



Cosa si può fare affinché una misura sia sempre più utile?

What can be done to make a measurement more and more useful?

Giovanni MANNARA ^(*)

(<https://www.medra.org/servlet/view?lang=it&doi=10.57597/IF.10.2023.ART.2>)

Sommario - L'evoluzione della tecnologia elettronica nel campo dei sensori, ha comportato in tutti i settori un aumento incredibile della quantità di dati derivante da misure. Un problema che si è generato consiste nel fatto che spesso queste misure sono molto numerose e non immediatamente fruibili per un possibile utente, ma vanno elaborate per estrarre una sintesi delle informazioni in esse contenute. Allo scopo si è sviluppata una scienza, denominata "Data Science", dedicata alla identificazione delle possibili informazioni contenute nei dati ed alla creazione degli algoritmi matematici in grado di estrarre. Gli specialisti di questa scienza hanno in genere competenze prevalentemente nelle tecnologie impiegate per la misura e un po' meno nel dominio applicativo. Questo comporta che l'identificazione delle informazioni ottenibili può essere limitata e parziale. L'ideale sarebbe se ci fossero specialisti globali, ma questo è praticamente impossibile. Occorre allora creare un dialogo fra i "data scientists" e gli "esperti di dominio".

Tutto questo nel settore ferroviario poi è particolarmente complesso perché è un dominio molto ampio con problematiche molto diverse.

1. Introduzione

Nell'ambito dei sistemi ferroviari, la nostra attenzione è mirata in particolare al dominio che comprende l'interazione del treno in corsa con l'infrastruttura sulla quale viaggia. Questo dominio è centrale per il buon funzionamento del trasporto ferroviario ed è stato da sempre oggetto di particolari attenzioni da parte degli ingegneri ferroviari.

Oggi un treno in corsa non è più solo una "massa di ferro" che corre su un binario, ma è immerso in una quantità incredibile di dati generati da sensori (Fig. 1) ed ha sempre di più bisogno di una moderna cultura ferroviaria in grado non solo di estrarre informazioni, ma di trasformarle in informazioni fruibili.

Summary - The evolution of electronics technology in the field of sensors has led to an incredible increase of data from measurements in all sectors. One problem that has arisen is that these measurements are often very numerous and not immediately usable for a possible user, but must be processed to extract a synthesis of the information they contain. For this purpose, a science has been developed, called 'Data Science', which is dedicated to the identification of possible information contained in data, and the creation of mathematical algorithms capable of extracting it. Specialists in this science generally have expertise mainly in the technologies used for measurement and somewhat less in the application domain. This means that the identification of obtainable information can be limited and partial. Ideally, there should be global specialists, but this is practically impossible. It is therefore necessary to create a dialogue between 'data scientists' and 'domain experts'.

This is particularly complex in the railway sector because it is a very broad domain with very different problems.

1. Introduction

In the context of railway systems, our focus is in particular on the domain comprising the interaction of the running train with the infrastructure on which it travels. This domain is central to the smooth running of rail transport and has always been the subject of special attention by railway engineers.

Today, a running train is no longer just a 'mass of iron' running on a track, but is immersed in an incredible amount of data sensor generating (Fig. 1) and is increasingly in need of a modern railway culture capable not only of extracting information, but of transforming it into usable information.

This information can then be used during the train's journey and to carry out diagnostics to support train and infrastructure maintenance processes.

^(*) IVM S.r.l., Napoli.

^(*) IVM S.r.l., Naples.

Queste informazioni sono poi utilizzabili durante la corsa del treno e per effettuare diagnosi a supporto dei processi di manutenzione del treno e dell'infrastruttura.

L'interazione del treno con l'infrastruttura è stata da sempre oggetto di studi e ricerche finalizzate ad una maggiore conoscenza. Questa, insieme all'evoluzione tecnologica del treno e delle infrastrutture, ha permesso un notevole incremento delle caratteristiche operative del trasporto ferroviario in termini sia di quantità e velocità e sia di sicurezza di esercizio. Questo dominio merita poi una particolare attenzione proprio perché i detentori delle tecnologie di misura avendo compreso la sua centralità, si sono dedicati a sviluppare sistemi di misura finalizzati a creare un monitoraggio continuo e dettagliato attraverso il quale poter estrarre contenuti informativi destinati anche alla diagnostica. Questo ha determinato il fatto che sono disponibili notevoli quantità di dati che coprono molti aspetti dell'interazione del treno con l'infrastruttura.

Le tecnologie coinvolte nel processo di acquisizione dei dati si sono quindi sviluppate moltissimo, ma occorre ancora lavorare molto per la determinazione di:

- algoritmi per l'estrazione delle informazioni;
- modelli di fruizione delle informazioni.

Su entrambi i punti suddetti è assolutamente indispensabile la stretta collaborazione fra i *data scientists* e gli esperti di dominio.

Inoltre occorre considerare che la grande mole di dati e la sua analisi complessiva determina la possibilità di individuare anche informazioni del tutto nuove che non fanno ancora parte delle normali informazioni gestite nel mondo ferroviario. Questo comporta la necessità di individuare:

- le ulteriori informazioni estraibili e utilizzabili;
- le modalità con cui fare le sintesi, presentarle e definire la sequenza di utilizzo.

Questo ultimo punto implica determinare le nuove regole da adottare in funzione delle nuove informazioni ottenibili e questo avrà bisogno di sempre maggiore innovazione quanto maggiore è l'innovazione contenuta nell'informazione. Infatti oltre ad ottenere quelle informazioni alle quali siamo "abituati" e per le quali abbiamo quindi le idee chiare su come vanno utilizzate, occorre prevedere la possibilità di ottenere una quantità di altre informazioni "derivate" alle quali non siamo ancora abituati e per le quali occorre determinare le giuste "istruzioni" di utilizzo.



Figura 1 – Un treno oggi viaggia immerso nei dati ottenuti da sistemi di monitoraggio continuo.

Figure 1 – A train today travels immersed in data from continuous monitoring systems.

The interaction of the train with the infrastructure has always been the subject of studies and research aimed at increasing knowledge. This, together with the technological evolution of trains and infrastructures, has allowed a considerable increase in the operational characteristics of rail transport in terms of both quantity and speed and in terms of operational safety. In addition, this domain deserves special attention precisely because the holders of measurement technology, having understood its centrality, have dedicated themselves to developing measurement systems aimed at creating continuous and detailed monitoring through which information content can be extracted for diagnostics as well. This has led to the fact that considerable amounts of data are available covering many aspects of the train's interaction with the infrastructure. The technologies involved in the data acquisition process have therefore developed a great deal, but much work still needs to be done to determine:

- *algorithms for information extraction;*
- *information utilisation models.*

On both of these points, close collaboration between data scientists and domain experts is essential. In addition, it must be considered that the large amount of data and its overall analysis means that it is also possible to identify completely new information that is not yet part of the normal information handled in the railway world. This entails the need to identify:

- *the additional information that can be extracted and used;*

Possiamo affermare che esiste una categoria primaria di informazioni estraibili già presente nella normale gestione del sistema ferroviario ed una categoria secondaria che non solo va identificata, ma per la quale occorre anche definire i limiti entro cui si deve fare qualcosa e per ciascuno di essi cosa si deve fare.

Questo significa da parte degli esperti di dominio innovare anche i processi decisionali derivanti dall'utilizzo delle informazioni e renderli compatibili con le problematiche di gestione.

Questo potrà significare che la misura diventi sempre più utile!

2. C'era una volta il galleggiante

Prima dell'uso intensivo della sensoristica elettronica nelle automobili nel serbatoio della benzina c'era un semplice galleggiante che, collegato ad un indicatore analogico (Fig. 2), ci informava sulla quantità di carburante presente; ed era questa la sola informazione fruibile per il guidatore ed era anche la sola informazione desiderata.

Oggi nelle nostre automobili quell'indicatore con l'introduzione di altri sensori e con l'evoluzione della tecnologia ci mostra molto di più (consumi istantanei, medi, rendimenti, percorrenza residua, ecc.) e molto potrebbe ancora indicarci, ma un problema che potrebbe emergere si potrebbe sintetizzare nelle seguenti domande: quale utilità per l'automobilista potrebbe derivare da queste ulteriori informazioni? Come potrei utilizzarle per guidare meglio e utilizzare meglio l'automobile?

Per rispondere a queste domande è necessaria innanzitutto una intensa interazione fra chi sviluppa la tecnologia di misura e chi deve utilizzare queste misure per identificare le più idonee informazioni estraibili. Successivamente occorre fare in modo che il guidatore sia pronto ad utilizzare le ulteriori nuove informazioni ovvero sappia cosa farsene e sia consapevole di queste possibilità. Sono due processi non semplici e non immediati perché non sono dipendenti solo dalla tecnologia, ma dipendono dal coinvolgimento e dall'evoluzione degli utilizzatori. Questi processi sono tuttavia fondamentali per fare in modo che una misura possa diventare sempre più utile!

3. L'interazione del treno con l'infrastruttura

Abbiamo accennato al fatto che vogliamo occuparci dell'interazione del treno con l'infrastruttura. Allo sco-

- mode to summaries information, present them and define their sequence of use.

This last point implies determining the new rules to be adopted as a function of the new information that can be obtained, and this will need more and more innovation the more innovation is contained in the information. In addition to obtaining information we are 'used to get' and for which we therefore have clear ideas on how to use it, it is necessary to envisage the possibility of obtaining a quantity of other 'derived' information to which we are not yet accustomed and for which we need to determine the right 'instructions' of use. We can say that there is a primary category of extractable information that is already present in the normal management of the railway system and a secondary category that not only has to be identified, but for which the limits within which something must be done and for each of them what must be done must also be defined. On the part of the domain experts, this also means innovating the decision-making processes arising from the use of information and making them compatible with management issues. This may mean that measurement becomes more and more useful!

2. Once upon a time, there was a float

Before the intensive use of electronic sensors in cars, there was a simple float in the petrol tank which, connected to an analogue indicator (Fig. 2), informed us of the amount of fuel present; and this was the only information the driver could use, and it was also the only information he wanted.

Today in our cars, that indicator, with the introduction of other sensors and the evolution of technology, shows us



Figura 2 – L'indicatore della benzina su un'automobile.

Figure 2 – The petrol gauge on a car.

po consideriamo le misure spesso già disponibili e che in un prossimo futuro potrebbero essere sempre presenti per monitorare la corsa del treno:

- geometria delle ruote;
- carichi verticali;
- boccole calde;
- stato della linea di contatto e interazione con il pantografo;
- stato del binario e interazione con i carrelli;
- dinamica di marcia del treno;
- stato dell'infrastruttura civile;
- *early warning* ambientale (frane, terremoti, eventi calamitosi, pioggia).

Queste misure possono essere eseguite a terra attrezzando opportuni portali che effettuano le misure al passaggio del treno oppure possono essere eseguite da bordo attrezzando in alcuni casi opportuni treni diagnostici, in altri casi attrezzando i normali treni di linea.

Sull'argomento c'è da tempo un'intensa attività di ricerca nel mondo, in particolare il progetto Assets4Rail [1], finanziato con fondi UE, sperimenta le tecnologie di monitoraggio più avanzate per gli asset ferroviari.

Le tecnologie che possono essere impiegate vanno sotto i nomi di: IoT, *big data*, AI, *expert system*, Lidar, infrarosso, telecamere ad alta risoluzione, laser, diagnostica predittiva, ecc.

I dati acquisiti possono essere trasferiti:

- in tempo reale;
- in differita.

Le decisioni conseguenti avvengono in genere nelle sale di controllo e solo in alcuni casi avvengono in tempo reale.

Geometria delle ruote

Esistono sistemi installati sulle rotaie, in grado di misurare la geometria delle ruote durante il transito sulle rotaie. Sono basati su telecamere ad alta risoluzione nel visibile integrate da una illuminazione con un raggio laser proiettato sulla superficie della ruota. Generalmente hanno un range di velocità di transito preferenziale.

Carichi verticali

Come è noto ciascuna ruota durante la corsa trasmette sulla rotaia una forza data dalla somma di:

- forza peso del rotabile e del carico trasportato;
- forze di inerzia dovute alla dinamica globale delle masse del veicolo;
- forze di inerzia, tipicamente impulsive, dovute a difettosità sulla superficie di rotolamento.

Durante il rotolamento di ciascuna ruota, questa forza totale genera sulla rotaia una deformazione. Utilizzando una opportuna sensoristica è possibile misurare questa

much more (instantaneous consumption, average consumption, yields, remaining mileage, etc.) and much more could still be indicated to us. However, a problem that could emerge could be summarised in the following questions: what usefulness for the driver could be derived from this additional information? How could I use it to drive and use the car better? To answer these questions, intensive interaction is first required between those who develop the measurement technology and those who have to use these measurements in order to identify the most suitable information that can be extracted.

Next, it must be ensured that the driver is ready to use the additional new information, i.e. knows what to do with it and is aware of these possibilities. These are two processes that are not simple and not immediate because they are not only dependent on technology, but depend on user involvement and evolution. However, these processes are crucial to ensure that a measure can become more and more useful!

3. The interaction of the train with the infrastructure

We have mentioned that we want to talk about the interaction between the train with the infrastructure. For this purpose, we consider the measures that are often already available and that in the near future may always be present to monitor the train's travel:

- *wheel geometry*;
- *vertical loads*;
- *hot boxes*;
- *status of contact line and interaction with the pantograph*;
- *track condition and interaction with bogies*;
- *train running dynamics*;
- *civil infrastructure status*;
- *environmental early warning (landslides, earthquakes, calamitous events, rain)*.

These measurements can be performed on the ground by equipping appropriate portals that take measurements as the train passes, or they can be performed from on-board by equipping appropriate diagnostic trains in some cases, in other cases by equipping normal line trains.

There has been intense research activity on the subject for some time in the world, in particular the Assets4Rail project [1], financed with EU funds, experiments with the most advanced monitoring technologies for railway assets.

*The technologies that can be deployed go by the names of: IoT, *big data*, AI, *expert system*, Lidar, infrared, high-resolution cameras, lasers, predictive diagnostics, etc. The data acquired can be transferred:*

- *in real time*;
- *deferred*.

The resulting decisions generally take place in control rooms and only in some cases are they made in real time.

deformazione e attraverso alcuni modelli è possibile risalire alla forza che l'ha generata.

Anche in questo caso questi sistemi sono influenzati dalla velocità di transito e lavorano meglio in un certo intervallo di velocità. Queste misure sono ben regolamentate da norme Europee molto recenti [2].

In generale si associa la misura ad alcuni valori di soglia per determinare le azioni conseguenti. È bene considerare tuttavia che queste misure possono essere disturbate da molti fattori (ad es. cedimento del ballast) e alcuni sistemi utilizzano tecniche di IA per effettuare correzioni [3][4][5].

Boccole calde

Quando è presente una usura nelle boccole nelle quali sono calettati gli assili, il rotolamento delle ruote, a causa della presenza di attriti, determina forti riscaldamenti che oltre un certo valore indicano il degrado del cuscinetto montato all'interno della boccola.

Applicando in prossimità della rotaia dei sensori in grado di rilevare la conseguente radiazione infrarossa emessa dal metallo riscaldato, è possibile ricavare la temperatura della superficie della boccola.

Questa misura è abbastanza stabile ed affidabile perché è poco influenzata da altri fattori tipo la velocità di transito o le condizioni del binario. Inoltre si va sempre più diffondendo l'utilizzo di boccole già dotate di sensori di temperatura così da monitorare con continuità lo stato dei cuscinetti.

L'utilizzo di una logica di intervento basata su valori di soglia appare molto efficace.

Geometria della linea di contatto

La progettazione della linea di contatto prevede una ottimizzazione di vari parametri geometrici. La manutenzione può trarre beneficio dal monitoraggio di questi parametri geometrici ed allo scopo sono stati realizzati diversi sistemi in grado di effettuare queste misure sia da bordo di treni diagnostici dedicati e sia da bordo di normali treni di linea. Nel primo caso le misure possono essere eseguite in condizioni di pantografo sollevato o meno. Questi sistemi appaiono di grande importanza per assicurare la continuità dell'esercizio perché consentono di individuare condizioni di usura anomale.

Stato del binario e interazione con i carrelli – Dinamica di marcia del treno

Lo stato del binario può essere monitorato con sistemi installati a bordo di treni diagnostici dedicati o di normali treni di linea. Essi generalmente misurano la geometria del binario [6] attraverso misure ottiche e l'interazione fra il binario e i carrelli del rotabile attraverso la misura delle

Wheel Geometry

There are systems installed on the rails that can measure the geometry of the wheels as they pass over the rails. They are based on high-resolution cameras in the visible, supplemented by illumination with a laser beam projected onto the wheel surface. They generally have an optimal transit speed range.

Vertical loads

As is well known, each wheel during travel transmits a force to the rail given by the sum of:

- *weight force of the rolling stock and the transported load;*
- *inertia forces due to the overall dynamics of the vehicle masses;*
- *inertia forces, typically impulsive, caused by rolling surface defects.*

As each wheel rolls, this total force generates a deformation on the rail. Using suitable sensors, this deformation can be measured and through certain models, the force that generated it can be traced.

In this case too, these systems are influenced by the transit speed and work best in a certain speed range. These measures are well regulated by very recent European standards [2].

In general, one associates the measurement with certain threshold values to determine the resulting actions. However, it should be considered that these measurements can be disturbed by many factors (e.g. ballast failure) and some systems use AI techniques to make corrections [3][4][5].

Hot boxes

When there is wear in the axle-bearing in which the axles are placed, the rolling of the wheels, due to the presence of friction, leads to strong heating which, above a certain value, indicates the degradation of the bearing mounted inside the bushing.

By applying sensors close to the rail that can detect the resulting infrared radiation emitted by the heated metal, it is possible to derive the axle-bearing's surface temperature.

This measurement is quite stable and reliable because it is little affected by other factors such as transit speed or track conditions. In addition, the use of axle bearing already equipped with temperature sensors is becoming increasingly popular, so that the state of the axle-bearing can be continuously monitored.

The use of intervention logic based on threshold values appears to be very effective.

Overhead contact line geometry

Overhead contact line design involves the optimisation of various geometric parameters. Maintenance can benefit

accelerazioni prodotte. Le misure di geometria avvengono attraverso piattaforme inerziali installate sui carrelli e con l'impiego combinato di telecamere ottiche e illuminazione laser. Le misure di accelerazione sono generalmente eseguite in corrispondenza delle boccole di ciascuna ruota, sul telaio del carrello e in cassa. Queste misure di accelerazione nella direzione dei tre assi lineari e rotazionali e intorno ad essi possono essere integrate per fornire indicazioni anche sulla dinamica di marcia.

Stato dell'infrastruttura civile

Le infrastrutture civili dedicate ai trasporti sono sempre di più accompagnate da sistemi di monitoraggio orientati alla diagnostica a scopo di sicurezza e di manutenzione.

Una importante differenza fra il trasporto automobilistico e quello ferroviario risiede nel fatto che per il secondo è possibile anche associare la sollecitazione agente al passaggio del treno e quindi correlarla alle misure sull'infrastruttura. Quando furono realizzate le opere per l'Alta Velocità Napoli-Milano il progetto prevedeva un avanzato sistema di monitoraggio che fu parzialmente utilizzato anche durante i lavori con l'ulteriore scopo di ottenere informazioni sull'interazione che le opere stesse avevano con i terreni circostanti. Si pensi solo alle gallerie nel tratto appenninico fra Toscana ed Emilia che attraversano terreni complessi e fortemente instabili. Allo scopo furono installati durante la realizzazione delle opere migliaia di sensori per il monitoraggio di deformazioni, spostamenti, stati tensionali, interazione con i terreni ed altro. I dati venivano trasmessi a centri di raccolta attraverso linee dedicate che costituivano una dorsale di collegamento lungo tutta l'AV.

Early warning ambientale - (frane, terremoti, eventi calamitosi, pioggia)

I sistemi di *Early Warning* [7][8] sono sistemi orientati a seguire l'evoluzione di fenomeni ambientali critici con lo scopo di generare allerta nelle zone potenzialmente interessate alle conseguenze di questi fenomeni. Nel caso di una linea ferroviaria esiste l'ulteriore complicazione che il treno è in movimento e possono esserci diversi treni sulla linea interessata dai suddetti fenomeni ambientali.

Ovviamente l'aspetto più importante per questi sistemi consiste nel riuscire ad allertare con un tempo di preavviso sufficientemente lungo per permettere la messa in sicurezza del treno e quindi delle persone.

Pertanto una differenza significativa fra questi sistemi consiste nella capacità di prevedere, laddove possibile, sia l'insorgere dei fenomeni ambientali pericolosi e sia la loro evoluzione.

A riguardo due casi che possono essere considerati estremi sono le paleofrane e i terremoti.

Nel primo caso infatti il fenomeno è costantemente in

from the monitoring of these geometric parameters, and for this purpose several systems have been developed that are capable of carrying out these measurements both from aboard dedicated diagnostic trains and from aboard normal line trains. In the former case, the measurements can be carried out with or without the pantograph raised. These systems appear to be of great importance to ensure the continuity of operations because they allow abnormal wear conditions to be detected.

Track condition and interaction with bogies - Train running dynamics

Track condition can be monitored with systems installed on board dedicated diagnostic trains or normal line trains. They generally measure track geometry [6] through optical measurements and the interaction between the track and the rolling stock bogies by measuring the accelerations produced. The geometry measurements take place through inertial platforms installed on the bogies and with the combined use of optical cameras and laser illumination. Acceleration measurements are generally performed at the bushings of each wheel, on the bogie frame or in the body. These acceleration measurements in the direction of the three linear and rotational axes and around them can also be integrated to provide information on driving dynamics.

State of the civil infrastructure

Civil infrastructures dedicated to transport are increasingly accompanied by diagnostic-oriented monitoring systems for safety and maintenance purposes. An important difference between road and rail transport lies in the fact that for the latter it is also possible to associate the stress acting on the passage of the train and thus relate it to the measurements on the infrastructure. When the works for the Naples-Milan high-speed railway were built, the project included an advanced monitoring system that was also partially used during the works with the additional purpose of obtaining information on the interaction of the works with the surrounding terrain. Just think of the tunnels in the Apennine section between Tuscany and Emilia that pass through complex and highly unstable terrain. For this purpose, thousands of sensors were installed during the construction of the works to monitor deformations, displacements, tension states, interaction with the terrain and more. The data were transmitted to collection centres through dedicated lines that formed a backbone connection along the entire HS.

Environmental Early Warning - (landslides, earthquakes, calamitous events, rain)

Early Warning systems [7][8] are systems oriented to follow the evolution of critical environmental phenomena with the aim of generating alerts in areas potentially affected by the

atto da tempi molto lunghi ed occorre prevalentemente monitorarne l'evoluzione per capire quando può diventare pericoloso per la linea ferroviaria, nel secondo caso non è possibile prevedere l'insorgere di un sisma, ma può essere relativamente semplice modellare la possibile propagazione e prevedere un'allerta così come sinteticamente illustrato in Fig. 3. Un problema si pone nel caso di treni AV per i quali sono necessari tempi e spazi di frenata molto lunghi e in alcuni casi incompatibili con i tempi di propagazione dell'onda sismica.

Esistono poi tutti i fenomeni ambientali collegati alle forti e improvvise precipitazioni che stanno diventando sempre più attuali e collegate ai cambiamenti climatici. In questi casi esistono le possibilità di monitoraggio e si stanno studiando modelli previsionali per prevederne l'evoluzione, ma le forti instabilità ne rendono difficile l'applicazione.

In tutti i casi suddetti i sistemi di misura sono in linea di principio adeguati ad ottenere un monitoraggio accurato, ma i modelli previsionali richiedono complesse elaborazioni e significative specializzazioni per adattarli al dominio ferroviario. In tutti questi casi occorre un notevole lavoro per estrarre il contenuto informativo di interesse e per utilizzarlo al meglio.

4. Una quantità di dati "che voi umani"

Un sensore, anche semplicemente puntuale, produce una quantità di dati nel tempo, ad esempio in un secondo, paragonabile al numero di caratteri presenti in una pagina di questa rivista. La considerazione che per un qualsiasi sensore per immagini questo numero va moltiplicato per varie decine di migliaia e che possono essere presenti decine e forse centinaia di questi sensori, ha indotto alla parafrasi della famosa frase del film *Blade Runner* ".....ho viste cose che voi umani non potreste immaginarvi...".

Questo rappresenta un problema proprio perché il decisore umano non può gestire questi dati ed ha assoluto bisogno del supporto informatico in grado di eseguire una sintesi.

Occorre quindi chiedersi:

- quali sono le informazioni presenti nei dati?
- Come estraggo queste informazioni?
- Posso renderle fruibili attraverso una sintesi o altro?
- Quali regole deve utilizzare l'utente in base alle informazioni ricevute?

consequences of these phenomena. In the case of a railway line, there is the added complication that the train is in motion and there may be several trains on the line affected by the aforementioned environmental phenomena. Obviously, the most important aspect for these systems is to be able to alert with a sufficiently long warning time to allow the train, and therefore people, to be put in safety. Therefore, a significant difference between these systems consists in the ability to foresee, where possible, both the onset of dangerous environmental phenomena and their evolution. In this regard, two cases that can be considered extreme are paleo lands and earthquakes. In the first case, in fact, the phenomenon has been ongoing for a very long time and it is mainly necessary to monitor its evolution in order to understand when it may become dangerous for the railway line; in the second case, it is not possible to predict the onset of an earthquake, but it may be relatively simple to model the possible propagation and foresee a warning as briefly illustrated in Fig. 3. A problem arises in the case of HS trains, for which very long braking times and spaces are necessary and in some cases incompatible with the propagation times of the seismic wave.

Then there are all the environmental phenomena related to heavy and sudden rainfall that are becoming increasingly topical and linked to climate change. In these cases, monitoring possibilities exist and forecasting models are being studied to predict their evolution, but the strong instabilities make their application difficult. In all the above cases, measurement systems are in principle adequate for accurate

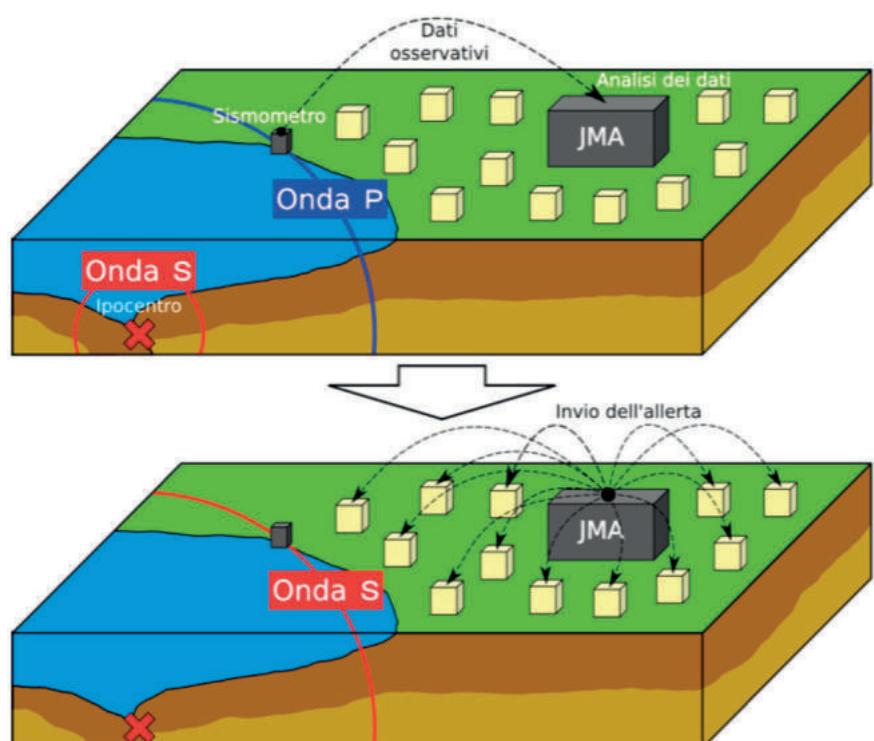


Figura 3 – Logica di funzionamento per un sistema di allerta sismica.
Figure 3 – Operating logic for a seismic alert system.

4.1. La logica a soglia

La logica più semplice da utilizzare per fruire dei dati acquisiti consiste in:

- associare un sensore e i dati da esso generati ad uno stato del sistema monitorato;
- stabilire delle soglie del valore dei dati da associare a determinati interventi da effettuare.

I limiti di questa logica sono:

- un solo parametro potrebbe non essere sempre associato in maniera biunivoca allo stato del sistema monitorato;
- le soglie stabilite in un caso potrebbero essere difficilmente generalizzabili.

Una logica più complessa può prevedere l'utilizzo di più sensori e di un algoritmo di elaborazione dei dati in grado di calcolare un parametro di sintesi che meglio sia associabile allo stato del sistema che interessa monitorare. Se si verificano alcune ipotesi questo parametro può essere determinato con elevata frequenza nel tempo così da poter ottenere un andamento e da poter definire le decisioni in funzione di tale andamento. Il limite maggiore consiste proprio nella corrispondente complessità.

Ovviamente le logiche appena descritte possono rappresentare degli estremi fra i quali esistono diversi livelli di complessità.

In prima battuta queste descrizioni appaiono logiche e tutto sommato fattibili, ma occorre considerare molti altri aspetti.

Primo fra tutti la bontà della misura, ovvero l'immunità del processo di misura rispetto a fattori esterni che possono alterarla.

Supponiamo per semplicità che questo problema sia stato completamente superato.

L'altro grande problema può essere sintetizzato nelle seguenti domande:

- quanto il parametro che viene determinato è rappresentativo dello stato del sistema che si vuole monitorare?
- quale è la sensibilità del parametro nel descrivere lo stato del sistema?

Ovviamente noi vorremmo che il parametro derivante dalle misure fosse molto sensibile allo stato del sistema, ma potremmo incorrere nell'inconveniente che variazioni molto piccole potrebbero essere indotte anche da fattori di interesse non primario ed in ogni caso potrebbero essere di scarso interesse per l'obiettivo del monitoraggio.

Ritornando all'esempio del galleggiante è vero in linea di principio che potrebbe farmi piacere sapere se nel serbatoio è presente 1 ml in più o in meno di carburante, ma una variazione così piccola potrebbe apparire anche come conseguenza della pendenza della strada o di un piccolo fosso! E poi anche se fosse corretto a cosa mi potrebbe effettivamente servire?

monitoring, but forecast models require complex processing and significant specialisation to adapt them to the railway domain. In all these cases, considerable work is required to extract the information content of interest and to make best use of it.

4. A quantity of data “that you humans”

A sensor, even a simple punctual sensor, produces a quantity of data over time, for example in one second, comparable to the number of characters on a page of this magazine. The consideration that for any image sensor this number must be multiplied by several tens of thousands, and that there may be dozens and perhaps hundreds of such sensors, led to the paraphrase of the famous film's Blade Runner phrase “.....I have seen things that you humans could not imagine”.

This poses a problem precisely because the human decision-maker cannot handle this data and absolutely needs computer support capable of performing a synthesis.

We should ask ourselves:

- *what is the information in the data?*
- *How do I extract this information?*
- *Can I make it available through a summary or otherwise?*
- *What rules should the user use based on the information received?*

4.1. Threshold logic

The simplest logic to be used to make use of the acquired data consists of:

- *to associate a sensor and the data generated by it with a status of the monitored system;*
- *establishing thresholds of data values to be associated with certain actions to be carried out.*

The limits of this logic are:

- *a single parameter may not always be bi-univocally associated with the status of the monitored system;*
- *the thresholds set in a case may be difficult to generalise.*

A more complex logic may involve the use of several sensors and a data processing algorithm capable of calculating a summary parameter that can best be associated with the state of the system being monitored. If certain assumptions are fulfilled, this parameter can be determined with high frequency over time so that a trend can be obtained and decisions can be defined as a function of this trend. The greatest limitation lies in the corresponding complexity. Obviously, the logics just described can represent extremes between which there are different levels of complexity. At first glance, these descriptions appear logical and all in all feasible, but many other aspects must be considered. First, the goodness of the measurement, i.e. the immunity of the measurement process to external factors that may alter it. Let us assume for simplicity's sake that this problem has been completely

Al contrario se la sensibilità fosse di 10 l in più o in meno, sarebbe certamente di scarso interesse nella pratica.

Questo semplice esempio vuole ribadire il concetto che un sistema di misura deve essere realizzato tenendo conto di:

- quale è l'informazione più idonea da estrarre dalla misura e con quali caratteristiche?
- Cosa può o deve fare l'utente finale?

È del tutto evidente che l'esperto nella tecnologia della misura tenda naturalmente ad offrire la prestazione più elevata possibile dal punto di vista misuristico, ma deve essere l'esperto di dominio e quindi il ferrovieri a dover condizionare opportunamente la generazione dell'informazione affinché possa essere maggiormente fruibile. Questi processi saranno tanto più complessi quanto più complesso è lo stato del sistema da monitorare.

4.2. I miti: il caso della diagnostica predittiva

Consideriamo nuovamente il caso del parametro generato dalla elaborazione di più misure. Consideriamo che queste misure vengano effettuate più volte nel tempo così da generare una funzione del suddetto parametro nel tempo. Consideriamo ancora che questa funzione sia molto ripetibile e riproducibile. Consideriamo infine che i valori del parametro abbiano una corrispondenza biunivoca con lo stato del sistema che ci interessa monitorare (Fig. 4). Occorre osservare che la curva in figura è qualitativa e i punti evidenziati indicano valori di soglia oltre i quali possono accadere gli stati del sistema descritti.

Se si verificano questi presupposti è lecito porsi le seguenti domande:

- posso individuare in questa funzione alcuni valori di soglia oltre i quali si possono verificare stati del sistema di particolare interesse?
- Posso prevedere il raggiungimento di questi stati del sistema in base allo studio dell'andamento della funzione e non solo in base al superamento dei valori sudetti?
- In caso affermativo con quanto anticipo temporale posso fare questa previsione?

È evidente che questo anticipo temporale potrebbe essere sufficiente per realizzare una diagnostica cosiddetta predittiva ed attivare processi decisionali più efficienti.

La logica appena descritta è di grande fascino e viene già applicata con successo alla manutenzione di macchine industriali.

Nel campo ferroviario e nel particolare dominio dell'interazione del treno con l'infrastruttura è pensabile di poter attivare una diagnostica predittiva?

Certamente si è pensabile, ma occorre ancora molto lavoro da sviluppare.

overcome. The other major problem can be summarised in the following questions:

- how representative is the parameter being determined of the state of the system being monitored?
- How sensitive is the parameter in describing the state of the system?

Obviously, we would like the parameter resulting from the measurements to be very sensitive to the state of the system, but we may run into the drawback that very small variations may also be induced by factors of non-primary interest and in any case may be of little interest to the monitoring objective. Returning to the example of the float, it is true in principle that I might like to know whether there is 1 ml more or less fuel in the tank, but such a small variation could also appear because of the slope of the road or a small ditch! Then even if it were correct, what use could it actually be to me? Conversely, if the sensitivity were 10 l more or less, it would certainly be of little interest in practice. This simple example is intended to reiterate the concept that a measurement system must be constructed with consideration of:

- what is the most suitable information to extract from the measurement and with what characteristics?
- What can or must the end user do?

It is quite clear that the expert in measurement technology naturally tends to offer the highest possible performance from a measurement point of view, but it must be the domain expert and thus the railwayman who must appropriately condition the generation of the information so that it can be more usable. These processes will all be more complex the more complex the state of the system to be monitored.

4.2. The myths: the case of predictive diagnostics

Let us again consider the case of the parameter generated by processing several measurements. Let us consider that these measurements are taken several times over time to generate a function of this parameter over time. Let us again consider that this function is very repeatable and reproducible. Finally, let us consider that the parameter values have a two-way correspondence with the state of the system we are interested in monitoring (Fig. 4). It should be noted that the curve in the figure is qualitative, and the highlighted points indicate threshold values beyond which the described system states may occur.

If this is the case, the following questions may be asked:

- can I identify certain threshold values in this function beyond which states of the system of particular interest may occur?
- Can I predict the attainment of these system states on the basis of the study of the function's trend and not only on the basis of the exceeding of these values?
- If so, how far in advance in time can I make this prediction?

It is evident that this time advance could be sufficient to carry out so-called predictive diagnostics and activate more efficient decision-making processes.

Infatti se analizziamo in dettaglio i diversi punti del ragionamento suddetto, ci accorgiamo delle non poche difficoltà nell'ottenere una funzione ripetibile e riproducibile. Questo soprattutto perché un treno che corre su un binario è influenzato da tantissimi fattori fortemente variabili nel tempo e differenti fra una corsa e la successiva.

Per risolvere questi problemi o almeno ridurli risulta molto promettente l'utilizzo delle tecnologie nell'ambito dell'Intelligenza Artificiale, che riescono ad effettuare elaborazioni complesse anche nella logica di autoapprendimento così da riuscire ad estrarre le informazioni utili dai dati. Tuttavia assistiamo ancora a situazioni per le quali il contenuto informativo probabilmente non è presente nei dati ed ovviamente queste tecniche anche sofisticate non possono estrarre quello che non c'è.

4.3. Autonomia decisionale vs logica prescrittiva

Nelle considerazioni esposte finora ci siamo occupati prevalentemente dell'estrazione del contenuto informativo dai dati.

Il problema immediatamente successivo consiste nello stabilire come utilizzare questo contenuto informativo a seconda delle finalità. Consideriamo che l'obiettivo primario sia di ottenere una diagnosi del sottosistema in oggetto e successivamente di prendere delle decisioni di merito riguardo alle azioni da effettuare sul sottosistema stesso.

L'intera sequenza applicata ad un sottosistema ferroviario può essere sintetizzata in:

- misurare in continuo ovvero monitorare attraverso sensoristica elettronica;
- estrarre un contenuto informativo dai dati rappresentanti le misure;
- effettuare anche in base a questo contenuto informativo una diagnosi del sottosistema;
- prendere delle decisioni operative anche sulla base della suddetta diagnosi strumentale.

L'ipotesi più affascinante consiste nel lasciare all'utilizzatore una completa autonomia decisionale così da prendere decisioni anche in base alle proprie competenze e alla conoscenza dello specifico caso applicativo. Inoltre questo approccio offre il vantaggio di far accrescere le esperienze e migliorare gli stessi processi decisionali e al limite migliorare gli stessi processi di estrazione delle informazioni.

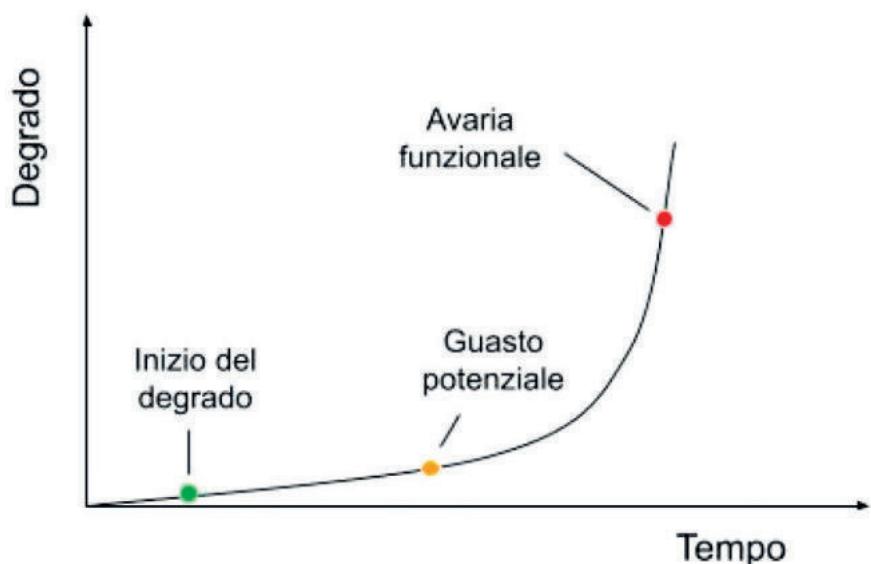


Figura 4 – La logica della diagnostica predittiva.
Figure 4 – The logic of predictive diagnostics.

The logic just described has great appeal and is already successfully applied to the maintenance of industrial machines. In the railway field and in the particular domain of the interaction of the train with the infrastructure, is it conceivable to activate predictive diagnostics?

Certainly, it is conceivable, but much work still needs to be developed.

In fact, if we analyse the various points of the above reasoning in detail, we realise the considerable difficulties in obtaining a repeatable and reproducible function. This is above all because a train running on a track is influenced by a great many factors that are highly variable in time and differ between one run and the next. In order to solve these problems, or at least reduce them, the use of technologies in the field of Artificial Intelligence is very promising. These are able to carry out complex processing even in the logic of self-learning to be able to extract useful information from the data. However, we still see situations where the information content is probably not present in the data and obviously these techniques, even sophisticated ones, cannot extract what is not there.

4.3. Decision-making autonomy vs prescriptive logic

In the considerations presented so far, we have mainly dealt with the extraction of information content from the data. The next problem is how to use this information content according to purpose. Let us consider that the primary objective is to obtain a diagnosis of the subsystem in question, and subsequently to make substantive decisions regarding the actions to be performed on the subsystem.

The entire sequence applied to a railway subsystem can be summarised as:

L'inconveniente di questo approccio risiede soprattutto nella ridotta standardizzazione delle decisioni.

In pratica due utilizzatori differenti potrebbero prendere decisioni differenti a fronte di situazioni simili.

In alternativa si possono costruire una serie di istruzioni da essere eseguite a seconda del valore dei parametri estratti dalle misure.

Questo permette sicuramente una maggiore standardizzazione, ma probabilmente riduce l'ottimizzazione nell'utilizzo dei risultati e rende difficile stabilire regole esauritive per situazioni complesse.

Un aspetto significativo di questo approccio risiede nel fatto che l'utilizzatore se a fronte di una certa situazione esegue le istruzioni prescritte riduce il proprio coinvolgimento in termini di responsabilità.

Probabilmente per risolvere questi problemi si potrebbe pensare ad utenti suddivisi in almeno due classi, la prima essenzialmente esecutiva ovvero che esegue le prescrizioni nelle varie situazioni e la seconda che si occupa propriamente di studiare approfonditamente le varie situazioni e di stabilire l'evoluzione delle regole da applicare.

Questo secondo gruppo di utenti potrebbe rappresentare propriamente una tipologia di lavoro molto innovativa che andrebbe definita in maggiore dettaglio. Attualmente è di fatto affidata al mondo della ricerca e dei normatori. Tuttavia sarà opportuno che il ferrovieri nella sua qualità di esperto di dominio sia sempre più coinvolto in questo processo di sviluppo.

Per ottenere ciò è sempre più necessaria una profonda diffusione di una cultura della diagnostica supportata da indagini strumentali.

Possiamo osservare che la necessità di questa figura professionale nell'ambito del sistema di manutenzione è già presente nella direttiva Europea 2016/798 – Allegato III, che esprime fortemente il concetto del “miglioramento continuo”.

4.4. Report di misura vs il dato di sintesi

Molto spesso la misura per essere correttamente interpretata ha bisogno di essere accompagnata da una serie di altre informazioni che riguardano le condizioni e le modalità con le quali è stata eseguita.

In alcuni casi tuttavia può essere troppo oneroso per l'utente finale valutare anche queste altre informazioni e soprattutto quando ci si trova in ambito prescrittivo è preferibile che riceva solo l'indicazione dell'azione che deve intraprendere in base alle disposizioni operative.

Questo approccio tuttavia ha l'inconveniente di dover credere totalmente alla bontà della misura e a non inserire nessun elemento dubitativo. Questo è sempre più vero grazie allo sviluppo delle tecnologie di misura, ma presenta l'inconveniente che limita molto la possibilità che il

- a) continuous measurement or monitoring through electronic sensors;
- b) extracting information content from the data representing the measurements;
- c) making a diagnosis of the subsystem also based on this information content;
- d) making operational decisions also based on this instrumental diagnosis.

The most appealing hypothesis is to leave the user complete decision-making autonomy so that they can also make decisions based on their own expertise and knowledge of the specific application case. In addition, this approach offers the advantage of enhancing experience and improving the decision-making processes themselves and, at the very least, improving the information extraction processes. The drawback of this approach lies mainly in the reduced standardisation of decisions. In practice, two different users might make different decisions in the face of similar situations. Alternatively, a set of instructions can be constructed to be executed depending on the value of the parameters extracted from the measurements. This certainly allows for greater standardisation, but probably reduces optimisation in the use of results and makes it difficult to establish comprehensive rules for complex situations.

A significant aspect of this approach lies in the fact that the user if faced with a certain situation carries out the prescribed instructions reduces his involvement in terms of responsibility. Probably to solve these problems, one could think of users divided into at least two classes, the first essentially executive, i.e. those who carry out the prescriptions in the various situations, and the second that is properly concerned with studying the various situations in depth and establishing the evolution of the rules to be applied. This second group of users could properly represent a very innovative type of work that should be defined in greater detail. It is currently de facto entrusted to the world of research and standardisers. However, it will be appropriate for the railwayman in his capacity as domain expert to be increasingly involved in this development process. In order to achieve this, a profound dissemination of a culture of diagnostics supported by instrumental investigations is increasingly necessary. We can observe that the need for this professional figure within the maintenance system is already present in the European Directive 2016/798 - Annex III, which strongly expresses the concept of 'continuous improvement'.

4.4. Measurement report vs summary data

Very often, the measurement, in order to be correctly interpreted, needs to be accompanied by a series of other information concerning the conditions and the manner in which it was performed. In some cases, however, it may be too burdensome for the end user to evaluate this other information as well, and especially when one is in a prescriptive environment, it is preferable for him to receive only an indication of the action to be taken based on the operational

fruitore finale abbia un ruolo attivo e critico pur nel rispetto delle disposizioni normative.

Questo approccio critico e consapevole da parte del fruitore è maggiormente necessario quando la misura è complessa e può essere particolarmente utile per il necessario processo di sviluppo sia della tecnologia e sia dell'approccio culturale degli utilizzatori.

In campo medico è accaduto qualcosa di analogo per cui le tecniche diagnostiche avanzate vengono sviluppate dagli specialisti della tecnologia di misura insieme agli esperti di dominio e vengono applicate da medici specializzati che refertano i risultati interpretandoli sinteticamente. Questi risultati vengono poi forniti insieme alle misure che li hanno determinati. In questo modo il medico che ha richiesto l'indagine può estrarre una diagnosi anche sulla base delle misure stesse interpretate in maniera integrata con tutti gli altri elementi di cui ha conoscenza.

Per ottenere ciò è stata necessaria una profonda diffusione di una cultura della diagnostica supportata da indagini strumentali.

4.5. Web Application integrata

I moderni sistemi oltre a trasmettere i dati acquisiti e le informazioni ottenute in remoto, hanno la possibilità di generare una banca dati fruibile in ogni momento da una qualsiasi postazione computerizzata che abbia accesso al WEB.

Spesso poi il sito WEB offre anche alcuni strumenti di visualizzazione dei dati che migliorano l'interpretazione critica da parte dell'utente. Anche in questo caso occorre che l'utilizzatore sia adeguatamente formato non solo all'utilizzo operativo di questi strumenti, ma soprattutto al significato che può essere estratto dall'interrogazione dei dati.

Questo ci riporta alla necessità di una profonda diffusione della cultura della diagnostica supportata da indagini strumentali.

4.6. Cultura del miglioramento continuo nelle direttive Europee

La possibilità di realizzare una profonda diffusione della cultura della diagnostica strumentale, implica la necessità di una cultura del miglioramento continuo e a riguardo si possono trovare indicazioni anche nelle direttive Europee.

Il pilastro tecnico del quarto pacchetto ferroviario Europeo è costituito dalle Direttive 2016/797 "relativa all'interoperabilità del sistema ferroviario dell'Unione europea" [9] e 2016/798 "sulla sicurezza delle ferrovie" [10] e dal Regolamento 2016/796 [11]. L'importanza della cultura del miglioramento continuo e l'interdisciplinarietà che deve esistere in un sistema complesso come quello ferroviario è sottolineata quando si tratta l'implementazione e

provisions. This approach, however, has the drawback of having to totally believe in the goodness of the measure and not including any doubtful elements. This is increasingly true thanks to the development of measurement technologies, but it has the drawback that it greatly limits the possibility of the end-user playing an active and critical role while complying with the regulatory provisions. This critical and conscious approach on the part of the user is more necessary when the measurement is complex and can be particularly useful for the necessary development process of both the technology and the cultural approach of the users. In the medical field, something similar has happened whereby advanced diagnostic techniques are developed by measurement technology specialists together with domain experts and are applied by medical specialists who report the results by interpreting them concisely. These results are then provided together with the measurements that determined them. In this way, the doctor who requested the investigation can also extract a diagnosis based on the measurements themselves interpreted in an integrated manner with all other elements of which he has knowledge. To achieve this, a profound dissemination of a culture of diagnostics supported by instrumental investigations was necessary.

4.5 Integrated Web Application

Modern systems, in addition to transmitting the data acquired and information obtained remotely, have the possibility of generating a database that can be accessed at any time from any computer workstation that has access to the WEB. Often, the website also offers some data visualisation tools that improve critical interpretation by the user. Here again, the user needs to be adequately trained not only in the operational use of these tools, but above all in the meaning that can be extracted from the data query. This brings us back to the need for a profound dissemination of the culture of diagnostics supported by instrumental investigations.

4.6. Culture of continuous improvement in European directives

The possibility of a profound dissemination of the culture of instrumental diagnostics implies the need for a culture of continuous improvement, and indications in this respect can be found in European directives. The technical pillar of the fourth European railway package is Directive 2016/797 "on the interoperability of the rail system within the European Union" [9] and Directive 2016/798 "on railway safety" [10] and Regulation 2016/796 [11]. The importance of the culture of continuous improvement and the interdisciplinary that must exist in a complex system such as the railway system is emphasised when it comes to the implementation and especially the development of the maintenance system. Article 14 of Directive 2016/798 "on railway safety" stipulates that each vehicle placed in service must be entrusted to an entity in charge of maintenance (ECM). The same article assigns the following functions to the SRM and its maintenance system:

soprattutto lo sviluppo del sistema di manutenzione. L'articolo 14 della Direttiva 2016/798 "sulla sicurezza delle ferrovie" dispone che ogni veicolo messo in servizio sia affidato ad un soggetto responsabile della manutenzione (SRM). Lo stesso articolo assegna al SRM e al relativo sistema manutentivo le seguenti funzioni:

- SRM-F1) funzione di gestione, per supervisionare e coordinare le funzioni di manutenzione di cui alle lettere da b) a d) e assicurare lo stato di sicurezza del veicolo nel sistema ferroviario;
- SRM-F2) funzione di sviluppo della manutenzione, responsabile della gestione della documentazione relativa alla manutenzione, ivi compresa la gestione della configurazione, sulla base dei dati di progetto e di esercizio, nonché delle prestazioni e dell'esperienza maturata;
- SRM-F3) funzione di gestione della manutenzione della flotta, per gestire la rimozione dall'esercizio del veicolo che deve essere sottoposto a manutenzione e il suo ritorno in esercizio dopo la manutenzione;
- SRM-F4) funzione di esecuzione della manutenzione, per eseguire la necessaria manutenzione tecnica di un veicolo o di parti di esso, ivi compresa la documentazione relativa alla reimmissione in servizio.

Le funzioni di gestione (F1) e sviluppo della manutenzione (F2) sono quelle chiamate a sviluppare un sistema che sia votato anche al miglioramento continuo e all'integrazione delle competenze. Questo è confermato anche da quanto può essere letto all'interno della Guida alla certificazione di un soggetto richiedente la qualifica di responsabile della manutenzione (SRM) rilasciata dall'ERA [12]. All'interno della guida si può leggere quanto segue, in accordo all'articolo 14 della direttiva sopracitata:

"L'SRM-F1 ha due principali compiti:

- coordinare le funzioni SRM-F2, SRM-F3, SRM-F4 [...].
- Monitorare le funzioni SRM-F2, SRM-F3, SRM-F4 come definito all'articolo 14 della Direttiva (UE) 2016/798, garantendo la conformità alla legislazione e alle norme e permettendo all'organizzazione di migliorare il suo Sistema di Manutenzione.

[...] Quanto necessario, l'SRM-F1 crea le condizioni per correggere o migliorare le performance della manutenzione, definendo e implementando cambiamenti nel Sistema di Manutenzione".

E ancora:

"La funzione di sviluppo della manutenzione (SRM-F2) si occupa della gestione della documentazione di manutenzione, compresa la gestione della configurazione, sulla base dei dati di progettazione e operativi, nonché delle prestazioni richieste e dell'esperienza acquisita.

Essa riguarda anche il rispetto delle norme di interoperabilità e l'istituzione e l'aggiornamento continuo del fascicolo di manutenzione.

- ECM-1) *management function, to supervise and co-ordinate the maintenance functions referred to in points (b) to (d) and ensure the safe state of the vehicle in the railway system;*
- ECM-2) *maintenance development function, responsible for managing the maintenance documentation, including configuration management, based on design and operational data, performance and experience;*
- ECM-3) *fleet maintenance management function, to manage the removal from operation of the vehicle to be maintained and its return to operation after maintenance;*
- ECM-4) *maintenance execution function, to perform the necessary technical maintenance of a vehicle or parts of it, including documentation related to the return to service.*

The maintenance management (F1) and maintenance development (F2) functions are the ones called upon to develop a system that is also aimed at continuous improvement and integration of competences. This is also confirmed by what can be read within the Guide to the Certification of Entity in Charge of Maintenance (ECM) issued by ERA [12]. Within the guide one can read the following, in accordance with Article 14 of the above-mentioned directive:

"The ECM-F1 has two main tasks:

- coordinating the functions ECM-F2, ECM-F3, ECM-F4 [...].*
- To monitor the functions ECM-F2, ECM-F3, ECM-F4 as defined in Article 14 of Directive (EU) 2016/798, ensuring compliance with legislation and standards and enabling the organisation to improve its Maintenance System.*

[...] When necessary, ECM-F1 creates the conditions to correct or improve maintenance performance by defining and implementing changes in the Maintenance System."

Again:

"The maintenance development function (ECM-F2) deals with maintenance documentation management, including configuration management, based on design and operational data as well as required performance and experience.

It also covers compliance with interoperability standards and the establishment and continuous updating of the maintenance file.

[...] The updating of the maintenance file depends on:

[...] Technological Survey. The life cycle of rolling stock extends to 40-50 years. Technology evolves a lot during this long life cycle. The technology survey may include:

- Condition-based monitoring. This monitoring considers the behaviour of different components.*
- Technological progress, which includes the continuous advancement:*
 - materials;*

[...] L'aggiornamento del file di manutenzione dipende da:

[...] Sondaggio Tecnologico. Il ciclo di vita del materiale rotabile si estende a 40-50 anni. La tecnologia evolve molto durante questo lungo ciclo di vita. L'indagine tecnologica può includere:

- Monitoraggio basato sulle condizioni. Questo monitoraggio considera il comportamento dei diversi componenti.
- **Progresso tecnologico che comprende il progresso continuo di:**
 - materiali,
 - attrezzature,
 - pezzi di ricambio,
 - utensili e attrezzature industriali,
 - sistemi informatici,
 - metodi di lavoro e di gestione".

Vediamo quindi come la cultura del miglioramento continuo sia naturale conseguenza dello sviluppo tecnologico e come questa venga presa in considerazione anche dalle direttive Europee all'interno del sistema di manutenzione.

Questa cultura del miglioramento continuo favorisce la diffusione della cultura della diagnostica supportata da indagini strumentali.

5. Conclusioni

La grande disponibilità di dati derivante dalla sempre maggiore diffusione del monitoraggio di sottosistemi attraverso sensoristica elettronica può aumentare tantissimo la conoscenza dello stato del sottosistema stesso.

Questa conoscenza risulta preziosissima durante:

- la corsa del treno;
- la progettazione e realizzazione di sottosistemi sempre più performanti;
- la manutenzione dei sottosistemi.

Affinché questo possa avvenire sempre meglio abbiamo visto che è indispensabile un dialogo intensivo fra gli sviluppatori dei sistemi di monitoraggio, i data scientists per l'estrazione delle informazioni e gli esperti di dominio ferroviario. Ma occorre che gli esperti del dominio ferroviario conoscano le problematiche e le possibilità del monitoraggio strumentale così da poter dialogare al meglio con le altre due competenze. È necessario che queste figure aumentino tantissimo in numero e competenze così da costituire un'importante massa critica di persone in grado di fornire un grosso impulso allo sviluppo della conoscenza dello stato di sottosistemi ferroviari derivante da misure basate su sensoristica elettronica.

Affinché si possa ampliare la platea di queste figure occorre soprattutto una diffusione della corrispondente cultura e questo è un processo ancora più critico a causa della continua evoluzione delle tecnologie connesse ai sistemi di misura e per questo occorre che si rientri in una lo-

- equipment;
- or spare parts;
- industrial tools and equipment;
- computer systems;
- "working and management methods."

We therefore see how the culture of continuous improvement is a natural consequence of technological development and how it is taken into account by European directives within the maintenance system.

This culture of continuous improvement encourages the spread of the culture of diagnostics supported by instrumental investigations.

5. Conclusions

The great availability of data resulting from the ever-increasing spread of subsystem monitoring through electronic sensors can greatly increase knowledge of the state of the subsystem itself.

This knowledge is invaluable during:

- the running of the train;
- the design and construction of increasingly high-performance subsystems;
- the maintenance of subsystems.

In order for this to happen better and better, we have seen that an intensive dialogue between the developers of monitoring systems, data scientists for information extraction and railway domain experts indispensable. However, it is necessary for the railway domain experts to be familiar with the problems and possibilities of instrumental monitoring so that they can better dialogue with the other two competences. It is necessary for these figures to increase greatly in numbers and skills to constitute a critical mass of people capable of providing a major impetus to the development of knowledge about the state of railway subsystems from electronic sensor-based measurements.

In order to expand the number figures, we need the diffusion of the corresponding culture, and this is an even more critical process due to the continuous evolution of technologies related to measurement systems. For this reason, it is necessary to be part of a logic of learning, training and continuous improvement both for the railway worker who follows prescriptive logics and for those who must participate in the process of defining the actions to be taken.

This means promoting a set of actions including training schools [13], participation in research programmes, attendance at conferences that can foster the exchange of opinions and information, etc. Ultimately, increasing the number of domain experts able to benefit from the vast quantity of measures available today increases the critical mass of experience and consequently increases the quantity and quality of feedback.

It is therefore necessary to feed a continuous loop of the type indicated in Fig. 5.

gica di apprendimento, formazione e miglioramento continuo sia per il ferroviere che segue logiche prescrittive e sia per quelli che devono partecipare al processo di definizione delle azioni da compiere.

Questo significa promuovere un insieme di azioni che comprendano le scuole di formazione [13], la partecipazione a programmi di ricerca, la partecipazione a convegni che possano favorire lo scambio di opinioni ed informazioni, ecc. In definitiva aumentando la platea degli esperti di dominio in grado di trarre benefici dalla grande quantità di misure oggi disponibili si aumenta la massa critica delle esperienze e conseguentemente si aumenta la quantità e la qualità dei feedback.

Occorre quindi alimentare un loop continuo del tipo indicato in Fig. 5.

In conclusione si può ritenere che è la diffusione continua di questa cultura una azione certamente importante che si può compiere affinché una misura diventi sempre più utile!

Speriamo che lo scopo di questo articolo e le considerazioni in esso contenute possano essere una piccola sollecitazione per un costruttivo scambio di opinioni sull'argomento.

In conclusion, it can be considered that it is the continuous dissemination of this culture that is the most important action that can be taken for a measurement to become more and more useful!

We hope that the purpose of this article and the considerations it contains can be a small stimulus for a constructive exchange of views on the subject.



Figura 5 – Loop per la diffusione della cultura dell'utilizzo delle misure basate su sensoristica elettronica.

Figure 5 – Loop for the dissemination of the culture of the use of measurements based on electronic sensors.

BIBLIOGRAFIA - REFERENCES

- [1] M. ANTOGNOLI, C. MARINACCI, S. RICCI, L. RIZZETTO (2020), *“Specifiche di requisiti per sistemi di misura e monitoraggio del binario”*, Ingegneria Ferroviaria n. 11, Roma, Edizioni CIFI.
- [2] EN 15654-1, “Railway applications - Measurement of vertical forces on wheels and wheelsets - Interoperable on-track measurement sites for vehicles in service ; EN 15654-2 - Test in workshop for new, modified and maintained vehicles”; EN 15654-3 - Approval and verification of on track measurement sites for vehicles in service.
- [3] H.B. BAHAR, “Dynamic weight estimation using an artificial neural network” - Faculty of Engineering Tabriz University & D. H. Horrocks, School of Engineering Cardiff University of Wales, UK.
- [4] M. DANACI, H. RIZA OZCALIK, M. SABIH AKSOY, “Artificial neural network techniques for dynamic weighing systems”.
- [5] Neurail System, MOCV Misura Ottica Carichi Verticali (generalecostruzioniferroviarie.com).
- [6] UNI EN 13848 “Applicazioni ferroviarie - Binario - Qualità della geometria del binario”.
- [7] M. HOSHIBA, O. KAMIGAICHI, M. SAITO, S. TSUKADA, N. HAMADA (2008), “Earthquake Early Warning Starts Nationwide in Japan”, EOS, Transactions, American Geophysical Union Vol. 89, No. 8 pages 73-80.
- [8] J.S. KINKYU (2007), “What is an Earthquake Early Warning?”, Japan Meteorological Agency (JMA).
- [9] Direttiva (UE) 2016/797 del Parlamento Europeo e del Consiglio dell'11 maggio 2016 relativa all'interoperabilità del sistema ferroviario dell'Unione europea.
- [10] Direttiva (UE) 2016/798 del Parlamento Europeo e del Consiglio dell'11 maggio 2016 sulla sicurezza delle ferrovie.
- [11] Regolamento (UE) 2016/796 del Parlamento Europeo e del Consiglio dell'11 maggio 2016 che istituisce un'Agenzia dell'Unione europea per le ferrovie e che abroga il regolamento (CE) n. 881/2004.
- [12] Guide for the application of Article 14 of Directive (EU) 2016/798 and Commission Implementing Regulation (EU) N° 2019/779 on a system of certification of entities in charge of maintenance for vehicles.
- [13] B. ABRAMOVIC, A. BARDHI, C. CASANUEVA PEREZ, A. DOLINAYOVÀ, I. DOMENY, R. HADEED, M. LEHNERT, M. MARINOV, F. MARTINI, A. OSDOBA, S. RICCI, D. SIPUS (2023), “Alta formazione in campo ferroviario in Europa: analisi della situazione attuale in vista dei futuri sviluppi”, Ingegneria Ferroviaria n. 4, Roma, Edizioni CIFI.