



I Laboratori di RFI a supporto della manutenzione: monitoraggio di quattro deviatori su un tratto di linea ad alta velocità

RFI laboratories supporting maintenance: monitoring of four turnouts on a section of a high-speed line

Fabio SENESI ^(*)
 Riccardo EUSEPI ^(**)
 Brenda DI FILIPPO ^(**)
 Cristian FERRANTE ^(**)
 Luca RICCIARDI ^(**)

(<https://www.medra.org/servlet/view?lang=it&doi=10.57597/IF.02.2025.ART.1>)

Sommario - L'innovazione tecnologica ed il monitoraggio costante dello "stato di salute" della rete sono due pilastri essenziali per garantire la sicurezza e la sostenibilità delle infrastrutture ferroviarie moderne. In questo contesto, i Laboratori di Innovazione, Prove e Sperimentazioni di Ricerca e Sviluppo di RFI, rappresentano un punto di riferimento per la ricerca, la sperimentazione e le misure sui componenti ferroviari. Nell'impianto vengono svolte attività riguardanti prove su materiali, misure su opere civili e ferroviarie, misure elettriche, prove ATP, misure per la sicurezza dei lavoratori, tarature certificate e analisi di impatto ambientale, secondo lo standard di qualità previsto dagli Standard Internazionali. Grazie anche alle collaborazioni con università ed enti di ricerca, ed ereditando il prezioso know-how dell'Istituto Sperimentale, i Laboratori si distinguono per le attività di monitoraggio e analisi, fornendo un importante contributo al miglioramento continuo delle prestazioni dell'infrastruttura ferroviaria nazionale. Recentemente, la struttura di Ambienti di Prove e Sperimentazioni, Infrastruttura e Ambiente dei Laboratori ha condotto una campagna di misura su quattro deviatori di ingresso e uscita di una stazione situata su una linea AV/AC al fine di osservare ed analizzare i fenomeni che si verificano, lato infrastruttura, al transito di un convoglio ferroviario. Questo articolo descrive l'attività svolta, le tecnologie utilizzate ed i risultati emersi dal monitoraggio.

Acronimi e abbreviazioni

AGV Automotrice à Grande Vitesse (Automotrice ad Alta Velocità)

^(*) Ricerca e Sviluppo / RFI S.p.A.

^(**) Laboratori di Innovazione, Prove e Sperimentazioni / Ricerca e Sviluppo / RFI S.p.A.

Summary - Technological innovation and constant monitoring of the "conditions of health" of the network are two essential pillars to guarantee the safety and sustainability of modern railway infrastructures. In this context, RFI's Innovation, Research and Development Testing and Experimentation Laboratories represent a reference point for research, experimentation and measurements on railway components. In the plant located in the heart of Rome, in Via di Portonaccio, activities are carried out regarding tests on materials, measurements on civil and railway works, electrical measurements, ATP tests, measures for the safety of workers, certified calibrations and environmental impact analysis, according to the quality standard provided by the International Standards. The Laboratories stand out for their monitoring and analysis activities, thanks also to collaborations with universities and research institutions, and inheriting the valuable know-how of the Experimental Institute thus providing an important contribution to the continuous improvement of the performance of the national railway infrastructure. Recently, the Testing and Experimentation Environments, Infrastructure and Laboratory Environment organisation conducted a measurement campaign on four entry and exit turnouts of a station located on an HS/HC line in order to observe and analyse the phenomena that occur, on the infrastructure side, at the transit of a railway convoy. This article describes the activity carried out, the technologies used and the results of the monitoring.

Acronyms and abbreviations

AGV (Automotrice à Grande Vitesse) High Speed Rail-car

^(*) Research and Development / RFI S.p.A.

^(**) Innovation, Testing and Experimentation Laboratories/ Research and Development / RFI S.p.A.

ATP	<i>Accord Transport Perissable</i> (Accordo di Trasporto Deperibile)
AV/AC	Alta Velocità/Alta Capacità
ETR	Elettrotreno
MOT	Manovra Oleodinamica in Traversa
RFI	Rete Ferroviaria Italiana
SO	Sistema Oleodinamico

ATP	<i>(Accord Transport Perissable) Agreement for Transport of Perishable products,</i>
AV/AC	<i>High Speed/High Capacity</i>
ETR	<i>Electric train</i>
MOT	<i>Hydraulic actuator in Sleeper</i>
RFI	<i>Italian Railway Network</i>
SO	<i>Hydraulic System</i>

1. Introduzione

Il deviatoio rappresenta uno degli elementi più critici all'interno dell'infrastruttura ferroviaria, in quanto sottoposto a carichi dinamici considerevoli dovuti al transito dei treni ed esposto ad un'usura accentuata a causa della geometria dei suoi componenti [1][2] (ad esempio, la sezione ridotta degli aghi in punta, la presenza di vari componenti della cassa di manovra ecc...). Per tale motivo, può essere oggetto di consumo rapido, come si è verificato per il sito oggetto delle misure, in cui è stata registrata un'usura anomala della punta dell'ago accosto in deviata in due deviatori di uscita dai binari di stazionamento impegnati di calcio [4] (evidenziati in Fig. 1). Per analizzare il comportamento dell'infrastruttura durante il traffico commerciale e valutare la risposta dei deviatori agli interventi manutentivi, è stato condotto un monitoraggio mirato degli spostamenti e delle accelerazioni degli aghi accosti in deviata e dei contraghi, di quattro deviatori in ingresso e/o uscita dalla stazione. I dati raccolti possono essere utili per le unità manutentive di RFI, consentendo di verificare l'efficacia degli interventi effettuati. Per avere un quadro generale dello stato dell'infrastruttura ed elementi di riferimento per successivi confronti, oltre ai due deviatori in uscita dalla stazione, sono stati monitorati anche i due deviatori di immissione ai binari di stazionamento.

2. Descrizione del sito di misura

I quattro deviatori monitorati si trovano su un tratto di linea ferroviaria AV/AC e sono di tipo S 60 UNI/400/0.074, cioè presentano uno scambio semplice (S), un tipo di rotaia 60UNI (con un peso lineare di 60 kg al metro) e caratterizzati da un raggio di 400 m e tangente 0.074. In particolare, con lo scopo sopra indicato, sono stati monitorati i seguenti deviatori:

- Deviatoio "a": impegnato di calcio, per uscire dalla stazione ed immettersi sul binario di corsa dispari della linea AV.
- Deviatoio "b": impegnato di calcio, per uscire dalla stazione ed immettersi sul binario di corsa pari della linea AV.
- Deviatoio "c": impegnato di punta per immettersi dal binario di corsa pari a quello di stazionamento (n.1).
- Deviatoio "d": impegnato di calcio per immettersi dal binario di corsa pari (deviatoio 14) a quello di stazionamento (n.1).

1. Introduction

The turnout represents one of the most critical elements within the railway infrastructure, as it is subjected to considerable dynamic loads due to the transit of trains and exposed to accentuated wear due to the geometry of its components [1][2] (for example, the reduced section of the switch toe, the presence of various components of the point machine, etc.). For this reason, it can be subject to rapid consumption, as occurred for the site subject to the measurements, in which abnormal wear of the toe of the curved switch blade in two outlet switch from the stabling tracks trailing the point [4] (highlighted in Fig. 1) was recorded. To analyse the behaviour of the infrastructure during commercial traffic and evaluate the response of the turnouts to maintenance interventions, a targeted monitoring of the displacements and accelerations of the curved switch blades and of the stock rails, of four turnouts entering and/or exiting the station was carried out. The data collected can be useful for RFI maintenance units, allowing them to verify the effectiveness of the interventions carried out. In order to have a general picture of the condition of the infrastructure and reference elements for subsequent comparisons, in addition to the two turnouts exiting the station, the two entry turnouts to the stabling tracks were also monitored.

2. Description of the measuring site

The four turnouts monitored are located on a section of HS/HC railway line and are type S 60 UNI/400/0.074, that is, they have a simple turnout (S), a 60UNI rail type (with a linear weight of 60 kg per metre) and are characterised by a radius of 400 m and tangent of 0.074. In particular, the following turnouts were monitored with the purpose indicated above:

- Turnout "a": trailing the point, to exit the station and enter the down line of the HS line.
- Turnout "b": trailing the point, to exit the station and enter the up line of the HS line.
- Turnout "c": taking a set of facing points to enter from the up main track to the stabling track (no.1).
- Turnout "d": trailing the point to enter from the down main track (turnout 14) to the stabling track (no.1).

The generic diagram of the turnouts considered is shown in Fig. 1.

Si riporta nella Fig. 1 lo schema generico dei deviatori in oggetto.

Tre dei deviatori monitorati ("a", "b" e "c") sono attrezzati con sistema di manovra oleodinamica SO6 e primo punto di manovra in traversa (MOT) come visibile in Fig. 2, mentre il deviatoio "d" è attrezzato con manovra elettrica di tipo P80 (Fig. 3). Le misure sono state eseguite sia in corretto tracciato che in deviata, monitorando la risposta dell'infrastruttura alle sollecitazioni generate dal transito di diverse tipologie di treni ad alta velocità: ETR 1000, ETR 500, ETR AGV 675 e ETR AGV 575.

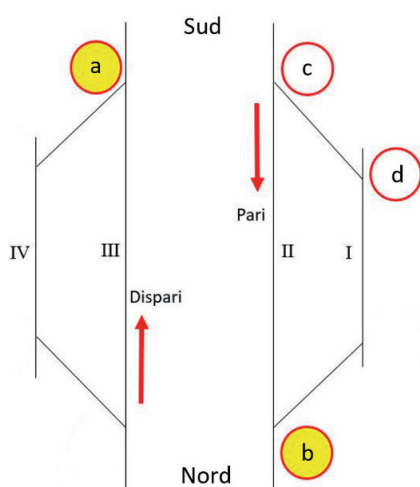


Figura 1 - Schema deviatori.
Figure 1 - Turnouts diagram.

3. Strumentazione tecnologica utilizzata

Uno dei punti di forza dei Laboratori di Ricerca e Sviluppo è l'uso di strumenti di misura ad alta precisione per l'acquisizione dei dati. Nel dettaglio, per monitorare il comportamento dinamico degli aghi e dei contraghi durante il passaggio dei treni, sono stati utilizzati:

1. accelerometri triassiali capaci di rilevare accelerazioni di aghi e contraghi nelle tre direzioni principali: longitudinale, trasversale e verticale e caratterizzati da sensibilità $1.02 \text{ mV}/(\text{m/s}^2)$, range di misura $\pm 4905 \text{ m/s}^2 \text{ pk}$ e range di frequenza ($\pm 5\%$) da 1 a 9000 Hz;
2. trasduttori di spostamento laser a triangolazione utilizzati per monitorare gli spostamenti verticali e trasversali degli aghi e dei contraghi. Questi trasduttori sono caratterizzati da un'elevata precisione, con una

Three of the monitored turnouts ("a", "b" and "c") are equipped with SO6 hydraulic actuated system and first sleeper actuating point (MOT) as shown in Fig. 2, while turnout "d" is equipped with type P80 electric actuator (Fig. 3). The measurements were carried out both on the main track and on the diverging track, monitoring the response of the infrastructure to the stresses generated by the transit of different types of high-speed trains: ETR 1000, ETR 500, ETR AGV 675 and ETR AGV 575.

3. Technological instrumentation used

One of the strengths of the Research and Development Laboratories is the use of high-precision measuring instruments for data acquisition. In detail, the following were used to monitor the dynamic behaviour of the switch blades and stock rails during the transit of the trains:

1. triaxial accelerometers capable of detecting accelerations of switch blades and stock rails in the three main directions: longitudinal, transverse and vertical and characterised by a sensitivity of $1.02 \text{ mV}/(\text{m/s}^2)$, a measurement range of $\pm 4905 \text{ m/s}^2 \text{ pk}$ and a frequency range ($\pm 5\%$) from 1 to 9000 Hz;
2. triangulation laser displacement transducers used to monitor the vertical and transverse displacements of the switch blades and stock rails. These transducers are characterised by high precision, with a linearity of $\pm 20 \mu\text{m}$ and a repeatability of up to $1 \mu\text{m}$;
3. data acquisition system consisting of a data acquisition device and two amplifiers, one for accelerometric signals and one for displacement signals.

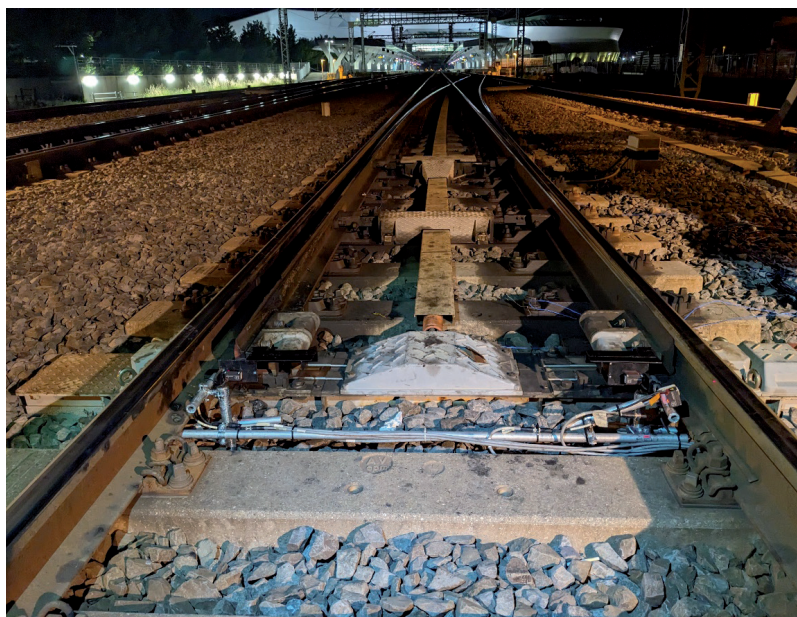


Figura 2 – Deviatoio strumentato e attrezzato con sistema di manovra MOT.
Figure 2 – Turnout instrumented and equipped with MOT manoeuvring system.

mento verticale dei contraghi in prossimità della punta (vedi Fig. 6b).

4. Metodologia di Acquisizione ed Elaborazione dei Dati

Il sistema di acquisizione è stato programmato per rilevare i dati con una frequenza di campionamento di 2400 Hz, utilizzando un filtro anti-aliasing passa-basso da 500 Hz. Le acquisizioni, aventi una durata di 40 secondi ognuna, sono attivate automaticamente al passaggio del treno mediante un trigger impostato al superamento di una soglia minima di accelerazione.

Per ogni deviatoio, il monitoraggio ha avuto una durata minima di 24 ore. Successivamente, per ogni singolo deviatoio e per tipologia di treno (ETR 1000, ETR 500, ETR AGV 675, ETR AGV 575) sono stati scelti dieci transiti, di cui cinque in corretto tracciato e cinque in deviata. La scelta è stata effettuata selezionando, tra tutti quelli acquisiti, i transiti con meno disturbi esterni del segnale. Successivamente, i dati grezzi registrati dal sistema di acquisizione sono stati elaborati per isolare l'evento del transito del treno, azzerando il segnale e rimuovendo eventuali disturbi esterni.

4.1. Elaborazione dei segnali accelerometrici.

Partendo dal dato grezzo, di cui si riporta una *time-history* di esempio in Fig. 7, i segnali accelerometrici sono stati processati con il duplice obiettivo di individuare sia il valore assoluto del picco del segnale grezzo sia il picco in RMS (*Root Mean Square*).

Per ogni segnale accelerometrico analizzato è stato calcolato il modulo, portando quindi la curva del segnale in positivo, ed individuato il picco di accelerazione assoluta (vedi Fig. 8).

Al fine di ottenere una curva che sia rappresentativa del valore medio del segnale, limitando l'influenza di eventuali picchi isolati ma non trascurando l'effetto di picchi ripetuti, è stato calcolato il valore quadratico medio mobile (RMS mobile) con finestra temporale e riduzione di 0.1 s, ritenuto più indicativo rispetto alla semplice media aritmetica.

Da questa curva, sono stati calcolati i picchi di RMS (vedi Fig. 9) utilizzati in fase di analisi come valori di confronto.

4.2. Elaborazione dei segnali di spostamento

I segnali acquisiti sono stati elaborati con il fine di identificare picchi po-

As summarised in Fig. 4 each turnout was set up with:

- a triaxial accelerometer on each pad of the first actuating point, to monitor accelerations on the point of the needles;
- two lasers for each switch blade, positioned at the point, to monitor their vertical and transverse displacement (see Fig. 5);
- a triaxial accelerometer on the stock rail and one on the curved switch blade, 3 m from the point (see Fig. 6a);
- two lasers to monitor the vertical displacement of the stock rails near the point (see Fig. 6b).

4. Data Acquisition and Processing Methodology

The acquisition system was programmed to detect data with a sampling frequency of 2400 Hz, using a 500 Hz low-pass anti-aliasing filter. The acquisitions, each lasting 40 seconds, are automatically activated when the train transits by means of a trigger set upon exceeding a minimum acceleration threshold.

For each turnout, the monitoring had a minimum duration of 24 hours. Subsequently, ten transits were chosen for each individual turnout and by type of train (ETR 1000, ETR 500, ETR AGV 675, ETR AGV 575), of which five on the main track and five on the diverging track. The choice was made by selecting the transits with the least external signal disturbances among all those acquired. Subsequently,



Figura 5 – Sensori laser per il monitoraggio degli spostamenti in punta
Figure 5 – Laser sensors for monitoring point movements.



Figura 6 – Accelerometri (6a) e sensori laser (6b) installati per il monitoraggio.
 Figure 6 – Accelerometers (6a) and laser sensors (6b) installed for monitoring.

sitivi e negativi rappresentativi di un movimento degli aghi e dei contraghi.

Per ogni singolo segnale di spostamento verticale e trasversale, di cui si riporta un esempio in Fig. 10, è stato calcolato:

- il picco di spostamento positivo, che:
 - per i laser verticali, indica uno spostamento verso l'alto dell'ago e/o del contrago;
 - per i laser trasversali, indica che l'ago si discosta dal contrago;
- il picco di spostamento negativo, che:
 - per i laser verticali, indica uno spostamento verso il basso dell'ago e/o del contrago;
 - per i laser trasversali, indica che l'ago si accosta al contrago.

5. Risultati delle Misurazioni

I dati raccolti durante il monitoraggio hanno fornito informazioni importanti sul comportamento dei deviatori sottoposti a diversi carichi dinamici.

5.1. Accelerazioni

Le misurazioni accelerometriche hanno mostrato che le accelerazioni verticali sono generalmente più alte rispetto a quelle trasversali e longitudinali, con picchi di intensità maggiore in corretto tracciato. Questo comportamento è correlato alla velocità dei treni e alle caratteristiche del corretto tracciato rispetto alla deviata. In generale, è emerso che i convogli più lunghi e con carico per asse maggiore, generano i picchi di accelerazione più alti sia in corretto tracciato che in deviata.

Nessuno dei valori di picco assoluto registrato supera il

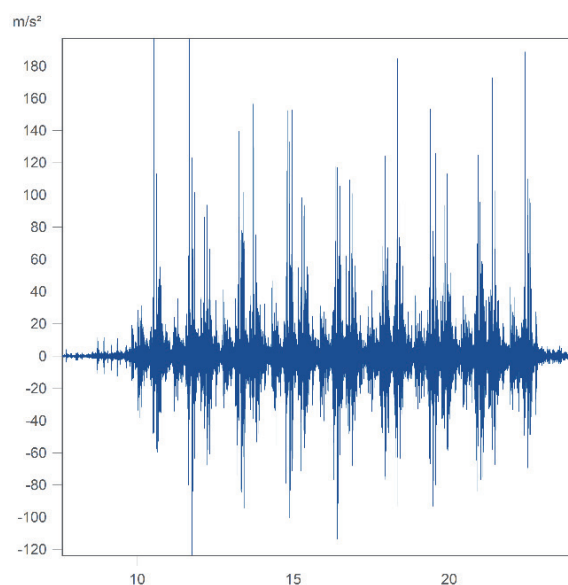


Figura 7 – Componente verticale del segnale accelerometrico nel tempo.

Figure 7 – Vertical component of the accelerometric signal over time.

the raw data recorded by the acquisition system was processed to isolate the train transit event, zeroing the signal and removing any external disturbances.

4.1. Processing of accelerometric signals.

Starting from the raw data, of which an example time-history is reported in Fig. 7, the accelerometric signals were processed with the dual objective of identifying both the

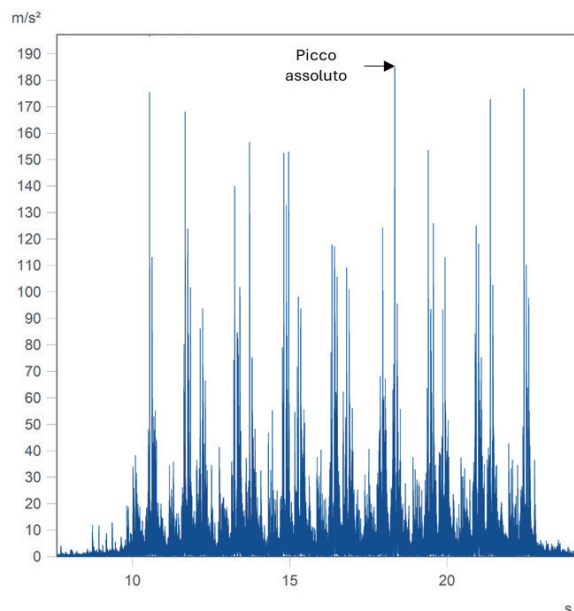


Figura 8 – Esempio di segnale per calcolo del picco di accelerazione massima assoluta

Figure 8 – Example of signal for calculation of the maximum absolute acceleration peak.

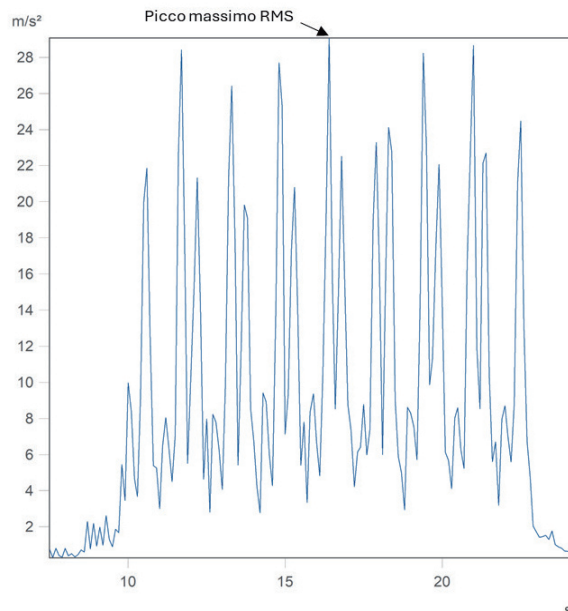


Figura 9 – Esempio di curva RMS da cui sono stati calcolati i picchi massimi di RMS.

Figure 9 – Example of RMS curve from which the maximum RMS peaks were calculated.

valore di riferimento per gli urti verticali riportati nella normativa CEI EN 50125-3:2004 [5] in cui si definiscono le condizioni ambientali che possono essere incontrate in linea.

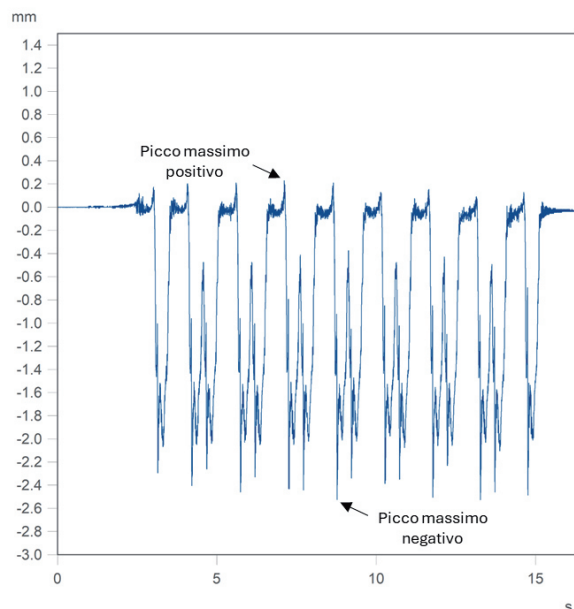


Figura 10 – Esempio della time-history di un segnale laser.

Figure 10 – Example of the time-history of a laser signal.

absolute value of the peak of the raw signal and the peak in RMS (Root Mean Square).

The modulus was calculated for each accelerometric signal analysed, thus bringing the signal curve to positive, and identifying the absolute acceleration peak (see Fig. 8).

In order to obtain a curve that is representative of the average value of the signal, limiting the influence of any isolated peaks but not neglecting the effect of repeated peaks, the moving mean square value (moving RMS) was calculated with time frame and reduction of 0.1 s, considered more indicative than the simple arithmetic average.

The RMS peaks (see Fig. 9) used in the analysis phase as comparison values were calculated from this curve.

4.2. Processing of displacement signals.

The acquired signals were processed in order to identify positive and negative peaks representative of a displacement of the switch blades and stock rails.

The following has been calculated for each individual vertical and transverse displacement signal, an example of which is given in Fig. 10:

- the positive displacement peak, which:
 - for vertical lasers, indicates an upward movement of the switch blade and/or stock rail;
 - for transverse lasers, indicates that the switch blade deviates from the stock rail;

5.2. Spostamenti

Gli spostamenti degli aghi e dei contraghi hanno rivelato alcune differenze nella risposta dell'infrastruttura al transito in corretto tracciato o in deviata. Nei grafici sottostanti si riportano mediante istogrammi, le medie degli spostamenti verticali e trasversali degli aghi accosti sia in corretto tracciato (Fig. 11 e Fig. 12) che in deviata (Fig. 13 e Fig. 14) e le medie degli spostamenti verticali dei contraghi per i quattro deviatori monitorati (Fig. 11, Fig. 12, Fig. 13 e Fig. 14). Da quanto osservato sperimentalmente, emerge che:

- in direzione trasversale, l'ago accosto in deviata si sposta di più rispetto a quando lo stesso deviatoio viene percorso in corretto tracciato, suggerendo una maggiore sollecitazione della struttura durante i transiti in deviata, conseguente anche alla geometria del tracciato;
- riguardo gli spostamenti in direzione verticale si può notare che, sebbene siano nell'ordine di pochi mm, la punta dell'ago accosto in deviata del deviatoio "a" si sposta verso l'alto circa tre volte in più rispetto a quanto avviene in corretto tracciato ed in generale, questo movimento risulta più marcato anche in confronto con gli altri due deviatori dotati dello stesso sistema di manovra oleodinamico (deviatoio "b" e deviatoio "c");
- il deviatoio "d", che viene percorso solamente in deviata, evidenzia nel complesso una mobilità maggiore rispetto agli altri deviatori.

6. Considerazioni emerse dall'analisi dei dati

Focalizzandoci sull'ago accosto in deviata, che è oggetto di attenzione maggiore a causa della sua usura precoce, i risultati sperimentali hanno evidenziato un comportamento differente tra i vari deviatori analizzati. Si ricorda che, mentre il deviatoio "d" ha un sistema di manovra di tipo P80, gli altri tre (deviatoio "a", "b" e "c") hanno sistema di manovra oleodinamica SO6 con primo punto di manovra in traversa (MOT). Inoltre, i deviatori "a" e "b" vengono impegnati di calcio, mentre il deviatoio "c" viene impegnato di punta. Tenendo conto di queste differenze emergono le seguenti osservazioni.

6.1. Comportamento del deviatoio "d"

Sebbene nel deviatoio "d" sono stati registrati spostamenti maggiori dell'ago accosto in deviata rispetto agli altri tre deviatori analizzati, probabilmente la differente architettura del sistema di manovra elettrico P80 è tale da generare una rigidità del sistema complessivo che sembra tollerare meglio movimenti più ampi senza degenerare in un'usura rapida ed eccessiva all'ago. Inoltre, c'è da considerare come variabile anche la rigidità della sottostruttura ferroviaria che può influenzare la risposta dinamica del deviatoio. Se il deviatoio "d" è installato su un'infrastruttura con una maggiore capacità di dissipare

- the negative displacement peak, which:
 - for vertical lasers, indicates a downward movement of the switch blade and/or stock rail;
 - for transverse lasers, indicates that the switch blade approaches the stock rail.

5. Results of measurements

The data collected during monitoring provided important information on the behaviour of turnouts subjected to different dynamic loads.

5.1. Accelerations

Accelerometric measurements showed that vertical accelerations are generally higher than transverse and longitudinal ones, with peaks of greater intensity in the main track. This behaviour is related to the speed of the trains and the characteristics of the main track compared to the diverted track. In general, it was found that longer convoys with greater axle load generate the highest acceleration peaks both on the main track and in diverted track.

None of the absolute peak values recorded exceeds the reference value for vertical impacts reported in the CEI EN 50125-3:2004, [5], which defines the environmental conditions that can be encountered online.

5.2. Displacements

The displacements of the switch blades and stock rails revealed some differences in the response of the infrastructure to transit in the main track or in diverted track. The graphs below show, by means of histograms, the averages of the vertical and transverse displacements of the curved switch blades both on the straight position (Fig. 11 and Fig. 12) and on the diverging position (Fig. 13 and Fig. 14) and the averages of the vertical displacements of the stock rails for the four monitored turnouts (Fig. 11, Fig. 12, Fig. 13 and Fig. 14). From what has been observed experimentally, it emerges that:

- in the transverse direction, the curved switch blade moves more than when the turnout itself is trailed in the straight position, suggesting greater stress on the structure during the diverging transits, also consequent to the geometry of the route;
- regarding the displacements in the vertical direction, it can be noted that, although they are in the order of a few mm, the toe of the curved switch blade of turnout "a" moves upwards about three times more than what occurs in the straight position and in general, this displacement is also more pronounced in comparison with the other two turnouts equipped with the same hydraulic actuated system (turnout "b" and turnout "c");
- turnout "d", which is only trailed in diverging position, overall shows greater mobility than the other turnouts.

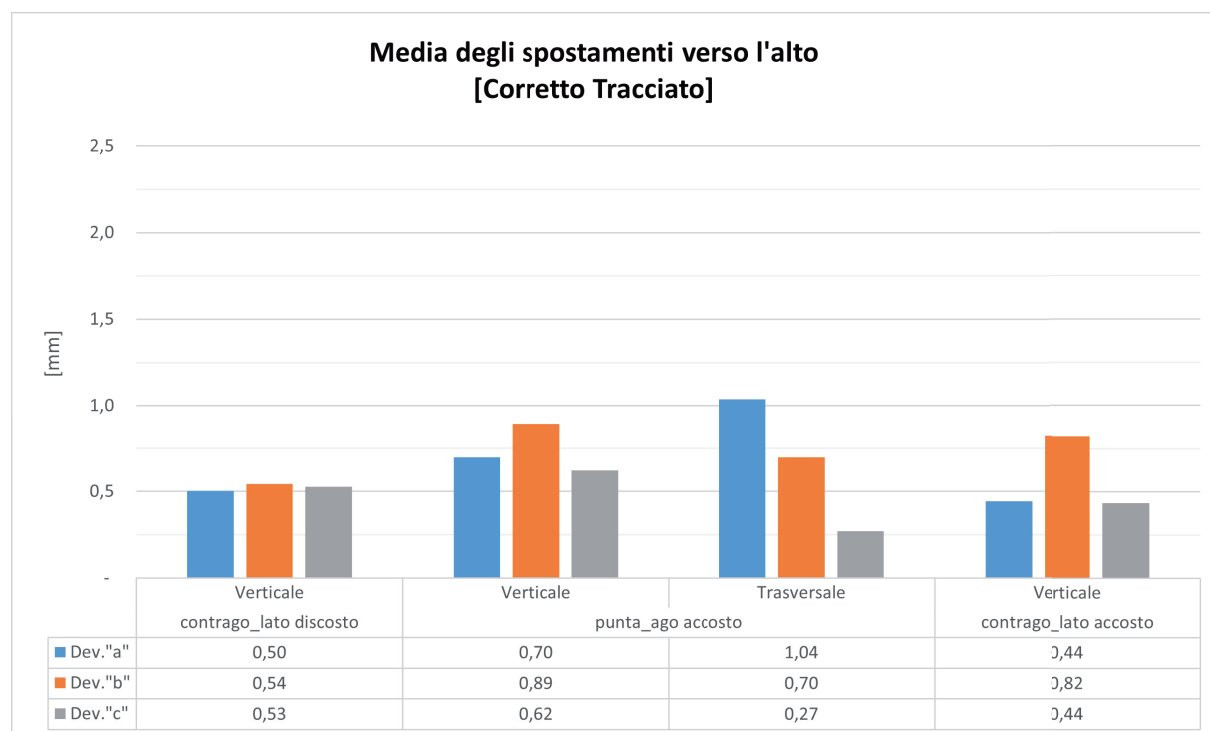


Figura 11 – Medie dei massimi spostamenti verso l'alto in corretto tracciato.
Figure 11 – Averages of the maximum upward movements in the straight position.

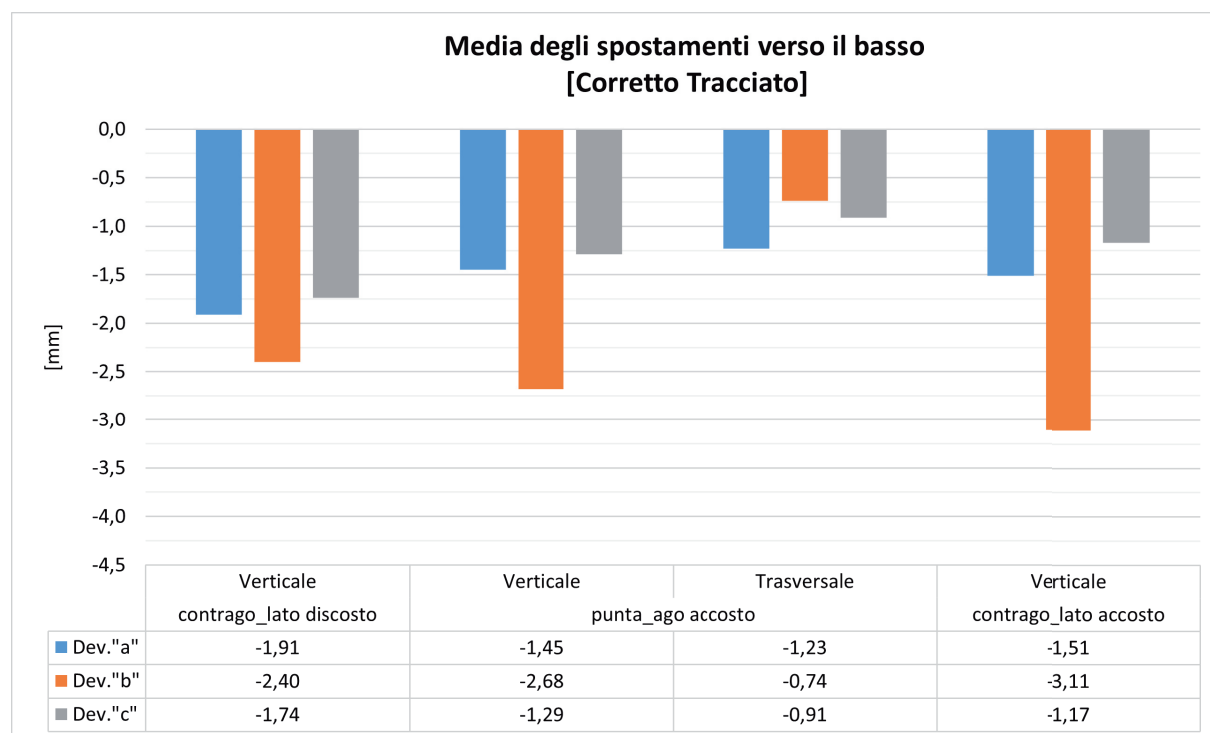


Figura 12 – Medie dei massimi spostamenti verso il basso in corretto tracciato.
Figure 12 – Averages of the maximum downward movements in the straight position.

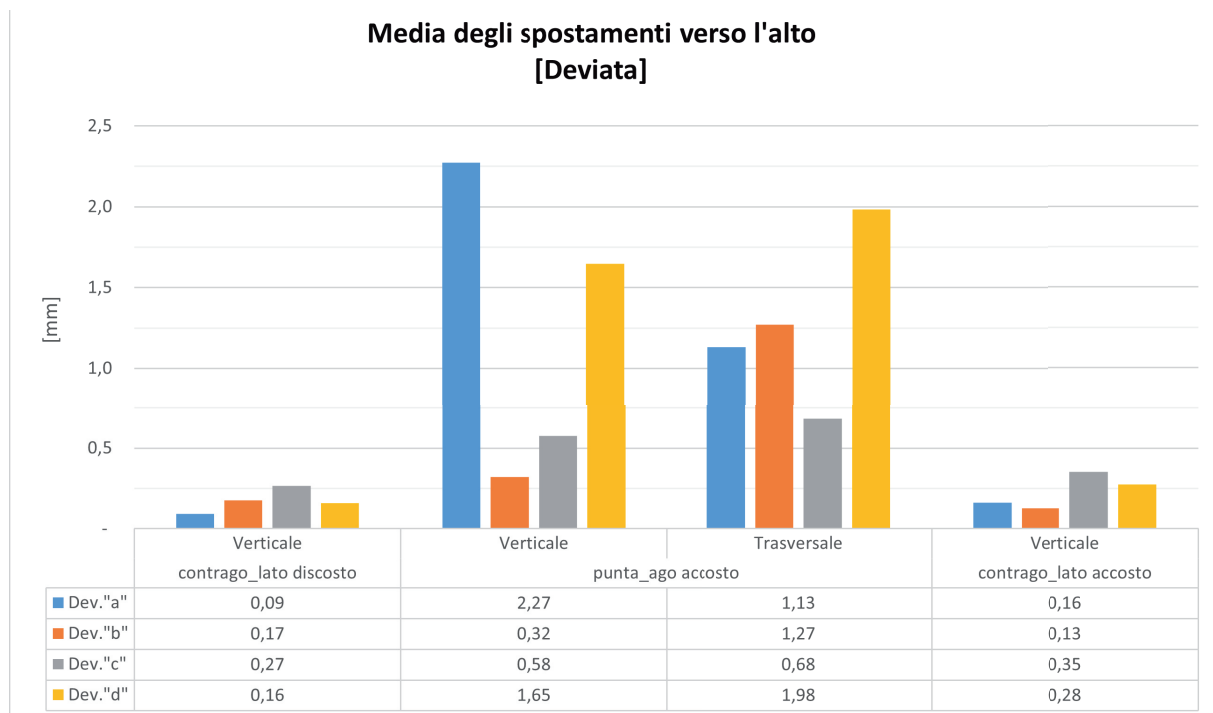


Figura 13 – Medie dei massimi spostamenti verso l'alto in deviata.
Figure 13 – Averages of the maximum upward movements in diverging position.

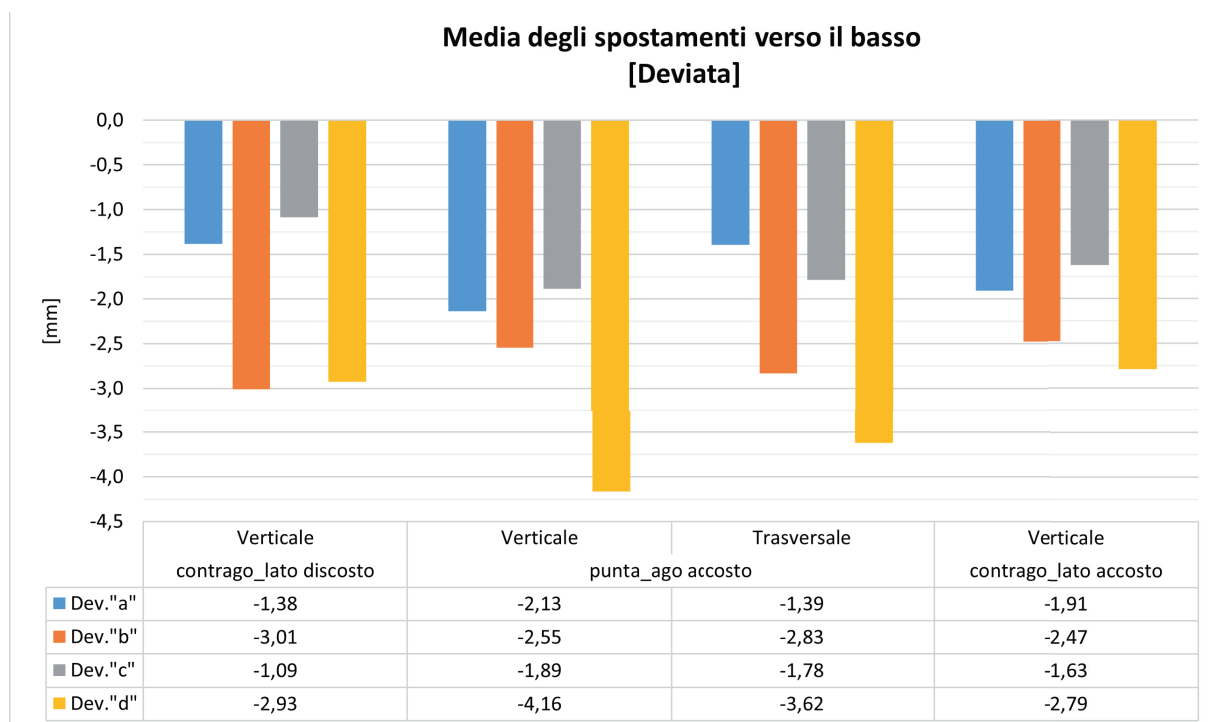


Figura 14 – Medie dei massimi spostamenti verso il basso in deviata.
Figure 14 – Averages of the maximum downward movements in diverging position.

le forze dinamiche, i movimenti più marcati non necessariamente sono la causa diretta di un'usura accelerata dell'ago. Per tale ragione, queste risultanze sperimentali possono essere utilizzate per mettere in relazione la risposta della sovrastruttura con le proprietà meccaniche della sottostruttura sottostante e quindi fornire informazioni ai manutentori sull'attività di rincalzatura.

6.2. Confronto tra deviatoio "a" ed il deviatoio "b"

Dei tre deviatoi con sistema di manovra oleodinamica SO6, ci si è concentrati sul confronto tra il comportamento dei deviatoi "a" e "b" in quanto, sebbene siano entrambi in uscita dai binari di stazionamento e vengono percorsi di calcio circa alla stessa velocità, mostrano un comportamento diverso.

Una delle osservazioni più rilevanti emerse dal monitoraggio riguarda il diverso comportamento della punta dell'ago accosto in deviata, che nel deviatoio "a" subisce spostamenti verso l'alto più importanti rispetto al deviatoio "b". In Fig. 15 si riporta, a titolo di esempio, un estratto della *time-history* degli spostamenti verticali dell'ago accosto in deviata al transito di un ETR 1000 sui deviatoi "a" e "b". Durante il transito in deviata del convoglio ferroviario, l'ago accosto tende ad alzarsi e contemporaneamente ad allontanarsi dal contrago prima che l'asse del carrello arrivi sulla punta del deviatoio, mentre al transito dell'asse sulla punta l'ago tende ad abbassarsi e ad accostarsi al contrago.

Si è osservato che questo comportamento si ripete per ogni carrello e per ogni tipologia di treno.

6.3. Sincronizzazione con la posizione del treno

Per comprendere il comportamento dell'ago durante il transito del treno, i dati di spostamento ottenuti dalla *time-history* sono stati correlati alla posizione degli assi. Per individuare la posizione esatta del treno nel momento in cui si registra l'innalzamento massimo della punta dell'ago accosto in deviata, si è calcolato:

- il tempo trascorso tra il picco dello spostamento verso l'alto dell'ago ed il transito dell'asse del carrello sulla punta (individuato nella *time-history* riportata in Fig. 15 come il picco di spostamento negativo);
- la velocità puntuale dei carrelli (noto il passo), al momento del transito sulla punta dell'ago.

L'analisi dei dati ha rivelato che i picchi di spostamento verticale dell'ago accosto in deviata si verificano quando gli assi del treno si trovano circa 1,90 m prima dalla punta. Per validare questa osservazione, sono stati analizzati i dati relativi a diverse tipologie di treni (ETR 1000, ETR 500, ETR AGV 575, ETR AGV 675) e si è notato che, indipendentemente da questa variabile, la *time-history* ha un comportamento simile, confermando la tendenza dell'ago accosto in deviata a raggiungere il picco di spostamento verticale quando l'asse del treno è situato a circa 1,90 m dalla punta.

6. Considerations arising from data analysis

Focusing on the curved switch blade, which is the subject of greater attention due to its premature wear, the experimental results showed a different behaviour between the various turnouts analysed. It should be remembered that, while turnout "d" has a P80 type actuating system, the other three (turnout "a", "b" and "c") have a SO6 hydraulic actuated system with first sleeper actuating point (MOT). Furthermore, turnouts "a" and "b" are trailing the point, while turnout "c" is taking a set of facing points. Taking these differences into account, the following observations emerge.

6.1. Behaviour of turnout "d"

Although in turnout "d" greater displacements of the curved switch blade have been recorded compared to the other three turnouts analysed, the different architecture of the P80 electrical actuating system is probably such as to generate rigidity of the overall system that seems to better tolerate broader movements without degenerating into rapid and excessive wear on the switch blade. Furthermore, the stiffness of the railway substructure that can affect the dynamic response of the turnout must also be considered as a variable. If turnout "d" is installed on an infrastructure with greater capacity to dissipate dynamic forces, the most pronounced movements are not necessarily the direct cause of accelerated switch blade wear. For this reason, these experimental results can be used to relate the response of the superstructure to the mechanical properties of the underlying substructure and thus provide information to maintainers on the tamping activity.

6.2. Comparison between turnout "a" and turnout "b"

Of the three turnouts with the SO6 hydraulic actuated system, the focus was on comparing the behaviour of turnouts "a" and "b" since they show a different behaviour, although they are both exiting the stabling tracks and are trailing the point at about the same speed.

One of the most important observations that emerged from the monitoring concerns the different behaviour of the toe of the curved switch blade, which in turnout "a" undergoes more important upward displacements than turnout "b". By way of example, Fig. 15 shows an extract of the time-history of the vertical displacements of the curved switch blade upon transit of an ETR 1000 on turnouts "a" and "b". During the transit on the diverging track of the railway convoy, the curved switch blade tends to rise and at the same time move away from the stock rail before the axis of the bogie arrives at the point of the turnout, while at the transit of the axis on the point the switch blade tends to lower and approach the stock rail.

It was observed that this behaviour is repeated for each bogie and for each type of train.

6.3. Synchronisation with the position of the train

To understand the behaviour of the switch blade during train transit, the displacement data obtained from the time-history was related to the position of the axes. To identify the exact

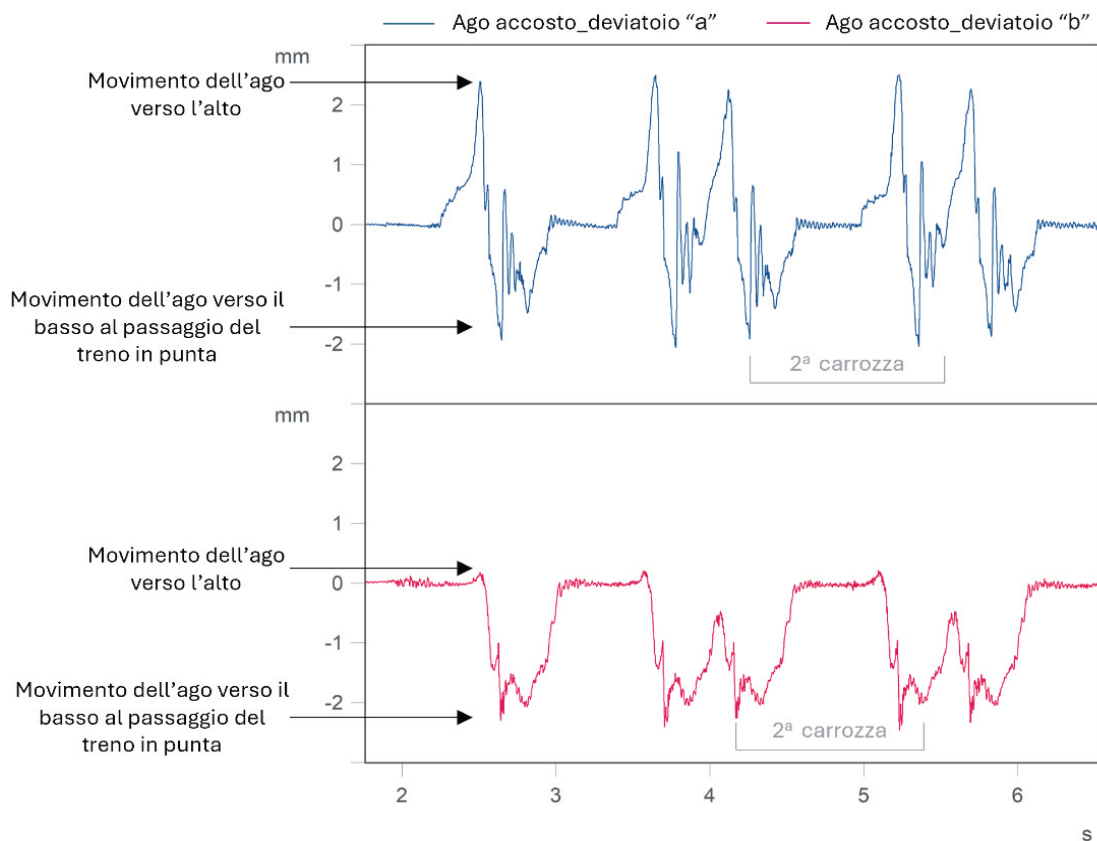


Figura 15 – Confronto spostamenti verticali in punta - ago accosto in deviata.
 Figure 15 – Comparison of vertical displacements at the point – curved switch blade.

7. Osservazioni finali

L'attività di monitoraggio, svolta con la finalità di supportare il committente nella valutazione degli interventi effettuati sull'infrastruttura, ha fornito informazioni in merito alle diverse risposte sotto carico delle due tipologie di deviatori studiati. Come evidenziato nel paragrafo 6.1, spostamenti maggiori non necessariamente sono sinonimo un'usura accelerata dell'ago, ma queste risultanze sperimentali possono essere utilizzate per relazionare la risposta di un certo tipo di sovrastruttura con la rigidità della sottostruttura ferroviaria. Queste informazioni potranno essere utilizzate dalle unità manutentive come indicazioni in merito all'efficacia delle azioni eseguite, fornendo evidenze utili all'ottimizzazione delle strategie manutentive future.

8. Sperimentazione in linea e modelli dinamici: un nuovo approccio alla manutenzione ferroviaria

La manutenzione dell'infrastruttura ferroviaria è un elemento cruciale per garantire efficienza, sicurezza e continu-

position of the train when the maximum elevation of the point of the curved switch blade is recorded, we calculated:

- the time elapsed between the peak of the switch blade upward displacement and the transit of the bogie axis on the point (identified in the time-history shown in Fig. 15 as the negative displacement peak);
- the punctual speed of the bogies (knowing the pitch), at the time of transit on the point of the switch blade.

The analysis of the data revealed that the vertical displacement peaks of the curved switch blade occur when the axes of the train are about 1.90 m before the point. To validate this observation, data relating to different types of trains were analysed (ETR 1000, ETR 500, ETR AGV 575, ETR AGV 675) and it was noted that, regardless of this variable, the time-history has a similar behaviour, confirming the trend of the curved switch blade to reach the vertical displacement peak when the train axis is located about 1.90 m from the point.

7. Final remarks

The monitoring activity, carried out with the aim of supporting the client in the evaluation of the interventions carried



(Fonte – Source: immagine generata con IA - image generated with AI)

Figura 16 – Un nuovo approccio alla manutenzione ferroviaria.
Figure 16 – A new approach to railway maintenance.

ità operativa del sistema ferroviario. Negli ultimi anni, l'uso dei treni diagnostici ha permesso di raccogliere una mole significativa di dati riguardanti lo stato della rete osservata “da bordo treno” [3]. Unire queste informazioni con i dati sperimentali raccolti mediante monitoraggi diretti sull'armamento ferroviario, con una visuale “da terra”, potrebbe consentire di studiare la risposta dei componenti dell'infrastruttura da una prospettiva complementare a quella tradizionale (vedi Fig. 16, riportata a solo scopo illustrativo). Utilizzare queste informazioni come input per analisi dinamiche realizzabili tramite modelli avanzati potrebbe portare alla definizione di un quadro complessivo e sinergico delle condizioni operative dell'infrastruttura, permettendo di pianificare interventi di manutenzione più mirati, riducendone tempi e costi.

L'esperienza acquisita dai Laboratori di Innovazione, Prove e Sperimentazioni di RFI in questo tipo di attività in linea costituisce una base solida per estendere questo nuovo approccio di monitoraggio ad altre tratte ferroviarie, contribuendo a ottimizzare le attività di manutenzione su scala nazionale.

out on the infrastructure, provided information on the different responses under load of the two types of turnouts studied. As highlighted in paragraph 7.1, greater displacements are not necessarily synonymous with accelerated switch blade wear, but these experimental results can be used to relate the response of a certain type of superstructure to the stiffness of the railway substructure. This information can be used by the maintenance units as an indication of the effectiveness of the actions performed, providing useful evidence for the optimisation of future maintenance strategies.

8. Online experimentation and dynamic models: a new approach to railway maintenance

The maintenance of the railway infrastructure is a crucial element to ensure the efficiency, safety and operational continuity of the railway system. In recent years, the use of diagnostic trains has allowed collecting a significant amount of data regarding the conditions of the network observed “from the train” [3]. Combining this information with experimental data collected through direct monitoring of railway equipment, with a “ground” view, could allow us to study the response of the infrastructure components from a perspective complementary to the traditional one (see Fig. 16, reported for illustrative purposes only). Using this information as input for dynamic analyses achievable through advanced models could lead to the definition of an overall and synergistic picture of the operating conditions of the infrastructure, allowing more targeted maintenance interventions to be planned, reducing time and costs.

The experience gained by RFI's Innovation, Testing and Experimentation Laboratories in this type of online activity provides a solid basis for extending this new monitoring approach to other railway sections, helping to optimise maintenance activities on a national scale.

BIBLIOGRAFIA - REFERENCES

- [1] G. BONO, C. FOCACCI, S. LANNI - *La Sovrastruttura Ferroviaria* - CIFI Editore
- [2] L. MAYER - *Impianti ferroviari. Tecnica ed esercizio* - CIFI Editore
- [3] V. FINZI - *Apparecchiature e impianti di sicurezza* - CIFI Editore
- [4] Rete Ferroviaria Italiana - *Istruzione per il Servizio dei Deviatori in uso sull'Infrastruttura Ferroviaria Nazionale*, su epodweb.rfi.it
- [5] CEI EN 50125-3:2004, Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane - Condizioni ambientali per le apparecchiature. Parte 3: Apparecchiature per il segnalamento e le telecomunicazioni