

## Monitoraggio

# Sistemi e servizi di **diagnostica** per l'**infrastruttura ferroviaria**

*Una rete di sensori collegati agli elementi dell'asset più critici, per un piano di digitalizzazione della rete e una manutenzione predittiva basate su modelli di Machine Learning e Deep Learning*

### **Vantaggi della diagnostica predittiva per infrastrutture resilienti e integrate**

L'infrastruttura ferroviaria è composta da tutti gli elementi funzionali alla circolazione dei treni: oo.cc., armamento, catenaria, impianti di segnalamento. Ciascun componente dell'infrastruttura esiste in diverse declinazioni, ma è sempre sottoposto a rigide regole di approvazione prima di essere messo in esercizio per garantire la sicurezza della circolazione. La garanzia del rispetto delle regole di sicurezza passa anche attraverso le procedure di manutenzione, soprattutto per alcuni punti critici dell'infrastruttura particolarmente esposti ad usura e che possono compromettere la sicurezza.

Un'infrastruttura resiliente deve essere in grado di ridurre al minimo il tempo di disservizio in caso di guasto. In un processo virtuoso di miglioramento continuo della resilienza dell'infrastruttura è necessario che sia definito un tessuto connettivo: un sistema di monitoraggio diffuso e affidabile che raccolga le informazioni in tempo reale e le elabori per consentire al gestore di fare scelte consapevoli e mirate.

Il monitoraggio è fondamentale per una manutenzione basata su modelli di predizione, disponendo di misure affidabili di grandezze fisiche, parametri e indicatori funzionali alla manutenzione. Grazie a queste grandezze è possibile costruire delle procedure basate su un approccio predittivo, evitando i guasti, intervenendo in tempo per eliminare fuori servizio e incidenti dovuti a degrado improvviso.

I sistemi di monitoraggio sono la sorgente dei dati necessari allo sviluppo di modelli di intelligenza artificiale a supporto della manutenzione di cui una infrastruttura resiliente deve disporre tramite misure accurate, verificate e affidabili.

### **I sistemi di monitoraggio**

Tra gli elementi dell'infrastruttura ferroviaria che richiedono particolare attenzione ci sono: i Si-

stemi di Segnalamento, gli impianti di Trazione Elettrica (le opere civili) e l'armamento. In tutti questi ambiti si possono realizzare progetti di manutenzione basati sulla raccolta e l'elaborazione di enormi insiemi di dati, sviluppando nuovi modelli finalizzati alla manutenzione predittiva. Questo immenso patrimonio di dati e informazioni è un elemento chiave per abilitare altre tecnologie di elaborazione ed integrazione dei dati fino a realizzare una diagnostica predittiva per l'intera rete.

Per disporre di dati affidabili è necessario pensare ad un sistema di misura diffuso e capillare, con costi e consumi contenuti, che non aumenti i costi di manutenzione riducendo gli interventi in campo. L'obiettivo deve essere il supporto alla manutenzione non il dirottamento delle loro risorse.

La realizzazione di un sistema di diagnostica ferroviario integrato è legato alla disponibilità di una infrastruttura di comunicazione.

Alcuni sistemi prevedono l'impiego delle fibre ottiche già posate per realizzare un sistema diagnostico completamente passivo che impieghi sensori in fibra ottica da installare sugli elementi chiave dell'asset. I sensori non richiedono alimentazione e la fibra ottica è parte stessa della rete di sensori che potrebbe essere attivata a grandi distanze da interrogatori laser, o tramite sistemi di monitoraggio distribuito che si basano su fenomeni fisici che avvengono durante la propagazione di un segnale ottico lungo la fibra stessa (Brillouin, Raman o Rayleigh).

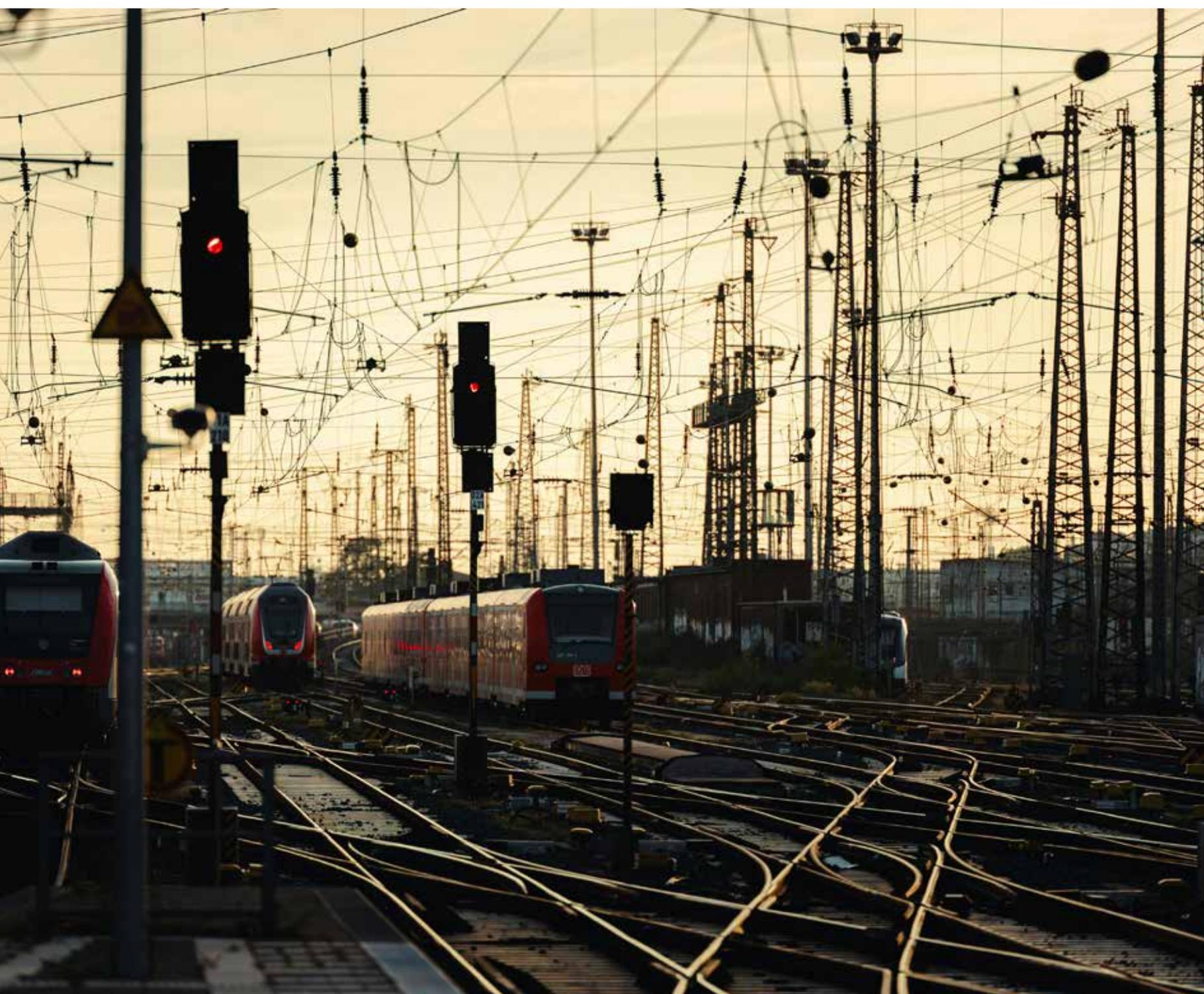
In alternativa altri sistemi prevedono l'impiego di sensori elettrici che consumano pochissimo e si alimentano con tecniche di Energy Harvesting sfruttando l'energia dissipata dal treno in transito.

Tutte queste soluzioni possono fornire misure di alta qualità e con continuità delle grandezze fisiche dello stato di salute di elementi critici dell'asset ferroviario, in modo da ridurre i costi di ciclo



**Mattia Baraldi**  
Vicepresidente  
ANIE ASSIFER

**Giancarlo Oddone**  
Caposettore  
Segnalamento & Tlc  
ANIE ASSIFER



di vita (LCC) estendendone la vita utile. La soluzione integrata di diagnostica e supervisione è dedicata alla manutenzione di tutti i sistemi installati nell'infrastruttura ferroviaria ed è protetta dai sistemi e dalle funzionalità di cybersecurity. Essa ha l'obiettivo di presentare in un formato standardizzato e unificato tutti i tipi di output generati dai sistemi di elaborazione dei dati (deterministici e predittivi) aggregandoli in modo funzionale per l'utilizzatore finale.

### **Sistemi di segnalamento**

I treni ad alta velocità sono macchine incredibilmente sofisticate e tecnologiche, in cui tantissimi dispositivi sono digitalizzati e connessi tra loro e si scambiano informazioni in tempo reale. Una complessità di dati e informazioni che inevitabilmente comporta la necessità di una altrettanto complessa struttura capace di interpretare quei dati in caso di guasti o malfunzionamenti. In passato individuare in modo rapido e preciso la

causa di guasto primaria a bordo treno era complicato e richiedeva tempi lunghi. Normalmente il fattore principale di malfunzionamento impatta altri componenti, che generano ulteriori anomalie che complicano la ricerca. Nelle società ferroviarie la diagnostica era un processo manuale, costoso e "time consuming" per l'elevata quantità ed eterogeneità di dati, senza procedure automatiche di analisi.

Questa è la cornice in cui è stato perfezionato un processo di diagnostica basato sull'intelligenza artificiale. Nel progetto i dati vengono collezionati a bordo treno e poi scaricati per analisi off-line. Vengono quindi trasmessi al sistema basato su intelligenza artificiale e valorizzati per una manutenzione programmata e correttiva in tempo reale. Sulla base delle anomalie riscontrate il sistema confronta e analizza i dati di diagnostica storici e coglie anche ulteriori connessioni non ancora note. Questi meccanismi integrati di analisi riescono a individuare velocemente le cause di guasto sul treno.

Il nuovo strumento viene utilizzato in due fasi: prima nell'ingegneria della manutenzione per addestrare il sistema e poi nella manutenzione vera e propria, con trasferimento delle relative competenze 4.0. Il risultato atteso è che, in caso di guasto nell'esercizio del treno, i tempi per intercettarlo siano più ridotti. E che si riducano anche i tempi di riparazione, creando meno interruzioni nella funzionalità del treno e quindi nel servizio al cliente. L'impatto è positivo a livello sociale ed ambientale.

Passando all'infrastruttura fisica, l'uso regolare della linea ferroviaria comporta che parti del binario si degradino, necessitando periodicamente di riparazioni, il che si traduce in viaggi poco comodi per i passeggeri, limiti di velocità e settimane di manutenzione.

Abitualmente i macchinisti segnalano i luoghi di "corsa irregolare", cui fa seguito un'ispezione manuale da parte delle squadre di manutenzione che percorrono il tracciato. Le più recenti applicazioni prevedono lo sviluppo di soluzioni digitali in grado di monitorare in tempo reale, e prevedere, sezioni di binario che richiedono manutenzione ed influiscono sulla qualità del viaggio.

L'apparecchiatura di monitoraggio è attualmente installata su alcune flotte di treni delle reti scozzesi. La soluzione automatizza le operazioni di monitoraggio e report, installando sensori con giroscopi e accelerometri, sia nelle carrozze sia sugli assi dei treni già in servizio passeggeri, essendo anche in grado di identificare l'inizio di deformazioni o modifiche al binario. Applicando strumenti analitici digitali, è anche possibile elaborare un quadro delle aree a rischio che richiederanno ispezione o manutenzione in futuro.

Gli avvisi di sicurezza su sezioni di binario comportano regolarmente settimane di limitazioni di velocità, che possono allungare i tempi di percorrenza dei passeggeri o addirittura ridurre gli orari. Identificare e risolvere i problemi prima che causino disagi ai passeggeri migliorerà l'affidabilità e ridurrà al minimo le interruzioni.

Una scarsa qualità di marcia sui binari può influire sulle prestazioni del treno. I dati raccolti possono aiutare ad identificare i treni che sono più inclini a una scarsa qualità di marcia su determinati tipi di binari. Questo a sua volta può aiutare a identificare dove può aver luogo la manutenzione preventiva sul treno per mantenere il comfort dei passeggeri.

Installando sensori digitali sui treni vengono offerti importanti vantaggi:

- ridurre i disagi per i passeggeri e migliorare la sicurezza
- ridurre il rischio per gli addetti alla manutenzione e i costi di manutenzione
- migliorare le prestazioni della rete e la qualità di marcia dei treni

Un ulteriore incentivo verso lo sviluppo di infrastrutture ferroviarie intelligenti, che si inserisce nella prospettiva ambiziosa di semplificare le tecnologie di terra e bordo per ottimizzare le operazioni ferroviarie, tagliando i costi di manutenzione e gestione e persino, attraverso l'analisi della customer experience con l'intelligenza artificiale, di progettare innovativi servizi di mobilità.

### Impianti di Trazione Elettrica

La catenaria è il sistema di distribuzione della potenza elettrica necessaria alla movimentazione dei treni. Le principali criticità della catenaria derivano dalle condizioni ambientali:

- Variazioni di temperatura su intervalli non previsti;
- Salti termici improvvisi collegati a condizioni di pressione e umidità che determinano fenomeni di gelicidio;

ma insorgono anche guasti per difetti meccanici dei componenti di sostegno che provocano la perdita delle condizioni geometriche necessarie alla corretta interazione tra pantografo e filo di contatto.

Ai guasti derivanti dal sistema TE si riconducono principalmente ritardi e perturbazioni della circolazione.

Per controllare in modo efficace i parametri geometrici della catenaria e i parametri fisici che garantiscono il corretto funzionamento del sistema TE i sensori in fibra ottica consentono di effettuare le misure direttamente sui conduttori sotto tensione, senza rischi di interferenze da campi elettromagnetici.

Uno degli strumenti di mitigazione del gelicidio





è stato presentato in forma di sperimentazione da RFI e si basa sul riscaldamento dei conduttori agendo sulle tensioni delle sottostazioni della tratta e determinando un flusso di carica che innesca l'effetto Joule. L'attivazione si deve realizzare solo in caso di necessità, serve quindi uno strumento di misura della temperatura dei conduttori per determinare l'inizio e la fine dell'intervento. Per realizzare questo strumento di misura sono stati impiegati sensori in fibra ottica basati su reticolo di Bragg installati direttamente sul filo di contatto.

Gli altri parametri fisici rilevanti per l'ottimizzazione della manutenzione della TE sono la forza di trazione meccanica (tensionatura) del filo e della fune che deve essere mantenuta costante a prescindere dalla temperatura dei conduttori e dell'ambiente circostante. Tale grandezza non deve cambiare anche in caso di usura dei conduttori, un sistema di monitoraggio intelligente dovrebbe essere in grado di integrare i diversi parametri fisici e ambientali per determinare se alcune sezioni o punti di regolazione automatica (in cui si realizza la tensione meccanica dei conduttori) richiedano interventi correttivi.

### Armamento

All'interno della rete ferroviaria, l'armamento è costituito dai binari, gli scambi e gli elementi su cui essi poggiano (ballast, cemento) e quanto li tiene nella posizione corretta (traverse, caviglie, etc.) per la movimentazione sicura del materiale rotabile. L'evoluzione tecnologica delle tecniche di costruzione del binario ha consentito di raggiungere velocità di percorrenza sempre maggiori senza rinunciare agli standard di sicurezza. Tale evoluzione passa attraverso la costruzione della Lunga Rotaia Saldata e la progressiva eliminazione di tutti gli elementi di discontinuità del binario che possono provocare instabilità nell'interazione tra convogli ad alta velocità e piano di rotolamento. La LRS è continuamente sollecitata dagli sforzi termici generati dalle variazioni di temperatura ambiente, oltre che dal transito dei convogli. Il monitoraggio della LRS avviene con procedure che prevedono la misura dello spostamento di punti di riferimento della rotaia per determinare la variazione di temperatura equivalente e pianificare eventuali interventi di manutenzione. Inoltre la temperatura della LRS viene costantemente monitorata da sistemi MTR (Misura Temperatura Rotaia) che consentono al gestore di intervenire sulla circolazione tramite dei rallentamenti in caso la temperatura superi delle soglie di guardia.

Anche i Giunti Isolanti Incollati (GII) e i deviatori (o scambi) sono elementi da monitorare per realizzare un'infrastruttura resiliente. I GII sono ele-



menti di discontinuità su cui i treni viaggiano ad alta velocità, questo determina l'innescò di condizioni critiche che possono portare alla rottura del giunto passando attraverso alcune fasi intermedie di guasto o anomalie che possono essere monitorate. Anche i deviatori sono elementi di discontinuità sia fisica che meccanica: il deviatore è realizzato da più leghe che si deformano diversamente con la temperatura. Se questi fenomeni non vengono monitorati e gli itinerari coinvolti non vengono impediti, si rischia di causare un deragliamento. Monitorare i GII e i deviatori significa avere a disposizione i dati che possano portare a prevedere la vita residua di un componente a partire dalle sue reali condizioni di esercizio nella località in cui è installato, significa quindi realizzare un modello che generalizzi il comportamento dell'elemento rispetto alle condizioni ambientali e alle condizioni di esercizio locali raccogliendo i dati da una grande varietà di siti per un periodo di tempo adeguato.

### Conclusioni

Il Gruppo FS identifica innovazione, digitalizzazione e connettività come fattori abilitanti del suo Piano Industriale 2022-2031. Obiettivi strategici sono il sostegno della trasformazione digitale di FS, per assicurare il completamento dei progetti Digital e presidiare le piattaforme digitali chiave con una forte attenzione alla cultura del dato a supporto delle decisioni, tra queste la Piattaforma "Resilience" per il monitoraggio delle infrastrutture stradali e ferroviarie.

L'AD di FS Ferraris ha, a tal proposito, recentemente ribadito la vision di FS in termini di «una

grande sfida culturale dinnanzi: coniugare la cultura del ferro con quella digitale», sottolineando come «Per un'azienda come la nostra l'utilizzo dell'intelligenza artificiale può essere un fattore vitale, ma questa tecnologia occorre guidarla e non subirla», definendo «L'intelligenza artificiale fattore vitale per le infrastrutture».

Condividendone la sensibilità il mondo industriale ritiene che la continua richiesta di incremento della capacità della rete ferroviaria debba essere implementata tramite l'aumento della velocità di percorrenza dei treni ed il miglioramento dell'efficienza dell'infrastruttura. La disponibilità di una rete di sensori collegati direttamente agli elementi dell'asset maggiormente sollecitati e più critici dal punto di vista del rischio, permette di definire un piano di digitalizzazione della rete e l'avvio di uno strategico sviluppo di procedure di manutenzione predittiva basate su modelli di Machine Learning e Deep Learning. Gli interventi lungo linea dovrebbero essere limitati rimandando all'ispezione visiva l'ultimo stadio di un processo di manutenzione più raffinato e capillare e di analisi delle misure che sfruttano modelli addestrati dagli stessi operatori della rete. L'addestramento dei modelli e la definizione della rete dei sensori sarà la chiave per la riuscita di una manutenzione che prevede l'evoluzione dei parametri fisici e identifica i punti critici che richiedono maggiori interventi.

Anche da questo passa il successo della nostra visione, per cui la ferrovia è la spina dorsale della mobilità futura in un contesto multi-modale in grado di risolvere le sfide chiave per la mobilità di domani. ■■