Il sistema di Telediagnostica per le flotte E464 ed E405 di Trenitalia

The Telediagnostica System for Trenitalia E464 and E405 fleets

Dott. Ingg. Guido Del Gobbo(*), Marco Giovannuzzi(*), Massimo Romairone(*)
Paolo Masini(**), Salvatore Rizzo(**), Francesco Romano(**), Dott. Maurizio Romeo(**)

1. Premessa

L'articolo illustra le principali caratteristiche e funzionalità del sistema di Telediagnostica applicato alle flotte E464 ed E405, progettato e realizzato da Bombardier Transportation per Trenitalia.

L'articolo, oltre a riportare una descrizione tecnica sulla realizzazione del sistema di Telediagnostica, ha lo scopo di evidenziare i miglioramenti a livello organizzativo, gestionale e operativo che l'utilizzo di tale sistema può consentire in relazione al processo di manutenzione.

2. Introduzione

Il sistema di Telediagnostica, sviluppato da Bombardier su specifica Trenitalia, si basa sull'evoluzione ed integrazione di sistemi già sviluppati e utilizzati da Trenitalia e da Bombardier su differenti flotte ma in ambiti analoghi. Il sistema è composto da un apparato di bordo, da installare sulle locomotive, per la raccolta e l'invio a terra dei dati diagnostici dei veicoli e da un sistema di terra per la raccolta, l'elaborazione e la presentazione di tali informazioni a utenti remoti.

Il sistema complessivo (bordo e terra) tramite opportuni tool e algoritmi permette di ottenere l'ottimizzazione della manutenzione correttiva e l'implementazione di una strategia di manutenzione su condizione altrimenti detta Condition Based Maintenance (CBM).

Il sistema interessa inizialmente le flotte E464 ed E405 ma è estendibile ed applicabile a qualsiasi altra flotta di locomotive, treni, carrozze o altro materiale rotabile dotato di un sistema diagnostico di bordo. La presente descrizione si focalizza per brevità sull'applicazione relativa alla flotta E464 per la quale l'installazione dei dispositivi di bordo è già in fase avanzata, mentre il sistema di terra è disponibile in modalità preliminare essendo prevista la sua attivazione per l'esercizio a Giugno 2012.

(*) Bombardier – Ingegneria Divisione Services.

(**) Trenitalia – Direzione Tecnica.

1. Premise

This article describes the main features and functionalities of the Telediagnostica System applied to the E464 and E405 fleets, designed and implemented by Bombardier Transportation for Trenitalia.

In addition to reporting a technical description about the implementation of Telediagnostica System, this article aims to highlight the improvements at organizational, managerial and operational levels, which the use of this system may grant as regards the maintenance process.

2. Introduction

The Telediagnostica system, developed by Bombardier on the basis of Trenitalia specifications, is based on the evolution and integration of systems previously designed, developed and applied by Trenitalia and Bombardier on different locomotive fleets but within analogous scopes. The system consists of an onboard device to be installed on the locomotives to collect and transmit to the ground diagnostic data of the vehicles, and of a ground system for the collection, processing and presentation of such information to remote users.

Using appropriate tools and algorithms, the overall system (onboard and ground) allows to obtain the optimization of corrective maintenance and the implementation of a maintenance strategy on condition also known as Condition Based Maintenance (CBM).

Initially, the system affects the E464 and the E405 fleets, but it is extensible and applicable to any other fleet of locomotives, trains, coaches or other rolling stock equipped with an onboard diagnostic system. For sake of conciseness, the present description is focused on the application relative to the E464 fleet. For that fleet, the installation of the on-board equipment is already at an advanced stage, while the ground system is available in preliminary arrangements, being its activation and put in railway operation planned for June 2012.

(*) Bombardier – Engineering Services Department.

(**) Trenitalia – Technical Direction.

2.1. La flotta E464

La flotta E464 è costituita da oltre 650 locomotive interamente costruite presso lo Stabilimento Bombardier di Vado Ligure e rappresenta la maggiore flotta dedicata al servizio di trasporto regionale oltre ad essere una delle più grandi flotte di locomotive dello stesso tipo circolanti in Europa. La dimensione della flotta consente di beneficiare di costi operativi e di manutenzione considerevolmente ridotti con gli innegabili vantaggi per Trenitalia in termini di gestione e mantenimento in efficienza.

Le locomotive sono entrate in servizio (con la fornitura di diversi lotti di produzione) a partire dal Gennaio 2000 e l'intera flotta ha percorso ad oggi più di 500 milioni di km. I dati tecnici della locomotiva E464 (in fig. 1) sono:

- tensione di alimentazione: 3 kV c.c.;
- rodiggio: Bo'Bo';
- scartamento: 1435 mm;
- massa in servizio: 72 t;
- lunghezza: 15.750 mm;
- sforzo di trazione: 200 kN;
- potenza alla ruota: 3.5 MW (max), 3.0 MW (h);
- velocità massima: 160 km/h;
- convertitori di trazione: GTO raffreddati ad acqua;
- sistema freno: 2 dischi freno per asse;
- tipo Carrello: Flexifloat.

2.2. La diagnostica di bordo: principi base

La diagnostica delle locomotive E464 è di tipo distribuito: quando una unità del sistema di comunicazione e controllo della locomotiva (detto Train Control & Management System, TCMS) connessa al bus di veicolo (detto Multifunction Vehicle Bus, MVB) rileva un'anomalia, questa viene impacchettata in un record standardizzato detto *DDS (Diagnostic Data Set),* che viene trasmesso tramite il bus stesso all'elaboratore diagnostico presente sulla locomotiva, per la memorizzazione nel relativo database ODBS (Onboard Diagnostic dataBase System). Questo database costituisce la memoria storica del veicolo, risiede su memoria non volatile e mantiene perciò le proprie informazioni anche in assenza di alimentazione. Tutti i messaggi diagnostici registrati dal sistema diagnostico sono corredati da opportune informazioni di contorno dette *Dati ambientali* (ad esempio tensione di linea, temperatura riduttori) relative alle condizioni di funzionamento del treno, alla sua configurazione, ai valori delle grandezze di processo e dei segnali definiti nei software installati a bordo treno.

Nell'ODBS la Logica di Veicolo salva inoltre dei *Contatori* che permettono di monitorare il numero di occorrenze di un dato evento al fine di misurare il degrado del-

2.1. The E464 fleet

The E464 fleet consists in more than 650 locomotives entirely built in Bombardier production site located in Vado Ligure and it represents the largest fleet dedicated to the regional transportation service (besides being one of the largest fleet of locomotives of homogeneous type circulating in Europe). The dimension of the fleet allows to benefit from operational and maintenance costs significantly reduced introducing undeniable advantages for Trenitalia in terms of management and efficiency preservation.

The locomotives started their service (with the supply of different production lots) since January 2000 and the entire fleet run over 500 million kilometers up to date. The technical data of E464 locomotive (shown in fig.1) are the following:

- power Supply: 3 kV c.c.;
- axle disposition: Bo'Bo';
- gauge: 1435 mm;
- service Weight: 72 t;
- overall Length: 15750 mm;
- starting Traction Force: 200 kN;
- power at Wheels: 3.5 MW (max), 3.0 MW (h);
- max Speed:160 km/h;
- traction Converter: GTO water cooling;
- brake System: 2 brake disks per axle;
- bogie Type: Flexifloat.

Fig. 1 - La locomotiva E464.
The E464 locomotive.

le funzionalità o dei componenti (ad esempio numero di commutazioni di un relè o numero di volte che viene azionato un componente).

In fig. 2 è rappresentata l'architettura del sistema di bordo.

Il set delle informazioni diagnostiche è associato alla versione software della logica di veicolo (detta Baseline SW di veicolo). Questo comporta che il sistema di Telediagnostica debba poter riconoscere e gestire differenti versioni di Baseline di veicolo al fine di poter visualizzare ed analizzare in modo corretto i dati diagnostici (DDS, dati ambientali, dati di processo e contatori) ricevuti da diverse locomotive o dalla stessa locomotiva sulla quale sia stato effettuato un aggiornamento della Baseline SW di veicolo.

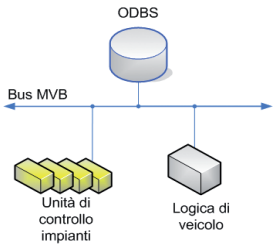

Fig. 2 - Architettura del sistema di bordo.
On board system architecture.

2.3. Terminologia e concetti sulla manutenzione

Nel presente paragrafo vengono riportate le definizioni delle diverse tipologie di manutenzione secondo la norma UNI EN 13306 "Manutenzione – Terminologia" allo scopo di fissare una terminologia comune a tutto il presente articolo.

La suddetta norma definisce i seguenti tipi di manutenzione:

- *Correttiva*: manutenzione eseguita a seguito della rilevazione di un'avaria e volta a riportare l'entità nello stato in cui essa possa eseguire una funzione richiesta.
- *Preventiva*: manutenzione eseguita a intervalli predeterminati o in base a criteri prescritti e volta a ridurre la probabilità di guasto o il degrado del funzionamento di un'entità.
- *Programmata*: manutenzione preventiva eseguita in base a un programma temporale o ad un numero stabilito di grandezze.
- *Ciclica*: manutenzione preventiva effettuata in base a intervalli di tempo o cicli di utilizzo prefissati, ma senza una precedente indagine sulle condizioni dell'entità.
- *Secondo condizione* (condizionale): manutenzione preventiva basata sul monitoraggio delle prestazioni di un'entità e/o dei parametri significativi per il suo funzionamento e sul controllo dei provvedimenti conseguentemente presi.

2.2. On-board diagnostics: basic principles

The diagnostics of E464 locomotives is of distributed nature: whenever a control unit of the communication and control system of the locomotive (called Train Control & Management System, TCMS) connected to the MVB (Multifunction Vehicle Bus) bus detects an anomaly, the latter is packaged in a standardized record *called DDS (Diagnostic Data Set)* and sent, via the bus itself, to the diagnostic computer to be stored in its database ODBS (Onboard Diagnostic dataBase System). This database represents the historical memory of the vehicle, it resides on non-volatile memory and therefore it maintains information even when the power supply is switched off. All diagnostic messages recorded by the diagnostic system are accompanied by appropriate background information called *environmental data* (e.g., line voltage, gear temperature) relating to the operation conditions of the train, to the train configuration, to the values of process variables and to the signals defined in the software installed on board the train.

In the ODBS, Vehicle Logics also saves some *Counters* which allow monitoring the number of occurrences of a given event in order to measure the degradation (e.g. number of switching of a relay or number of times a component is activated).

The set of diagnostic information is associated with the software version of the vehicle logic (called vehicle SW Baseline). This implies that Telediagnostica system must be able to manage different Baseline versions of the vehicle in order to properly visualize and manage diagnostic data (DDS, environmental data, process data and counters) received by various locomotives, or by the same loco on which an update of SW Baseline was done.

2.3. Terminology and concepts abaout maintenance

In this section the definitions of the various types of maintenance according to the norm UNI EN 13306 "Maintenance – Terminology" are reported in order to establish a common terminology throughout this article.

The above-mentioned norm defines the following types of maintenance:

- *Corrective:* maintenance performed following the detection of failure and aimed to bring the entity back to the state in which it can perform a required function.
- *Preventive:* maintenance performed at predetermined intervals or according to prescribed criteria and intended to reduce the probability of failure or degradation of the functioning of an entity.
- *Planned:* preventive maintenance performed on the basis of a time scale (plan) or on the basis of a fixed number of variables.
- *Cyclical:* preventive maintenance performed on the

- *Predittiva*: manutenzione su condizione eseguita in seguito a una previsione derivata dall'analisi e dalla successiva valutazione dei parametri significativi.

In letteratura e come descritto in articoli già pubblicati esistono altre tipologie e definizioni di manutenzione (come ad esempio la manutenzione prognostica o la proattiva). Nel presente articolo si considerano comunque le metodologie di manutenzione attualmente implementate da Trenitalia e quelle su cui il sistema di Telediagnostica, ha degli impatti ovvero la manutenzione correttiva, la preventiva e quella condizionale (Condition Based Maintenance).

La Condition Based Maintenance (CBM) è una strategia di manutenzione nella quale un equipaggiamento è "manutenuto" solo quando c'è l'evidenza oggettiva di un guasto incipiente. La CBM si basa sul Condition Monitoring (CM) che risulta essere il processo di monitoraggio della condizione e dell'efficienza di un sistema o dispositivo allo scopo di individuare guasti potenziali prima che diventino guasti funzionali. Il CM è parte integrante della CBM ma non include la strategia di manutenzione insita nella CBM.

3. Il sistema di Telediagnostica

Lo scopo principale del sistema di Telediagnostica è quello di supportare le operazioni di manutenzione attraverso la realizzazione di una piattaforma tecnologica che implementa le metodologie ed i concetti della CBM (Condition Based Maintenance).

Lo schema generale del sistema per le locomotive E464 è illustrato in fig. 3.

Il sistema è suddiviso nei seguenti sotto-sistemi:

- *Sistema di bordo*: su ogni locomotiva viene installato un dispositivo denominato Mobile Communication Gateway (MCG) che interfacciato con il TCMS del veicolo acquisisce, elabora e trasmette gli eventi di diagnostica al sistema di terra;
- *Sistema di terra*, così suddiviso:
  - o *Server di terra*: costituito da un server centrale ridondato che filtra, elabora e aggrega i dati diagnostici ricevuti dai sistemi di bordo delle locomotive rendendoli disponibili ad utenti remoti tramite un'applicazione web. Sulla base di regole diagnostiche impostate, un modulo software del sistema di terra s'interfaccia con l'applicativo gestionale RSMS (Rolling Stock Management System) di Trenitalia al fine di generare gli avvisi di manutenzione;
  - o *Tool di manutenzione*: è un tool aggiuntivo che permette al manutentore di scaricare direttamente dalla locomotiva le informazioni diagnostiche e di elaborarle.

basis of time intervals or predefined cycles of use, but without any previous investigation on the conditions of the entity.

- *Based on condition* (conditional): preventive maintenance based on the monitoring of an entity performance and/or of parameters significant for its operation and on the control of the countermeasures accordingly taken.
- *Predictive:* maintenance performed on condition following a prediction derived from the analysis and subsequent evaluation of significant parameters.

As described in literature and in previously published articles, other types and definitions of maintenance exist (for example, prognostic or proactive maintenance). Anyway, in this article only those maintenance methodologies on which the Telediagnostica System does have impacts is considered. Those methodologies are: the corrective maintenance, the preventive maintenance, and that maintenance implementable by the system, i.e. the conditional maintenance (Condition Based Maintenance).

The Condition Based Maintenance (CBM) is a maintenance strategy in which equipment is "maintained" only when there is objective evidence of an incipient failure. The CBM is based on the Condition Monitoring (CM), which is the process of monitoring the condition and efficiency of a system or device in order to identify potential failures before they become functional failures. It is an integral part of the CBM, but it does not include the maintenance strategy inherent in the CBM.

3. Telediagnostica system for E464 fleet

The main purpose of the Telediagnostica system is to support maintenance operations through the provision of a platform technology able to implement methodologies and concepts of the CBM (Condition Based Maintenance).

The general layout of the Telediagnostica System for E464 locomotives is illustrated in fig. 3.

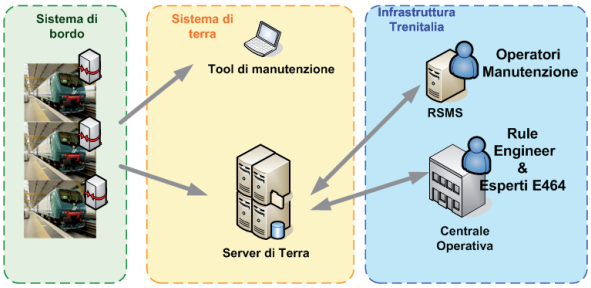

Fig. 3 - Schema generale del Sistema di Telediagnostica.
General scheme of the Telediagnostica System.

Il sistema di Telediagnostica prevede che si possano accentrare in una Centrale Operativa di controllo degli operatori dedicati alle seguenti funzioni:

- monitoraggio della flotta;
- gestione e creazione dei report statistici;
- gestione e creazione degli Algoritmi Diagnostici;
- supporto tecnico esperto al Personale di Condotta.

La Centrale Operativa potrà inoltre condividere in tempo reale con la Sala Operativa Regionale (SOR) le informazioni sullo stato delle locomotive al fine di ridurre le conseguenze delle avarie che potrebbero comportare ritardi e guasti bloccanti in linea.

3.1. Principali funzionalità del sistema di Telediagnostica

Il sistema di Telediagnostica implementa le seguenti principali funzionalità:

- registrazione tramite l'unità di bordo (MCG) di tutti i dati della diagnostica di treno necessari per consentire un completo ed accurato monitoraggio del funzionamento del rotabile;
- trasmissione delle informazioni diagnostiche raccolte dall'unità di bordo di tutti i veicoli al sistema di terra;
- raccolta e presentazione (tramite applicazione web del sistema di terra) delle informazioni diagnostiche della flotta interessata;
- monitoraggio delle prestazioni del rotabile, con evidenza di tutti i dati obiettivi necessari per il calcolo degli indicatori ad esse relativi;
- rilevazione e riconoscimento di avarie o eventuali degradi di tutti i sistemi ed apparati controllati dalla diagnostica di bordo, fornendo l'indicazione della LRU (Line Replaceable Unit) guasta o degradata;
- implementazione di un sistema di sviluppo, verifica e validazione degli algoritmi diagnostici necessari all'identificazione delle condizioni di avaria o di potenziale avaria dei sistemi coperti da diagnostica dei veicoli;
- segnalazione automatica delle avarie (diagnosi a guasto o di livello 1) o degli elementi in stato di potenziale avaria (diagnosi predittiva o di livello 2) al sistema di gestione del processo manutentivo (RSMS) per la generazione automatica e tempestiva degli avvisi di manutenzione;
- ricezione ed analisi dei feedback circa la chiusura degli avvisi di manutenzione inseriti nel sistema RSMS da parte degli operatori di manutenzione.

4. Architettura del sistema di Telediagnostica

L'architettura del sistema di Telediagnostica è illustra-

Telediagnostica System is composed of the following sub-systems:

- *On-board system:* a device called Mobile Communications Gateway (MCG) is installed in each locomotive. The MCG, interfaced with the TCMS of the vehicle, acquires, processes and transmits diagnostic events to the ground system;
- *Ground system:* subdivided into:
  - o *Ground Server:* it consists of a single redundant central server which filters, processes and aggregates the diagnostic data received from the locomotives onboard systems making them available to remote users by a web application. Based on a set of diagnostic rules, a software module of the ground system interfaces itself with Trenitalia management application RSMS (Rolling Stock Management System) in order to generate the Incident Reports;
  - o *Maintenance Tool:* it is an additional tool allowing the maintainer to download diagnostic information directly from the engine and to process that information.

The Telediagnostica system foresees the possibility to concentrate in a Control Room some operators dedicated to the following functions:

- monitoring of the fleet;
- management and creation of statistical reports;
- management and creation of the Diagnostic Algorithms;
- expert technical support to the Train Drivers.

The Control Room will also share in real time with the Regional Operations Room (SOR) information on the status of locomotives in order to reduce the consequences of failures which could result in delays and blocking faults in line.

3.1. Main functionalities of the Telediagnostica System

The Telediagnostica System implements the following key functionalities:

- recording by the onboard unit (MCG) of all train diagnostic data necessary to allow a complete and accurate monitoring of the rolling stock performances;
- transmission to the ground system of diagnostic information collected by onboard units of all vehicles;
- collection and presentation (by means of the Web application of the ground system) of the diagnostic information of the concerned fleet;
- monitoring of the performances of the rolling stock, with evidence of all the objective data needed to calculate the indicators relating to them;

ta in fig. 4 dove sono rappresentati i componenti fondamentali del sistema raggruppati in sottoinsiemi logici detti layer. I layer permettono di identificare i vari livelli di comunicazione implementati dall'architettura del sistema.

L'*architettura di rete* (Layer 0) si basa sulla rete pubblica GSM e sulla rete intranet di Trenitalia la quale è rappresentata suddivisa in diverse LAN (Local Area Network) logiche. Le LAN Locomotive e LAN Telediagnostica corrispondono a due reali subnet (ad esempio 172.16.0.0/19 per la LAN Locomotive e 192.168.0.0/24 per la LAN Telediagnostica) mentre la LAN Trenitalia per semplicità è stata indicata come un'unica subnet all'interno della quale sono indicati i sistemi di autenticazione, il sistema RSMS e le postazioni operatore distribuite nei vari impianti-depositi di manutenzione Trenitalia sul territorio nazionale e nella Centrale Operativa di controllo.

Gli *apparati di bordo (MCG)* sono dotati di modem GSM/GPRS e tramite APN (Access Point Name) privato si collegano alla rete intranet di Trenitalia all'interno della quale, tramite server di autenticazione Radius, ottengono un indirizzo della sottorete LAN Locomotive (Layer 1). Sia gli indirizzi IP (Internet Protocol) di tutte le locomotive autenticate presso il server Radius di Trenitalia che i Communication Gateway che hanno il compito di inter-

- detection and recognition of any damage or possible degradation of all systems and equipment controlled by the on-board diagnostics, indicating the failing or degraded LRU (Line Replaceable Unit);
- implementation of a system for development, verification and validation of diagnostic algorithms needed to identify failure conditions or potential failure of the systems covered by vehicle diagnostics;
- automatic sending of failure alerts (fault diagnosis or level 1 diagnosis) or of elements in a state of potential failure (predictive diagnosis or level 2 diagnosis) to the maintenance process management system (RSMS) for the timely and automatic generation of incident reports;
- receipt and analysis of feedback about the closing of incident reports entered into the RSMS system by the maintenance operators.

4. Architecture of Telediagnostica system

The architecture of Telediagnostica System is illustrated in fig. 4, where the fundamental components of the system are represented, grouped into logical subsets

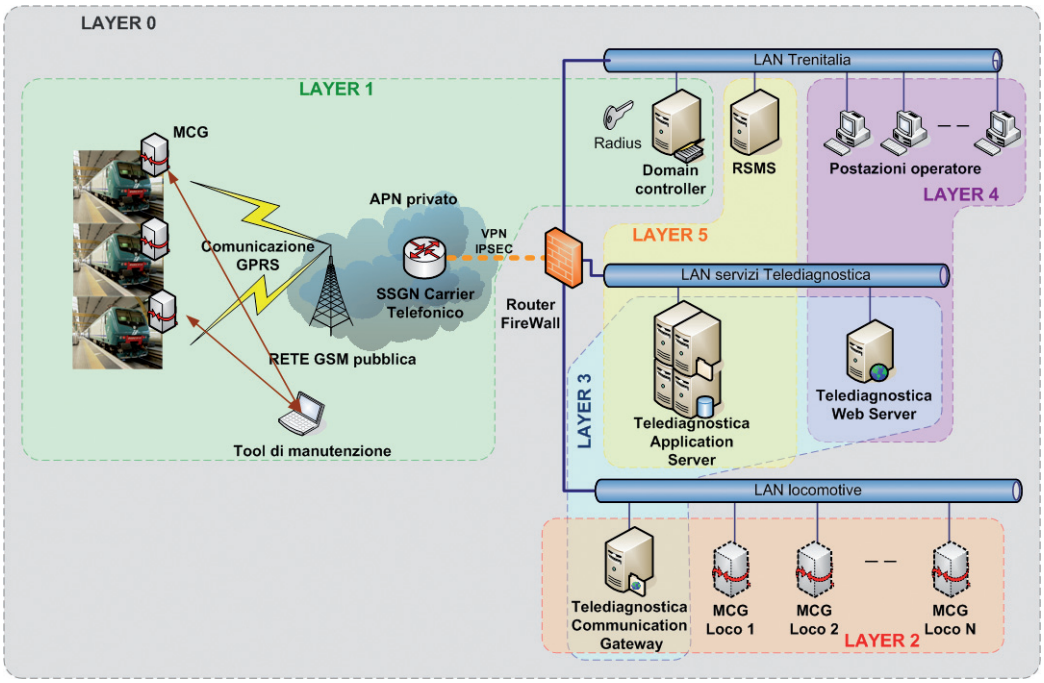

Fig. 4 - Architettura del sistema di Telediagnostica.
Telediagnostica System Architecture.

facciarsi con gli apparati bordo delle locomotive stesse (Layer 2) sono attestati nella LAN Locomotive.

Come illustrato in fig. 5 l'apparato di bordo (MCG) possiede un database locale (detto TelediaDB) dove vengono replicati i DDS (e i dati ambientali) presenti nel database diagnostico di veicolo ODBS.

L'MCG ha il compito di salvare in file binari il contenuto del database TelediaDB e di spedire in modo asincrono tali file tramite protocollo di comunicazione FTP (File Transfer Protocol) al Communication Gateway che provvederà a sua volta ad inserirne il contenuto nel database del server centrale.

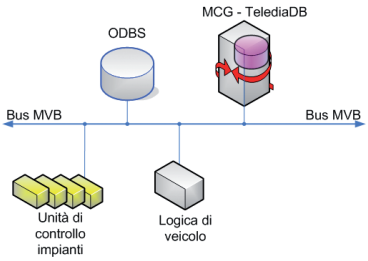

Fig. 5 - Architettura del sistema di bordo.
On board system architecture.

L'MCG ha quindi il compito di inviare al sistema di terra le seguenti tipologie di informazioni.

- *DDS (Diagnostic Data Set):* la MCG invia con cadenza asincrona le informazioni diagnostiche contenute nel database locale TelediaDB tramite opportuni file binari.
- *Dati di processo o registrazioni:* la MCG invia un sottoinsieme delle variabili di processo disponibili sul bus MVB. Tali variabili (che corrispondono a delle variabili analogiche o digitali associate a grandezze fisiche o a stati disponibili sul bus MVB) sono campionate e salvate su file. La trasmissione dei dati di processo al Sistema di Terra è opzionale e può essere attivata e/o pianificata dal Server Centrale.
- *Contatori:* dall'ODBS diagnostico la MCG preleva ed invia a terra dati che permettono di monitorare il numero di occorrenze di un dato evento al fine di misurare il degrado di funzionalità o componenti.
- *RealTime:* la MCG invia a terra un flusso continuo (streaming) delle variabili di processo associate allo stato dei comandi e dei controlli presenti sul banco di manovra al fine di permettere, ad un'apposita applicazione detta Driver Desk Remoto, di ricreare a terra in tempo reale lo stato del banco di manovra della locomotiva. La trasmissione di queste informazioni viene attivata "on demand" dal Sistema di Terra.
- *DDS custom:* la MCG ha la possibilità di eseguire in tempo reale un insieme di algoritmi diagnostici opportunamente configurati al fine di inibire la memorizzazione di determinati codici diagnostici, anche in relazione alla loro frequenza di generazione (ad esempio messaggi intermittenti da un'apparecchiatura di

called *layers*. The different layers allow to identify the various levels of communication implemented by the system architecture.

The *network architecture* (Layer 0) is based on public GSM network and on Trenitalia intranet which is represented divided into different logical LANs (Local Area Network). "Locomotives" LAN and "Telediagnostica" LAN correspond to two real subnets (e.g. 172.16.0.0/19 for "Locomotives" LAN and 192.168.0.0/24 for "Telediagnostica" LAN). On the contrary, for simplicity, "Trenitalia" LAN is shown as a single subnet inside of which authentication systems, RSMS system and operators' workstations, distributed in the various Maintenance Depots throughout the country and in the Operational Control Station, are depicted.

The *on-board equipment (MCG)* includes a GSM/GPRS modem. Via a private APN, MCGs connect to Trenitalia intranet and, by the Radius authentication server, they get an address of the Locomotives LAN subnet (Layer 1). Both the IP addresses of all locomotives authenticated by Trenitalia Radius server and the Communication Gateways, having the task to interface with locomotives onboard equipment (Layer 2), are attested in the Locomotive LAN.

As shown in fig. 5, the onboard equipment (MCG) has a local database (called TelediaDB) where the DDSs (and the environmental data) present in the ODBS, the diagnostic database of the vehicle, are replicated.

The MCG has the task to save the contents of Telediagnostica system databased TelediaDB into binary files and to send those files in asynchronous mode via the FTP (File Transfer Protocol) communication protocol to the Communication Gateway, which will insert the contents in the central server database.

The MCG has therefore the task of sending the following types of information to the ground station:

- *DDS (Diagnostic Data Set):* asynchronously, the MCG sends diagnostic information contained in the local TelediaDB database via appropriate binary files.
- *Process data or records:* the MCG sends a subset of process variables available on the MVB. Those variables (which correspond to analog or digital variables associated with physical quantities or states available on the MVB) are sampled and stored on files. The transmission of data process to the Ground System is optional and can be activated and/or planned by the Central Server.
- *Counters:* From the diagnostic ODBS, the MCG picks and sends to the ground system data allowing to monitor the number of occurrences of a given event in order to measure the degradation.
- *RealTime:* the MCG sends to the ground system a continuous flow (streaming) of the process variables associated with the state of controls and checks present on the operating desk to allow, for a special application called Remote Driver Desk, to replicate in "real-

bordo) e/o generare degli eventi diagnostici a seguito del verificarsi di particolari condizioni (ad es. supero di una determinata soglia di uno o più segnali appartenenti ai dati di processo). La generazione dei DDS custom viene attivata "on demand" dal Sistema di Terra. Le informazioni diagnostiche custom permettono di fatto di ampliare la diagnostica del veicolo senza impatto sulla versione software della logica di veicolo (Baseline).

I *Communication Gateway* (collegati alla LAN Locomotive) svolgono le funzioni di interfacciamento, controllo e raccolta dati delle MCG installate sulla flotta, implementando una architettura ridondata (come illustrato in fig. 6) per la comunicazione tra la locomotiva, l'Application Server ed il Web Server (Layer 3).

La comunicazione dei dati diagnostici tra le MCG e il Communication Gateway avviene tramite scambio dei file via protocollo FTP e tramite scambio messaggi di stato e controllo via Web Services. Mentre la comunicazione tra i Communication Gateway e l'Application Server avviene tramite Web Services.

L'Application Server e il *Web Server* sono collegati alla LAN Servizi di Telediagnostica e implementano rispettivamente la business logic e l'interfaccia utente del sistema di Telediagnostica.

In particolare l'Application Server implementa le seguenti funzionalità.

- Memorizzazione, tramite database SQL, dei dati diagnostici e dei dati di configurazione del sistema.
- Normalizzazione dei dati diagnostici e di processo tramite codifica e cambio di scala dei dati ambientali contenuti nei dati diagnostici (questo viene fatto al fine di rendere i dati coerenti alla medesima unità di misura secondo le informazioni contenute nei file di configurazione delle Baseline software della logica di veicolo).

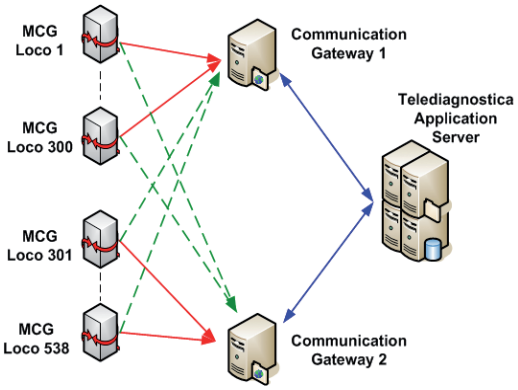

Fig. 6 - Architettura ridondata del Communication Gateway.
Communication Gateway Redundant architecture.

time" in the ground station the status of the operation desk of the locomotive. The transmission of that information is activated "on demand" by the Ground System.

- *Custom DDS:* The MCG has the ability to run in real time a set of diagnostic algorithms properly configured in order to inhibit the storage of certain diagnostic codes, also according to their frequency of generation (e.g. intermittent messages from an onboard device) and/or to generate diagnostic events following the occurrence of particular conditions (e.g. trespassing of a certain threshold of one or more signals belonging to the process data). The generation of custom DDS is activated "on demand" by the Ground System. The custom diagnostic information allows, as a matter of fact, to expand the vehicle diagnostic without impacting on the software version of the vehicle logics (Baseline).

The *Communication Gateways* (connected to the Locomotives LAN) perform the functions of interface, control and data collection of the MCG installed on the fleet, implementing a redundant architecture (as shown in fig. 6) for the communication among the locomotive, the Application Server, and the Web server (Layer 3).

The communication of diagnostic data between the MCGs and the Communication Gateway is performed by exchanging files via FTP protocol and by exchanging messages concerning status and control via Web Service. Whereas the communication between the Communication Gateways and the Application Server take place by means of Web Services.

The *Application Server* and the *Web Server* are connected to the "Telediagnostica Services" LAN and they implement, respectively, the business logic and the user interface of the remote diagnostic system "Telediagnostica".

In particular, the Application server implements the functionalities of:

- storage of the diagnostic data and of data concerning the system configuration, using SQL database;
- normalisation of diagnostic and process data through coding and scaling of environmental data contained in the diagnostic data. This is done in order to make the data consistent with the same unit of measure according to information contained in the configuration files of the software Baseline of the vehicle logic;
- sending commands to the MCGs (via the communication channel provided by the Communication Gateway);
- implementation of the management system of diagnostic algorithms (creation, verification and commissioning of the algorithms useful to the issue of incident reports towards Trenitalia RSMS System);
- administration of the configuration of software versions of the vehicle logic (called Baseline SW) of the

- Invio dei comandi verso le MCG (tramite il canale comunicativo fornito dai Communication Gateway).
- Implementazione del sistema di gestione degli algoritmi diagnostici (creazione, verifica e messa in servizio degli algoritmi utili all'emissione degli avvisi di manutenzione verso il sistema RSMS di Trenitalia).
- Amministrazione della configurazione delle versioni software della logica di veicolo (dette Baseline SW) della flotta al fine di effettuare in modo corretto la normalizzazione e la conseguente visualizzazione dei dati diagnostici.
- Generazione (creazione e/o modifica) delle informazioni diagnostiche custom, ovvero i DDS, le registrazioni e i contatori definiti dall'utente e implementati tramite configurazione remota sulle MCG.
- Interfacciamento con il sistema di Trenitalia RSMS per la generazione automatica degli avvisi di manutenzione e per la ricezione dei feedback a seguito degli interventi manutentivi (Layer5).

Il Web Server implementa (tramite Web Application) il portale di interfaccia (Portale Telediagnostico) per gli operatori del sistema residenti negli Impianti-Depositi e nella Centrale Operativa di controllo (Layer4). In particolare il Portale Telediagnostico implementa le seguenti funzionalità.

- Visualizzazione, filtraggio e selezione delle informazioni diagnostiche (DDS, Registrazioni, Messaggi e Contatori) inviate dalle MCG ai Communication Gateway. In fig. 7 è illustrato un esempio di visualizzazione dei DDS ricevuti in un intervallo temporale di un mese con il dettaglio per un certo DDS dei valori assunti da un particolare dato ambientale, mentre in fig. 8 è illustrato uno dei cruscotti riepilogativi presenti sul portale che tramite una codifica dei colori permette di avere evidenza della perdita di ridondanza dei principali sottoassiemi di ogni singola locomotiva.
- Amministrazione del sistema e della flotta in termini di gestione utenti, diritti di accesso alle varie funzionalità del sistema, depositi di appartenenza delle locomotive, monitoraggio dello stato del sistema etc..
- Creazione e visualizzazione di report statistici utili sia

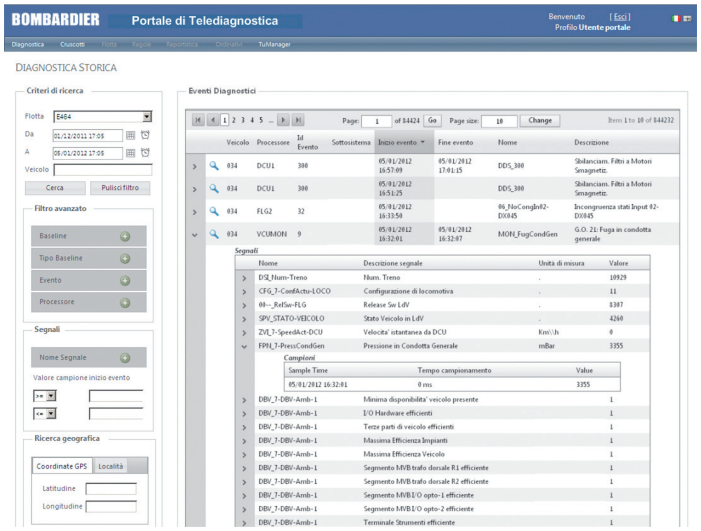

Fig. 7 - Esempio di informazioni diagnostiche visualizzate tramite il Portale Telediagnostico.
Example of diagnostic information shown by the Telediagnostica Portal.

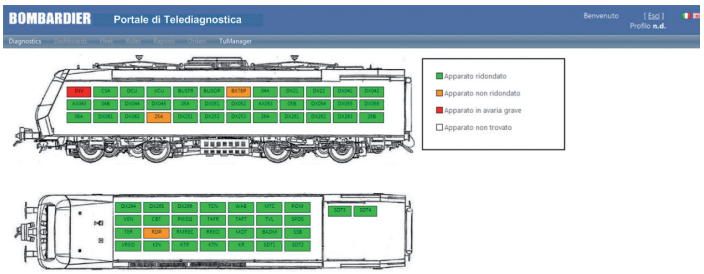

Fig. 8 - Esempio di cruscotto della perdita delle ridondanze.
Example of the panel showing loss of redundancy.

fleet in order to properly perform the normalization and the resulting display of diagnostic data;

- generation (creation and/or modification) of custom diagnostic information, i.e. the DDSs, records and counters defined by the user and implemented through remote configuration on the MCGs;
- interfacing with Trenitalia RSMS system to automatic generating incident reports and to receiving feedback following the maintenance interventions (Layer5).

The Web Server implements (via Web Application) the portal interface (Telediagnostica Portal) for system operators located in warehouses throughout the country and in the Operational Control Station (Layer4).

In particular, the Telediagnostica Portal implements:

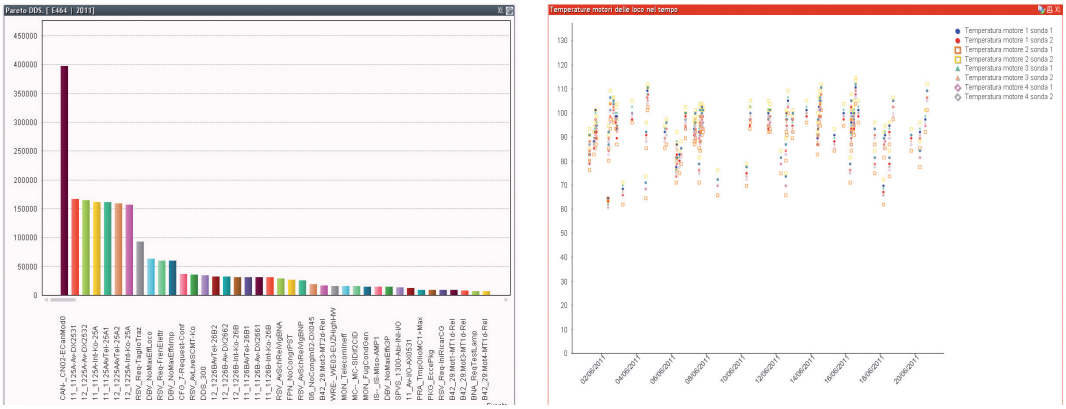

Fig. 9 - Esempi di report statistici creati con il sistema di reportistica del portale di Telediagnostica.
Example of statistical reports realized by the Telediagnostica portal reporting service.

all'analisi dello stato delle locomotive che alla creazione degli algoritmi diagnostici. In fig. 9 sono illustrati alcuni esempi di report statistici realizzati con il sistema di Reporting del portale. Nei Report è possibile configurare la visualizzazione grafica dell'analisi statistica dei dati tramite aggregazione per singola locomotiva, flotte parziali (per esempio assegnate ad un singolo Impianto-Deposito o appartenenti ad uno stesso lotto di produzione) o l'intera flotta E464.

Le postazioni operatore oltre all'accesso al portale tramite internet browser dispongono dell'applicazione detta *Driver Desk Remoto*. Essa permette di ricreare "real time" lo stato del banco di manovra grazie all'invio a terra da parte della MCG di un flusso continuo delle variabili di processo associate allo stato dei comandi e dei controlli presenti sul banco di manovra a bordo locomotiva. Con questa funzione il personale esperto presente nella Centrale Operativa potendo vedere lo stato del banco di manovra della locomotiva, fornisce indicazioni di supporto al macchinista in caso di avarie in linea. La fig. 10 illustra la visualizzazione del driver desk remoto sulla postazione operatore.

Una particolare postazione operatore è rappresentata dal *Tool di Manutenzione*. Il tool di manutenzione è costituito dal PC laptop dato in dotazione ai manutentori sul quale è installato un applicativo che tramite collegamen-

- The displaying, filtering and selection of diagnostic information (DDSs, Recordings, and Messages counters) sent by the MCGs to the Communications Gateway. Fig. 7 shows an example of visualization of the DDSs received in a time interval of one month with details, for a given DDS, of the values measured for a particular environmental data. Furthermore, fig. 8 shows one of the summary instrument panels available on the portal which allows for evidence of loss of redundancy of the main subassemblies of each single locomotive by means of proper color coding.
- System and fleet administration in terms of management of users and of the access rights to the various features of the system, the locomotive attribution to depots, monitoring of system status, etc..
- Configuring and displaying statistical reports useful for the analysis of the state of the locomotives as well as for the creation of diagnostic algorithms. Fig. 9 presents some examples of statistical reports produced by the portal Reporting system. In the Reports, it is possible to configure the graphical display of statistical data analysis through aggregation by single locomotive, by partial fleets (e.g. assigned to a single-Maintenance Depot or belonging to the same production batch) or the E464 entire fleet.

Each operator's workstation, besides having access to the portal by means of the web browser, is equipped with an application called *Remote Driver Desk*. The Remote Driver Desk allows to recreate in "real time" the state of the driver desk thanks to the MCG which sends a continuous streaming of process variables associated with the status of the commands and controls located on

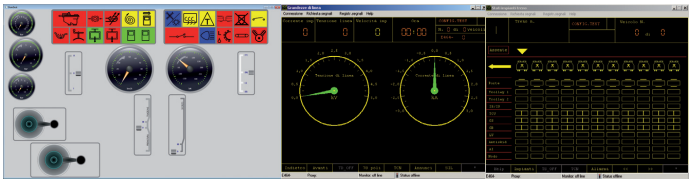

Fig. 10 - Layout del driver desk remoto.
Remote driver desk layout.

to diretto alla MCG, permette, lo scarico, la visualizzazione e l'elaborazione delle informazioni diagnostiche.

5. Il processo di definizione, verifica e validazione degli algoritmi diagnostici

Il sistema di Telediagnostica implementa un modulo software denominato *Rule Suite* che raggruppa moduli software che permettono rispettivamente la creazione (*Rule Editor*), la schedulazione (*Rule Manager*) e l'applicazione (*Rule Engine*) degli *Algoritmi Diagnostici* (di seguito AD).

Gli AD sono un insieme di tecniche di elaborazione automatica dei dati aventi lo scopo di individuare la LRU sede di guasto o malfunzionamento e, conseguentemente, fornire al personale di manutenzione indicazioni precise e chiare circa l'intervento da eseguire attraverso l'emissione di avvisi di manutenzione.

Gli AD permettono di trasferire l'esperienza manutentiva in regole di associazione logica tra i dati acquisiti al fine di giungere ad una diagnosi dei malfunzionamenti individuati. Essi permettono al personale di manutenzione di creare alberi di decisione ossia regole condizionali per la determinazione di un guasto. Un albero decisionale può essere visto come un insieme di operatori logici IF, THEN, ELSE, etc. nidificati che genera una sequenza ottimale di osservazioni da verificare per arrivare a stabilire la causa di un malfunzionamento.

Le regole di correlazione generano le condizioni (IF) su cui sono prese le decisioni o le azioni da intraprendere. Le regole permettono di mettere in relazione ciascun campo dei dati diagnostici con un qualsiasi altro campo di uno o più dati tramite una composizione delle operazioni logiche sotto riportate:

- confronto di due grandezze (<, >, =);
- OR logico;
- AND logico;
- NOT logico;
- operatori aritmetici.

Ad ogni AD è associata una macchina a stati che definisce lo stato di attivazione/segnalazione dell'algoritmo stesso. I possibili stati dell'AD sono illustrati in fig. 11 dove:

- stato disabilitato: l'AD non viene eseguito e non può emettere allarmi;
- stato abilitato: l'AD viene eseguito e può emettere allarmi;
- segnalato: l'AD ha emesso una segnalazione di allarme.

A seguito dell'emissione di un allarme l'AD può essere disabilitato (al fine di evitare la ripetizione continua dello stesso allarme) oppure riabilitato da un'ulteriore e diversa condizione. La condizione di riabilitazione può essere:

the driver desk onboard the locomotive. With this function, the experienced staff located in the control room, enabled to see the driver desk onboard the locomotive, provides indications to support the driver in case of failures along the railway line. Fig. 10 shows the visualization of the remote driver desk on the operator's workstation.

A particular operator's workstation is represented by the *Maintenance Tool*. It consists of the laptop PC regularly supplied to the maintenance staff on which it is installed an application allowing, via direct connection to the MCG, to download, display and process diagnostic information.

5. The process of definition, verification and validation of diagnostic algorithms

Telediagnostica system implements a software module called *Rule suite*. The Rule Suite groups the three software modules respectively allowing the creation (*Rule Editor*), the scheduling (*Rule Manager*) and the application (*Rule Engine*) of *Diagnostic Algorithms* (hereafter AD).

The AD are a set of automatic processing techniques of the data having the purpose of identifying the LRU responsible for the failure or malfunction and, consequently, provide maintenance personnel precise and clear indications regarding the operation to be carried out through the emission of incident reports.

The AD allow the transfer of the maintenance experience into logic association rules among the acquired data, in order to reach the identified malfunction diagnostic. They allow maintenance personnel to create decision trees, meaning conditional rules for a failure definition. A decisional tree can be considered as a set of nested IF, THEN, ELSE, etc. generating an optimal sequence of observations to be verified, in order to establish the cause of the malfunction.

The correlation rules generate the conditions (IF) on which decisions or actions to be carried out, are taken. These rules allow to correlate each field of the diagnostic data with any other field of one or more data by the combination of at least the logic operations below:

- comparison of two values (<, >, =);
- logic OR;
- logic AND;
- logic NOT;
- arithmetical operator.

Each AD is associated with a state machine that defines the state of activation/signaling of the algorithm itself. The possible states of the AD are shown in fig. 11:

- disabled status: the AD is not run and it may not issue alarms;

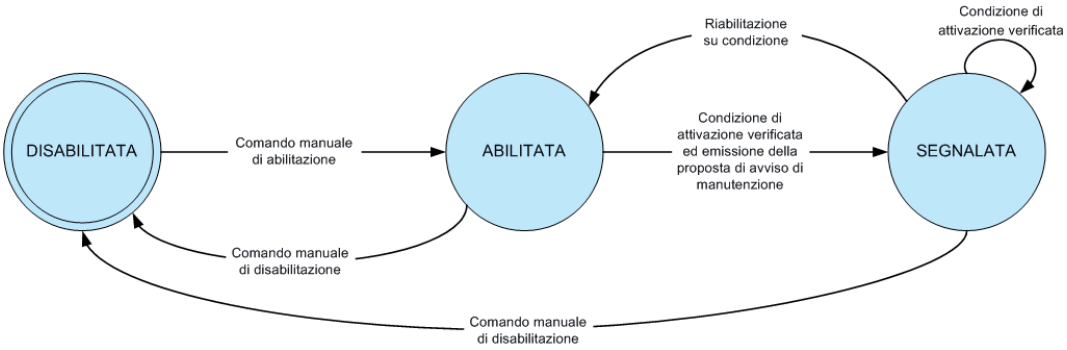

Fig. 11 - Meccanismo di abilitazione e segnalazione AD.
AD enabling and signaling mechanism.

- manuale: si effettua la riabilitazione con comando manuale tramite il Rule Datamanager;
- automatica a tempo: si effettua la riabilitazione del'AD dopo un certo periodo temporale;
- tramite Meccanismo di Reset: l'AD si riattiva solo quando è stata verificata un'ulteriore regola di riattivazione.

L'implementazione e la verifica degli AD (emissione allarmi) permette la generazione e l'invio al sistema di gestione del processo manutentivo di Trenitalia (RSMS: Rolling Stock Management System) delle segnalazioni di avaria (diagnosi a guasto o di livello 1) o delle segnalazioni di potenziale avaria (diagnosi predittiva o di livello 2).

Il processo di creazione degli AD (illustrato in fig. 12) si suddivide in tre fasi:

- fase di apprendimento;
- fase di formalizzazione;
- fase di esecuzione.

Al fine di creare ed applicare gli AD è necessaria una prima fase detta di *"Apprendimento"* in cui si indagano i dati a disposizione alla ricerca di casi significativi per estrarre le regole generali. L'utente del sistema di Telediagnostica delegato alla creazione degli AD è chiamato Rule Engineer ed in realtà è rappresentato da un team di esperti così composto:

- un RAMS (Reliability, Availability, Maintainability, Safety) Engineer,
- un sistemista di veicolo (esperto delle locomotive E464);
- un manutentore esperto (con pluriennale esperienza di manutenzione delle locomotive E464).

Grazie alle proprie conoscenze, all'ausilio della documentazione tecnica, agli strumenti forniti dal sistema di

- enabled status: the AD is run and it may issue alarms;
- signaled: the AD has issued an alarm.

Following the issue of an alarm, the AD may be disabled (to avoid the continuous repetition of the same alarm) or it may be re-enabled by a further different condition. The condition of re-enabling may be:

- manual: the re-enabling is done by manual command via the Rule Data Manager;
- automatic by time: the AD re-enabling is carried out after a certain time period;
- by the Reset Mechanism: the AD wakes up only when another rule associated, has been verified.

The implementation and verification of the ADs allows the automatic issue and sending to the maintenance process management system (RSMS) of reports of failure (fault diagnosis, or level 1 diagnosis) or reports of potential failure (predictive diagnosis, or level 2 diagnosis).

The AD definition process (shown in fig. 12) is composed by three phases:

- learning phase;
- formalization phase;
- execution phase.

In order to create and apply the ADs, it is necessary to run an initial phase named *"Learning"* in which the available data are investigated in search for significant cases to extract the general rules. The user of Telediagnostica system delegated to the creation of the ADs is called *Rule Engineer*. As a matter of fact, this role is covered by a team of experts consisting in:

- a RAMS Engineer;
- an expert in vehicle systems (skilled on E464 locomotive systems);

Telediagnostica (la visualizzazione delle informazioni diagnostiche e lo strumento di reporting) e ai ritorni dal campo, il suddetto team raccoglie in questa prima fase tutte le informazioni utili alla creazione degli AD.

La seconda fase detta di *"Formalizzazione"* consiste nella creazione preliminare degli AD tramite l'utilizzo del Rule Editor. Questa fase prevede la definizione di regole note e precise da parte del Rule Engineer ed ha l'obiettivo di rappresentare la conoscenza in un formalismo chiaro, esplicito ed eseguibile.

La terza fase detta di *"Esecuzione"* corrisponde alla verifica, applicazione e validazione degli AD. In questa fase, la conoscenza formalizzata negli AD, viene applicata, tramite il Rule Engine e il Rule Manager, ai dati reali storici presenti nell'archivio dati del sistema di Telediagnostica.

Ai fini della verifica, l'AD viene applicato ai dati storici disponibili e ove si riscontri l'emissione dell'allarme associato, si procede ad un controllo incrociato per verificare quali siano state le attività manutentive effettivamente realizzate in passato in quei casi (tramite richieste al sistema RSMS). In questo modo è possibile verificare se l'AD fornisce l'indicazione corretta di guasto o di avaria del sistema oggetto di analisi.

In caso di verifica positiva, l'AD può essere messo in produzione (emissione automatica degli avvisi di manutenzione) e tramite i feedback ottenuti dal sistema RSMS è possibile associare un punteggio (rating) agli AD stessi al fine di fornirne una validazione.

6. Integrazione del sistema di Telediagnostica all'interno del processo manutentivo della flotta E464

L'attuale processo di manutenzione applicato da Trenitalia alla flotta E464 si basa principalmente su due tipologie di interventi:

- manutenzione programmata che si suddivide ulteriormente in due livelli:
  - o manutenzione programmata di primo livello;
  - o manutenzione programmata di secondo livello;
- manutenzione correttiva.

6.1. Manutenzione programmata per la flotta E464

Gli interventi di *manutenzione programmata di primo livello*, realizzati presso gli Impianti-Depositi di competenza distribuiti su tutto il territorio nazionale, si suddividono in:

- *CO* (Controllo di Officina) comprende un insieme di controlli visivi finalizzati al rilevamento di eventuali avarie o anormalità al fine di garantire la sicurezza, la regolarità di esercizio e la massima disponibilità com-

- a maintenance expert (with at least a decade of experience in E464 locomotives maintenance).

Thanks to their knowledge, to the help of Telediagnostica tools (displaying diagnostic information, reporting tool and Business Intelligence tool) and thanks also to the field returns, the above mentioned team (i.e. the Rule Engineer) collects, at this early stage, all relevant information useful to the creation of ADs.

The second phase, named *"Formalization"*, consists in the creation of the ADs by using the Rule Editor. This phase includes the definition by the Rule Engineer of known and accurate rules, and it aims to represent knowledge in a clear, explicit and executable formalism.

The third phase named *"Execution"*, corresponds to the verification, the application and the validation of the ADs. At this stage, the knowledge formalized in ADs is applied, by using the Rule Engine and the Rule Manager, on real historical data stored in Telediagnostica system archive.

In order to perform the verification, the AD is applied to the available historical data and, in case an alarm is issued, a cross-check is performed (through queries to the RSMS) to verify which maintenance operations have been actually performed in the past in those specific cases. Doing so, it is possible to verify whether the AD provides the correct indication of breakdown or failure of the system under analysis.

In the event of positive verification, the AD can be put into production (automatic issue of incident reports) and, through feedback obtained from the RSMS system, it is possible to attribute scores to each AD in order to provide a final validation.

6. Integration of Telediagnostica system inside the maintenance process of E464 fleet

The current maintenance process realized by Trenitalia for the E464 fleet is based primarily on two types of interventions:

- scheduled maintenance (or preventive) which is subdivided into two further levels:
  - o first level scheduled maintenance;
  - o second level scheduled maintenance;
- corrective maintenance.

6.1. Scheduled maintenance for the E464 fleet

The *first level scheduled maintenance*, performed at depots of competence distributed throughout the country, are divided into:

- *CO* (Workshop Control) includes a set of visual con-

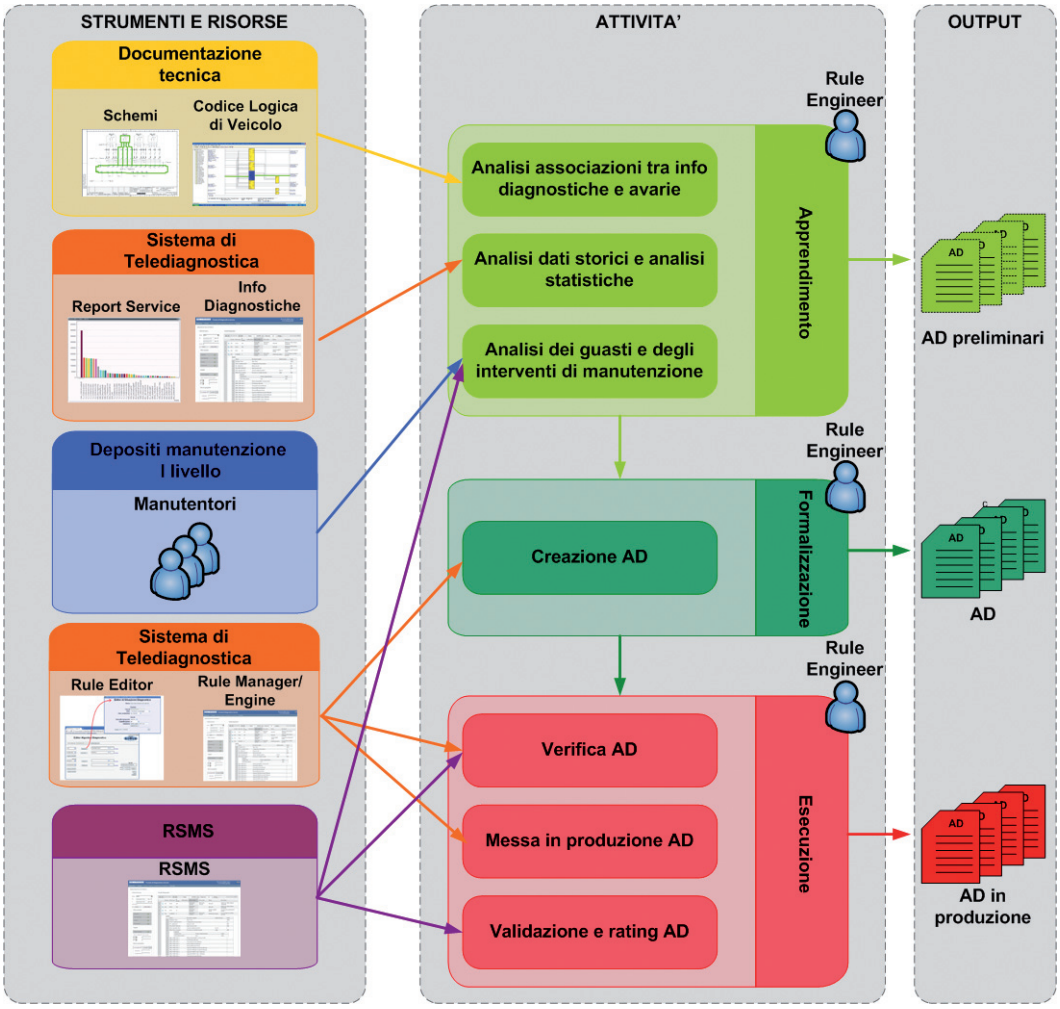

Fig. 12 – Processo di creazione degli AD.
AD definition process.

merciale della locomotiva. Da eseguirsi a intervalli programmati di 16.000 km.

- *RT* (Revisione di Turno) da effettuarsi ad intervalli programmati di 80.000 km
- *SC* (Scadenze chilometriche o temporali) comprende un insieme di operazioni da effettuare su determinati apparati per i quali sono stati stabiliti gli intervalli di tempo o la percorrenza massima di funzionamento.

Gli interventi di *manutenzione di secondo livello* sono realizzati in particolari strutture (chiamate storicamente

trols designed to detect any damage or abnormality in order to ensure the safety, the regularity of operation and the maximum commercial availability of the locomotive. To be performed at scheduled intervals of 16,000 km;

- *RT* (Shift Revision) to be performed at scheduled intervals of 80,000 km;
- *SC* (mileage or time deadlines) includes a set of operations to be performed on specific equipment for which intervals of time or maximum operating distances have been defined.

Officine Grandi Riparazioni) e sono distribuiti su vari livelli di intervento:

- *CC* (Revisione Ciclica Carrelli): che prevede, tra le altre attività, anche la sostituzione delle sale e revisione o sostituzione di componenti da effettuarsi ad intervalli di percorrenza di 1.200.000 km.
- *RO* (Revisione Officina) da effettuare ad intervalli di percorrenza di 2.400.000 km.

La lista delle attività di manutenzione programmata è definita nei piani di manutenzione di primo e secondo livello, nei quali, per ogni singola attività, si fa riferimento ai rispettivi manuali di manutenzione di primo e secondo livello.

Il processo di manutenzione programmata utilizza Ordinativi di Lavoro (OdL o NLMP Nota di Lavoro di Manutenzione Preventiva), gestiti tramite il sistema RSMS, i quali riportano il tipo di intervento di manutenzione da effettuare (CO, RT, etc.) in base alla scadenza chilometrica o temporale.

6.2. Manutenzione correttiva per la flotta E464

Il personale di Trenitalia operante presso gli Impianti-Depositi, effettua le diverse attività di riparazione e ripristino dei guasti basandosi sulle seguenti informazioni:

- le indicazioni di guasti o avarie verificatesi durante l'esercizio, riportate nei libri di bordo e successivamente inserite come avviso di manutenzione in modo manuale nel sistema RSMS;
- le indicazioni di guasti o avarie inserite manualmente nel sistema RSMS a seguito di controlli visivi e dell'analisi degli scarichi diagnostici delle locomotive effettuati dagli operatori di manutenzione (per esempio durante attività di manutenzione programmata);
- il dettaglio degli interventi di ricerca guasto, sostituzione o riparazione e prove finali descritti nei manuali di manutenzione di primo livello.

6.3. Integrazione del sistema di Telediagnostica nei processi controllo e di manutenzione della *flotta E464*

6.3.1. La Centrale Operativa per la flotta E464

Il sistema di Telediagnostica può essere utilizzato da diversi profili utente che possono andare dal manutentore per la visualizzazione da remoto delle diagnostiche al Rule Engineer che deve definire gli Algoritmi Diagnostici.

Al fine di ottimizzare il processo di controllo e monitoraggio dello stato della flotta E464 potrà essere realizzata una *Centrale Operativa* dove tramite opportune postazioni collegate al sistema di Telediagnostica sarà possibile:

The *second level maintenance* interventions are carried out in special structures (traditionally called Huge Revisions Workshops) and they are distributed over various levels of intervention:

- *CC* (Bogie Cyclic Revision): replacement of bogie/trolley and revision or replacement of components to be made at intervals of distance of 1,200,000 km;
- *RO* (Workshop Revision) to be made at intervals of distance of 2,400,000 km.

The list of scheduled maintenance activities is defined in the maintenance plans of first and second level, where, for each single activity, reference is provided to the respective maintenance manuals of the first and second level.

The scheduled maintenance process is based on the issue of Work Orders (OdL, or also NLMP, Preventive Maintenance Work Note), managed by the RSMS system, which report the type of maintenance to be performed (CO, RT, etc...) on the basis of mileage or time deadlines.

6.2. Corrective maintenance for the E464 fleet

Trenitalia personnel, operating at the competent Maintenance Depots throughout the country, carries out the various activities to repair and restore of the failures basing their work on the following information:

- the indications of the faults or failures during railway operation, written in the log books and then entered manually as OdLs in the RSMS system;
- the indications of the faults or failures entered manually in the RSMS system following the visual checks of the systems and the analysis of the downloads of locomotives diagnostic data done by the maintenance operators (e.g. during the planned maintenance operations);
- the details of the interventions aimed to search for the failure, interventions of replacement and repair interventions present in the maintenance manuals of the first level.

6.3. Integration of Telediagnostica system in the maintenance processes of E464 fleet

6.3.1. The Control Room for the fleet E464

The Telediagnostica system may be used by different user profiles who may vary from the maintainer viewing the diagnostic data from a remote location to the Rule Engineer who has to define the Diagnostic Algorithms.

In order to optimize the control and monitoring process of the status of the E464 fleet, it will be possible to realize a Control Room equipped with appropriate workstations connected to the Telediagnostica system by which it will be possible:

- to check the status of the fleet, through the analysis of

- il controllo dello stato della flotta, tramite l'analisi dei report creati con il sistema di Reporting;
- il supporto "real time" al personale di condotta in caso di problemi in linea tramite la funzione di Driver Desk remoto;
- l'analisi dei guasti e lo sviluppo degli Algoritmi Diagnostici tramite il portale Web e la Rule Suite per l'emissione automatica degli avvisi di manutenzione verso il sistema RSMS e per l'identificazione delle diagnosi condizionali che permettano di rivedere e ridurre le attività manutentive programmate.

6.3.2. Integrazione del sistema di Telediagnostica nel processo di manutenzione

Il sistema di Telediagnostica permette di individuare due livelli distinti per la diagnostica di bordo:

- diagnostica di livello 1 o diagnostica a guasto;
- diagnostica di livello 2 o diagnostica predittiva.

La *diagnostica di livello 1* permette di rilevare ed esplicitare i componenti in avaria per consentire l'effettuazione di attività di manutenzione correttiva a guasto (diagnostica in senso stretto). Invece, la *diagnostica di livello 2* mira alla salvaguardia delle prestazioni di sistema e dei componenti che concorrono alla loro realizzazione chiedendo l'effettuazione di attività di manutenzione prima dell'effettiva occorrenza del guasto.

La diagnostica di livello 2 permette di rilevare e monitorare il degrado di un componente o di una funzione prima che se ne manifesti il guasto e l'indisponibilità, prevenendo gli effetti sul sistema in termini di guasti indotti sugli altri componenti, riduzione dell'affidabilità di missione, riduzione delle condizioni di sicurezza, incremento dei tempi di fermo del rotabile e aumento dei costi di ripristino. Inoltre la diagnostica di livello 2 permette di rilevare soglie di pre-allerta, instabilità operative e condizioni anomale di funzionamento rispetto alle condizioni nominali che possono condurre al degrado del componente o alla indisponibilità della funzione.

Di conseguenza la diagnostica di livello 2 permette di effettuare le attività di manutenzione su condizione necessarie a prevenire il degrado dei componenti, le conseguenze sul sistema ed a aumentarne l'affidabilità intrinseca.

L'utilizzo del sistema di Telediagnostica all'interno dell'attuale processo manutentivo permette di:

- rivedere ed eventualmente integrare il processo di manutenzione correttiva;
- implementare un processo di manutenzione su condizione (CBM).

the reports produced with the Reporting System of the Telediagnostica system;

- to give support in "real time" to the train driver in case of problems along the railway line by means of the Remote Driver Desk function;
- to provide failures analysis and to develop Diagnostic Algorithms via the Web portal and the Rule Suite for the automatic issue of the incident reports to the RSMS system and for the identification of the conditional diagnosis allowing to revise and to reduce the scheduled maintenance activities.

6.3.2. Integration of Telediagnostica system in the maintenance processes

The Telediagnostica system can identify two distinct levels for the on-board diagnostics:

- Level 1 Diagnostics, or fault diagnostics;
- Level 2 Diagnostics, or predictive diagnostics.

Level 1 diagnostics allows to detect and make explicit faulty components in order to enable the carrying out of failure corrective maintenance activities (diagnostics intended in its strict sense). On the contrary, *Level 2 Diagnostics* aims at safeguarding the performance of the system and of the components concurring to performance achievement, by calling for the execution of maintenance activities prior to the actual occurrence of the failure.

Level 2 diagnostics allows to detect and monitor degradation of a component or function before it manifests any failure or unavailability. Doing so, it prevents the effects on the system in terms of failures induced on other components, reduction of the reliability of mission, reduction of safety conditions, and increased time of rolling stock parking and costs for rolling stock restoring. In addition, the diagnostic level 2 allows the detection of pre-alert thresholds, operational instabilities and abnormal operating conditions compared to the nominal conditions which can lead to degradation of the component or to the unavailability of the function.

Consequently the diagnostic level 2 permits to perform conditional maintenance activities necessary to prevent the degradation of components, the consequences on the system and to increase system intrinsic reliability.

The use of Telediagnostica system inside the current maintenance process allows:

- to verify and eventually integrate the process of corrective maintenance;
- to implement a process of conditional maintenance (CBM).

6.3.3. Integrazione del sistema di Telediagnostica nel processo di manutenzione correttiva

Come illustrato in fig. 13 il sistema di Telediagnostica integra l'attuale processo manutentivo, inserendo in modo automatico dei nuovi avvisi di manutenzione nel sistema RSMS. Tali avvisi di manutenzione sono generati tramite l'implementazione degli Algoritmi Diagnostici (AD) creati e realizzati tramite il modulo *Rule Suite* al fine di individuare i componenti in avaria (diagnostica di livello 1). Il principale vantaggio dell'utilizzo del sistema di Telediagnostica ai fini della manutenzione correttiva è la riduzione dei tempi di fermo locomotiva e di conseguenza l'incremento della disponibilità all'esercizio commerciale dei veicoli, grazie a:

- indicazione in tempo reale dell'effettivo guasto;
- eliminazione di eventuali dubbi interpretativi delle indicazioni presenti nel libro di bordo
- storicizzazione e replicabilità dell'esperienza manutentiva (tramite gli algoritmi diagnostici);
- possibilità di ottimizzare l'intervento di riparazione (materiali compresi) prima del rientro della macchina in deposito.

A regime il sistema di Telediagnostica dovrebbe tendere all'azzeramento dei tempi logistici oggi occorrenti per la preparazione dell'intervento: all'emissione automatica di un avviso di manutenzione potrà infatti corrispondere l'immediata pianificazione del rientro della locomotiva in deposito (in funzione dell'avaria e del rispetto dei turni di servizio) ed il contestuale approntamento di personale, attrezzature e ricambi necessari per effettuare l'intervento di manutenzione.

6.3.4. Implementazione di un processo di manutenzione condizionale (CBM) tramite il sistema di Telediagnostica

Il sistema di Telediagnostica permette di implementare la CBM, tramite la creazione di AD associati a diagnostiche di livello 2, privilegiando le attività di manutenzione realmente necessarie dovute all'effettivo degrado dei componenti. Infatti per i componenti o sistemi per i quali si siano definiti degli AD associati a diagnostiche di livello 2 è possibile prevedere eventuali modifiche al piano di manutenzione di primo livello volte alla ridistribuzione delle periodicità o all'eliminazione delle azioni di manutenzione programmata. In questo modo il componente o il sistema in oggetto

6.3.3. Integration of Telediagnostica system in the process of corrective maintenance

As shown in fig. 13, Telediagnostica system integrates the current process by automatically inserting some new incident reports in the RSMS system. Those incident reports are generated by the implementation of the Diagnostic Algorithms (ADs) created and implemented through the *Rule Suite* module in order to identify faulty components (level 1 diagnostics). The main advantage of using the Telediagnostica system for the purpose of corrective maintenance is the reduction of the stopping time of the locomotive and consequently the increase in the availability of vehicles commercial operation, thanks to:

- real-time indication of the actual fault;
- elimination of possible doubts in the interpretation of the indications reported in the onboard log book;
- historicization and repeatability of the maintenance experience (through diagnostic algorithms);
- possibility to optimize the repair intervention (including materials) before the rolling stock returns to the depot.

When fully operational, the Telediagnostica system should tend to set to zero logistic time today necessary for the preparation of the intervention. When an automatic incident report is issued, in facts, it will correspond an immediate planning of the return back of the locomotive to the depot (accordingly with the failure and the

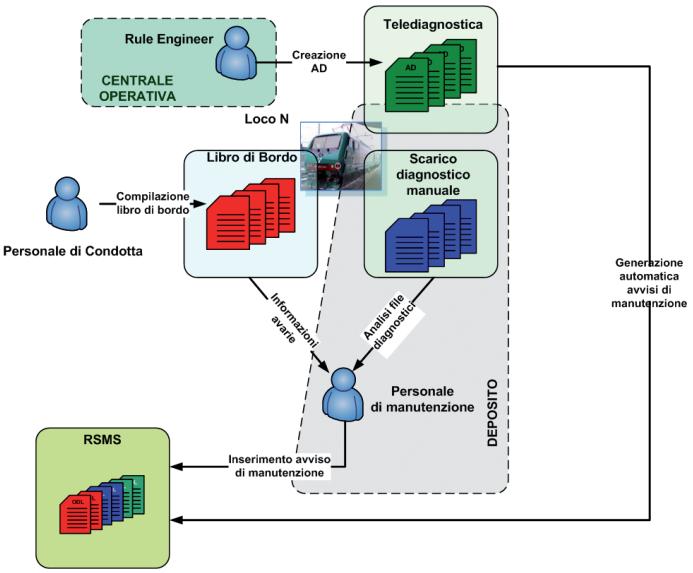

Fig. 13 - Integrazione del sistema di Telediagnostica nel processo di manutenzione correttiva.
Integration of the Telediagnostica System in the Corrective maintenance process.

potrà essere mantenuto solo in caso di effettivo degrado prima dell'accadimento del guasto e non più alla scadenza chilometrica o temporale dell'attività manutentiva preventiva.

Come già indicato in precedenza la CBM si basa sul CM (Condition Monitoring) che risulta essere il processo di monitoraggio della condizione e dell'efficienza del sistema tramite la lettura delle grandezze fisiche che ne indicano lo stato. Per questo motivo la CBM applicata alla flotta E464 (in esercizio da più di 10 anni) tramite l'utilizzo del sistema di Telediagnostica, ha come limite il fatto che il "dominio" delle informazioni a disposizione del sistema (ovvero le diagnostiche, i dati ambientali, i contatori e le grandezze fisiche disponibili tramite le registrazioni) è predefinito e non facilmente estendibile. In altri termini l'eventuale aggiunta di ulteriore sensoristica, utile all'individuazione di situazioni di guasto o degrado di alcuni componenti non attualmente diagnosticati, implicherebbe dei costi operativi di modifica non trascurabili su una flotta di più di 600 locomotive.

Per quanto riguarda invece l'estensione della diagnostica di bordo, il Sistema di Telediagnostica permette di aggiungere informazioni diagnostiche (DDS e contatori denominati custom) senza dover modificare la versione della Baseline SW di veicolo. È infatti possibile creare tramite configurazione da remoto dell'MCG la generazione di DDS e contatori custom in base alle informazioni presenti sul bus MVB.

Per le suddette motivazioni la CBM realizzata con il sistema di Telediagnostica potrà consentire dei miglioramenti sulla manutenzione programmata, che saranno oggetto di valutazione durante lo sviluppo del progetto di realizzazione degli algoritmi diagnostici che coprirà tutto il biennio 2012 e 2013.

Il sistema potrà prendere in carico la gestione e l'analisi dei dati diagnostici di eventuali nuovi dispositivi che dovessero in futuro essere installati a bordo delle locomotive (ad esempio sistemi di misura del consumo energetico o Energy Meter).

7. Esempi applicativi di algoritmi diagnostici

Nel presente paragrafo a titolo di esempio si riportano due AD associati al sistema di raffreddamento, denominati "Avaria ventilatore torre" e "Allarme conducibilità" che permettono di rilevare situazioni diagnostiche rispettivamente di livello 1 e 2 che di conseguenza possono essere impiegati rispettivamente a livello di manutenzione correttiva e su condizione.

La locomotiva E464 è equipaggiata con un sistema di raffreddamento realizzato da una torre di raffreddamento (la cui ubicazione è illustrata in fig. 14) dotata di tre motoventilatori che aspirano l'aria dall'imperiale convogliandola ad un radiatore. Nel radiatore circola una miscela di acqua distillata/glicole la cui conducibilità

personnel work shifts) and the contextual preparation of the personnel, the equipment and the necessary spare parts to perform the maintenance intervention.

6.3.4. Implementation of a process of conditional maintenance (CBM) by means of the Telediagnostica system

The Telediagnostica system allows to implement the CBM, through the creation of ADs associated with level 2 diagnostics, privileging the maintenance activities really necessary due to the actual degradation of the components. In fact, for components or systems for which ADs associated with level 2 diagnostics have been defined, it is possible to foresee possible changes to the first level maintenance plan aimed at the removal of scheduled maintenance items. In this way the component or system in question may be maintained only in case of actual degradation before the failure occurs, and no more at the reaching of the mileage or time deadline fixed by the scheduled preventive maintenance.

As already mentioned above, the CBM is based on the CM (Condition Monitoring), which consists in the process of monitoring the condition and efficiency of the system by reading the physical quantities which indicate the status of life. For this reason, the CBM applied to the E464 fleet (in operation for more than 10 years and counting more than 500 million km run), by the use of Telediagnostica system, has the constraint that the "domain" of information available to the system (diagnostic and variables associated with physical quantities) is predefined and not easily extensible.

In other words, the addition of further sensors useful for the identification of fault or degradation situations of some components not currently diagnosed would involve considerable operating costs related to the modification over a fleet of more than 600 locomotives.

As for the extension of the on-board diagnostics, the Telediagnostica system allows to add diagnostic information (DDS and counters referred to as custom) without having to change the version of SW Baseline of the vehicle. As a matter of fact, it is possible to create, via MCG remote configuration, the generation of DDS and custom counters based on information present on the MVB bus.

For the above reasons, the CBM realised by the Telediagnostica system may allow to reach some improvements as regards scheduled maintenance which will be subject to evaluation during the running of the project for the realization of the diagnostic algorithms, a work planned to cover the entire 2012 – 2013 period.

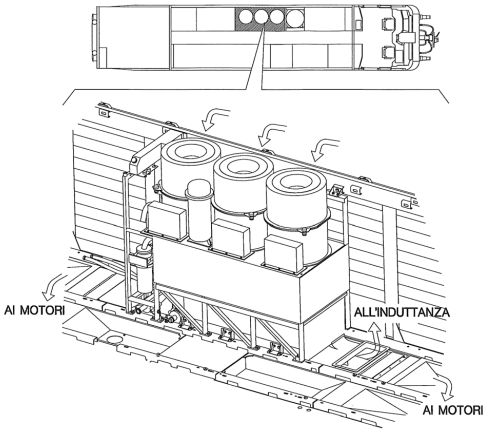

Fig. 14 - Motoventilatori VT1, VT2, VT3.
VT1, VT2, VT3 motor-fans.

elettrica viene mantenuta all'interno di valori ammissibili tramite un filtro resine. La conducibilità della miscela è un parametro critico per il buon funzionamento del sistema di raffreddamento e di conseguenza del sistema di trazione.

In tabella 1 è illustrato l'AD (associato ad una diagnostica di livello 1) che permette di identificare il malfunzionamento del motoventilatore di una torre dell'impianto di raffreddamento.

In caso di attivazione dell'allarme associato all'AD, il sistema segnala all'operatore della Centrale Operativa lo stato di guasto e si interfaccia al sistema RSMS per l'emissione di un opportuno avviso di manutenzione. È così possibile anticipare l'intervento di ripristino prima che la locomotiva oggetto del guasto sia disponibile presso il deposito di manutenzione di competenza, riducendo quindi i tempi di intervento e fermo macchina.

In tabella 2 è illustrato l'AD (associato ad una diagnostica di livello 2) che permette di attivare l'allarme sul valore di conducibilità della miscela acqua distillata/glicole presente nel sistema di raffreddamento. Tale AD permette di individuare il degrado del filtro resine.

In caso di emissione dell'allarme associato all'AD, il sistema segnala all'operatore della Centrale Operativa la situazione di raggiungimento di un livello di degrado massimo accettabile e si interfaccia al sistema RSMS per l'emissione di un opportuno avviso di manutenzione. Sostituendo il filtro resine prima del suo effettivo guasto si introduce un'attività di manutenzione su condizione che ha impatti sulle procedure di controllo e revisione programmate nel piano di manutenzione. Per questo se le valutazioni dell'AD sono tali da avere un livello di confidenza sufficiente è possibile rivedere il piano di manutenzione modificando le attività (condizioni

The system will have the possibility to take over the management and analysis of diagnostic data for any new devices that may be installed in the future on board of the locomotives (e.g. energy consumption measurement system or Energy Meter).

7. Examples of Diagnostic Algorithms

For sake of example, this paragraph reports two ADs associated with the cooling system, called "Tower Fan Failure" and "Alarm conductivity", which allow to detect diagnostic events respectively of levels 1 and 2, and which may be used, as a consequence, respectively at the levels of corrective and on condition maintenance.

The E464 locomotive is equipped with a cooling system realised by a cooling tower (whose location is shown in fig. 14) having three motor-fans drawing air from the top roof funneling it to a radiator. In the radiator, it circulates a mixture of distilled water/glycol whose electrical conductivity is maintained within allowed values through a resins filter. The conductivity of the mixture is a critical parameter for the proper functioning of the cooling system and, as a consequence, of the traction system.

Table 1 shows the AD (associated with a level 1diagnostic) which allows to identify the failure of the motor-fan of a tower of the cooling system.

In the event of activation of the alarm associated with the AD, the system alerts the operator of the Control Room about the fault status and it interfaces with the RSMS system for the issue of an appropriate incident report. It is so possible to anticipate the remedial intervention before the locomotive subject to the failure is available at the maintenance depot of competence, thereby reducing response time and vehicle stop time.

Table 2 shows the AD (associated with a level 2 diagnostic) which allows to activate the alarm on the level of conductivity of the mixture of distilled water/glycol present in the cooling system. That AD allows to detect the degradation of the resins filter.

In case of issue of the alarm associated with the AD, the system alerts the operator of the Control Room about the reaching of the maximum acceptable level of degradation, and it interfaces with the RSMS system in order to issue an appropriate incident report. Replacing the resins filter before its actual failure introduces an on condition maintenance task which impacts on the planned inspection and review procedures scheduled in the Maintenance Plan. Thanks to this, if AD evaluations are so as to have a sufficient level of confidence, it becomes possible to review the Maintenance Plan modifying the activities (conditions of inspection and replacement of the fil-

TABELLA 1

DESCRIZIONE AD AVARIA VENTILATORE TORRE 3

Campo AD	Valore campo
Codice	0032
Nome AD	Avaria Ventilatore Torre 3
Apparato/Impianti	Impianto raffreddamento (cat. “secondo suddivisione DDS” n. 14).
LRU	Motoventilatore Completo Torre (cat. “secondo classificazione 3ECP” 3ECP100738R0001)
Posizione LRU	3
Descrizione Segnalazione	Rilevazione di un cortocircuito / Girante bloccata a causa di cuscinetti usurati.
Attività Post Segnalazione	Verifica cuscinetti e/o presenza corti. In caso la verifica dia esito positivo procedere alla sostituzione del motoventilatore.
Data Creazione	10/12/2011
Data Ultima Revisione	05/01/2012
Autori	……
Dominio (formato DB Telediagnostica)	

Diagnostic Data Set (DDS)

Name	DefaultDescription	ConfigurationId	EventId	ProcessId
RAF_Av-CVT3	RAF05: Avaria contatore vent CVT3	5-20	709	44,46
DDS_24	INF_3F: Allarme sovracorrente uscita	5-20	24	209,211
OTS-_OT03-EOverI	BUR2: OVERI NEL INVERTER D’USCITA	5-20	35	210
OTS-_OT03-EOverI	BUR1: OVERI NEL INVERTER D’USCITA	5-20	35	208

Environmental Data (ED)

Name	DefaultDescription	ConfigurationId
SPV_STATO-VEICOLO	Stato Veicolo in LdV / Numero di stato del software di FLG	5-20

Descrizione AD

SE PRESENTE DDS = “RAF_Av-CVT3” ALLORA
{
$t_{Iniziale}$=StartTime[DDS=“RAF_Av-CVT3”]
SE ED[DDS=“RAF–Av-CVT3”]=“SPV_STATO-VEICOLO” ≥ 3840 ALLORA
{
RICERCO NELL’INTERVALLO≤[$t_{Iniziale}$–5 s < t < $t_{Iniziale}$]
SE PRESENTE DDS = “DDS_24” OPPURE DDS = “OTS-_OT03-EOverI”
ALLORA
SEGNALAZIONE ANOMALIA
ALTRIMENTI
ESCI AD
}
ALTRIMENTI
ESCI AD
}

Documentazione

L’A.D. vuole individuare il cortocircuito del motoventilatore torre n.3. Viene ricercata la concomitanza dell’intervento del magnetotermico e della sovracorrente di uscita dell’alimentatore servizi ausiliari. La verifica viene condotta per stato LdV ≥ 3840 (fase di alimentazione dei ventilatori) per escludere i casi in cui la catena di alimentazione del VT3 sia già disabilitata. La scelta di verificare un delta di 5 secondi tra la sovracorrente ed il DDS dell’avaria contattore deriva dalla sperimentazione.

Meccanismo di Reset

Manuale

TABLE 1

DESCRIPTION OF THE AD FOR THE FAILURE OF TOWER 3 FAN

AD Field	Field Value
Code	0032
AD Name	Failure of Tower 3 Fan
Equipment / System	Cooling System (cat. "according to DDS subdivision" n. 14).
LRU	Complete Tower Motor-fan (cat. "according to 3ECP classification" 3ECP100738R0001)
LRU Position	3
Signaling Description	Detection of a short circuit / Rotor blocked because of worn bearings.
Post-Signaling Activity	Verification of bearings and/or check for presence of short circuit. In case of positive verification, proceed with motor-fan replacement.
Creation Date	December 10th, 2011
Last Revision Date	January 5th, 2012
Authors	……
Domain (Telediagnostica DB format)	

Diagnostic Data Set (DDS)

Name	DefaultDescription	ConfigurationId	EventId	ProcessId
RAF_Av-CVT3	RAF05: Contactor CVT3Fan Failure	5-20	709	44,46
DDS_24	INF_3F: output overcurrent alarm	5-20	24	209,211
OTS-_OT03-EOverI	BUR2: OVERCURRENT IN THE OUTPUT INVERTER	5-20	35	210
OTS-_OT03-EOverI	BUR1: OVERCURRENT IN THE OUTPUT INVERTER	5-20	35	208

Environmental Data (ED)

Name	DefaultDescription	ConfigurationId
SPV_VEHICLE-STATUS	Vehicle status in LdV / Status Number of FLG Software	5-20

AD Description

IF PRESENT DDS = "RAF_Av-CVT3" THEN
{
t_{Start}=StartTime[DDS="RAF_Av-CVT3"]
IF ED[DDS="RAF–Av-CVT3"]="SPV_VEHICLE-STATUS" ≥ 3840 THEN
{
SERCH IN THE INTERVAL≤[t_{Start}–5 s < t < t_{Start}]
IF PRESENT DDS = "DDS_24" OR DDS = "OTS-_OT03-EOverI"
THEN
ANOMALY SIGNALING
OTHERWISE
EXIT AD
}
OTHERWISE
EXIT AD
}

Documentation

The AD wants to detect the short circuit of the motor-fan of tower no. 3. The concomitancy between the intervention of the magneto-thermic and of the output overcurrent of the auxiliary services supplier is investigated. The verification is conducted by status of LdV ≥ 3840 (supply phase of the fans) to exclude cases where the VT3supply chain is already disabled. The decision to verify a delta of 5 seconds between the overcurrent and the DDS of the contactor failure comes from experimentation.

Reset Mechanism

Manual

TABELLA 2

DESCRIZIONE AD ALLARME CONDUCIBILITÀ

Campo AD	Valore campo
Codice	0054
Nome AD	Allarme conducibilità
Apparato/Impianti	Impianto raffreddamento (cat. "secondo suddivisione DDS" n. 14).
LRU	Filtro resine. (3ECP304297R0001)
Posizione LRU	Na
Descrizione Segnalazione	La conducibilità dell'acqua è superiore alla soglia 1 in un particolare stato della locomotiva.
Attività Post Segnalazione	Sostituzione filtro resine.
Data Creazione	10/12/2011
Data Ultima Revisione	05/01/2012
Autori	……
Dominio (formato DB Telediagnostica)	Diagnostic Data Set (DDS)

Name	DefaultDescription	ConfigurationId	EventId	ProcessId
SPVS_1300-Abi-INI-I/O	DBV06: E464-LdV-2000 (reset loco E464)	5-20	550	44,46
BDIS_D-CB1-MGc1>t1	Conducibilità superiore soglia1	5-20	40	60

Descrizione AD

SE PRESENTE DDS = "Conducibilità superiore soglia1" ALLORA
{
SE
{
$EndTime_{[DDS="Conducibilità\ superiore\ soglia1"]} \neq$ valore nullo ALLORA
$t_{Iniziale}=EndTime_{[DDS="Conducibilità\ superiore\ soglia1"]}$
ALTRIMENTI
$t_{Iniziale}=StartTime_{[DDS="Conducibilità\ superiore\ soglia1"]}$
}
$\Delta t_{Reset-t-1}=\min(t_{Iniziale}-StartTime_{[DDS="DBV06:\ E464-LdV-2000\ (reset\ loco\ E464)"]}$
$\setminus (StartTime_{[DDS="DBV06:\ E464-LdV-2000(reset\ loco\ E464"]}<t_{Iniziale}))$
SE
{
$\Delta t_{Reset-t-1} \geq 600$ s ALLORA
SEGNALAZIONE ANOMALIA
ALTRIMENTI
ESCI AD
}
ALTRIMENTI
ESCI AD
}

Documentazione

Questo A.D. vuole individuare il superamento della prima soglia di conducibilità del liquido di raffreddamento. Il DDS "Conducibilità superiore soglia1" indica già correttamente il superamento di tale soglia, però l'AD vuole escludere i casi in cui il DDS è generato dopo un prolungato tempo di inattività del filtro resine (in cui non è detto che il filtro resine sia inefficiente) motivo per cui vengono esclusi i DDS generati in prossimità di un reset loco, "DBV06: E464-LdV-2000 (reset loco E464)". È considerata ammissibile una conducibilità superiore alla prima soglia nel transitorio, cioè nei primi minuti di funzionamento della loco, prima che l'impiego del filtro resine riporti il valore di conducibilità entro la soglia ammissibile (< 5μS/cm). Questo AD punta ad individuare l'inefficienza del filtro resine affinché non venga mai raggiunta la seconda soglia, che comporterebbe una riduzione delle prestazioni della loco.
Il filtro resine è inefficiente se:
- Il filtro resine esaurisce le sue proprietà chimico-fisiche;
- Se l'attacco rapido (12) è scollegato.

Se il DDS viene emesso dopo un intervallo di tempo compreso tra: 10 minuti dopo un reset e il successivo reset (dominio temporale di validità regola), oppure se viene emesso precedentemente ma termina nel dominio temporale, allora l'A.D. indicherà che il filtro resine non è efficiente.

Meccanismo di Reset	Manuale

TABLE 2

DESCRIPTION OF THE AD FOR CONDUCTIVITY ALARM

AD Field	Field Value
Code	0054
AD Name	Conductivity Alarm
Equipment / System	Cooling System (cat. "according to DDS subdivision" n. 14.
LRU	Resins Filter. (3ECP304297R0001)
LRU Position	Not Applicable
Signaling Description	Water conductivity is above the threshold1 in one particolar status of the locomotive.
Post-Signaling Activity	Resins Filter Replacement.
Creation Date	December 10th, 2011
Last Revision Date	January 5th, 2012
Authors	……
Domain (Telediagnostica DB format)	Diagnostic Data Set (DDS)

Name	DefaultDescription	ConfigurationId	EventId	ProcessId
SPVS_1300-Abi-INI-I/O	DBV06: E464-LdV-2000 (reset loco E464)	5-20	550	44,46
BDIS_D-CB1-MGcl>t1	Conductivity above threshold1	5-20	40	60

AD Description

IF PRESENT DDS = "Conductivity above threshold1" THEN
{
IF
{
$EndTime_{[DDS="Conductivity\ above\ threshold\ 1"]} \neq null$ THEN
$t_{Start}=EndTime_{[DDS="Conductivity\ above\ threshold\ 1"]}$
OTHERWISE
$t_{Start}-StartTime_{[DDS="Conductivity\ above\ threshold\ 1"]}$
}
$\Delta t_{Reset-t-1}=min(t_{Start}-StartTime_{[DDS="DBV06:\ E464\text{-}LdV\text{-}2000\ (reset\ loco\ E464")]"}$
$\setminus (StartTime_{[DDS="DBV06:\ E464\text{-}LdV\text{-}2000\ (reset\ loco\ E464)"]}<t_{Start}))$
IF
{
$\Delta t_{Reset-t-1} \geq 600$ s THEN
FAILURE SIGNALING
OTHERWISE
EXIT AD
}
OTHERWISE
EXIT AD
}

Documentation

This A.D. wants to detect the exceeding of the first conductivity threshold of the cooling liquid. The DDS "Conductivity above threshold1" is already successfully indicating the overcoming of that threshold, but the AD wants to exclude cases where the DDS is generated after a prolonged idle time of the filter resins (which does not mean that the filter resins is inefficient). This is the reason why the DDSs generated in proximity of a locomotive reset are excluded, "DBV06: E464-LdV-2000 (reset on E464 locomotive)". A conductivity above the first threshold is considered acceptable during the transitory time, i.e. during the first minutes of locomotive operation, before the resins filter application takes back the conductivity value below the acceptable threshold ((< 5µS/cm). This AD aims to identify and locate the inefficiency of the resins filter in order never to reach the second threshold which would involve a reduction in the locomotive performance.
The resins filter is inefficient:
- If the resins filter exhausts its physical and chemical properties;
- If the quick coupling (12) is disconnected.

If the DDS is issued after an interval of time between: 10 minutes after a reset and the next reset (time domain of rule validity), or if it is issued before but it ends within the time domain, then the AD indicates that the resins filter is not efficient.

Reset Mechanism

Manual

di controllo e sostituzione del filtro stesso) e le periodicità dell'intervento (estensione dell'intervallo chilometrico o temporale).

8. Conclusioni

Il sistema di Telediagnostica per le flotte E464 ed E405 di Trenitalia sarà integrato nel sistema di gestione della manutenzione di Trenitalia e renderà possibile il controllo dei guasti, delle avarie e delle emergenze in linea delle due flotte. Inoltre il sistema di Telediagnostica, grazie al sistema di gestione e sviluppo degli Algoritmi Diagnostici, permetterà di ottimizzare le attività di manutenzione correttiva e di aumentare la vita utile dei componenti limitando il ricorso ad attività di manutenzione preventiva tramite ispezioni o controlli periodici e supportando invece l'adozione di attività di manutenzione "on condition" basate su tecniche di "condition monitoring".

È importante sottolineare che le ricadute dell'utilizzo del sistema di Telediagnostica per le flotte E464 ed E405 nel breve e nel lungo periodo sono sia economiche che sociali.

Economiche per Trenitalia grazie agli impatti in termini di riduzione dei tempi e dei costi di manutenzione e per l'aumento di disponibilità e conseguentemente di redditività dei veicoli.

Sociali in quanto la flotta E464 con più di 650 locomotive in esercizio serve il traffico regionale di tutto il territorio italiano e di conseguenza l'aumento della disponibilità dei veicoli può significativamente migliorare il servizio di mobilità nazionale. A loro volta i benefici ottenuti per la flotta E405 potranno giovare al miglioramento del trasporto di merci su rotaia.

ter) and the frequency of intervention (extension of the time or mileage interval).

8. Conclusions

The Telediagnostica system for Trenitalia E464 and E405 fleets will be integrated into Trenitalia maintenance management system and it will make possible the check for faults, failures and in line emergencies of the two fleets. Besides this, the Telediagnostica system, thanks to the system for the management and development of Diagnostic Algorithms, will allow to optimize the corrective maintenance activities, to increase the useful life of components, and to limit the use of preventive maintenance activities through periodic inspections or checks, supporting on the contrary the adoption of "on condition" maintenance activities based on techniques of "condition monitoring".

It is important to underline that the impact of the use of Telediagnostica system for E464 and E405 fleets in the short as well as in the long term includes both economic and social advantages.

Economic advantages for the railway operator Trenitalia thanks to the impacts in terms of saving time, saving maintenance costs, and increasing the availability, thus the productivity and profitability of vehicles.

Social advantages thanks to the fact that the E464 fleet, counting nearly 650 running locomotives, serves the regional transport of the entire Italian territory thus, as a consequence, the increase in the availability of vehicles may significantly improve the national mobility service. Similarly, the benefits obtained by the E405 fleet will concur to improve the railway cargo transportation.