Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti

DIREZIONE GENERALE PER LE INVESTIGAZIONI FERROVIARIE E MARITTIME

RELAZIONE DI INDAGINE
INCIDENTE: Svio Treno ES8510 Materiale Etr600.004
LINEA: DD AV Roma-Firenze
IN DATA: 09.11.2017

20 Dicembre 2018

Indice

Acronimi e definizioni 4
Premessa 7
1. Sintesi 8
1.1. Breve descrizione dell'evento 8
1.2. Cause dirette, indirette, osservazioni stabilite dall'indagine e raccomandazioni principali 9
2. Fatti in immediata relazione all'evento 13
2.1. Evento 13
2.1.1. Descrizione degli eventi e del sito dell'incidente comprese le attività dei servizi di soccorso ed emergenza 13
2.1.2. Decisione di aprire l'indagine, composizione della squadra investigativa e svolgimento della indagine stessa 20
2.2. Circostanze dell'evento 40
2.2.1. Personale coinvolto 40
2.2.2. Treni e relativa composizione 40
2.2.3. Infrastruttura e sistema di segnalamento 41
2.2.4. Mezzi di comunicazione 42
2.2.5. Lavori svolti presso il sito dell'evento 42
2.2.6. Attivazione del piano di emergenza ferroviaria e relativa catena di eventi 42
2.2.7. Attivazione del piano di emergenza dei servizi pubblici di soccorso, della polizia, dei servizi sanitari e relativa catena di eventi 42
2.3. Decessi, lesioni, danni materiali 42
2.3.1. Passeggeri e terzi, personale 42
2.3.2. Merci, bagagli ed altri beni 42
2.3.3. Materiale rotabile, infrastruttura ed ambiente 42
2.4. Circostanze esterne 43
3. Resoconto dell'indagine 44
3.1. Sintesi delle testimonianze 44
3.1.1. Sintesi delle testimonianze (nel rispetto della tutela dell'identità dei soggetti interessati), personale delle ferrovie, compreso quello delle imprese appaltatrici 44
3.1.2. Altri testimoni 44
3.2. Sistema di gestione della sicurezza 44
3.2.1. Quadro organizzativo e modalità di assegnazione ed esecuzione degli incarichi 44
3.2.2. Requisiti relativi al personale e garanzia della loro applicazione 47
3.2.3. Modalità dei controlli e delle verifiche interni e loro risultati 47
3.2.4. Interfaccia fra i diversi soggetti operanti sull'infrastruttura 47
3.3. Norme e regolamenti 48
3.3.1. Norme pertinenti e regolamenti comunitari e nazionali 48
3.3.2. Altre norme (norme di esercizio, istruzioni locali, requisiti per il personale, prescrizioni in materia di manutenzione e standard applicabili) 49
3.4. Funzionamento del materiale rotabile e degli impianti tecnici 56
3.4.1. Sistema di segnalamento e comando-controllo, registrazione da parte di apparecchi automatici di registrazione 56
3.4.2. Infrastruttura 57
3.4.3. Apparecchiature di comunicazione 57
3.4.4. Materiale rotabile, registrazione da parte di apparecchi automatici di registrazione 57
3.5. Documentazione del sistema di esercizio 58
3.5.1. Provvedimenti adottati dal personale per il controllo del traffico ed il segnalamento 58

3.5.2. Scambio di messaggi verbali in relazione all'evento 59
3.5.3. Provvedimenti adottati a tutela e salvaguardia del sito dell'evento 59
3.6. Interfaccia uomo-macchina-organizzazione 59
3.6.1. Tempo lavorativo del personale coinvolto 59
3.6.2. Circostanze personali e mediche che possono aver influenzato l'evento 59
3.6.3. Architettura degli impianti aventi un'incidenza sull'interfaccia uomo-macchina 60
3.7. Eventi precedenti dello stesso tipo 61
4. Analisi e conclusioni 62
4.1. Resoconto finale della catena di eventi 62
4.2. Discussione 63
4.2.1. Analisi riguardanti la causa diretta dell'evento 63
4.2.2. Analisi riguardanti le cause indirette dell'evento 64
4.2.3. Analisi riguardanti le osservazioni aggiuntive 65
4.3. Conclusioni 71
4.4. Osservazioni aggiuntive 72
5. Provvedimenti adottati 73
6. Raccomandazioni 74
7. Riferimenti bibliografici 75

Acronimi e definizioni

In osservanza di quanto espresso nelle Direttive UE [1], [2] e [3], recepite con D.Lvo [4], è possibile riepilogare le seguenti definizioni ed acronimi:

a) sistema ferroviario: l'insieme dei sottosistemi di natura strutturale e funzionale, quali definiti nelle direttive 96/48/CE e 2001/16/CE e successive modificazioni nonché la gestione e l'esercizio del sistema nel suo complesso;
b) gestore dell'infrastruttura: qualsiasi organismo o impresa incaricato in particolare della realizzazione, della manutenzione di una infrastruttura ferroviaria e della gestione dei sistemi di controllo e di sicurezza dell'infrastruttura e della circolazione ferroviaria. I compiti del gestore di una infrastruttura o di parte di essa possono essere assegnati a diversi soggetti con i vincoli definiti nelle norme comunitarie e nazionali vigenti;
c) impresa ferroviaria: qualsiasi impresa titolare di una licenza ai sensi del D.Lvo 8 luglio 2003, n. 188, e qualsiasi altra impresa pubblica o privata la cui attività consiste nella prestazione di servizi di trasporto di merci e/o di passeggeri per ferrovia e che garantisce obbligatoriamente la trazione; sono comprese anche le imprese che forniscono la sola trazione;
d) specifiche tecniche di interoperabilità: le specifiche di cui è oggetto ciascun sottosistema o parte di un sottosistema, al fine di soddisfare i requisiti essenziali e garantire l'interoperabilità dei sistemi ferroviari transeuropei convenzionali e ad alta velocità, quali definiti nelle direttive 96/48/CE e 2001/16/CE e successive modificazioni;
e) obiettivi comuni di sicurezza: i livelli minimi di sicurezza che devono almeno essere raggiunti dalle diverse parti del sistema ferroviario (quali il sistema ferroviario convenzionale, il sistema ferroviario ad alta velocità, le gallerie ferroviarie lunghe o le linee adibite unicamente al trasporto di merci) e dal sistema nel suo complesso, espressi in criteri di accettazione del rischio;
f) metodi comuni di sicurezza: i metodi che devono essere elaborati per descrivere come valutare i livelli di sicurezza, la realizzazione degli obiettivi di sicurezza e la conformità con gli altri requisiti in materia di sicurezza;
g) Agenzia Nazionale per la Sicurezza delle Ferrovie: l'organismo nazionale a cui sono assegnati i compiti di Autorità preposta alla sicurezza per il sistema ferroviario italiano di cui al capo IV della direttiva 2004/49/CE;
h) organismi notificati: gli organismi incaricati di valutare la conformità o l'idoneità all'impiego dei componenti di interoperabilità o di istituire la procedura di verifica CE dei sottosistemi, quali definiti nelle direttive 96/48/CE e 2001/16/CE e successive modificazioni;
i) verificatori indipendenti di sicurezza: gli organismi incaricati di valutare la conformità di un componente ai requisiti di omologazione relativi alla sicurezza ad esso applicabili e l'idoneità all'impiego dello stesso, e/o di istruire la procedura per l'omologazione;
j) norme nazionali di sicurezza: tutte le norme e standard nazionali contenenti obblighi in materia di sicurezza ferroviaria, applicabili ad uno o più gestori dell'infrastruttura ed a più di una impresa ferroviaria;
k) sistema di gestione della sicurezza: l'organizzazione e i provvedimenti messi in atto da un gestore dell'infrastruttura o da un'impresa ferroviaria per assicurare la gestione sicura delle operazioni;
l) disposizioni di esercizio: disposizioni che regolamentano la sicurezza ferroviaria in applicazione delle norme nazionali di sicurezza riferite ad ogni singola rete infrastrutturale;
m) componenti di interoperabilità: qualsiasi componente elementare, gruppo di componenti, sottoinsieme o insieme completo di materiali incorporati o destinati ad essere incorporati in un sottosistema, da cui dipende direttamente o indirettamente (“interoperabilità” del sistema ferroviario convenzionale o ad alta velocità, quali definiti nelle direttive 96/48/CE e

2001/16/CE e successive modificazioni). Il concetto di componente comprende i beni materiali e quelli immateriali, quali il software;

n) prodotto generico: componente generico concepito e realizzato per soddisfare determinate specifiche tecniche e funzionali nell'ambito di una applicazione generica;
o) applicazione generica: soluzione realizzativa concepita per soddisfare determinate specifiche tecniche e funzionali in conformità a norme e standard di sicurezza in vigore utilizzabile per applicazioni specifiche;
p) applicazione specifica: soluzione realizzativa, ottenuta configurando una applicazione generica omologata, mirata ad una specifica esigenza; una applicazione specifica, può comprendere più applicazioni generiche opportunamente configurate;
q) componente: qualsiasi componente elementare, gruppo di componenti elementari, sottoinsieme o insieme completo di materiali, non coperto o parzialmente coperto dalle specifiche tecniche di Interoperabilità, incorporati o destinati ad essere incorporati in un sottosistema. Il concetto di componente comprende i beni materiali e quelli immateriali, quali il software;
r) omologazione: processo in base al quale si certifica che il prototipo di componente è conforme ai requisiti di omologazione relativi alla sicurezza ad esso applicabili;
s) sottosistemi: il risultato della divisione del sistema ferroviario transeuropeo come indicato nelle direttive 96/48/CE e 2001/16/CE e successive modificazioni; i sottosistemi sono di natura strutturale o funzionale;
t) investigatore incaricato: una persona, appartenente o incaricata dall'organismo investigativo, preposta all'organizzazione, allo svolgimento e al controllo di un'indagine;
u) incidente: evento improvviso indesiderato e non intenzionale o specifica catena di siffatti eventi aventi conseguenze dannose; gli incidenti si dividono nelle seguenti categorie: collisioni, deragliamenti, incidenti ai passaggi a livello, incidenti a persone causati da materiale rotabile in movimento, incendi e altro;
v) incidente grave: qualsiasi collisione ferroviaria o deragliamento di treni che causa la morte di almeno una persona o il ferimento grave di cinque o più persone o seri danni al materiale rotabile, all'infrastruttura o all'ambiente e qualsiasi altro incidente analogo avente un evidente impatto sulla regolamentazione della sicurezza ferroviaria o sulla gestione della stessa; seri danni: i danni il cui costo totale può essere stimato immediatamente dall'organismo investigativo in almeno 2 milioni di euro;
w) inconveniente: qualsiasi evento diverso da un incidente o da un incidente grave, associato alla circolazione dei treni e avente un'incidenza, anche potenziale, sulla sicurezza dell'esercizio;
x) indagine: una procedura finalizzata alla prevenzione di incidenti ed inconvenienti che comprende la raccolta e l'analisi di informazioni, la formulazione di conclusioni, tra cui la determinazione delle cause e, se del caso, la formulazione di raccomandazioni in materia di sicurezza;
y) cause: ogni azione, omissione, evento o condizione o una combinazione di questi elementi, il cui risultato sia un incidente o un inconveniente;
z) agenzia ferroviaria europea (European Union Agency for Railways – EUAR già ERA): agenzia comunitaria per la sicurezza e l'interoperabilità ferroviarie;
aa) ente appaltante: ogni soggetto, responsabile della realizzazione di un sottosistema, tenuto al rilascio della dichiarazione di verifica CE di cui all'allegato V delle direttive 96/48/CE e 2001/16/CE e successive modificazioni previo espletamento della relativa procedura effettuata dall'organismo notificato al quale la stessa è stata aggiudicata o, comunque, affidata dal predetto soggetto, ai sensi dell'articolo 13 delle direttive 96/48/CE e 2001/16/CE.

(AMIS)	Ammissione Materiale Rotabile In Servizio
(IF)	Impresa Ferroviaria
(GI)	Gestore dell'Infrastruttura
(AV)	Alta Velocità
(FV)	Fabbricato Viaggiatori
(PdC)	Personale di Condotta
(s.m.t.)	senso marcia treno
(DCCM)	Dirigenza Centrale di Circolazione e Movimento
(PdB)	Personale di Bordo
(PdR)	Personale di Ristorazione
(IMC)	Impianto di Manutenzione Corrente
(ANSF)	Agenzia Nazionale per la Sicurezza delle Ferrovie
(OF)	Operatori Ferroviari
(RTB)	Rilevamento di Temperatura delle Boccole
(RTF)	Rilevamento di Temperatura dei Freni
(DTP)	Direzione Territoriale Produzione
(PA)	Protezione Aziendale
(MIT)	Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
(DiGIFeMa)	Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie e Marittime
(D.Lvo)	Decreto Legislativo
(CTU)	Consulenza Tecnica d'Ufficio
(ETR)	Elettrotreno
(RIN)	Regulation Identification Number
(ES)	EuroStar
(CE)	European Commision
(ERTMS)	European Rail Traffic Management System
(SCMT)	Sistema Controllo Marcia Treno
(ACEI)	Apparato Centrale Elettrico a pulsanti di Itinerario
(DCM)	Direzione Compartimentale di Movimento
(CEI)	International Electrotechnical Commission
(EN)	European Normative
(SIL)	Safety Integrity Level
(THR)	Tolerable Hazard Rate
(USTIF)	Ufficio Speciale per i Trasporti ad Impianti Fissi
(VIS)	Verifica Ispettiva Generale e Riordino Cassa
(VT)	Verifica di Turno
(RO)	Revisione Completa d'Officina
(PM)	Programma Manutentivo
(RG)	Revisione Generale
(BaCC)	Blocco a Correnti Codificate

Premessa

La presente Relazione di Indagine è redatta dalla Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie e Marittime (DiGIFeMa) del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (MIT) nell'osservanza del D.Lvo n. 162/2007, con l'obiettivo di individuare le cause tecniche, che hanno generato incidenti ed inconvenienti, e formulare specifiche raccomandazioni, finalizzate al miglioramento continuo della sicurezza per il trasporto ferroviario.

L'indagine della DiGIFeMa è condotta in modo indipendente dall'inchiesta dell'Autorità Giudiziaria e la **presente relazione finale non può essere utilizzata per attribuire colpe e responsabilità civili o penali** relative all'evento analizzato.

1. Sintesi

1.1. Breve descrizione dell'evento

In data 9 novembre 2017 il treno ES8510 della Impresa Ferroviaria (IF) Trenitalia S.p.A., adibito all'esercizio di trasporto passeggeri, con partenza prevista dalla Stazione "Roma Termini" alle ore 09:45 ed arrivo atteso in Stazione "Bergamo" alle ore 14:20, è stato effettuato con materiale rotabile ETR600.004 "Frecciargento" (Fig. 1), su itinerario comprendente la tratta ad Alta Velocità "AV DD Roma-Firenze", esercita dal Gestore dell'Infrastruttura (GI) Rete Ferroviaria Italiana S.p.A.

Fig. 1 – Un esemplare del materiale rotabile ETR600
(Fonte: [5])

Alle ore 11:12 il treno si è arrestato al Km 5+250 circa sull'itinerario di transito "Binario II" (pari), in prossimità del Fabbricato Viaggiatori (FV) della Stazione "Firenze Castello". Il Personale di Condotta (PdC) ha eseguito l'ispezione visiva dell'intero materiale rotabile, accertando lo svio di entrambi gli assili (n. 23 motorizzato e n. 24 portante) del carrello posteriore della vettura n. 6, penultima in composizione (senso marcia treno - s.m.t.). Il PdC ha quindi segnalato l'evento di svio alla Dirigenza Centrale di Circolazione e Movimento (DCCM) del GI che ha provveduto a sospendere la circolazione sul "Binario II" (pari) e sull'attiguo "Binario I" (dispari), entrambi di transito ed interni alla Stazione "Firenze Castello".

Nessun danno è stato segnalato ai passeggeri, al Personale di Bordo (PdB), al PdC ed al Personale di Ristorazione (PdR).

Danni sono stati evidenziati alla sede dell'infrastruttura ferroviaria (binario) ed agli apparecchi di modifica degli itinerari (deviatoi ed intersezioni) interessati dal transito degli assili sviati.

I danni al materiale rotabile sono stati individuati sul carrello sviato, sugli elementi strutturali di collegamento con il corpo della vettura n.6 e tra questa vettura e la vettura n. 7, ultima in composizione al treno. Le vetture non interessate dallo svio sono rimaste in corretta posizione operativa sul binario. La vettura n. 6, decentrata rispetto alla linea d'asse del "Binario II", a causa della posizione degli assili sviati, non ha impegnato la sagoma limite del "Binario I". La circolazione su tale binario è stata ripristinata nella mattinata del 10 novembre 2017. Il treno, posto in custodia

giudiziaria dalla Magistratura di Firenze, è stato trasferito presso il deposito della IF, sito nell'Impianto di Manutenzione Corrente "IMC Firenze Osmannoro" il giorno 11 novembre 2017. La circolazione sul "Binario II" è stata riattivata nel pomeriggio del 12 novembre 2017.

1.2. Cause dirette, indirette, osservazioni stabilite dall'indagine e raccomandazioni principali

L'indagine della DiGIFeMa è stata svolta effettuando ispezioni sull'infrastruttura, sul materiale rotabile e mediante confronti tecnico-normativi con i referenti del GI, della IF, di un Costruttore di dispositivi ferroviari e di ANSF. L'individuazione delle cause dirette ed indirette e l'esposizione di osservazioni aggiuntive hanno condotto alla elaborazione di cinque raccomandazioni di sicurezza.

La causa diretta dello svio è la frattura del fusello e la sua conseguente separazione dal corpo dell'assile n. 23 (s.m.t.), identificativo US9580812, appartenente al secondo carrello installato sulla vettura n. 6. Si ipotizza che l'accoppiamento (Fig. 2) tra fusello destro dell'assile e boccola (capsula con cuscinetti a rotolamento di rulli tronco-conici) sia divenuto cinematicamente non conforme durante il moto del treno. La condizione di avaria strutturale, preesistente alla partenza del treno dalla Stazione "Roma-Termini", si è amplificata (come dimostra l'innalzamento continuo della temperatura rilevato dalle misure degli apparati RTB di terra) durante il percorso sulla linea "AV DD Roma Firenze". Tale avaria ha generato elevata fatica termo-meccanica sulla boccola, conducendone a distruzione i componenti e portando presumibilmente in contatto il fusello con la struttura di supporto alla sospensione primaria. Il contatto dei due elementi avrebbe determinato, per azione d'intaglio, la frattura sul fusello ed il conseguente distacco dall'assile.

Il livello di deterioramento della boccola (elementi costruttivi reperiti in quasi totale disintegrazione) ha reso irrealizzabile qualsiasi procedura di verifica dell'integrità strutturale e di valutazione dello stato funzionale ed operativo del dispositivo stesso antecedenti all'evento.

La prima causa indiretta dell'evento è il non conforme assemblaggio del dispositivo boccola con disco di bloccaggio sul fusello destro (s.m.t.) dell'assile n. 23.

Dalle informazioni poste a disposizione della DiGIFeMa da parte della IF, si evince che precedentemente all'evento incidentale, l'assile n. 23 in composizione all'ES8510 è stato sottoposto a verifica strutturale non distruttiva (ispezione con sonda ad ultrasuoni). Le evidenze ispettive sul materiale rotabile inducono ad ipotizzare un non conforme assemblaggio tra fusello e disco di bloccaggio. Al distacco del disco di bloccaggio dal fusello è seguita una fase di fatica meccanica generata dall'irregolare movimento dell'assile che ha quindi condotto alla distruzione della boccola. Gli urti ripetuti contro la struttura portante della sospensione primaria hanno provocato la frattura ed il distacco del fusello e la conseguente separazione degli elementi meccanici ad esso collegati, generando lo svio dell'assile.

La seconda causa indiretta è l'assenza di segnalamento al PdC di probabile avaria dello stato funzionale ed operativo termo-meccanico dei dispositivi boccola. Gli ETR600 possiedono dispositivi e funzionalità tecniche adatte alla determinazione di condizioni di avaria termica delle boccole sulla base di valori istantanei di temperatura, confrontabili con i limiti di sicurezza determinati dal Costruttore del dispositivo ed imposti dalla Regolamentazione emanata dal GI.

La diagnostica del treno ha registrato numerose avarie al sistema termico ed elettrico di misura della temperatura della boccola dell'assile n. 23, preesistenti all'inizio del servizio di trasporto passeggeri svolto il giorno 09 novembre 2017. Nella particolare circostanza si è tuttavia rilevata l'assenza del segnalamento delle suddette avarie termiche in cabina di guida.

Ne consegue che è possibile considerare i due apparati di bordo, il primo dedicato al segnalamento in cabina delle avarie termo-meccaniche delle boccole ed il secondo destinato alla diagnostica, come disgiunti funzionalmente.

Alle cause dirette ed indirette possono essere correlate tre osservazioni aggiuntive su aspetti tecnici, che non hanno influito sulla genesi dell'evento di svio ma possono comunque rivestire rilevanza nel raggiungimento degli obiettivi primari della sicurezza di marcia.

La prima osservazione riguarda l'elaborazione dei dati e l'attivazione degli allarmi da parte dall'apparato di Rilevamento della Temperatura delle Boccole (RTB), installato sulla sede ferroviaria della linea "AV DD Roma-Firenze".

Di fatto, si è riscontrata la misura di temperatura di una boccola (125 °C) non conforme e fuori dei limiti di normativa: il sistema di gestione di elaborazione dei dati dell'apparato RTB di terra ha attribuito a tale valore una irregolarità nel processo geometrico di acquisizione, sostituendo il valore misurato con un valore (19°C) derivato da calcoli statistici e di confronto con le temperature delle altre boccole del carrello. Tale singolarità, emersa dalla analisi delle registrazioni degli eventi osservati dall'RTB di terra, installato sulla progressiva 224+022 della linea "AV DD Roma-Firenze", è stata oggetto di richiesta di chiarimenti al GI e al Costruttore.

La seconda osservazione evidenzia una non conformità nei requisiti normativi del profilo geometrico trasversale delle ruote.

Tale osservazione discende dai sopralluoghi autorizzati dalla Magistratura di Firenze al materiale rotabile (treno e carrello sviato) in condizione di fermo per sequestro giudiziario. La verifica dei requisiti normativi del profilo geometrico trasversale delle ruote ha evidenziato una non conformità nelle dimensioni di due bordini, risultati di altezza leggermente inferiore al limite regolamentare.

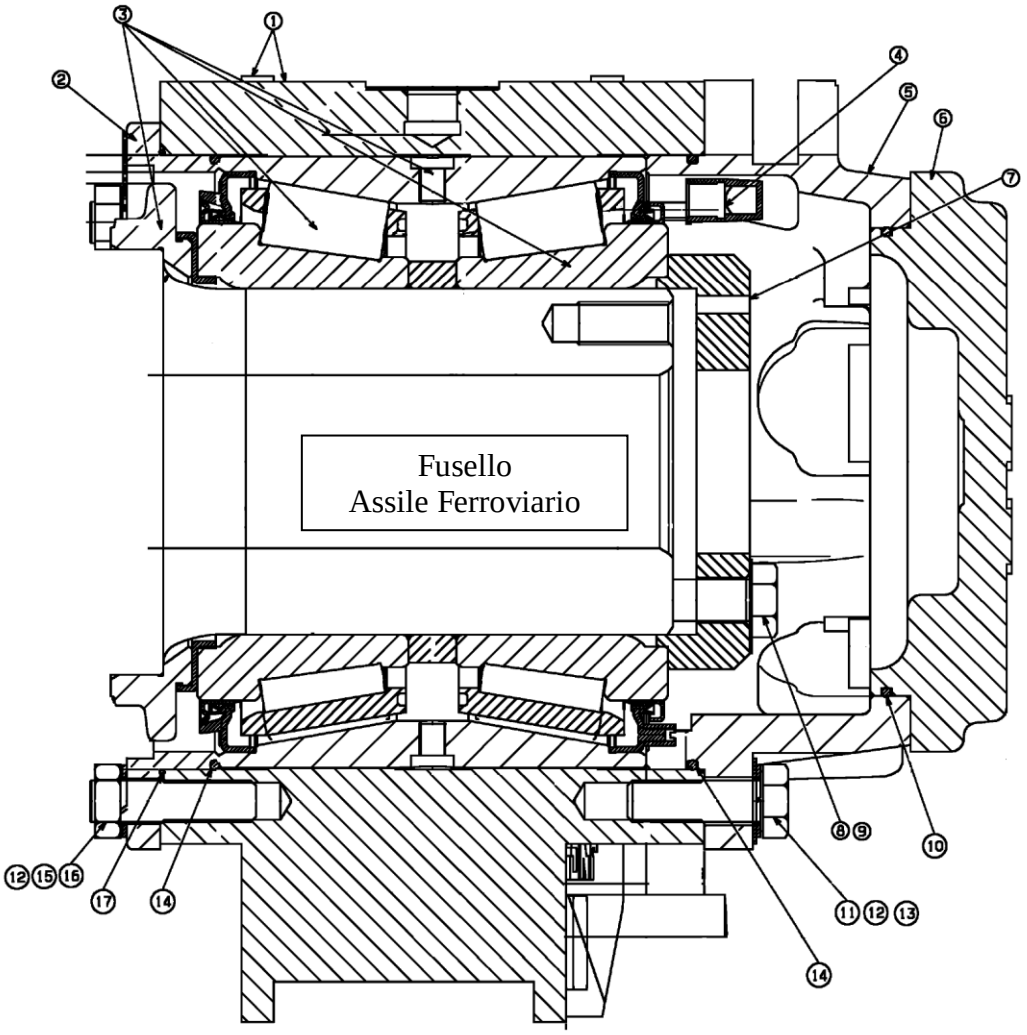
La terza osservazione discende dalle indicazioni fornite nella Decisione CE n.735 del 2002, punto 4.2.11 [18], ora abrogata e sostituita dalla Direttiva CE n.232 del 2008, sul monitoraggio a bordo treno degli eventi termici relativi al dispositivo boccola.

La Direttiva CE del 2008, ripresa parzialmente nella STI "Loc&Pass" 2014 [29], in riferimento ai treni di classe 1 (treni con velocità massima uguale o superiore a 250 km/h) non suggerisce valori termici critici delle boccole correlabili a livelli di allarme. Tale indirizzo viene tuttavia fornito per i treni di classe 2 (treni con velocità massima almeno di 190 km/h ma inferiore a 250 km/h). Nel rispetto delle indicazioni di interoperabilità, per i treni appartenenti alla classe 1, la suddetta direttiva rinvia la gestione del controllo termico delle boccole ad accordi tra gli OF (GI ed IF), pur sempre imponendo la presenza a bordo di dispositivi di sorveglianza termica delle boccole. Il monitoraggio delle condizioni di allarme termico delle boccole a bordo dell'ETR600 (che per la definizione della direttiva appartiene alla classe 1) avviene per confronto tra dati di misura, istantanei e continui nella loro modalità di acquisizione, e limiti imposti dal Costruttore dei dispositivi e condivisi con il GI.

Tuttavia l'indicazione contenuta nella Direttiva 735/2002, benché abrogata, propone comunque un "modus operandi" per incrementare il livello di sicurezza della marcia del veicolo che non appare evidente nella direttiva del 2008. Infatti il testo descrive la necessità di acquisire dati termici sulle boccole, al fine di individuare potenziali pericolose avarie termiche, attraverso un dispositivo "*in grado di rilevare un aumento di temperatura nel tempo, in modo da poter individuare aumenti abnormi di temperatura in una boccola. Esso deve essere in grado di trasmettere messaggi di avviso e di allarme in modo affidabile i quali, se necessario son graduati al fine di indurre una riduzione di velocità o un arresto del treno, a seconda dell'entità dell'aumento di temperatura*". In questo modo il monitoraggio delle condizioni termiche delle boccole non avverrebbe esclusivamente

discriminando singoli e istantanei valori di temperatura: a tale attività si unirebbe un controllo sulla velocità di evoluzione del fenomeno di riscaldamento, ponendo le basi per un processo di monitoraggio della sicurezza di marcia di tipo "*predittivo*".

La fattibilità di porre in essere un analogo processo di monitoraggio della "storia termica" delle boccole potrebbe essere altresì indirizzato alle modalità di utilizzo degli RTB di terra, gestiti dal GI. L'attivazione dell'allarme termico non avverrebbe esclusivamente sulla base delle temperature rilevate dai singoli RTB ma anche attraverso un controllo sul gradiente termico determinato durante l'avanzamento del veicolo sul proprio percorso.



1. Corpo boccola
2. Coperchio posteriore
3. Cuscinetto
4. Compact sensor
5. Coperchio anteriore intermedio
6. Coperchio anteriore
7. Disco di bloccaggio
8. Rosetta di sicurezza
9. Vite M16x60
10. O-ring
11. Rosetta piana
12. Rondella
13. Vite M16x50
14. O-ring
15. Prigioniero M16x35
16. Dado esagonale M16
17. O-ring 215x2

Fig. 2 – Esempio di accoppiamento strutturale del fusello dell'assile con la boccola ed il disco di bloccaggio (Fonte: Elaborazione DiGIFeMa su schema presente in [11])

Le cause individuate dall'attività di indagine suggeriscono le seguenti **raccomandazioni**:

Raccomandazione n.1

Si raccomanda all'Agenzia Nazionale per la Sicurezza delle Ferrovie di adoperarsi affinché le IF sensibilizzino il personale tecnico sull'importanza del regolare svolgimento della manutenzione dei dispositivi relativi al rotolamento degli assili, ponendo particolare attenzione all'assemblaggio degli elementi strutturali del complesso boccola e al controllo delle corrette geometrie dei profili ruota.

Raccomandazione n.2

Si raccomanda all'Agenzia Nazionale per la Sicurezza delle Ferrovie di adoperarsi presso le IF affinché comprovino, ove prevista, la ridondanza funzionale dei sistemi di sorveglianza termica sui dispositivi meccanici correlati direttamente alle condizioni di sicurezza di marcia del rotabile. Qualora la ridondanza non sia comprovata, i sistemi sono da ritenersi inefficienti e le IF devono individuare e porre in essere le opportune azioni mitigative al fine di garantire equivalenti condizioni di sicurezza di marcia del rotabile.

Raccomandazione n.3

Si raccomanda all'Agenzia Nazionale per la Sicurezza delle Ferrovie di adoperarsi affinché le IF verifichino la fattibilità di prevedere, sui treni equipaggiati con sistemi RTB di bordo, livelli di allarme termico attivabili non solo in base alla elaborazione di valori istantanei di temperatura ma anche mediante valutazione dei relativi gradienti temporali.

Raccomandazione n.4

Si raccomanda all'Agenzia Nazionale per la Sicurezza delle Ferrovie di adoperarsi presso i GI affinché riesaminino, sempre sulla base della Normativa Europea EN 15437-1/2009, le procedure di acquisizione e di elaborazione dei dati termici rilevati dagli apparati RTB di terra, con particolare riferimento al processo di validazione delle misurazioni.

Raccomandazione n.5

Si raccomanda all'Agenzia Nazionale per la Sicurezza delle Ferrovie di adoperarsi affinché i GI verifichino la fattibilità di prevedere, per gli RTB di terra, livelli di allarme termico sulle singole boccole attivabili non solo in base alla elaborazione dei valori di temperatura acquisiti dal singolo RTB ma anche mediante l'analisi del relativo gradiente basato sulle misure rilevate dagli RTB all'avanzare del treno.

2. Fatti in immediata relazione all'evento

2.1. Evento

2.1.1. Descrizione degli eventi e del sito dell'incidente comprese le attività dei servizi di soccorso ed emergenza

Il treno ES8510, alle ore 09:49 ha iniziato l'esercizio, con partenza dalla Stazione "Roma Termini", ed orario previsto di arrivo nella Stazione di "Bergamo" alle ore 14:20. Il vettore ha impegnato l'itinerario "AV DD Roma-Firenze" (Fig. 3) alla velocità massima di 249 km/h, giungendo alle ore 11:02 presso la Stazione "Firenze Campo di Marte", ove ha svolto regolare servizio passeggeri. L'ES8510 alle ore 11:03 ha ripreso il moto, transitando nella Stazione "Firenze Rifredi" alle ore 11:08 circa, alla velocità di circa 60 km/h (Fig. 4).

Fig. 3 – Schema semplificato della Linea AV "Direttissima Roma-Firenze"
(Fonte: Elaborazione DiGIFeMa)

Fig. 4 – Descrizione schematica della sezione della linea "Direttissima RM-FI" tra il "1° Bivio Orte Nord" e le diramazioni sulle direttrici AV per Bologna, Parma, Genova
(Fonte: Estratto [6])

La ricostruzione degli eventi che segue, partendo dall'inizio della fase di svio per terminare con l'arresto del moto del treno, è stata ipotizzata in base alle informazioni fornite a DiGIFeMa dal GI ed dalla IF incluse le registrazioni degli eventi di bordo e di terra.

Alle ore 11:10 il treno approccia il segnale di protezione (numero operativo S122) della Stazione "Firenze Castello" disposto al giallo (Fig. 5A Punto A) posizionato sull'itinerario "Bretella S.M.N. (Scavalco)" alla velocità di circa 23 km/h. A seguire le condizioni di circolazione vengono modificate dalla liberazione dell'itinerario di uscita dalla stazione: il treno raggiunge la velocità di 82 km/h.

Il treno supera, sul "Binario II", il segnale di protezione S122 della Stazione di "Firenze Castello" impegnando:

- il circuito di binario (cdb) n. 122 (Fig. 5A Punto B): ivi è ipotizzabile il completamento della frattura tra assile (n. 23) e fusello, il distacco di questo ultimo e lo svio (la ruota destra sormonta la relativa rotaia posizionandosi all'esterno del binario e la ruota sinistra cade all'interno del binario); la velocità di marcia memorizzata dal DIS è di circa 23 km/h.

- il cdb n. 123 (Fig. 5A Punto C): inizia il danneggiamento del binario; sono evidenti segni di urti ripetuti di un unico assile sulla sede ferroviaria e la perdita di elementi meccanici del dispositivo boccola, della porzione di fusello e della sospensione primaria dell'assile n.23;

- il deviatoio n. 106 (Fig. 5A Punto D): si ha evidenza di una serie di impatti dell'assile sviato contro apparecchi di piazzale; il deviatoio viene attraversato in corretto tracciato e superato "di calcio";

- il deviatoio n. 108a (Fig. 5A Punto E): l'assile sviato continua la marcia fuori sede impattando contro apparecchi di piazzale; il deviatoio viene superato in corretto tracciato e "di calcio";

  il cdb n. 124 ed il deviatoio n. 110 (Fig. 5B Punto F): l'assile sviato impatta contro altri apparecchi di modifica degli itinerari; il superamento dei deviatoi avviene in corretto tracciato e "di punta";

- la comunicazione n. 1001 (Fig. 5B Punto G): il raddoppio delle tracce sulla sede ferroviaria indicano lo svio anche del secondo assile del carrello (assile n. 24); viene evidenziata l'inversione geometrica della posizione di svio degli assili: le ruote sul lato sinistro del carrello sono condotte all'esterno del binario e quelle sul lato destro (s.m.t) cadono all'interno; allo svio del carrello segue l'attivazione del freno a molla con segnalazione di avaria al PdC;

- il cdb n. 125 ed il deviatoio n. 114b (Fig. 5B Punto H): i due assili sviati impattano contro il deviatoio, superandolo di punta;

- il cdb n 126 (Fig. 5C Punto J): alle ore 11:11 l'attivazione del freno a molla e la segnalazione di avaria inducono il PdC ad impartire la frenatura di arresto del treno, ad iniziare da una velocità di 78 km/h;

- Il treno arresta definitivamente il moto occupando con le prime vetture il cdb n.127 (Fig. 5C Punto K), in corrispondenza della progressiva Km 5 + 250 circa, alle ore 11:12.

Nella immediatezza dell'evento, sulla tratta interessata dallo svio (Fig. 6) sono intervenuti gli agenti tecnici della IF, i responsabili della circolazione della Direzione Territoriale Produzione (DTP) di Firenze e i rappresentanti della Protezione Aziendale (PA) del GI, i funzionari ANSF, l'Autorità Giudiziaria ed il giorno 10 novembre i funzionari della DiGIFeMa.

I servizi di emergenza sono stati attivati in relazione alla salvaguardia della circolazione da parte del GI, da parte della IF per l'assistenza ed il trasbordo su materiale di riserva dei viaggiatori presenti sull'ES8510. Non sono state richieste attività di soccorso da parte del Servizio 118 e dei Vigili del Fuoco.

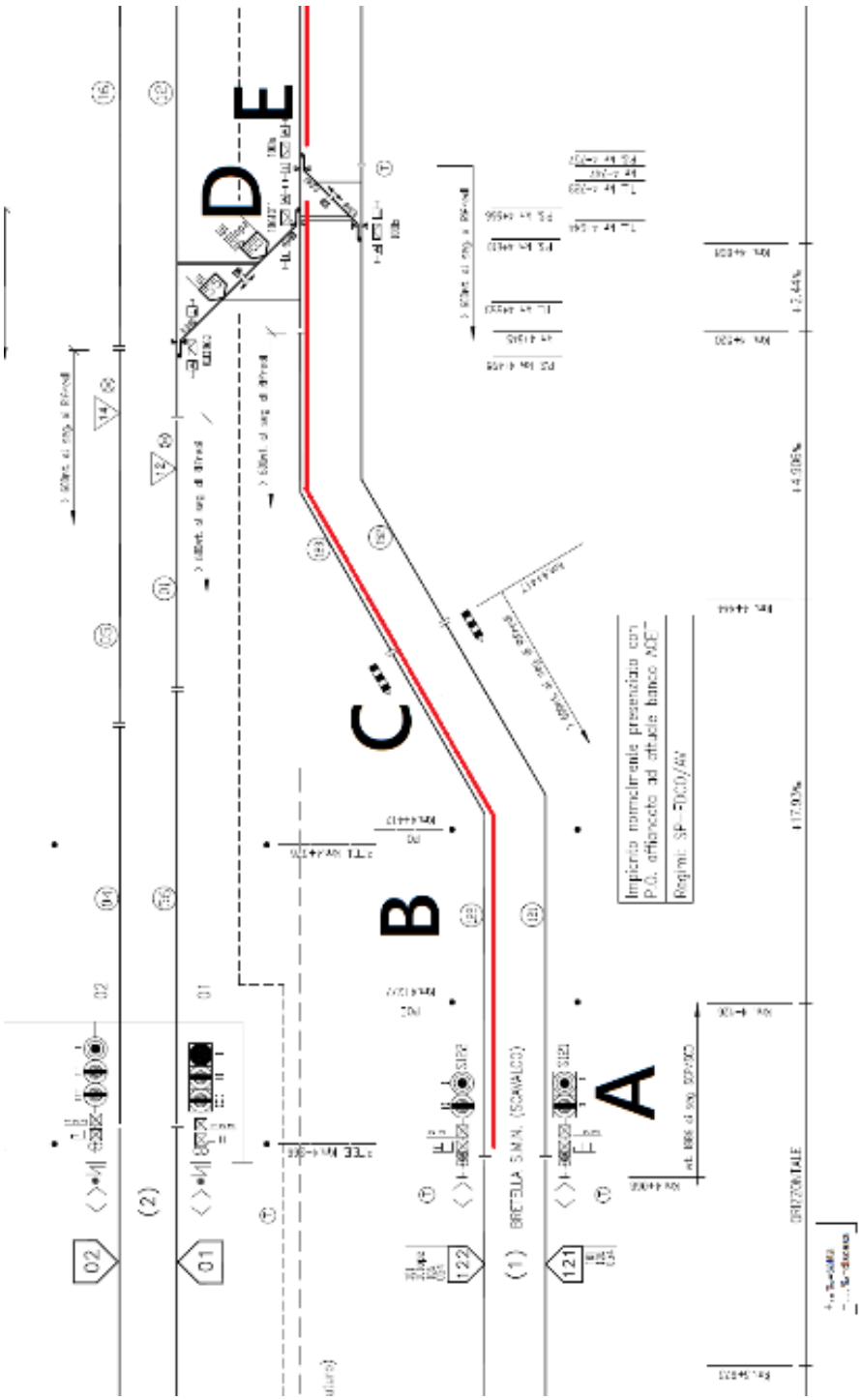


Fig. 5A – Transito del treno ES8510 nella Stazione "Firenze Castello":
A Segnale di protezione Stazione "Firenze Castello",
B Distacco del fusello dall'assile n. 23 e svio,
C inizio danneggiamento del binario: segni di urti ripetuti di un unico assile e perdita di elementi meccanici della sospensione primaria dell'assile n.23,
D impatto dell'assile n.23 sviato contro apparecchi di piazzale (deviatoio n.106 transitato di calcio),
E impatto dell'assile sviato contro apparecchi di piazzale (deviatoio n.108a transitato di calcio)
(Fonte: Elaborazione DiGIFeMa su Estratto del Piano Schematico IS Stazione "Firenze Castello, Tavola n. PS01, Direzione Territoriale Produzione di Firenze, GI)

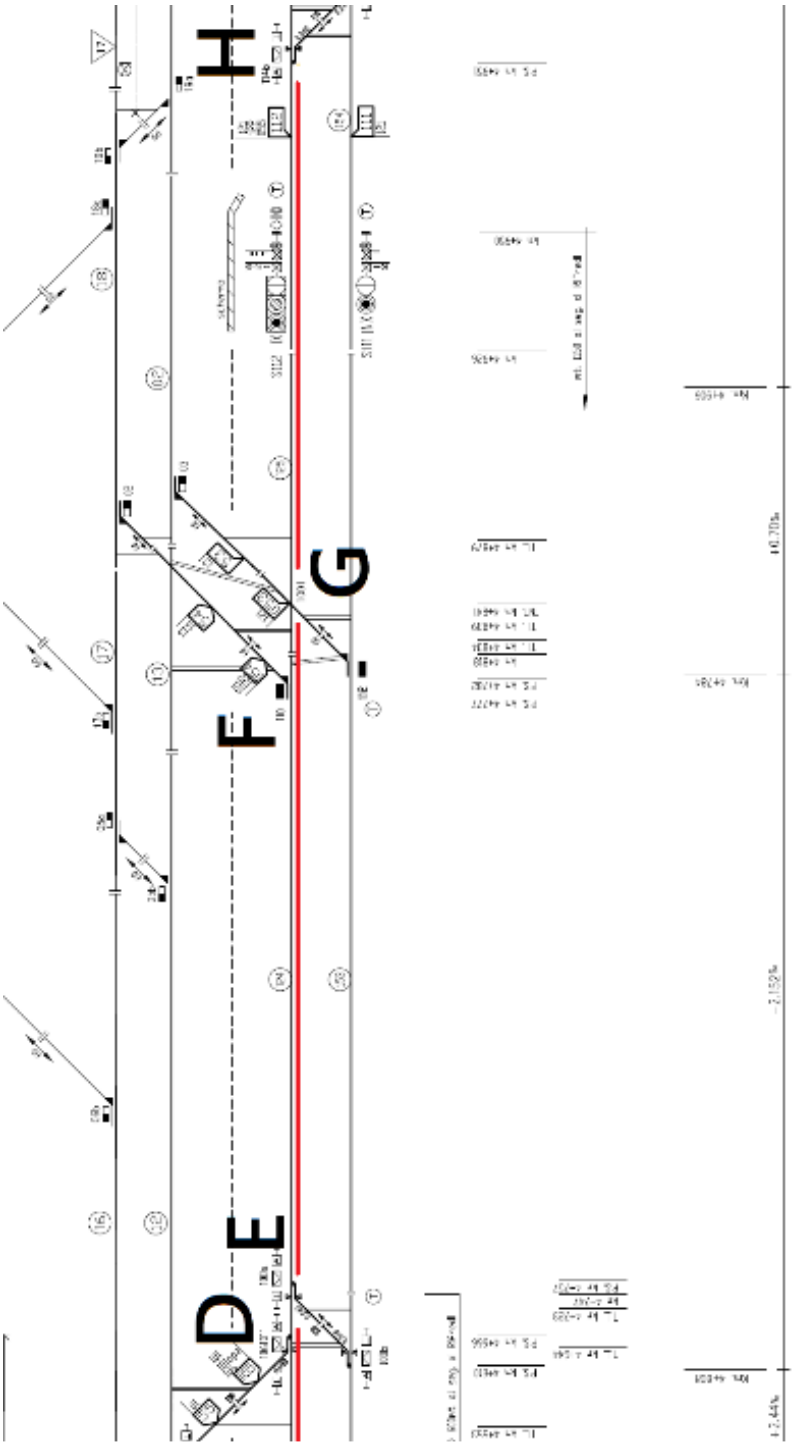


Fig. 5B – Transito del treno ES8510 nella Stazione "Firenze Castello":
F impatto dell'assile sviato contro apparecchi di piazzale (deviatoio n.110 transitato di punta),
G impatto dell'assile sviato contro apparecchi di piazzale (Comunicazione 1001) e probabile inversione della condizione di svio: la ruota sinistra svia all'esterno del binario e la ruota destra cade all'interno del binario; inizio delle tracce di urti di due assili: svio del carrello ed attivazione del freno a molla. Segnalazione al PdC,
H impatto dell'assile sviato contro apparecchi di piazzale (deviatoio n.114b transitato di punta)
(Fonte: Elaborazione DiGIFeMa su Estratto del Piano Schematico IS Stazione "Firenze Castello, Tavola n. PS01, Direzione Territoriale Produzione di Firenze, GI)

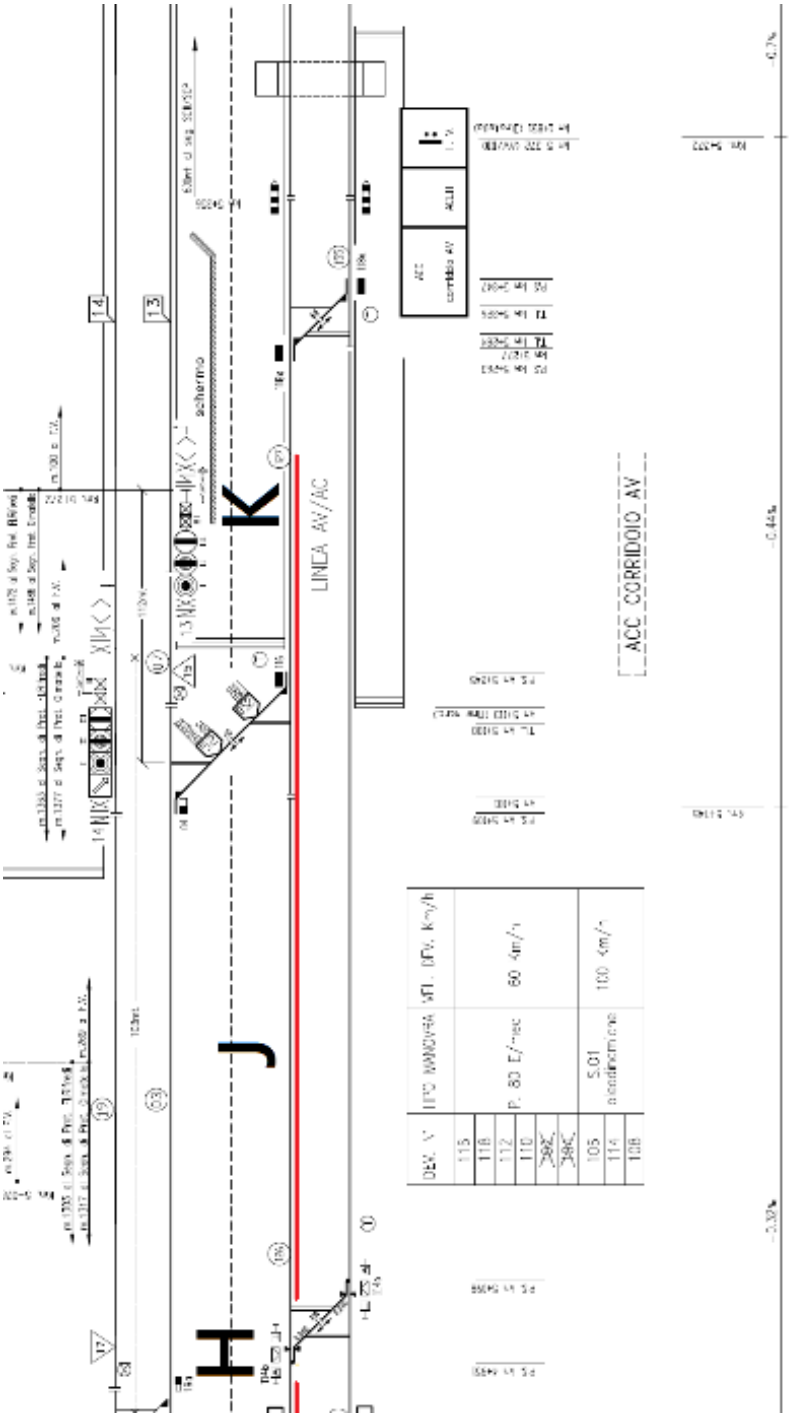


Fig. 5C – Transito del treno ES8510 nella Stazione "Firenze Castello":
J inizio arresto del treno sul cdb n.126,
K Arresto definitivo del treno (vettura di testa sul cdb 127)
(Fonte: Elaborazione DiGIFeMa su Estratto del Piano Schematico IS Stazione "Firenze Castello, Tavola n. PS01, Direzione Territoriale Produzione di Firenze, GI)

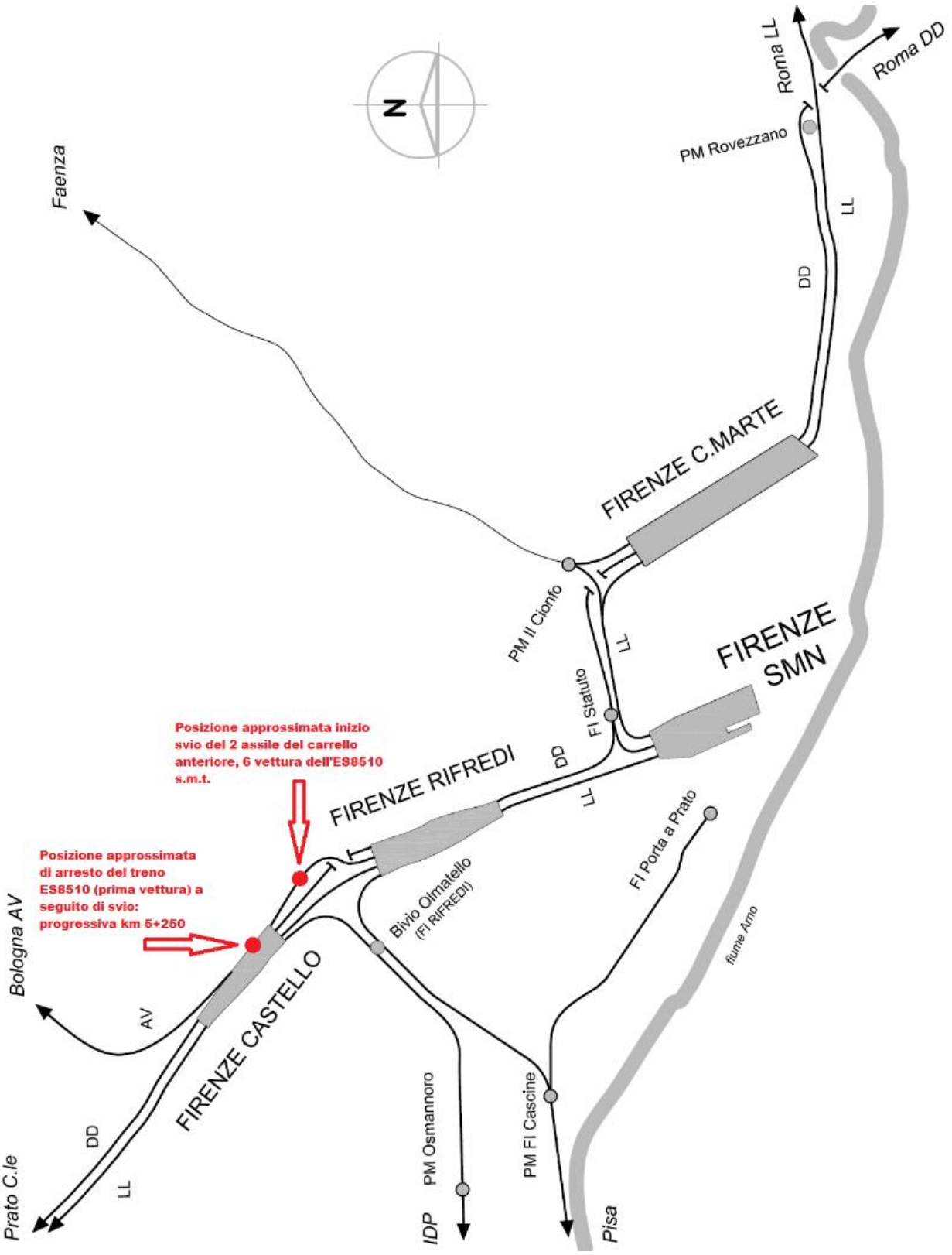


Fig. 6 – Particolare delle tracce ferroviarie del nodo ferroviario di Firenze – tratta "Firenze Rifredi - Firenze Castello", convergenti sulla Stazione "Firenze Castello" e posizione del materiale rotabile arrestato per frenatura di emergenza a seguito di svio
(Fonte: Elaborazione DiGIFeMa da estratto [6])

2.1.2. Decisione di aprire l'indagine, composizione della squadra investigativa e svolgimento della indagine stessa

DiGIFeMa ha ritenuto necessario appurare le cause che hanno generato l'evento di svio, approfondendo gli aspetti tecnici e normativi correlati. L'incarico di investigazione è stato ufficializzato con Decreto Direttoriale, da eseguire secondo le modalità indicate nel D.Lvo n.162/2007 [4].

L'indagine investigativa ha richiesto la predisposizione di mezzi e prove tecniche non distruttive, a cura e spese della IF e del GI.

Contestualmente, la Magistratura del Tribunale di Firenze ha avviato una propria inchiesta nominando una Consulenza Tecnica d'Ufficio (CTU) ed imponendo il sequestro del treno.

L'attività di indagine sviluppata dai funzionari DiGIFeMa in data 10 novembre si è concretizzata nella ispezione della infrastruttura, documentata da rilievi fotografici (Fig. 7A, Fig. 7B, Fig. 7C), ed ha evidenziato la progressiva (km 4+102) di inizio dello svio dell'assile n. 23 s.m.t. A tale riguardo sono stati rilevati i tracce, sulla sede dell'infrastruttura, del processo di "sormonto" della ruota destra sulla relativa rotaia e della conseguente caduta nello spazio dell'interbinario ed i contestuali segni di discesa della ruota sinistra all'interno del binario. L'attività di ispezione si è dedicata anche alla verifica della condizione del materiale rotabile, arrestato nei pressi della Stazione di "Firenze Castello" e all'osservazione di elementi costruttivi appartenenti agli assili sviati (Fig. 8A, Fig. 8B, Fig. 8C).

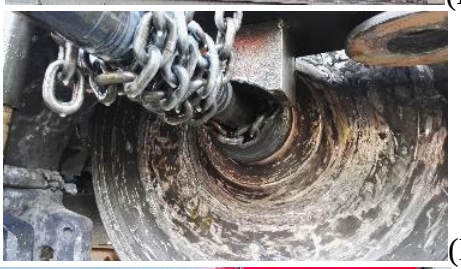
Fig. 7A – Ispezione in linea e determinazione della progressiva di inizio del processo di svio, in prossimità del segnale di protezione della Stazione di "Firenze Castello": segnale di protezione della Stazione di "Firenze Castello" s.m.t.
(Fonte: DiGIFeMa)

Fig. 7B – Ispezione in linea e determinazione della progressiva di inizio del processo di svio, in prossimità del segnale di protezione della Stazione di "Firenze Castello": ispezione per determinazione progressiva di inizio svio (vista inversa s.m.t.); tracce di caduta all'esterno del binario della ruota destra dell'assile n. 23 s.m.t
(Fonte: DiGIFeMa)

Fig. 7C – Ispezione in linea e determinazione della progressiva di inizio del processo di svio, in prossimità del segnale di protezione della Stazione di "Firenze Castello": tracce di inizio svio sull'interno del binario segnate dal transito della ruota sinistra dell'assile n. 23 s.m.t.
(Fonte: DiGIFeMa)

Fig. 8A – Ispezione in linea e verifica della condizione strutturale e funzionale del materiale rotabile: progressiva di arresto del treno ES8510 nei pressi della Stazione di "Firenze Castello" s.m.t.
(Fonte: DiGIFeMa)

(B1)


(B2)

(B3)

Fig. 8B – Ispezione in linea e verifica della condizione strutturale e funzionale del materiale rotabile: (B1) carrello danneggiato dallo svio (lato destro s.m.t.), (B2) assenza degli elementi della sospensione primaria della prima sala e assenza totale del dispositivo boccola, sostituito per effettuare l'operazione di rimozione del materiale rotabile, mediante un cilindro in acciaio saldato e trattenuto in posizione con una catena ad anelli in acciaio), (B3) carrello danneggiato dallo svio (lato destro s.m.t.)
(Fonte: DiGIFeMa)

(C1)

(C2)

Fig. 8C – Ispezione in linea e verifica della condizione strutturale e funzionale del materiale rotabile: elementi rinvenuti sulla sede ferroviaria nei pressi della progressiva di svio: (C1) struttura di supporto alla sospensione primaria, (C2) porzione di fusello divelto dall'assile
(Fonte: DiGIFeMa)

L'attività investigativa ha necessitato dell'inoltro di richieste di informazioni alla IF, in merito al materiale rotabile oggetto di svio, al GI, riguardo alle caratteristiche della linea e della stazione di "Firenze Castello" ed, in funzione dell'Accordo stipulato tra la Procura della Repubblica (presso il Tribunale di Firenze) e DiGIFeMa (MIT), alla Magistratura di Firenze ed alla Polizia Ferroviaria, per ottenere l'autorizzazione ad ispezionare il treno, in condizione di sequestro giudiziario. Lo scopo di questa ultima attività è stato di identificare le possibili cause dell'evento di svio analizzando visivamente i reperti degli elementi meccanici del carrello (assili, elementi della trasmissione della trazione, elementi dedicati alla frenatura) e della vettura n. 6 in composizione all'ES8510. L'attività ispettiva non ha svolto test distruttivi od invasivi sui componenti del materiale rotabile.

Una prima ispezione, autorizzata dalla Procura della Repubblica di Firenze, è avvenuta in data 20 dicembre 2017. L'attività di indagine si è svolta in Firenze, nell'impianto "IMC Firenze Osmannoro" alla presenza della Polizia Ferroviaria, acquisendo documentazione fotografica sul carrello incidentato ed in particolare sullo stato strutturale degli elementi collegati agli assili sviati (Fig. 9A, Fig. 9B, Fig. 9C, Fig. 9D), degli elementi della trasmissione della trazione, del sistema di frenatura e del sistema di sospensione presenti nel sotto-cassa della vettura n. 6 (Fig. 10A, Fig. 10B, Fig. 10C, Fig. 10D) e sullo stato di manutenzione delle boccole di un carrello, diverso da quello oggetto di svio (Fig. 11A, Fig. 11B, Fig. 11C, Fig. 11D).

L'attività ispettiva ha richiesto anche la misura della geometria dei profili ruota degli assili sviati e di una coppia di assili relativi ad un carrello non oggetto di svio: tale indagine ha evidenziato non conformità nella dimensione ridotta in altezza, inferiore al limite (28 mm) definito dalla Normativa Europea EN13715, di due bordini ruota. Questa non conformità non è da considerarsi quale causa diretta o indiretta dell'evento (Fig. 12A, Fig. 12B, Fig. 12C, Fig. 12D e Fig. 13A, Fig. 13B, Fig. 13C, Fig. 13D), ma rappresenta comunque un aspetto da evidenziare, poiché inerente alla sicurezza di marcia del materiale rotabile.

Fig. 9A – Attività di indagine e di ispezione sul materiale rotabile incidentato: stato strutturale degli elementi del rodiggio (assili, boccole, sospensioni, telaio) del secondo carrello della carrozza n. 6 appartenente all'ETR600.004, vista laterale del carrello sviato ed assile, a destra, mancante di boccola/sospensione primaria e bielle di collegamento con il telaio del carrello
(Fonte: DiGIFeMa)

Fig. 9B – Attività di indagine e di ispezione sul materiale rotabile incidentato: stato strutturale degli elementi del rodiggio (assili, boccole, sospensioni, telaio) del secondo carrello della carrozza n. 6 appartenente all'ETR600.004; vista laterale del carrello sviato completo di boccola/sospensione primaria e bielle di collegamento con il telaio del carrello, lato sinistro s.m.t.
(Fonte: DiGIFeMa)

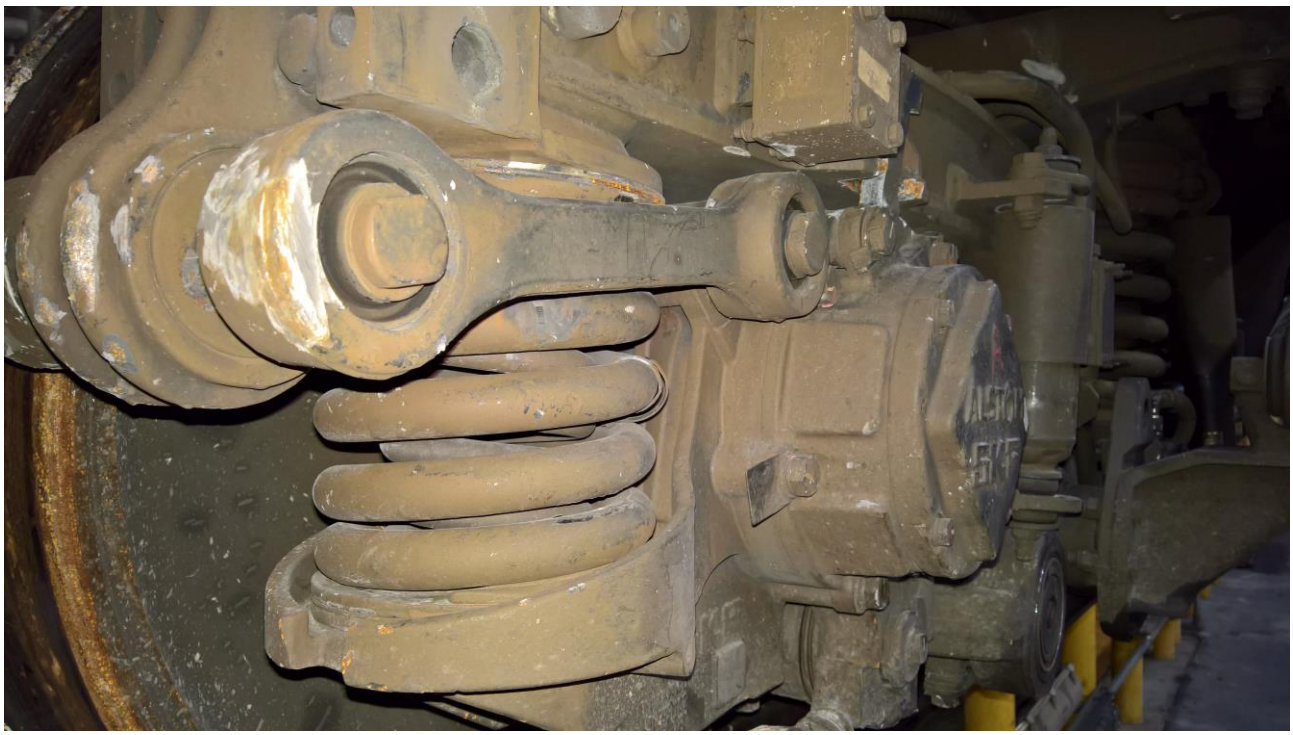


Fig. 9C – Attività di indagine e di ispezione sul materiale rotabile incidentato: stato strutturale degli elementi del rodiggio (assili, boccole, sospensioni, telaio) del secondo carrello della carrozza n. 6 appartenente all'ETR600.004; particolare della boccola/telaio di supporto alla sospensione primaria del carrello sviato
(Fonte: DiGIFeMa)

Fig. 9D – Attività di indagine e di ispezione sul materiale rotabile incidentato: stato strutturale degli elementi del rodiggio (assili, boccole, sospensioni, telaio) del secondo carrello della carrozza n. 6 appartenente all'ETR600.004; particolare dei dispositivi elastico/smorzanti (ammortizzatori antiserpeggio, sospensione secondaria) di collegamento carrello-cassa
(Fonte: DiGIFeMa)

Fig. 10A – Attività di indagine e di ispezione sul materiale rotabile incidentato: stato strutturale degli elementi presenti nel sotto-cassa (complessivo della trasmissione della trazione, complessivo degli organi di frenatura) della carrozza n. 6 appartenente all'ETR600.004, stato di conservazione dei pannelli di copertura del sotto-cassa (Fonte: DiGIFeMa)

Fig. 10B – Attività di indagine e di ispezione sul materiale rotabile incidentato: stato strutturale degli elementi presenti nel sotto-cassa (complessivo della trasmissione della trazione, complessivo degli organi di frenatura) della carrozza n. 6 appartenente all'ETR600.004; stato di conservazione strutturale della barra antirollio (Fonte: DiGIFeMa)

Fig. 10C – Attività di indagine e di ispezione sul materiale rotabile incidentato: stato del complessivo della trasmissione della trazione, degli organi di frenatura della carrozza n. 6 appartenente all'ETR600.004; particolare del complessivo di collegamento dell'albero di trazione mediante crociera a giunto cardanico e sutuchi in innesto sul motore
(Fonte: DiGIFeMa)

Fig. 10D – Attività di indagine e di ispezione sul materiale rotabile incidentato: stato strutturale degli elementi presenti nel sotto-cassa (complessivo della trasmissione della trazione, complessivo degli organi di frenatura) della carrozza n. 6 appartenente all'ETR600.004; particolare del complessivo di collegamento dell'albero di trazione mediante crociera a giunto cardanico e sutuchi in innesto sul riduttore e stato dei dischi freno
(Fonte: DiGIFeMa)

Fig. 11A - Attività di indagine e di ispezione sul materiale rotabile incidentato: stato di manutenzione evidenziabile sulle boccole di un carrello diverso da quello oggetto di svio; stato di conservazione degli elementi strutturali di un carrello non oggetto di svio con piattelli di chiusura dei fori di contenimento delle boccole aperti (Fonte: DiGIFeMa)

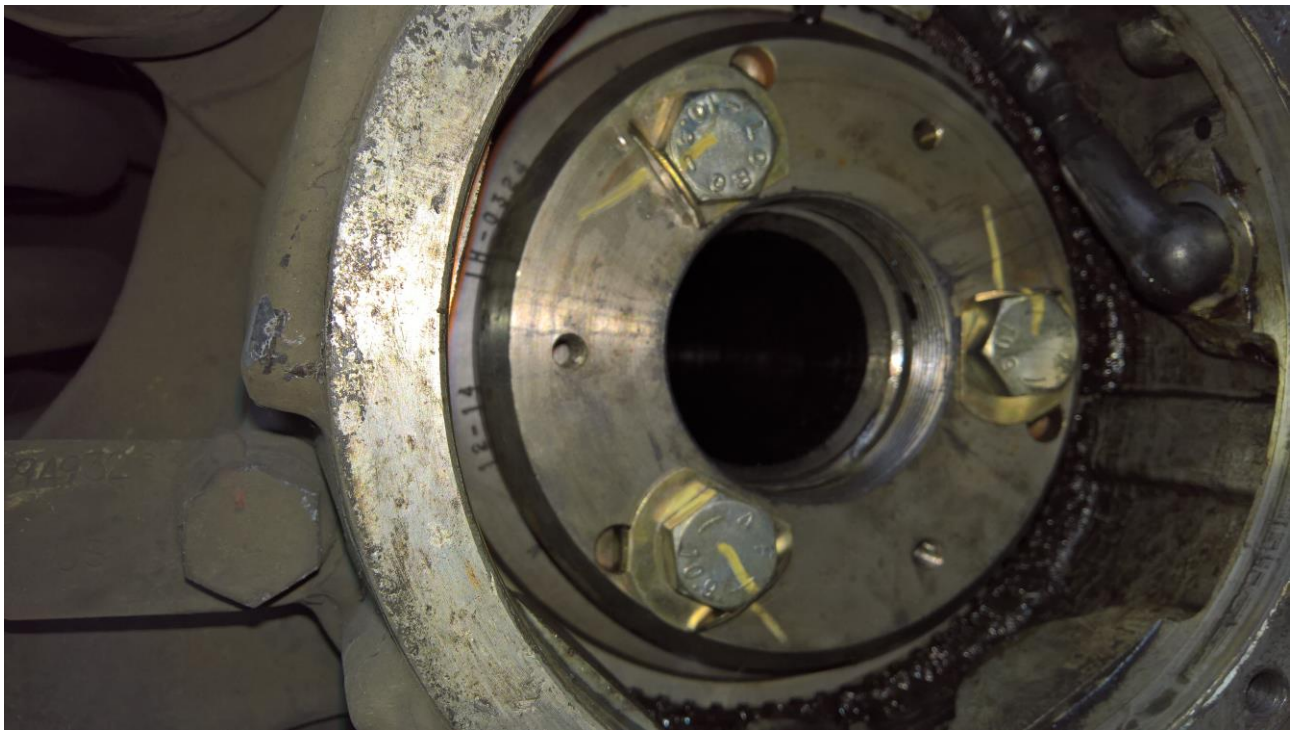


Fig. 11B - Attività di indagine e di ispezione sul materiale rotabile incidentato: stato di manutenzione evidenziabile sulle boccole di un carrello diverso da quello oggetto di svio; stato di conservazione strutturale di una boccola di rotolamento di un assile completamente assemblata e trattenuta in sede dal disco di bloccaggio serrato mediante tre viti e relative rosette di sicurezza antisvitamento (Fonte: DiGIFeMa)

Fig. 11C - Attività di indagine e di ispezione sul materiale rotabile incidentato: stato di manutenzione evidenziabile sulle boccole di un carrello diverso da quello oggetto di svio; particolare della boccola aperta con, in evidenza, i cavi passanti collegati alle termocoppie appartenenti al sistema di rilevamento della temperatura della boccole di bordo
(Fonte: DiGIFeMa)

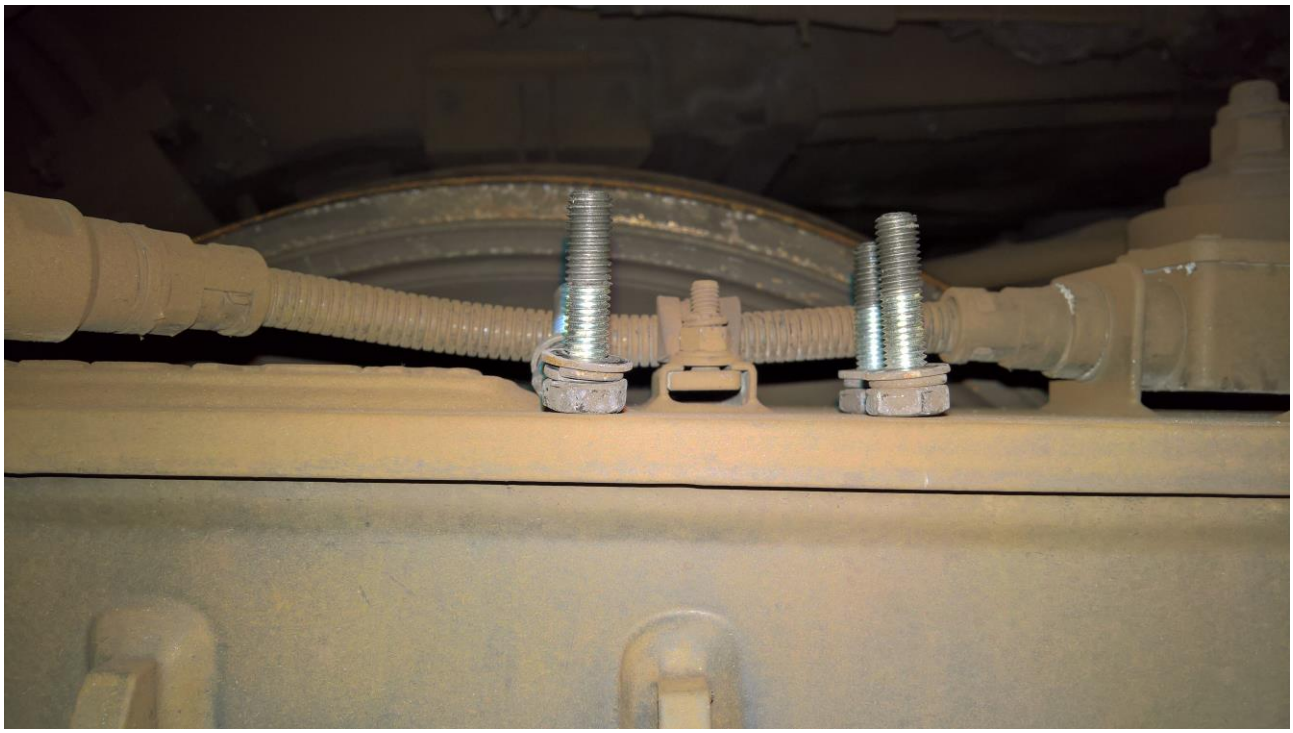


Fig. 11D - Attività di indagine e di ispezione sul materiale rotabile incidentato: stato di manutenzione evidenziabile sulle boccole di un carrello diverso da quello oggetto di svio; particolare delle viti di serraggio e rosette piane e Grover antisvitamento del complesso boccola; in evidenza sulle viti un diverso stato di ossidazione dovuto alla profondità di serraggio
(Fonte: DiGIFeMa)

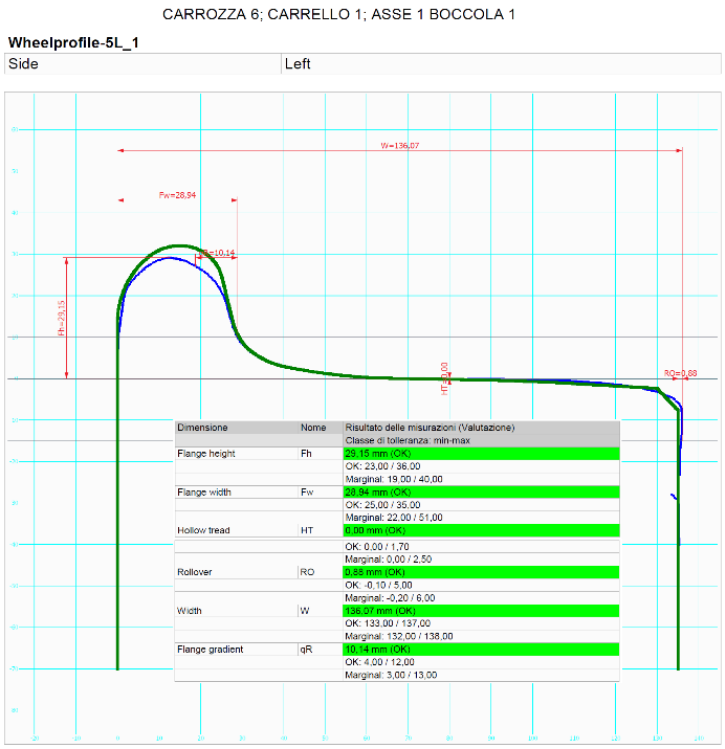


Fig. 12A - Attività di indagine e di ispezione sul materiale rotabile incidentato: stato di manutenzione evidenziabile mediante misura della geometria dei profili trasversali di ruota appartenenti al carrello sviato della carrozza n. 6, (carrello posteriore): dimensioni fondamentali entro i limiti di normativa del profilo ruota sinistra, assile n. 24 posteriore s.m.t.
(Fonte: Elaborazione DiGIFeMa su dati IF)

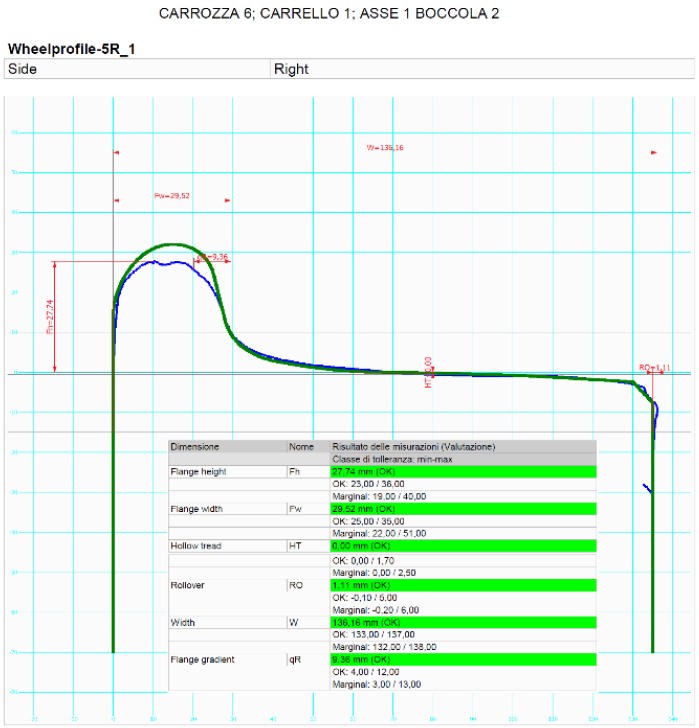


Fig. 12B - Attività di indagine e di ispezione sul materiale rotabile incidentato: stato di manutenzione evidenziabile mediante misura della geometria dei profili trasversali di ruota appartenenti al carrello sviato della carrozza n. 6, (carrello posteriore): l'indagine ha evidenziato una non conformità nella dimensione ridotta dell'altezza (27.74 mm), inferiore al limite definito dalla normativa, del bordino ruota destra, assile n.24 posteriore s.m.t. (Fonte: Elaborazione DiGIFeMa su dati IF)

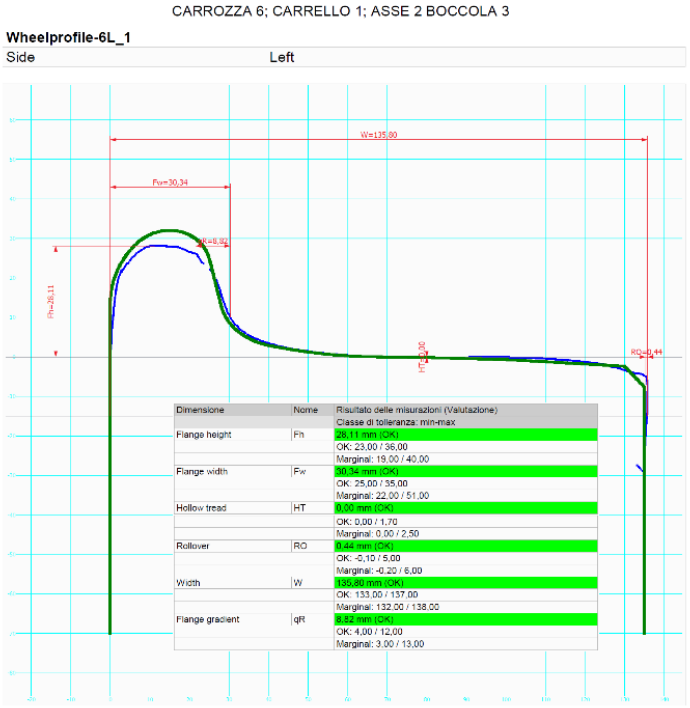


Fig. 12C - Attività di indagine e di ispezione sul materiale rotabile incidentato: stato di manutenzione evidenziabile mediante misura della geometria dei profili trasversali di ruota appartenenti al carrello sviato della carrozza n. 6 (carrello posteriore): dimensioni fondamentali entro i limiti di normativa del profilo ruota sinistra, assile n.23 anteriore s.m.t.
(Fonte: Elaborazione DiGIFeMa su dati IF)

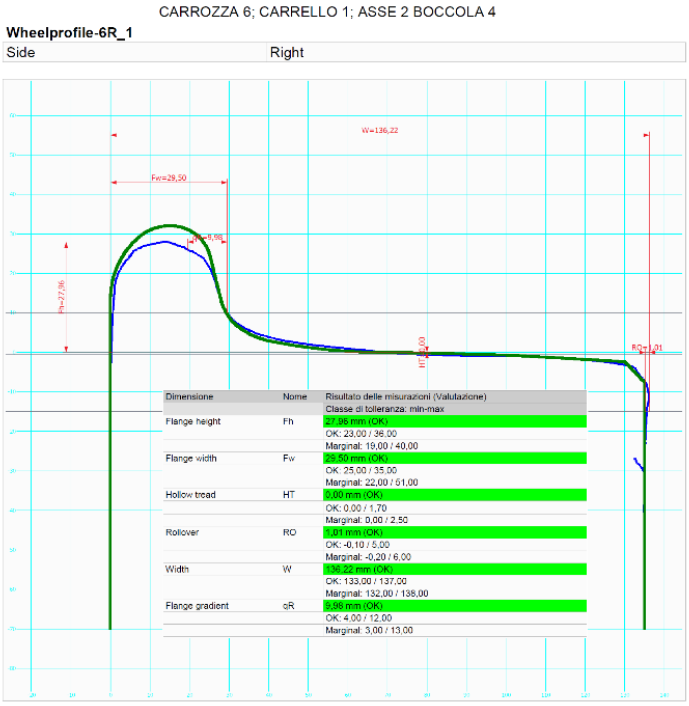


Fig. 12D - Attività di indagine e di ispezione sul materiale rotabile incidentato: stato di manutenzione evidenziabile mediante misura della geometria dei profili trasversali di ruota appartenenti al carrello sviato della carrozza n. 6 (carrello posteriore): evidenza di una non conformità nella dimensione ridotta dell'altezza (27.96 mm) inferiore al limite definito dalla normativa del bordino ruota destra, assile n. 23 anteriore s.m.t.
(Fonte: Elaborazione DiGIFeMa su dati IF)

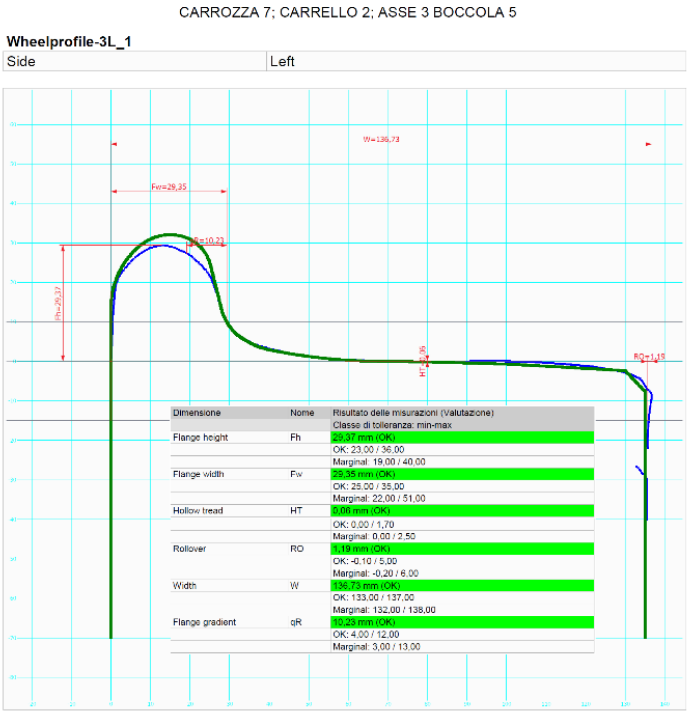


Fig. 13A - Attività di indagine e di ispezione sul materiale rotabile non incidentato: stato di manutenzione evidenziabile mediante misura della geometria dei profili trasversali di ruota appartenenti ad un carrello non oggetto di svio della carrozza n. 7 (carrello anteriore); dimensioni fondamentali entro i limiti di normativa del profilo ruota sinistra assile n.26 posteriore s.m.t.
(Fonte: Elaborazione DiGIFeMa su dati IF)

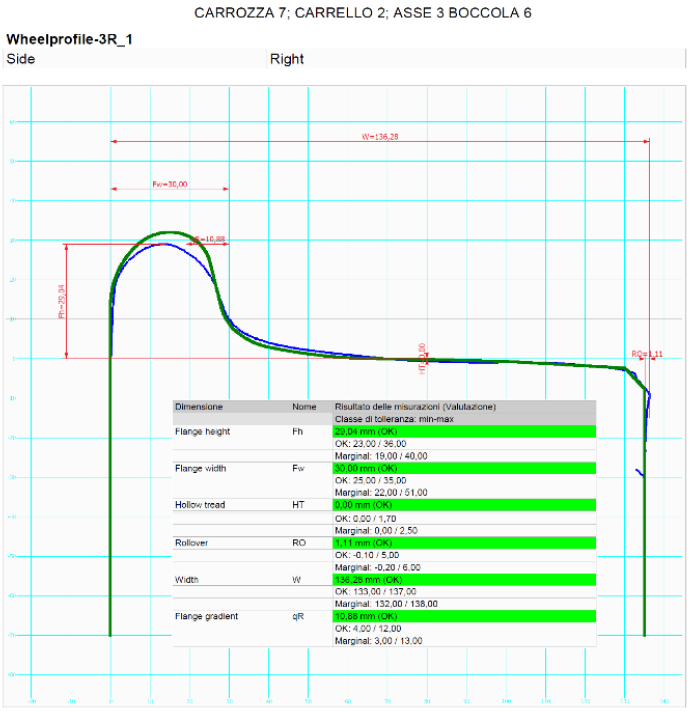


Fig. 13B - Attività di indagine e di ispezione sul materiale rotabile non incidentato: stato di manutenzione evidenziabile mediante misura della geometria dei profili trasversali di ruota appartenenti ad un carrello non oggetto di svio della carrozza n. 7, (carrello anteriore); dimensioni fondamentali entro i limiti di normativa del profilo ruota destra assile n.26 posteriore s.m.t.
(Fonte: Elaborazione DiGIFeMa su dati IF)

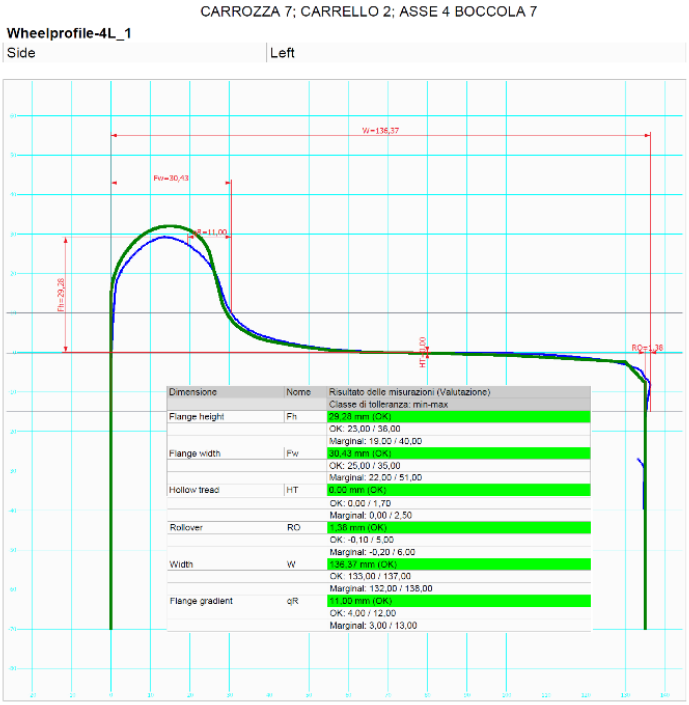


Fig. 13C - Attività di indagine e di ispezione sul materiale rotabile non incidentato: stato di manutenzione evidenziabile mediante misura della geometria dei profili trasversali di ruota appartenenti ad un carrello non oggetto di svio della carrozza n. 7 (carrello anteriore); dimensioni fondamentali entro i limiti di normativa del profilo ruota sinistra assile n.25 anteriore s.m.t.
(Fonte: Elaborazione DiGIFeMa su dati IF)

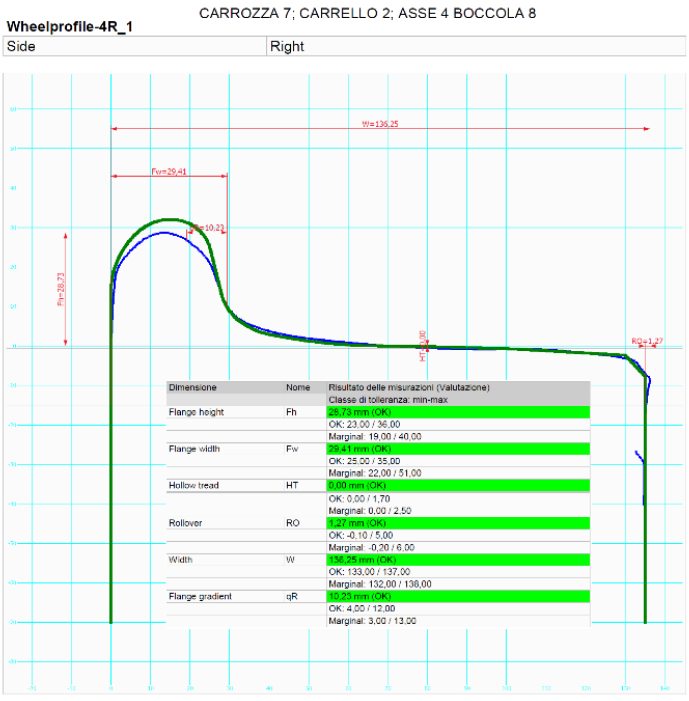


Fig. 13D - Attività di indagine e di ispezione sul materiale rotabile non incidentato: stato di manutenzione evidenziabile mediante misura della geometria dei profili trasversali di ruota appartenenti ad un carrello non oggetto di svio della carrozza n. 7 –8 (carrello anteriore); dimensioni fondamentali entro i limiti di normativa del profilo ruota destra assile n.25 anteriore s.m.t.
(Fonte: Elaborazione DiGIFeMa su dati IF)

L'ispezione effettuata sugli elementi strutturali ed elastici di trasmissione della trazione, presenti nel sotto-cassa della vettura n. 6, ha evidenziato un conforme stato di conservazione e di manutenzione, degradato in alcune parti esclusivamente a causa degli urti di tali elementi con apparecchi di binario e/o con la massicciata ed altri elementi presenti sulla sede ferroviaria in seguito allo svio. In tale stato, ad esempio, appaiono i collegamenti cardanici dell'albero di trasmissione della trazione, delle barre di torsione, degli elementi elastici interessati direttamente dagli urti a causa del moto non conforme degli assili fuori del binario. Altri danni, che tuttavia sono stati generati sempre in seguito all'evento di svio, si ritrovano all'interfaccia tra le due vetture n.6 e n.7, s.m.t.. Infine l'esame delle altre boccole (carrozza n. 7, carrello anteriore, assili n. 25 e n. 26 s.m.t.) ha evidenziato una sostanziale idoneità del loro stato di conservazione e di manutenzione.

Il test di funzionalità operativa sugli apparati e sui collegamenti elettrici/elettronici di rilevamento e di segnalazione di avaria dei dispositivi boccole al PdC (sistemi di elaborazione e di gestione dei dati di cimento termo-meccanico delle boccole degli assili in esercizio) presenti in cabina di guida, risulta essere stato effettuato dalla CTU della Procura della Repubblica di Firenze in due sessioni. Le risultanze di tali test, richieste con comunicazione ufficiale alla Autorità Giudiziaria, non sono pervenute alla DiGIFeMa. Pertanto considerazioni tecniche di dettaglio a tale riguardo non possono essere espresse.

Una seconda ispezione da parte della DiGIFeMa, avente come oggetto l'analisi dello stato strutturale e funzionale del carrello sviato, è stata autorizzata dalla Procura della Repubblica di Firenze ed è avvenuta in data 12 Giugno 2018. L'attività, eseguita nell'"IMC Firenze Osmannoro", alla presenza della Polizia Ferroviaria e di rappresentanti legali della IF, ha permesso, oltre all'acquisizione di documentazione fotografica (Fig. 14A, Fig. 14B, Fig. 14C, Fig. 14D), di visionare gli elementi strutturali del rodiggio raccolti sulla sede ferroviaria e repertati dalla Autorità Giudiziaria. In particolare è stato osservato lo stato di ammaloramento della porzione di fusello distaccata dall'assile e degli elementi di collegamento a vite del disco di bloccaggio (Fig. 15A, Fig. 15B, Fig. 15C, Fig. 15D).

Non sono stati effettuati test distruttivi sugli elementi del rodiggio.

Fig. 14A - Stato strutturale del carrello sviato: complessivo del telaio e della traversa oscillante
(Fonte: DiGIFeMa)

Fig. 14B - Stato strutturale del carrello sviato: assile (particolare) mancante del fusello e sostituito con cilindro in acciaio, utile alla rimozione dalla zona di arresto in linea del materiale rotabile
(Fonte: DiGIFeMa)

Fig. 14C - Stato strutturale del carrello sviato: dispositivo di sospensione primaria e boccola relativa ad assile con boccole integre
(Fonte: DiGIFeMa)

Fig. 14D - Stato strutturale del carrello sviato: struttura di supporto per sospensione primaria e di contenimento della boccola; struttura del giunto di collegamento del supporto al telaio del carrello
(Fonte: DiGIFeMa)

Fig. 15A – Stato strutturale della porzione di fusello distaccato dall'assile sviato a seguito del guasto occorso alla boccola: porzione di fusello divelto dall'assile n. 23
(Fonte: DiGIFeMa)

Fig. 15B – Stato strutturale della porzione di fusello distaccato dall'assile n. 23 sviato a seguito del guasto occorso alla boccola: particolare della porzione di una vite di trattenimento del disco di bloccaggio
(Fonte: DiGIFeMa)

Fig. 15C – Stato strutturale della porzione di fusello distaccato dall'assile n. 23 sviato a seguito del guasto occorso alla boccola: particolare di una vite spezzata di trattenimento con porzione rimasta nel foro
(Fonte: DiGIFeMa)

Fig. 15D – Stato strutturale della porzione di fusello distaccato dall'assile n. 23 sviato a seguito del guasto occorso alla boccola: particolare di foro per vite assente e filettatura integra
(Fonte: DiGIFeMa)

Per quanto concerne l'attività d'indagine sull'infrastruttura, si evidenzia che il GI controlla la corretta operatività termo-meccanica delle boccole, presenti sui convogli in transito sulla linea "AV DD Roma-Firenze", mediante stazioni RTB (Fig. 16) abbinate a sistemi di Rilevamento Temperatura Freni (RTF), installati sulla sede ferroviaria.

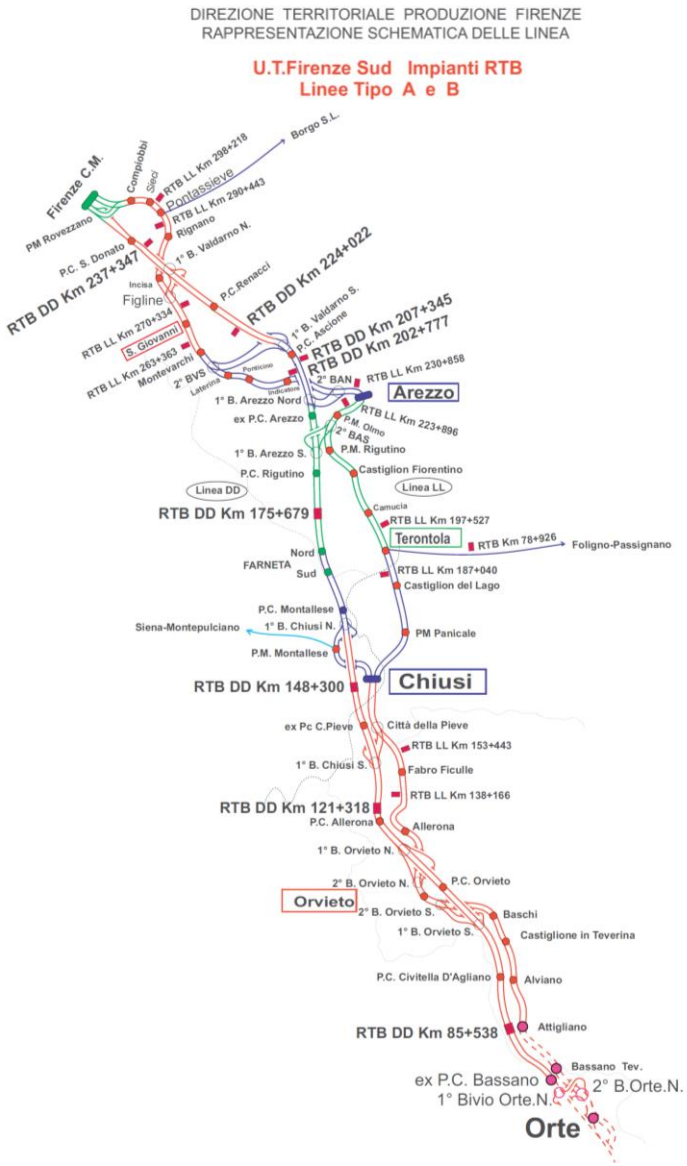


Fig. 16 – Estratto del Piano Informativo della Rete del Gruppo Ferrovie dello Stato Italiane: disposizione degli apparati RTB/RTF di terra dislocati lungo la linea "DD AV Roma-Firenze" (Fonte GI).

La misura della temperatura di esercizio delle boccole (RTB di terra) avviene mediante due sensori posizionati all'esterno del binario, in conformità geometrica con quanto prescritto dalla Normativa Europea [17]. I dati di temperatura sono automaticamente confrontati con i valori limiti, impostati per programmazione informatica da parte del Costruttore dell'apparato e definiti come "livelli di allarme" termico dal GI [20, 21, 22, 23]. Si noti che gli RTB, installati sulla linea "AV DD Roma-Firenze", non interferiscono direttamente con apparati di controllo della marcia del treno ma dirigono le segnalazioni di eventuali avarie termiche sul sistema di gestione della circolazione, ponendo in caso di conferma della avaria, a via impedita il transito del rotabile sul primo ente di

segnalamento luminoso visibile dal PdC. Una descrizione più dettagliata è esposta nella Prescrizione RFI 1834 del 2014 [25]. A tale condizione seguono quindi comunicazioni tra PdC e Dirigenza di Circolazione ed attività di verifica sul treno da parte del PdC.

Le informazioni fornite alla DiGIFeMa dal GI evidenziano misure di temperatura acquisite sulle boccole degli assili dell'ES8510 coerenti con i limiti di normativa. Tuttavia per l'assile n. 23 si deve sottolineare una storia termica della boccola destra che mostra un continuativo aumento della temperatura rilevata al transito su tutti gli apparati RTB di terra, ad esclusione della misura acquisita (19 °C) dal dispositivo sito in corrispondenza della progressiva km 224+022. Per chiarire tale singolarità ed acquisire informazioni in merito alla logica funzionale della misura termica, si è ritenuto opportuno effettuare incontri tecnici con il GI e con il Costruttore dell'apparato di misura.

2.2. Circostanze dell'evento

2.2.1. Personale coinvolto

Nell'evento risultano interessati il PdC dell'ES8510 nell'ambito delle attività di verifica dello stato funzionale del rotabile anche a seguito dello svio, il PdB nell'ambito della attivazione dei soccorsi ai passeggeri ed il personale del GI nell'ambito della gestione della circolazione in condizioni degradate della struttura ferroviaria, per coadiuvare le attività di ripristino del sistema di trasporto.

2.2.2. Treni e relativa composizione

Il treno della IF, designato come ES8510 il giorno 9 novembre 2017, è stato costituito da materiale rotabile ETR600.004 (Fig. 17 e Tabella 1), avente composizione modulare (7 vetture). Ogni singolo modulo possiede la propria denominazione (codice di riferimento identificativo). Nel caso in esame, la vettura oggetto di svio ha codice RIN 93 83 6600 604-8 I-TI (Tabella 2) ed è ubicata penultima in composizione (s.m.t).

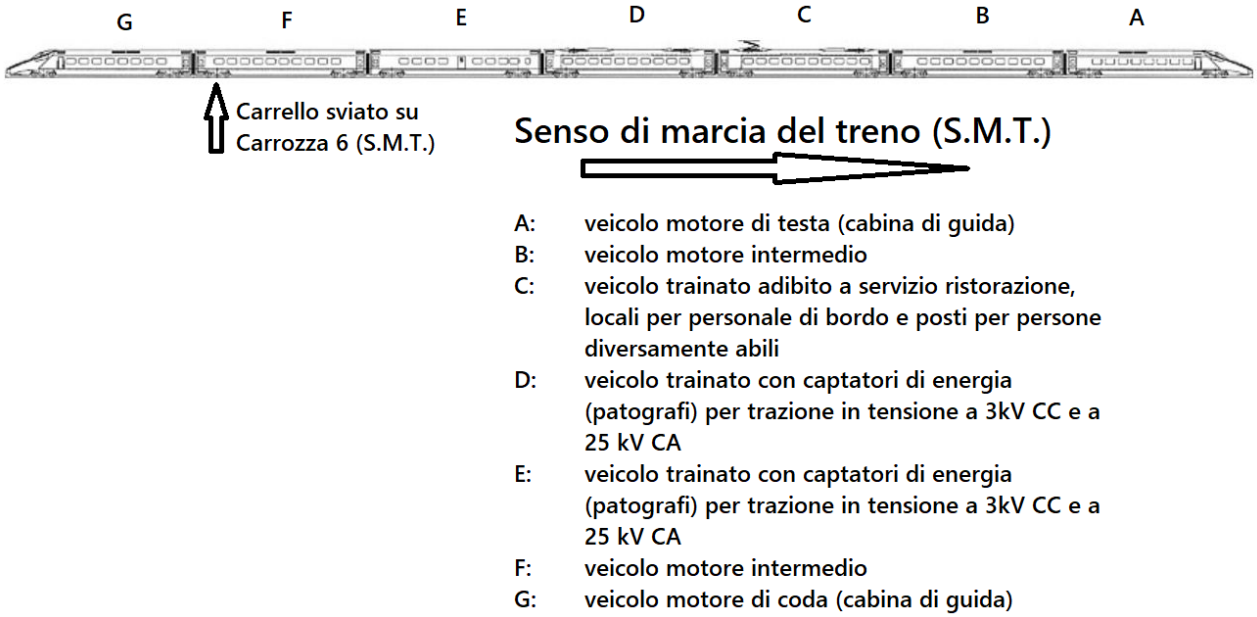


Fig. 17 – Vista laterale del treno ETR600 ed indicazione del carrello coinvolto nello svio (Fonte: Elaborazione DiGIFeMa)

Il materiale rotabile ETR600 è composto da sette vetture, di cui due con funzione di guida. Le vetture di testa, ove è presente la cabina di guida, hanno lunghezza di 28.200 mm; quelle intermedie hanno una lunghezza di 26.200 mm. L'ETR600 è dotato di frenatura elettrica reostatica e a recupero, attivabile solo in caso di alimentazione elettrica della trazione mediante linea aerea a 25 kV in CA a 50 Hz.

Tabella 1 (Fonte: Lezioni di Veicoli ed Impianti di Trasporto – Sapienza Università di Roma, AA 2014-2015)

Anni di costruzione	2006 - 2008
Costruttore	Alstom
Rodiggio	(1A) (A1) + (1A) (A1) + 2' 2' + 2' 2' + 2' 2' + (1A) (A1) + (1A) (A1)
Numero di elementi	7 (4 + 3) (2)
Rapporto di trasmissione	1/2,5
Numero motori	8
Potenza continuativa di ogni motore	690 kW
Potenza continuativa	5.520 kW
Velocità massima	250 km/h
Lunghezza totale	187.400 mm

Tabella 2 Denominazione e matricole (numeri di serie) delle vetture in composizione al treno ETR660.004 ES8510 (Fonte: Documentazione fornita dalla IF a DiGIFeMa)

Equipment	Sede tecnica	Definizione oggetto tecnico	Numero di serie
ETR600104	ETR600004-C01	ETR600 veicolo 1----	938336001046
ETR600204	ETR600004-C02	ETR600 veicolo 2----	938356002049
ETR600304	ETR600004-C03	ETR600 veicolo 3----	938396003049
ETR600404	ETR600004-C04	ETR600 veicolo 4----	938306004046
ETR600504	ETR600004-C05	ETR600 veicolo 5----	938306005043
ETR600604	ETR600004-C06	ETR600 veicolo 6----	938366006048
ETR600704	ETR600004-C07	ETR600 veicolo 7----	938346007041

2.2.3. Infrastruttura e sistema di segnalamento

La linea "AV DD Roma-Firenze" è esercita dal GI per servizio in Alta Velocità (v_{max} = 250 km/h). Il sistema di comando, monitoraggio e controllo degli itinerari, avviene mediante sistema BaCC a 9 Codici. Gli itinerari nelle stazioni di fermata intermedia o di transito sono gestiti mediante sistema di Apparato Centrale Elettrico (ACC/ACEI), coadiuvato da Sistema Controllo Marcia Treno (SCMT).

La Stazione "Firenze Castello" per il treno ES8510 non impegna lo svolgimento del servizio viaggiatori: i binari di transito AV (di ingresso ed uscita) sono dotati di dispositivi di segnalamento luminoso di protezione a più aspetti, istallati tramite portale sulla sede ferroviaria. Gli itinerari che il materiale rotabile deve seguire nell'attraversamento della Stazione "Firenze Castello", sono formati dalla Direzione Circolazione Area Firenze.

2.2.4. Mezzi di comunicazione

P.M.

2.2.5. Lavori svolti presso il sito dell'evento

Dalle informazioni fornite dal GI, non si ha evidenza di lavori sull'infrastruttura ferroviaria (binario, sede ed apparecchi di deviazione) predisposti o in esecuzione sulla tratta della linea utilizzata dal transito del treno ES8510 nella giornata in cui è avvenuto lo svio.

2.2.6. Attivazione del piano di emergenza ferroviaria e relativa catena di eventi

L'inizio dello svio del secondo carrello della vettura n. 6 dell'ETR 600.004, transitato dal Binario IV della Stazione "Firenze Rifredi" e diretto verso Bologna, è avvenuto sulla tratta "Firenze Rifredi – Firenze Castello", in ambito Stazione "Firenze Castello", sul Binario II di corsa pari. Sono risultati danneggiati il binario, i deviatoi ed i relativi dispositivi di manovra, le comunicazioni e la sede ferroviaria della linea, ad iniziare dal segnale di protezione S122 (km 4+068) fino al km 5+100 circa. L'attivazione del piano per le emergenze ferroviarie ha imposto la percorribilità con fermascambiatura "in posizione normale" dei deviatoi e delle comunicazioni danneggiate, ripristinando e liberando temporaneamente la circolazione sulla direttrice in ingresso alla Stazione "Firenze Castello". L'emergenza ha rivolto l'attenzione alla evacuazione dei passeggeri presenti sul l'ES8510, avvenuta mediante trasbordo su treno di scorta, proveniente dalla Stazione "Firenze Campo di Marte", e trasporto in Stazione "Bologna Centrale". Le condizioni di alimentazione elettrica della linea sono state gestite in interruzione temporanea per permettere il recupero del materiale sviato ed i rilievi sulla infrastruttura da parte dell'Autorità Giudiziaria.

2.2.7. Attivazione del piano di emergenza dei servizi pubblici di soccorso, della polizia, dei servizi sanitari e relativa catena di eventi

Lo svio non ha prodotto danni all'ambiente circostante alla infrastruttura ferroviaria o a terzi (persone/edifici limitrofi alla linea). Pertanto non sono state avviate attività relative all'intervento del Soccorso 118, dei Vigili del Fuoco e della Protezione Civile, sebbene intervenuti nella immediatezza dell'accaduto.

2.3. Decessi, lesioni, danni materiali

2.3.1. Passeggeri e terzi, personale

Nessun danno è stato segnalato ai passeggeri (circa 200 persone), al PdC, al PdC, al PdR e al personale di servizio in stazione.

2.3.2. Merci, bagagli ed altri beni

P.M.

2.3.3. Materiale rotabile, infrastruttura ed ambiente

I danni al materiale rotabile sono stati localizzati sul rodiggio del secondo carrello (s.m.t.) della vettura n. 6 in composizione all'ETR600, sugli elementi strutturali di collegamento tra il corpo

di questa vettura e la vettura e n.7, ultima in composizione. Le vetture non interessate dallo svio sono rimaste in corretta posizione operativa sul binario. I componenti strutturali, relativi all'assile sviato n. 23, risultano totalmente danneggiati. Di minore entità, ma pur sempre diffusi, possono considerarsi i danni presenti sui componenti del secondo assile sviato (n. 24).

L'assile n. 23, dal quale si è separato il fusello (lato destro, s.m.t.), nella immediatezza dello svio, è stato trovato in totale assenza degli elementi della sospensione primaria e della struttura di supporto a questi ultimi, costituente complesso di contenimento della boccola. Tali elementi, distaccatisi dal secondo carrello, sono stati rinvenuti sulla sede ferroviaria, all'interno di un intervallo di circa 100 m nell'intorno della progressiva della linea, ipotizzata come inizio dello svio (km 4+102).

Per la rimozione del treno è stato necessario ripristinare le condizioni di operatività funzionale dell'assile n. 23, mancante di fusello e di struttura di supporto alla rotazione ed alla sospensione primaria. La parte di fusello assente è stata ricostituita mediante saldatura di un cilindro in acciaio sull'estremo destro (s.m.t.) dell'assile. L'idoneità alla rotazione è stata temporaneamente ripristinata mediante ausilio di una catena collegata al telaio del carrello, al fine di costituire una sorta di "ancoraggio" alla porzione di fusello sostituito con cilindro in acciaio. Un'analoga procedura di manutenzione temporanea è stata effettuata sul supporto alla rotazione delle altre tre boccole del carrello, in modo da assicurare il mantenimento in posizione corretta anche del secondo assile sviato, sul lato destro e sul lato sinistro (s.m.t.). In tali condizioni l'elettrotreno è stato trasferito, nell'"IMC Firenze Osmannoro" a velocità ridotta, l'11 novembre 2017.

Danni sono rilevati alla sede dell'infrastruttura (binario) ed agli apparecchi di modifica degli itinerari (deviatoi e comunicazioni) interessati dal transito del carrello sviato. Dal Rapporto Informativo emesso dal GI, nella immediatezza dell'evento, ad iniziare dalla progressiva di svio, il contatto per urto ripetuto con le ruote degli assili ha danneggiato circa 800 traverse e relativi dispositivi di collegamento rotaia-traversa (attacchi) per una estensione di 500 m circa di binario, mentre probabilmente per urti con elementi di trasmissione della trazione e del sistema di frenatura (dischi freno) presenti sotto-cassa o sul carrello, sono stati divelti equipaggi mobili (telaio degli aghi) e dispositivi di movimentazione di deviatoi, traversoni di supporto ed una comunicazione. Quanto esposto è stato desunto dall'analisi del documento "Libretto SV1 – Certificazione dello stato dell'infrastruttura armamento ed opere civili al momento dello svio". Dalle informazioni acquisite da DiGIFeMa, i danni all'infrastruttura sono stati stimati in 1.122.000 euro, mentre per il materiale rotabile la quantificazione economica dei danni ammonterebbe a circa 400.000 euro. Non si hanno informazioni relative ad eventuali danni all'ambiente limitrofo al sito dello svio.

2.4. Circostanze esterne

La stazione di "Firenze Castello" è situata nella Regione Toscana, in Provincia di Firenze, nella zona Sud rispetto alla ubicazione del Capoluogo. Il sito dell'arresto del treno, a seguito di svio è riferibile alle coordinate geografiche 43° 49' 23" Nord, 11° 12' 37" Est (Stazione di "Firenze Castello").

La progressiva di linea in corrispondenza della quale è stato identificato l'inizio dell'evento di svio è riferibile alle coordinate geografiche 43° 49' 14" Nord, 11° 12' 53" Est.

La distanza che intercorre tra la progressiva relativa all'inizio dello svio e la progressiva di arresto del treno, è di circa 1050 m.

I dati climatici registrati dalla Stazione Meteorologica "Sesto Fiorentino" (Firenze) LaMMA CNR-IBIMETI, il giorno 09 novembre 2017 alle ore 11:10, descrivono, sul luogo dello svio, una temperatura di circa 14 °C, pressione di circa 1017 mbar e nessuna precipitazione piovosa. Il cielo si presentava parzialmente coperto da formazioni nuvolose che non impedivano l'illuminazione naturale della via.

3. Resoconto dell'indagine

3.1. Sintesi delle testimonianze

3.1.1. Sintesi delle testimonianze (nel rispetto della tutela dell'identità dei soggetti interessati), personale delle ferrovie, compreso quello delle imprese appaltatrici

Nessuna testimonianza è stata resa spontaneamente o richiesta da DiGIFeMa.

3.1.2. Altri testimoni

Nessuna testimonianza è stata resa spontaneamente o richiesta da DiGIFeMa.

3.2. Sistema di gestione della sicurezza

3.2.1. Quadro organizzativo e modalità di assegnazione ed esecuzione degli incarichi

Il Sistema di Gestione della Sicurezza (SGS) in ferrovia prende origine dagli indirizzi delle Norme ISO9000, dalla Disposizione n.13 del 2001 del GI e dal D.Lvo. 162/2007 (ed s.m.i.), recependo le Direttive CE 49, 50 e 51 del 2004. Utilizzando un approccio [7] che tende ad utilizzare gli scopi per i quali viene ammessa l'esistenza e l'esigenza di un SGS, è possibile dire che "*il sistema di gestione è quella parte di un sistema aziendale che consente di individuare e minimizzare i rischi legati alla mancata soddisfazione dei propri utenti e delle parti interessate*".

Per tale considerazione lo scopo di un SGS in ferroviaria è di permettere la minimizzazione dei rischi attraverso una gestione efficace e sicura delle attività. Infatti il D.Lvo. 162/2007 sancisce che "il sistema di gestione della sicurezza…OMISSIS…garantisce il controllo di tutti i rischi connessi con l'attività dei gestori dell'infrastruttura o delle imprese ferroviarie, compresa la manutenzione, i servizi, la fornitura del materiale e il ricorso a imprese appaltatrici…OMISSIS".

Ne consegue che per i sistemi ferroviari, la sicurezza è un requisito della qualità. Si noti che ANSF definisce l'SGS in ambito ferroviario come una parte di un sistema aziendale che, in materia di sicurezza, stabilisce un processo che consente di minimizzare i rischi associati alle attività di una organizzazione. Quindi tale sistema si basa sulla esistenza di una specifica struttura organizzativa e sulla pianificazione di attività, responsabilità, pratiche, procedure, processi e risorse atti a sviluppare, attuare, riesaminare e mantenere la politica per la sicurezza della organizzazione stessa.

Risulta necessario il riferimento ad una serie consolidata di documenti che, rispondendo alle caratteristiche suddette, dimostrino l'adeguatezza dell'organizzazione a soddisfare i requisiti di sicurezza. Tale documentazione ha necessità di un costante aggiornamento e deve essere distribuita e nota a tutti i livelli in cui è strutturata l'organizzazione. Per documentazione può intendersi la descrizione di un insieme di procedure, costituite ognuna da attività. I Regolamenti UE 1169/2010 del 10 dicembre [8] e UE 1158/2010 del 9 dicembre [9] fissano i requisiti che devono possedere gli SGS rispettivamente per i GI e per le IF e la verifica che devono seguire ad opera delle Autorità Nazionali per la Sicurezza, in Italia dall'ANSF. Alla approvazione di tale documentazione, il GI riceve l'Autorizzazione di Sicurezza, mentre la IF viene accreditata con un Certificato di Sicurezza. Un SGS è quindi il documento che traghetta gli OF verso l'esercizio ferroviario. Esso deve fornire come base documenti:

- che definiscono l'organizzazione aziendale, i ruoli, le responsabilità e le linee guida (politica aziendale) per la sicurezza;

- che fissano le regole per il ciclo migliorativo e per l'attuazione di tutti i "requisiti", che seppur non legati direttamente ai processi, l'organizzazione deve comunque assicurare ai portatori di interesse (audit interni, gestione della documentazione, delle attività di miglioramento e di attenzione, individuazione ed eliminazione delle non conformità, riepilogabili nella categoria "processi di sistema");
- che fissano i modi per l'esecuzione "a regola d'arte" delle attività e dei processi, che per tale ragione sono denominati "processi operativi".

Ogni modifica tecnica, normativa o organizzativa deve essere monitorata, verificata e analizzata sulla base degli effetti che l'introduzione può generare. Questa considerazione è alla base degli scopi espressi nel "Regolamento (UE) n.402/2013 [10], che ha definito le linee guida per la gestione dei cambiamenti (modifiche) nei sotto-sistemi costituenti il "Sistema Ferroviario".

L'analisi dell'SGS è orientata ai processi di sistema ed operativi ed è eseguita da ANSF sulle indicazioni impartite dai Regolamenti UE citati: lo scopo è la valutazione delle capacità di garanzia della gestione sicura del sistema di competenza. Nell'Allegato I dei due regolamenti è indicata la procedura che ANSF deve utilizzare per la valutazione della rispondenza ai requisiti degli SGS proposti, utilizzando i criteri citati nell'Allegato II. Qualora la revisione dei contenuti dell'SGS proposto riveli carenze (distinguibili in carenze di tipo "minore" o di tipo "maggiore"), ANSF ha il dovere di evidenziarne gli argomenti pertinenti, suggerendone il miglioramento. Alcune verifiche hanno la necessità di essere effettuate solo in condizione di "Supervisione" da parte dell'Autorità di Controllo, "aiutando" il proponente a comprendere i dettagli richiesti. Tale attività, prevede ovviamente, estrema competenza in materia da parte del personale attivato da ANSF.

Ne deriva un processo "virtuoso" di collaborazione tra proponente e ANSF che conduce il primo soggetto a:

- garantire almeno il superamento degli obiettivi comuni di sicurezza fissati dalla Commissione Europea;
- garantire il controllo di tutti i rischi connessi alle proprie attività;
- garantire il controllo, ove appropriato e ragionevole, di tutti i rischi generati da attività di terzi;
- considerare gli effetti delle attività svolte sulla rete dalle varie IF.

Per quanto fin qui considerato, il proponente può trovarsi nella necessità di dover definire l'insieme documentale esaustivo ed una relativa idonea architettura che indichi modi di generazione o di integrazione delle "regole", rispettivamente nuove o già in essere nella specifica azienda. A tale scopo è indirizzato uno schema di "progettazione" dell'SGS, basato sull'osservanza di criteri classificabili in tre categorie:

- criteri che richiedono la definizione di un politica per la sicurezza, la descrizione delle modalità di assegnazione dei ruoli e delle responsabilità interne alla azienda (riguardano aspetti da dimostrare mediante produzione di documentazione che indichi la loro gestione) ;
- criteri che definiscono le funzioni che il sistema deve assicurare nel suo complesso indipendentemente dalla architettura su cui sono basati i processi operativi e le attività di sicurezza di base (formazione, miglioramento, audit);
- criteri che si riferiscono a processi operativi ed esecutivi (progettazione, manutenzione, gestione dell'infrastruttura); questa ultima tipologia di criteri indirizzano alla scrittura dell'esecuzione delle attività di sicurezza.

Riepilogando, l'approccio sistemico delle linee guida della Commissione Europea, recepite nel [4] raggruppano i criteri in:

- la definizione della politica, dei ruoli e delle responsabilità;
- la gestione dei rischi;
- il monitoraggio;
- l'apprendimento organizzativo in base agli eventi (indagini, audit, non conformità);
- la gestione dell'attività di sicurezza;
- la gestione delle competenze del personale;

- la gestione delle informazioni di sicurezza nelle interfacce con enti esterni;
- la gestione della documentazione;
- la gestione dei piani di emergenza.

La dichiarazione della politica della sicurezza deve essere comunicata e resa disponibile a tutto il personale e deve includere, come aspetti fondamentali, gli obiettivi generali dell'SGS, le risorse poste a disposizione per perseguire gli obiettivi, le attività necessarie e richieste alle risorse per eseguire il loro compito. La politica della sicurezza deve dimostrare l'impegno di tutta l'azienda e deve rappresentare una guida chiara nello svolgimento delle attività, consolidando la consapevolezza e la cultura di tale aspetto.

Le caratteristiche basilari da perseguire nella pratica usuale dell'azienda possono così essere riassunte:

- i principi e i valori fondamentali secondo i quali l'organizzazione ed il personale devono operare;
- un'etica di lavoro che favorisca lo sviluppo ed il miglioramento;
- un allineamento con le politiche aziendali di lavoro;
- una chiara responsabilità ai vari livelli aziendali.

In conclusione gli obiettivi di sicurezza definiti nella politica dell'SGS devono essere considerati come parte di un ciclo continuo di miglioramento e devono essere impostati in funzione della valutazione delle prestazioni del passato (inevitabilmente facendo riferimento alle non conformità acquisite oppure agli eventi pericolati o incidentali subiti), realizzati, revisionati o modificati in base alla analisi comparativa con dati di monitoraggio.

Nella documentazione dell'SGS devono essere descritte le modalità di controllo dei processi operativi rilevanti per la sicurezza nei diversi settori sui quali è basata la struttura organizzativa e lavorativa di una azienda ferroviaria. Questa considerazione impone quindi la necessità di documentare le modalità di attuazione dell'SGS a tutti i livelli aziendali. L'efficacia dei provvedimenti definiti nell'ambito della esecuzione dei processi connessi alla politica della sicurezza, richiede un costante controllo di gestione delle attività, identificabile come uno "strumento di misurazione delle prestazioni". Le misure correttamente monitorate costituiscono quindi un indice del livello di sicurezza delle attività, dei processi e della organizzazione in generale per una azienda ferroviaria permettono di individuare preventivamente la necessità di eventuali azioni correttive. A seguire sono elencati gli ambiti operativi più comuni che dovrebbero essere considerati nella corretta applicazione di una politica di sicurezza di un SGS:

a) i processi relativi alla circolazione dei treni;
b) i processi relativi al funzionamento degli impianti di sicurezza;
c) la manutenzione e la gestione delle attrezzature;
d) la manutenzione e la gestione degli impianti di alimentazione energetica (in alta, bassa e media tensione);
e) la manutenzione e la gestione del sistema di comando e controllo;
f) la manutenzione e la gestione del sistema di telecomunicazione;
g) la progettazione, la gestione e la manutenzione degli impianti di trazione elettrica o di altro tipo;
h) la progettazione, la gestione e la manutenzione delle opere di ingegneria civile;
i) la progettazione, la gestione e la manutenzione delle infrastrutture sede di esercizio ferroviario e di quelle interfacciate con esso;
j) l'assegnazione e l'utilizzo dei materiali;
k) la gestione e la manutenzione del materiale rotabile;
l) la gestione dei rapporti con i fornitori ed appaltatori nonché con i detentori;
m) la programmazione, la gestione e l'esecuzione delle attività di verifica e di ispezione.

3.2.2. Requisiti relativi al personale e garanzia della loro applicazione

Dalle informazioni pervenute in DiGIFeMa da parte della IF, sono risultati verificati i requisiti di idoneità professionale e sanitaria relativi al personale in servizio a bordo del treno (PdC) e non sono state evidenziate non conformità amministrative ricadenti nell'SGS che possano aver costituito causa diretta o indiretta dell'evento di svio.

Dalle informazioni relative allo stato di servizio per il PdC, nessuna non conformità è stata rilevata durante le sessioni di "Scorta"; nessuna non conformità risulta evidente dalla documentazione relativa ad incidenti o a pericolati non sono evidenti non conformità annotate sullo stato di servizio. Il PdC è risultato in possesso di regolari certificazioni ed abilitazioni alla condotta del mezzo.

3.2.3. Modalità dei controlli e delle verifiche interni e loro risultati

Il GI e la IF hanno istituito separatamente Commissioni Interne di Indagine per l'accertamento delle cause dello svio che hanno redatto Relazioni, dalle quali emergono le attività di controllo e di verifica delle idoneità di servizio e sanitarie possedute dal personale in servizio durante il verificarsi dell'evento di svio. Autorizzazioni all'esercizio per il GI e Certificazione all'esercizio per l'IF, sono correttamente approvate da ANSF e basate sulla applicazione di un SGS, strutturato a vari livelli in funzione della ripartizione e della attribuzione delle attività che compongono le procedure. Il personale coinvolto nell'evento di svio, impegnato in mansioni relative alle decisioni, al monitoraggio e alla esecuzione del servizio sul treno ES8510, è risultato idoneo all'attività ed esente da non conformità amministrative.

Dalla lettura della Relazione di Indagine del GI, nessuna non conformità è stata evidenziata nelle procedure applicate per la circolazione del treno ES8510. In questo documento è comunque fornita una motivazione alla modifica della temperatura di 125 °C in un valore estremamente inferiore (19 °C), effettuata sulla boccola dell'assile n. 23 dall'RTB di terra posto al km 224+022. Il GI attribuisce la modifica della temperatura alla circostanza che la boccola non fosse più nella sua corretta posizione, probabilmente per antecedente "rottura del fusello" che avrebbe innescato anche la segnalazione di avaria "Assetto Cassa", alla velocità di 249 km/h.

Nella Relazione di Indagine della IF sono state evidenziate non conformità relative alle modalità di esecuzione dei processi manutentivi, in particolare per quanto riguarda le operazioni di assemblaggio degli elementi costruttivi appartenenti al dispositivo boccola. Il documento evidenzia anche una serie di avarie registrate dal sistema diagnostico di bordo, a fine servizio durante il giorno 8 novembre 2017 e ad inizio servizio il giorno 9 novembre 2017 e riferibili alla funzionalità operativa della boccola dell'assile n.23 e delle centraline elettroniche di elaborazione delle misure e di invio della segnalazione di guasto in cabina di guida. La Relazione di Indagine della IF, quindi, espone l'impossibilità da parte del PdC ad avere evidenza di tali problematiche durante il moto dell'ETR600 ed attribuisce la causa indiretta dello svio ad accertati guasti al sistema di sorveglianza termica degli assili dell'ES8510.

3.2.4. Interfaccia fra i diversi soggetti operanti sull'infrastruttura

ANSF ha disposto nel 2007 il "riordino del quadro normativo" ferroviario, in recepimento del relativo compito attribuitole dal D.Lvo 162/2007. L'attività è mirata a:

- razionalizzare l'architettura normativa (regolamenti, norme, standard, disposizioni, prescrizioni, istruzioni circolari, ecc.), chiarendo in maniera univoca la gerarchia delle fonti e distinguendo i principi dalle nozioni e dalle procedure;
- eliminare la sovrapposizione delle figure responsabili della normativa di esercizio, in quanto, per note ragioni storiche, nel Gruppo Ferrovie dello Stato si concentravano, nello stesso

soggetto, l'autorità nazionale preposta alla sicurezza ferroviaria (NSA), il Gestore dell'Infrastruttura (GI) e l'Impresa Ferroviaria (IF);

- superare la stratificazione delle norme, le quali, con il tempo e anche in conseguenza dell'avvento di nuove tecnologie, hanno subito numerose modifiche ed integrazioni.

In tale contesto, il nuovo "Regolamento per la Circolazione Ferroviaria (RCF)" emanato dall'ANSF sancisce i più alti principi, demandando agli OF la gestione degli altri contenuti delle pubblicazioni normative previgenti partendo dal cosiddetto "Sistema di Riferimento", da applicare sulla base dei criteri del Regolamento (UE) n. 352/2009 concernente il metodo comune di valutazione dei rischi.

L'ANSF, per le attività conseguenti al riordino del quadro normativo:

- ha fornito, in precedenza all'entrata in vigore del Decreto ANSF n. 4/2012 [27], le "Tabelle di Raffronto", al fine di evidenziare i punti di non coerenza tra le pubblicazioni normative previgenti e l'RCF, assegnando le competenze di gestione delle correlate modifiche al GI e/o alle IF;
- ha affidato al GI la gestione delle procedure di interfaccia (segnalamento compreso);
- dal 1/1/2013 ha attivato un monitoraggio atto a verificare tempi e modi del recepimento da parte degli OF dei principi del RCF nei propri sistemi di gestione della sicurezza.

Quindi l'ANSF, in funzione del recepimento delle Direttive Comunitarie e del riordino della regolamentazione ferroviaria nazionale, si pone come interfaccia di verifica e di sorveglianza tra i diversi soggetti operanti nell'infrastruttura, mantenendo i rapporti tecnico-normativi con i GI per quanto attiene all'infrastruttura, verificando attività di omologazione del materiale rotabile con le IF, attivandosi per le eventuali modifiche della regolamentazione della circolazione, verificando i requisiti di formazione del personale coinvolto nelle mansioni di condotta ed infine prefiggendosi lo scopo primario di un corretto e conforme svolgimento delle attività di esercizio ferroviario nel pieno indirizzo del miglioramento dei livelli di sicurezza della circolazione.

3.3. Norme e regolamenti

3.3.1. Norme pertinenti e regolamenti comunitari e nazionali

A seguire si indicano le principali norme nazionali che disciplinano la sicurezza ferroviaria inerenti l'evento in oggetto.

- D.P.R. 11 luglio 1980 n. 753 "Nuove norme in materia di polizia, sicurezza e regolarità dell'esercizio delle ferrovie e di altri servizi di trasporto", che ha valenza sull'intero sistema ferroviario nazionale;
- Decreto Ministeriale n° 138-T del 31 ottobre 2000: Atto di Concessione al Gestore dell'Infrastruttura nazionale;
- D.Lvo n. 188 dell'8 luglio 2003, recepimento delle direttive 2001/12/CE, 2001/13/CE e 2001/14/CE;
- D.Lvo n. 162 del 10 agosto 2007, recepimento della Direttiva 2004/49/CE "Attuazione delle direttive 2004/49/CE e 2004/51/CE relative alla sicurezza e allo sviluppo delle ferrovie comunitarie";
- Direttiva 2008/57/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 17 giugno 2008 "Interoperabilità del sistema ferroviario comunitario";
- Decreto ANSF n°1 del 10.12.2009 "Attribuzioni in materia di sicurezza della circolazione ferroviaria";
- Decreto ANSF n°4 del 9.08.2012 "Regolamento per la circolazione ferroviaria" [27].

3.3.2. Altre norme (norme di esercizio, istruzioni locali, requisiti per il personale, prescrizioni in materia di manutenzione e standard applicabili)

L'analisi della documentazione normativa su cui è stata basata l'indagine DiGIFeMa ha ricercato gli aspetti tecnici che hanno avuto particolare evidenza nella regolamentazione di circolazione ferroviaria correlata all'evento. In particolare, per quanto riguarda l'infrastruttura, il materiale rotabile e la formazione del PdC, è possibile riepilogare:

- **Disposizione n. 48 del 09/11/2001 Normativa per esercizio RTB linee RT e linea DD Roma-Firenze [20].**

  La disposizione pone le basi per l'evoluzione e l'introduzione a pieno regime nell'esercizio ferroviario dei dispositivi RTB di terra. Il testo disciplina l'esercizio degli impianti automatici di rilevamento della temperatura delle boccole, espone l'architettura dell'impianto (Posto di rilevamento, Posto di controllo, Sistema di trasmissione, Posto di Blocco automatico), e le sue funzionalità operative di connessione con il sistema di segnalamento, classifica gli allarmi temici in assoluti (misura effettuata sulla singola boccola) e relativi (differenziale termico rispetto alla media delle altre misure).

  La disposizione descrive il collegamento d'impianto e discrimina tra segnalazioni di allarme selettivo assoluto o relativo (individuando numero ed ubicazione della/e non conformità) oppure di allarme non selettivo (nel caso il numero di misure non conformi superino il massimo valore gestibile dal sistema), richiamando anche le attività del PdC correlate alla verifica della non conformità ed alla sicurezza del mezzo; indica le distanze tra apparati RTB in funzione delle velocità di esercizio del materiale rotabile.

  Infine il testo definisce i limiti (T_{ass} = 90°C su una unica boccola e T_{rel}-ΔT = 75°C – 30°C come temperatura differenziale di una unica boccola rispetto a tutte le altre) per l'esclusione di un mezzo dalla circolazione.

- **Disposizione n. 51 del 10/08/2005 Normativa per esercizio RTB linee Rete AV [21].**

  L'introduzione a pieno regime del trasporto AV ha richiesto un aggiornamento della precedente Disposizione n.48. Il testo della disposizione n.51 si riferisce esplicitamente al rilevamento delle temperature delle boccole dei rotabili in esercizio sulle AV/AC attrezzate con ERTMS/ETCS L2 e specifica la presenza di analoghi dispositivi di rilevamento della temperatura a bordo di quei convogli che possono, in esercizio superare, i 220 km/h di massima velocità (come previsto dalla Disposizione n. 1/2003 del GI).

  I rotabili con possibilità di velocità massima pari a 300 km/h necessitano di una distanza tra dispositivi RTB di 24 km; le caratteristiche della architettura del sistema RTB di terra si arricchisce, oltre al sistema di segnalamento di terra, anche del collegamento al Sistema di Comando e Controllo della Circolazione (SCC) e, come espresso nella Disposizione n. 48, viene mantenuta la distinzione tra allarme selettivo e non selettivo aggiungendo nel primo caso la distinzione di "allarme caldissimo", "allarme caldo", "allarme relativo".

  Nel testo non è evidente una classifica dei valori di temperatura correlabili alle definizioni qualitative "Caldissimo", "Caldo", "Relativo".

- **Disposizione n. 37 del 10/10/2007 Modifica Disposizione 48/2001 e normativa per esercizio RTF linee RT e linea DD Roma-Firenze [22].**

  Il testo rappresenta una ulteriore modifica alla Disposizione n.48 e una puntualizzazione tecnica rispetto ai contenuti della Disposizione n.51.

La Disposizione fissa i valori limite da rispettare del caso della definizione di allarme termico sulle boccole di un rotabile. Si introduce così la distinzione, nel rilievo dell'RTB di terra, per la misura durante il transito di treni ETR (T_{ass} = 100°C + 0.4 x T_{amb}; T_{rel} = 75°C, 35°C, 35°C) ed altri treni (T_{ass} = 90°C; T_{rel} = 75°C, 30°C, 30°C).

- **EN 15437-1, Railway applications - Axlebox condition monitoring – Interface and design requirements - Part 1: Track side equipment and rolling stock axlebox, March 2009 [17].**

Questa Norma Europea tratta le modalità di esecuzione del monitoraggio della temperatura della boccola tramite dispositivi HABD (RTB) di terra. Il documento è stato sviluppato dal Working Group 35 "Hot Box Detection" del Comitato tecnico CEN 256 Applicazioni Ferroviarie. Il testo definisce i requisiti minimi per l'interfaccia tra l'RTB di terra ed il materiale rotabile, per garantire che il sistema di rilevamento della temperatura delle boccole fornisca una efficace misura. La Norma è strutturata in due Parti.

La Parte 1 stabilisce proprio i requisiti per la misura della temperatura da parte dei dispositivi di terra. I requisiti si basano su norme, pratiche e procedure consolidate da lungo tempo, sviluppate e attualmente in uso da parte delle imprese ferroviarie europee (IF) e dei gestori dell'infrastruttura (GI).

Sono stati applicati i seguenti principi:

a) Il sistema ferroviario richiede regole tecniche per garantire un'interfaccia accettabile tra materiale rotabile e HABD (RTB) lungo la linea.

b) In considerazione della crescente importanza del traffico internazionale, è richiesta la standardizzazione di questa interfaccia.

c) È di particolare importanza che il livello esistente di sicurezza e affidabilità non sia compromesso.

d) Un sistema di coordinate cartesiane, viene utilizzato per definire le dimensioni e le posizioni degli delle superfici appartenenti agli elementi costruttivi che devono essere soggetti a misurazione (X = direzione longitudinale equipollente alla direzione di moto de treno, Y = direzione trasversale, contenuta nel piano del moto del treno, Z = direzione verticale ed ortogonale al piano di moto del treno).

Alcuni materiali rotabili, in funzione delle prestazioni di esercizio loro richieste e della loro struttura di progettazione, sono dotati di apparecchiature di bordo per monitorare le boccole degli assili con il fine di evidenziare potenziali surriscaldamenti. Tuttavia, nella maggior parte dei casi, le boccole degli assili continuano anche ad essere monitorati da apparati installati sul binario (Fig. 18) le cui modalità di misura sono descritte nella stessa norma.

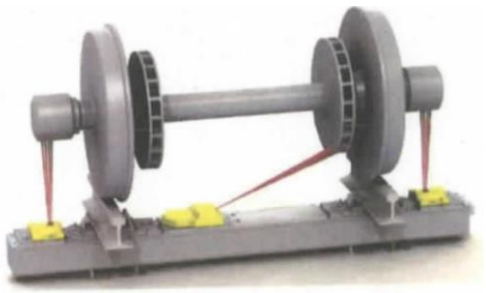


Fig. 18 – Un esempio di apparato RTB di terra per la misura delle temperature delle boccole di rotolamento degli assili e per la misura del surriscaldamento dei dischi freno
(Fonte: Allegato Disposizione n. 17 Novembre 2018, GI)

La Parte 2 della [17], attualmente in fase di sviluppo, comprende il monitoraggio della temperatura a bordo delle boccole degli assili. La tecnologia alternativa è disponibile, o in

fase di sviluppo, per monitorare le condizioni delle boccole, utilizzando sensori di vibrazione, termocoppie, ecc. e in futuro potrà essere indirizzata al completamento della Norma.

I contenuti tecnici della [17] indirizzano alla definizione delle dimensioni dell'area di misura, rilevabile sulla superficie esterna inferiore del contenitore della boccola (area obiettivo). L'estensione di tale area viene impostata nello spazio cartesiano precedentemente definito, con riferimento alle dimensioni dell'assile, e definisce una zona in cui un RTB può stabilire la misura della temperatura. A tale proposito sono evidenziate (Fig. 19) la posizione e le dimensioni minime dell'area obiettivo, usando come sistema di riferimento delle coordinate cartesiane quelle del materiale rotabile.

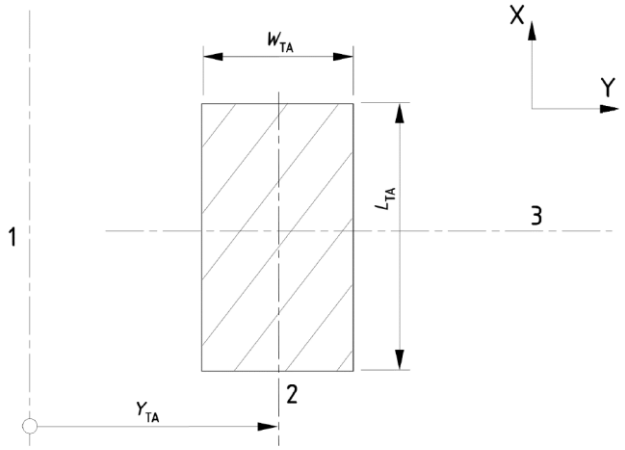


Fig. 19 – Le dimensioni dell'area obiettivo oggetto della misura della temperatura sulla boccola da parte del dispositivo RTB di terra
(Fonte [17])

Considerando le tolleranze meccaniche di variabilità indotte dalle diversità strutturali presenti al variare della tipologia del materiale rotabile:
a) l'area obiettivo deve avere una larghezza laterale, W_{TA}, maggiore o uguale a 50 mm;
b) l'area obiettivo deve avere una lunghezza longitudinale, L_{TA}, maggiore o uguale a 100 mm.

Si noti che se i treni ad alta velocità sono monitorati dagli RTB di terra, la loro area obiettivo dovrebbe avere una larghezza laterale, W_{TA}, maggiore o uguale a 50 mm e una lunghezza longitudinale, L_{TA}, maggiore o uguale a 130 mm. La Norma Europea fissa anche i limiti del centro dell'area obiettivo: Y_{TA} nella direzione laterale (asse Y), misurata rispetto al centro dell'asse (o centro di una coppia di ruote nella stessa posizione) deve essere compresa tra 1065 mm e 1095 mm; la direzione longitudinale (asse X) deve essere congruente con la linea centrale d'asse della superficie.

Il materiale rotabile deve essere progettato senza ostacoli tra l'area obiettivo e l'RTB che possano impedire all'RTB di individuare la zona di misura e conseguentemente di effettuare una misurazione affidabile dello stato termico. Se tale requisito non è rispettato, il materiale rotabile deve essere dotato di un sistema di monitoraggio delle boccole istallato direttamente a bordo.

Di contro la normativa riferisce anche di una zona di misura proibitiva, definita da un'area rettangolare, che include l'area obiettivo ed è estesa verticalmente a formare un parallelepipedo virtuale. Le dimensioni di tale spazio tridimensionale sono L_{PZ} in direzione dell'asse X, W_{PZ} in direzione dell'asse Y e H_{PZ} in direzione dell'asse Z (Fig. 20). Nello schema proposto è evidenziata una possibile posizione dell'area obiettivo nel piano XY all'interno della zona proibita, usando le coordinate di riferimento del materiale rotabile.

Per ridurre al minimo l'eventualità di un rilievo da parte di un RTB, avente come risultato un "falso positivo" (ottenuto misurando una temperatura da elementi costruttivi del

veicolo emettenti calore e distinti dalla boccola), il materiale rotabile deve essere progettato in modo che altre fonti di calore non siano immediatamente adiacenti o direttamente sopra l'area obiettivo. Perché tale effetto sia maggiormente eliminabile, è conveniente che nessun'altra fonte di calore debba essere situata all'interno della zona proibita.

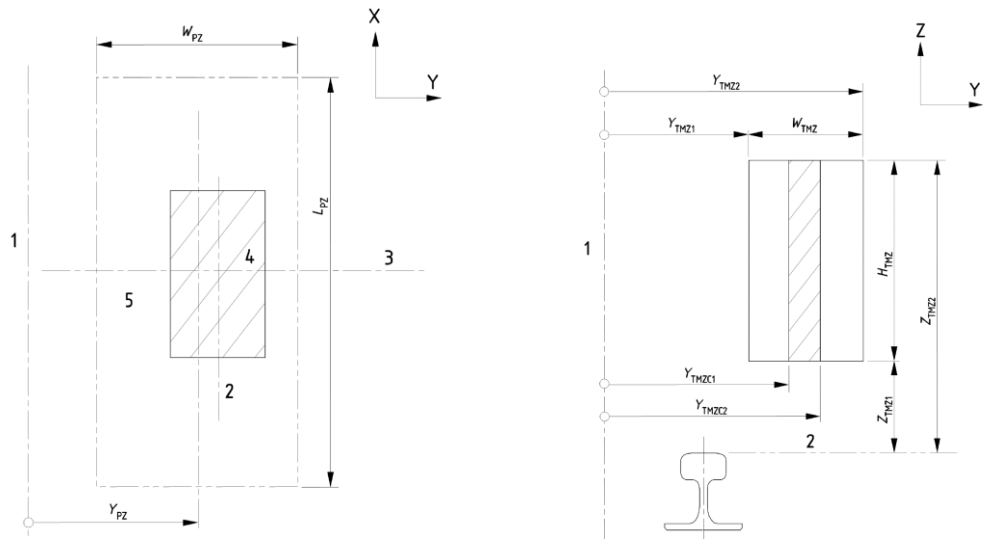


Fig. 20 – Le dimensioni dell'area obiettivo all'interno del solido di misura "proibita" da parte del dispositivo RTB di terra (a sinistra: vista in pianta; 1 asse di simmetria centrale del veicolo, 2 asse di simmetria centrale dell'area obiettivo, 3 asse di mezzeria trasversale dell'area obiettivo, 4 estensione dell'area obiettivo, 5 zona interdetta al posizionamento di altre fonti di calore; a destra: vista frontale; 1 asse di simmetria centrale del veicolo, 2 piano del ferro)
(Fonte [17])

Dagli schemi presenti nella Norma Europea si può dedurre anche la posizione del centro della zona interdetta alla misura nel piano XY definita dalla grandezza Y_{PZ}, nella direzione laterale (asse Y), misurata rispetto al centro dell'assile, pari a 1080 mm ± 5 mm e in direzione longitudinale (asse X), in congruenza con l'asse di simmetria dell'assile con un errore di ± 5 mm.

Pertanto le dimensioni della zona adatta alla misurazione della temperatura, considerando le tolleranze geometriche devono essere:

a) Larghezza laterale, W_{TMZ}, maggiore o uguale a 80 mm, da Y_{TMZ1} = 1040 mm a Y_{TMZ2} = 1120 mm;
b) L'altezza verticale, H_{TMZ}, deve essere di 240 mm, tra Z_{TMZ1} = 260 mm e Z_{TMZ2} = 500 mm.

L'RTB di terra può pertanto analizzare lo stato funzionale della boccola all'interno della zona adatta alla misurazione della temperatura, acquisendo almeno una misura discreta di temperatura all'interno della zona obiettivo.

- **Prescrizione RFI_DTC_A0011_P_2010_3967 del 6_12_2010 Valori soglie di allarmi RTB e RTF per ETR 500_460_470_480_600_610 [23].**

Questa prescrizione del GI emessa nel 2010 conserva l'impostazione tecnica delle precedenti disposizioni ed introduce una diversificazione dei limiti termici accettabili in funzione del materiale rotabile, probabilmente in base anche a quanto suggerito nelle avvertenze di misura nella Normativa Europea.

In questo modo troviamo presente, nella stessa prima serie di materiale rotabile soggetto a misurazione della temperatura delle boccole, l'ETR 600, l'ETR 500 ed l'ETR 610. Per questo materiale rotabile si distinguono:

- l'allarme "Caldissimo" ed "Assoluto", se $T>100°C + 0.4 \times T_{amb}$;
- l'allarme "Caldo", se $T>90°C + 0.4 \times T_{amb}$;
- l'allarme "Relativo", se $T\geq85°C$ con $\Delta T=35°C$.

- **"Elettrotreno ad assetto variabile ETR600 - Manuale Per Il Personale Di Bordo Addetto Alla Condotta M.C. Edizione Dicembre 2008" [11].**

Nel presente volume di formazione del PdC sono descritte le procedure di condotta dell'elettrotreno. Nel capitolo 2.4 "PROVA/ATTIVAZIONE DELL'IMPIANTO DI ASSETTO CASSA", è esposta la modalità di entrata in funzione del sistema di pendolamento del complesso, per velocità superiori a 65 Km/h. Il pendolamento è globale, nel senso che riguarda sia il pendolamento della cassa che quello del pantografo. In caso di accoppiamento di due complessi, il convoglio non presenziato attiva il proprio sistema di pendolamento in maniera sincrona con il comando lanciato dal banco presenziato del treno master.

Il manifestarsi di una avaria viene riportato sulle indicazioni luminose del banco presenziato, completato con i rispettivi messaggi sul monitor di diagnostica. La segnalazione di avaria è disinseribile dal PdC attraverso l'attivazione di un dedicato selettore. Si noti che il manuale pone con estrema attenzione il richiamo al tempo di ripristino fra una disattivazione ed una nuova attivazione: "*occorre lasciar trascorrere un tempo minimo di 5 minuti*". In presenza di un'avaria, anche temperanea, si ha l'accensione della spia rossa ed il contemporaneo spegnimento della spia verde (fig. 21).

Avaria Assetto Cassa: la condizione di conforme funzionalità del dispositivo di Assetto Cassa è accesa la spia verde; per non confromità permanenti o temporanee, si accende la spia rossa: al PdC è indicata la riduzione della velocità dal Rango P al Rango C

Fig. 21 – Estratto del documento "Elettrotreno ad assetto variabile ETR600 - Manuale Per Il Personale Di Bordo Addetto Alla Condotta M.C. Edizione Dicembre 2008" (Fonte: [24]).

La segnalazione acustica (buzzer) si attiva ad intermittenza fino al momento in cui viene tacitata premendo il pulsante rosso. Nel momento in cui cessa l'avaria si ha lo spegnimento della spia rossa, la contemporanea accensione della spia verde e l'attivazione ad intermittenza (solo due impulsi) della segnalazione acustica (buzzer).

- **La norma CEI EN 50126 [19]**

La normativa citata è ad applicazione trasversale rispetto a numerose applicazioni elettriche/elettroniche e costituisce un riferimento necessario nella comprensione dell'ambito regolamentare e di sicurezza in cui opera un apparato RTB di terra. La norma infatti definisce i seguenti concetti:

- Livello di Integrità della Sicurezza (SIL): è la categorizzazione di un insieme definito e discretizzato di livelli caratteristici di un apparato elettrico/elettronico basato sulla specificazione dei requisiti di integrità e delle funzioni da assegnare ai sistemi connessi con la sicurezza. Il valore più alto corrisponde alla valutazione migliore per il livello di integrità della sicurezza.
- Tolerable Hazard Rate (THR) (Indice di pericolo tollerabile): rappresenta il valore di ricorrenza di un pericolo che comporterebbe un livello di rischio accettabile per tale pericolo.

Esiste una relazione tra valori SIL e valori THR ed è sottolineata dalla norma (Tabella 3), secondo i livelli più comunemente accettati e applicati in alcuni settori industriali.

Tabella 3 (Fonte: Lezioni di Veicoli ed Impianti di Trasporto – Sapienza Università di Roma, A.A. 2014-2015)

THR (h^{-1})	SIL
$10^{-9} \leq THR < 10^{-8}$	4
$10^{-8} \leq THR < 10^{-7}$	3
$10^{-7} \leq THR < 10^{-6}$	2
$10^{-6} \leq THR < 10^{-5}$	1

Le informazioni ricevute dalla DiGIFeMa non permettono di conoscere il livello SIL e quindi l'intervallo relativo THR di appartenenza dell'apparato RTB di terra installato sulla sede ferroviaria del GI in linea "AV DD Roma-Firenze".

- **La Norma CEN EN 13715 Railway applications - Wheelsets and bogies - Wheels – Wheels tread 2006 [26]**

Questo standard stabilisce requisiti conformi ai principi adottati dall'Unione Internazionale delle Ferrovie. Esso:

- descrive le regole, i parametri e i metodi di costruzione del profilo del cerchio-ruota;
- definisce la geometria del bordino e la pendenza inversa; gli spessori e l'altezza del bordino della ruota sono determinati dall'impresa ferroviaria in conformità con i documenti normativi in vigore;
- definisce le coordinate e la geometria dei seguenti tre profili di cerchio-ruota pendenza inversa:
  - 1/40 (pendenza inversa del 15%);
  - S1002 (pendenza inversa 6,7%, altro valore utilizzato 15%) in conformità con UIC Leaflet 510-2;
  - EPS (reverse slope 10%) equivalente al profilo P8 del Regno Unito con un bordino avente 30 mm di spessore.

  (Questi tre profili di riferimento sono definiti negli Allegati B, C e D e rappresentano i "profili di origine" dal momento della loro progettazione; le caratteristiche geometriche del bordino della ruota sono state armonizzate in base ad uno spessore di 32,5 mm);
- definisce le tolleranze necessarie per ottenere il controllo della calibrazione, quindi espone le caratteristiche geometriche da seguire in ambito di attività di ripristino del corretto profilo ruota.

Tutte le dimensioni di questo standard sono espresse in millimetri. La misura minima dell'altezza del bordino delle ruote ferroviarie per elettrotreni con diametro nominale di rotolamento superiore od uguale ad 860 mm è 28,00 mm.

- **DECISIONE DELLA COMMISSIONE del 21 febbraio 2008 relativa una specifica tecnica di interoperabilità per il sottosistema «materiale rotabile» del sistema ferroviario transeuropeo ad alta velocità (2008/232/CE) [28]**

Questa Decisione del 2008 sostituisce la Decisione 735/2002, che indirizzava a specifici processi di monitoraggio della temperatura delle boccole. In particolare la Direttiva CE del 2008 recita ne §4.2.3.3.2.1 in relazione ai Treni di classe 1 (materiale rotabile avente velocità massima uguale o superiore a 250 km/h) che:

" Nei treni di classe 1, le condizioni delle boccole devono essere monitorate per mezzo di rilevatori installati a bordo. Tali dispositivi devono essere in grado di rilevare il deterioramento delle condizioni delle boccole tenendo sotto controllo la temperatura o le frequenze dinamiche delle stesse, oppure altre caratteristiche appropriate legate alle condizioni delle boccole. Quando è necessario, i rivelatori devono segnalare la necessità di eseguire gli opportuni interventi di manutenzione e di introdurre restrizioni di esercizio in funzione della gravità del deterioramento rilevato nella boccola.

L'impianto di rilevamento deve essere interamente installato a bordo e deve essere in grado di comunicare i messaggi di diagnosi al macchinista. Le specifiche e il metodo di valutazione per i rilevatori di bordo sono un punto in sospeso.

Per evitare che i treni di classe 1 generino falsi allarmi nell'impianto di rilevamento termico boccole (Rilevatori Temperatura Boccole, RTB) di terra, nei treni di classe 1 non devono essere presenti componenti (al di fuori delle boccole), elementi dei veicoli o prodotti che generino, nell'area di lettura definita al punto 4.2.3.3.2.3, temperature sufficienti ad attivare l'allarme. Nel caso in cui tale eventualità non possa essere esclusa, il componente, elemento o prodotto che potrebbero attivare l'allarme deve essere provvisto di uno schermo fisso che eviti l'attivazione del sistema RTB di terra.

Se tutti i requisiti del punto 4.2.3.3.2.3 sono soddisfatti e se vi è un accordo in tal senso tra tutti i gestori dell'infrastruttura, sulle cui linee è prevista la circolazione del treno, e l'impresa ferroviaria, è ammesso l'interfacciamento delle boccole di treni di classe 1 e il sistema RTB di terra, oltre che con il sistema di rilevamento di bordo. In alternativa, se vi è un accordo in tal senso tra il gestore dell'infrastruttura e l'impresa ferroviaria, è ammesso l'uso delle informazioni degli RTB previa identificazione del treno mediante idonei sistemi di identificazione… OMISSIS"

- **DECISIONE DELLA COMMISSIONE del 30 maggio 2002 relativa alle specifiche tecniche d'interoperabilità per il sottosistema materiale rotabile del sistema ferroviario transeuropeo ad alta velocità di cui all'articolo 6, paragrafo 1, della direttiva 96/48/CE (2002/735/CE) [17] - Abrogata**

La decisione indirizza a specifici processi di monitoraggio della temperatura delle boccole. In particolare nel ne §4.2.11 in relazione alle problematiche di individuazione delle "boccole calde", si trova:

"Sui treni ad alta velocità è necessario rilevare l'aumento di temperatura delle boccole. Questo apparecchio di sorveglianza dev'essere in grado di rilevare un aumento di temperatura nel tempo, in modo da poter individuare aumenti abnormi di temperatura in una boccola. Esso dev'essere in grado di trasmettere messaggi di avviso e di allarme in modo affidabile i quali, se necessario, sono graduati al fine di indurre una riduzione di velocità o un arresto del treno, a seconda dell'entità dell'aumento di temperatura.

Per evitare confusione in caso di allarme boccola calda, il sistema di rilevamento di boccole calde deve essere interamente ubicato a bordo.

Inoltre, si deve tenere conto del fatto che l'apparecchiatura di sorveglianza della temperatura delle boccole è nondimeno installata a terra per controllare i treni non ancora provvisti di tali sistemi a bordo o altri tipi di treni in circolazione sulla linea.

Le apparecchiature a bordo del treno non devono interferire con l'apparecchiatura di controllo della temperatura delle boccole installata lungo la linea sugli itinerari interessati."

3.4. Funzionamento del materiale rotabile e degli impianti tecnici

3.4.1. Sistema di segnalamento e comando-controllo, registrazione da parte di apparecchi automatici di registrazione

Per quanto in riferimento alla registrazione degli eventi avvenuta per mezzo degli enti di linea/piazzale di Stazione "Firenze Castello", la documentazione fornita dal GI precisa che:

- Alle ore 11:10:30 il segnale di protezione n.122 di Firenze Castello ha l'aspetto di GIALLO (KS122_I_G in stato di ON) ed è presente regolare codifica su tutti i circuiti di binario (HRCB122-HRCB123-HRCB124-HRCB125-HRCB126-HRCB127-HRCB160 in stato di ON);
- Alle ore 11:10:53 il treno occupa con il primo asse il primo circuito di binario (n.122) a valle del segnale n.122 (HRCB122 in stato OFF) provocando regolarmente la chiusura del segnale di protezione 122 (KS122_I_G in stato di OFF);
- Alle ore 11:11:33 il treno occupa il successivo cdb (HRCB123 in stato di OFF);
- Alle ore 11:11:43 il treno occupa il successivo cdb (HRCB124 in stato di OFF);
- Alle ore 11:11:47 il circuito di binario n.122 si libera (CB122 in stato di ON);

- Alle ore 11:11:54 il deviatoio n.106 perde il controllo di posizione normale (KD106N in stato di OFF);
- Alle ore 11:11:54 il circuito di binario n.123 si libera (CB123 in stato di ON);
- Alle ore 11:11:55 il treno occupa il cdb 125 (HRCB125 in stato di OFF);
- Alle ore 11:11:57 la comunicazione n.108 perde il controllo di posizione normale (KD108N in stato di OFF);
- Alle ore 11:12:00 il treno occupa il cdb 126 (HRCB126 in stato di OFF);
- Alle ore 11:12:07 la comunicazione n.114 perde il controllo di posizione normale (KD114N in stato di OFF);
- Alle ore 11:12:12 il circuito di binario 125 si libera (CB125 in stato di ON);
- Alle ore 11:12:13 il treno occupa il cdb 127 (HRCB127 in stato di OFF);

Dalle ore 11:12:13 cessano le registrazioni relative all'itinerario percorso dall'ES8510. Per completezza, si riassume lo stato finale degli enti di circolazione della stazione dopo tale orario:

- Assenza controllo posizione normale deviatoio 106 e comunicazioni 108 e 114;
- Controllo posizione normale deviatoio n.110;
- Circuiti di binario 122-123-125 liberi;
- Circuiti di binario 124-126-127 occupati;
- Circuito di binario 160 libero con codifica in atto;
- Segnale 122 a via impedita.

3.4.2. Infrastruttura

Per quanto attiene allo stato di manutenzione, conservazione funzionale ed operativa dell'infrastruttura, si apprende dal GI che nelle settimane n. 44 e n. 45 del 2017, sul binario pari AV della Linea di transito interna alla Stazione di "Firenze Castello" sono state svolte attività di manutenzione ordinaria (verifica dei circuiti di binario e misure delle quote dei deviatoi) e di verifica lungo la linea, con il personale, delle barriere antirumore presenti sulla tratta tra le Stazione "Firenze Castello" e la Stazione "Firenze Rifredi".

In particolare il GI ha informato DiGIFeMA sulle attività manutentive effettuate sui dispositivi RTB della Direzione Territoriale Produzione di Firenze (binari pari e dispari), riferite a condizioni di attività "ciclica" (tipo Ordine di Lavoro 212) e ad attività "On condition" (tipo Ordine di lavoro 221). Dalle operazioni manutentive è individuabile anche un estratto di attestazione di manutenzione ordinaria aperto a seguito di avaria (Tipo 100) nel 2016.

La manutenzione ordinaria degli RTB si basa su un ciclo di manutenzione standard con frequenza annuale che prevede le operazioni fissate dal relativo Piano Manutentivo, eseguite da azienda esterna al GI. Il GI stesso infine sottolinea che il giorno 20 ottobre 2017 si è proceduto alla "sostituzione sonda temperatura" appartenente all'apparato di misura della temperatura delle boccole dell'RTB posizionato al km 224+022 delle Linea "DD AV Roma-Firenze".

3.4.3. Apparecchiature di comunicazione

P.M.

3.4.4. Materiale rotabile, registrazione da parte di apparecchi automatici di registrazione

Il treno ETR600.004 alla data dello svio ha accumulato una percorrenza di più di tre milioni di km, regolarmente assistito da programmate (ordinarie e on condition) attività di manutenzione, come si evince dalle informazioni rilasciate dalla IF alla DiGIFeMa. L'ultima tornitura dei profili ruota, segnalata dalla IF, è stata eseguita nel maggio del 2017.

L'attività di ingrassaggio delle boccole è stata effettuata nel febbraio 2017 mentre l'ultimo controllo al medesimo dispositivo è stato registrato nel successivo mese di giugno. Infine il materiale rotabile ETR600.004 è stato oggetto nell'ottobre 2017 a visita ispettiva di controllo, a sostituzione dell'assile n. 2 (n. 23 in composizione all'ES8510) alla quale è stata applicata attività di verifica strutturale con dispositivo ad ultrasuoni.

L'assile US 9580812 è stato installato in data 04÷06 febbraio 2016 in sostituzione dell'elemento US 9577420. La percorrenza di tale nuovo assile è stata valutata dalla IF in 755.751 km. L'intervento è stato eseguito nell'ambito di un piano di revisione, concordato tra la IF e l'Operatore della manutenzione, su assili che presentavano non conformità su dispositivi di rotolamento dei ponti di trasmissione della trazione.

In particolare la storia d'esercizio dell'assile sviato può essere riepilogata come segue:

- installazione dell'assile sulla vettura n. 6 in data 04-06 febbraio 2016;
- ultimo ingrassaggio boccola come da PM a 600.000 km in data 22 febbraio 2017;
- ultima tornitura dei profili trasversali delle ruote eseguita in data 15 maggio 2017;
- ultimo controllo ultrasonico effettuato in data 23 settembre 2017.

Il piano manutentivo dell'ETR600.004 di 2° livello prevede le seguenti attività: VIS ad intervalli di 1.250.000 km ed seguita sul complesso 004 in data 03/06/ 2012; RO a 2.500.000 km ed eseguita in data 11/09/2015. Il complesso attualmente segnala 926907 km di percorrenza dall'ultima RO; RG a 5.000.000 km e non ancora maturata.

Il piano manutentivo di l° livello prevede le seguenti attività: VT ad intervalli di 7.500 km e l'ultima è stata eseguita in data 06/11/2017; VI ad intervalli di 30.000 km e l'ultima è stata eseguita in data 16/10/2017; RT ad intervalli di 60.000 km e l'ultima è stata esegui a in data 25/09/2017.

3.5. Documentazione del sistema di esercizio

3.5.1. Provvedimenti adottati dal personale per il controllo del traffico ed il segnalamento

L'inizio dello svio dell'assile anteriore appartenente al carrello posteriore della vettura n. 6 dell'ETR 600.004, transitato dal Binario IV della Stazione "Firenze Rifredi" e diretto verso Bologna, è avvenuto al km 4+102 della linea "Firenze Rifredi - Firenze Castello (AV)", in ambito Stazione "Firenze Castello", sul II Binario di corsa pari. A causa dello svio, come descritto in precedenza, sono risultati danneggiati i deviatoi, intersezioni e sede ferroviaria della linea, dal segnale di protezione S122 (km 4+068) fino al km 5+100 circa all'interno della Stazione.

L'attivazione del Piano per le Emergenze ha prodotto alle ore 12:05 la percorribilità con fermascambiatura per la posizione normale di alcuni deviatoi, permettendo quindi il movimento in ingresso nella Stazione "Firenze Castello", corridoio AV, dei treni dispari, sebbene in condizione di esercizio con prescrizioni. Il processo di riattivazione degli apparati di deviazione degli itinerari è continuato per tutta la giornata. Alle ore 13:10 l'ES8510 è stato affiancato dalla "riserva calda" (treno 31876 sul I Binario dispari AV proveniente dalla Stazione "Firenze Campo di Marte") ed è iniziata l'attività di trasbordo dei passeggeri, terminata alle ore 13:55 circa. Alle ore 14:10 il treno 31876 con i passeggeri trasbordati è partito, raggiungendo la connessione in località "Piero a Sieve", da dove è proseguito sul binario di legale AV fino a Bologna. Alle ore 14:45 in seguito al transito del treno ES9567, è stato interrotto il binario dispari per consentire i rilievi dell'Autorità Giudiziaria.

In contemporaneità, la Stazione "Firenze Castello" è stata raggiunta dal carro attrezzi, attivato per la rimozione del treno ES8510. Alle ore 19:45 sono terminati i rilievi da parte dell'Autorità Giudiziaria ed alle ore 20:55 il binario dispari è stato disconnesso dall'alimentazione elettrica per permettere le operazioni di riposizionamento e immobilizzazione del treno ES8510 sul binario. Alle ore 22:00 sono stati demoliti alcuni deviatoi ed intersezioni in ambito Stazione "Firenze Castello".

Le operazioni di ripristino della posizione plano altimetrica del binario dispari sono state concluse alle ore 23:00.

Alle ore 07:00 del giorno 10 novembre 2017 si sono concluse le attività di "rialzo" del treno ES8510 ed il riposizionamento degli assili sviati sul binario. Alle ore 08:00 sono stati riattivati il binario dispari, ed è stata attivata l'elettrificazione dei circuiti di binario nella zona dello svio e nelle zone precedentemente disalimentate. Tuttavia il binario pari ed i cdb interessati dal transito degli assili sviati del treno ES8510 sono rimasti disalimentati. Le informazioni testé riportate sono state apprese dalla DiGIFeMa mediante lettura del Primo Rapporto Informativo [15] e dalla Relazione Informativa [16] emesse dal GI.

3.5.2. Scambio di messaggi verbali in relazione all'evento

Il primo avviso ha riguardato una chiamata di emergenza per incidente su linea ferroviaria. A tale comunicazione hanno fatto seguito gli avvisi da parte del GI e previsti dalla regolamentazione vigente.

Le comunicazione verbali e attraverso moduli predisposti dalle procedure interne del GI e della IF, hanno riguardato l'avviso esteso da parte del PdC al DCCM della Stazione "Firenze Campo di Marte" relativo all'avvenuto svio del secondo carrello (s.m.t.) in località Stazione "Firenze Castello".

Il GI ha diramato ad ANSF e a DiGIFeMa il "Primo Rapporto Informativo [15] e la Relazione Informativa [16] in merito all'evento, fornendo primarie ed iniziali evidenze e indicazioni sulla dinamica, le cause e gli effetti dell'accadimento.

3.5.3. Provvedimenti adottati a tutela e salvaguardia del sito dell'evento

Provvedimenti a tutela del sito dell'evento sono stati adottati durante le attività di ispezione da parte dei tecnici intervenuti per il GI, per la IF, per l'Autorità Giudiziaria. L'esercizio di circolazione che impegna itinerari percorsi dal rodiggio sviato sulla linea in approccio ed all'interno della Stazione di "Firenze Castello", è stato protetto ed interdetto per permetterne la ristrutturazione della sede ferroviaria (binario ed apparecchi di piazzale).

Sul luogo dell'evento non sono stati applicati protocolli di salvaguardia della sanità pubblica o dell'ambiente in quanto il materiale rotabile sviato non trasportava agenti inquinanti o merci chimicamente pericolose.

3.6. Interfaccia uomo-macchina-organizzazione

3.6.1. Tempo lavorativo del personale coinvolto

La DiGIFeMa non è a conoscenza di risultanze lavorative, riferibili al personale presente a bordo del treno ES8510 a vario titolo, che possano aver influenzato l'evento di svio. Dalle informazioni fornite dalla IF non è verificabile lo stato di servizio del PdC relativo alla quantificazione dei turni lavorativi e di riposo.

3.6.2. Circostanze personali e mediche che possono aver influenzato l'evento

Come precedentemente esposto, la documentazione sanitaria non reca avvisi di non conformità relativi allo stato sanitario del PdC, che ha eseguito regolari e periodiche visite mediche (Medicina del Lavoro - Certificato di idoneità D.Lvo. 81/08 - Visita Periodica: nessuna non conformità). Dalle informazioni sanitarie comunicate a DiGIFeMa dalla IF, non si ha evidenza di

eventuali ed ulteriori circostanze personali, riferibili a tutto il personale (PdC e PdB) presente sul treno ES8510, che possano aver influito sulla genesi dell'incidente.

3.6.3. Architettura degli impianti aventi un'incidenza sull'interfaccia uomo-macchina

L'analisi delle registrazioni degli eventi estratti dai dispositivi di bordo preposti (Estratto Lettura ed interpretazione ZTE ES8510 del 09/11/2017 ETR 600.004) ha evidenziato (Fig. 22) sul quadro di guida avvisi di avaria del sistema di gestione dell'assetto (comportamento cinematico e dinamico) di una o più vetture del treno. Tali avvisi, ripetuti più volte, hanno indotto il PdC a tacitare il servizio di avaria "Assetto Cassa" e la relativa funzione di monitoraggio continuativo.

- Ore: 9:49,08 - Il treno parte dalla stazione di Roma Termini tutti i sistemi risultano regolarmente funzionanti nessun allarme risulta attivo.
- Ore : 10:06,12 - Il treno raggiunge la velocità massima 250 Km\h sulla linea DD nei pressi della località Sant' Oreste tutti i sistemi risultano regolarmente funzionanti nessun allarme risulta attivo.
- Ore: 10:53,27 - Il treno viaggia alla velocità di 249 Km\h il sistema "Assetto Cassa" risulta non funzionante.
- Ore: 10:54,27 - Il treno viaggia alla velocità di 224 Km\h il sistema "Assetto Cassa" torna in funzione.
- Ore: 10:55,46 - Il treno viaggia alla velocità di 184 Km\h il sistema "Assetto Cassa" risulta non funzionante.
- Ore: 10:55,49 - Il treno viaggia alla velocità di 181 Km\h l'Adc disinserisce il sistema "Assetto Cassa".
- Ore: 11:02,00 - Il treno è fermo nella stazione di Firenze Campo Marte per servizio viaggiatori.
- Ore: 11:03,25 - Il treno riprende la marcia dalla stazione di Firenze Campo Marte.
- Ore: 11:07,55 - Il treno transita dalla stazione di Firenze Rifredi percorrendo un itinerario deviato per una velocità massima di 60 Km/h presentandosi al segnale di partenza di Firenze Rifredi.

Fig. 22 – Estratto della registrazione eventi di esercizio di bordo treno
(Fonte: Estratto Lettura ed interpretazione ZTE ES8510 del 09/11/2017 ETR 600.004).

Il treno ES8510 sulla linea "AV DD Roma-Firenze" è abilitato alla marcia in Rango P (è possibile riepilogare: per il Rango A si ammette una velocità V<140 km/h, per il Rango B si accetta una velocità di V<160 km/h ed infine per il Rango C si ha la limitazione alla velocità V<250 km/h). La condizione di circolazione a Rango P permette di assumere velocità modificabili (non superiori a quelle del Rango C) in funzione dell'accelerazione non compensata dettata dalla geometria del tracciato (fondamentalmente dalla estensione del raggio di curva e dall'entità del sopralzo applicato al binario) e dalla particolare movimentazione delle masse sospese, permessa dal dispositivo di pendolamento della carrozza (il treno ETR600 è materiale rotabile dotato di dispositivo di pendolamento o ad assetto variabile del corpo vettura).

L'indagine evidenzia un comportamento conforme (Allegato 1 sezione 3, "Avarie diverse che necessitano di provvedimenti tecnici immediati") a quanto prescritto nel manuale [24], da parte del PdC, da porre in attuazione in caso di segnalazione di "Avaria Assetto Cassa". Si ricorda che tale evento è stato memorizzato dal dispositivo ZTE di bordo. Il manuale per tale avviso di avaria prevede la riduzione della velocità del rotabile dalla condizione di Rango P ad una condizione di marcia con Rango immediatamente inferiore (cfr. Fig. 21). Poiché il Rango P (accelerazione non compensata trasversale non superiore ad 1.8 m/s^2) ed il Rango C divergono nei valori delle velocità di marcia solo per condizione di transito su tracciati di curva, in funzione del recupero di una aliquota della accelerazione non compensata ed in piena efficienza del sistema di pendolamento (così come espresso da Art. n.63 "Velocità Massima Ammessa dalla linea", in [12]), la richiesta riduzione comporta l'acquisizione del Rango C di circolazione (accelerazione non compensata trasversale non superiore ad 1.0 m/s^2).

Questa impostazione di marcia, per quanto evidenziato nelle registrazioni degli eventi di bordo, è stata attuata con una prima riduzione a 224 km/h, con una seconda riduzione a 184 km/h, con una terza riduzione a 181 km/h, ed al termine con l'esclusione dell'avviso di avaria "Assetto Cassa", così come prescritto in [30]. Tale azione ha reso il treno non più soggetto alle condizioni di marcia di Rango P ma a quelle di Rango C.

3.7. Eventi precedenti dello stesso tipo

Dalla analisi della Banca dati Incidentale DiGIFeMa emergono eventi di incidenti che coinvolgono lo stato di manutenzione del materiale rotabile. Tuttavia la particolarità delle cause individuate mediante l'attività investigativa della DiGIFeMa non permette il riconoscimento di eventi incidentali similari.

4. Analisi e conclusioni

4.1. Resoconto finale della catena di eventi

Quanto descritto nella presente Relazione di Indagine è ipotizzato in base all'analisi delle informazioni tecnico-normative e dei dati memorizzati, estratti ed interpretati dalla IF (lettura delle registrazioni del Dispositivo di Memorizzazione degli Eventi di Bordo), dal GI (lettura dei dati di registrazione degli apparati RTB di terra e di controllo della circolazione), dalle attività di ispezione sull'infrastruttura e sul materiale rotabile, eseguite dai funzionari e dall'Investigatore Incaricato della DiGIFeMa, e dalle informazioni ottenute mediante incontri tecnici con i suddetti OF e con il Costruttore dell'apparato di misura RTB di terra.

Il giorno 09 novembre 2017, il treno ES8510, formato con materiale ETR600.004, inizia alle ore 09:49 il servizio di trasporto passeggeri, con partenza dalla Stazione "Roma Termini", destinazione Stazione "Bergamo" ed arrivo previsto per le ore 14:20 circa. L'itinerario del vettore prevede l'uscita dalla sezione urbana della Capitale e l'immissione sulla linea "AV DD Roma-Firenze". L'elettrotreno ETR600 è materiale rotabile dotato di dispositivo di variabilità dell'assetto (angolo di inclinazione) della cassa (corpo vettura). La circolazione di materiale rotabile con vetture ad assetto variabile è sulla maggior parte delle tratte della linea "AV DD Roma-Firenze" fissata al Rango P (limite alla accelerazione non compensata pari a 1.8 m/s^2) e sulle rimanenti tratte al rango C di velocità (limite alla accelerazione non compensata pari a 1.0 m/s^2).

Durante il viaggio, in cabina di guida, al PdC dell'ES8510 non è stata segnalata alcuna avaria ai dispositivi di rotolamento degli assili (boccole), mentre i dispositivi RTB di terra, dislocati sulla linea, registravano un continuo innalzamento della temperatura della boccola destra dell'assile n. 23 (s.m.t.). Il materiale rotabile ha raggiunto una velocità massima di 249 km/h, prima di diminuire fino a 181 km/h in approccio alla Stazione di "Firenze Campo di Marte", per segnalazione di avaria "Assetto Cassa", tacitata in seguito dal PdC.

L'ES8510 ha ripreso il viaggio alle ore 11:03 dalla Stazione "Firenze Campo di Marte". Durante il transito presso il segnale di protezione della Stazione "Firenze Castello", in corrispondenza dell'inizio della "Bretella di Scavalco", avvengono la frattura ed il distacco del fusello dal relativo assile n.23 della vettura n. 6 che perde dal carrello il dispositivo boccola, la struttura di supporto alla sospensione primaria e tutti gli elementi strutturali relativi al collegamento di questo complesso con il telaio del carrello.

L'assile n.23, non più correttamente sostenuto sulla parte destra del carrello e mancante di fusello, svia con la ruota destra all'esterno del binario (nell'intervia) e la ruota sinistra all'interno del binario. Tracce di tale dinamica sono state rilevate nella immediatezza dell'evento, per ispezione della sede ferroviaria. Il treno continua il suo transito in assenza di segnalazione di avaria in cabina per il PdC. L'assile sviato urta ripetutamente apparecchi di gestione degli itinerari installati nell'ambito della Stazione "Firenze Castello" (deviatoi, casse di manovra, comunicazioni).

È probabile che durante questa fase, l'urto dell'assile sviato contro una comunicazione abbia imposto all'assile stesso l'inversione della posizione di svio rispetto all'asse del binario (l'assile si porta con la ruota destra dall'esterno del binario al suo interno e con la ruota sinistra dall'interno all'esterno del binario). Gli urti degli elementi di trasmissione della trazione e della frenatura (documentati fotograficamente da evidenti abrasioni, (cfr. Fig. 10A, Fig. 10 B, Fig. 10C, Fig. 10 D) determinano lo svio anche del secondo assile dello stesso carrello (assile n. 24 s.m.t.), l'attivazione del freno a molla e il conseguente inizio di arresto forzato.

Tale condizione geometrica, acquisita dagli assili (n. 23 e n. 24 s.m.t.) del secondo carrello appartenente alla cassa n.6 (s.m.t.), viene evidenziata, a treno completamente arrestato (ore 11:12) in prossimità dell'FV della Stazione "Firenze-Castello" dalla ispezione visiva del PdC.

4.2. Discussione

L'investigazione DiGIFeMa, mediante attività ispettiva sull'infrastruttura e sul materiale rotabile e confronti tecnico-normativi con i referenti del GI, della IF, con i funzionari di ANSF e con i tecnici del Costruttore dell'apparato RTB di terra, ha individuato cause dirette ed indirette relative all'evento.

A tali cause sono state abbinate tre osservazioni aggiuntive che, sebbene non abbiano avuto influenza nella genesi del particolare evento, di cui alla presente indagine, possono costituire spunti di riflessione per il miglioramento continuativo della sicurezza di marcia dei rotabili ferroviari.

Quindi, sulla base della individuazione di cause dirette, indirette connesse all'evento ed osservazioni aggiuntive, sono state elaborate e proposte alcune raccomandazioni di sicurezza.

4.2.1. Analisi riguardanti la causa diretta dell'evento

La causa diretta dello svio è la frattura e la conseguente separazione del fusello dal corpo dell'assile n. 23 (identificativo US9580812), appartenente al secondo carrello installato sulla vettura n. 6 dell'ES8510 , s.m.t. Si ipotizza che la frattura sia stata prodotta per attività di intaglio dal contatto dell'assile sulla struttura di supporto al dispositivo boccola/sospensione primaria, a seguito di distruzione del dispositivo boccola (capsula di rotolamento con cuscinetti a rulli tronco-conici mantenuti in sede mediante anelli di contenimento e disco di bloccaggio) relativo all'accoppiamento con il fusello (cfr. Fig. 2).

Il deterioramento della boccola (elementi costruttivi rinvenuti in quasi totale disintegrazione) ha reso irrealizzabili analisi comparative con altri dispositivi similari, per una eventuale valutazione dello stato funzionale ed operativo del dispositivo antecedente all'evento.

Le informazioni fornite dalla IF attestano che l'assile n. 23 (Resoconto Di Prova ND09 n.52 del 23 Settembre 2017) risulta essere stato sottoposto ad attività di verifica della integrità strutturale mediante esame ultrasonico.

L'analisi della porzione di fusello (cfr Fig. 15A, Fig. 15B, Fig. 15C, Fig. 15D), divelta durante l'evento di svio, conduce ad ipotizzare una non conformità nella procedura di assemblaggio del dispositivo boccola con il disco di bloccaggio (reggispinta trasversale) dell'assile.

Le acquisizioni fotografiche mostrano sul fusello l'assenza totale di dispositivi di blocco (rosette di sicurezza antisvitamento), una prima vite di collegamento del disco di bloccaggio della boccola parzialmente fuoriuscita ed inflessa sulla zona mediana della filettatura), la porzione di una seconda vite ancora in sede e la totale assenza della terza vite. Il bordo cilindrico del fusello appare usurato per rotazione e martellamento da parte del disco di bloccaggio (cfr. Fig. 15A): si ipotizza allora che le viti abbiano avuto libertà di auto-estrazione. La presenza di una porzione di vite, ancora in sede e spezzata a livello di fine della filettatura del foro (cfr. Fig. 15C), induce altresì ad ipotizzare che l'accoppiamento tra boccola e disco di bloccaggio sia stato assicurato inizialmente da tutte le viti, due delle quali, durante il servizio del 9 novembre 2017, abbiano avuto la possibilità di annullare la loro funzione estraendosi dalle rispettive sedi (fori filettati). Infatti il foro, rinvenuto completamente libero (cfr Fig. 15D), possiede una filettatura praticamente integra. Analoga condizione geometrica è rilevata sulla prima vite (mancante di testa), rimasta nel foro ma parzialmente sollevata ed avente anch'essa filettatura sostanzialmente integra. È possibile reputare che l'inflessione sul tale vite possa essere stata causata da sollecitazioni di trattenimento in sede del disco di bloccaggio, in condizioni degradate e causate da un moto oscillatorio dell'assile, non più assicurato in corretta posizione di rotolamento. È altresì possibile stimare che il distacco del disco di bloccaggio dal fusello sia stato preceduto dallo spezzamento (cfr Fig. 15B) della seconda vite (parzialmente rimasta internamente al foro).

Cinematicamente, l'assenza del collegamento non più attuato dalle tre viti, probabilmente ha lasciato libertà di moto rotatorio allo stesso disco, in oscillazione trasversale e verticale dell'assile, inducendo il fusello ad ammalorare fino a distruzione i componenti della capsula di rotolamento della boccola.

In assenza della struttura della boccola si può ipotizzare un iniziale contatto tra fusello e struttura di supporto alla sospensione primaria e lo sviluppo di un'attività di intaglio che ha originato la frattura in corrispondenza della sezione geometrica del fusello a cui sono seguiti il distacco dell'intera struttura di supporto della sospensione primaria (molle e biellette di collegamento con il telaio del carrello), del fusello e degli elementi ad esso funzionalmente connessi.

In tali condizioni, l'assile n. 23 è sviato, risultando non più supportato e mantenuto in corretta posizione su una estremità (fusello destro). La ruota destra (s.m.t) ha sormontato la relativa rotaia, ricadendo sulla massicciata presente nell'interbinario, e la ruota sinistra è scivolata all'interno del binario.

4.2.2. Analisi riguardanti le cause indirette dell'evento

La prima causa indiretta dell'evento è lo svolgimento non conforme dell'attività di manutenzione sulla boccola, effettuata al termine della verifica strutturale non distruttiva dell'assile n. 23 in composizione all'ES8510 s.m.t. Tale causa è stata anche rilevata dall'IF, che ha effettuato azioni immediate di controllo sulla flotta e l'introduzione di nuovi provvedimenti interni normativi e tecnici. L'indagine DiGIFeMa, mediante ispezione sul materiale rotabile, ha evidenziato elementi che confermerebbero un non conforme assemblaggio, avvenuto mediante collegamento filettato, del disco di bloccaggio della boccola alla estremità del fusello destro (s.m.t.) dell'assile n. 23.

La seconda causa indiretta è l'assenza di segnalamento di avaria sul sistema di monitoraggio dello stato funzionale ed operativo termo-meccanico della boccola (definito dalla IF come "sistema ridondato"), durante il viaggio del giorno 9 novembre 2017, ma registrato dagli apparati di diagnostica installati sul treno. In tali registrazioni, memorizzate dal dispositivo di monitoraggio degli eventi di bordo (estratto, lettura ed interpretazione della "Zona Tachigrafica Elettronica – ZTE" ES8510 del 09/11/2017 ETR 600.004) durante il periodo di esecuzione del servizio passeggeri in linea, sono assenti segnalazioni di avarie termiche in cabina di guida.

La DiGIFeMa non ha ricevuto la documentazione relativa a test funzionali ed operativi di tale apparato di sorveglianza delle avarie termiche alle boccole, svolti da parte della CTU operante per l'Autorità Giudiziaria. Tuttavia, le informazioni disponibili hanno comunque permesso di puntualizzare che il citato sistema in cabina di guida fosse tecnicamente inattivo.

Tale considerazione discende dalla lettura delle registrazioni del dispositivo di memorizzazione degli eventi di diagnostica, le quali hanno evidenziato che, durante le ultime ore di esercizio del giorno 08 novembre 2017 ed l'inizio del servizio del giorno 09 novembre 2017, si sono manifestate:

- avarie sul sistema di misura dei dati termici acquisiti dai dispositivi posizionati sulle boccole (termocoppie, denominate Sensore di Temperatura);
- avarie dei dispositivi di elaborazione dei medesimi dati (centraline di gestione dei dati di temperatura in forma di segnale digitale, denominate SUH) installati sul materiale rotabile (Fig. 23).

Flotta	Complesso	Carrozza	Nro Treno Comm.le	ID Evento	System Id	Data	Descrizione Evento	Priorità	Velocità	Posizione	temperatura boccola 1 veicolo 6	temperatura boccola 2 veicolo 6	temperatura boccola 3 veicolo 6	temperatura boccola 4 veicolo 6
ETR600	004	CD6	0000000	3874	25	09/11/2017 0.43.45	Sensore di temperatura 2 carrello 1 boccola 4 in avaria	A	0	BIVIO TIBURTINA	18	20	21	20
ETR600	004	CD6	0000000	3870	25	09/11/2017 1.33.56	Avaria SUH11	A	0	BIVIO TIBURTINA	0	0	0	0
ETR600	004	CD6	0000000	3874	25	09/11/2017 1.33.56	Sensore di temperatura 2 carrello 1 boccola 4 in avaria	A	0	BIVIO TIBURTINA	0	0	0	0
ETR600	004	CD6	0000000	3870	25	09/11/2017 8.29.55	Avaria SUH11	A	0	B.PORTONACCIO	0	0	0	0
ETR600	004	CD6	0000000	3874	25	09/11/2017 8.29.55	Sensore di temperatura 2 carrello 1 boccola 4 in avaria	A	0	B.PORTONACCIO	0	0	0	0
ETR600	004	CD6	0000000	3870	25	09/11/2017 9.33.39	Avaria SUH11	A	0	ROMA TUSCOL.(1.77 km. da)	0	0	0	0
ETR600	004	CD6	0000000	3874	25	09/11/2017 9.33.39	Sensore di temperatura 2 carrello 1 boccola 4 in avaria	A	0	ROMA TUSCOL.(1.77 km. da)	0	0	0	0
ETR600	004	CD6	0008510	3897	25	09/11/2017 10.01.05	Avaria SUH12	A	222	MONTEROTONDO(5.43 km. da)	23	23	22	0

Fig. 23 – Estratto della registrazione degli eventi, dei dati e delle avarie effettuata dal dispositivo di diagnostica di bordo dell'ETR600.004: sono rilevate ripetizioni degli avvisi di guasto sulle termocoppie (sensori di misura della temperatura delle boccole) e sui dispositivi elettronici (centraline SUH) di elaborazione e gestione ed invio dei dati di avviso di probabile avaria termica in cabina di guida al PdC
(Fonte: Estratto dati diagnostici di bordo treno temperatura boccole carrello 1 vettura 6; si noti che il citato carrello 1 identifica il carrello sviato, identificato con il n. 23 nella presente relazione).

Gli avvisi di avaria segnalati dal sistema di diagnostica di bordo non sono stati oggetto di analisi immediata da parte del personale della IF perché non considerati nel Piano della Manutenzione previsto per il treno in quella sede (Procedura di Interfaccia – Fornitura del servizio di manutenzione programmata e correttiva dei rotabili ETR600).

Queste evidenze tecniche indicano che i due sistemi di monitoraggio della sicurezza termica delle boccole degli assili (dispositivi di registrazione ZTE e di diagnostica di bordo), appaiono tecnologicamente disgiunti. Le informazioni a disposizione della DiGIFeMa in merito alla funzionalità logica di acquisizione dei dati, indicano una duplicazione solo di alcuni dispositivi della catena di misura, non assicurando la completa "ridondanza" del sistema di sorveglianza termica sulle boccole. L'assenza di tale caratteristica ha reso di fatto impossibile la segnalazione delle avarie, effettive o incipienti, al PdC durante il servizio di trasporto.

4.2.3. Analisi riguardanti le osservazioni aggiuntive

Alle cause dirette ed indirette possono essere correlate tre osservazioni aggiuntive emerse durante l'attività investigativa.

La prima osservazione riguarda l'elaborazione dei dati di misura dell'apparato di Rilevamento della Temperatura delle Boccole (RTB) installato sulla sede ferroviaria della linea "AV DD Roma-Firenze". Sulla base delle informazioni apprese mediante colloqui tecnici con i rappresentanti del GI e del Costruttore del dispositivo di misura, è emersa una singolarità nella post-elaborazione (rivalutazione e modifica) delle misure acquisite dall'RTB di terra eccedenti i limiti di normativa [23]. Tale osservazione, basata anche sulla lettura della Normativa Europea pertinente [17,26] porta a suggerire un riesame delle modalità di selezione automatica (implementate nei codici di gestione degli apparati RTB di terra) degli avvisi di avaria termo-meccanica.

Gli apparati RTB disposti sulla linea "AV DD Roma-Firenze" registrano le misure di temperatura delle boccole per ogni transito di treno. È stato possibile allora tracciare l'evoluzione del comportamento operativo del dispositivo RTB, collocato sulla progressiva km 224+022 in località "PC Renacci", ultimo apparato di misura termica delle boccole, precedente la Stazione "Firenze Campo di Marte".

Questi valori sono stati analizzati al variare della tipologia di treno in servizio di trasporto passeggeri il giorno 09 novembre 2017. L'analisi ha evidenziato un sostanziale comportamento dei rotabili ferroviari, in transito sulla linea, nei limiti termici imposti dalla normativa (fig. 24).

Un "focus" particolare è stato dedicato anche alla analisi delle misure termiche rilevate da tutti gli apparati RTB di terra, dislocati sulla sede ferroviaria della linea "AV DD Roma-Firenze" per tutti gli assili dell'ES8510 (Fig. 25).

Dall'analisi dei dati emerge un comportamento regolare, nei limiti termici espressi dalla prescrizione di esercizio di riferimento, di tutte le boccole degli assili appartenenti al treno ES8510,

ad esclusione del n. 23, appartenente al secondo carrello (s.m.t.) della vettura n. 6 in composizione. Per tale assile si nota un incremento nel valore della misura della temperatura della boccola destra fin dal transito in corrispondenza del primo dispositivo RTB di terra posto sulla sede ferroviaria.

La boccola destra dell'assile n. 23 dell'ES8510, all'avanzare lungo la linea, rivela temperature misurate dagli apparati RTB di terra rispettivamente di

- 46°C (RTB km 53+254),
- 44 °C (RTB km 85+538),
- 59 °C (RTB km 121+318),
- 64 °C (RTB km 148+300),
- 68 °C (RTB km175+679),
- 69°C (RTB km 202+707),
- ***19 °C (RTB km 224+022), in sostituzione del valore 125 °C effettivamente rilevato.***

L'ultima misurazione risulta in evidente controtendenza con i dati che compongono la "storia termica" della boccola stessa.

Questo aspetto è stato oggetto di interesse tecnico da parte dell'indagine DiGIFeMa ed ha necessitato di approfondimenti e d'informazioni integrative da parte del GI e del Costruttore. La misura di 19 °C, relativa alla temperatura della boccola destra dell'assile n. 23, deriverebbe dalla esecuzione di un algoritmo implementato sugli RTB di terra, che tende a verificare la correttezza della posizione e delle dimensioni geometriche della zona di misura, identificata sulla superficie inferiore del corpo boccola.

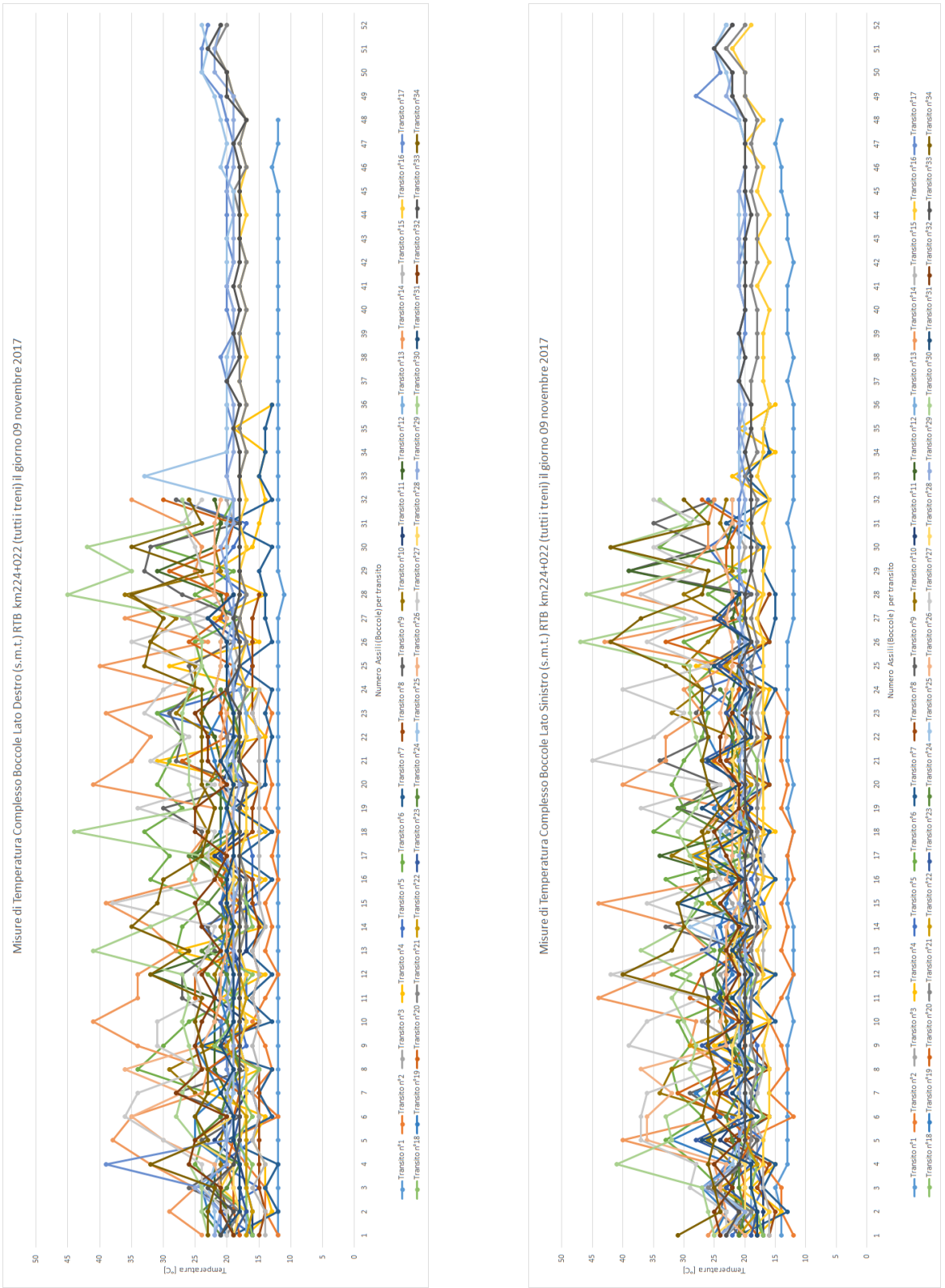


Fig. 24 – Misure di temperatura delle boccole relative ai treni in transito in corrispondenza del dispositivo RTB km 224+022 il giorno 09 novembre 2017: temperatura per assile (boccola destra, diagramma a sinistra e boccola sinistra, diagramma a destra)
(Fonte Elaborazione DiGIFeMa su dati GI)

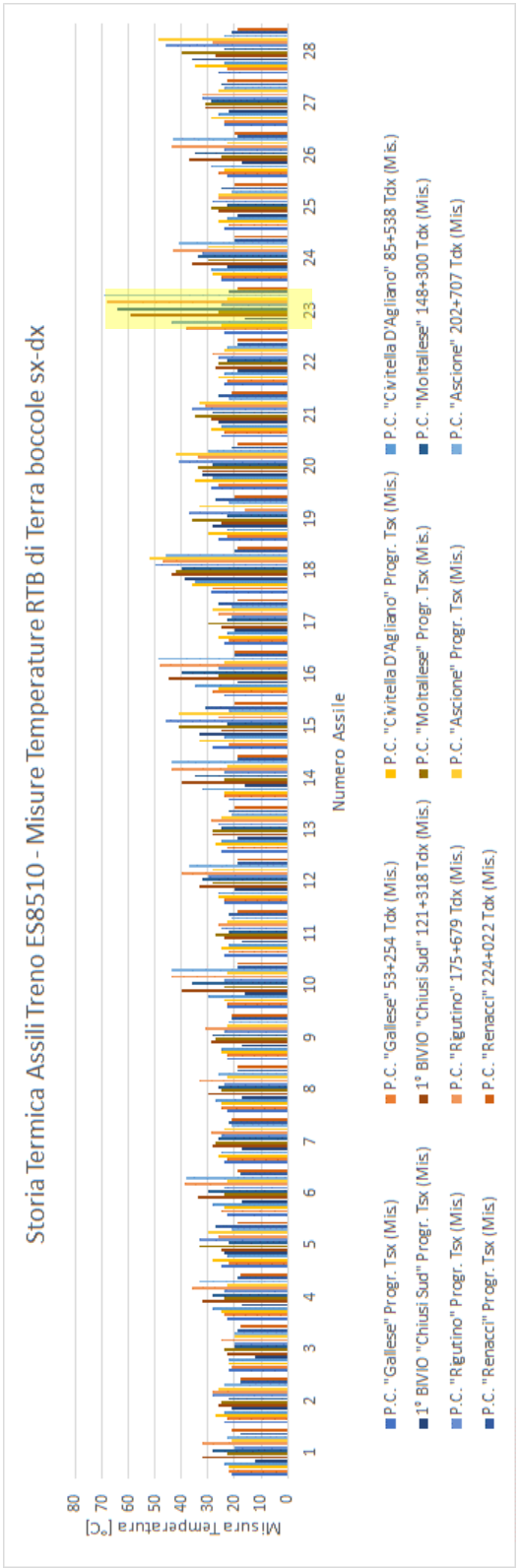


Fig. 25 – Storia termica (misure di temperatura) delle boccole (sinistra-sx e destra-dx) di tutti gli assili del treno ES8510 rilevate da tutti i dispositivi RTB di terra, durante il viaggio sulla "DD AV Roma-Firenze" il giorno 09 novembre 2017; si noti che per l'assile n. 23 non è presente nel diagramma la misura di temperatura di 125°C rilevata dall'RTB del km 224+022 e modificata in 19°C dal sistema interno di elaborazione e gestione; in evidenza con colore giallo i dati di temperatura della boccola destra (s.m.t) dell'assile n.23 (Fonte Elaborazione DiGiFeMa su dati GI).

Tale considerazione ha richiesto la verifica della lettura del documento di registrazione dei dati termici (Fig. 26), relativi al dispositivo RTB allocato lungo la linea "AV DD Roma-Firenze" alla progressiva km 224+022. Dalla analisi della registrazione emerge una misura di 125 °C sulla boccola destra dell'assile n. 23 del treno ES8510. Tuttavia l'algoritmo di gestione dei dati di misura ha mutato tale valore in 19 °C.

```
SDF2G     Veicolo per scopi speciali (  4)(  4)    1 ETR600 - 28 Assi asse 0020
Asse      0020 +021 (+047) 0005   +019 (+030) 0005   +023 (+023) 0006   xxxx (xxxx) xxxx   +247
SDF2G     Veicolo per scopi speciali (  4)(  4)    1 ETR600 - 28 Assi asse 0021
Asse      0021 +026 (+035) 0005   +021 (+025) 0005   +023 (+023) 0006   xxxx (xxxx) xxxx   +247
SDF2G     Veicolo per scopi speciali (  4)(  4)    1 ETR600 - 28 Assi asse 0022
Asse      0022 +019 (+024) 0005   +019 (+021) 0005   +041 (+041) 0006   xxxx (xxxx) xxxx   +247
Info      0023 2 1 riconoscimento forma J #101038
 Info      0023 2 2 riconoscimento forma J #101038
 Info      0023 2 3 riconoscimento forma J #101038
 Info      0023 2 4 riconoscimento forma J #101038
 SDF2G     Veicolo per scopi speciali (  4)(  4)    1 ETR600 - 28 Assi asse 0023
Asse      0023 +022 (+024) 0005   +019 (+125) 0005   +031 (+040) 0006   xxxx (xxxx) xxxx   +247
Info      0023 2 Mascherata interferenza esterna:  Allarme Caldissimo --> Nessun allarme
SDF2G     Veicolo per scopi speciali (  4)(  4)    1 ETR600 - 28 Assi asse 0024
Asse      0024 +020 (+034) 0005   +020 (+046) 0005   +023 (+023) 0006   xxxx (xxxx) xxxx   +247
SDF2G     Veicolo per scopi speciali (  4)(  4)    1 ETR600 - 28 Assi asse 0025
Asse      0025 +025 (+027) 0005   +020 (+020) 0005   +023 (+023) 0006   xxxx (xxxx) xxxx   +247
SDF2G     Veicolo per scopi speciali (  4)(  4)    1 ETR600 - 28 Assi asse 0026
Asse      0026 +019 (+023) 0005   +020 (+046) 0005   +041 (+041) 0006   xxxx (xxxx) xxxx   +247
SDF2G     Veicolo per scopi speciali (  4)(  4)    1 ETR600 - 28 Assi asse 0027
Asse      0027 +025 (+029) 0005   +023 (+026) 0005   +024 (+029) 0006   xxxx (xxxx) xxxx   +247
SDF2G     Veicolo per scopi speciali (  4)(  4)    1 ETR600 - 28 Assi asse 0028
Asse      0028 +021 (+049) 0005   +019 (+022) 0005   +023 (+023) 0006   xxxx (xxxx) xxxx   +247
Info      Lista veicoli per scopi speciali:
SDF2G     (  4)(  4)    1 Assi    1 to   28:  ETR600 - 28 Assi
Alarmcfg  0005 0056 0 2 00 00 01 00 0 105.6  45.0 105.6  45.0  61.5  59.6  41.9  41.9  85.0 xxxxx xxxxx xxxxx
xxxxx  40.0    'ROA Standard FID ETR600 - 28 Assi percorrenza legale' #609094
Alarmcfg  0005 0028 2 1 00 00 01 00 2 500.0 xxxxx 500.0 xxxxx    'FBOA Standard FID ETR600 - 28 Assi
percorrenza legale' #629054
Info      temperatura media    +21.51 (+21.51)  +19.58 (+19.58)  +25.55 (+25.55)  xxxxxx (xxxxx) 'Tutti'
#699994
Info      temperatura media    +00.00 (+00.00)  +00.00 (+00.00)  +00.00 (+00.00)  xxxxxx (xxxxx) 'altri'
#699004
Info      temperatura media    -21.51 (+21.51)  +19.58 (+19.58)  +25.55 (+25.55)  xxxxxx (xxxxx) 'ETR600 - 28
Assi' #699044
Info      Segnale fine treno ricevuto
Dati      247    0    +014    0028    -0.30    +0.00    0178.0
Contatto  0028   0028   0028   0
Fine      Fine treno riconosciuto
Info      Versione software FUE3 (6.3.9)
Info      Interferenza esterna in 00049881 salvata.
Info      Carrello speciale in 00049881 salvato.
Informazione    : numero del treno (binario) 8510
Informazione      numero del treno (binario) 0000031238
```

Fig. 26 – Estratto della registrazione "storia termica" della misurazione delle boccole del treno ES8510 da parte del dispositivo RTB allocato lungo la linea DD AV "Roma-Firenze"; in evidenza in colore giallo la misura di temperatura per l'assile n. 23 pari a 125 °C e la conseguente modifica in 19°C attuata dal sistema di gestione ed elaborazione delle acquisizioni
(Fonte: GI).

Gli incontri con i tecnici del Costruttore hanno permesso di affrontare approfondimenti in relazione alla funzionalità operativa dei dispositivi RTB di terra, alla elaborazione del dato di misura e alle modalità di selezione delle condizioni di pericolosità (identificazione delle avarie termiche) per il moto del treno. Le informazioni a disposizione della DiGIFeMa non sono sufficienti a determinare una classe SIL per l'apparato RTB di terra, anche operando sulla base dei contenuti della Norma CEI-EN 50126 [19].

I tecnici del Costruttore hanno illustrato alla DiGIFeMa il processo logico che ha condotto alla sostituzione del valore di temperatura (125 °C), misurato sulla boccola destra dell'assile n. 23, con il valore 19 °C. Alla spiegazione fornita dal GI, i tecnici hanno aggiunto, per precisazione, che il valore deriverebbe anche da un confronto con la misura termica della boccola gemella (boccola sinistra) e delle altre due presenti sul carrello, nella eventualità di una "determinazione incerta" della temperatura sulla boccola in analisi (boccola destra). In definitiva, alla luce delle indicazioni derivabili dalla Normativa Europea [17] sulla applicabilità geometrica della "superficie utile" per la valutazione dello stato termico delle boccole, i tecnici del Costruttore hanno ipotizzato che la temperatura di 125°C potrebbe essere stata ritenuta non valida (cfr. Fig. 26, "riconoscimento forma J") da parte del sistema di elaborazione dei dati implementato nell'RTB, con conseguentemente

modifica della misura stessa in 19 °C. Pertanto l'acquisizione di tale valore sarebbe stata interpretata come un errore di misurazione.

Tuttavia, sulla base della analisi delle misure termiche degli RTB (cfr. Fig. 24 e Fig. 25), la temperatura di 125 °C non apparirebbe riconducibile ad un errore di misurazione: prova di tale considerazione discende dall'assenza di non conformità di misura memorizzate per tutte le altre acquisizioni attivate sugli tutti gli assili dello stesso treno ES8510 e su quelli di tutti gli altri treni, e transitati antecedentemente all'ES8510 in data 09 novembre 2017.

Quindi tecnicamente il valore registrato dell'apparato RTB di 125 °C risulterebbe:

- coerente con la storia termica rilevata dagli altri dispositivi RTB, dislocati sulla linea DD AV "Roma-Firenze",
- coerente con il successivo processo di avaria che ha condotto alla distruzione della boccola, alla separazione del fusello dall'assile e dunque allo svio.

La seconda osservazione evidenzia una non conformità nel rispetto dei requisiti normativi del profilo geometrico trasversale delle ruote (dimensioni di due bordini-ruota inferiori ai limiti di normativa). Come già descritto nella presente relazione, questa evidenza non appare aver influito sulla causa diretta dello svio. Tuttavia il mantenimento della corretta geometria del contatto ruota-rotaia rappresenta un aspetto fondamentale ed imprescindibile della sicurezza di marcia del veicolo ferroviario, permettendo di eliminare o mitigare gli effetti della instabilità di marcia generati da fenomeni cinematici di serpeggio degli assili o dei carrelli.

La terza osservazione deriva dalle indicazioni fornite nella Decisione CE n.735 del 2002, punto 4.2.11 [18], ora abrogata e sostituita dalla Direttiva CE n.232 del 2008. La condizione di monitoraggio delle condizioni di allarme termico delle boccole a bordo dei treno ETR600 (che per la definizione della Direttiva 2008 [28] apparterrebbe alla classe 1 dei treni) avviene per confronto tra dati di misura istantanei e continui nella loro modalità di acquisizione e limiti imposti dal Costruttore dei dispositivi e condivisi con il GI. Tuttavia il testo contenuto nella Direttiva 735/2002 suggerisce un "modus operandi" per incrementare il livello di sicurezza della marcia del veicolo. Infatti il testo della decisione del 2002 riferisce della necessità di acquisire dati termici sulle boccole, al fine di individuare potenziali pericolose avarie termiche, attraverso un dispositivo "*in grado di rilevare un aumento di temperatura nel tempo, in modo da poter individuare aumenti abnormi di temperatura in una boccola. Esso deve essere in grado di trasmettere messaggi di avviso e di allarme in modo affidabile i quali, se necessario son graduati al fine di indurre una riduzione di velocità o un arresto del treno, a seconda dell'entità dell'aumento di temperatura*". In questo modo il monitoraggio delle condizioni termiche delle boccole non avverrebbe esclusivamente discriminando singoli e istantanei valori di temperatura, a tale processo si accosterebbe un controllo sulla velocità di evoluzione del fenomeno di riscaldamento, ponendo le basi per un processo di monitoraggio della sicurezza di marcia di tipo "predittivo" nel tempo. La fattibilità di porre in essere un analogo processo di monitoraggio della "storia termica" delle boccole può essere indirizzato alle modalità di utilizzo degli RTB di terra, gestiti dal GI. Il monitoraggio delle condizioni termiche delle boccole non avverrebbe esclusivamente discriminando condizioni di allarme sulla base della analisi di singoli valori di temperatura localizzati nello spazio: a tale processo si accosterebbe un controllo sulla rapidità di evoluzione del fenomeno di riscaldamento durante l'avanzamento del veicolo sul proprio percorso, ponendo anche in questo caso le basi per un processo di monitoraggio della sicurezza di marcia di tipo "predittivo" nello spazio.

4.3. Conclusioni

L'investigazione DiGIFeMa, sulla base

- dei sopralluoghi sull'infrastruttura,
- delle ispezioni al materiale rotabile coinvolto nell'evento,
- delle informazioni acquisite mediante gli incontri tecnici sviluppati con i referenti del GI, con i referenti della IF, con in funzionari di ANSF ed infine con i tecnici del Costruttore del sistema RTB,

ha individuato le cause dirette, le cause indirette ed ha evidenziato delle osservazioni aggiuntive, per un eventuale utilizzo ai fini di un incremento del livello di sicurezza della circolazione ferroviaria.

La causa diretta dello svio è la frattura del fusello e la sua conseguente separazione dal corpo dell'assile n. 23 (s.m.t.), identificativo US9580812, appartenente al secondo carrello installato sulla vettura n. 6. Si ipotizza che l'accoppiamento (cfr. Fig. 2) tra fusello destro dell'assile e boccola (capsula con cuscinetti a rotolamento di rulli tronco-conici) sia divenuto cinematicamente non conforme durante il moto del treno. La condizione di avaria strutturale, preesistente alla partenza del treno dalla Stazione "Roma-Termini", si è amplificata (come dimostra l'innalzamento continuo della temperatura rilevato dalle misure degli apparati RTB di terra) durante il percorso sulla linea "AV DD Roma Firenze". Tale avaria ha generato elevata fatica termo-meccanica sulla boccola, conducendone a distruzione i componenti e portando presumibilmente in contatto il fusello con la struttura di supporto alla sospensione primaria. Il contatto dei due elementi avrebbe determinato, per azione d'intaglio, la frattura sul fusello ed il conseguente distacco dall'assile.

Il livello di deterioramento della boccola (elementi costruttivi reperiti in quasi totale disintegrazione) ha reso irrealizzabile qualsiasi procedura di verifica dell'integrità strutturale e di valutazione dello stato funzionale ed operativo del dispositivo stesso antecedenti all'evento.

La prima causa indiretta dell'evento è il non conforme assemblaggio del dispositivo boccola con disco di bloccaggio sul fusello destro (s.m.t.) dell'assile n. 23.

Dalle informazioni poste a disposizione della DiGIFeMa da parte della IF, si evince che precedentemente all'evento incidentale, l'assile n. 23 in composizione all'ES8510 è stato sottoposto a verifica strutturale non distruttiva (ispezione con sonda ad ultrasuoni). Le evidenze ispettive sul materiale rotabile inducono ad ipotizzare un non conforme assemblaggio tra fusello e disco di bloccaggio. Al distacco del disco di bloccaggio dal fusello è seguita una fase di fatica meccanica generata dall'irregolare movimento dell'assile che ha quindi condotto alla distruzione della boccola. Gli urti ripetuti contro la struttura portante della sospensione primaria hanno provocato la frattura ed il distacco del fusello e la conseguente separazione degli elementi meccanici ad esso collegati, generando lo svio dell'assile.

La seconda causa indiretta è l'assenza di segnalamento al PdC di probabile avaria dello stato funzionale ed operativo termo-meccanico dei dispositivi boccola. Gli ETR600 possiedono dispositivi e funzionalità tecniche adatte alla determinazione di condizioni di avaria termica delle boccole sulla base di valori istantanei di temperatura, confrontabili con i limiti di sicurezza determinati dal Costruttore del dispositivo ed imposti dalla Regolamentazione emanata dal GI.

La diagnostica del treno ha registrato numerose avarie al sistema termico ed elettrico di misura della temperatura della boccola dell'assile n. 23, preesistenti all'inizio del servizio di trasporto passeggeri svolto il giorno 09 novembre 2017. Nella particolare circostanza si è tuttavia rilevata l'assenza del segnalamento delle suddette avarie termiche in cabina di guida.

Ne consegue che è possibile considerare i due apparati di bordo, il primo dedicato al segnalamento in cabina delle avarie termo-meccaniche delle boccole ed il secondo destinato alla diagnostica, come disgiunti funzionalmente.

4.4. Osservazioni aggiuntive

Durante i sopralluoghi sulla infrastruttura e le ispezioni al treno ed al carrello oggetto dello svio, presso l'impianto di manutenzione corrente "IMC Firenze Osmannoro", è stato possibile visionare elementi strutturali del binario e meccanici del materiale rotabile di trasmissione della trazione, sospensioni primarie e secondarie (molle e smorzatori), dispositivi anti-serpeggio e di frenatura (dischi e pinze freno).

Per quanto espresso in precedenza, non è stato alcun effettuato alcun test di operatività funzionale elettrica/elettronica sul sistema di controllo e segnalamento a bordo del treno relativo ad avarie termiche. Tali prove sono state condotte dalla CTU della Magistratura di Firenze ma i risultati non sono stati trasmessi alla DiGIFeMa. Pertanto, tale carenza nel processo di indagine esclude l'identificazione, con precisione, degli apparati elettrici ed elettronici di bordo che hanno impedito la segnalazione di avarie termiche al PdC. Tuttavia, le altre informazioni a disposizione hanno comunque consentito il completamento dell'istruttoria, permettendo la ricostruzione della sequenza degli eventi che hanno generato lo svio e l'individuazione delle cause dirette ed indirette.

Inoltre le seguenti osservazioni aggiuntive possono essere considerate a corollario della causa diretta e delle cause indirette dell'evento.

La prima osservazione riguarda l'elaborazione dei dati e l'attivazione degli allarmi da parte dall'apparato di Rilevamento della Temperatura delle Boccole (RTB), installato sulla sede ferroviaria della linea "AV DD Roma-Firenze".

Di fatto, si è riscontrata la misura di temperatura di una boccola (125 °C) non conforme e fuori dei limiti di normativa: il sistema di gestione di elaborazione dei dati dell'apparato RTB di terra ha attribuito a tale valore una irregolarità nel processo geometrico di acquisizione, sostituendo il valore misurato con un valore (19°C) derivato da calcoli statistici e di confronto con le temperature delle altre boccole del carrello. Tale singolarità, emersa dalla analisi delle registrazioni degli eventi osservati dall'RTB di terra, installato sulla progressiva 224+022 della linea "AV DD Roma-Firenze", è stata oggetto di richiesta di chiarimenti al GI e al Costruttore.

La seconda osservazione evidenzia una non conformità nei requisiti normativi del profilo geometrico trasversale delle ruote.

Tale osservazione discende dai sopralluoghi autorizzati dalla Magistratura di Firenze al materiale rotabile (treno e carrello sviato) in condizione di fermo per sequestro giudiziario. La verifica dei requisiti normativi del profilo geometrico trasversale delle ruote ha evidenziato una non conformità nelle dimensioni di due bordini, risultati di altezza leggermente inferiore al limite regolamentare.

La terza osservazione discende dalle indicazioni fornite nella Decisione CE n.735 del 2002, punto 4.2.11 [18], ora abrogata e sostituita dalla Direttiva CE n.232 del 2008, sul monitoraggio a bordo treno degli eventi termici relativi al dispositivo boccola.

La Direttiva CE del 2008, ripresa parzialmente nella STI "Loc&Pass" 2014 [29], in riferimento ai treni di classe 1 (treni con velocità massima uguale o superiore a 250 km/h) non suggerisce valori termici critici delle boccole correlabili a livelli di allarme. Tale indirizzo viene tuttavia fornito per i treni di classe 2 (treni con velocità massima almeno di 190 km/h ma inferiore a 250 km/h). Nel rispetto delle indicazioni di interoperabilità, per i treni appartenenti alla classe 1, la suddetta direttiva rinvia la gestione del controllo termico delle boccole ad accordi tra gli OF (GI ed

IF), pur sempre imponendo la presenza a bordo di dispositivi di sorveglianza termica delle boccole. Il monitoraggio delle condizioni di allarme termico delle boccole a bordo dell'ETR600 (che per la definizione della direttiva appartiene alla classe 1) avviene per confronto tra dati di misura, istantanei e continui nella loro modalità di acquisizione, e limiti imposti dal Costruttore dei dispositivi e condivisi con il GI.

Tuttavia l'indicazione contenuta nella Direttiva 735/2002, benché abrogata, propone comunque un "modus operandi" per incrementare il livello di sicurezza della marcia del veicolo che non appare evidente nella direttiva del 2008. Infatti il testo descrive la necessità di acquisire dati termici sulle boccole, al fine di individuare potenziali pericolose avarie termiche, attraverso un dispositivo "*in grado di rilevare un aumento di temperatura nel tempo, in modo da poter individuare aumenti abnormi di temperatura in una boccola. Esso deve essere in grado di trasmettere messaggi di avviso e di allarme in modo affidabile i quali, se necessario son graduati al fine di indurre una riduzione di velocità o un arresto del treno, a seconda dell'entità dell'aumento di temperatura*". In questo modo il monitoraggio delle condizioni termiche delle boccole non avverrebbe esclusivamente discriminando singoli e istantanei valori di temperatura: a tale attività si unirebbe un controllo sulla velocità di evoluzione del fenomeno di riscaldamento, ponendo le basi per un processo di monitoraggio della sicurezza di marcia di tipo "*predittivo*".

La fattibilità di porre in essere un analogo processo di monitoraggio della "storia termica" delle boccole potrebbe essere altresì indirizzato alle modalità di utilizzo degli RTB di terra, gestiti dal GI. L'attivazione dell'allarme termico non avverrebbe esclusivamente sulla base delle temperature rilevate dai singoli RTB ma anche attraverso un controllo sul gradiente termico determinato durante l'avanzamento del veicolo sul proprio percorso.

5. Provvedimenti adottati

A seguito dell'evento di svio, si ha informazione che l'IF ha richiamato tutti i treni AV della serie ETR600 e di altre serie per una immediata verifica delle attività di manutenzione relative agli accoppiamenti assile-boccole di rotolamento. Questa attività [14] "straordinaria" di manutenzione sulla flotta AV è stata indirizzata ad evidenziare ed eventualmente a correggere non conformità occorse nelle attività di calettamento del fusello degli assili negli elementi di rotolamento (cuscinetti a rulli) e nelle modalità di assemblaggio dello stesso con il disco di bloccaggio della boccola ottenuto mediante collegamento a vite ed assicurato da dispositivi anti-svitamento.

Dagli incontri avuti con i tecnici della IF, sono emerse le criticità relative al non utilizzo in esercizio dei dati misurati e memorizzati dal dispositivo di diagnostica di bordo treno. Per tale ragione e facendo riferimento alla Decisione 2002/753/CE, l'IF concorda nel verificare la fattibilità di un utilizzo congiunto del sistema di diagnostica di bordo, durante l'esercizio, in contemporaneità con il registratore di eventi. Le verifiche tecniche della IF dovrebbero tendere a colmare problematiche di assenza/mancanza di ridondanza su dispositivi ed apparati di prima importanza nella sicurezza di marcia. Non sono stati resi noti a DiGIFeMa provvedimenti del Gestore dell'Infrastruttura adottati a seguito dell'evento, escludendo le procedure di ripristino sede dell'infrastruttura (binario ed apparecchi di modifica degli itinerari) distrutta dal transito del rodiggio sviato. Si ha informazione che il GI, nell'ambito dell'incremento dei livelli di sicurezza dell'esercizio ferroviario e in riferimento alla attività di verifica di segnalazioni di avaria termica alle boccole, nel mese di novembre 2018 ha emanato la "*Procedura di interfaccia. Modifiche alle procedure in caso di allarme RTB/RTF per i convogli dotati di impianto di rilevamento e segnalazione dello stato termico delle boccole e degli assi frenati*" [13]. Tale procedura, sebbene non strettamente correlata all'evento incidentale occorso presso la Stazione di "Firenze Castello", pone l'interesse sul corretto e sicuro svolgimento delle mansioni del PdB e del PdC nei casi in cui sia richiesta una visita ispettiva alle boccole per segnalazione di avaria.

6. Raccomandazioni

Cause ed osservazioni hanno condotto a definire le seguenti raccomandazioni in ambito tecnico-normativo.

Le cause individuate dalla attività di indagine suggeriscono le seguenti **raccomandazioni**:

Raccomandazione n.1

Si raccomanda all'Agenzia Nazionale per la Sicurezza delle Ferrovie di adoperarsi affinché le IF sensibilizzino il personale tecnico sull'importanza del regolare svolgimento della manutenzione dei dispositivi relativi al rotolamento degli assili, ponendo particolare attenzione all'assemblaggio degli elementi strutturali del complesso boccola e al controllo delle corrette geometrie dei profili ruota.

Raccomandazione n.2

Si raccomanda all'Agenzia Nazionale per la Sicurezza delle Ferrovie di adoperarsi presso le IF affinché comprovino, ove prevista, la ridondanza funzionale dei sistemi di sorveglianza termica sui dispositivi meccanici correlati direttamente alle condizioni di sicurezza di marcia del rotabile. Qualora la ridondanza non sia comprovata, i sistemi sono da ritenersi inefficienti e le IF devono individuare e porre in essere le opportune azioni mitigative al fine di garantire equivalenti condizioni di sicurezza di marcia del rotabile.

Raccomandazione n.3

Si raccomanda all'Agenzia Nazionale per la Sicurezza delle Ferrovie di adoperarsi affinché le IF verifichino la fattibilità di prevedere, sui treni equipaggiati con sistemi RTB di bordo, livelli di allarme termico attivabili non solo in base alla elaborazione di valori istantanei di temperatura ma anche mediante valutazione dei relativi gradienti temporali.

Raccomandazione n.4

Si raccomanda all'Agenzia Nazionale per la Sicurezza delle Ferrovie di adoperarsi presso i GI affinché riesaminino, sempre sulla base della Normativa Europea EN 15437-1/2009, le procedure di acquisizione e di elaborazione dei dati termici rilevati dagli apparati RTB di terra, con particolare riferimento al processo di validazione delle misurazioni.

Raccomandazione n.5

Si raccomanda all'Agenzia Nazionale per la Sicurezza delle Ferrovie di adoperarsi affinché i GI verifichino la fattibilità di prevedere, per gli RTB di terra, livelli di allarme termico sulle singole boccole attivabili non solo in base alla elaborazione dei valori di temperatura acquisiti dal singolo RTB ma anche mediante l'analisi del relativo gradiente basato sulle misure rilevate dagli RTB all'avanzare del treno.

7. Riferimenti bibliografici

[1] DIRETTIVA 2004/49/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 29 aprile 2004 relativa alla sicurezza delle ferrovie comunitarie e recante modifica della direttiva 95/18/CE del Consiglio relativa alle licenze delle imprese ferroviarie e della direttiva 2001/14/CE relativa alla ripartizione della capacità di infrastruttura ferroviaria, all'imposizione dei diritti per l'utilizzo dell'infrastruttura ferroviaria e alla certificazione di sicurezza ("Direttiva sulla sicurezza delle ferrovie"), 30.4.2004 IT Gazzetta ufficiale dell'Unione europea L 164/44.
[2] DIRETTIVA 2009/149/CE DELLA COMMISSIONE del 27 novembre 2009 che modifica la direttiva 2004/49/CE del Parlamento europeo e del Consiglio per quanto riguarda gli indicatori comuni di sicurezza e i metodi comuni di calcolo dei costi connessi agli incidenti, Gazzetta ufficiale dell'Unione europea, L 313/65 del 28.11.2009.
[3] DIRETTIVA 2004/51/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 29 aprile 2004 che modifica la direttiva 91/440/CEE relativa allo sviluppo delle ferrovie comunitarie, 30.4.2004 IT Gazzetta ufficiale dell'Unione europea L 164/164.
[4] D.LVO 10 agosto 2007, n. 162, Attuazione delle direttive 2004/49/CE e 2004/51/CE relative alla sicurezza e allo sviluppo delle ferrovie comunitarie. (GU n.234 del 8-10-2007 - Suppl. Ordinario n. 199), Entrata in vigore del provvedimento: 23/10/2007.
[5] "L'alta velocità ferroviaria", B. Cirillo, P. Comastri, P.L. Guida, A. Ventimiglia, Edizioni CIFI, Anno 2009
[6] "Rete Ferroviaria Italiana – "Firenze – Parte Generale FCL091 Firenze", Circ. Terr. N.05/2017
[7] G. Acquaro, "I sistemi di gestione della sicurezza nel trasporto ferroviario", Edizioni CIFI, 2016
[8] Regolamento (UE) n. 1169/2010 della Commissione, del 10 dicembre 2010, concernente un metodo di sicurezza comune per la valutazione della conformità ai requisiti per ottenere un'autorizzazione di sicurezza per l'infrastruttura ferroviaria
[9] Regolamento (UE) n. 1158/2010 della Commissione, del 9 dicembre 2010, relativo a un metodo di sicurezza comune per valutare la conformità ai requisiti di ottenimento di certificati di sicurezza della rete ferroviaria
[10] Regolamento (UE) N. 402/2013 DELLA COMMISSIONE del 30 aprile 2013, relativo al metodo comune di sicurezza per la determinazione e valutazione dei rischi e che abroga il regolamento (CE) n. 352/2009
[11] Trenitalia, "Elettrotreno ad Assetto Variabile ETR600 - MANUALE DI MANUTENZIONE DI PRIMO LIVELLO Volume 02°, Carrello motore e portante, Descrizione e manutenzione", Edizione Maggio 2013
[12] Rete Ferroviaria Italiana PREFAZIONE GENERALE ALL'ORARIO DI SERVIZIO, in uso sulla Infrastruttura ferroviaria nazionale - Estratto contenente le NORME DI INTERFACCIA AD USO DELLE IMPRESE FERROVIARIE, Emanata con disposizione di esercizio 18/2015, Aggiornata con disposizioni di esercizio: 9/2016 - 8/2017
[13] Rete Ferroviaria Italiana, Disposizione di Esercizio n.17 del 12 Ottobre 2018, "Procedura di interfaccia. Modifiche alle procedure in caso di allarme RTB/RTF per il convogli dotati di impianto di rilevamento e segnalazione dello stato termico delle boccole e degli assi frenati"
[14] Nota TRNIT-DT\P\2017\0053522 del 13/11/2017 "ETR 600- Verifica una tantum cuscinetti boccole e sistema di sorveglianza temperature boccole.
[15] RFI, Rete Ferroviaria Italiana S.p.A., "Primo Rapporto Informativo - Svio treno 8510", del 9 novembre 2017

[16] RFI, Rete Ferroviaria Italiana S.p.A., "Relazione Informativa: n. EA. 17.013041, Svio treno ES Frecciargento 8510 dell'IF Trenitalia S.p.A. del 09/11/2017, in ingresso nella stazione di Firenze Castello (Corridoio AV)." del 10 novembre 2017
[17] EN 15437-1, Railway applications - Axlebox condition monitoring – Interface and design requirements - Part 1: Track side equipment and rolling stock axlebox, March 2009.
[18] DECISIONE DELLA COMMISSIONE del 30 maggio 2002 relativa alle specifiche tecniche d'interoperabilità per il sottosistema materiale rotabile del sistema ferroviario transeuropeo ad alta velocità di cui all'articolo 6, paragrafo 1, della direttiva 96/48/CE (2002/735/CE)
[19] CEI EN 50126-1, Railway applications - The specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS) - Part 1: Basic requirements and generic process
[20] Disposizione n.48 del 09_11_2001 Normativa per esercizio RTB linee RT e linea DD Roma-Firenze.
[21] Disposizione n.51 del 10_08_2005 Normativa per esercizio RTB linee Rete AV.
[22] Disposizione n.37 del 10_10_2007 Modifica Disposizione 48/2001 e normativa per esercizio RTF linee RT e linea DD Roma-Firenze.
[23] Prescrizione RFI_DTC_A0011_P_2010_3967 del 6_12_2010 Valori soglie di allarmi RTB e RTF per ETR 500_460_470_480_600_610.
[24] "Elettrotreno ad assetto variabile ETR600 - Manuale Per Il Personale Di Bordo Addetto Alla Condotta M.C. Edizione Dicembre 2008"
[25] Prescrizione RFI 1834 del 2014, "Prescrizione di Esercizio. Norma di Interfaccia. "Impianti RTB. Ubicazione del posto di verifica boccole sulle linee con Blocco Elettrico Automatico"
[26] EN13715 Railway applications - Wheelsets and bogies - Wheels – Wheels tread, 2006
[27] Decreto ANSF n. 4/2012 del 09 Agosto 2012 - Emanazione delle "Attribuzioni in materia di sicurezza della circolazione ferroviaria", del "Regolamento per la circolazione ferroviaria" e delle "Norme per la qualificazione del personale impiegato nelle attività di sicurezza della circolazione ferroviaria". Allegato B
[28] DECISIONE DELLA COMMISSIONE del 21 febbraio 2008 relativa una specifica tecnica di interoperabilità per il sottosistema «materiale rotabile» del sistema ferroviario transeuropeo ad alta velocità (2008/232/CE)
[29] REGOLAMENTO (UE) N. 1302/2014 DELLA COMMISSIONE del 18 novembre 2014 relativo a una specifica tecnica di interoperabilità per il sottosistema «Materiale rotabile — Locomotive e materiale rotabile per il trasporto di passeggeri» del sistema ferroviario dell'Unione europea (TSI Loc&Pass)
[30] Elettrotreni ETR 600 – Tilting, Guida Depannage Allegata, Ed. Gennaio 2017, Nr. 10. 00

L'investigatore Incaricato

Dr. Ing. Massimiliano Bruner