

POLITECNICO DI MILANO

Scuola di Ingegneria Civile, Ambientale e Territoriale

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile

Infrastrutture di trasporto



Fault tree analysis di assi ferroviari indebitamente frenati

Relatore:

Prof. Roberto Maja

Correlatore:

Ing. Fabio Zenucchi

Candidato:

Pietro Bertolatti

Matricola:

955706

Anno accademico:

2025/2026

Abstract

L'oggetto della presente tesi è un'analisi delle cause di un insieme di casistiche di non conformità relative ad assi frenati occorsi all'impresa ferroviaria Hupac S.p.A. Dopo una breve esposizione che contestualizza l'analisi delle cause ed il trattamento delle non conformità in ambito ferroviario, viene mostrata una statistica dei casi analizzati che ha permesso di evidenziare ambiti degni di nota in cui identificare le cause. Infine si illustra il procedimento dell'analisi delle cause e delle possibili conseguenze delle casistiche di assi frenati condotto mediante il metodo *fault tree analysis* (FTA).

Ringraziamenti

Un sentito grazie al professor Roberto Maja, relatore di questa tesi, per la sua passione e interesse per il mondo delle ferrovie e dei trasporti che ha saputo trasmettermi durante il mio percorso universitario rendendolo motivante.

Un altrettanto sentito ringraziamento all'ingegnere Fabio Zenucchi di Hupac S.p.A., correlatore di questa tesi, per il prezioso supporto offertomi durante la stesura di questo scritto e per le numerose nozioni di carattere tecnico e professionale che mi ha trasmesso con grande dedizione.

Infine ringrazio tutti coloro che, all'interno dell'organico di Hupac S.p.A., mi hanno guidato e accompagnato durante il periodo di tirocinio svolto presso l'azienda.

Introduzione

L'obiettivo di questa tesi è presentare l'analisi delle cause di un evento indesiderato accaduto ad un'impresa ferroviaria, seguendo un approccio scientifico ed oggettivo. Come fare ciò? Si è pensato di fare ricorso a dei modelli di analisi degli eventi incidentali presenti in letteratura e riconosciuti dagli enti che si occupano di sicurezza come validi ed esaustivi per una buona indagine.

Infatti nell'ambito normativo del trasporto ferroviario, negli ultimi decenni, si è sempre più attribuito alle Imprese Ferroviarie la gestione del rischio attraverso l'adozione di un Sistema di gestione della Sicurezza (SGS), certificato ai sensi di un metodo comune di sicurezza, che sia basato sul concetto del ciclo di *Deming* (*Plan – Do Check – Act*). Un ruolo chiave nell'ambito dei sistemi di gestione della sicurezza è storicamente attribuito alla figura del responsabile SGS che ne cura l'aggiornamento e la conformità normativa.

Diversamente dalle ferrovie, se si guarda l'evoluzione storica del trasporto aereo, esso ha sempre avuto in sé il concetto di analisi di sicurezza con metodi scientifici. Dunque in ambito aeronautico ed aerospaziale sono nati numerosissimi metodi ben consolidati e procedure ben definite da applicare a questo scopo già nel corso del XX secolo. Nel settore ferroviario abbiamo avuto una differente evoluzione storica. Infatti la necessità di implementare metodi e attribuire responsabilità è nata con la liberalizzazione del trasporto ferroviario in ambito europeo che ha preso piede nell'ultimo decennio del secolo scorso e quindi col nascere di operatori privati operanti nel settore in diversi ambiti. Prima, essendo la gestione di tutto il contesto ferroviario in mano ad un solo soggetto (di entità statale), la questione era disciplinata attraverso normative e disposizioni interne. Volendo continuare il confronto con il trasporto aereo, esso ha sempre visto, fin dall'origine, la presenza di più operatori quali le compagnie aeree, i concessionari gestori degli aeroporti, gli enti nazionali e sovranazionali dell'aviazione civile, l'aviazione privata, l'aviazione militare.

Un altro ambito da cui attingere idee e metodi relativi alla cultura della sicurezza è quello dell'ingegneria gestionale: molti metodi per migliorare sicurezza e rendimento vengono appunto dall'ambito industriale a partire dalle aziende americane agli albori del XX secolo (si pensi ad esempio alla FORD).

Ci si propone dunque di fare proprio questo modo di ragionare da sempre adottato nel trasporto aereo e nell'ambito della gestione di impresa ed applicarlo al contesto ferroviario.

Quando avviene un evento indesiderato in ambito ferroviario si aprono parallelamente più indagini:

- l'indagine giudiziaria, condotta dalla magistratura, ha il fine di individuare le responsabilità civili e penali;
- l'indagine dell'ente investigativo per la sicurezza (DIGIFEMA), condotta da un gruppo di esperti, ha lo scopo di individuare le cause tecniche;
- l'indagine da parte dell'impresa coinvolta nell'evento, condotta da una commissione interna all'azienda, ha lo scopo di individuare responsabilità e mancanze a livello organizzativo per migliorare sé stessa e mitigare i rischi.

In questa tesi ci si pone nel ruolo dell'impresa ferroviaria; ciò nonostante, per come il lavoro è impostato, le considerazioni fatte possono essere utili anche se guardate da chi si pone più dalla parte dell'ente investigativo.

Un'ultima attenzione che ci si è posta nella stesura di questo testo è stata quella di riportare chiaramente ed in modo esaustivo i ragionamenti fatti, in modo da dare la possibilità al lettore di ripercorrere con la propria testa i passaggi e di trovare argomentazioni che giustifichino le conclusioni trovate.

Capitolo 1:

Stato dell'arte - modalità di analisi di un evento incidentale e metodi per la valutazione del rischio

Nel seguente capitolo si presentano gli elementi teorici sui quali si basa l'analisi che è oggetto di questo elaborato facendo riferimento a quanto già è presente nella letteratura tecnico-scientifica.

Nello specifico le domande che hanno guidato la ricerca dello stato dell'arte sono le seguenti:

- Esiste un metodo consolidato per condurre un'analisi delle cause di un evento indesiderato avvenuto in ambito ferroviario?
- Qual è e a quale normativa fa riferimento?
- Su quali aspetti è opportuno approfondire l'analisi?
- Quali metodi tra quelli trovati sono più adatti?

Dunque, dapprima si presenta cosa è l'analisi di un evento incidentale e quale sia la sua utilità; successivamente si fa riferimento al quadro normativo che regola la gestione di questi eventi in ambito ferroviario e si descrive una modalità di indagine che si può adottare. In particolare, vengono presentati dei *focus* sul metodo di analisi con albero delle cause (*Fault tree analysis*) e sulla macrocausa "fattore umano".

1.1 Analisi di un evento incidentale

L'analisi di un evento indesiderato è un tassello fondamentale per il miglioramento continuo delle imprese e per l'individuazione e introduzione di nuove misure di sicurezza che vadano ad abbattere la probabilità che eventi simili si verifichino in futuro.

Si possono individuare varie tipologie di “eventi indesiderati”:

- gli incidenti che causano gravi danni a cose e persone;
- gli incidenti che non causano danno significativi;
- i pericolati, noti anche con il termine inglese di “*near miss*”, ovvero qualsiasi azione pericolosa che possa costituire una condizione favorevole al verificarsi di un incidente anche se quest'ultimo effettivamente non si verifica.

Questa suddivisione riprende la variante della piramide di *Heinrich* elaborata per l'ambito della sicurezza ferroviaria¹.

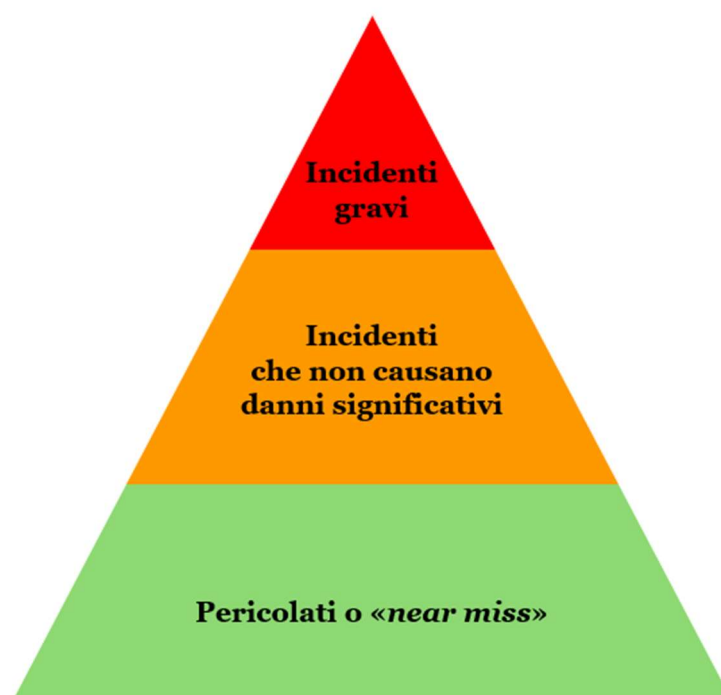


Figura 1. Piramide di Heinrich

¹ Acquaro Giuseppe, *La sicurezza ferroviaria – Principi, approcci e metodi nelle norme nazionali ed europee*, CIFI, Roma, 2019

Interessante è notare il rapporto che esiste fra il numero di casi riconducibili alle varie tipologie di eventi indesiderati: *Heinrich* dimostrò che ad ogni incidente grave che si verifica corrisponde un numero molto maggiore di incidenti meno gravi ed un numero ancor più grande di pericoli.

In altre parole, fra gli eventi pericolosi che si verificano, solo una minima parte di essi si trasforma in un effettivo incidente con gravi danni, mentre la maggior parte di essi si rivela un semplice pericolo o al più un incidente con gravi danni. Dunque, al fine di ridurre il numero di incidenti gravi è opportuna una catalogazione e analisi anche dei pericoli.

Una volta analizzate le cause dirette di un evento indesiderato e adottate le misure di mitigazione del caso, se si vogliono perseguire ulteriori obiettivi di miglioramento in ambito di sicurezza, si possono analizzare quei fattori che “erodono i margini di sicurezza del sistema”² e che sono stati definiti “fallimenti latenti” dal professor *James Reason*.

In ambito ferroviario questo genere di eventi indesiderati prende il nome di “non conformità” (NC).

² Acquaro Giuseppe, *La sicurezza ferroviaria – Principi, approcci e metodi nelle norme nazionali ed europee*, CIFI, Roma, 2019, pag. 300.

1.2 Processo di analisi di una non conformità in ambito ferroviario

Le imprese ferroviarie sono tenute ad elaborare procedure che regolino la gestione delle non conformità nell'ambito del loro SGS.

Ad oggi i documenti normativi di riferimento sulla base dei quali le IF redigono le loro procedure in materia sono i seguenti:

- decreto legislativo 50 del 14 maggio 2019 *“Attuazione della direttiva 2016/798 del Parlamento europeo e del Consiglio, dell’11 maggio 2016, sulla sicurezza delle ferrovie”*;
- Reg. UE 762/2018, allegato 1, in particolare per quanto riguarda i requisiti 7.1 e 7.2.

Partendo da questi documenti come base, si può descrivere un processo delle non conformità articolato nelle fasi ora descritte.

1. Acquisizione informazione e apertura della non conformità

In questa fase si acquisisce l'informazione sulla non conformità e si nomina una commissione di indagine formata da uno o più esperti tecnici (ad esempio un istruttore per il settore di attività coinvolto) responsabili di condurre degli accertamenti.

2. Processo di indagine

La commissione di indagine ricostruisce la possibile dinamica dell'evento analizzando i singoli elementi coinvolti nel sistema in cui è avvenuto l'evento indesiderato e cercando di individuare ogni possibile causa. Ci si basa dunque sui rapporti causa-effetto.

3. Analisi delle risultanze, approvazione misure da attuare e chiusura della non conformità

In questa fase si approvano le azioni correttive e preventive da implementare indicando la struttura / il soggetto responsabile della loro realizzazione, indicando anche modi e tempi di attuazione.

4. Documentazione, registrazione della Non Conformità e archiviazione

Tutta la documentazione prodotta nelle fasi precedenti (ad esempio rapporto di indagine, evidenze, etc.) è raccolta in un *dossier*, registrata in apposito *database* e archiviata.

1.3 Metodo per la conduzione dell'indagine³

Descritto per sommi capi il processo di trattazione delle non conformità, risulta utile addentrarsi nella seconda fase che costituisce l'indagine vera e propria presentando una modalità di ricerca delle cause da adottarsi dalla commissione incaricata.

Dapprima si ricostruisce una descrizione dettagliata del sistema nel quale si è verificata la non conformità analizzando gli elementi che lo compongono. Gli enti coinvolti nel sistema in ambito ferroviario possono essere i seguenti: materiale rotabile, infrastruttura ferroviaria, personale, elementi esterni.

Successivamente si passa ad un primo livello di analisi delle cause che consiste nell'individuazione di una o più macrocause fra le seguenti:

- macrocausa tecnica: difetto tecnico (conformazionale, elettrico, meccanico, pneumatico) di un elemento costituente il sistema;
- fattore umano: applicazione non corretta delle procedure da parte del personale;
- fattore organizzativo: carenza di elementi organizzativi quali procedure e disposizioni al personale sulle modalità di esecuzione di determinate operazioni;
- macrocausa esterna: non conformità generata ad un elemento esterno al sistema ferroviario.

Un secondo livello di analisi delle cause è costituito dall'individuazione di tutte le possibili cause che possono aver contribuito a fare sì che la non conformità accadesse.

A questo scopo torna utile l'analisi FTA (*Fault tree analysis*).

Una volta individuate le cause, la commissione d'indagine propone delle misure di mitigazione da adottare che possono essere di due tipologie:

- azioni di protezione: finalizzate a ridurre le conseguenze in situazioni simili che possano ripetersi nell'immediato e da attuarsi subito;
- azioni di prevenzione: finalizzate a ridurre la probabilità di accadimento di situazioni simili in futuro e da attuarsi nel medio/lungo periodo secondo uno specifico piano di attuazione.

³ Hupac S.p.A., *Procedura per la gestione del processo di Individuazione, gestione delle non conformità e delle Azioni Correttive e Preventive*, Hupac S.p.A., Busto Arsizio, 2009

1.4 Metodo *Fault tree analysis*⁴

L'analisi FTA (*Fault tree analysis*), nota anche come “analisi mediante albero delle cause / albero degli eventi”, è un metodo grafico per visualizzare le cause di un evento indesiderato e le loro relazioni. Essa permette di risalire alle cause profonde, ovvero di procedere a ritroso analizzando le cause delle cause. L'individuazione delle cause profonde è molto vantaggiosa in quanto una stessa causa profonda può essere all'origine di più eventi indesiderati di diversa entità. Individuandola ed eliminandoli si può, con una sola azione di mitigazione, ridurre la probabilità di accadimento di molteplici eventi indesiderati anche di natura diversa.

Procedendo a ritroso nell'individuazione delle cause è compito di chi effettua l'analisi valutare quando è opportuno fermarsi.

Per la costruzione dell'albero delle cause la prima operazione da fare è individuare l'evento indesiderato, che prende il nome di “*top event*”. Procedendo verso sinistra vengono visualizzate graficamente le possibili cause di cui il *top event* è la conseguenza più diretta. Si procede poi a ritroso rappresentando le cause delle cause fino al livello che si ritiene opportuno.

Nel grafico questi elementi causali sono correlati tra loro tramite gli operatori booleani “AND” e “OR” che rappresentano i rapporti di correlazione che esistono fra essi.

Operatore logico	Simbolo grafico	Significato
AND		Affinché si verifichi l'evento devono verificarsi entrambe le cause
OR		Affinché si verifichi l'evento deve verificarsi almeno una causa fra quelle presenti

Tabella 1. Operatori logici AND OR

⁴ Roberto Maja, materiale didattico del corso di laurea “Trasporti marittimi ed intermodali”, a.a. 2024/2025

Ad ogni causa è legata una probabilità di accadimento con la quale si può risalire alla probabilità di accadimento del *top event* effettuando operazione di calcolo matematico della probabilità. In particolare, in presenza dell'operatore "OR" la probabilità viene calcolata con la formula:

$$P(P_1, P_2, \dots, P_n) = 1 - (1 - P_1)(1 - P_2) \dots (1 - P_n)$$

in presenza dell'operatore "AND" la probabilità viene calcolata con la formula:

$$P(P_1, P_2, \dots, P_n) = P_1 \times P_2 \times \dots \times P_n$$

Adottando lo stesso procedimento, sulla destra del *top event* si può costruire l'albero degli eventi. Esso rappresenta le possibili conseguenze che l'evento indesiderato può generare.

L'unione di albero delle cause ed albero degli eventi prende il nome di "diagramma a farfalla".

1.5 Il fattore umano⁵

Si approfondisce ora la macrocausa che prende il nome di “fattore umano”.

Numerose stime concordano che più del 60% degli eventi indesiderati sono riconducibili al fattore umano.

Procedendo a catalogare i tipi di fattori umani bisogna dapprima fare la distinzione fra errori umani veri e propri, ovvero quelli commessi inconsapevolmente, e violazioni, ossia l'inosservanza consapevole di un vincolo giuridico che può diventare più grave qualora fosse ripetuta recidivamente.

Gli errori umani sono classificabili in tre tipologie:

- *skill based*: causati dalla disattenzione (molto diffusi negli operatori più esperti che svolgono mansioni abitudinarie);
- *rule based*: dovuti all'applicazione di una procedura nel momento o contesto sbagliato;
- *knowledge based*: riconducibili alla mancanza di conoscenza delle procedure da applicare.

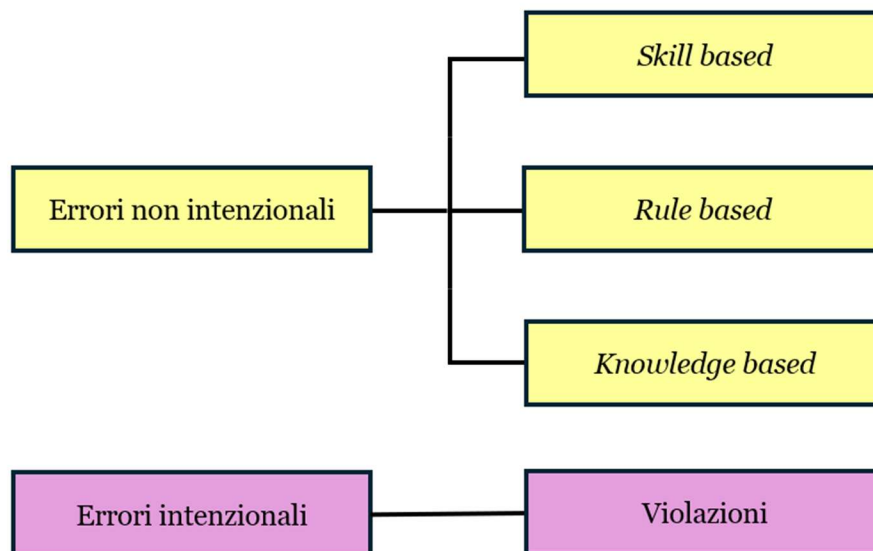


Figura 2. Classificazione degli errori umani

⁵ Laguzzi Alberto Francesco, *L'efficace controllo operativo dei processi critici è condizione determinante per il miglioramento continuo delle organizzazioni. Resoconto sull'esperienza di progettazione, implementazione e sviluppo di un'applicazione informatica per la raccolta e l'elaborazione delle informazioni rilevanti per i processi QHSE*, Tesi di Master, Università degli Studi dell'Insubria, a.a. 2021/2022

Un approccio perseguito dalle imprese nell'ambito dell'individuazione delle falle riconducibili a fattori umani e organizzativi è la *just culture*. Questo metodo prevede e incoraggia la segnalazione spontanea da parte del personale delle non conformità, evitando un approccio punitivo nei confronti di denuncia. In questo modo si cerca di catalogare anche tutti i pericoli di cui non si verrebbe a conoscenza non avendo essi conseguenze concrete. Ricordando la piramide di *Heinrich* presentata all'inizio di questo capitolo è subito chiaro quanto l'analisi dei pericoli sia utile nel miglioramento della sicurezza: abbattendo il numero di questi eventi, si abbatta decisamente la probabilità di accadimento di incidenti gravi.

Si presentano ora quattro metodi proposti dall'organismo investigativo per indagini di sicurezza su incidenti ferroviari e marittimi DIGIFEMA⁶ per l'analisi del fattore umano. Si precisa che in altri ambiti, ad esempio in ambito aeronautico o nell'ambito della gestione di imprese commerciali, sono stati elaborati numerosi metodi per indagare le cause ed in particolare il fattore umano; il contesto ferroviario in anni recenti ha preso spunto e reso propria questa modalità di analizzare le cause delle non conformità facendo ricorso a metodi scientifici e oggettivi.

⁶ DIGIFEMA, *Relazione Analisi del fattore umano negli eventi incidentali dei settori ferroviario e marittimo*, 2024 [<https://digifema.mit.gov.it/wp-content/uploads/2024/10/Relazione-Digifema-su-Fattore-umano.pdf>].

1.5.1 Metodo SHELL⁷

Il metodo SHELL è nato in ambito aeronautico e successivamente è stato utilizzato anche dall'ente investigativo ministeriale DIGIFEMA. Esso si propone di cercare le cause di una non conformità analizzando quattro ambiti fondamentali:

- il *software*: ovvero politiche organizzative, procedure, manuali, avvisi e direttive;
- l'*hardware*: ovvero macchine, impianti, attrezzature e strutture;
- l'*environment*: ovvero l'ambiente di lavoro (sia fisico che sociale);
- il *liveware*, suddiviso in:
 - *liveware* elemento umano: esso “rappresenta il contributo di ogni persona, con le sue capacità e limitazioni, siano esse fisiche, fisiologiche, psicologiche, o psicosociali”⁸;
 - *liveware* elemento periferico: “comprende fattori come il *management*, la supervisione, le interazioni tra gli operatori e le comunicazioni”⁹.

È importante sottolineare che in un sistema considerato sicuro un incidente non è quasi mai attribuibile ad una singola causa umana, ma all'interazione tra l'operatore e il sistema. Questo concetto è noto come “teoria del formaggio svizzero” o “modello di Reason”. Ecco perché l'analogia del formaggio svizzero: per attraversare uno strato di formaggio con una linea retta è necessario che vi siano tanti buchi tutti allineati ed in continuità fra loro, allo stesso modo tante singole cause umane che si verificano contemporaneamente fanno sì che un incidente si verifichi.

⁷ DIGIFEMA, *Studio di eventi incidentali precursori e fattore umano*, 2022, [<https://digifema.mit.gov.it/wp-content/uploads/2022/10/Studio-per-sito.pdf>].

⁸ *Ibi*, pag. 15

⁹ *Ibid.*

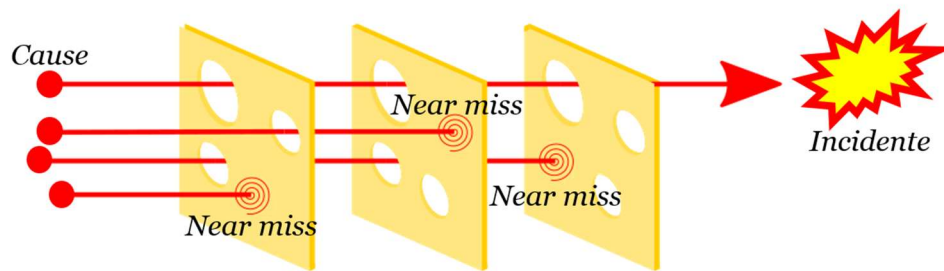


Figura 3. Teoria del formaggio svizzero

L'obiettivo finale del metodo SHELL è quello di adattare gli elementi non umani (classificati come *software*, *hardware* ed *environment*) affinché essi non siano una concausa di incidenti quando dovessero verificarsi in contemporanea ad errori riconducibili direttamente al comportamento umano (*liveware*).

1.5.2 Metodo HTA¹⁰

Il metodo HTA (*Hierarchical Task Analysis*) si focalizza sull'analisi delle mansioni, dunque è particolarmente utile per indagare l'interazione uomo-macchina e l'interazione uomo-uomo.

In pratica una volta bene identificate le mansioni presenti in una data attività si procede scomponendo ciascuna di esse in sotto-operazioni che a loro volta vengono scomposte in azioni elementari. Successivamente, si procede alla fase di pianificazione, ovvero si mettono in sequenza le operazioni elementari specificando l'ordine e le condizioni che disciplinano l'esecuzione di tali operazioni.

Questa scomposizione delle mansioni permette di focalizzarsi sulle singole azioni elementari individuando punti critici (come errori, omissioni, sovraccarichi cognitivi). Questo metodo è infine utile nell'ambito del miglioramento continuo di un'azienda per la progettazione di procedure più chiare.

¹⁰ DIGIFEMA, *Relazione Analisi del fattore umano negli eventi incidentali dei settori ferroviario e marittimo*, 2024 [<https://digifema.mit.gov.it/wp-content/uploads/2024/10/Relazione-Digifema-su-Fattore-umano.pdf>].

1.5.3 Metodo CREAM¹¹

Il metodo CREAM (*Cognitive Reliability and Error Analysis Method*) analizza il comportamento umano focalizzandosi sulle funzioni cognitive e sull'influenza che le condizioni dell'ambiente di lavoro hanno su di esse.

A questo scopo si utilizza una *checklist* contenente nove parametri definiti *common performance conditions* (CPC), ad ognuno di essi è assegnato un livello qualitativo. Questo metodo può essere usato sia in chiave retrospettiva, cioè per individuare le cause di eventi indesiderati già accaduti, sia in chiave predittiva, vale a dire per determinare la probabilità di un evento incidentale non ancora verificatosi.

Nella pagina seguente si riporta la *checklist* in questione.

¹¹ DIGIFEMA, *Relazione Analisi del fattore umano negli eventi incidentali dei settori ferroviario e marittimo*, 2024 [<https://digifema.mit.gov.it/wp-content/uploads/2024/10/Relazione-Digifema-su-Fattore-umano.pdf>].

CPC	Livello qualitativo
Adeguatezza dell'organizzazione	Molto efficiente
	Efficiente
	Inefficiente
	Inadeguata
Condizioni dell'ambiente di lavoro	Vantaggiose
	Compatibili
	Incompatibili
Adeguatezza dell'interazione uomo-macchina e dei supporti operativi	Adeguate
	Tollerabile
	Inappropriata
Fattibilità delle procedure e delle pianificazioni	Appropriata
	Accettabile
	Inappropriata
Quantità dei compiti contemporaneamente svolti dall'operatore	Minore della capacità
	Adeguate
	Pari alla capacità
	Più della capacità
Tempo a disposizione	Adeguate
	Normale
	Temporaneamente inadeguato
	Continuamente inadeguato
Ora del giorno in cui viene svolta l'attività	Giorno
	Notte
Idoneità dell'addestramento e della preparazione	Adeguate, alta esperienza
	Adeguate, bassa esperienza
	Leggermente inadeguata
	Inadeguata
Livello di collaborazione e interazione del personale del reparto	Molto efficiente
	Efficiente
	Inefficiente
	Insufficiente

Tabella 2. CPC

1.5.4 Metodo AcciMap¹²

Il metodo per l'analisi degli incidenti AcciMap, elaborato dal ricercatore *Jens Rasmussen*, consiste nel creare una mappa grafica che classifica gli eventi scatenanti un incidente distribuendoli su sei livelli gerarchici:

1. *Societal*: decisioni di alto livello quali le politiche e le direttive che a livello strategico pianificano il settore;
2. *Government*: le norme e le regolamentazioni vigenti nel settore (norme e direttive emesse dalle agenzie per la sicurezza);
3. *Company*: le modalità di gestione della sicurezza del soggetto interessato (norme SGS dell'IF);
4. *Management*: operato e decisioni prese da supervisori, responsabili operativi, ingegneri;
5. *Organizational systems/Staff*: comportamento e qualificazione del personale coinvolto, condizioni operative, interazioni uomo-macchina, ambiente di lavoro;
6. *Physical accident sequence*: sequenza delle decisioni immediate e dei fatti accaduti nello specifico caso che hanno portato al verificarsi dell'incidente.

Il punto di forza di questo metodo è che mostra visivamente in modo immediato l'impatto che le decisioni prese a vari livelli hanno avuto sul verificarsi dell'incidente.

¹² DIGIFEMA, *Relazione Analisi del fattore umano negli eventi incidentali dei settori ferroviario e marittimo*, 2024 [<https://digifema.mit.gov.it/wp-content/uploads/2024/10/Relazione-Digifema-su-Fattore-umano.pdf>].

Si riporta un esempio:

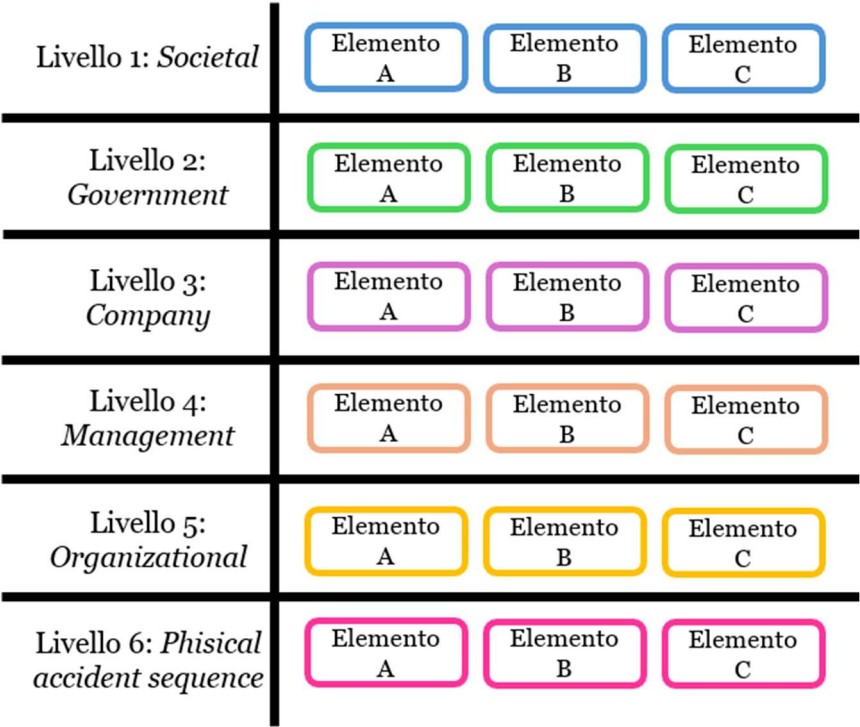


Figura 4. Esempio di analisi con metodo AcciMap

1.6 Conclusioni sullo stato dell'arte

Alla fine di questo capitolo torna utile sottolineare quali dei metodi sopra citati vengono applicati in questo lavoro di tesi.

Si è scelto di utilizzare principalmente il metodo FTA per individuare tutte le possibili cause e conseguenze riconducibili alle casistiche di assi frenati.

Le ragioni della scelta di questo metodo sono le seguenti:

- si ottiene una visualizzazione più chiara ed immediata dei rapporti causa-effetto e della connessione fra le cause rispetto agli altri metodi proposti;
- questo metodo è adatto ad analizzare tutti i tipi di cause a differenza di altri che invece sono particolarmente utili per studiare il solo fattore umano;
- con la presenza dei connettori logici “AND” e “OR” si può introdurre il calcolo probabilistico determinando la probabilità di accadimento di un evento a partire dalla probabilità di verificarsi delle cause (si sottolinea che questo aspetto non è stato sviluppato in questa tesi, ma può costituire un ipotetico sviluppo futuro dell'analisi).

Per analizzare più approfonditamente il fattore si è fatto ricorso sia al metodo FTA sia al metodo SHELL.

Capitolo 2:

Caso studio “Casi di assi frenati ai treni di Hupac S.p.A.”

Si introduce ora la casistica oggetto di analisi in questo elaborato. Si tratta di una serie di casi di assi frenati rilevati sui treni dell’Impresa Ferroviaria Hupac S.p.A. nell’arco di tempo 2023/2025.

Dunque, non si esamina un singolo caso ma una serie di eventi della stessa natura con l’obiettivo di determinare analogie e differenze per poter trovare un’eventuale causa comune.

2.1 Panoramica sui casi di non conformità dovuta ad assi frenati

Si è analizzato un totale di 18 casi verificatisi fra novembre 2022 e agosto 2025 riportati nella seguente tabella.

Caso	Data	Località di servizio di accertamento dell'asse frenato
1	07/11/2022	P.M. Lavino
2	10/01/2023	Milano Certosa
3	14/02/2023	Modena
4	17/02/2023	Parabiago
5	15/04/2023	Certosa di Pavia
6	11/07/2023	Piacenza
7	01/09/2023	Treviglio
8	19/10/2023	Fidenza
9	25/11/2023	S. Ilario d'Enza
10	16/01/2024	Parma
11	20/05/2024	Lodi
12	06/11/2024	Tavazzano
13	10/06/2025	Altavilla Tavernelle
14	13/06/2025	Vittuone
15	26/06/2025	Pioltello
16	30/07/2025	Rezzato
17	27/08/2025	Vittuone
18	28/08/2025	Rezzato

Tabella 3. Località di servizio di accertamento dell'asse frenato

Come primo passaggio si è realizzata una tabella contenente le informazioni ricavabili dal database dell'Impresa Ferroviaria. Per ogni caso in esame si sono raccolte le seguenti informazioni:

1. localizzazione dell'evento;
2. origine e destinazione del treno;
3. data e ora dell'evento, condizioni climatiche;
4. tipo di treno;
5. locomotiva coinvolta;
6. carri coinvolti;
7. posizione dei carri coinvolti all'interno della composizione;
8. carico dei carri;
9. personale coinvolto;
10. mitigazioni immediate intraprese;
11. ritardo accumulato.

È opportuno precisare il criterio con il quale sono stati scelti questi elementi:

- si è dapprima cercato di emulare quanto proposto nella procedura di analisi di un evento incidentale delineata dal professor R. Maja nel corso “Trasporti marittimi ed intermodali”¹³ che prevede l'analisi degli elementi che costituiscono il sistema interessato dall'evento indesiderato (in particolare il caso illustrato durante il corso si riferiva al disastro ferroviario occorso a Viareggio nel 2009);
- per definire quali sono gli elementi costituenti il sistema si è ricorso all'esperienza tecnica di figure professionali di Hupac S.p.A. quali gli istruttori, il direttore di esercizio, il responsabile SGS.

¹³ Maja Roberto, Dispense e diapositive del corso Trasporti marittimi ed intermodali erogato presso il Politecnico di Milano

2.2 Localizzazione degli eventi

Analizzando la localizzazione degli eventi si cerca di individuare un possibile nesso tra i casi esaminati e le caratteristiche dell'infrastruttura percorsa. In particolare, si intende dare risposta alle seguenti domande:

- Le casistiche sono avvenute tutte nella stessa tratta o la distribuzione è tutto sommato casuale?
- Qualora siano identificati su una stessa tratta, tale tratta ha caratteristiche particolari in termini di caratteristiche plano-altimetriche, segnalamento, velocità?
- Gli eventi sono tutti associati allo stesso dispositivo RTB/RTF?

Si riportano sulla mappa le località di servizio in cui è stata effettuata la visita tecnica ai treni a seguito del rilevamento della non conformità in esame.

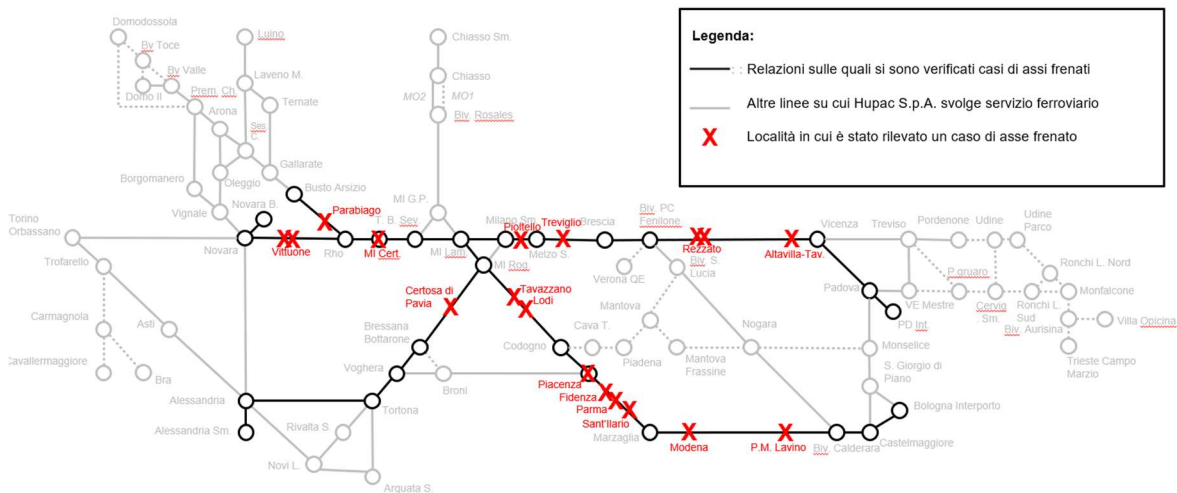


Figura 5. Località in cui sono stati rilevati i casi di assi frenati presi in esame

Analizzando il grafo si evince che la distribuzione dei casi risulta casuale; è altresì necessario sottolineare che una più alta concentrazione di casi rilevati si verifica in prossimità dei dispositivi RTB/RTF che sono presenti, ad esempio, a Vittuone e a Rezzato.

2.3 Origine e destinazione del treno

Analizzando origine e destinazione dei treni coinvolti, si possono mettere in evidenza i seguenti aspetti:

- relazioni con la stessa origine hanno un'incidenza più alta?
- c'è una correlazione tra il rilevamento di un asse frenato e la distanza percorsa dalla località di origine?

I seguenti grafici mostrano le otto relazioni coinvolte, citate in modo anonimo facendo ricorso a lettere (la relazione A-B ha come origine la località A e come destinazione la località B).

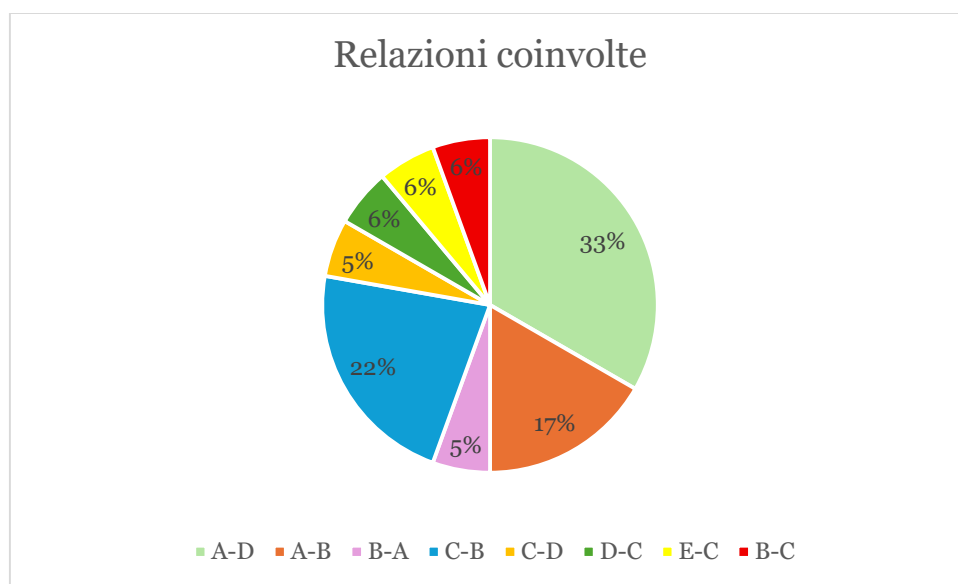


Figura 6. Grafico – Relazioni coinvolte

La relazione in cui si è verificato il maggior numero di casi è la A-D (che comprende la totalità dei casi avvenuti nell'anno 2025).

Il seguente grafico mostra le località di origine dei treni coinvolti.

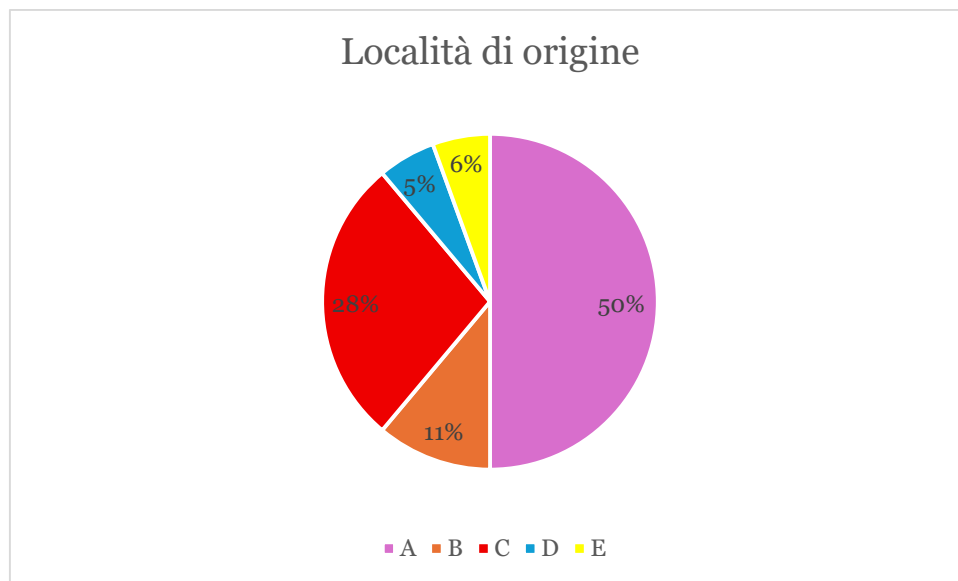


Figura 7. Grafico – Località di origine

Si evince un dato particolarmente significativo: il 50% dei treni coinvolti ha avuto origine nella località A.

È opportuno dunque eseguire un'analisi più approfondita sui casi originati nella località A in modo da individuare cause e fattori comuni che possono avere innescato l'evento asse frenato durante la fase preparazione del treno in quella particolare località.

2.4 Data, ora e condizioni climatiche

Le motivazioni dell'analisi di data, ora e condizioni climatiche sono principalmente due.

- La prima consiste nel capire se elementi come cattive condizioni meteo e orario notturno possano aver influenzato negativamente l'attività del personale.
- La seconda consiste nell'evidenziare una possibile incidenza dei fattori climatici (freddo, caldo e umidità) sul buon funzionamento dei distributori del freno dei rotabili in composizione.

Dei 18 casi in esame uno si è verificato nel 2022, otto nel 2023, tre nel 2024 e sei nel 2025.

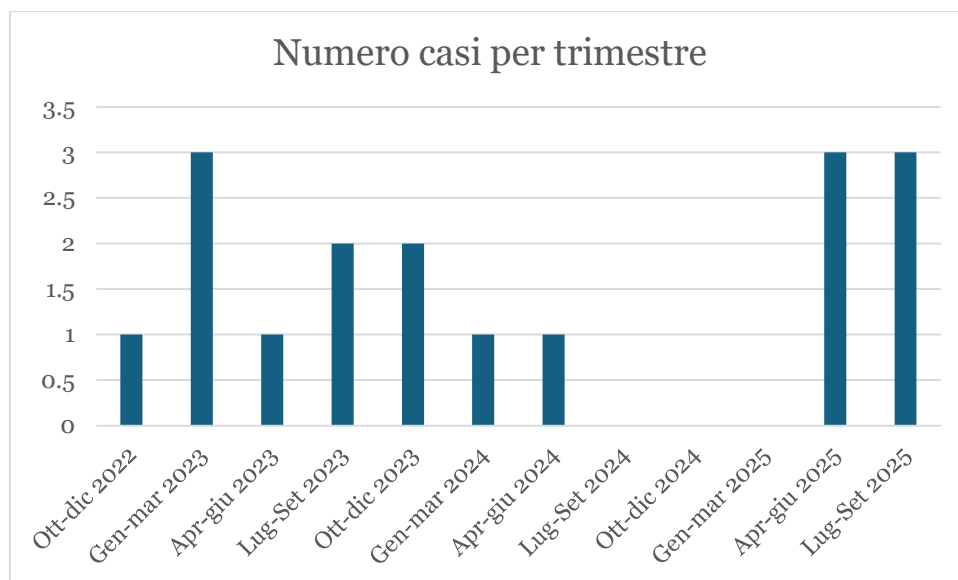


Figura 8. Grafico – Numero casi per trimestre

La maggior parte dei casi si è verificato in assenza di fenomeni metereologici particolari (dati storici presi da *ilmeteo.it*); il 17% dei casi si è verificato con presenza di pioggia o temporali. Considerando che in un anno in pianura Padana si registrano in media 60-80 giorni di pioggia in un anno (16%-22%), si evince che le condizioni climatiche non hanno influenza sui casi in esame.

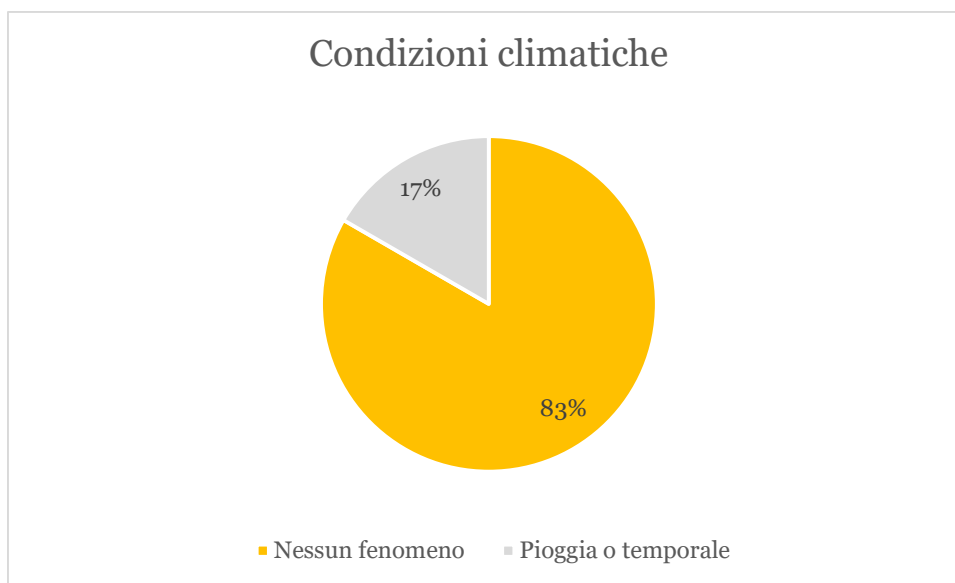


Figura 9. Grafico – Condizioni climatiche

La distribuzione pressoché uniforme nell’arco dei mesi dell’anno rivela che non vi è una dipendenza significativa dalle temperature esterne.

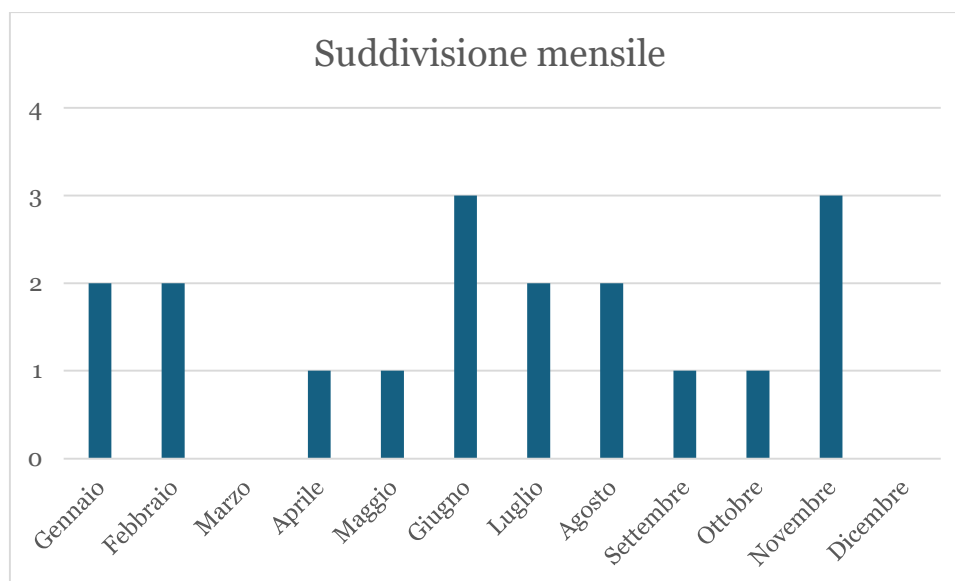


Figura 10. Grafico – Suddivisione mensile

Lo stesso dicasi per la suddivisione oraria: le ore in cui non si sono registrati casi sono le ore di punta del trasporto pendolare (fasce 8.00-10.00 al mattino e 16.00-19.00 alla sera) e le ore di interruzione della circolazione (fascia 1.00-3.00 di notte).

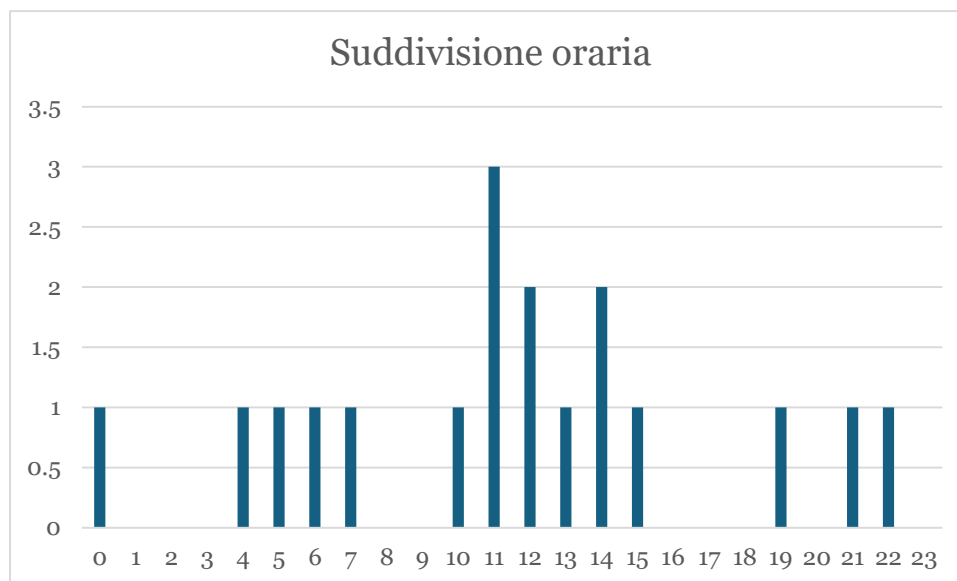


Figura 11. Grafico – Suddivisione oraria

2.5 Tipo di treno

Analizzando il tipo di treno si possono evidenziare due aspetti in particolare.

Il primo consiste nell'appurare se c'è una maggiore incidenza di assi frenati sui treni vuoti o sui treni carichi.

Il secondo aspetto riguarda la massa rimorchiata. Difatti vi è un preciso valore di massa rimorchiata, pari a 1200 tonnellate, che discrimina due diverse configurazioni del freno del treno. Di seguito si riporta quanto scritto nella normativa di interfaccia Prefazione Generale all'Orario di Servizio (PGOS-IF) in merito a questo aspetto:

“Nei treni merci serviti da freno continuo tipo viaggiatori con massa rimorchiata fino a 1200 t sono ammessi veicoli muniti di solo freno tipo merci in azione alle seguenti condizioni:

- *la massa frenata dei veicoli muniti di freno continuo tipo merci non deve superare il 20% della massa frenata complessiva del treno;*
- *nel computo della percentuale di massa frenata del treno, la massa frenata dei veicoli muniti di freno continuo tipo merci deve essere ridotta del 25%.*

Qualora la massa frenata tipo merci superi il 20% della massa frenata complessiva del treno dovranno applicarsi le norme della frenatura continua mista (Art. 77). Nei treni merci serviti da freno continuo tipo viaggiatori con massa rimorchiata superiore a 1200 t i primi cinque rotabili ubicati dopo la o le locomotive attive in testa al treno devono essere muniti di freno continuo tipo merci rispettando le seguenti ulteriori condizioni:

- *non sono ammessi altri rotabili muniti di freno continuo tipo merci;*
- *nel computo della percentuale di massa frenata del treno, la massa frenata dei veicoli rimorchiati muniti di freno continuo tipo merci deve essere ridotta del 25%.”¹⁴*

¹⁴ Rete Ferroviaria Italiana, *Prefazione Generale all'Orario di Servizio – PGOS-IF*, RFI, Roma, 2024

Data	Numero treno	Tipo treno	Massa rimorchiata
07/11/2022	74515	MRV	225
10/01/2023	51153	TC	1168
14/02/2023	55110	MRV	921
17/02/2023	55110	MRV	842
15/04/2023	68094	MRV	483
11/07/2023	51153	TC	1598
01/09/2023	51175	TC	829
19/10/2023	51153	TC	776
25/11/2023	51153	TC	1268 (1247 a seguito di scarto del carro)
16/01/2024	55110	TC	971
20/05/2024	50183	TC	876
06/11/2024	50183	TC	970
10/06/2025	51155	TC	978
13/06/2025	50361	TC	1066
26/06/2025	69005	TC	1022
30/07/2025	51155	TC	928
27/08/2025	51155	TC	1559
28/08/2025	51155	TC	984

Tabella 4. Tipo di treno e massa rimorchiata

La tabella della pagina precedente evidenzia che in quattordici casi su diciotto il treno era classificato come treno merci combinato (TC), ovvero con carri trasportanti container o casse mobili per il trasporto combinato; nei rimanenti quattro casi, tutti verificatisi nella prima metà del 2023, il treno era composto da carri vuoti (classificazione MRV, merci rapido vuoti).

Per quanto riguarda la massa rimorchiata in tre casi su diciotto (16%) il treno superava le 1200 tonnellate; guardando il totale dei treni effettuati dall'Impresa Ferroviaria nel periodo in esame (ottobre 2022-settembre 2025) il 23% dei treni effettuati ha superato le 1200 t. Dunque si evince che non c'è un nesso fra treni con massa maggiore di 1200 t e casi di assi frenati.

2.6 Locomotive coinvolte

Si indaga ora quali siano le locomotive che erano titolari dei treni in esame. Quest'analisi ha la finalità di individuare se i casi di assi frenati sono legati in particolare ad un tipo di locomotiva. In caso affermativo si potrebbe approfondire le caratteristiche tecniche di tale gruppo di locomotive come, ad esempio, l'impianto frenante e il tipo di rubinetto del freno. Si può anche verificare se gli assi frenati sono legati ad una singola locomotiva: in questo caso essi potrebbero essere ascritti a difetti della singola macchina come una errata taratura del rubinetto del freno.

Nel periodo analizzato (ottobre 2022-settembre 2025) Hupac S.p.A. per la trazione dei propri treni ha utilizzato i seguenti gruppi di locomotive:

- E 193;
- E 483;
- E 484;
- D 100.

Il seguente grafico mostra quali gruppi di locomotive l'Impresa Ferroviaria ha utilizzato per la trazione dei suoi treni. Per offrire un ordine di grandezza nel periodo che va da ottobre 2022 a settembre 2025 Hupac S.p.A. ha effettuato circa 2400 treni. Di questi circa i due terzi sono stati effettuati con una locomotiva del gruppo E 483 e circa un quarto dal gruppo E 484. Il gruppo E 193 è stato utilizzato solo negli anni 2022 e 2024 per la trazione di una percentuale minoritaria di treni. Una percentuale esigua di treni è stata infine trainata da locomotive diesel del gruppo D 100.

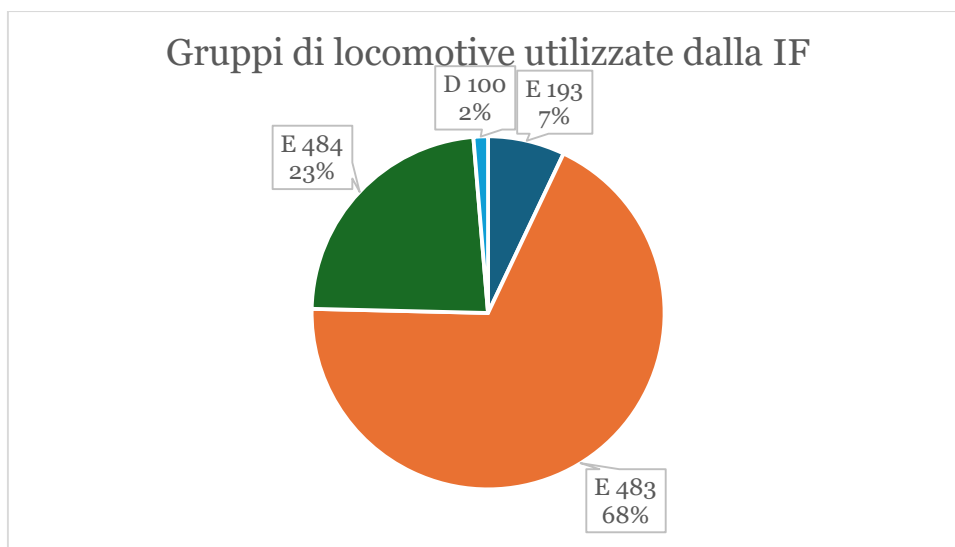


Figura 12. Grafico – Gruppi di locomotive utilizzate dalle IF

Focalizzandosi solamente sulle locomotive alla trazione delle diciotto casistiche esaminate si evince che in tredici casi su diciotto è coinvolta una E 483, mentre nei rimanenti casi una E 484.

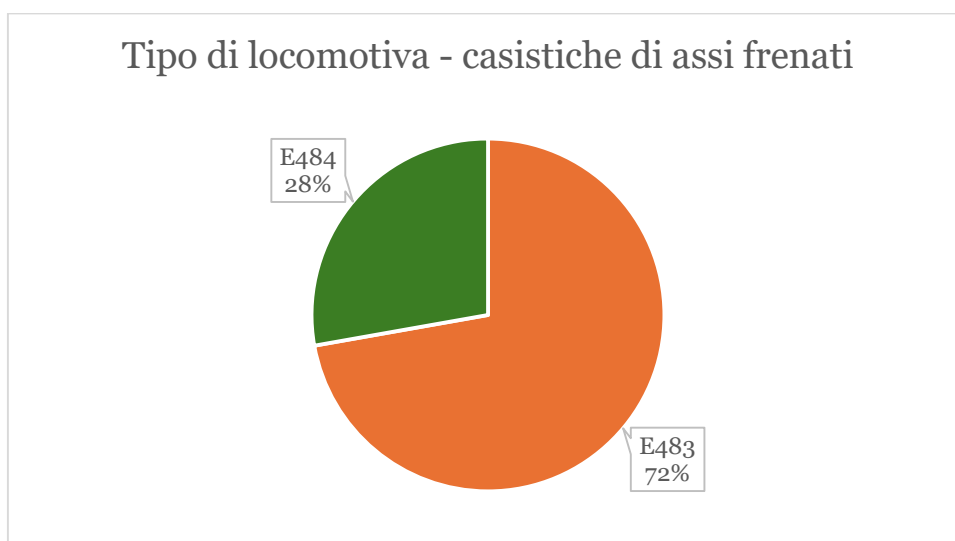


Figura 13. Grafico – Tipo di locomotiva - casistiche di assi frenati

Si analizzano ora le singole locomotive utilizzate dall'impresa ferroviaria fra ottobre 2022 e settembre 2025.

Si è scelto di identificare più esemplari dello stesso gruppo di locomotive utilizzando lettere dell'alfabeto in luogo del numero di serie. Ad esempio la locomotiva E 484-A sarà la prima locomotiva del gruppo E 484 utilizzata da Hupac S.p.A.

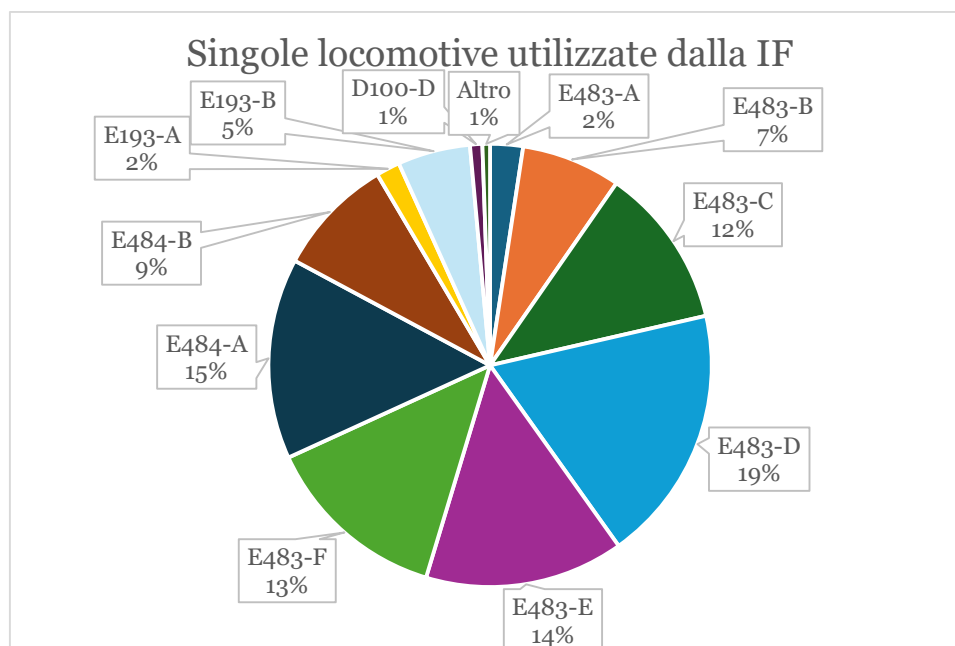


Figura 14. Grafico – Singole locomotive utilizzate dalla IF

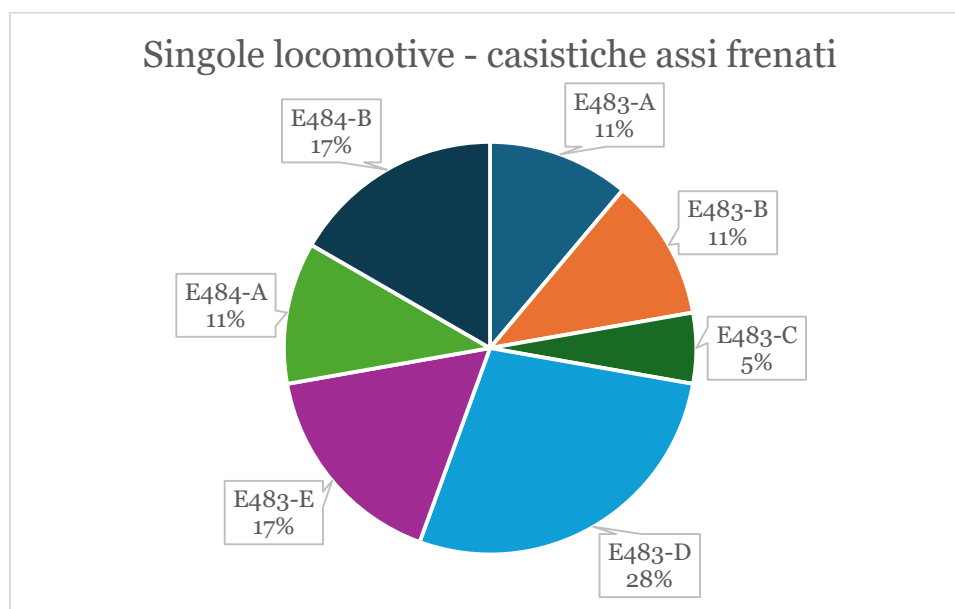


Figura 15. Grafico – Singole locomotive - casistiche assi frenati

La locomotiva maggiormente coinvolta risulta la E 483-D titolare del treno in cinque casi sui diciotto verificatisi.

2.7 Carri coinvolti

Si passa ora ad un'analisi sui carri coinvolti. In particolare si cerca una correlazione fra gli assi frenati ed i seguenti aspetti:

- detentore del carro,
- tipologia di carro.

Innanzitutto si sottolinea che nella maggior parte dei casi un solo carro dell'intera composizione presentava assi frenati; in un caso i carri frenati erano due. Caso particolare è quello del treno 50361 del 13 giugno 2025 in cui sono stati individuati assi frenati su ben quattro carri (sette assi frenati in totale).

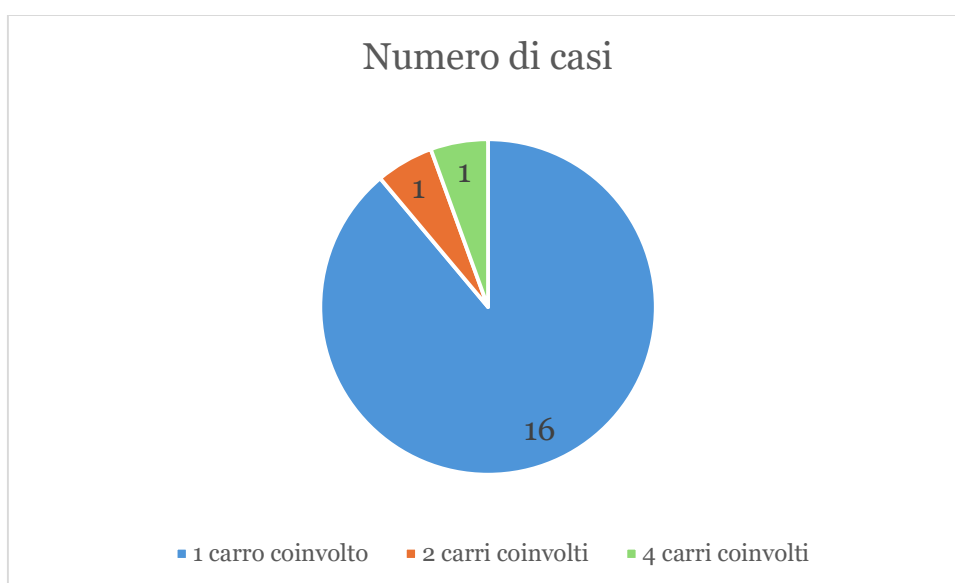


Figura 16. Grafico – Numero di casi

Dunque, considerando tutti gli eventi, si ha una totalità di 23 carri coinvolti.

La seguente tabella mostra tutti i carri coinvolti, la loro tipologia, una loro descrizione, il loro detentore. Al fine di mantenere i nomi dei detentori anonimi (li si è chiamati in modo fittizio D1, D2, D3, D4) nel NEV (numero europeo veicolo) sono state omesse le ultime quattro cifre che permettono di identificare univocamente il detentore. Rilevanti al fine della nostra analisi e non soggette a mascheramento sono anche le cifre che occupano dalla quinta all'ottava posizione: esse permettono di identificare la tipologia di carro.

Data	Numero treno	Carro	Tipologia di carro (serie)	Descrizione	Detentore
07/11/2022	74515	33564993xxx-x	SDGGMRS	Tasca doppio T3000	D2
10/01/2023	51153	33854956xxx-x	SDGGMRSS	TASCA T3000 FRENI A DISCO SERIE III	D1
		33854956xxx-x	SDGGMRSS	TASCA T3000 FRENI A DISCO SERIE III	D1
14/02/2023	55110	33854556xxx-x	SGNS	PIANALE 60' SERIE VII	D1
17/02/2023	55110	33854992xxx-x	SDGGMRSS	TASCA DOPPIO T3000 SERIE IV	D1
15/04/2023	68094	33854578xxx-x	SGMNSS	PIANALE 48' SERIE I	D1
11/07/2023	51153	83854512xxx-x	SDGMNSS	TASCA III SERIE V	D1
01/09/2023	51175	33854506xxx-x	SDGNSS	TASCA IV SERIE II	D1
19/10/2023	51153	33854575xxx-x	SGNSS	PIANALE 60' SERIE XII	D1
25/11/2023	51153	83854512xxx-x	SDGMNSS	TASCA III SERIE V	D1
16/01/2024	55110	33854506xxx-x	SDGNSS	TASCA IV SERIE II	D1
20/05/2024	50183	37844956xxx-x	SDGGMRSS	TASCA DOPPIO T3000 NEO	D3
06/11/2024	50183	33854576xxx-x	SGNSS	PIANALE 60' LIGHT SERIE XVI	D1
10/06/2025	51155	37844956xxx-x	SDGGMRSS	TASCA DOPPIO T3000 NEO	D3
13/06/2025	50361	33854992xxx-x	SDGGMRSS	TASCA DOPPIO T3000	D4
		33854506xxx-x	SDGNSS	TASCA IV SERIE II	D1
		33854575xxx-x	SGNSS	PIANALE 60' SERIE X	D1
		33854506xxx-x	SDGNSS	TASCA V SERIE V	D1
26/06/2025	69005	33854506xxx-x	SDGNSS	TASCA V SERIE I	D1
30/07/2025	51155	33854526xxx-x	SDGNSS	TASCA 4.2 SERIE VI	D1
27/08/2025	51155	33854956xxx-x	SDGGMRSS	TASCA T3000 FRENI A DISCO SERIE III	D1
28/08/2025	51155	33854506xxx-x	SDGNSS	TASCA V SERIE III	D1

Tabella 5. Carri coinvolti

Per ogni carro coinvolto è stato individuato il soggetto detentore: si evince che nella stragrande maggioranza dei casi, il detentore in possesso dei carri è il soggetto D1; bisogna altresì sottolineare che Hupac S.p.A. fa uso quasi esclusivo di carri di proprietà di D1. Sono coinvolti altri tre detentori (D2, D3 e D4). Dunque l'analisi di questo dato risulta poco significativa.

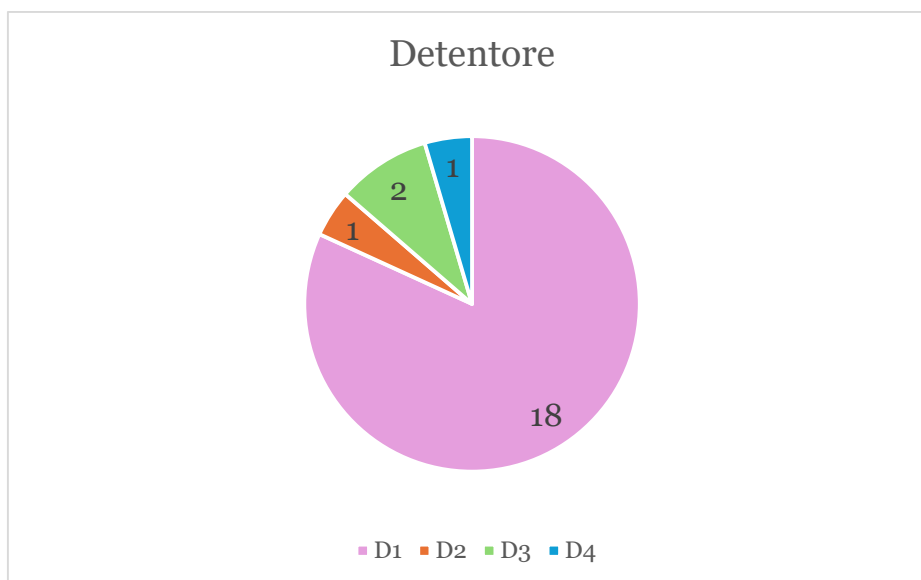


Figura 17. Grafico – Detentore

Infine si sottolinea che nessun carro è stato soggetto a casi di assi frenati per più di una volta.

Si analizza ora la tipologia dei carri coinvolti.

Tipologia di carro	Numero di carri coinvolti	Percentuale sul totale dei carri
Tasca doppio	8 (36%)	107 (29%)
Tasca semplice	10 (46%)	219 (59%)
Pianale	4 (18%)	45 (12%)

Tabella 6. Tipologia carri coinvolti

Si evince che diciotto carri su ventidue sono carri tasca. Questo tipo di carri presenta un apparato frenante con una timoneria molto ridotta a causa del poco spazio disponibile essendo il pianale ribassato in modo da poter ospitare semirimorchi stradali senza che essi eccedano la sagoma limite ferroviaria. I carri tasca doppi sono

articolati e presentano tre carrelli: due all'estremità e uno in centro in prossimità dello snodo.

La preponderanza di carri tasca, tuttavia, non rappresenta un elemento statistico rilevante in quanto essa è riconducibile al tipo di trasporto prevalentemente richiesto dal cliente: essendo molto alta la richiesta di trasporto di semirimorchi, i carri in composizione ai treni di Hupac sono in prevalenza carri tasca.

Tipologia di freni	Numero di carri coinvolti	Percentuale sul totale dei carri
Freni a ceppi	19 (86%)	300 (81%)
Freni a disco	3 (14%)	71 (19%)

Tabella 7. Tipologia freni dei carri coinvolti

Quasi la totalità dei carri coinvolti presenta freni a ceppi, solo tre carri sono dotati di freni a disco. Questa ripartizione non presenta particolari discostamenti dal totale dei carri in uso ad Hupac S.p.A.

Si precisa che il numero totale di carri su cui sono state calcolate le percentuali nelle tabelle 6 e 7 è il numero di carri in composizione ai treni esaminati e non il totale dei carri utilizzati dall'impresa ferroviaria: non è stato possibile reperire questo dato stante il lungo periodo analizzato e l'alto numero di carri che Hupac ha utilizzato nel lasso di tempo preso in esame.

2.8 Posizione dei carri nella composizione

Si analizza ora la posizione dei carri frenati all'interno delle singole composizioni per capire se essa ha un'influenza sulle casistiche di assi frenati.

Data	N treno	Carri																								
07/11/2022	74515	1	2	3	4	5	6	7																		
10/01/2023	51153	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
14/02/2023	55110	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23		
17/02/2023	55110	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
15/04/2023	68094	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
11/07/2023	51153	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
01/09/2023	51175	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22			
19/10/2023	51153	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23		
25/11/2023	51153	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23		
16/01/2024	55110	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22			
20/05/2024	50183	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18							
06/11/2024	50183	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21				
10/06/2025	51155	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17								
13/06/2025	50361	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20					
26/06/2025	69005	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20					
30/07/2025	51155	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18							
27/08/2025	51155	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19						
28/08/2025	51155	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19						

Tabella 8. Posizione dei carri coinvolti

Come si evince dalle caselle evidenziate in rosso, la distribuzione dei carri frenati all'interno della composizione dei carri frenati sembra essere casuale. Viene dunque smentita la ragionevole aspettativa di trovare carri frenati nella parte terminale del treno, punto più lontano dalla locomotiva che alimenta la condotta del freno.

I treni evidenziati in arancione nella tabella, come già evidenziato nel paragrafo 2.5 sono quelli la cui massa rimorchiata eccede le 1200 t. Si rammenta che la PGOS-IF prescrive che in questo caso i primi cinque carri della composizione abbiano il freno in configurazione tipo “merci”, mentre tutti i successivi carri abbiano la configurazione del treno tipo “viaggiatori”. In due casi su tre, il carro con asse frenato apparteneva ai primi cinque, dunque aveva la configurazione del freno tipo “merci”.

2.9 Carico dei carri

Si esamina ora la massa dei carri e si opera la distinzione fra carri carichi e carri vuoti coinvolti. Un primo elemento di indagine è il seguente: c'è una netta prevalenza di carri vuoti o di carri carichi fra quelli che hanno avuto assi frenati?

Un secondo elemento dipende dal fatto che tutti i carri in questione sono dotati di dispositivo vuoto-carico autocontinuo. Dunque ci si può chiedere: vi è un nesso fra la configurazione vuoto-carico del freno e i casi di assi frenati?

Data	N treno	Massa del carro																									
07/11/2022	74515	35	19	41	20	41	35	34																			
10/01/2023	51153	17	17	18	86	21	22	88	64	22	73	21	80	77	36	22	49	72	72	58	28	44	81	36	17	20	
14/02/2023	55110	23	36	41	86	49	48	20	20	71	22	17	17	20	35	36	48	53	28	47	57	51	53	43			
17/02/2023	55110	79	33	20	17	17	52	81	49	22	20	20	18	26	21	21	23	53	30	30	19	40	52	55	25	19	
15/04/2023	68094	38	20	20	18	20	17	19	19	18	17	20	17	17	20	17	17	22	20	17	20	17	19	18	18	18	
11/07/2023	51153	81	79	83	77	86	75	78	65	66	76	22	70	17	83	29	78	82	77	28	81	75	49	22	25	94	
01/09/2023	51175	56	21	50	106	17	21	22	70	69	17	22	29	26	22	17	56	55	52	17	22	27	35				
19/10/2023	51153	49	20	22	20	63	20	16	18	18	23	75	17	20	20	17	17	20	74	50	47	77	38	35			
25/11/2023	51153	49	84	93	82	54	48	30	55	22	79	54	16	21	52	22	81	82	36	86	36	88	77	21			
16/01/2024	55110	82	20	84	56	20	56	54	32	48	48	56	21	21	21	21	41	20	54	50	35	38	80				
20/05/2024	50183	23	20	53	22	22	21	41	98	55	54	65	99	66	55	64	20	21	70								
06/11/2024	50183	42	49	56	70	52	34	28	28	28	41	34	54	62	20	36	47	85	52	28	28	85					
10/06/2025	51155	43	100	102	52	73	94	73	39	35	21	20	55	49	50	21	56	87									
13/06/2025	50361	53	17	20	20	105	103	47	57	104	52	51	21	21	52	66	57	56	45	89	22						
26/06/2025	69005	35	35	21	21	21	51	35	21	56	74	48	55	52	41	52	101	98	100	46	51						
30/07/2025	51155	91	76	21	21	41	54	36	75	53	41	55	56	56	46	28	61	25	82								
27/08/2025	51155	99	87	84	85	79	83	79	83	48	105	80	53	91	90	77	101	83	54	87							
28/08/2025	51155	25	53	94	54	48	87	99	39	36	56	56	26	28	41	82	24	21	54	53							

Tabella 9. Massa dei carri

Nella tabella sono riportate in nero le masse dei carri carichi, in verde le masse dei carri vuoti; le caselle evidenziate il rosso rappresentano i carri con assi frenati.

Prendendo come totalità del campione statistico i 371 in composizione ai treni in esame, si ottengono i risultati seguenti da cui si evince che il carico dei carri non influisce sulle casistiche di assi frenati.

	Carri vuoti	Carri carichi
Carri con assi frenati	8 (36%)	14 (64%)
Totale carri	124 (33%)	247 (67%)

Tabella 10. Percentuali di carri vuoti e carri carichi

2.10 Personale coinvolto

Si analizza ora il personale coinvolto nella preparazione e condotta dei treni esaminati al fine di individuare, mantenendo l'anonimato, se più casistiche di assi frenati possono essere ricondotte ad azioni errate commesse da uno stesso soggetto.

Le tre figure professionali coinvolte sono:

- Preparatore del treno (PdT);
- Agente di condotta (AdC);
- Polifunzione treno merci (PTM).

Il preparatore del treno è abilitato ai sensi della OPE TSI (Reg. UE 773/2019). Fra le competenze e le attività che deve svolgere vi è la visita tecnica al materiale rotabile prima della partenza del treno. Tale attività potrebbe avere attinenza con il verificarsi di non conformità legate ad assi frenati durante il percorso del treno. Si ritiene sia quindi rilevante approfondire se la distribuzione casistica sia casuale sul campione statistico (la totalità dei preparatori del treno) o se vi sia evidenza di un maggior coinvolgimento di alcuni singoli agenti nei casi di non conformità analizzati.

La tabella di seguito assegna ad ogni preparatore del treno il numero di coinvolgimenti in casi di treni con assi frenati. Si nota come il PdT8 sia correlato ad un alto numero di casi.

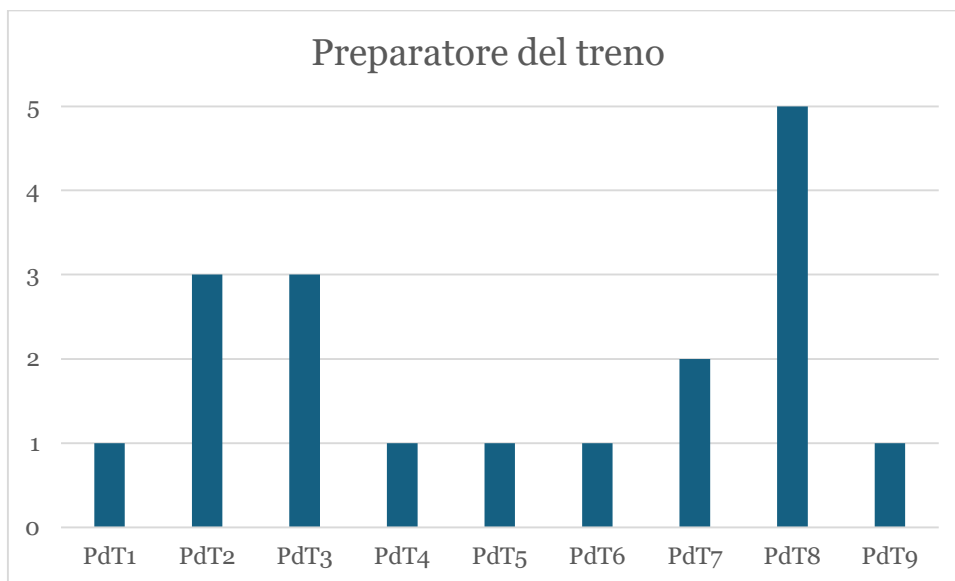


Figura 18. Grafico – Preparatore del treno

Per quanto riguarda gli agenti di condotta, le azioni da loro svolte che hanno attinenza con il caso in esame sono il corretto utilizzo del freno e la realizzazione della prova freno ogni qualvolta necessario.

La tabella di seguito assegna ad ogni macchinista il numero di coinvolgimenti in casistiche di treni con assi frenati.

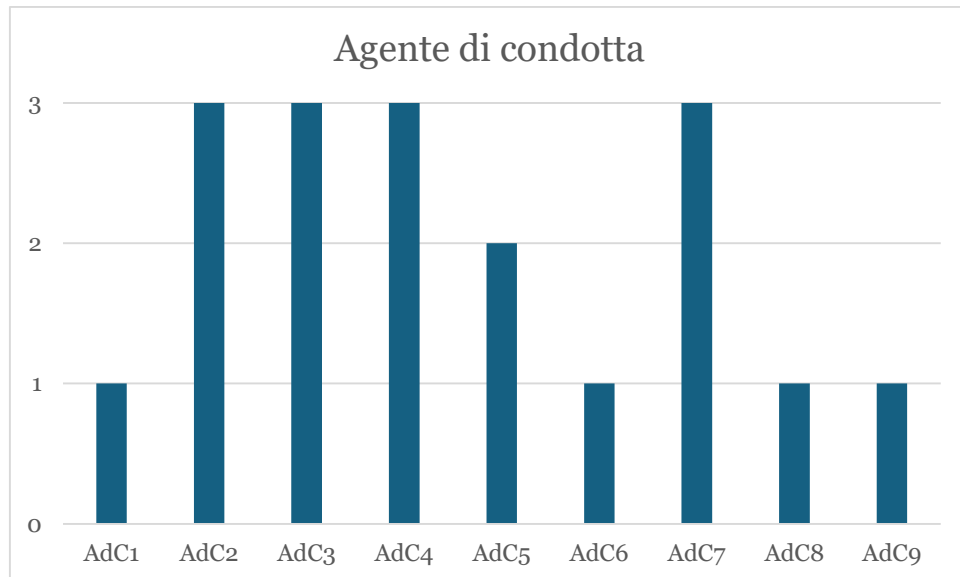


Figura 19. Grafico – Agente di condotta

Il “Polifunzione treno merci” è una figura professionale definita nel Sistema di Gestione della Sicurezza di Hupac S.p.A.: egli svolge la funzione principale di attivazione dell'emergenza e immobilizzazione del treno in caso di malore del macchinista, oltre ad alcune attività di supporto al macchinista che può mettere in atto qualora sia in possesso delle necessarie competenze e abilitazioni. Alcune di queste attività di supporto, che attengono con i casi in esame sono:

- la verifica del corretto comportamento dei freni dei singoli assi durante la prova freno;
- la verifica al treno a seguito del rilevamento dell'anomalia asse frenato.

La tabella di seguito assegna ad ogni PTM il numero di coinvolgimenti in casistiche di treni con assi frenati.

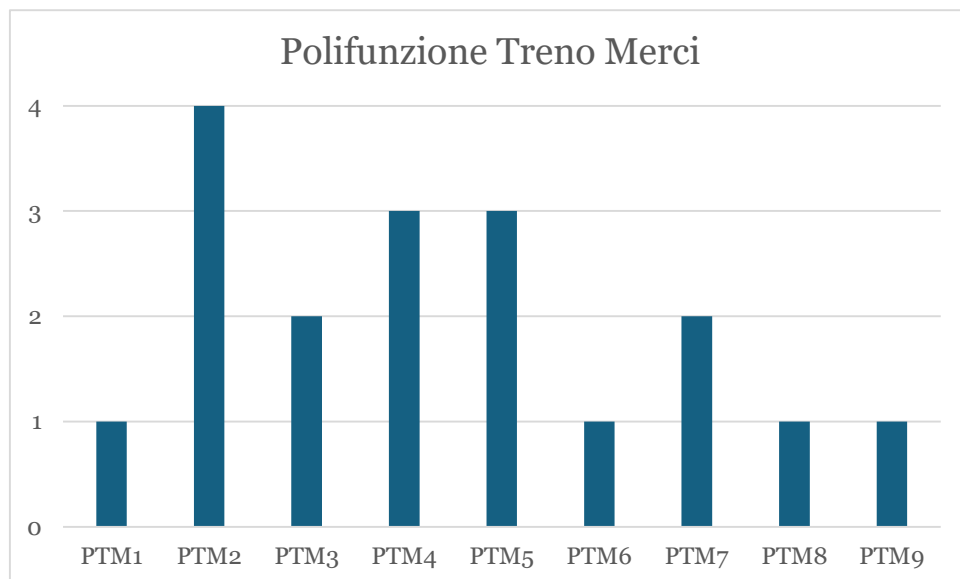


Figura 20. Grafico – Polifunzione treno merci

2.11 Dinamica degli eventi e azioni immediate intraprese

In dodici casi su diciotto la presenza di uno o più assi frenati è stata rilevata dal Gestore dell'Infrastruttura mediante i dispositivi RTB/RTF (dispositivi in grado di rilevare la presenza di boccole surriscaldate e di assi frenati mediante il rilevamento della temperatura degli assi transitanti sopra di essi). In due casi gli agenti di condotta si sono accorti che il convoglio tendeva a frenare il modo anomalo, mentre nei rimanenti quattro casi sono stati gli agenti di condotta dei treni in direzione opposta oppure il personale del regolatore della circolazione a rilevare elementi quali presenza di fumo, odore di bruciato, scintille provenienti da alcuni assi.

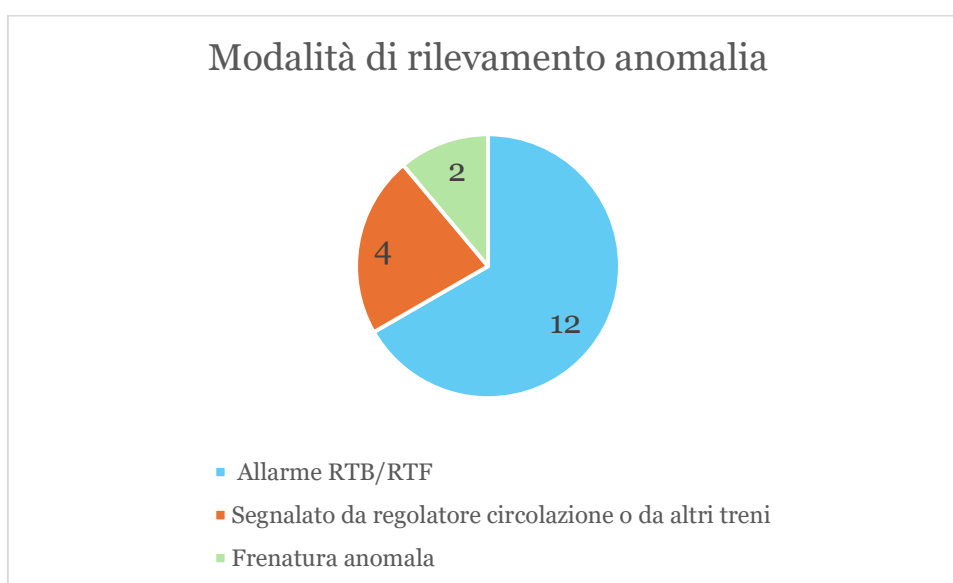


Figura 21. Grafico – Modalità di rilevamento anomalia

Successivamente al rilievo di suddetti elementi si ordinava in ogni caso l'arresto del treno nella prima località di servizio utile su un binario adatto ad effettuare una verifica da parte dell'agente PTM.

Una volta individuato l'asse o gli assi frenati nella maggior parte dei casi si è provveduto ad isolare il carro in questione dall'azione frenante, si è ricalcolata la massa frenata del treno e si è proseguita la marcia. In alcuni casi la prosecuzione della marcia è stata condizionata ad una limitazione di velocità a 70 km/h.

In altri casi il problema si è risolto dopo la visita tecnica con la ripresa del corretto funzionamento da parte dell'apparato frenante.

Si sottolineano due casi in cui si sono registrate ripercussioni più gravi:

- il treno 55110 del 14/02/2023 non ha potuto proseguire la marcia;
- il treno 51153 del 25/11/2023 ha effettuato una prima sosta con visita al treno in località Sant’Ilario; escluso il carro dall’azione frenante e ripresa la marcia è emerso che le ruote del carro avevano subito danni, si è resa quindi necessaria un’ulteriore sosta a Reggio Emilia con scarto del carro.

Il seguente grafico riassume quanto detto mostrando le modalità di intervento immediate attuate dal personale di macchina per risolvere l’inconveniente.

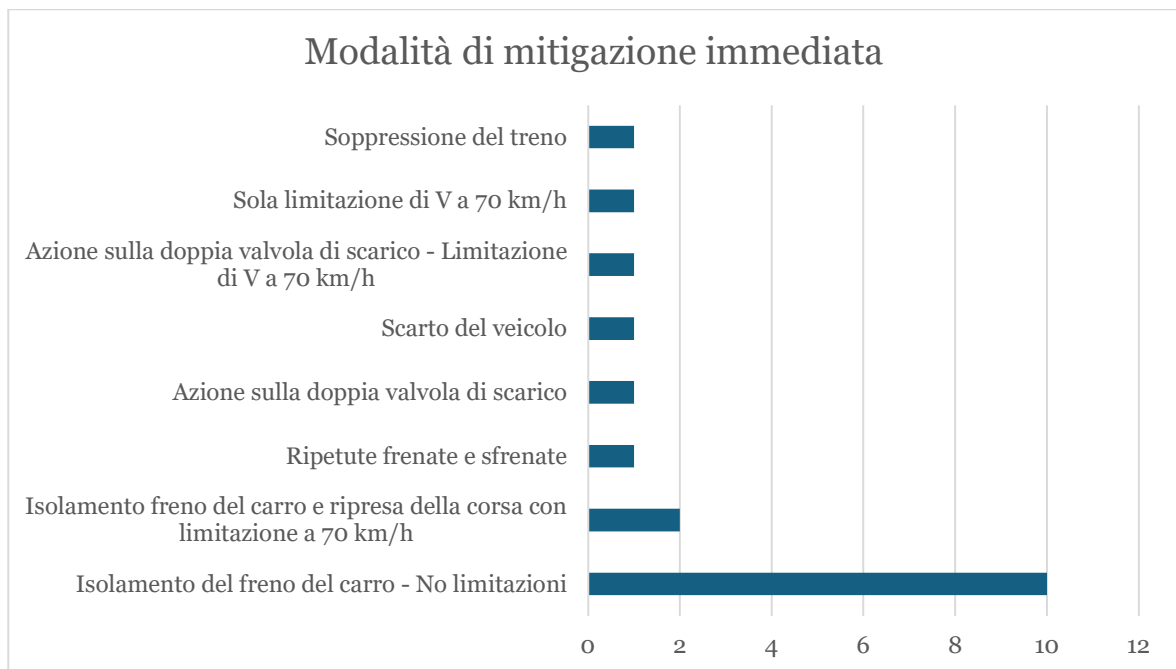


Figura 22. Grafico – Modalità di mitigazione immediata

2.12 Ritardo accumulato

Si analizzano ora i ritardi accumulati dai treni in esame tenendo conto che il ritardo accumulato da un treno è dato dalla somma di vari fattori. Di conseguenza, per i casi di nostro interesse, non è immediato ricavare la quota parte di ritardo dovuta alla presenza di un asse frenato partendo dal ritardo totale accumulato quando il treno è giunto a destinazione. A questo scopo si è ricorso alla seguente relazione:

$$R_{TOT} = R_{Iniziale} + R_{Circolazione} + T_{Visita} + T_{Traccia} + T_{Vridotta} - T_{Recupero}$$

con:

- $R_{Iniziale}$: minuti di ritardo con i quali il treno parte dalla località di origine;
- $R_{Circolazione}$: minuti di ritardo accumulati lungo il percorso dovuti alle esigenze di circolazione sulla rete dell'infrastruttura nazionale;
- T_{Visita} : tempo necessario per la visita del convoglio a seguito di allarme assi frenati e per la messa in campo di misure di intervento immediato nella prima località di servizio disponibile;
- $T_{Traccia}$: tempo che intercorre fra l'istante in cui, risolto il problema, il treno può tornare in circolazione e l'istante in cui la linea è effettivamente libera per accogliere il treno (con conseguente disposizione del segnale di partenza a via libera) a cui si aggiungono successivi perditempo sempre per via del fatto che non è detto che la linea sia libera in orari diversi rispetto a quelli presenti nella traccia;
- $T_{VRidotta}$: tempo di percorrenza maggiorato che il treno impiega se la ripresa della marcia è soggetta a limitazioni di velocità;
- $T_{Recupero}$: tempi di sosta previsti nella traccia originaria che il treno può effettivamente utilizzare per recuperare il ritardo accumulato.

Dei sei fattori elencati solo tre risultano direttamente imputabili all'evento asse frenato: T_{Visita} , $T_{Traccia}$ e $T_{VRidotta}$.

Il grafico seguente compara il ritardo totale accumulato dal treno una volta giunto a destinazione (istogramma blu) e ritardo accumulato nella sola località di servizio in cui è stata effettuata la fermata a seguito dell'allarme assi frenati (istogrammi arancioni), che dipende da T_{Visita} e in parte da T_{Traccia} .

Si noti che il terzo treno (treno 55110 del 14/02/2026) non compare nel grafico in quanto non ha più proseguito la corsa una volta rilevata la presenza di assi frenati.

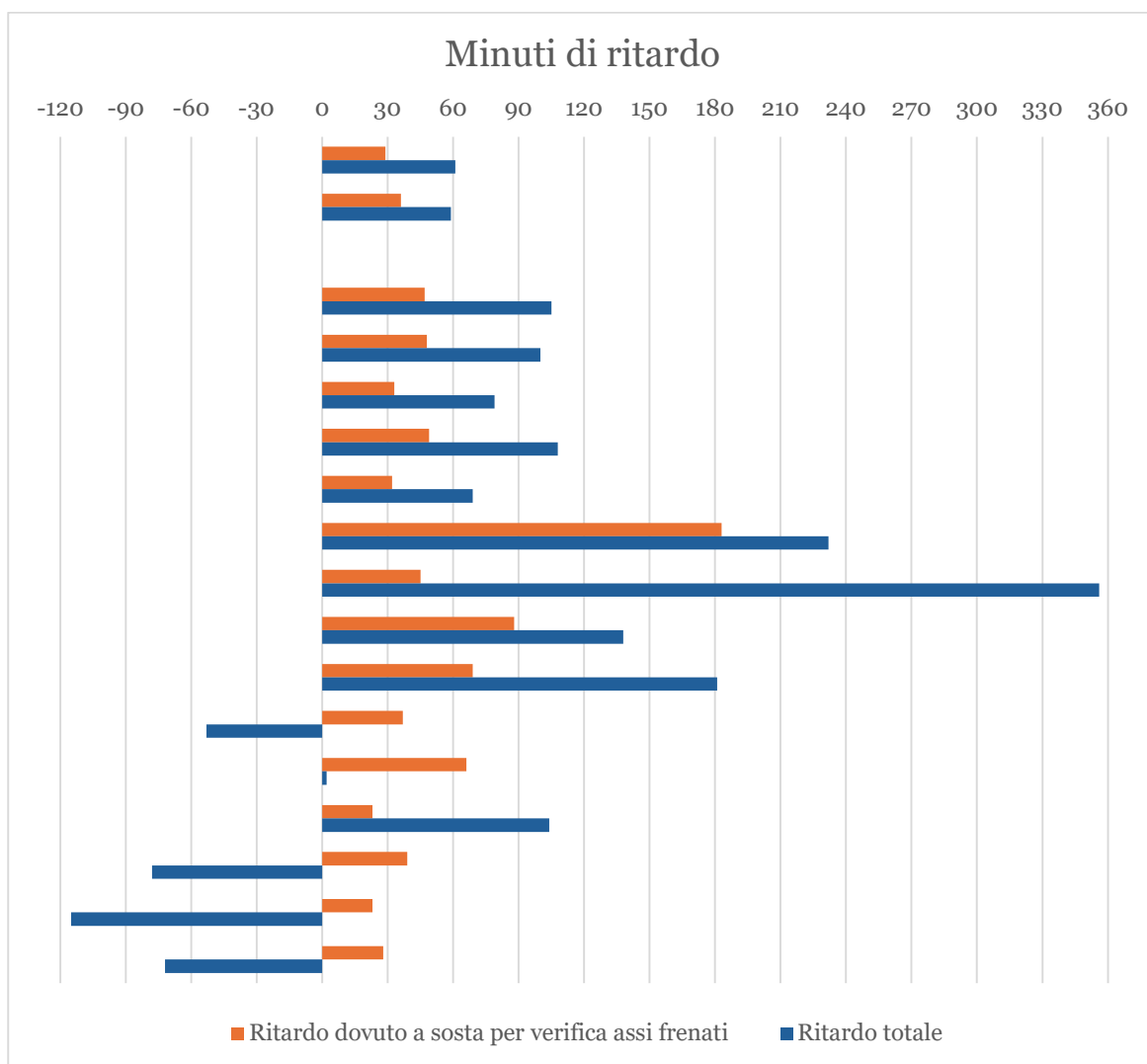


Figura 23. Grafico – Minuti di ritardo

Focalizzandosi sul ritardo accumulato nella località di servizio in cui si è effettuata la sosta, si evince che nella maggior parte dei casi esso è da quantificarsi fra i 30 e i 60 minuti. Il valore medio necessario per la visita e l'attuazione delle misure di intervento immediato nei casi esaminati è pari a 50 minuti.

Eccezion fatta per il treno soppresso di cui si è già menzionato, l'unico caso che ha registrato un ritardo superiore a 120 minuti è il treno 51153 del 25/11/2023 in quanto si sono effettuate due fermate di emergenza:

- la prima in località Sant'Ilario in cui si è isolato dall'azione frenante il carro frenato;
- la seconda in località Reggio Emilia in cui si è proceduto allo scarto del suddetto carro in quanto esso risultava danneggiato.

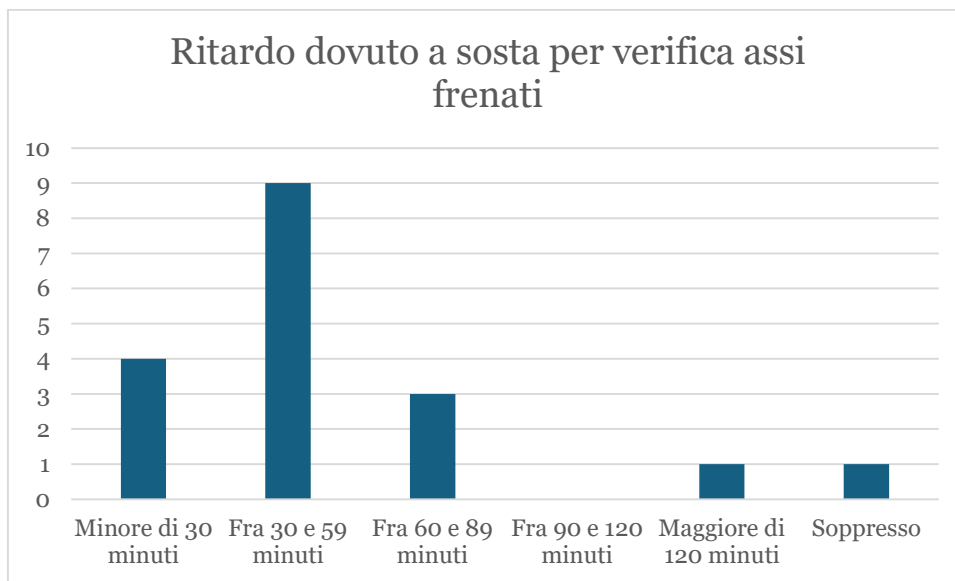


Figura 24. Grafico – Ritardo dovuto a sosta per verifica assi frenati

Un'interessante considerazione si può fare relativamente ai quattro treni che, nonostante la sosta imprevista, sono giunti a destinazione con notevole anticipo. Essi appartengono tutti alla relazione Novara Boschetto-Padova Interporto a cui è assegnata una traccia che già prevede lunghi tempi di sosta in alcune località.

A titolo di esempio si analizza il caso del treno 51155 del 10 giugno 2025. Si può notare dalla tabella allegata che, nonostante il treno sia partito con notevole ritardo (114 minuti), esso è giunto nella località di servizio in cui è stata effettuata la visita al materiale e l'intervento sugli assi frenati con un anticipo di 40 minuti; ripartito con soli 3 minuti di anticipo rispetto alla traccia ufficiale, dopo 22 chilometri ha raggiunto la località di Grisignano di Zocco in cui era prevista una sosta di 69 minuti ma che in realtà è stata di soli 12 minuti. Alla destinazione di Padova Interporto il treno è giunto con 53 minuti di anticipo.

Località	Minuti di sosta previsti	Ritardo all'arrivo	Ritardo alla partenza
Novara Boschetto	-	-	+114
Milano Certosa	8	+104	+97
Romano	69	+84	+16
Lonato	8	+12	+5
Verona Porta Nuova Scalo	22	+9	-11
Verona Porta Vescovo	26	-14	-39
San Bonifacio	5	-43	-40
Altavilla-Tavernelle	0	-40	-3
Grisignano di Zocco	66	-1	-55
Padova Interporto	-	-53	-

Tabella 11. Dettaglio treno 51155 del 10/06/2025

2.13 Considerazioni globali sulle statistiche analizzate

Dalla analisi statistica effettuata emergono i seguenti elementi significativi:

- alta incidenza della località di origine A;
- incidenza del tipo di locomotiva adottato.

Si ritiene dunque opportuno andare ad analizzare più nel dettaglio questi due ambiti per poter individuare possibili cause comuni.

La parte di analisi statistica che riguarda i ritardi invece può essere utile come punto di partenza per fare delle considerazioni sulle ripercussioni che i casi di assi frenati hanno avuto. Questo aspetto sarà trattato nel quarto capitolo.

Capitolo 3:

Ricerca di cause comuni ai casi analizzati

Nel seguente capitolo si analizzano più nel dettaglio gli elementi che, dall'analisi presentata al capitolo precedente sono emersi come significativi e degni di un approfondimento per la ricerca di cause comuni per gli eventi considerati. Una volta terminata questa analisi più approfondita si realizzerà un albero delle cause secondo il metodo FTA.

3.1 Analisi della località di origine “A”

Dall’analisi effettuata al paragrafo 2.3 del capitolo precedente è emerso che il 50% delle casistiche di treni con assi frenati ha avuto origine nell’impianto denominato in questa tesi “A”, dopo il mese di gennaio 2024 non si sono verificati casi con origine diversa dalla località in questione.

Un primo punto che si è verificato è la non esistenza di un nesso fra la località di partenza e le locomotive utilizzate per la trazione dei treni. Si evince che nei nove casi originati dallo scalo A sono state utilizzate sei locomotive differenti; in particolare la E 483-D esaminata in modo particolare nell’analisi condotta sulle locomotive compare solo in un caso. In questo modo si è escluso che dalla località in esame possa essere partita sempre una stessa locomotiva portatrice di problemi legati all’apparato frenante.

Un secondo nesso da escludere è quello fra località di origine e condizioni climatiche: difatti tutte le località di origine dei treni in esame si trovano in Pianura Padana e dunque sono soggette alle medesime temperature, ai medesimi cicli stagionali, ai medesimi eventi atmosferici.

Ugualmente per gli altri parametri analizzati nel secondo capitolo si può stabilire che non vi è alcuna correlazione fra essi e la località in esame.

Appurato che non esiste una correlazione fra località di partenza ed altri aspetti, ci si è focalizzati su un’analisi più dettagliata delle operazioni che costituiscono la formazione del treno nella località di partenza.

Si rammenta che nello scalo in questione la manovra non è gestita dall’impresa ferroviaria bensì da una società terza. Dunque è stato utile analizzare la procedura di interfaccia che regola i rapporti e i passaggi di responsabilità fra IF e società responsabile della manovra al fine di identificare le prassi adottate e le attività svolte.

Si procede ora dunque ad analizzare singolarmente le operazioni che avvengono nella località di partenza con il rispettivo soggetto responsabile che sono le seguenti:

- manovra dei carri;
- immobilizzazione della colonna di carri;
- verifica del materiale;
- eventuale scarto di carri non idonei a viaggiare;
- passaggio di consegna alla IF;
- prova freno.

3.1.1 Manovra dei carri

La società incaricata di eseguire la manovra forma la colonna di carri che costituiranno il treno utilizzando una locomotiva di manovra di dotazione propria. Al termine delle operazioni di carico i carri vengono traslati, in manovra, dal terminal al fascio di presa e consegna in ambito RFI.

In questa fase viene eseguito il collegamento della condotta generale dei carri. Il sistema frenante è ovviamente comandato dalla locomotiva di manovra. Una cattiva taratura del rubinetto del freno della locomotiva di manovra o un uso errato del rubinetto del freno su di essa da parte del macchinista addetto alla manovra può generare sovrappressioni nella condotta generale.

3.1.2 Immobilizzazione della colonna di carri

Terminata la manovra, la colonna di carri viene opportunamente immobilizzata. Anche questa operazione è appannaggio della società di manovra. È opportuno chiedersi come vengono immobilizzati i carri.

La definizione delle regole di stazionamento dei veicoli ferroviari, per le attribuzioni di cui al RCF (Regolamento della Circolazione Ferroviaria – Allegato B del Decreto ANSF 4/2012) è competenza delle Imprese Ferroviarie, che le definiscono sulla base dell'analisi del rischio e ne descrivono le modalità nell'ambito del SGS. Nel momento in cui, come nel caso specifico, due IF si scambiano materiali, devono definire, nell'ambito di procedura di interfaccia, le modalità condivise di stazionamento e scambio dei materiali. Il freno continuo non può essere utilizzato, da solo, allo scopo dello stazionamento in quanto la condotta generale, scollegata dalla locomotiva, subisce una progressiva diminuzione di pressione che porta alla disattivazione dei freni. Si considera, dall'esperienza consolidata nel settore, che essa mantenga la propria capacità frenante almeno per i primi trenta minuti di stazionamento. Oltre i 30 minuti si deve ricorrere ad altre modalità di stazionamento quale ad esempio frenare i carri con freno a vite (freno di stazionamento meccanico) oppure mediante l'uso di staffe fermacarri.

La procedura di interfaccia fra Hupac SpA e l'operatore di manovra prevede l'attivazione del freno a vite sul primo carro della colonna; qualora i carri fossero sprovvisti di freno a vite si procede all'immobilizzazione con staffe fermacarro.

La condotta generale, isolata dall'atmosfera, mantiene al suo interno una pressione residua che diminuisce progressivamente a causa delle inevitabili piccole perdite. È ragionevole aspettarsi che se i carri rimangono stazionati nel fascio di presa e consegna per poco tempo prima della partenza e nella condotta vi sia una sovraccarica questa possa mantenersi.

3.1.3 Verifica del materiale

Questa operazione viene svolta dal personale dell'impresa ferroviaria Hupac S.p.A. L'operatore verifica la composizione individuando eventuali carri non idonei a viaggiare sulla base del manuale delle regole di esercizio e dalla normativa di interfaccia con il GI.

3.1.4 Eventuale scarto di carri non idonei a viaggiare

Lo scarto eventuale di carri dalla composizione già formata è realizzato dall'impresa di manovra. Dunque in questa fase viene utilizzata sempre la locomotiva di manovra con conseguenti problemi che possono derivare dall'utilizzo di questa ultima di cui si è già fatto menzione.

3.1.5 Passaggio di consegna alla impresa ferroviaria

Il passaggio di responsabilità dalla società di manovra all'impresa ferroviaria avviene tramite scambio di opportuna documentazione descritta nella procedura di interfaccia.

La locomotiva titolare del treno si porta poi in testa alla colonna di carri e vengono effettuati i collegamenti meccanico e pneumatico ad opera del preparatore del treno.

3.1.6 Prova del freno

Fra i quattro tipi di prove del freno previste dal manuale delle regole di esercizio e dalla normativa di interfaccia con il GI, quella condotta dal personale dell'impresa ferroviaria nella località di partenza è la prova completa di tipo A (verifica del funzionamento del freno di tutti i veicoli del convoglio).

In questo caso, la citata normativa prevede che l'agente di condotta dapprima attivi il freno dalla locomotiva, mentre il "polifunzione treno merci" verifichi che tutti gli assi siano frenati. In particolare:

- in caso di carri dotati di freni a ceppi l'operatore verifica visivamente che i ceppi dei freni siano a contatto con le ruote, con l'ausilio di un martello constata che il contatto suola-ruota sia ben solido (ossia che il freno eserciti una pressione adeguata sulla ruota);
- in caso di carri dotati di freni a disco l'operatore verifica che l'apposito indicatore dello stato del freno sia di colore rosso.

Successivamente l'agente di condotta procede alla completa sfrenatura del convoglio mentre il polifunzione treno merci verifica che:

- sui carri dotati di freni a ceppi non vi sia contatto fra questi ultimi e le ruote (verifica visiva);
- sui carri dotati di freni a disco l'apposito indicatore dello stato del freno sia di colore verde.

Su questo punto eventuali cause di un successivo non corretto funzionamento del sistema frenante sono imputabili ad un'errata applicazione delle procedure descritte da parte del personale e quindi ad un elemento imputabile al fattore umano. In questa sede ci si limita a sottolineare che i soggetti che hanno svolto queste mansioni nei casi esaminati sono dipendenti della IF che svolgono la stessa operazione nelle altre località di servizio. Un'attività prevalente nella località A non può essere ricondotta a nessuno di essi.

Terminata quest'ultima operazione e disposti tutti i documenti necessari, il treno è pronto a partire.

3.1.7 Evidenze emerse dall'analisi delle operazioni in località A

A seguito dell'analisi delle operazioni che si svolgono nella località A prima della partenza di un treno emerge che i due aspetti che possono influenzare il corretto funzionamento del freno sono la fase di manovra, la fase eventuale di scarto di carri dalla composizione e la fase di prova freno.

La fase di prova freno può essere però plausibilmente esclusa in quanto essa è effettuata da operatori dell'impresa ferroviaria che sono i medesimi che la effettuano in altre località utilizzando sempre le medesime procedure. Dunque essa non può influire univocamente su un alto numero di casi circoscritti alla sola località in esame.

Rimangono dunque le fasi di manovra e di scarto effettuati dall'operatore di manovra. Durante queste operazioni nella condotta generale è possibile che sia stata introdotta una sovrappressione che è la più ragionevole causa di un non corretto funzionamento del sistema frenante.

Un caso particolare che avvalorava questa tesi è il treno 50361 del 13 giugno 2025. Al momento della visita a seguito di allarme RTF si sono riscontrati quattro carri frenati per un totale di sette assi. Il personale di macchina ha rilevato che il problema era causato da una sovraccarica presente nella condotta generale; il tutto è stato risolto smaltendo la sovraccarica presente in condotta agendo sulle doppie valvole di scarico presenti sui carri.

Volendo andare più a fondo ci si può chiedere da cosa è generata questa presunta sovrappressione in condotta generale. Si presentano le seguenti ipotesi:

- causa tecnica, come ad esempio una cattiva taratura del freno della locomotiva di manovra;
- fattore umano, ovvero un non corretto utilizzo del freno da parte del personale addetto alla manovra.

3.1.8 Misure di mitigazione

Hupac S.p.A., nell'ambito della definizione delle azioni a seguito delle non conformità rilevate con origine località A, ha emanato una raccomandazione per il proprio personale (agenti di condotta, polifunzione treno merci e preparatori del treno) che prende in consegna materiale preparato nella località A come misura di mitigazione immediata. Questo testo impone una serie di verifiche da parte di detti agenti che si articolano nei seguenti punti:

- aggancio della locomotiva alla composizione di carri sono dal punto di vista meccanico (solo gancio di trazione);
- stazionamento della locomotiva mediante freno diretto e freno a molla;
- scarico dell'eventuale sovraccarica presente nel serbatoio di comando (di ogni carro) agendo sulla doppia valvola di scarico di ogni carro;
- collegamento pneumatico della locomotiva alla colonna di carri;
- carico della condotta generale a 5 bar;
- esecuzione della prova freno.

Si sottolinea che l'impresa ferroviaria, nel momento in cui prende in consegna il materiale rotabile dall'operatore di manovra, dovrebbe avere la garanzia che esso non presenti sovrappressioni in condotta. Essendo questa garanzia venuta meno in molteplici casi, Hupac ha adottato questa misura di mitigazione benché essa sia un onere che non le competerebbe.

Un'ulteriore misura volta a risolvere questo inconveniente potrebbe essere un'operazione congiunta fra impresa ferroviaria ed operatore di manovra al fine di individuare la causa delle sovrappressioni secondo i principi di cui al DL 50/2019 nelle modalità definite dalla procedura di interfaccia.

3.2 Analisi delle locomotive

Nell'analisi delle cause si ritiene di presentare delle considerazioni anche sulle locomotive coinvolte. Ci sono elementi che sono degni di nota.

Si riporta ora una sintesi dell'analisi statistica sulle locomotive presentata al capitolo precedente.

La totalità dei casi di assi frenati ha avuto come titolare del treno una locomotiva E 483 o E 484. Si rammenta che queste macchine sono le più utilizzate da Hupac S.p.A. In particolare l'unica identificata in questa sede come E 483-D era alla testa del treno in cinque casi su diciotto.

L'utilizzo delle locomotive D 100 è del tutto trascurabile (2% sul totale dei treni effettuati).

L'ultimo gruppo di locomotive a cui Hupac fa ricorso sono le E 193. Ci si può dunque chiedere se esiste un motivo per cui le E 193 non siano mai state causa di casi di assi frenati.

Le locomotive E 483, E 484, E 193 sono dotate di una manopola del freno sul banco di comando di tipo moderno in luogo del rubinetto del freno continuo a sette posizioni di tipo classico; inoltre, la regolazione della pressione nella condotta del freno avviene tramite sistema di controllo della frenatura elettronico (DCF). Senza entrare in dettagli costruttivi, per la cui trattazione non si hanno elementi a sufficienza, ci si può chiedere se la conformazione ed il funzionamento dei dispositivi DCF vari a seconda del gruppo di locomotive. Analoga domanda ci si può porre sul manipolatore del freno.

Rimanendo nel campo delle ipotesi, se il difetto fosse da individuarsi nel sistema di controllo della frenatura, si sarebbe in presenza di una macrocausa tecnica, la quale richiederebbe un approfondimento coinvolgendo il costruttore della locomotiva ed il soggetto responsabile della manutenzione.

Se invece il problema risiedesse nel manipolatore del freno continuo, si paventerebbero più possibili macrocause. Difatti, oltre alla macrocausa tecnica, potrebbero essere implicati anche i fattori umani e organizzativi. Ad esempio, vi potrebbe essere un non corretto uso della manopola del freno da parte degli agenti di condotta (fattore umano) oppure una mancanza di chiarezza o di completezza

nelle istruzioni fornite agli agenti di condotta per l'utilizzo del manipolatore. Le istruzioni sul corretto utilizzo del rubinetto del freno sono definite da parte delle imprese ferroviarie nell'ambito di documenti che prendono il nome di "Disposizioni Particolari di Circolazione delle locomotive [nome delle locomotive] sulla Infrastruttura Ferroviaria Nazionale" e nell'ambito dei manuali di istruzione per ogni gruppo di locomotive pubblicati dalla casa costruttrice. Questi documenti sono distribuiti al personale in maniera tracciata secondo i processi definiti dall'IF. Inoltre, nell'ambito dei processi formativi iniziali e continui, il personale viene istruito su tali documenti e sulla loro attuazione.

Un ultimo elemento analizzabile considerando i gruppi di locomotive riguarda il serbatoio principale e la pressione di taratura, anche in questo caso si cerca di individuare una causa puramente tecnica.

Le considerazioni finora presentate riguardano cause ascrivibili ad un intero gruppo di locomotive, è utile anche focalizzarsi sul caso di una singola macchina che può originare problemi. Ad esempio, nelle statistiche analizzate la locomotiva denominata E 483-D è coinvolta in un numero di casi superiori alla media.

Dall'analisi delle statistiche si è appurato che non esiste un nesso fra una data locomotiva e altri parametri analizzati quali gli stessi agenti di condotta, la stessa relazione, la stessa località di origine, lo stesso numero di carri trainati. Questi fattori sono tutti fra loro indipendenti. Per questo motivo si esclude una possibile influenza di fattori umani ed organizzativi e la sola causa che si paventa plausibile per il caso della E 483-D è una causa tecnica. In questa sede, non si entra nel merito di quale potrebbe essere questa causa nello specifico poiché essa competerebbe non tanto all'impresa ferroviaria ma piuttosto al soggetto responsabile della manutenzione. Dunque, giunti a questa conclusione, l'impresa ferroviaria può contattare il soggetto responsabile della manutenzione di tale locomotiva per richiedere analisi più approfondite.

La seguente tabella presenta una sintesi di quanto detto finora mettendo in evidenza il tipo di macrocausa e una proposta di successivi approfondimenti.

Ambito	Elemento	Macrocausa	Azioni da intraprendere
Gruppo di locomotive	Sistema DCF	Tecnica	Coinvolgimento del soggetto responsabile della manutenzione
	Manipolatore del freno continuo	Tecnica	Coinvolgimento del soggetto responsabile della manutenzione
		Organizzativa	Analisi fattori organizzativi aziendali – Riesame procedure
		Fattore umano	Analisi fattore umano - Formazione del personale
	Serbatoio principale	Tecnica	Coinvolgimento del soggetto responsabile della manutenzione
Singola locomotiva	Sistema DCF	Tecnica	Coinvolgimento del soggetto responsabile della manutenzione
	Manipolatore del freno continuo	Tecnica	Coinvolgimento del soggetto responsabile della manutenzione
	Serbatoio principale	Tecnica	Coinvolgimento del soggetto responsabile della manutenzione

Tabella 12. Cause riguardanti la locomotiva

3.3 Albero delle cause

Alla luce delle considerazioni elaborate sulle potenziali cause alla base di un caso di asse frenato si è elaborato un albero delle cause con il metodo FTA. Si precisa che questo diagramma tiene in conto le possibili cause, non significa quindi che tutte le condizioni ivi descritte si siano verificate veramente; si prende atto del maggior numero possibile di aspetti da attenzionare al fine di evitare che il *top event* si verifichi di nuovo.

Per dare una maggiore chiarezza dal punto di vista visivo sono stati evidenziati in giallo i connettori logici di tipo “OR” e in arancione i connettori di tipo “AND”.

In azzurro sono evidenziate le cause di tipo tecnico. Come già accennato nelle pagine precedenti, l’analisi di un guasto tecnico non è a carico dell’impresa ferroviaria, bensì del soggetto responsabile della manutenzione e del costruttore. Dunque, si decide di non approfondire questi aspetti ed ecco perché i rami dell’albero relativi a cause tecniche sono i più corti fermandosi dopo una o due cause.

Essi sono guasti e malfunzionamenti ai vari componenti meccanici o pneumatici che possono essere dovuti a cattiva manutenzione, difetti di progettazione, condizioni climatiche (ad esempio temperature estreme o umidità che ne influenzano il funzionamento), oppure uso scorretto di queste ultime da parte del personale che a lungo andare può portare al loro deterioramento.

Dal punto di vista dell’impresa ferroviaria meritano maggiore approfondimento gli aspetti legati ai fattori umani ed organizzativi, evidenziati in verde. In particolare si evidenziano le stesse potenziali cause in ambito della condotta in linea e in ambito della condotta in manovra.

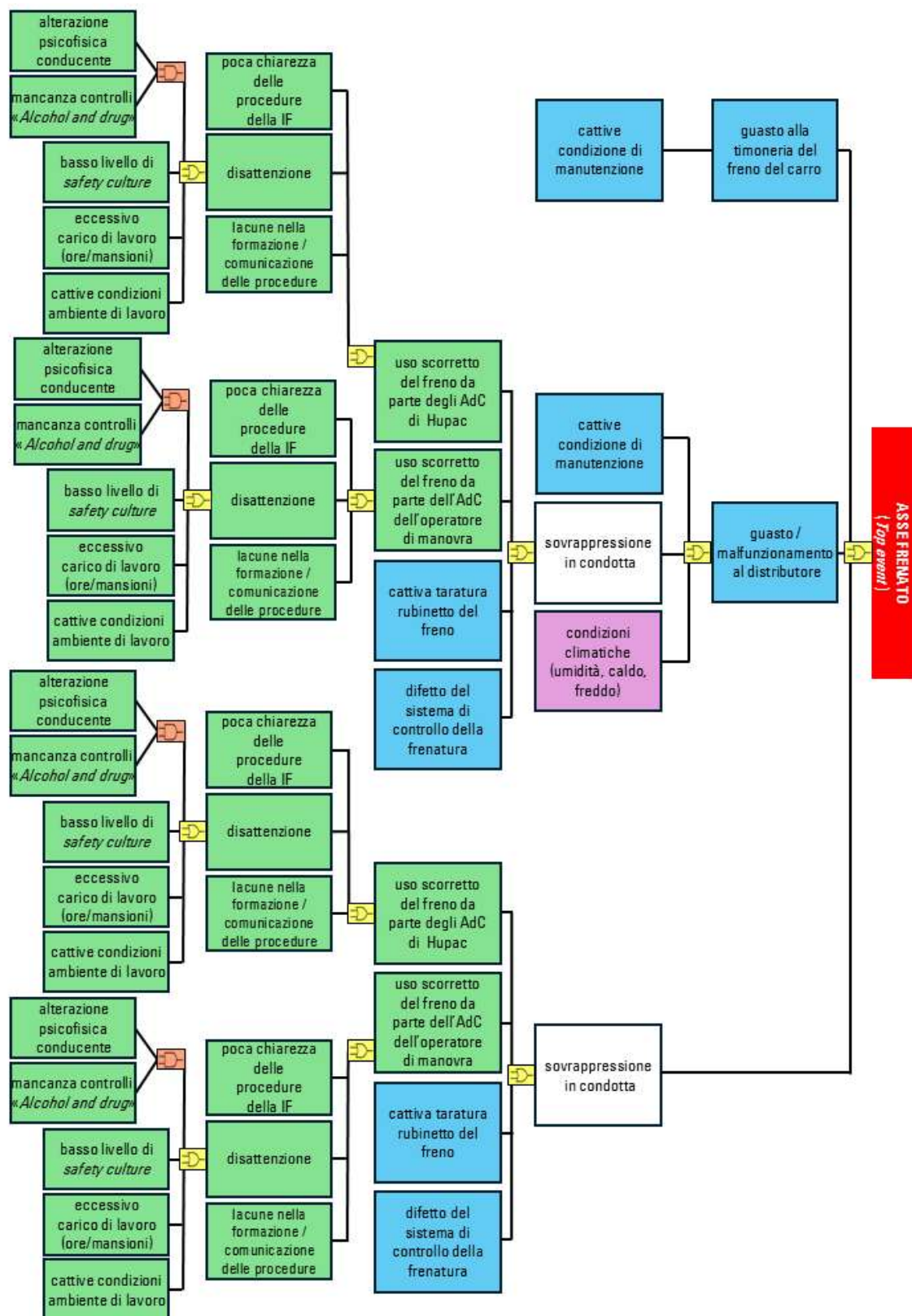


Figura 25. Albero delle cause

Di seguito una descrizione delle cause attribuibili a fattore umano basandosi sulla classificazione degli errori umani presentata nel primo capitolo.

- Errori del tipo “*skill based*” sono causati da:
 - l’eccessiva dimestichezza del personale (che si sente perciò molto sicuro);
 - l’eccessivo carico di lavoro (sia in termini orari sia di mansioni);
 - cattive condizioni dell’ambiente di lavoro (questo aspetto può essere una causa solo in ambito manovra in quanto le locomotive da treno rispondono ad elevati standard di ergonomia e non sono certo luoghi poco confortevoli, mentre le locomotive da manovra possono essere scomode, rumorose, non isolate termicamente).
- Lacune nella formazione portano a errori del tipo “*knowledge based*” o “*rule based*”.
- Fattori organizzativi come la poca chiarezza delle procedure e delle istruzioni o la non completezza di queste portano ad errori di tipo “*knowledge based*”.
- Infine vi sono le violazioni che possono essere causate da:
 - alterazione psicofisica del personale unita a mancanza di controlli sull’assunzione di sostante alcol o sostanze stupefacenti;
 - basso livello di *safety culture* nel personale.

Il concetto di *safety culture* nel personale merita un approfondimento. Con questo termine si intende la consapevolezza da parte di tutto il personale di un’azienda (dai responsabili alle figure operative) che l’aspetto della sicurezza è fondamentale sia per la tutela di loro stessi sia per il buon andamento aziendale.

La carenza o un basso livello di *safety culture* porta a considerare, a tutti i livelli dell’organizzazione, le procedure e la manualistica in termini di sicurezza un aggravio sull’operatività, legittimando comportamenti scorretti o omissioni critiche e spesso generando situazioni pericolose. Questo cattivo approccio che è l’antitesi della *safety culture* può essere mitigato con la formazione e la sensibilizzazione.

Per riprovare l’eshaustività dell’analisi svolta si vuole ora confrontare gli elementi evidenziati con i cinque ambiti proposti dal metodo SHELL (descritto al capitolo 1).

- *Software*: si sono menzionate fra le cause la formazione, le procedure e le istruzioni che il personale è tenuto a conoscere.

- *Hardware*: a questo ambito si riconducono tutte le cause tecniche evidenziate.
- *Environment*: si è parlato di orario e carico di lavoro, ergonomia ed isolamento termico ed acustico delle cabine di guida.
- *Liveware* umano: si è parlato di errori intenzionali, violazioni e relative cause.
- *Liveware* periferico: avendo citato come causa la correttezza e chiarezza delle procedure, si può in questo ambito analizzare anche le modalità di recepimento di queste procedure da parte del personale; qui entra in gioco la comunicazione fra più soggetti dell'impresa (chi scrive e divulga le procedure e chi le deve attuare).

Capitolo 4:

Analisi delle conseguenze

Nel presente capitolo si realizza un albero degli eventi con il metodo FTA partendo dal *top event* “asse frenato”. Successivamente si analizzano le principali conseguenze in termini di regolarità del servizio (conseguenze sull’esercizio) e di sicurezza presentate in esso.

4.1 Albero degli eventi

Si presenta ora l'albero degli eventi: i riquadri arancioni evidenziano le conseguenze sulla sicurezza mentre quelli azzurri evidenziano le conseguenze sull'esercizio.

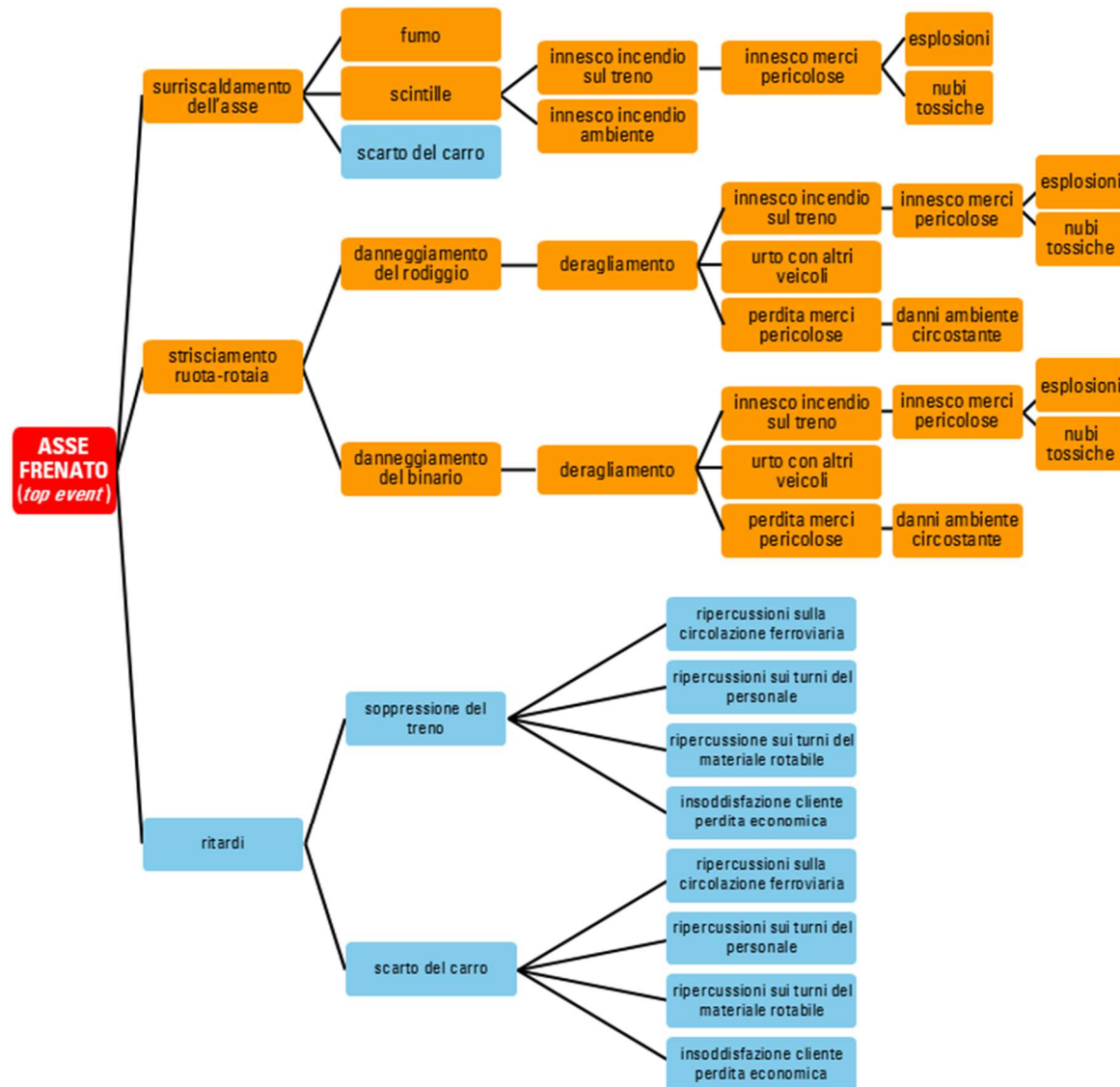


Figura 26. Albero degli eventi

4.2 Conseguenze sull'esercizio

Si presentano ora discorsivamente le conseguenze relative all'esercizio presentate nell'albero degli eventi al paragrafo precedente (caselle azzurre). La prima conseguenza sull'esercizio che le casistiche di assi frenati possono generare consiste nei ritardi. Si fanno ora dunque alcune considerazioni partendo dall'analisi statistica sui ritardi presentata al punto 2.12 del secondo capitolo.

Esaminando la realtà dei fatti si evince che, in generale, i treni merci sono soggetti a numerose soppressioni, ampi ritardi o anticipi imputabili ad esigenze contingenti di circolazione. Un altro elemento degno di nota è che spesso ai treni merci sono assegnate tracce contenenti tempi di attesa molto lunghi in alcune località di servizio per poter inserirsi al meglio negli intervalli di tempo lasciati liberi dalle tracce dei treni passeggeri.

Il fatto che la puntualità dei treni merci sia spesso trascurata costituisce un grande problema per gli operatori del settore che devono garantire ai loro clienti finali l'affidabilità del servizio.

Oltre alle ripercussioni sul cliente finale, questo crea grandi problemi organizzativi all'interno dell'impresa ferroviaria. Ad esempio, se un treno giunge in considerevole ritardo a destinazione può darsi che il personale di macchina non sia più disponibile ad effettuare il treno di ritorno per superamento delle ore massime di lavoro consentite, con conseguente soppressione del treno; lo stesso discorso può essere fatto sul materiale rotabile, una locomotiva che arriva con ritardo può essere la causa di ritardi nella partenza del treno successivo.

Nello specifico, le casistiche di assi frenati hanno causato ritardi compresi fra 30 e 60 minuti. Il ritardo medio con cui i treni di Hupac S.p.A. sono giunti a destinazione nel periodo compreso fra ottobre 2022 e settembre 2025 ammonta a 43 minuti a prescindere dalla presenza di assi frenati. Questo dato dimostra che i ritardi per casi di assi frenati sono trascurabili.

Nella maggior parte dei casi il treno è stato in grado di riprendere la corsa a piena velocità (o con velocità ridotta a 70 km/h) dopo aver isolato dall'azione frenante il carro interessato da asse frenato indebitamente. Solo in due casi si sono verificate ripercussioni più pesanti:

- il caso del treno 55110 del 14/02/2023 che è stato soppresso in località Modena;
- il caso del treno 51153 del 25/11/2023 in cui si è reso necessario lo scarto del carro frenato a seguito del rilevamento di danni al rodiggio dello stesso.

4.3 Conseguenze sulla sicurezza

Per quanto concerne, invece, la sicurezza, la prima conseguenza diretta di un asse frenato è il surriscaldamento di quest'ultimo. L'aumento di temperatura è difatti il fenomeno attraverso il quale viene rilevato l'asse frenato dai dispositivi RTF.

Una successiva conseguenza può essere la generazione di fumo che ha la potenzialità di limitare la visibilità di altri treni circolanti in linea e di scintille dalle quali possono scaturire incendi.

Gli incendi possono interessare sia elementi posti sul treno sia elementi posti ai lati della sede ferroviaria (ad esempio piante). Nel caso particolare di treni merci combinati i primi oggetti che potrebbero prendere fuoco sono i teloni di semirimorchi e delle casse mobili.

Un elemento che potrebbe portare conseguenze di vasta entità è la presenza di merci pericolose secondo la classificazione ADR-RID come materiali infiammabili, esplosivi, tossici.

Un'altra conseguenza di diverso genere degli assi frenati è la compromissione di parti meccaniche del veicolo sia per le alte temperature che per lo strisciamento.

Quando una ruota bloccata striscia sul binario possono comparire sfaccettature su di essa. Per lo stesso motivo anche il binario viene danneggiato allo stesso modo.

La presenza di questi difetti, se molto accentuata, può portare al deragliamento del treno. Un deragliamento può avere conseguenze più o meno gravi a seconda delle circostanze in cui si verifica. Ad esempio possono influire:

- velocità di marcia: maggiori velocità aumentano la *magnitudo* dell'evento;
- tipologia di merce trasportata: la presenza di merce pericolosa (ADR-RID) aumenta la *magnitudo*;
- localizzazione: la presenza di gallerie (con conseguente difficoltà di esodo e pericolo di intossicazione da fumi), la presenza di utenti vulnerabili nelle vicinanze (si ricorda il disastro di Viareggio in cui una cisterna ferroviaria esplose in un centro abitato), la presenza di altri treni in linea.

Conclusioni

Giunti alla conclusione di questo elaborato, si sintetizzano di seguito i principali risultati raggiunti:

- una mappatura grafica delle possibili cause e conseguenze;
- le misure di mitigazione individuate;
- alcune considerazioni sui vantaggi del metodo utilizzato.

Nel caso specifico analizzato, sono stati individuati due punti critici: l'incidenza della località di partenza e delle locomotive impiegate al traino dei treni.

Nel corso dell'analisi approfondita presentata nel terzo capitolo, sono state individuate alcune misure di mitigazione. In particolare, per quanto riguarda la località di partenza, le misure evidenziate sono le seguenti:

- adozione di maggiori cautele nell'effettuazione della prova freno per i treni in partenza dalla località individuata come critica, con l'aggiunta di verifiche supplementari normalmente non richieste (provvedimento già adottato dall'impresa ferroviaria);
- avvio di un'operazione congiunta fra impresa ferroviaria e operatore di manovra, al fine di individuare la causa delle sovrappressioni secondo i principi di cui al DL 50/2019, nelle modalità definite dalla procedura di interfaccia.

Per quanto riguarda le problematiche imputabili al tipo di locomotiva impiegata, sono state individuate misure di mitigazione attuabili sia dalla sola impresa ferroviaria sia con il coinvolgimento di soggetti terzi. Infatti, l'impresa ferroviaria avrebbe la possibilità di intervenire direttamente sulla formazione del proprio personale e sulle procedure che quest'ultimo è tenuto a seguire nella condotta dei treni, ma non ha competenza per risolvere difetti di natura tecnica delle locomotive. Pertanto, si ritiene auspicabile il coinvolgimento del soggetto responsabile della manutenzione qualora si vogliano effettuare studi più approfonditi su componenti tecnici di uno specifico gruppo di locomotive.

Le misure proposte in questo elaborato rientrano tutte nel campo delle misure di prevenzione in quanto mirano ad abbattere la probabilità di accadimento della non conformità.

Si è ritenuto più opportuno proporre misure di questo tipo in luogo di misure di protezione (quali ad esempio limitazioni di velocità o controlli più impegnativi ad un treno che abbia attivato un allarme RTB/RTF) perché, in ambito ferroviario, esistono già procedure molto esaustive che mirano a garantire la sicurezza (e dunque ad eliminare le potenziali conseguenze negative) in caso si verifichi un caso di asse frenato e l'infrastruttura nazionale è equipaggiata di tecnologie all'avanguardia per il rilevamento degli assi frenati. Dunque, adottando le misure di protezione citate, si andrebbe a ledere drasticamente la regolarità dell'esercizio generando un miglioramento in termini di sicurezza del tutto trascurabile. Per avere conferma di ciò è sufficiente osservare le conseguenze generate dai diciotto casi analizzati in questo elaborato: in tutti emergono conseguenze in termini di regolarità del servizio (ritardi, soppressioni e conseguenti danni economici), mentre non vi è traccia di conseguenze in termini di sicurezza (quali ad esempio collisioni, morti, feriti).

L'applicazione delle misure di prevenzione proposte costituirebbe un notevole beneficio in termini di miglioramento della sicurezza e dei processi aziendali di Hupac S.p.A. Si eliminerebbero così i principali rami che costituiscono l'albero delle cause, riducendo di conseguenza la probabilità di accadimento del *top event*.

Illustrate le ricadute pratiche, è utile accennare alle ricadute metodologiche di questo elaborato. È lecito affermare che il metodo adottato costituisca esso stesso un risultato. Nonostante i limiti di un lavoro di tesi svolto in un periodo di tempo contenuto, si è riusciti a condurre un'analisi delle cause di una non conformità con un approccio differente e innovativo rispetto alle pratiche normalmente adottate nell'impresa ferroviaria Hupac S.p.A., cercando di fornire un valore aggiunto alle attività già svolte dal personale aziendale. Si sottolinea inoltre che, sia nell'analisi delle cause sia in quella delle conseguenze, il metodo utilizzato offre una rappresentazione grafica chiara che fornisce, in maniera immediata, una visione d'insieme dei processi analizzati. Tale metodo è facilmente esportabile e applicabile sia ad altri casi di non conformità all'interno dell'impresa ferroviaria, sia presso altri enti.

Si propongono infine due possibili spunti che possono costituire approfondimenti ulteriori non sviluppati in questa tesi:

- introdurre il calcolo della probabilità dell'albero delle cause: assegnando una probabilità di accadimento a ogni singola causa primaria, attraverso il calcolo probabilistico con gli operatori “AND” e “OR” si può ricavare la probabilità di accadimento del *top event*;
- svolgere uno studio più approfondito sul fattore umano, implementando i metodi descritti nel primo capitolo ma non utilizzati.

Glossario degli acronimi

- AcciMap: *Accidental Map*
- ADC: agente di condotta
- ADR/RID: *Accord européen relatif au transport international des marchandises Dangereuses par Route/ Règlement concernant le transport International ferroviaire des marchandises Dangereuses*
- ANSF: Agenzia Nazionale per la Sicurezza delle Ferrovie
- ANSFISA: Agenzia Nazionale per la Sicurezza delle Ferrovie e delle Infrastrutture Stradali e Aeroportuali
- CREAM: *Cognitive Reliability and Error Analysis Method*
- DCF: sistema di controllo della frenatura
- DIGIFEMA: Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie e Marittime
- DL: decreto-legge
- FTA: *Fault tree analysis*
- GI: Gestore dell'infrastruttura
- HTA: *hierarchical task analysis*
- IF: impresa ferroviaria
- MF: massa frenata
- MRV: merci rapido vuoti
- NEV: numero europeo veicolo
- OPE TSI: *Operation and Traffic Management Technical Specification for Interoperability*
- PdT: preparatore del treno
- PGOS: prefazione generale all'orario di servizio
- P.M.: posto di movimento
- PTM: polifunzione treno merci
- RFI: Rete ferroviaria italiana
- RTB/RTF: rilevamento temperatura boccole/rilevamento temperatura freni
- SGS: Sistema di Gestione della Sicurezza
- SHELL: *Software Hardware Envinroment Liveware Liveware*
- TC: treno (merci) combinato
- UIC: *Union Internationale des Chemins de fer*

Elenco delle figure¹⁵

Figura 1. Piramide di Heinrich.....	7
Figura 2. Classificazione degli errori umani	14
Figura 3. Teoria del formaggio svizzero.....	17
Figura 4. Esempio di analisi con metodo AcciMap	22
Figura 5. Località in cui sono stati rilevati i casi di assi frenati presi in esame	27
Figura 6. Grafico – Relazioni coinvolte	28
Figura 7. Grafico – Località di origine	29
Figura 8. Grafico – Numero casi per trimestre	30
Figura 9. Grafico – Condizioni climatiche.....	31
Figura 10. Grafico – Suddivisione mensile.....	31
Figura 11. Grafico – Suddivisione oraria.....	32
Figura 12. Grafico – Gruppi di locomotive utilizzate dalle IF	37
Figura 13. Grafico – Tipo di locomotiva - casistiche di assi frenati	37
Figura 14. Grafico – Singole locomotive utilizzate dalla IF.....	38
Figura 15. Grafico – Singole locomotive - casistiche assi frenati	38
Figura 16. Grafico – Numero di casi	39
Figura 17. Grafico – Detentore.....	41
Figura 18. Grafico – Preparatore del treno.....	45
Figura 19. Grafico – Agente di condotta	46
Figura 20. Grafico – Polifunzione treno merci.....	47
Figura 21. Grafico – Modalità di rilevamento anomalia	48
Figura 22. Grafico – Modalità di mitigazione immediata	49
Figura 23. Grafico – Minuti di ritardo	51

¹⁵ Tutte le immagini sono dell'autore o provenienti dal materiale didattico fornito dal professor R. Maja.

Figura 24. Grafico – Ritardo dovuto a sosta per verifica assi frenati	52
Figura 25. Albero delle cause	67
Figura 26. Albero degli eventi	71
Figura 27. Dispositivo RTB-RTF sopra il quale transita un asse dotato di freno a ceppi.	83
Figura 28. Dispositivo RTB-RTF sopra il quale transita un asse dotato di freno a dischi.....	83
Figura 29. Schema del sistema frenante di una locomotiva.....	85
Figura 30. Schema del sistema frenante di un carro merci.....	86
Figura 31. Schema di un rubinetto del freno di tipo tradizionale.	87
Figura 32. Organo di aggancio sulla testata di un veicolo ferroviario: si notano in rosso le estremità della condotta generale.....	88
Figura 33. Condotta generale collegata fra due vetture.	89
Figura 34. Rubinetto di isolamento del freno di un carro.	89
Figura 35. Funicella della doppia valvola di scarico che viene azionata tirando la maniglia rossa.	90
Figura 36. Dispositivo Merci-Viaggiatori: G (goods); P (passengers).	91
Figura 37. Dispositivo Vuoto-Carico.....	92
Figura 38. Asse dotato di freno a ceppi.	93
Figura 39. Asse dotato di freno a dischi.....	93
Figura 40. Indicatori di serraggio dei freni: il colore rosso comunica che il veicolo è frenato.	94
Figura 41. Volantino per l'inserzione del freno di stazionamento.	94

Elenco delle tabelle

Tabella 1. Operatori logici AND OR	12
Tabella 2. CPC	20
Tabella 3. Località di servizio di accertamento dell'asse frenato	25
Tabella 4. Tipo di treno e massa rimorchiata	34
Tabella 5. Carri coinvolti	40
Tabella 6. Tipologia carri coinvolti	41
Tabella 7. Tipologia freni dei carri coinvolti	42
Tabella 8. Posizione dei carri coinvolti	43
Tabella 9. Massa dei carri.....	44
Tabella 10. Percentuali di carri vuoti e carri carichi.....	44
Tabella 11. Dettaglio treno 51155 del 10/06/2025.....	53
Tabella 12. Cause riguardanti la locomotiva.....	65

Appendice: cenni ad elementi di cultura ferroviaria

Di seguito si descrivono le caratteristiche ed il funzionamento di alcuni dispositivi utilizzati sull'infrastruttura e sui veicoli ferroviari che hanno un'attinenza con la tematica degli assi frenati. La presente trattazione non ha la pretesa di essere esaustiva e dettagliata, ma di fornire delle informazioni generali di base al lettore meno esperto e di chiarire alcuni concetti fondamentali per una migliore comprensione di questa tesi.

1. Dispositivi per il rilevamento di boccole calde o di assi frenati

I dispositivi RTB/RTF (rilevamento temperatura boccole/rilevamento temperatura freni) sono costituiti da una traversa ferroviaria su cui sono montate due teste di misura esterne al binario (una per lato) per la misura della temperatura delle boccole, e di una testa di misura posizionata fra le due rotaie che misura, solo su un lato, la temperatura del disco del freno se presente, in alternativa misura la temperatura della ruota.

Gli impianti RTB/RTF sono installati:

- ogni 25-40 km per linee con velocità compresa fra 150 e 250 km/h;
- ogni 40-60 km per linee con velocità compresa fra 100 e 150 km/h;
- ogni 60-80 km per linee con velocità minore di 100 km/h.

La localizzazione di questi dispositivi è segnalata sui Fascicoli Linea di RFI.

Il valore di soglia di attivazione dell'allarme RTF può essere di 500°C oppure di 280°C a seconda della categoria di treni e del tipo di dispositivo installato.

Una volta attivato l'allarme RTF il treno viene fermato nella prima località utile a seguito di disposizione di segnale a via impedita. Ivi viene condotta, da parte del personale di macchina, la verifica al convoglio per identificare quali sono gli assi frenati. Successivamente si adottano misure di mitigazione immediate.

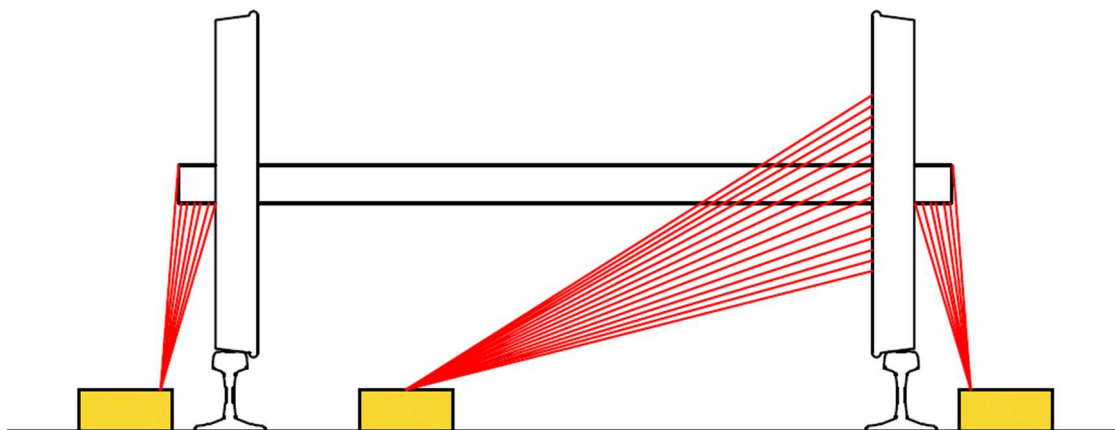


Figura 27. Dispositivo RTB-RTF sopra il quale transita un asse dotato di freno a ceppi.

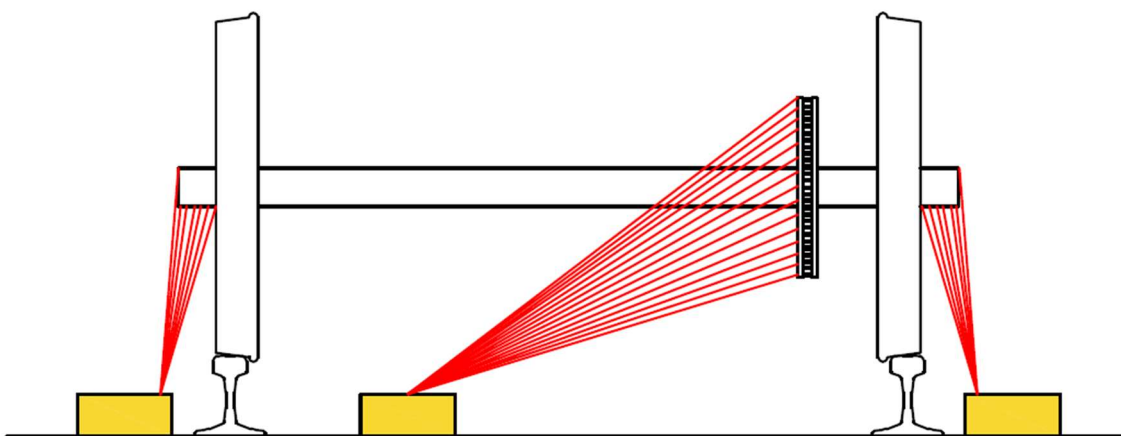


Figura 28. Dispositivo RTB-RTF sopra il quale transita un asse dotato di freno a dischi.

2. Il freno ferroviario

In questa sede ci si focalizza sull'ambito dei treni trattati nella presente tesi: dunque si descrive il funzionamento del freno continuo di un treno merci.

Il freno ferroviario è un freno di tipo pneumatico che sfrutta il valore della pressione immesso in una condotta (detta condotta generale) che si estende per la lunghezza dell'intero treno per applicare l'azione frenante sui singoli veicoli in composizione.

La normativa UIC relativa al freno elenca i quattro requisiti fondamentali del freno ferroviario:

- continuità: deve essere manovrato da un unico posto di comando e agire contemporaneamente su tutti i veicoli in composizione al treno;
- automaticità: deve entrare in azione automaticamente in caso di rottura della condotta, spezzamento del treno, mancato intervento del macchinista;
- regolabilità: deve essere moderabile ed agire gradualmente;
- inesauribilità: non deve esaurire la propria potenza frenante dopo ripetute frenate e sfrenate.

Un concetto essenziale per capire come frena un treno è quello di massa frenata (MF): essa è una grandezza che rappresenta l'efficacia del freno di un veicolo ed è pari alla massa che il sistema frenante è in grado di arrestare in uno dato spazio partendo da una data velocità iniziale. Si misura in tonnellate.

Si fa ora un esempio. Data una velocità iniziale e uno spazio di arresto di riferimento e un veicolo avente massa 90 t:

- se la massa frenata è minore di 90 t, il veicolo non è in grado di arrestarsi entro spazio di riferimento;
- se la massa frenata è maggiore di 90 t, il veicolo è in grado di arrestarsi in uno spazio minore allo spazio di riferimento.

La massa frenata di un treno è la somma delle masse frenate dei singoli veicoli. La percentuale di massa frenata (%MF) è data dal rapporto fra la massa frenata e la massa reale di un veicolo o dell'intero treno.

Si esaminano ora i singoli componenti del sistema frenante.

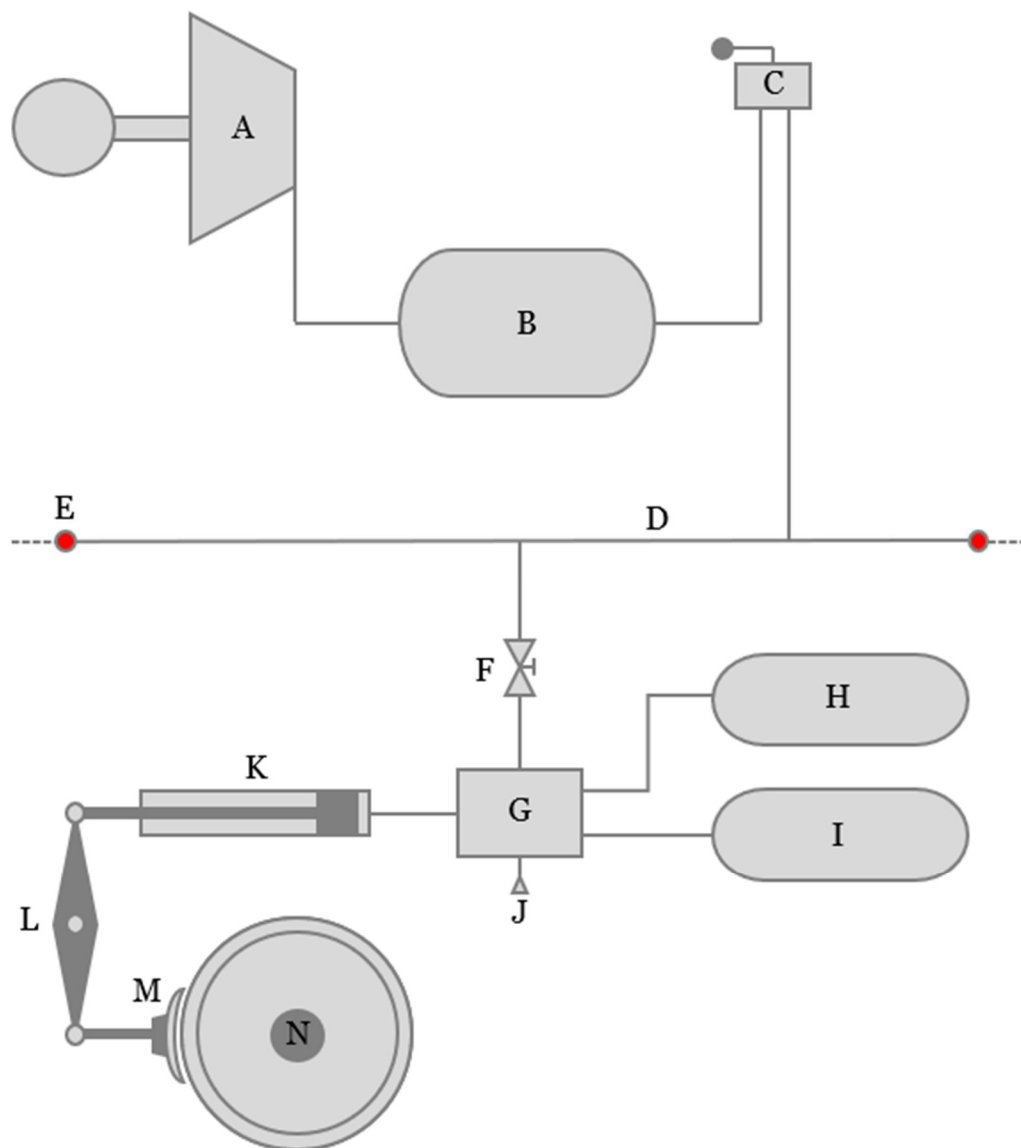


Figura 29. Schema del sistema frenante di una locomotiva.

Lo schema riportato mostra il sistema frenante in dotazione ad un veicolo motore:

- A) compressore
- B) serbatoio principale
- C) rubinetto del freno
- D) condotta generale
- E) attacchi della condotta generale sulle testate del veicolo (di colore rosso)
- F) rubinetto di isolamento freno
- G) distributore
- H) serbatoio ausiliario
- I) serbatoio di comando
- J) doppia valvola di scarico
- K) cilindro del freno
- L) timoneria
- M) ceppo
- N) ruota

La dotazione di un veicolo trainato è mostrata nella seguente figura (le lettere hanno il medesimo significato).

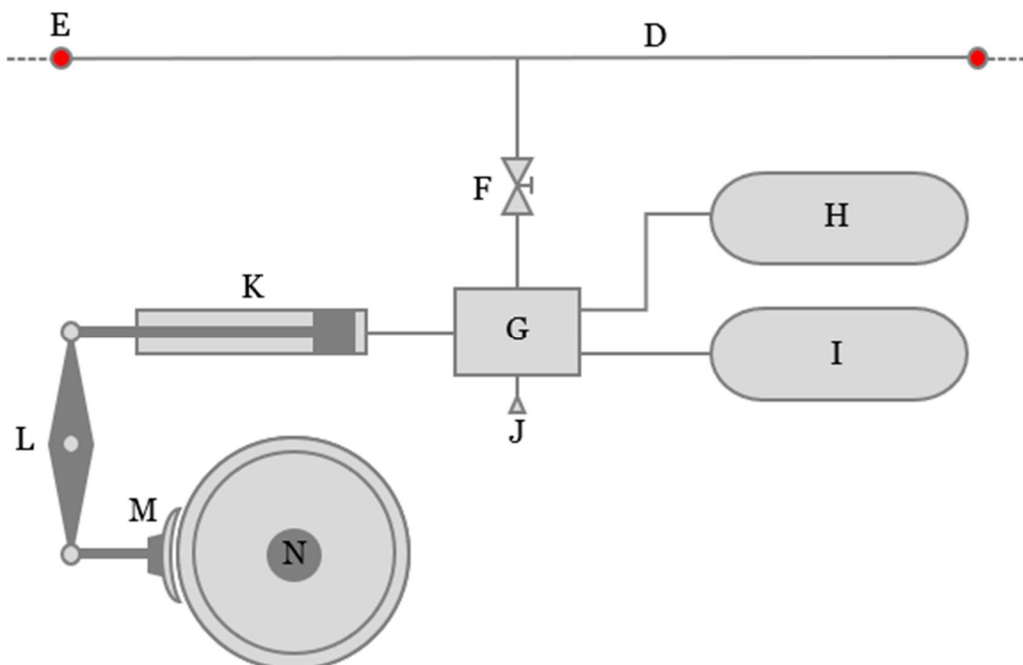


Figura 30. Schema del sistema frenante di un carro merci

Serbatoio principale

Il serbatoio principale è presente sulla locomotiva, è alimentato da un compressore e contiene aria ad una pressione di 8 bar. Ha la funzione di alimentare la condotta generale del freno.

Rubinetto del freno

Il rubinetto del freno è situato sul banco di guida della locomotiva. Attraverso di esso l'agente di condotta può caricare la condotta generale mettendo quest'ultima in comunicazione con il serbatoio principale o scaricarla mettendola in contatto con l'atmosfera.

Si descrivono ora le posizioni che un rubinetto del freno di tipo tradizionale può assumere.

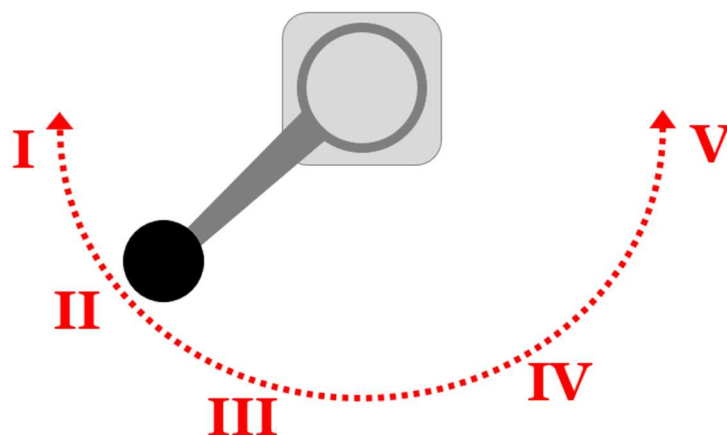


Figura 31. Schema di un rubinetto del freno di tipo tradizionale.

- I posizione: carica rapida. Questa posizione permette di caricare la condotta generale e il serbatoio ausiliario presente su tutti i veicoli portandoli alla pressione di 5 bar.
- II posizione: ricarica lenta. Questa posizione permette di mantenere costante la pressione della condotta generale a 5 bar durante le fasi di marcia e di sosta del treno.
- III posizione: posizione neutra. Questa posizione isola la condotta generale mantenendo costante la pressione al suo interno.
- IV posizione: frenatura graduale. La condotta è messa in comunicazione con l'atmosfera ed isolata dal serbatoio principale in modo che vi sia una

diminuzione di pressione; questo fa entrare in funzione i freni di tutti i veicoli in composizione. Per una frenatura minima è sufficiente una pressione compresa fra 4,6 e 4,2 bar; la frenatura massima corrisponde ad una pressione di 3,5 bar. Per regolare al meglio la frenatura è utile alternare la III e la IV posizione del rubinetto.

- V posizione: frenatura rapida. La condotta è messa in comunicazione con l'atmosfera venendo completamente svuotata, la brusca diminuzione di pressione genera la frenatura di emergenza.

Rubineti come quello appena descritto sono in dotazione sulle locomotive più datate, sulle locomotive di nuova concezione sono presente delle manopole. Il valore della pressione nella condotta generale è gestito in modo elettronico dal sistema di controllo della frenatura (DCF).

Condotta generale

La condotta generale contiene aria compressa e mette in comunicazione il rubinetto del freno con i sistemi frenanti dei singoli veicoli che compongono il treno. Si estende per tutta la lunghezza del convoglio. Gli attacchi della condotta generale sulle testate dei veicoli sono facilmente individuabili dalla colorazione rossa.

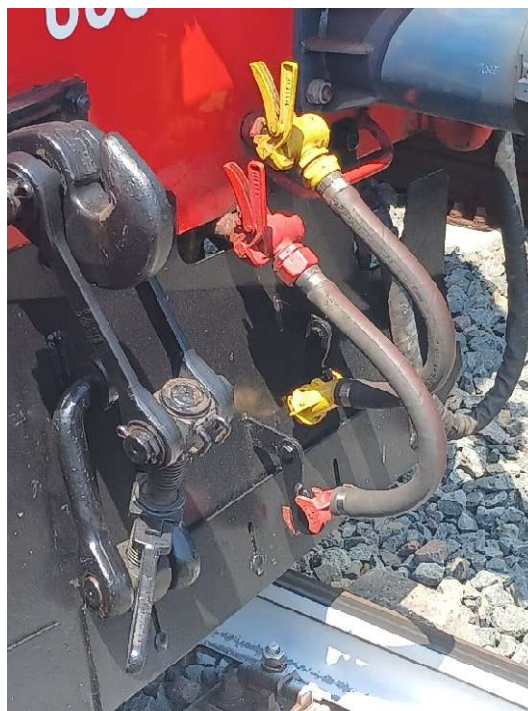


Figura 32. Organo di aggancio sulla testata di un veicolo ferroviario: si notano in rosso le estremità della condotta generale.



Figura 33. Condotta generale collegata fra due vetture.

Distributore del freno

Il distributore del freno è presente su ogni veicolo ferroviario. Esso è azionato dalla pressione dell'aria presente in condotta generale. Al diminuire della pressione in quest'ultima, esso fa entrare aria in pressione nei cilindri dei freni in modo che venga applicata l'azione frenante.

Rubinetto di isolamento

Il rubinetto di isolamento del freno, applicato su ogni distributore, ha la funzione di isolare il sistema frenante del carro dalla condotta generale. Se la maniglia è verticale, il freno è attivo; se la maniglia è obliqua, il freno è isolato.



Figura 34. Rubinetto di isolamento del freno di un carro.

Serbatoio di comando

Il serbatoio di comando è una camera a pressione costante posta in prossimità del distributore del freno ed utile al suo funzionamento.

Serbatoio ausiliario

Il serbatoio ausiliario è posto in prossimità del distributore del freno ed è caricato dalla condotta generale. In fase di frenatura il distributore fa sì che l'aria compressa presente in esso vada a riempire il cilindro del freno generando così l'azione frenante.

Doppia valvola di scarico

È posta sul distributore ed è collegata a condotta generale, serbatoio di comando, serbatoio ausiliario e atmosfera. È comandata tramite due maniglie, una per fiancata, collegate ad un tirante (funicella). Ha lo scopo di livellare la pressione fra condotta generale e serbatoio di comando e permette la frenatura del veicolo all'occorrenza. Grazie ad essa si possono smaltire eventuali sovraccariche presenti in condotta.



Figura 35. Funicella della doppia valvola di scarico che viene azionata tirando la maniglia rossa.

Dispositivo merci-viaggiatori

Questo dispositivo è azionabile mediante un'apposita manopola posta sui carri ferroviari. Esso, movimentando una serie di fori, varia la velocità con cui l'aria compressa entra nei cilindri dei freni, consentendo così una diversa velocità di applicazione dell'azione frenante.

- Se il dispositivo è in configurazione “viaggiatori” la forza frenante è applicata più velocemente in modo da permettere una maggiore frenatura e dunque maggiori velocità di marcia.
- Se il dispositivo è in configurazione “merci” la forza frenante è applicata più lentamente. In questo modo si evitano strappi e azioni dinamiche violente tra carri con masse e sistemi frenanti eterogenei.



Figura 36. Dispositivo Merci-Viaggiatori: G (goods); P (passengers).

Dispositivo vuoto-carico

Questo dispositivo permette di variare la massa frenata, quindi l'azione frenante, in funzione del carico del carro. Storicamente era azionato mediante una manopola posta sui carri ferroviari. Tutti i carri utilizzati da Hupac sono oggi dotati di dispositivo vuoto-carico autocontinuo che varia la massa frenata in modo automatico al variare del carico: fino ad un carico prestabilito detto “valore di cambiamento di regime” la massa frenata del carro è pari alla massa lorda (percentuale MF=100%); superato questo valore la massa frenata si riduce progressivamente (MF<100%).



Figura 37. Dispositivo Vuoto-Carico.

Timoneria del freno

La timoneria del freno è composta da una serie di leve che collegano meccanicamente il cilindro del freno con i ceppi o i dischi. Sui carri tasca questa timoneria è molto ridotta per via del poco spazio disponibile al di sotto del pianale.

Nel caso di freni a ceppi la timoneria usualmente ha una regolazione automatica che ottimizza il gioco fra cerchione e ceppi quando le suole di questi ultimi si consumano.

Organi frenanti

L'azione frenante sulle ruote è applicata mediante ceppi o dischi. Le suole dei ceppi agiscono direttamente sui cerchioni delle ruote, mentre le pastiglie dei dischi agiscono su questi ultimi che sono calettati sugli assili.

Nel caso di freni a ceppi è sufficiente una verifica visiva per appurare se siano inseriti: infatti è ben visibile se la suola del ceppo è a contatto con la ruota o non lo è. Per quanto riguarda i freni a disco, che non sono visibili, si ricorre ad indicatori di serraggio che assumono il colore rosso quando le suole appoggiano sui dischi e il colore verde quando le suole assumono la posizione normale di sfrenatura.

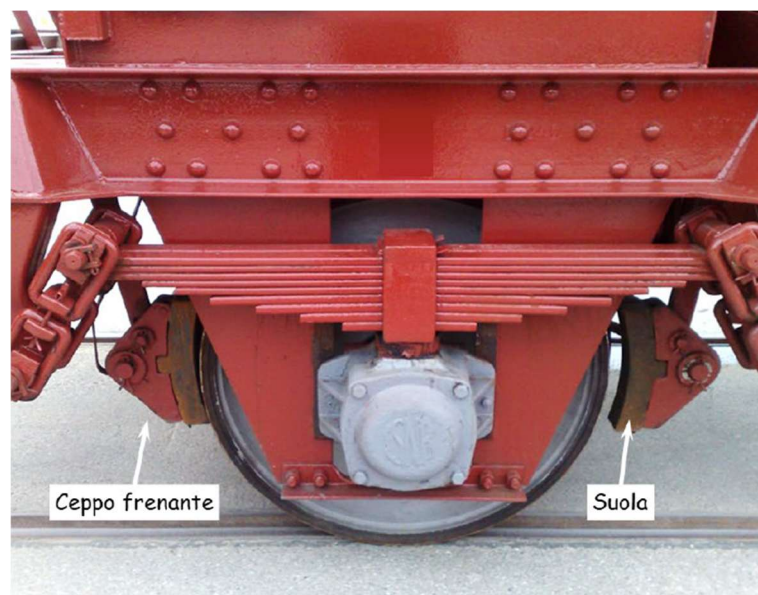


Figura 38. Asse dotato di freno a ceppi.

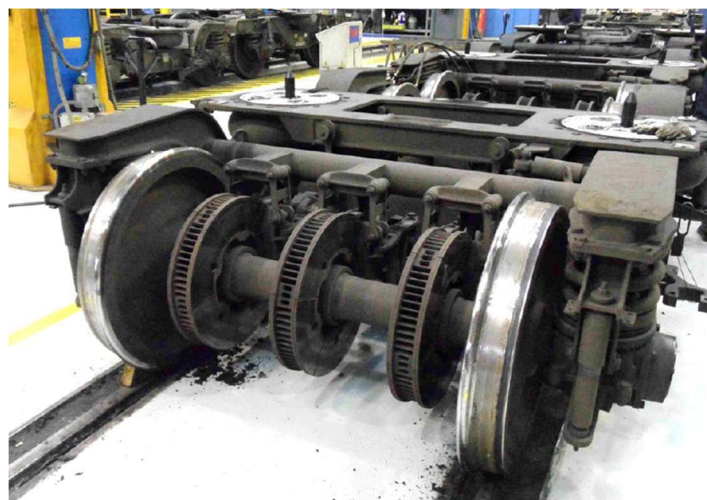


Figura 39. Asse dotato di freno a dischi.



Figura 40. Indicatori di serraggio dei freni: il colore rosso comunica che il veicolo è frenato.

Stazionamento

Quando un veicolo è in stazionamento non è possibile tenerlo frenato con il freno continuo in quanto non è possibile mantenere la condotta generale in pressione. Dunque i carri sono generalmente dotati di freno a vite composto da una trasmissione meccanica agente direttamente sulla timoneria ed azionato da un volantino posto sulle fiancate dei carri.

In assenza di freno a vite i carri sono immobilizzati mediante staffe fermacarro poste sul binario.



Figura 41. Volantino per l'inserzione del freno di stazionamento.

Bibliografia

- Rete Ferroviaria Italiana, *Prefazione Generale all'Orario di Servizio – Imprese ferroviarie – PGOS-IF*, RFI, Roma, 2024
- Disposizione di Esercizio RFI n° 22 del 22.12.2022, *Procedura di interfaccia. Emanazione delle Istruzioni per l'esercizio degli impianti di rilevamento temperatura boccole e assi frenati ("Impianti RTB") in uso sull'Infrastruttura Ferroviaria Nazionale; modifiche all'IPCL-IF e della IPCL-RFI*
- Disposizione di Esercizio RFI n° 22 del 22.12.2022, *Procedura di interfaccia. Emanazione delle Istruzioni per l'esercizio degli impianti di rilevamento temperatura boccole e assi frenati ("Impianti RTB") in uso sull'Infrastruttura Ferroviaria Nazionale; modifiche all'IPCL-IF e della IPCL-RFI*
- Disposizione di Esercizio RFI n° 22 del 22.12.2022, *Procedura di interfaccia. Emanazione delle Istruzioni per l'esercizio degli impianti di rilevamento temperatura boccole e assi frenati ("Impianti RTB") in uso sull'Infrastruttura Ferroviaria Nazionale; modifiche all'IPCL-IF e della IPCL-RFI*
- Acquaro Giuseppe, *La sicurezza ferroviaria – Principi, approcci e metodi nelle norme nazionali ed europee*, CIFI, Roma, 2019
- Principe Evaristo, *Il veicolo ferroviario – Carrozze e carri*, CIFI, 2008
- Maja Roberto, *Frenatura meccanica dei veicoli ferroviari*, corso di Esercizio ferroviario, Politecnico di Milano, novembre 2023
- Maja Roberto, Dispense e diapositive del corso Trasporti marittimi ed intermodali erogato presso il Politecnico di Milano
- Matricardi Antonio - Tagliaferri Andrea, *Nozioni sul freno ferroviario*, CIFI, Roma, gennaio 2001
- Laguzzi Alberto Francesco, *L'efficace controllo operativo dei processi critici è condizione determinante per il miglioramento continuo delle organizzazioni. Resoconto sull'esperienza di progettazione, implementazione e sviluppo di un'applicazione informatica per la raccolta e l'elaborazione delle informazioni rilevanti per i processi QHSE*, Tesi di Master, Università degli Studi dell'Insubria, a.a. 2021/2022

- Hupac S.p.A., *Procedura per la gestione del processo di Individuazione, gestione delle non conformità e delle Azioni Correttive e Preventive*, Hupac S.p.A., Busto Arsizio, 2009
- Gargiulo Amedeo, Loprencipe Giuseppe, Mazzotta, Simone, Rossi Giuliano, tartelli Luigi, *Un modello per l'analisi delle cause degli incidenti ferroviari*, Firenze, 2018,
[<https://www.ansfisa.gov.it/documents/20142/177538/AA.VV.Unmodelloperlanalisedellecausedegliincidentiferroviari.pdf/ccb70f3b-2a50-2381-e6dc-81eb6192975b?download=true>]
- DIGIFEMA, *Studio di eventi incidentali precursori e fattore umano*, 2022
[<https://digifema.mit.gov.it/wp-content/uploads/2022/10/Studio-per-sito.pdf>]
- DIGIFEMA, *Relazione Analisi del fattore umano negli eventi incidentali dei settori ferroviario e marittimo*, 2024 [https://digifema.mit.gov.it/wp-content/uploads/2024/10/Relazione-Digifema-su-Fattore-umano.pdf]
- Tartari Rinaldo, *Root cause analysis – Investigare oltre l'ovvio Human Error*”, Franco Angeli, 2015
- Maceri Angela, *Studio sperimentale di un sistema di monitoraggio per l'impianto frenante di veicoli ferroviario*, Tesi di laurea, Politecnico di Torino, 2020
- <https://www.produzioneagile.it/la-teoria-del-formaggio-svizzero/>

Sommario

Abstract	2
Ringraziamenti	3
Introduzione	4
Capitolo 1: Stato dell'arte - modalità di analisi di un evento incidentale e metodi per la valutazione del rischio	6
1.1 Analisi di un evento incidentale	7
1.2 Processo di analisi di una non conformità in ambito ferroviario	9
1.3 Metodo per la conduzione dell'indagine	11
1.4 Metodo <i>Fault tree analysis</i>	12
1.5 Il fattore umano	14
1.5.1 Metodo SHELL	16
1.5.2 Metodo HTA	18
1.5.3 Metodo CREAM	19
1.5.4 Metodo AcciMap	21
1.6 Conclusioni sullo stato dell'arte	23
Capitolo 2: Caso studio "Casi di assi frenati ai treni di Hupac S.p.A."	24
2.1 Panoramica sui casi di non conformità dovuta ad assi frenati	25
2.2 Localizzazione degli eventi	27
2.3 Origine e destinazione del treno	28
2.4 Data, ora e condizioni climatiche	30
2.5 Tipo di treno	33
2.6 Locomotive coinvolte	36
2.7 Carri coinvolti	39
2.8 Posizione dei carri nella composizione	43
2.9 Carico dei carri	44

2.10	Personale coinvolto	45
2.11	Dinamica degli eventi e azioni immediate intraprese	48
2.12	Ritardo accumulato	50
2.13	Considerazioni globali sulle statistiche analizzate.....	54
Capitolo 3: Ricerca di cause comuni ai casi analizzati.....		55
3.1	Analisi della località di origine “A”.....	56
3.1.1	Manovra dei carri.....	57
3.1.2	Immobilizzazione della colonna di carri.....	58
3.1.3	Verifica del materiale	59
3.1.4	Eventuale scarto di carri non idonei a viaggiare	59
3.1.5	Passaggio di consegna alla impresa ferroviaria.....	59
3.1.6	Prova del freno	60
3.1.7	Evidenze emerse dall’analisi delle operazioni in località A.....	61
3.1.8	Misure di mitigazione	62
3.2	Analisi delle locomotive	63
3.3	Albero delle cause.....	66
Capitolo 4: Analisi delle conseguenze.....		70
4.1	Albero degli eventi.....	71
4.2	Conseguenze sull’esercizio	72
4.3	Conseguenze sulla sicurezza.....	74
Conclusioni.....		75
Glossario degli acronimi		78
Elenco delle figure.....		79
Elenco delle tabelle.....		81
Appendice: cenni ad elementi di cultura ferroviaria		82
Bibliografia		95

