



I benefici dell'utilizzo del sistema Telediagnostica di Trenitalia sull'esercizio e la manutenzione della flotta E464

The benefits of using Trenitalia's Tele-diagnostic system while operating and during maintenance of the E464 fleet

Dott. Ing. Alberto AGNOLI(*)
Dott. Ing. Guido DEL GOBBO(*)
Dott. Ing. Francesco ROMANO(**)
Dott. Ing. Massimo ZAVARELLA(***)

1. Premessa

Il completamento dell'installazione del sistema di Telediagnostica sull'intera flotta di locomotive E464, 688 locomotive in manutenzione presso quindici diversi impianti dislocati sul territorio italiano, unita al superamento della fase di validazione del sistema avvenuto a fine 2013 consentono una prima valutazione dei benefici raggiungibili nei diversi ambiti di possibile utilizzo del sistema: esercizio, manutenzione e ingegneria.

L'introduzione del sistema Telediagnostica permette di ottimizzare il processo di manutenzione, di ridurre i tempi di diagnosi e risoluzione dei guasti e di aumentare la disponibilità della flotta prevenendo le avarie dei rotabili in esercizio.

Grazie all'utilizzo di tale sistema Trenitalia ha avviato il processo di transizione dai concetti di manutenzione correttiva e preventiva ai più evoluti concetti di manutenzione su condizione e predittiva.

2. Introduzione

Il sistema di Telediagnostica è stato già descritto nell'articolo "Il sistema di Telediagnostica per le flotte E464 ed E405 Trenitalia" [1] pubblicato nell'edizione di Gennaio 2012 di IF Ingegneria Ferroviaria. Nel precedente articolo erano stati descritti il processo manutentivo Trenitalia ed i principi di base della diagnostica di bordo di un rotabile. L'articolo proseguiva descrivendo le funzionalità del sistema Telediagnostica e la procedura di defi-

1. Preface

The successful installation of the Tele-diagnostic system on the entire fleet of E464 locomotives, 688 locomotives serviced in fifteen different plants located throughout Italy, along with positive conclusion of the system validation phase at the end of 2013 make it possible to make an initial assessment of the benefits achieved in the various possible areas of use for the system: operation, maintenance and engineering.

The introduction of the Tele-diagnostic system brings a new set of tools that can be used to optimise the maintenance process, reduce diagnosis and troubleshooting time and increase fleet availability by preventing malfunctions on operating rolling stock.

Thanks to the use of this system Trenitalia has started a transition process from the concepts of corrective and preventive maintenance to more evolved concepts of condition-based and predictive maintenance.

2. Introduction

The Tele-diagnostic system was already described in the article "Il sistema di Tele-diagnostic per le flotte E464 ed E405 Trenitalia"[1] published in the January 2012 issue of IF Ingegneria Ferroviaria. The Trenitalia maintenance process was described in the former article as well with the basic principles of on-board rolling stock diagnosis. The article went on describing the features of the Tele-diagnostic system and the definition, implementation and validation

(*) Bombardier Transportation - Ingegneria Divisione Services.

(**) Trenitalia, Direzione Tecnica - Tecnologie Elettriche ed Eletttroniche.

(***) Trenitalia, Divisione Passeggeri Regionale - Ingegneria della Manutenzione Corrente.

(*) Bombardier - Ingegneria Divisione Services.

(**) Trenitalia, Direzione Tecnica - Tecnologie Elettriche ed Eletttroniche.

(***) Trenitalia, Divisione Passeggeri Regionale - Ingegneria della Manutenzione Corrente.

nizione, implementazione e validazione degli algoritmi diagnostici di cui venivano dati alcuni esempi.

Nel presente articolo si è rivolta particolare attenzione ai benefici e ai miglioramenti tangibili ottenuti dall'utilizzo delle funzionalità del sistema Telediagnostica negli ambiti di manutenzione, di monitoraggio e assistenza all'esercizio e nelle attività di ingegneria rivolte alla raccolta dati e al miglioramento continuo dei rotabili.

2.1. Descrizione del sistema Telediagnostica

Il sistema Telediagnostica, sviluppato da Bombardier su specifica Trenitalia, è composto da un insieme di moduli software che filtrano, elaborano, aggregano e presentano, in un portale web dedicato, i dati diagnostici ricevuti dai sistemi di bordo installati sui rotabili.

Il sistema è composto da un apparato di bordo, installato sulle locomotive, per la raccolta e l'invio a terra dei dati diagnostici dei veicoli, e da un sistema di terra che storicizza ed elabora tali dati presentandoli agli utenti remoti del sistema (fig. 1).

La principale funzione del sistema Telediagnostica è la generazione automatica di avvisi manutentivi attraverso l'elaborazione delle informazioni diagnostiche fornite dai sistemi di controllo delle locomotive. Le elaborazioni delle informazioni si basano sulla realizzazione di un sistema di intelligenza artificiale di tipo KBES (Knowledge Based Expert System) che a sua volta si basa su logiche complesse per la diagnosi automatica che sono definite, verificate e validate da un team di esperti manutentori e progettisti.

Le logiche per la diagnosi automatica, altrimenti dette Algoritmi Diagnostici (AD), sviluppate e validate dal team di esperti di Bombardier hanno permesso di replicare la conoscenza inerente la diagnosi dei guasti, attualmente distribuita negli staff tecnici di Trenitalia presenti nei 15 depositi di manutenzione, in un sistema informatico centrale.

Nel presente articolo saranno forniti i dettagli relativi alla procedura di validazione degli AD sviluppati per la flotta E464 ed ai meccanismi e ai tool software che mette a disposizione il sistema di Telediagnostica per la loro creazione e modifica.

3. Ambiti di utilizzo del sistema Telediagnostica: esercizio, manutenzione e ingegneria

Le funzionalità del sistema di Telediagnostica sono associabili a tre principali processi operativi: esercizio, manutenzione e ingegneria di flotte di veicoli ferroviari.

In particolare il sistema Telediagnostica per ognuno di questi processi (o ambiti) rende disponibile le seguenti funzioni principali:

procedures for the diagnostic algorithms along with examples. This article focuses on the benefits and concrete improvements obtained from use of the Tele-diagnostic system functionalities for maintenance, monitoring, control room operator assistance and in engineering activities aimed at collecting data and continuous improvement of rolling stock.

2.1. Description of the Tele-diagnostic system

The Tele-diagnostic system, developed by Bombardier on Trenitalia's specifications, is composed of a set of software modules which filter, process, aggregate and present diagnostic data, received from on-board systems installed on rolling stock, on a dedicated web portal.

The system is composed of an on-board device used for collecting vehicle diagnostic data and sending them off-board. The off-board system logs the data received, processes it presents them to remote users (fig. 1).

The main function of the Tele-diagnostic system is the automatic generation of work orders through the processing of diagnostic information supplied by the locomotive control systems. Processing of the information is based on a KBES (Knowledge Based Expert System), a type of artificial intelligence system which in turn is based on complex logic for automatic diagnosis which are defined, verified and validated by a team of expert maintenance personnel and engineers.

The automatic diagnosis logic, known as Diagnostic Algorithms (DA), developed and validated by a team of Bombardier experts has made it possible to replicate knowledge related to fault diagnosis, currently distributed to the Trenitalia technical staff present at 15 maintenance depots, in a central IT system.

This article will provide the details related to the validation procedure for the DAs developed for the E464 fleet and the mechanisms and software tools that the Tele-diagnostic system makes available for their creation and modification.

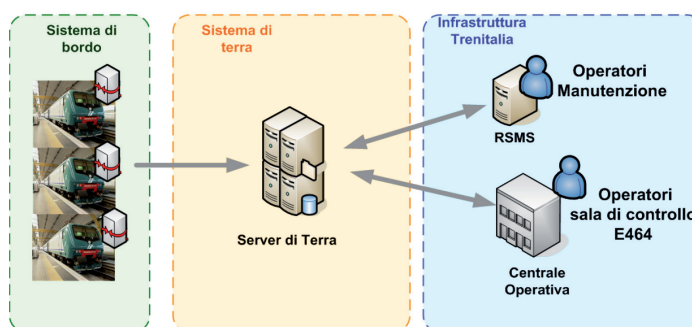


Fig. 1 - Componenti di alto livello della Telediagnostica.
Fig. 1 - Telediagnostica high level components.

Funzioni per l'esercizio

- *Funzione di monitoraggio della flotta:* tramite opportuni cruscotti il sistema permette di monitorare lo stato della flotta fornendo la posizione, i parametri di esercizio, l'indicazione degli eventuali guasti e lo stato dei sistemi ridondanti dei veicoli.
- *Funzione di remotizzazione del banco di manovra:* tramite la visualizzazione remota in tempo reale dello stato dei controlli e dei monitor del banco di manovra il sistema permette di supportare il personale di macchina nelle situazioni critiche (depannage).

Funzioni per la manutenzione

- *Funzione di generazione automatica degli ordinativi di lavoro:* tramite l'elaborazione degli Algoritmi Diagnostici il sistema permette di rilevare automaticamente i guasti (diagnosticabili) indicando l'elemento da sostituire e/o l'attività manutentiva da realizzare. Il sistema Telediagnostica notifica al sistema gestionale RSMS di Trenitalia la necessità di interventi manutentivi di tipo correttivo e preventivo riducendo drasticamente i tempi di diagnosi e di riparazione e permettendo quindi un approvvigionamento tempestivo delle parti di ricambio.
- *Funzione di analisi del comportamento fisico dei sottosistemi:* Tramite un ambiente grafico di configurazione è possibile eseguire indagini specifiche creando registrazioni programmabili delle grandezze fisiche (e.g. temperature, pressione) o logiche disponibili nella logica di controllo della locomotiva. Ciò consente di affrontare i casi di ricerca guasti di maggiore complessità senza necessità di presenziare il veicolo o svolgere corse prova dedicate.

Funzioni per l'ingegneria

- *Funzione di estensione remota della diagnostica di veicolo:* tramite un sistema di configurazione remota è possibile estendere le informazioni diagnostiche del veicolo aggiungendo nuovi eventi diagnostici e contatori di funzionamento senza la necessità di modificare la versione del software di locomotiva (e quindi senza seguire il processo di omologazione delle modifiche).
- *Funzione di monitoraggio della vita utile dei componenti:* Tramite l'utilizzo dei contatori di funzionamento è possibile verificare l'effettivo fattore di utilizzo dei sottosistemi e dei componenti di locomotiva. Ciò è funzionale all'introduzione di tecniche di manutenzione CBM.
- *Funzione di analisi statistica:* tramite il database di flotta è possibile svolgere analisi ingegneristiche finalizzate all'individuazione di azioni miglioramento tecnico dei rotabili.

Nei prossimi paragrafi saranno sommariamente descritte alcune di tali funzioni dando evidenza dei benefici che le funzioni stesse danno agli ambiti cui sono associate.

3. Uses of the Tele-diagnostic system: operation, maintenance and engineering

The functions of the Tele-diagnostic system can be associated with three main operating processes: operation, maintenance and engineering of railway vehicle fleets.

Specifically, for each of these processes (or areas) the Tele-diagnostic system makes the following main functions available:

Functions for Operation

- *Fleet monitoring: using specific dashboards the system is able to show the status of the fleet providing the position, operating parameters, faults indication and the state of vehicle redundant systems.*
- *Remote visualization of driver desk and monitors: through real time display of the locomotive drive desk controls and monitors the system allows supporting machine personnel in critical situations (troubleshooting).*

Functions for Maintenance

- *Automatic work order generation: by processing Diagnostic Algorithms the system can automatically detect faults indicating the part to replace and/or maintenance activity to be performed. The Tele-diagnostic system notifies Trenitalia's management system for corrective or preventive maintenance operations drastically reducing the diagnosis and repair times and thus making it possible to promptly procure spare parts.*
- *Subsystem physical analysis: Using a GUI for configuring the environment it is possible to perform specific investigations by creating programmable recordings of physical (temperature, pressure) or logical variables measurements available in the locomotive control logic. This makes it possible to handle more complex troubleshooting cases without the need to be present at the vehicle or perform specific test runs.*

Functions for Engineering

- *Remote extension of vehicle diagnostics: using a remote configuration system it is possible to extend vehicle diagnostic information by adding new diagnostic events and operating counters without needing to change the locomotive software version (and thus without following a homologation process for the modifications).*
- *Component useful life monitoring: by using an operating counter it is possible to verify the actual use factor of subsystems and locomotive components. This is required for the introduction of CBM techniques.*
- *Statistical analysis: using the fleet database it is possible to perform engineering analyses aimed at identifying technical improvement actions for the rolling stock.*

4. Benefici dell'applicazione delle funzioni del sistema Telediagnostica ai diversi ambiti di utilizzo

Al fine di illustrare meglio quali siano i benefici dell'applicazione delle funzioni del sistema di seguito indichiamo alcuni concetti di base comuni ai processi di esercizio, manutenzione e ingegneria dei rotabili.

Il concetto di livello di affidabilità del rotabile

Secondo la norma UNI EN 13306 l'affidabilità è definita come "l'attitudine di un oggetto di adempiere la funzione richiesta nelle condizioni richieste per un intervallo di tempo stabilito".

Il concetto di ridondanza di un sottosistema

Le locomotive E464 sono state progettate per tollerare eventuali guasti ai sotto-sistemi il cui malfunzionamento possa avere un impatto sull'esercizio del rotabile (perché degrada le performance o implica l'impossibilità di comandare la trazione della locomotiva).

In particolare tali sottosistemi sono stati progettati e realizzati in configurazione ridondata, ovvero la funzione che tali sottosistemi assolvono è realizzata da almeno due componenti identici configurati in modo che, in caso di guasto ad uno dei due componenti, la funzione venga assolta dal componente funzionante.

Nel caso in cui un guasto implichi la perdita di una ridondanza di un sottosistema, il livello di affidabilità dell'intero rotabile si riduce in quanto aumenta la probabilità che un secondo guasto allo stesso sistema implichi il fermo (o il degrado delle performance) della locomotiva.

Il concetto di riserva e il parametro di numero di guasti per milione di km (FPMK)

Il parametro FPMK, letteralmente *Failure Per Million of Kilometer*, è un indicatore dell'affidabilità del sistema e denota il numero di guasti per milione di km.

Il termine riserva indica l'anormalità di esercizio, imputabile alla locomotiva, che implica l'impossibilità di completare nei tempi e nei modi previsti la missione programmata per la locomotiva stessa.

Il concetto di tempo medio di riparazione e il parametro di disponibilità di una flotta

Secondo la norma UNI EN 13306 la manutenibilità è: "l'attitudine di un'entità in assegnate condizioni ad essere mantenuta o riportata in uno stato nel quale essa può svolgere la funzione richiesta, quando la manutenzione è eseguita nelle condizioni date, con procedure e mezzi prescritti". Un parametro indicativo della manutenibilità è l'MTTR (Mean Time To Repair) ovvero il tempo medio di ripristino funzionalità del componente.

La norma UNI EN 13306 definisce la disponibilità come "l'abilità di essere in uno stato tale da poter funzionare come richiesto, sotto predeterminate condizioni, a un predeterminato istante o durante un predeterminato intervallo temporale".

The paragraphs below will provide a brief description of some of these functions highlighting the benefits which the functions provide to the areas they are associated to.

4. Benefits of applying the Tele-diagnostic system functions application for the various use case

In order to better describe how the system brings different benefits on the different functions, we have indicated below some basic concepts common to the rolling stock operation, maintenance and engineering processes.

The concept of rolling stock reliability level

According to the standard EN 13306 reliability is defined as "ability of an item to perform a required function under given conditions for a given time interval".

The concept of subsystem redundancy

E464 locomotives have been designed to tolerate possible subsystem faults where the malfunction can have an impact on rolling stock operation (because it decreases the performance or involves the impossibility of controlling the locomotive traction).

In particular, these subsystems have been designed and built in a redundant configuration, i.e. the function that these subsystems perform is created by at least two identical components configured so that if one of the two components fails, the function is performed by the operating component.

If a failure results in loss of subsystem redundancy, the reliability level of the entire rolling stock is reduced since the probability increases that a second failure on the same system results in stop (or decrease of performance) of the locomotive.

The concept of spare and failure per millions of kilometers (FPMK) parameter

The FPMK parameter, literally Failure Per Million of kilometer, is an indicator of system reliability and denotes the number of failures per million km.

The term reserve indicates abnormal operation, due to a locomotive failure, which involves the impossibility to complete the mission programmed for the locomotive within the planned times and ways.

The concept of mean repair time and fleet availability parameter

According to the standard EN 13306 maintainability is: "ability of an item under given conditions of use, to be retained in or restored to, a state in which it can perform a required function, when maintenance is performed under given conditions and using stated procedures and resources". A parameter indicating maintainability is MTTR (Mean Time To Repair).

The standard EN 13306 defines availability as "ability to be in a state to perform as and when required, under given conditions, assuming that the necessary external resources are provided".

OSSERVATORIO

4.1. Le funzioni e i relativi benefici del sistema Telediagnostica per l'esercizio dei rotabili

4.1.1. La funzione di monitoraggio in tempo reale dello stato della flotta per l'aumento della affidabilità dei rotabili

Attraverso l'utilizzo di informazioni, inviate periodicamente dal sistema di bordo, il sistema Telediagnostica consente di monitorare lo stato di efficienza dei rotabili.

L'efficienza di un veicolo viene valutata mediante l'analisi dello stato dei sottosistemi principali il cui stato è riassunto in un opportuno cruscotto (fig. 2).

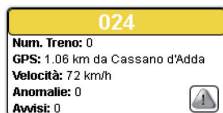
Tramite tale cruscotto è possibile:

- monitorare lo stato complessivo della flotta;
- monitorare lo stato dei principali sistemi ridondanti di ogni singola locomotiva;

Con tutti i sistemi funzionanti o disinseriti, il veicolo presenta una colorazione riassuntiva **verde**
With all the systems operating or disabled, the vehicle has a **green** colouring



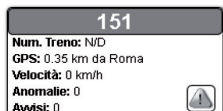
Con almeno un sistema escluso, privo di una ridondanza o in allarme, il veicolo presenta una colorazione riassuntiva **gialla**
With at least one system disabled, without redundancy or in alarm, the vehicle has a **yellow** colouring



In presenza di almeno una avaria grave, il veicolo presenta una colorazione riassuntiva **rossa**
If there is at least one serious fault, the vehicle has a **red** colouring



Quando non sono disponibili informazioni sullo stato dei sottosistemi del veicolo, viene utilizzata una colorazione **grigia**
When there is no information available on the status of the vehicle subsystems, a **grey** colouring is used



4.1. The functions and related benefits of the Tele-diagnostic system for rolling stock operation

4.1.1. Real time fleet status monitoring function to increase rolling stock reliability

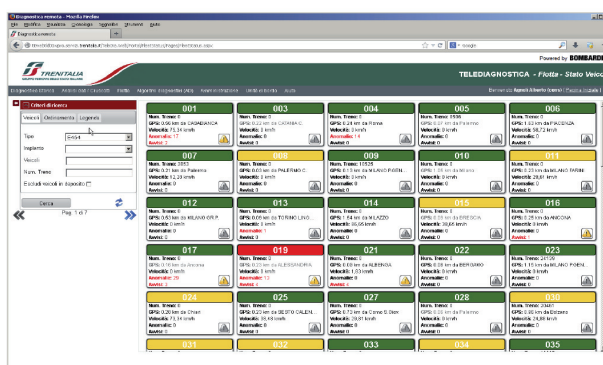
By using information, sent periodically from the on-board system, the Tele-diagnostic system can be used to monitor the rolling stock efficiency status.

The efficiency of a vehicle is assessed by an analysis of the status of its main subsystems, their status is summarised on a specific dashboard (fig. 2).

With this dashboard it is possible to:

- monitor the overall status of the fleet
- monitor the status of the main redundant systems of each single locomotive;

Visualizzazione riassuntiva per flotta
Summary display per fleet



a

Visualizzazione veicolo con dettaglio sui sistemi monitorati
Vehicle display with details on the monitored systems

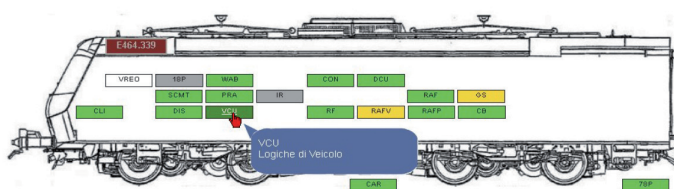


Fig. 2 - Cruscotti presenti sul portale Web del sistema di Telediagnostica.
Fig. 2 - Dashboards present on the Telediagnostica system web portal.

c. notificare, attraverso una delle tipologie di comunicazione attive (Email, avvisi su portale web, messaggi SMS o avvisi nel sistema RSMS) ogniqualvolta viene rilevata una perdita di un componente ridondato tra quelli monitorati.

Gli operatori della sala di controllo utilizzando questo cruscotto possono quindi:

1. scegliere opportunamente le locomotive da utilizzare per l'esercizio in modo tale da ridurre il rischio associato all'utilizzo di locomotive che mostrano un degrado in termini di affidabilità;
2. prevedere e pianificare la sostituzione della locomotiva ed il suo rientro anticipato in impianto
3. pianificare gli interventi manutentivi in modo da ripristinare il livello di affidabilità massimo.

La notifica automatica della perdita di una ridondanza consente al gestore dei rotabili di reagire tempestivamente all'informazione: Il Personale Di Condotta può essere tempestivamente informato in modo tale da consentirgli di modificare il servizio attuando le configurazioni più opportune e condividendo eventualmente con lui una procedura che possa permettergli di superare un eventuale problema in linea.

Tramite la funzione di monitoraggio è possibile aumentare il livello di affidabilità della flotta riducendo la possibilità di fermi in linea (riserve) e di conseguenza aumentando la disponibilità.

4.1.2. La funzione di remotizzazione del banco di manovra dei rotabili per la riduzione delle riserve in linea

Un'applicazione dedicata permette di replicare lo stato dei comandi e dei controlli del banco di manovra e dei relativi monitor (fig. 3) di una locomotiva. La lettura e l'invio dei dati utilizzati per la remotizzazione vengono avviate su specifica richiesta dell'applicazione, è però possibile effettuarne una registrazione continua al fine di poter replicare in un secondo momento quanto visualizzato su monitor e banco in un particolare periodo d'interesse.

La remotizzazione del banco di manovra e dei monitor consente di assistere il personale di macchina in difficoltà dando la possibilità a chi fornisce assistenza di valutare lo stato delle leve, dei controlli e dei monitor così come li vede visualizzati il Personale Di Condotta. La registrazione dei parametri che consentono la remotizzazione si attiva in automatico nel caso in cui venga notificato un avviso al PDC. L'analisi delle operazioni effettuate dal PDC durante il processo di gestione di un avviso consente di studiare al meglio i problemi ricorrenti e migliorare così le procedure di gestione descritte nella manualistica.

Tramite la funzione di remotizzazione del banco di manovra è quindi possibile diminuire i tempi di depannage e di conseguenza i tempi di accudienza o fermi di linea aumentando la disponibilità della flotta.

c. notify, through one of the enabled communication types (email, warnings on the web portal, text messages or warning in the RSMS system) any time there is a failure of one of the monitored redundant components.

The control room operators using this dashboard can:

1. conveniently select locomotives to use for operation in order to reduce the risk associated with the use of locomotives which show a decrease in reliability;
2. predict and plan the replacement of a locomotive and eventually its early return to the plant
3. plan maintenance operations in order to restore the maximum level of reliability.

Automatic notification of failure of a redundancy lets the rolling stock operator react promptly to the information: the driver can be promptly informed so that he can modify the service by implementing more appropriate configurations and possibly sharing a procedure with him that lets him overcome a possible line problem.

With the monitoring function it is possible to increase the level of fleet reliability by reducing the possibility of line stops (reserves) and consequently increasing availability.

4.1.2. Remote function of the rolling stock driver desk for the reduction of in line reserves

A specific application used to replicate the status of control stand commands and control and relative monitors (fig. 3) of a locomotive. Reading and transmission of the data used for remote control is triggered upon specific request of the application, however it is possible to perform continuous recording in order to later replicate what is displayed on the monitor and desk controls status in a specific period.

Remote control of the control stand and monitors makes it possible to assist machine personnel who are having problems by giving the possibility to whoever provides assistance to assess the status of the levers, controls and monitors as the Driver sees them displayed. The recording of parameters which allows remote control automatically start if a warning is notified to the PDC. The analysis of operations performed by the PDC during the warning management process makes it possible to best study recurring problems and thus improve the management procedure described in the manuals.

Using the control stand remote control function it is possible to decrease troubleshooting times and consequently the maintenance or in line stop time thus increasing fleet availability.

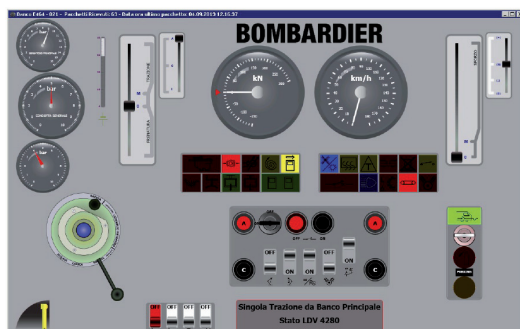
4.2. The functions and related benefits of the Tele-diagnostic system for rolling stock maintenance

4.2.1. Remote diagnostic analysis and automatic notification of failures and component deterioration in order to reduce maintenance times

As described above the Tele-diagnostic system makes re-

OSSERVATORIO

Riproduzione del banco di manovra della locomotiva E464-021, attualmente ferma e con il comando porte attivo.
Reproduction of the E464-021 locomotive control stand, currently stopped and with the door command enabled.



Riproduzione del monitor strumenti della locomotiva E464-021, la velocità è impostata, la tensione di linea e la corrente assorbita sono congruenti con lo stato della macchina.
Reproduction of the E464-021 locomotive instrument monitor, the speed is set, the line voltage and absorbed current are consistent with the machine status.

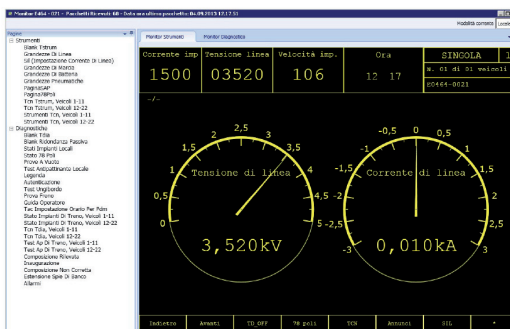


Fig. 3 - Interfacce della funzione di remotizzazione del banco di manovra.
 Fig. 3 - Remote driver desk controls and monitors.

4.2. Le funzioni e i relativi benefici del sistema Telediagnostica per la manutenzione dei rotabili

4.2.1. Analisi remota della diagnostica e notifica automatica dei guasti e degradi dei componenti al fine di ridurre i tempi di manutenzione

Come già descritto in precedenza il sistema Telediagnostica permette il monitoraggio in tempo reale delle informazioni diagnostiche ricevute dalle locomotive.

Il sistema, attraverso la continua trasmissione e registrazione dei dati ricevuti dal bordo del rotabile, elabora e presenta su pagine Web dedicate (fig. 4) le informazioni diagnostiche dei rotabili rendendole disponibili agli ope-

ral time monitoring possible of diagnostic information received from the locomotives.

The system, through the continuous transmission and recording of data received from on-board the rolling stock, processes and presents the rolling stock diagnostic information on specific web pages (fig. 4) making them available to maintenance operators and control rooms, thus avoiding the time for the vehicle to return and consequent manual data downloading.

The system makes it possible to generate reports and statistical analyses (composed of tables and graphs) which can be used to provide evidence to the maintenance operators of vehicle trends or behaviour, useful for identifying faulty situations. It is also possible to create reports associ-

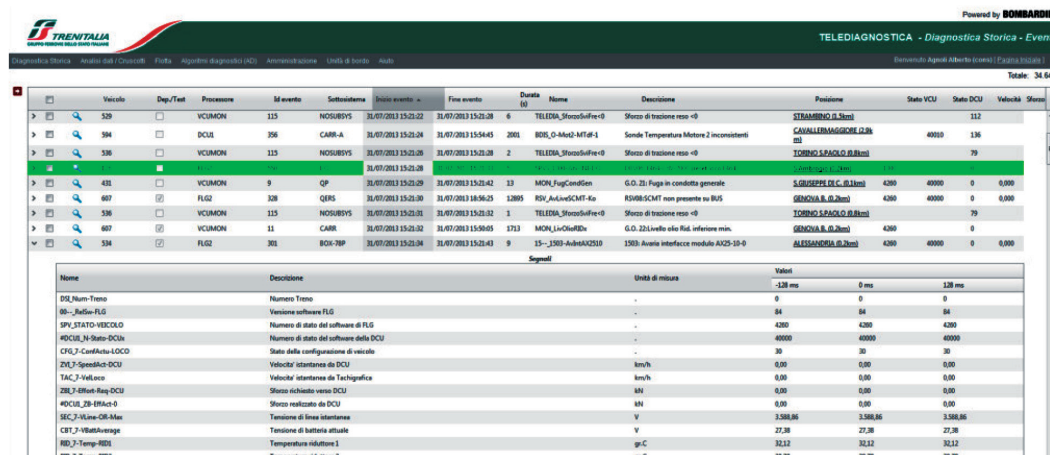


Fig. 4 - Visualizzazione web di eventi diagnostici e variabili ambientali.
 Fig. 4 - Web visualization of diagnostic events and environmental variables.

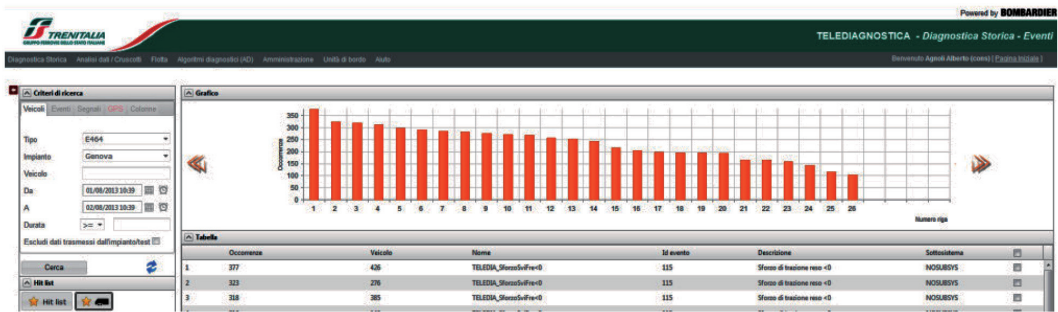


Fig. 5 - Esempio di analisi con diagramma HitList / Pareto su eventi di diagnostica.
Fig. 5 - Example of HitList / Pareto diagram analysis on diagnostics events.

ratori della manutenzione e le centrali operative i dati, evitando quindi i tempi di rientro della veicolo ed il conseguente scarico dati manuale.

Il sistema consente di generare report e analisi statistiche (composti di tabelle e grafici) che possono essere utilizzati per dare evidenza agli operatori della manutenzione di trend o comportamenti dei veicoli, utili ad individuare situazioni anomale. E' possibile inoltre creare report associati a KPI (Key Performance Indicator) utili a desumere, su una base temporale di medio e lungo termine, l'esito delle attività manutentive, al fine di ottimizzarne il processo (fig. 5).

Le informazioni diagnostiche acquisite dal sistema sono quindi elaborate da degli algoritmi diagnostici che producono in modo completamente automatico, al verificarsi delle condizioni descritte nella logica dell'algoritmo stesso, avvisi manutentivi che vengono inoltrati e gestiti dal sistema RSMS di Trenitalia.

Un algoritmo diagnostico è sostanzialmente costituito da due elementi: la parte di logica e la parte di argomento. La parte di logica definisce le condizioni, i controlli e le azioni da compiere al fine di verificare la presenza del guasto (anomalia) mentre la parte di argomento definisce quali siano le variabili su cui verificare le suddette condizioni, controlli e azioni.

La parte logica degli AD è spesso comune per diverse condizioni di guasto, per questo gli algoritmi si possono raggruppare in macro gruppi aventi la medesima logica. Per ogni logica è definito un *template*, realizzato tramite un diagramma di flusso generico che rappresenta la logica e lascia parametrizzato l'argomento.

La logica degli Algoritmi Diagnostici (AD) è creata tramite un opportuno tool software che in modo grafico permette di creare un diagramma di flusso (o sequenze) i cui blocchi (dette attività) sono definiti direttamente da un utente esperto. Nelle attività sono inserite le istruzioni al fine di eseguire le operazioni logiche e matematiche utili a definire la logica dell' algoritmo stesso (fig. 6).

Una volta creata la logica è possibile rendere disponibile in modo grafico sul portale del sistema Telediagnostica

ated to KPI (Key Performance Indicator) useful for understanding medium and long terms results of maintenance activities, in order to optimise the process (fig. 5).

The diagnostic information acquired by the system are then processed by the diagnostic algorithms which completely automatically produce maintenance warnings which are sent and managed by Trenitalia's RSMS system, whenever the conditions which are described in the algorithm occurs.

A diagnostic algorithm is basically composed of two elements: a logic part and an argument part. The logic part defines the conditions, controls and actions to perform in order to verify the presence of a failure (anomaly) while the argument part defines which variables to use to verify the aforesaid conditions, controls and actions.

The logic part of the DAs is often common for various failure conditions, for this reason they can be grouped into macro groups with the same logic. A template is defined for each logic, created with a generic flow diagram which represents the logic and makes it possible to set the argument parameters.

The Diagnostic Algorithm (DA) logic is created using a specific software tool which graphically makes it possible to create a flow (or sequence) diagram whose blocks (called activities) are defined by an expert user. Instructions are inserted

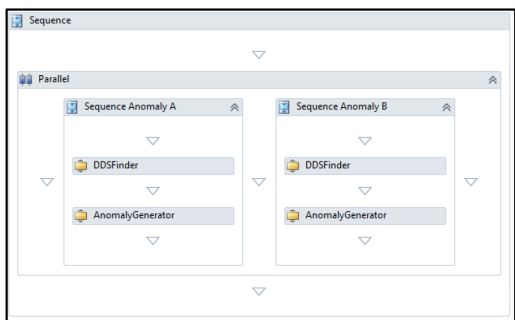


Fig. 6 - Maschera di rappresentazione in Visual Studio Workflow Designer.
Fig. 6 - Template editing in Visual Studio Workflow Designer.

ca l'AD per permettere all'utente standard (tipicamente l'operatore della centrale di controllo) di introdurre la parte di argomento (fig. 7).

Algoritmi diagnostici che si fondano sulla stessa logica di base possono essere ricavati dallo stesso template; cambiando di volta in volta gli argomenti si riescono ad ottenere Algoritmi Diagnostici differenti che consentono di rilevare diversi tipi di anomalie.

Il sistema permette sia la modifica dei parametri di una libreria di logiche esistenti (soglie, operatori di confronto, nomi evento, etc...) attraverso uno strumento web, sia l'estensione di queste logiche con uno strumento dedicato che viene utilizzato per creare e ed estendere la libreria di algoritmi diagnostici.

In base all'attuale configurazione del sistema Teledagnostica per la flotta E464 ad oggi è possibile diagnosticare e generare automaticamente l'ordinativo di lavoro associato, per più di 500 tipi diversi di anomalie. Per ogni tipo di anomalia è associato un Algoritmo Diagnostico la cui regola di attivazione si basa sull'analisi delle informazioni diagnostiche ricevuta dal sistema di bordo delle locomotive.

Nel caso in cui le informazioni diagnostiche verifichino le condizioni di attivazione dell'Algoritmo Diagnostico il sistema genera una anomalia che in base alla configurazione specifica dell'algoritmo può generare una e-mail, un SMS o l'invio di un avviso al sistema RSMS di Trenitalia (fig. 8).

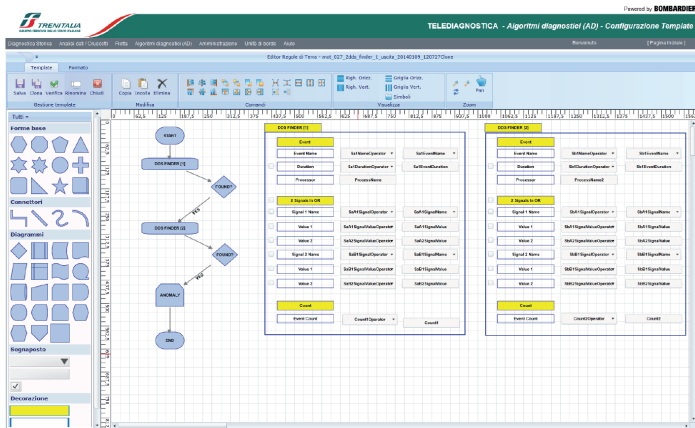


Fig. 7 - Rappresentazione web dei parametri degli algoritmi di diagnostica.
Fig. 7 - Web editing of diagnostic algorithms parameters.

in the activities in order to perform the logical and mathematical operations useful for defining the algorithm logic (fig. 7).

Once the logic is created it is possible to make the DA graphically available on the Tele-diagnostic system portal to let the standard user (normally the control unit operator) enter the argument part.

Diagnostic algorithms based on the same standard logic can be obtained from the same template; by changing the algorithms on a time to time basis different Diagnostic Algorithms can be obtained which make it possible to detect different types of faults.

The system makes it possible to modify the parameters of an existing logic library (thresholds, comparison operators,

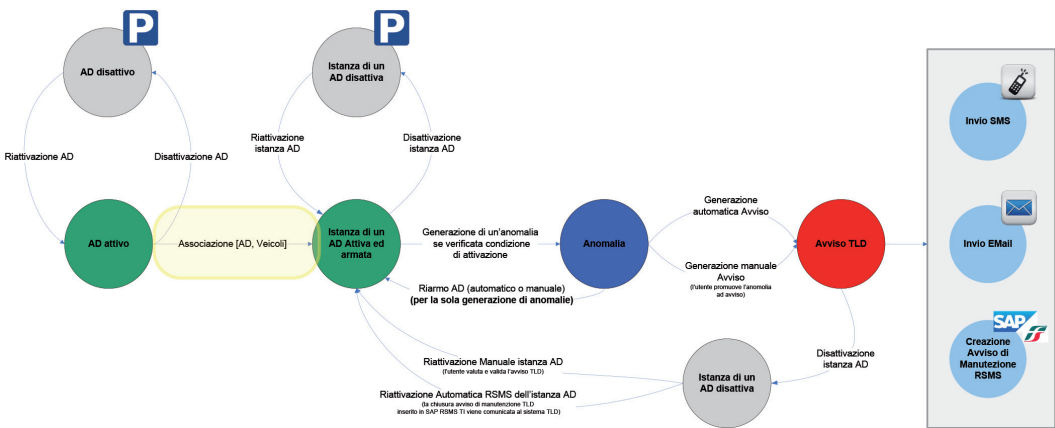


Fig. 8 - Ciclo di vita di un algoritmo di diagnostica.
Fig. 8 - Lifecycle of a diagnostic algorithm.

Nel caso in cui l'anomalia implichi la generazione di un avviso l'informazione inviata al sistema RSMS specifica:

- codifica UIC del rotabile;
- codice algoritmo e descrizione sintetica;
- data e ora di rilevazione del malfunzionamento;
- descrizione dell'anomalia rilevata (un algoritmo può emettere più tipi di anomalia)
- uno o più componenti dell'albero di prodotto Trenitalia che possono aver prodotto l'anomalia;
- attività manutentiva consigliata per risolvere il guasto.

L'operatore del sistema RSMS a questo punto riceve l'avviso e crea di conseguenza l'Ordinativo di Lavoro che verrà gestito (preso in carico e di conseguenza chiuso) da un operatore della manutenzione.

Grazie a questo processo il sistema Telediagnostica:

- riduce i tempi di ricerca guasti;
- consente un preventivo approvvigionamento dei materiali necessari per effettuare una riparazione;
- consente di ottimizzare la schedulazione delle attività di riparazione previste per un certo rotabile: ripianificando (ad esempio in prossimità di una scadenza di manutenzione correttiva o preventiva), ordinando le attività per le diverse squadre di specialisti, ordinando le attività.

Tramite la funzione di analisi remota della diagnostica e notifica dei guasti e degradi dei componenti è quindi possibile diminuire drasticamente i tempi di diagnosi e di conseguenza ridurre i tempi di attraversamento in manutenzione aumentando la disponibilità della flotta.

4.3. Le funzioni e i relativi benefici del sistema Telediagnostica per l'ingegneria dei rotabili

4.3.1. Strumenti di supporto per l'analisi dati e per l'estensione della diagnostica di bordo per l'aumento dell'affidabilità dei rotabili

Il sistema Telediagnostica consente di estendere le informazioni diagnostiche di veicolo, configurando da remoto i dispositivi di bordo affinché generino:

- nuovi eventi diagnostici;
- contatori di funzionamento;
- registrazioni di variabili fisiche acquisite dal sistema di controllo del veicolo.

La possibilità di configurare da remoto il sistema di bordo permette all'ingegneria di manutenzione di creare eventi diagnostici, contatori o registrazioni con tempi drasticamente inferiori agli attuali. Infatti senza l'utilizzo del sistema Telediagnostica, per estendere la diagnostica nativa (per esempio per aggiungere un nuovo evento dia-

event names, etc.) through a web instrument, as well as change the extension of these logics with a dedicated tool which is used to create and extend the library of diagnostic algorithms logics.

Based on the current configuration of the Tele-diagnostic system for the E464 fleet it is currently possible to diagnose and automatically generate the associated work order, for more than 500 different types of faults. Each type of fault is associated to a Diagnostic Algorithm whose activation rule is based on an analysis of the diagnostic information received from the on-board systems of the locomotives.

If the diagnostic information verify the Diagnostic Algorithm activation conditions the system generates a fault which based on the specific algorithm configuration can generate an e-mail, text message or send a warning to the Trenitalia RSMS system (fig. 8).

If the fault implies the generation of a warning the information sent to the RSMS system specifies:

- rolling stock UIC code;
- algorithm code and brief description;
- date and time malfunction was detected;
- description of the detected fault (an algorithm can issue more than one fault type);
- one or more components of the Trenitalia product tree that can have produced the fault;
- recommended maintenance activity to resolve the failure.

At this point the RSMS operator receives the warning and consequently creates a Work Order which will be managed (handled and then closed) by a maintenance operator.

Thanks to this process the Tele-diagnostic system allows:

- to reduce troubleshooting time;
- to procure materials needed to make a repair ahead of time;
- to optimise repair activity scheduling for a certain rolling stock: re planning (for example close to a corrective or preventive maintenance deadline), by ordering the activity for the various specialist teams and ordering the activities.

Using the remote analysis function of the failure and deterioration component diagnosis and notice it is thus possible to drastically decrease diagnosis times and consequently decrease maintenance times by increasing the availability of the fleet.

4.3. The functions and related benefits of the Tele-diagnostic system for rolling stock engineering

4.3.1. Support tools for data analysis and for extension of on-board diagnostics to increase rolling stock reliability

The Tele-diagnostic system makes it possible to extend vehicle diagnostic information, by remotely configuring on-board devices so they generate:

gnostico) è necessario seguire un processo omologativo complesso e aggiornare manualmente la flotta dei veicoli.

Il sistema mette a disposizione un tool grafico che permette di creare delle macchine a stati che definiscono le logiche di creazione di nuovi eventi diagnostici e/o contatori oppure le condizioni di attivazione e/o disattivazione di registrazione delle variabili fisiche acquisite dal sistema di controllo del veicolo.

Gli eventi diagnostici/contatori e registrazioni sono poi gestiti dal sistema in modo equivalente alle informazioni native e di conseguenza su tali informazioni è possibile creare degli Algoritmi Diagnostici per diagnosticare condizioni di guasto o degrado che altrimenti non si sarebbero potute diagnosticare (fig. 9).

Tramite la funzione di esenzione della diagnostica di bordo è possibile diminuire drasticamente i tempi di analisi di particolare condizioni di funzionamento. E' inoltre possibile estendere le capacità diagnostiche del veicolo aumentandone l'affidabilità e di conseguenza la disponibilità.

5. Esempi di casi reali relativi a segnalazioni automatiche di problemi rilevati su locomotive in servizio che hanno contribuito a evitare una riserva

In questo paragrafo sono descritte a titolo d'esempio tre situazioni realmente accadute in cui le funzioni del sistema Telediagnostica hanno permesso di evitare un guasto bloccante in linea e la conseguente richiesta di riserva. Di ogni situazione viene indicato l'evento, la logica dell'algoritmo che ha permesso la diagnosi del guasto e le funzionalità del sistema che hanno permesso di implementare queste logiche. Il primo esempio descrive la logica di un algoritmo diagnostico che elabora dati già memorizzati sul server di terra, i restanti due sono stati implementati sfruttando le capacità diagnostiche del dispositivo Telediagnostica installato a bordo, in questi ultimi due casi il sistema di terra riceve un'informazione pre-elaborata che può direttamente utilizzare per la generazione dell'avviso di manutenzione.

5.1. Caso 1: Diagnosi della perdita di liquido refrigerante dal circuito di raffreddamento

[Giugno 2013] Il sistema di Telediagnostica riscontra una graduale perdita di liquido dal circuito di raffreddamento di una locomotiva E464 che stava svolgendo regolare servizio, l'anomalia viene notificata alla centrale operativa ed un avviso di manutenzione è viene creato nel sistema Telediagnostica e conseguentemente inserito nel gestionale Trenitalia RSMS.

Si può rilevare come il sistema di Telediagnostica abbia incrementato le

- new diagnostic event;
- operation counters;
- recording of physical variables acquired by the vehicle control system.

The possibility to remotely configure the on-board system lets maintenance engineering create diagnostic events, counters or recording with times drastically shorter than current ones. Without the use of the Tele-diagnostic system, to extend the native diagnostics (for example to add a new diagnostic event) it is necessary to follow a complex homologation process and manually update the vehicle fleet.

The system offers a graphic tool to create the state machine which define the creation logic of new diagnostic events and/or counters or recording activation and/or deactivation conditions for the physical variables acquired by the vehicle control system.

The diagnostic events/counters and recordings can be then managed by the system in a equivalent manner to the native information and consequently it is possible to create Diagnostic Algorithms on this information to diagnose fault or deterioration conditions that would not have been otherwise possible to diagnose (fig. 9).

Using the on-board diagnostic extension function it is possible to drastically decrease analysis times in particular operating conditions. It is also possible to extend vehicle diagnostic capacity increasing vehicle reliability and thus availability.

5. Examples of real cases regarding automatic warnings of problems detected on locomotives in operation which have contributed to avoid a reserve

This paragraph describes examples of three situations which really occurred where the Tele-diagnostic system functions made it possible to avoid a in line failure and consequent request of reserve. For each situation the event is indicated, the algorithm logic used to diagnose the fault and the system functions used to implement the logic. The

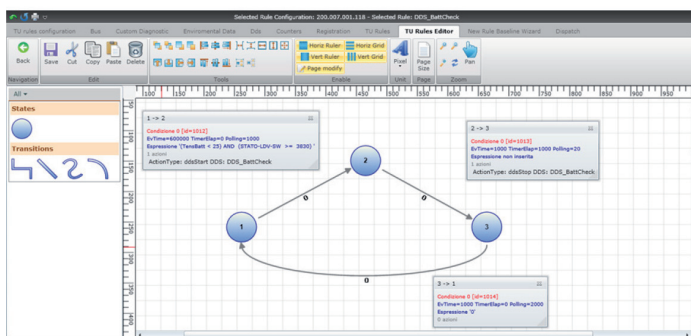


Fig. 9 - Web editor rappresentativo dello stato funzionale logico di bordo definito dall'utente.
Fig. 9 - State machine web editor for custom defined on board logic.

capacità diagnostiche già presenti sulla locomotiva perché, attraverso l'analisi automatica e remota, è riuscito a rilevare quello che il Personale Di Condotta non avrebbe potuto individuare; infatti, l'unica segnalazione che fa riferimento al livello di acqua nel circuito di raffreddamento, è presente nel menu monitor diagnostico (pagina impianti) che viene però oscurato a velocità superiori a 3 km/h.

L'algoritmo diagnostico "AD_RAF_013" che ha permesso di evitare la riserva è stato progettato per segnalare la presenza di una perdita d'acqua o un livello troppo basso di acqua nel circuito di raffreddamento.

La logica dell'AD è descritto dai blocchi schematizzati nella fig. 10. I parametri del modello utilizzato per "AD_RAF_013" sono stati valorizzati attraverso l'editor web (fig. 11) e sono due eventi diagnostici, che indicano rispettivamente il raggiungimento un particolare livello nel serbatoio dell'acqua di raffreddamento: "BDIS_D-CBI-MLdres", "BDIS_D-CBI-MLlow".

L'algoritmo non si limita a verificare l'accadimento dei due eventi diagnostici ma si basa inoltre sulla valutazione delle durate degli eventi stessi, associando una diversa priorità ai due eventi, e di conseguenza diversificando l'attività manutentiva suggerita con l'avviso. Così facendo si limitano i falsi allarmi causati da letture intermittenti ed eventuale rumore (ad es. causato da brevi falsi contatti) e si riesce ad individuare i casi in cui sia realmente necessario fermare la locomotiva per fare un rabbocco, in attesa di una verifica più approfondita da eseguirsi in deposito per poter ripristinare il corretto livello di acqua nel circuito e riparare eventuali perdite nel circuito.

È importante sottolineare come in questo caso siano stati elaborati degli eventi diagnostici già esistenti nella diagnostica dei veicoli, che avrebbero semplicemente registrato dei livelli anormali di acqua nel circuito. Il sistema Telediagnostica ha permesso di utilizzarli per generare degli avvisi utili sia al Personale Di Condotta, per la prosecuzione del servizio, che alla centrale operativa e ai manutentori, per ottenere informazioni più dettagliate sull'anomalia così da pianificare attività manutentive in impianto.

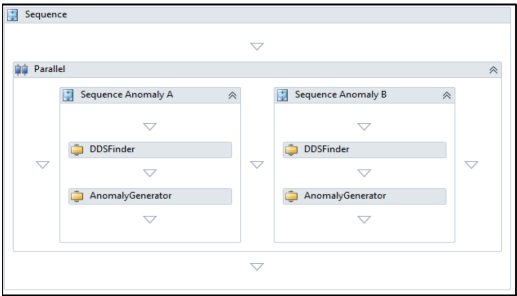


Fig. 10 - Maschera AD_RAF_013 dell' AD.
Fig. 10 - AD_RAF_013 template of the AD.

first example describes the logic of a diagnostic algorithm which processes data already memorised on the off-board server, the other two were implemented by using the diagnostic abilities of the Tele-diagnostic device installed on board, in these last two cases the off-board system receives pre-processed information which can be directly used to generate a maintenance warning .

5.1. Case 1: Diagnosis of coolant leak from the cooling circuit

[June 2013] The Tele-diagnostic system detected a gradual leak of liquid from the cooling circuit of an E464 locomotive which was in regular service, the problem was notified to the operating control room and a maintenance warning was created in the Tele-diagnostic system and consequently entered in the Trenitalia RSMS management system.

It is possible to note how the Tele-diagnostic system increased the diagnostic capacity already present on the locomotive because, through automatic and remote analysis it was able to detect what the driver would not have been able to identify; The only warning that refers to the water level in the cooling circuit is present in the diagnostic monitor

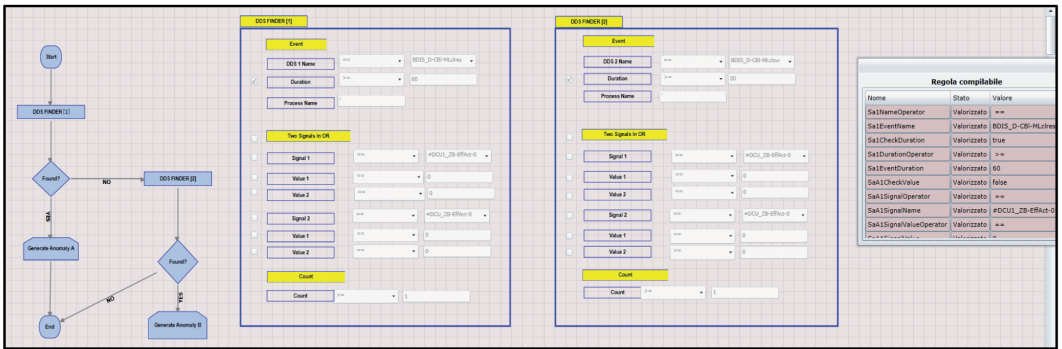


Fig. 11 - Calibrazione web dei parametri AD_RAF_013.
Fig. 11 - Web tuning of AD_RAF_013 parameters.

5.2. Caso 2: Diagnosi di mancata ricarica delle batterie

[Luglio 2013] Il sistema di Telediagnostica riscontra una avaria ai carichi batterie di una locomotiva E464 che stava per iniziare il suo regolare servizio partendo dall'impianto di appartenenza. L'anomalia viene notificata alla centrale operativa ed un avviso di manutenzione viene creato nel sistema Telediagnostica e conseguentemente inserito nel gestionale Trenitalia RSMS.

Il Personale Di Condotto non aveva rilevato manualmente il guasto ed il conseguente stato delle batterie, è stato quindi informato dalla centrale operativa che l'ha guidato nella procedura di verifica e ripristino della funzionalità. È stato quindi consigliato di resettare l'elettronica della locomotiva allo scopo di riattivare i carichi batterie; questi ultimi, una volta ripristinati, hanno riportato la tensione delle batterie sui normali livelli operativi permettendo al convoglio di proseguire il suo servizio giornaliero.

In questo caso l'algoritmo diagnostico "AD_BattCheck" ha permesso di rilevare l'anomalia per cui con i gruppi statici attivi, condizione in cui normalmente i carichi batterie delle locomotive E464 iniziano a caricare gli accumulatori, la tensione delle batterie continua a scendere indicando un livello di carica vicina alla minima soglia che permette l'operatività della locomotiva.

Il modello di flusso dell'algoritmo "AD_BattCheck" è descritto dai blocchi schematizzati fig. 12. Tale algoritmo ha un unico parametro ovvero il nome di un evento, al cui accadimento viene comandata la generazione dell'anomalia. Questa semplificazione è possibile perché questo algoritmo delega la logica di individuazione del guasto al dispositivo di bordo che continuamente ve-

menu (systems page) which is blanked out at speeds higher than 3 km/h.

The diagnostic algorithm "AD_RAF_013" which made it possible to avoid the reserve was designed to indicate the presence of a water leak or too low water level in the cooling circuit.

The AD logic is described in the block diagram in fig. 10. The model parameters used for "AD_RAF_013" were assigned values through the editor web (fig. 11) and they are two diagnostic events which indicate reaching a particular level in the cooling water tank: "BDIS_D-CBI-MLdres", "BDIS_D-CBI-MLlow".

The algorithm does not just verify the occurrence of the two diagnostic events but is also based on an assessment of the duration of the events, associating a different priority to the two events, and consequently diversifying the maintenance activity suggested with the warning. By doing so false alarms caused by intermittent readings and any interference (e.g. caused by short false contacts) are limited and it is possible to identify the cases where it is really necessary to stop the locomotive to top up, while waiting for more in-depth testing to perform at the depot in order to restore the correct water level in the circuit and repair any leaks in it.

It is important to underline how in this case diagnostic events already existing in the vehicle diagnostics (native) were processed, which had simply logged abnormal water levels in the circuit. The Tele-diagnostic system made it possible to use them to generate warnings useful for the driver, to be able to continue the service and the operating control room and maintenance personnel, to obtain more detailed information on the fault in order to plan maintenance activity in the plant.

5.2. Case 2: Diagnosis of failed battery recharging

[July 2013] The Tele-diagnostic system detects a battery charger fault on an E464 locomotive which was about to begin regular service starting from its plant. The problem was notified to the operating control room and a maintenance warning was created in the Tele-diagnostic system and consequently entered in the Trenitalia RSMS management system.

The driver had not manually detected the fault and the consequent status of the batteries, thus he was informed by the operating control room which guided him in the test procedures and restoration of operation. He was then advised to reset the locomotive electronics in order to reactivate the battery chargers; once the chargers were restarted, they restored the battery voltage to normal operating levels allowing the train to continue its daily service.

In this case the "AD_BattCheck" diagnostic algorithm made it possible to detect the fault so that with static units enabled, representing a condition where normally the E464 locomotive battery chargers start to charge the batteries, the battery voltage continues to drop indicating a charge level

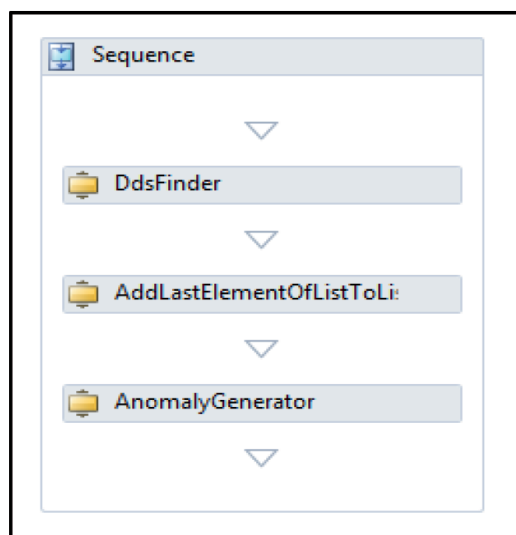


Fig. 12 - Maschera AD_BattCheck dell'AD.
Fig. 12 - AD_BattCheck template AD.

rifica le condizioni descritte nella macchina illustrata in fig. 13.

I 3 stati e le 3 transizioni descritte in figura rappresentano la logica di generazione dell'evento di bordo poi utilizzato dall'algoritmo di terra. Se la tensione delle batterie risulta minore di 25 V per un tempo superiore a 10 minuti ed i gruppi statici risultano attivi (verificato con il controllo di stato $3830 \leq \text{STATO-LDV-SW} \leq 4400$), allora avviene la transizione da stato 1 a stato 2 con conseguente apertura, tempo di inizio, dell'evento DDS_BattCheck. La chiusura evento viene creata dopo 1 secondo, transizione da stato 2 a stato 3, e viene poi evitata la generazione di altri eventi simili fino allo spegnimento della locomotiva, da stato 3 a stato 1 è imposta la condizione 0, equivalente al "non vero" o "mai verificato".

5.3. Caso 3: Diagnosi della sovratemperatura dei riduttori

[Agosto 2013] Il sistema di Telediagnostica riscontra una anomala temperatura del riduttore 2 di una locomotiva E464 durante il suo regolare servizio. L'anomalia viene notificata alla centrale operativa ed un avviso di manutenzione viene creato nel sistema Telediagnostica e conseguentemente inserito nel gestionale Trenitalia RSMS.

Durante il normale esercizio vengono costantemente monitorati dalla diagnostica di veicolo standard parametri quali temperatura motori e riduttori. I messaggi diagnostici di primo livello non vengono però visualizzati dal Personale Di Condotta perché non hanno effetti sul servizio. Raggiungere il secondo livello di allarme implica nella maggior parte dei casi un forzato degrado delle prestazioni a tutela dei componenti dove viene rilevato lo stress.

Nel particolare caso in esame in base alla temperatura rilevata sui riduttori la logica di veicolo:

- sopra i 120°C genera un evento diagnostico;
- sopra i 130°C comanda la riduzione della velocità a valori minori di 30 km/h;
- sopra i 140°C comanda l'arresto della macchina (apertura IR).

near the minimum threshold allowing operation of the locomotive.

The flow model of the "AD_BattCheck" algorithm is described in the block diagram in fig. 12. This algorithm has a single parameter, i.e. the name of an event, the occurrence of which causes a fault to be generated. This simplification is possible because this algorithm delegates the fault identification logic to the on-board device which continuously checks the conditions described in the machine shown in fig. 13.

The 3 states and 3 transitions described in the figure represent the on-board event generation logic later used by the off-board algorithm. If the battery voltage is less than 25 V for a time greater than 10 minutes and the static groups are enabled $3830 \leq \text{STATO-LDV-SW} \leq 4400$, then there is a transition from state 1 to state 2 with consequent opening, start time, of event DDS_BattCheck. Closing of the event is created after 1 second, transition from state 2 to state 3, and then the generation of other similar events is prevented until the locomotive goes off, from state 3 to state 1 condition 0 is set, equivalent to "untrue" or "never occurred".

5.3. Case 3: Diagnosis of gearbox overheating

[August 2013] The Tele-diagnostic system detects an abnormal temperature of gear box 2 of an E464 locomotive during its regular service. The problem was notified to the operating control room and a maintenance warning was created in the Tele-diagnostic system and consequently entered in the Trenitalia RSMS management system.

During normal operation the vehicle diagnostic constantly monitors standard parameters such as motor and gearbox temperature. However, the first level diagnostic messages are not shown to the Driver because they have no effect on service. When the second alarm level is reached in most cases there is a forced deterioration of performance to protect the components where the stress is detected.

Based on the temperature detected in the gear boxes, the vehicle logic:

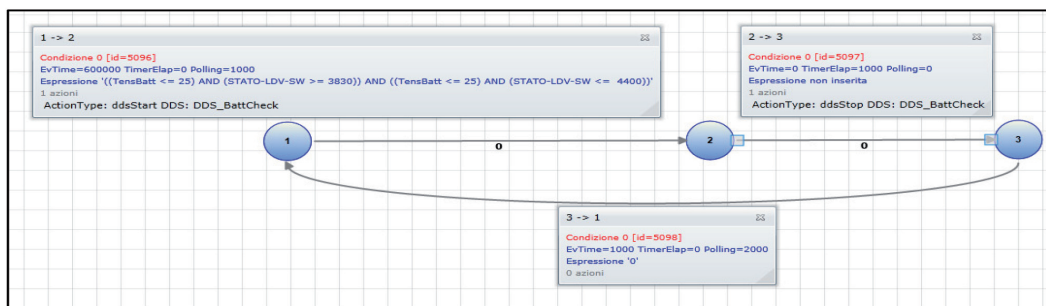


Fig. 13 - Rappresentazione dello stato funzionale logico di bordo definito dall'utente per l'evento DDS_BattCheck.

Fig. 13 - State machine definition for custom on board event DDS_BattCheck.

L'esperienza di diversi anni d'esercizio ha suggerito la creazione di un soglia intermedia a 125°C. La centrale operativa informata del superamento di questa nuova soglia inserita grazie a Telediagnostica, ha quindi chiesto via radio al Personale Di Condotta di limitare la velocità, mantenendo le temperatura al di sotto dei 130°C (livello 2), questo ha permesso al treno di terminare il servizio e rientrare in impianto. Gli strumenti di reportistica del sistema Telediagnostica hanno permesso di analizzare i dati storici e diagnosticare un pregresso di superamenti anomali della temperatura di quel particolare riduttore. E' stata avviata una indagine manutentiva che ha portato, dopo l'individuazione di residui di limatura nell'olio riduttore, alle attività di lavaggio riduttore e sostituzione completa olio.

Come visto nel caso precedente, anche l'algoritmo "AD_MaxTempRid2", che ha permesso di evitare la possibile riserva descritta in precedenza, utilizza un modello di terra semplificato perché delega la logica diagnostica sul dispositivo di bordo. Il dispositivo di bordo verifica continuamente le condizioni descritte nella macchina a stati sotto riportata che, quando si verificano, producono un evento che ricevuto dal sistema di terra comporterà la generazione di anomalie, avviso, email o SMS (fig. 14).

I 2 stati e le 2 transizioni descritte in figura rappresentano la logica di generazione dell'evento di bordo poi utilizzato dall'algoritmo di terra. La transizione da stato 1 a stato 2, che comporta l'apertura dell'evento diagnostico DDS_MaxTempRid2, avviene quando la temperatura del riduttore 2 risulta per più di 10 minuti (600000ms in figura) superiore a 125 °C. La chiusura dell'evento avviene su base temporale dopo 2 secondi dall'apertura.

6. Valutazione dei benefici del sistema Telediagnostica negli ambiti di utilizzo

Il sistema Telediagnostica è stato inizialmente validato attraverso un processo di verifica degli algoritmi diagnostici, terminato per la flotta E464, nel mese di maggio del 2013. La fase di test degli algoritmi diagnostici mirava alla valutazione di alcuni parametri che misuravano il beneficio sul processo manutentivo relativamente agli avvisi emessi da 100 locomotive scelte tra le 688 disponibili.

I parametri hanno permesso di valutare il grado di copertura degli algoritmi diagnostici rispetto al totale dia-

- above 120°C generates a diagnostic event;
- above 130°C causes a reduction of the speed to 30 km/h;
- above 140°C causes the machine to stop (IR opening).

Several years of operating experience suggested the creation of an intermediate threshold of 125°C. When the operating control was informed that this new threshold had been exceeded, it asked the driver by radio to slow down, keeping the temperature under 130°C (level 2), this allowed the train to finish the service and return to the plant. The Tele-diagnostic system reporting instruments made it possible to analyse historic data and diagnose a previous abnormal exceeding of the temperature of that specific gear box. A maintenance investigation was started, which led, after identification of filing residue in the gear box oil, to gear box washing and completely changing the oil.

As seen in the previous case, the "AD_MaxTempRid2" algorithm, which made it possible to avoid the possible reserve described previously, also uses a simplified off-board model because it delegates the diagnostic logic to the on-board device. The on-board device constantly checks the conditions described in the machine at the states shown below which, when they occur, produce an event that when received by the off-board system generates faults, warnings, e-mails or text messages (fig. 14).

The 2 states and 2 transitions described in the figure represent the on-board event generation logic later used by the off-board algorithm. The transition from state 1 to state 2, which leads to opening of the diagnostic event DDS_MaxTempRid2, occurs when the temperature of gear box 2 is greater than 125°C for more than 10 minutes (600000ms in the figure). Closing of the event is on a time basis 2 seconds after opening.

6. Assessment of the Tele-diagnostic system benefits

The Tele-diagnostic system was initially validated through a test process designed to evaluate the diagnostic algorithms, ready for the E464 fleet in the month of May 2013. The diagnostic algorithm test phase was aimed at evaluating some parameters which measured the quality,

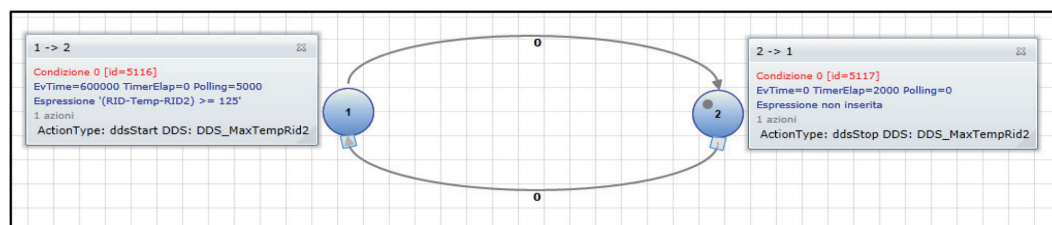


Fig. 14 - Rappresentazione dello stato funzionale logico di bordo definito dall'utente per l'evento AD_MaxTempRid2.

Fig. 14 - State machine definition for custom on board event AD_MaxTempRid2.

gnosticabile ed il grado di affidabilità degli stessi su un intervallo temporale di 6 mesi. Ogni avviso generato in automatico dal sistema è stato valutato dai referenti d'Impianto Trenitalia unitamente agli addetti della Direzione Ingegneria di Trenitalia, il conteggio di queste valutazioni ha consentito di generare un report mensile.

Il periodo di test di cui si è accennato in precedenza ha dimostrato l'affidabilità delle informazioni fornite in automatico dal sistema Telediagnostica ed è quindi stato possibile estendere l'utilizzo del sistema ai 15 impianti di manutenzione e alla direzione ingegneria Trenitalia a partire dalla fine del 2013. In particolare è stato misurato un tasso di copertura del 91% relativamente ai sistemi diagnosticabili (es. azionamento, logica di veicolo, convertitori ausiliari) rispetto ad un target contrattuale dell'80%. E' stata inoltre misurata la percentuale del 3,5% di interventi conclusi con "Nulla Riscontrato" rispetto ad un target massimo del 5%. Gli avvisi di manutenzione emessi dal sistema rivelatesi errati sono invece stati pari al 0,9%.

Al fine di valutare in modo quantitativo sull'intera flotta E464 i benefici dell'utilizzo del sistema Telediagnostica per il processo manutentivo e il miglioramento della disponibilità sarà necessario un periodo più lungo di monitoraggio al fine al fine di valutare i seguenti due principali indicatori:

- *riduzione dei guasti bloccanti in linea (riserve)*: analisi delle riserve accadute in linea prima e dopo l'introduzione del sistema;
- *riduzione dei tempi di attraversamento*: analisi della riduzione dei tempi di attraversamento in manutenzione dei veicoli;

La misura statistica di tali indicatori potrà quindi essere tradotta in una valutazione quantitativa di aumento di disponibilità della flotta al fine di valutare il beneficio per l'operatore Trenitalia in termini di numero di locomotive all'anno disponibili e un conseguente vantaggio per l'utente finale che usufruisce del servizio.

6.1. Riduzione dei guasti bloccanti in linea (riserve)

Come descritto nei precedenti paragrafi il sistema Telediagnostica fornisce informazioni in tempo reale e più di uno strumento, utilizzabile nei processi di monitoraggio e manutenzione Trenitalia, che potrebbero portare in breve tempo ad una sensibile riduzione dei guasti bloccanti.

6.2. Riduzione dei tempi di attraversamento

Uno dei componenti più innovativi introdotti dal sistema Telediagnostica è il sistema esperto, che monitorando costantemente i dati ricevuti dai rotabili genera in automatico avvisi di manutenzione. Si assume per quest'analisi che ogni avviso di Telediagnostica generato automaticamente dal sistema produca un beneficio in termini di ore risparmiate per operare una precisa attività manutentiva.

In questo paragrafo è descritto il calcolo parametrico

reliability and coverage of the work order created on 100 locomotives selected out of the 688 available.

The parameters made it possible to assess the degree of coverage of the diagnostic algorithms compared to everything diagnosable and their degree of reliability over a time period of 6 months. Each warning automatically generated by the system was assessed by Trenitalia plant engineers together with Trenitalia Engineering Department employees, by counting these assessments a monthly report has been created.

The test period mentioned above demonstrated the reliability of the information automatically supplied by the Telediagnostic system and it was thus possible to extend the use of the system to 15 maintenance plants and Trenitalia engineering department starting at the end of 2013. In particular a 91% coverage rate was measured for diagnosable systems (e.g. drive, vehicle logic, converters, and auxiliaries) compared to a 80% contractual target. In addition a 3.5% of interventions completed with "Nothing Detected" was measured compared to a maximum target of 5%. Maintenance warnings issued by the system which turned out to be incorrect was equal to 0.9%.

In order to quantitatively assess benefits from using the Tele-diagnostic system for the maintenance process and improved availability on the entire E464 fleet a longer monitoring period will be necessary in order to evaluate the following two main indicators:

- *reduction of in-line failures (reserves): analysis of reserves occurring in line before and after introduction of the system;*
- *reduction of lead times: analysis of the impact on the maintenance times and schedule optimization.*

The statistical measurement of these indicators could thus be translated into a quantitative assessment of increased fleet availability in order to evaluate the benefit for Trenitalia in terms of number of locomotives available per year and a consequent advantage for passengers who uses the service.

6.1. Reduction of in-line failures (reserves)

As described in the previous paragraphs the Tele-diagnostic system supplies information in real time and more than one instrument, which can be used in Trenitalia monitoring and maintenance processes, which could quickly lead to a significant reduction in failures.

6.2. Reduction of pit stop times

One of the most innovative components introduced by the Tele-diagnostic system is the expert system, which by constantly monitoring the data received from the rolling stock automatically generates maintenance warnings. For this analysis it is assumed that each Tele-diagnostic warning automatically generated by the system produces a bene-

che lega la diminuzione dei tempi di attraversamento all'aumento di disponibilità della flotta E464.

L'avviso Telediagnostica:

1. Permette di abbattere i tempi di attesa: senza l'utilizzo del sistema, per portare a termine uno scarico manuale dei dati diagnostici è necessario che un operatore esperto dotato di opportuno PC si colleghi direttamente agli apparati diagnostici di locomotiva. Lo scarico dati richiede inoltre l'abilitazione della locomotiva che non sempre risulta possibile, come ad esempio nel caso di altre manutenzioni meccaniche eseguite in parallelo sul veicolo.
2. Permette di diminuire sensibilmente il tempo di ricerca guasti: grazie agli avvisi generati dal sistema si riducono o azzerano i tempi d'indagine del guasto che individuato puntualmente dall'avviso (a livello di LRU e modo di guasto) deve al più essere solo confermato dall'indagine remota della diagnostica.
3. Permette di predisporre il materiale necessario per la riparazione: grazie all'indicazione automatica dell'elemento guasto il materiale di riparazione può essere reso disponibile in zona manutenzione permettendo di azzerare i tempi di attesa dovuti alle operazioni di gestione carico/scarico da magazzino.

7. Conclusioni

Le funzionalità avanzate realizzate, il successo dell'installazione su una flotta di più di 700 locomotive, il superamento positivo della fase di validazione ed i feedback ricevuti dagli utilizzatori finali, rendono l'innovativo sistema Telediagnostica uno strumento chiave per Trenitalia per il miglioramento continuo del processo di manutenzione ed il fulcro del potenziamento futuro della capacità di manutenzione predittiva e su condizione.

Al fine di quantificare a livello di intera flotta il beneficio del sistema Trenitalia e Bombardier stanno elaborando analisi dati simili a quelli presentate in questo articolo. La raccolta dati è ancora in corso; si consideri infatti che il sistema Telediagnostica è operativo al 100% in tutti gli impianti e centrali operative solo da pochi mesi, ma da feedback preliminari ricevuti tramite interviste agli impianti di manutenzione è possibile aspettarsi vari benefici, tra cui la riduzione dei tempi di attraversamento e la riduzione del numero di riserve per milione di km percorsi.

La sempre maggiore integrazione di questo nuovo strumento nei processi di manutenzione e di supporto all'esercizio migliorerà ulteriormente i benefici descritti.

fit in terms of hours saved for performing a specific maintenance activity.

This paragraph introduces three parameters which allow the decrease of lead times and are hence linked to the increase in E464 fleet availability.

A Tele-diagnostic work order allows indeed:

1. *to reduce standby time: without use of the system, to complete manual downloading of diagnostic data an expert operator is required with an appropriate PC connected directly to the locomotive diagnostic equipment. Data downloading also requires enabling of the locomotive which is not always possible, for example if other mechanical maintenance is being performed at the same time on the vehicle.*
2. *to significantly decrease troubleshooting times: thanks to the warnings generated by the system troubleshooting time is reduced or eliminated since the fault is precisely identified by the warning (at LRU and fault mode level) at most it must only be confirmed by diagnostic investigation.*
3. *to arrange in advance the material required for the repair: thanks to the automatic indication of the faulty part the repair material can be made available in the maintenance area making it possible to eliminate waiting time due to warehouse load/unload management operations.*

7. Conclusions

The advanced functions created, success of the installation on a fleet of more than 700 locomotives, positive completion of the validation phase and feedback received from end users, make the innovative Tele-diagnostic system a key tool for Trenitalia for continuous improvement of its maintenance process and the core for future enhancement on predictive and condition-based maintenance.

Trenitalia and Bombardier are processing data analyses similar to the ones presented in this article in order to quantify the system benefits for the entire fleet. Data is still being collected; the Tele-diagnostic system has only been 100% operative in all plants and control rooms for a few months, but the initial feedback received from interviews at the maintenance plants indicate that it is possible to expect various benefits, including a reduction in lead times and reduction in the number of reserves per million km travelled.

The increasingly greater integration of this new system with the processes of maintenance and operation support will further improve the described benefits.

BIBLIOGRAFIA - REFERENCES

- [1] G. DEL GOBBO, M. GIOVANNUZZI, M. ROMAIRONE, P. MASINI, S. RIZZO, F. ROMANO, M. ROMEO: "The Telediagnostica System for Trenitalia E464 and E405 fleets", *Ingegneria Ferroviaria* 02/2012.