzatrici convenzionali non permettono rilievi ad alta velocità senza compromettere l'accuratezza e la precisione a causa di errori di misurazione. L'unità di navigazione inerziale è omologata secondo la normativa EN13848-3 [4][5].

In base a quanto appena descritto, considerando le automazioni e la semplificazione dei processi di produzione, tale macchinario viene considerato un robot di rinalzatura. Tali semplificazioni non incidono positivamente solo rispetto alla qualità della lavorazione ma generano un ulteriore impatto positivo anche sulla salute dei lavoratori così come sulla riduzione di problematiche tecniche generate da fermi macchina indesiderati, soprattutto in fase di lavorazione.

3. Database delle lavorazioni sul web INFrame

INFrame si presenta come un software, installato su server e accessibile solo dal cliente mediante nome utente e password, dedicato alla raccolta e archiviazione di tutti i dati di lavorazione registrati durante la rinalzatura. Il tutto diviene quindi accessibile in qualunque momento via web.

Per ogni traversa viene acquisita la posizione satellitare, i parametri di rinalzatura e i parametri della massicciata che vengono quindi memorizzati e trasferiti automaticamente in INFrame.

La Fig. 6 mostra una schermata tipica come esempio di una lavorazione: rappresentata in verde nella mappa, la tratta che è stata rinalzata, mentre alto a destra è presente una foto digitale che mostra la zona rinalzata. Nel diagramma sottostante, la posizione di ogni singola traversa è riportata sull'asse orizzontale mentre sull'asse verticale sono riportati, in blu, la durezza della massicciata, in verde, la forza di stringimento e, in marrone, il tempo di stringimento. Ogni singolo punto rappresenta, con la rispettiva colorazione, il corrispondente parametro per ogni singola traversa rinalzata. Più omogenea è la forza di compattazione tra due traverse adiacenti, minori saranno le interazioni tra ruota e rotaia, con un relativo aumento della durata della geometria del binario, nel senso che tale geometria rimane invariata per un periodo di tempo più lungo. Nell'ultimo diagramma, infine, viene riportata la forza di compattazione nel dettaglio, permettendo il riconoscimento, grazie ai diversi colori, delle traverse più volte rinalzate.

Si denota, in questo caso, lo sviluppo di un sistema esperto per la valutazione dei dati dell'infrastruttura acquisiti durante la rinalzatura. Detto sistema esperto utilizza metodi all'avanguardia come l'analisi *wavelet*, l'analisi frattale e gli spettri di densità di potenza per formulare valutazioni concrete sulle condizioni del binario ed eventuali

The system which is composed of three gyroscopes connected with optical fibre and three precision inclinometers, oriented in the three spatial directions, is self-controlled and complies with the SIL3 safety level, with a measurement frequency of one hundred times per second. The main advantage of this unit is its insensitivity to acceleration, allowing it to be used at high measurement speeds. This is particularly relevant as conventional tamping machines do not allow high-speed surveys without compromising accuracy and precision due to measurement errors. The inertial navigation unit is approved according to EN13848-3 [4][5] standard.

Based on what has just been described, considering the automations and the simplification of the production processes, this machine is considered a tamping robot. These simplifications not only have a positive impact on the quality of processing but also generate a further positive impact on the health of workers as well as on the mitigation of technical problems generated by unwanted machine downtime, especially during processing.

3. INFrame web processing database

INFrame is presented as a software, installed on a server and accessible only by the customer through username and password, dedicated to the collection and storage of all processing data recorded during tamping. All this becomes accessible at any time via the web.

For each sleeper, the satellite position, the tamping parameters and the parameters of the ballast are acquired, which are then stored and automatically transferred to INFrame.

Fig. 6 shows a typical screen as an example of a process: the section that has been tamped represented in green on the map, while in the upper right there is a digital photo showing the tamped area. In the diagram below, the position of each individual sleeper is shown on the horizontal axis while on the vertical axis the hardness of the ballast is shown in blue, the tightening force in green, and the tightening time in brown. Each single point represents the corresponding parameter for each single tamped sleeper, with its respective colouring. The more homogeneous the compaction force between two adjacent sleepers, the smaller the interactions between wheel and rail, with a relative increase in the duration of the track geometry, in the sense that this geometry remains unchanged for a longer period of time. Finally, in the last diagram, the compaction force is reported in detail, allowing the recognition of the sleepers repeatedly tamped, thanks to the different colours.

In this case, the development of an expert system for the evaluation of the infrastructure data acquired during tamping is indicated. This expert system uses cutting-edge methods such as wavelet analysis, fractal analysis and power density spectra to formulate concrete assessments of the track conditions and any countermeasures to be taken. It is the most modern method to assess contaminated areas in



(Fonte - Source: System7 rail GmbH)

Figura 6 – Immagine dello schermo del database della lavorazione INFrame.

Figure 6 – INFrame processing database screen image.

contromisure da intraprendere. È il metodo più moderno per valutare le aree contaminate nella massicciata, nel sub ballast e nel sottosuolo. L'analisi dei dati è completamente automatica e verrà successivamente protocollata nel report della massicciata e sulla piattaforma web INFrame.

4. Ottimizzazione della geometria del binario acquisita dalle registrazioni 3D del sistema di navigazione inerziale

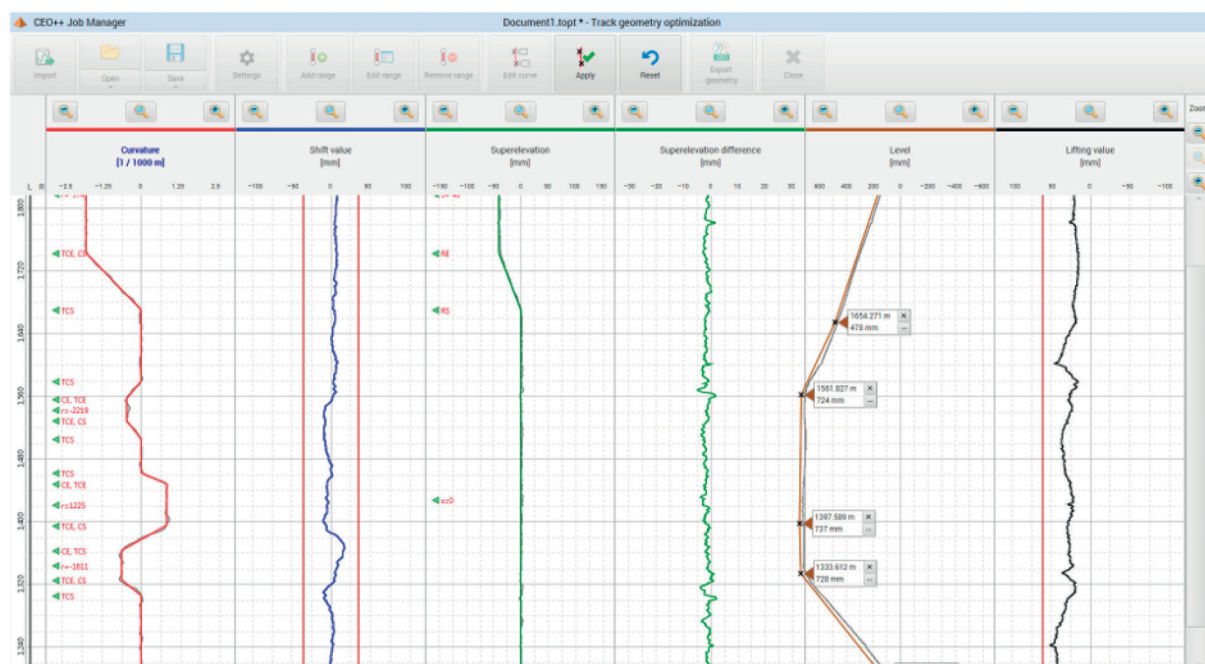
La Fig. 7 mostra l'esito di una misurazione effettuata a cui è seguita l'ottimizzazione automatica della geometria del binario.

the ballast, sub-ballast and subsoil. The data analysis is fully automatic and will be subsequently recorded in the ballast report and on the INFrame web platform.

4. Track geometry optimisation acquired from inertial navigation system 3D recordings

Fig. 7 shows the result of a measurement carried out followed by the automatic optimisation of the track geometry.

In the first column, the graph of the nominal curvature is represented in red, while the actual curvature measured can be seen in black. In the second column, the allowable



(Fonte - Source: System7 rail GmbH)

Figura 7 – Ottimizzazione automatica della geometria del binario con il computer CEO++ dopo l'esecuzione della misurazione con l'unità di navigazione inerziale.

Figure 7 – Automatic optimisation of track geometry with the CEO++ computer after measurement with the inertial navigation unit

Nella prima colonna, il grafico della curvatura nominale è rappresentato in rosso, mentre in nero è visibile la curvatura reale misurata. Nella seconda colonna, le soglie di spostamento predefinite ammissibili sono indicate in rosso, e gli spostamenti necessari per la lavorazione o correzione sono evidenziati in blu. La terza colonna presenta il parametro della sopraelevazione, dove il tracciato verde corrisponde alla sopraelevazione teorica elaborata e il nero alla sopraelevazione reale misurata. La differenza tra sopraelevazione reale e teorica è rappresentata da una linea verde nella colonna quattro. Nella quinta colonna, il corso del livello longitudinale effettivo è visualizzato in nero, mentre il grafico teorico calcolato è in marrone.

È degno di nota che la modalità di modifica manuale è particolarmente intuitiva, consentendo all'operatore di definire facilmente la poligonale della sopraelevazione teorica e di spostare, eliminare o introdurre liberamente punti nel tracciato. L'interfaccia segue il principio del "WYSIWYG" (What You See Is What You Get), noto anche come rappresentazione in tempo reale. Le correzioni apportate dall'operatore vengono immediatamente elaborate e visualizzate, mentre le correzioni non consentite sono calcolate e mostrate in grigio, ma non vengono eseguite.

Nell'ultima colonna, i valori di alzamento sono rappresentati in nero. Il computer di geometria del binario, con la sua funzione di ottimizzazione automatica che non

predefined displacement thresholds are indicated in red, and the displacements necessary for processing or correction are highlighted in blue. The third column presents the superelevation parameter, where the green path corresponds to the theoretical superelevation processed and the black to the actual superelevation measured. The difference between actual and theoretical superelevation is represented by a green line in column four. In the fifth column, the course of the actual longitudinal level is displayed in black, while the calculated theoretical graph is in brown.

It is noteworthy that the manual editing mode is particularly intuitive, allowing the operator to easily define the polygonal of the theoretical superelevation and to move, delete or freely introduce points on the track. The interface follows the "WYSIWYG" principle (What You See Is What You Get), also known as real-time rendering. The corrections made by the operator are immediately processed and displayed, while the corrections not allowed are calculated and shown in grey but are not executed.

In the last column, the lift values are represented in black. The track geometry computer, with its automatic optimisation function that does not require manual assistance, considers the specific tolerances and railway regulations in force, including factors such as the length of the fittings and the definition of the cant relative to the curve radius and the travel speed. In addition, it allows the draft-

richiede assistenza manuale, tiene conto delle specifiche tolleranze e delle normative ferroviarie vigenti, inclusi fattori come la lunghezza dei raccordi e la definizione della sopraelevazione relativa al raggio della curva e alla velocità di marcia. Inoltre, consente la redazione e l'introduzione di sezioni e/o punti per specificare alzamento e spostamento. Oltre al computer per i calcoli e la gestione della geometria del binario, il CEO++ integra anche il registratore digitale di accettazione del lavoro finito.

5. Massimizzazione della disponibilità e monitoraggio della macchina

La massimizzazione della disponibilità del macchinario rappresenta un aspetto cruciale per garantire l'efficienza operativa e la continuità del servizio. In questo contesto, tecnologie dell'industria 4.0 come l'IoT e sensoristica avanzata, rivestono un ruolo fondamentale nel monitoraggio della macchina e nella gestione preventiva dei guasti. Concentrandosi sul ruolo chiave dell'automazione, della diagnosi automatica degli errori e del monitoraggio continuo di componenti critici del sistema, viene garantito un alto grado di disponibilità.

Il monitoraggio è reso possibile attraverso l'impiego di sensori avanzati e sistemi di controllo automatizzati che monitorano (Fig. 8, Fig. 9) una vasta gamma di sistemi, tra cui motore, la trasmissione, l'impianto di distri-

ing and introduction of sections and/or points to specify lifting and displacement. In addition to the computer for calculations and management of the track geometry, the CEO++ also integrates the digital recorder for accepting the finished work.

5. Maximising machine availability and monitoring

Maximising the availability of machinery is a crucial aspect to ensure operational efficiency and continuity of service. In this context, 4.0 industry technologies such as IoT and advanced sensors play a fundamental role in machine monitoring and in the preventive management of faults. A high degree of availability is ensured by focusing on the key role of automation, automatic error diagnosis and continuous monitoring of critical system components.

Monitoring is made possible through the use of advanced sensors and automated control systems that monitor a wide range of systems, including engine, transmission, distribution system, hydraulic oil filter, tamping units, auxiliary generator, on-board electrical circuit, measurement systems, lifting and displacement system, drive motors, oil quality, GPS, GSM, WLAN network, computer network, automation system and inertial navigation system (Fig. 8, Fig. 9). The transmission and tamping units, in particular, are moni-





(Fonte - Source: System7 rail GmbH)

Figura 9 – Pannello informativo della macchina.

Figure 9 – Information panel of the machine.

buzione, il filtro olio idraulico, le unità di rinalzatura, il generatore ausiliario, il circuito elettrico di bordo, i sistemi di misurazione, l'impianto di sollevamento e spostamento, i motori di azionamento, la qualità dell'olio, il GPS, GSM, la rete WLAN, la rete informatica, l'impianto di automazione e sistema di navigazione inerziale. Le unità di trasmissione e rinalzatura, in particolare, sono monitorate mediante misurazioni di accelerazione e moduli elettronici che segnalano in automatico importanti variabili di controllo della macchina, come i valori RMS delle accelerazioni, fattore di cresta, curtosi, ecc. consentendo di seguire e prevedere lo sviluppo di eventuali sbilanciamenti, usure di boccole e cuscinetti radenti e volventi o dei riduttori.

Il gran numero di sensori analogici e digitali per la rilevazione di valori quali pressione, temperatura, angolo e posizione, trasferiti all'unità di controllo PLC mediante moduli di Input/Output (I/O), permettono una diagnosi automatica e il monitoraggio dell'intero sistema.

La presenza, inoltre, di sistemi ridondanti accresce il grado di disponibilità. La rinalzatrice dispone di tre circuiti di trasmissione idrostatica indipendenti, chiusi e controllati. I tre sistemi di trasmissione sono costantemente monitorati da sensori di pressione e rotazione. In caso di mancato funzionamento, il circuito interessato viene disattivato. La macchina continua a funzionare, oppure rientra dalla sede operativa a velocità ridotta. Le configurazioni ridondanti dei

tored by means of acceleration measurements and electronic modules that automatically signal important machine control variables, such as the RMS values of the accelerations, crest factor, kurtosis, etc. allowing to follow and predict the development of any imbalances, wear of bushings and rolling bearings or reducers.

The large number of analogue and digital sensors for the detection of values such as pressure, temperature, angle and position, transferred to the PLC control unit through Input/Output (I/O) modules, allow automatic diagnosis and monitoring of the entire system.

The presence of redundant systems also increases the degree of availability. The tamping machine has three independent closed and controlled hydrostatic transmission circuits. The three drive systems are constantly monitored by pressure and rotation sensors. In case of non-operation, the affected circuit is deactivated. The machine continues to operate or returns from the operating seat at a reduced speed. The redundant configurations of the on-board electrical systems play an important role in terms of availability. Redundant alternators also operate in addition to an auxiliary generator, a 24 V direct current generator via an AC/DC transformer. A photovoltaic system installed on the roof automatically charges the robot's batteries. Thanks to this measure, the batteries do not drain even in case of prolonged stops outdoors. The machine also has an easy-to-use diagnostic system, for a quick and easy error search,

sistemi elettrici di bordo giocano un ruolo importante ai fini della disponibilità. Oltre ad un gruppo elettrogeno ausiliario, generatore di corrente continua 24 V tramite trasformatore AC/DC, operano anche alternatori ridondanti. Un impianto fotovoltaico installato sul tetto carica automaticamente le batterie del robot. Grazie a questo accorgimento, le batterie non si scaricano nemmeno in caso di fermi prolungati all'aperto. La macchina dispone inoltre di un sistema diagnostico di facile utilizzo, per una rapida e semplice ricerca degli errori, integrato da una funzione di diagnosi da remoto tramite modem GSM. I messaggi di errore e guasto del sistema vengono segnalati all'operatore. Gli strumenti di diagnosi integrati, lo guidano quindi all'identificazione del problema e alla messa in atto degli interventi necessari. I messaggi di errore e di guasto vengono trasmessi alla piattaforma web RaVeM (*Railway Vehicle Monitoring*) e lì memorizzati [4]. Il RaVeM è un'applicazione web che opera in modo indipendente dalle piattaforme informatiche, essendo disaccoppiato sia da Windows che da IOS. Si configura come un sistema orientato alla prognosi, il quale monitora costantemente le condizioni dei componenti del robot attraverso misurazioni, utilizzando tali informazioni per generare previsioni di guasto [2]. Questa previsione consente al responsabile della manutenzione di essere informato in modo tempestivo, permettendo una pianificazione delle azioni di manutenzione più appropriate con anticipo.

La capacità di pianificare le attività di manutenzione è di particolare rilevanza, dato che numerosi veicoli operano su scala internazionale e la necessità di rientrare per interventi di manutenzione richiede una pianificazione accurata con notevole anticipo.

6. Accessibilità e manutenibilità

Per migliorare la manutenibilità delle macchine, è essenziale garantirne un'accessibilità adeguata. Un esempio tangibile di questa pratica è il generatore ausiliario montato su carrelli estraibili, altri sono pannelli di servizio predisposti nell'area del motore diesel e del sistema di distribuzione, oltre alle strutture portanti da cui poter accedere agevolmente estraendo verso il basso il blocco, del motore diesel e della pompa, per poi procedere alla manutenzione o all'eventuale sostituzione. Questa procedura si distingue nettamente dai metodi di costruzione finora utilizzati che richiede lo smontaggio del tetto per eseguire tali operazioni, comportando un maggiore dispendio di tempo e risorse umane.

Fig. 10 mostra un esempio pratico di questa progettazione: il vano batteria montato su guide lineari estraibili, fornendo un'illustrazione tangibile di

complemented by a remote diagnosis function via GSM modem. Error and system failure messages are reported to the operator. The integrated diagnostic tools therefore guide him to identify the problem and implement the necessary interventions. Error and failure messages are transmitted to the RaVeM (Railway Vehicle Monitoring) web platform and stored there [4]. RaVeM is a web application that operates independently of computer platforms, being decoupled from both Windows and IOS. It is configured as a prognosis-oriented system, which constantly monitors the condition of the robot components through measurements, using this information to generate failure forecasts [2]. This forecast allows the maintenance manager to be informed in a timely manner, as well as a planning of the most appropriate maintenance actions in advance.

The ability to plan maintenance activities is of particular importance, given that many vehicles operate on an international scale and the need to return for maintenance operations requires careful planning well in advance.

6. Accessibility and maintainability

It is essential to ensure adequate accessibility to improve the maintainability of the machines. A tangible example of this practice is the auxiliary generator mounted on removable trolleys, others are service panels arranged in the area of the diesel engine and the distribution system, in addition to the load-bearing structures from which it can be easily accessed by extracting the block, the diesel engine and the



(Fonte - Source: System7 rail GmbH)

Figura 10 – Estrazione generatore ausiliario per permettere la manutenzione.
Figure 10 – Auxiliary generator extraction to allow maintenance.



(Fonte - Source: System7 rail GmbH)

Figura 11 – Pannelli freno.
Figure 11 – Brake panels.

come la disposizione degli elementi sia stata ottimizzata per agevolare le operazioni di manutenzione. Le batterie a gel utilizzate per l'alimentazione a corrente continua di 24 V presentano un design robusto, emissioni di gas ridotte e una lunga durata, ideali per le applicazioni ferroviarie.

In Fig. 11, si evidenzia la disposizione dei componenti del sistema di frenata su appositi pannelli di servizio per facilitare le operazioni di intervento.

Inoltre, tra le dotazioni informatiche installate sulla rinalzatrice, si trovano anche il GNSS (*Global Navigation Satellite System*), WLAN e modem GSM, consentendo l'accesso remoto al personale autorizzato dell'azienda costruttrice [8]. Una volta effettuato l'accesso, gli specialisti hanno la possibilità di utilizzare tutte le funzioni (Fig. 12), con l'attivazione dell'assistenza condizionata all'accesso alla macchina.

pump downwards, and then proceeding with maintenance or possible replacement. This procedure is clearly different from the construction methods used so far, which require the disassembly of the roof to carry out these operations, resulting in a greater expenditure of time and human resources.

Fig. 10 shows a practical example of this design: the battery compartment mounted on removable linear guides, providing a tangible illustration of how the arrangement of the elements has been optimised to facilitate maintenance operations. The gel batteries used for 24V DC power have a robust design, reduced gas emissions and long life, ideal for railway applications.

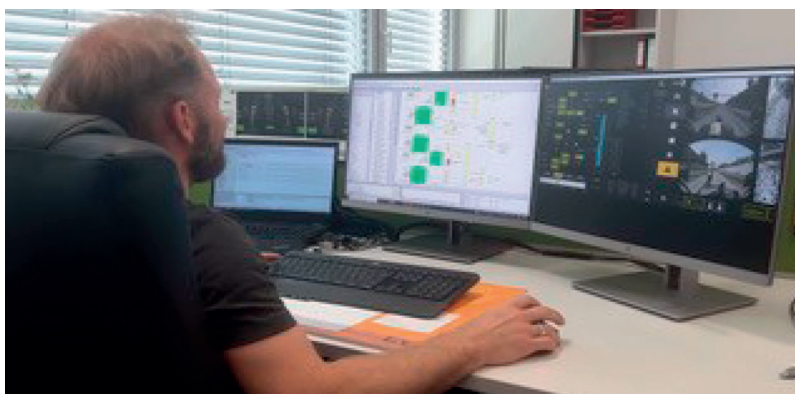
In Fig. 11, the arrangement of the components of the braking system on special service panels is highlighted to facilitate intervention operations.

In addition, among the computer equipment installed on the tamping machine, there are also the GNSS (*Global Navigation Satellite System*), WLAN and GSM modem, allowing remote access to the authorised personnel of the manufacturer [8]. Once logged in, the specialists can use all the functions, with the activation of conditional assistance to access the machine.

In Fig. 12, the working environment of a specialist technician connected, via the web, to a tamping robot in operation in the Netherlands during a day shift is presented. The source code of the programme is displayed on the left of the laptop screen, the configuration of the functional modules is represented in the centre, while on the right of the screen the main tamping screen is projected, identical to the one displayed by the machine operator. All in real-time.

In the same screen on the right, in addition to the main tamping screen (on the left), the video images selected by the operator are shown, transmitted live.

In the case of System 7, this system allows the implementation of a 24-hour hotline that guarantees the constant availability of service technicians. The assistance service al-



(Fonte - Source: System7 rail GmbH)

Figura 12 – Ambiente di lavoro durante l'accesso da remoto.
Figure 12 – Work environment during remote access.

Nella Fig. 12, viene presentato l'ambiente di lavoro di un tecnico specialista connesso, via web, a un robot di rinalzatura in operazione in Olanda durante un turno diurno. Sulla sinistra dello schermo del laptop è visualizzato il codice sorgente del programma, al centro è rappresentata la configurazione dei moduli funzionali, mentre sullo schermo a destra è proiettata la schermata principale di rinalzatura, identica a quella visualizzata dall'operatore macchina. Il tutto in tempo reale.

Nella stessa schermata a destra, oltre alla schermata principale di rinalzatura (a sinistra), sono mostrate le immagini video selezionate dall'operatore, trasmesse in diretta.

Nel caso di System 7, tale sistema permette di implementare una linea diretta attiva 24 ore su 24 che garantisce la costante reperibilità dei tecnici dell'assistenza. Il servizio di assistenza permette agli operatori del robot rinalzatura (Fig. 13) di contattare gli specialisti in qualsiasi momento del giorno o della notte, garantendo una disponibilità continua. La volontà di implementare i sistemi di assistenza, aumentandone la qualità, sta spingendo i tecnici all'implementazione di soluzioni di realtà assistita mediante occhiali intelligenti, che permette all'operatore di diventare il braccio prolungato del tecnico di assistenza.

Le macchine per armamento ferroviario sono sottoposte a valutazione della sicurezza, comprendente un'analisi dei rischi [5] in termini di protezione dei lavoratori. La sicurezza di funzionamento della macchina viene solitamente verificata sulla base della direttiva per la sicurezza dei veicoli ferroviari (SIRF [6]) dell'autorità federale delle ferrovie tedesche (EBA).

7. Esperienze d'uso nelle ferrovie italiane

Il robot di rinalzatura automatizzato PLS-16.4.0-S, noto come "Bernhard", è stato progettato e costruito dall'azienda austriaca System7 Rail. Dal 2019, è operativo presso la GCF - Generale Costruzioni Ferroviarie S.p.a. Questa macchina rappresenta una delle innovazioni nel campo della tecnologia ferroviaria.

Il CEO di GCF, testimonia che la macchina ha già completato oltre 400 interventi, pari a 113.709 metri di binario e 144 deviatori². La rinalzatrice ha principalmente operato



(Fonte – Source: m2 Railtech S.r.l./GCF S.p.A.)

Figura 13 – Robot di rinalzatura 4.0 di proprietà GCF S.p.A.

Figure 13 – 4.0 Tamping robot owned by GCF S.p.A.

allows the operators of the tamping robot (Fig. 13) to contact the specialists at any time of the day or night, ensuring continuous availability. The desire to implement the assistance systems, increasing their quality, is pushing the technicians to implement a reality solution assisted by smart glasses, which allows the operator to become the extended arm of the assistance technician.

Railway permanent way machines are subject to safety assessment, including a risk analysis [5] in terms of worker protection. The operating safety of the machine is usually verified on the basis of the Directive for the Safety of Rail Vehicles (SIRF [6]) of the German Railways Federal Authority (EBA).

7. Experience of use in Italian railways

The PLS-16.4.0-S automated tamping robot, known as "Bernhard," was designed and built by the Austrian company System7 Rail. Since 2019, it has been operating at GCF - Generale Costruzioni Ferroviarie S.p.a. This machine represents one of the innovations in the field of railway technology.

The CEO of GCF, testifies that the machine has already completed over 400 operations, equal to 113,709 metres of track and 144 switches². The tamping machine has mainly operated in the north-eastern regions of Italy, focusing its ac-

⁽²⁾ Dati raccolti e registrati direttamente dai sistemi di bordo grazie a CEO++ e sistema INFrame.

⁽²⁾ Data directly collected and registered from the board system thanks to CEO++ and the INFrame system.

nelle regioni del nord-est Italia, concentrando le sue attività sulle linee Milano-Venezia e Venezia-Trieste, che rientrano nell'area di maggiore interesse del Gruppo GCF. Quest'ultimo, con una flotta estesa, ha gestito la manutenzione di oltre 12.000 km di binario nell'ultimo decennio. La macchina è tutt'ora in servizio portando a termine, ad oggi, 308.884 infissioni corrispondenti a 201.392 traverse rinalzate e una media di produzione di 266 m/h.

Dal punto di vista dell'usabilità, la Universal Tamper 4.0 si è rivelata user-friendly, intuitiva ed ergonomica. Grazie alla presenza di processi automatizzati e all'integrazione dei sistemi di controllo e misurazione topografica (rtkGPS) con il sistema di navigazione inerziale (IMU), è idealmente sufficiente un singolo operatore per eseguire la rinalzata dei binari della linea ferroviaria.

Oltre che in Italia, la Universal Tamper opera attualmente in Austria, Germania, Polonia e Regno Unito; detiene, inoltre, un permesso di lavoro per la Francia dalla SNCF [10].

Si ringraziano Edoardo Rossi, Presidente Generale Costruzioni ferroviarie S.p.A e il suo staff per i dati forniti e condivisi.

activities on the Milan-Venice and Venice-Trieste lines, which fall within the area of greatest interest of the GCF Group. The latter, with an extended fleet, has managed the maintenance of over 12,000 km of track over the last decade. The machine is still in service, completing, to date, 308,884 fixtures corresponding to 201,392 tamped sleepers and an average production of 266 m/h.

From the point of view of usability, the Universal Tamper 4.0 proved to be user-friendly, intuitive and ergonomic. A single operator is ideally sufficient to perform the tamping of the railway line tracks thanks to the presence of automated processes and the integration of topographic measurement and control systems (rtkGPS) with the inertial navigation system (IMU).

In addition to Italy, Universal Tamper currently operates in Austria, Germany, Poland and the United Kingdom; it also holds a work permit for France from SNCF [10].

A special thanks to Edoardo Rossi, General President of Costruzioni Ferroviarie S.p.A and his staff for the data provided and shared.

BIBLIOGRAFIA – REFERENCES

- [1] PAOLINI O. (1980), "La Rinalzata", La Tecnica Professionale, numero 2.
- [2] LICHTBERGER B. (2016), "Railway Industry 4.0: Innovative Railway Vehicle Monitoring RaVeM in applicazione"; ZEVrail, maggio, pp. 140.
- [3] STUTE E., VOGEL R., SÖLLINGER M., LICHTBERGER B. (2019), "Rinalzata ecologica e a risparmio di risorse"; EI Eisenbahningenieur, maggio, pp. 48-54.
- [4] LICHTBERGER B., MITTERMAYR P., KUTTELWASCHER C. (2020), "Misurazione precisa del binario con un sistema di navigazione inerziale", EI Eisenbahningenieur, novembre, pp. 46-50.
- [5] ÖNORM E., "13848-3 Applicazioni ferroviarie - Sovrastruttura del binario - Qualità della geometria del binario - Parte 3: Sistemi di misura - Macchine per la costruzione e la manutenzione dei binari".
- [6] LICHTBERGER B., (2020), "La nuova rinalzata automatica System7 aumenta la durata della geometria del binario: Risultati operativi"; ETR - Eisenbahntechnische Rundschau, settembre, pp. 58-63.
- [7] Socotec: Rapporto di prova: sito: Guide Bridge 73942 Sys 7; turno nr. 29402; relazione nr. OHEM/14175 del 30.8.2018; Socotec: Rapporto di prova: sito: Guide Bridge 73910; turno n. 29402; relazione nr. OHEM/14174 del 30.8.2018.
- [8] LICHTBERGER B. (2022), "Sulla strada del lavoro autonomo" – Universal Tamper 4.0; EIK Eisenbahningenieur-Kompodium, 2022, pp. 15-40.
- [9] SMITH G. (2022), "System 7 Report One Follow Up Questions", Network Rail.
- [10] SNCF RÉSEAU (2021), "Conformità alla norma NFF 58-002 Modulo di approvazione provvisoria dei lavori" <Attrezzature pesanti> nr. DEO20193; 12 marzo.
- [11] European Commission, "Key enabling technologies policy", URL: https://research-and-innovation.ec.europa.eu/research-area/industrial-research-and-innovation/key-enabling-technologies_en#documents (Accessed: 12/03/2024)
- [12] LICHTBERGER B. (2023), "Risparmio di CO₂ e di energia del Robot di rinalzata continuo 4.0".