



Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti

DIREZIONE GENERALE PER LE INVESTIGAZIONI FERROVIARIE

**Relazione d'indagine sull'incidente ferroviario occorso il
06-06-2012 al treno n. 44213 di RTC nella stazione di
Bressanone**



Roma, 14 maggio 2014

*Roberto Folchini
Gennaro Baglini*

INDICE

1	SINTESI.....	4
1.1	Breve descrizione dell'evento	4
1.1.1	Data, ora, luogo, conseguenze	4
1.1.2	Cause dirette, concause e cause indirette.....	4
1.2	Raccomandazioni principali e loro destinatari.....	5
2	FATTI IN IMMEDIATA RELAZIONE ALL'EVENTO	6
2.1	Evento	6
2.1.1	Data, ora, evento e luogo	6
2.1.2	Descrizione degli eventi e del sito dell'incidente	6
2.1.3	Descrizione delle attività dei servizi di soccorso e di emergenza.....	8
2.1.4	Decisione di aprire un'indagine, composizione della squadra investigativa e svolgimento dell'indagine.....	8
2.2	Circostanze dell'evento	10
2.2.1	Personale ed imprese appaltatrici coinvolte.....	10
2.2.2	Altre parti e testimoni	10
2.2.3	Treni e relativa composizione, numero di immatricolazione del materiale rotabile coinvolto	11
2.2.4	Infrastruttura e sistema di segnalamento	12
2.2.5	Lavori svolti nei pressi del sito dell'evento o nelle vicinanze.....	13
2.2.6	Attivazione del piano di emergenza ferroviaria e relativa catena di eventi.	14
2.2.7	Attivazione del piano di emergenza dei servizi pubblici di soccorso, della polizia, dei servizi sanitari e relativa catena di eventi	14
2.3	Decessi, lesioni, danni materiali.....	14
2.4	Circostanze esterne.....	15
3	RESOCONTO DELL'INDAGINE	16
3.1	Sintesi delle testimonianze.....	16
3.2	Sistema di gestione della sicurezza	16
3.2.1	Quadro organizzativo e modalità di assegnazione ed esecuzione degli incarichi	16
3.2.2	Modalità dei controlli e delle verifiche interne e loro risultati	17
3.3	Norme e regolamenti.....	24
3.3.1	Norme pertinenti e regolamenti comunitari e nazionali	24
3.3.2	Altre norme quali norme di esercizio, istruzioni locali	24
3.4	Funzionamento del materiale rotabile e degli impianti tecnici	25
3.4.1	Sistema di segnalamento e comando-controllo, compresa la registrazione da parte di apparecchi automatici di registrazione	25
3.4.2	Infrastruttura	25
3.4.3	Apparecchiature di comunicazione.....	26
3.4.4	Materiale rotabile, compresa la registrazione da parte di Apparecchi automatici di registrazione dati.....	26

Roberto Folchini
Gennaro Aglieri

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012

3.5	Documentazione del sistema operativo.....	27
3.5.1	Provvedimenti adottati dal personale per il controllo del traffico ed il segnalamento	27
3.5.2	Provvedimenti adottati a tutela e salvaguardia del sito dell'evento.....	27
3.6	Interfaccia uomo – macchina – organizzazione	27
3.6.1	Tempo lavorativo del personale coinvolto.....	27
3.7	Eventi precedenti dello stesso tipo.....	28
4	ANALISI E CONCLUSIONI	29
4.1	Resoconto finale della catena di eventi	29
4.1.1	Conclusioni sull'evento	29
4.2	Discussione	29
4.2.1	Analisi dei fatti rilevati per determinare le cause dell'evento	29
4.2.2	Analisi sull' infrastruttura	30
4.2.3	Analisi sul materiale rotabile	39
4.2.4	Considerazioni sul massimo valore dello sforzo di caletto.....	55
4.2.5	Analisi della rugosità	58
4.2.6	Analisi dell'interferenza ruota-assile	75
4.2.7	Considerazioni sulla temperatura dei freni e delle ruote	97
4.2.8	Considerazioni sul personale di condotta RTC.....	100
4.2.9	Considerazioni sul peso dei carri	102
4.2.10	Considerazioni sulla frenatura disomogenea SX-DX.....	103
4.3	Conclusioni	106
4.3.1	Cause dirette ed immediate dell'evento, comprese le concause riferibili ad azioni delle persone coinvolte o alle condizioni del materiale rotabile o degli impianti tecnici	106
4.3.2	Cause indirette riferibili alle competenze, alle procedure ed alla Manutenzione.....	108
4.3.3	Cause a monte riferibili alle condizioni del quadro normativo ed all'applicazione del sistema di gestione della sicurezza.....	110
4.4	Osservazioni aggiuntive	111
4.4.1	Carenze rilevate durante l'indagine, ma non pertinenti ai fini della determinazione delle cause	111
4.5	Provvedimenti adottati. Resoconto dei provvedimenti già presi o adottati successivamente all'evento.....	113
4.6	Raccomandazioni	115
5	RINGRAZIAMENTI.....	120
6	ABBREVIAZIONI E SIGLE	120
7	ELENCO DEGLI ALLEGATI.....	121

Roberto Folchini
Gennaro Anfossini

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012

1 SINTESI

1.1 Breve descrizione dell'evento

1.1.1 Data, ora, luogo, conseguenze

Il giorno 6/06/2012 alle ore 11.56, il treno 44213 di Rail Traction Company, composto da 21 carri che trasportavano rottami ferrosi, proveniente dal Brennero e diretto a Brescia scalo, in transito nella stazione di Bressanone sul II binario di corretto tracciato, con i segnali disposti a via libera, sviava all'ingresso in stazione in corrispondenza degli scambi d'ingresso. Nell'occorso veniva divelta tutta la porzione di armamento posta all'ingresso della stazione (venivano resi impraticabili i primi tre binari) e parte del sistema di alimentazione della linea elettrica. Ciò procurava una notevole perturbazione della circolazione sulla linea, con soppressione di n. 15 treni viaggiatori e n. 14 treni merci e limitazioni di percorso (allegato n. 1 – Rapporto informativo da COER di RFI di Verona del 6/06/2012).

1.1.2 Cause dirette, concause e cause indirette

Causa diretta dell'incidente è stata lo scalettamento delle ruote della 1^a e della 4^a sala del primo dei carri, s.m.t. (senso marcia treno), in composizione al treno, che era quello che seguiva immediatamente il locomotore e che era allo stesso agganciato.

Roberto Foderini
Gennaro Aglieri

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012

Tra le cause indirette dell'incidente è da riferire che, dalla documentazione esibita da ÖBB TS, Impresa Ferroviaria responsabile della manutenzione del carro che ha originato l'incidente de quo, si rileva la non conformità, alle norme relative all'assemblaggio delle ruote sugli assili, delle istruzioni per la manutenzione ed il montaggio delle sale montate fornite, dalla stessa azienda, ai propri operatori ("Richtlinie 800.02.00" dell'1/01/2011 – allegato n. 2) e a quelli esterni alla stessa ("Arbeitsregelwerk Ausgabe 3" del 9/07/2010 – allegato n. 3).

1.2 Raccomandazioni principali e loro destinatari

L'ANSF valuta la possibilità di inibire la circolazione su tutto il territorio nazionale di tutti (o di parte de) i carri merci che abbiano subito interventi manutentivi anteriormente alla data del 21/12/2012 avendo come ECM o impresa di manutenzione la ÖBB TS; ciò in quanto, solo a partire da questa data, tale Impresa ha emanato disposizioni operative, relativamente alla manutenzione ed all'assemblaggio di sale montate, che rispondono alla norma EN 13260. Sino a quella data era stato previsto da ÖBB TS un controllo che teneva conto del solo andamento del diagramma di calettamento, per verificarne la rispondenza alla norma UIC 813; non veniva effettuata alcuna verifica sul valore dell'interferenza, come previsto dalla stessa norma UIC 813. L'ANSF valuterà la possibilità di estendere tale previsione anche ai carri di altre Imprese/Detentori che potrebbero avere utilizzato simili metodiche per l'assemblaggio delle ruote agli assili.

Posto che dalle evidenze tecniche dell'indagine si è riscontrato il fenomeno dello scalettamento in corrispondenza di valori di interferenza, certificati e/o rilevati non sempre rispondenti alle prescrizioni della norma UIC 813 oppure al limite dei valori delle soglie minime definite da tale normativa (come risulta dalle misure effettuate presso Lucchini RS), la Commissione d'indagine ha proposto

Roberto Focherini
Gennaro Bagliarini

.....
Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012

di raccomandare all'ANSF, all'UIC, al CEN di valutare l'opportunità di verificare l'efficacia e la coerenza dell'attuale quadro normativo per quanto attiene l'assemblaggio ed il riassetto delle sale montate. Inoltre ha proposto di verificare la possibilità di prevedere l'omologazione a livello europeo dei lubrificanti utilizzati nei calettamenti a freddo.

2 FATTI IN IMMEDIATA RELAZIONE ALL'EVENTO

2.1 Evento

2.1.1 Data, ora, evento e luogo

L'evento si è verificato il giorno 06.06.2012 alle ore 11.56 circa, in corrispondenza dell'ingresso alla stazione di Bressanone, nella tratta Fortezza-Ponte Gardena della linea ferroviaria Brennero-Verona.

2.1.2 Descrizione degli eventi e del sito dell'incidente

Il treno 44213 dell'impresa ferroviaria Rail Traction Company, composto dalla locomotiva titolare Bombardier EU43 001 e da 21 carri che trasportavano rottami ferrosi, partito da Brennero alle 10.43 e diretto a Brescia (come risulta dalla scheda composizione treno – allegato n. 4), giunto in corrispondenza dell'ingresso alla stazione di Bressanone, sul 2° binario di corretto tracciato, con i segnali disposti a via libera, sviava, proseguiva la sua corsa sino ad occupare la sagoma del 3° binario e si arrestava, sia per la resistenza opposta dall'infrastruttura che nel perdurante movimento è stata divelta, che per l'intervento della frenatura rapida conseguente alla rottura della Condotta Generale del freno. Ciò a causa degli scalettamenti delle ruote del 1° carro.

Allo stato di quiete (vedi figure 1 e 2) il treno si presentava con la locomotiva sviata e intraversata, col carrello anteriore appoggiato sul marciapiede della banchina posta tra i binari 2 e 3. Alla locomotiva era attaccato il primo carro che si presentava, sviato, inclinato e con due sale con ruote scalettate. A circa 10,5

Roberto Focherini
Gennaro Agliardi

*Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012*

m. dal secondo carro si trovava il terzo carro, anch'esso sviato e parzialmente inclinato. Sono sviati ulteriori 7 carri per un totale di 9 dei quali, il sesto, si è intraversato e ha perso il carico, mentre l'ottavo ha tamponato il settimo infilandosi per circa 3,5 metri nella cassa dello stesso. Il decimo carro, il primo rimasto in linea di marcia, presentava il respingente anteriore lato destro rotto.



Figura 1



Figura 2

Roberto Folmerini
Gennaro Baglieri

*Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012*

Nell'occorso si avevano danni materiali al locomotore, ai primi dieci carri (i 9 interessati dallo svio, più il decimo che ha subito la rottura di un respingente), alla infrastruttura, alla linea aerea, nonché veniva, inoltre, procurata una notevole perturbazione della circolazione sulla linea, con soppressioni di n. 15 treni viaggiatori e n. 14 treni merci e con limitazioni di percorso, come riportato dall'allegato n. 1.

La stazione di Bressanone è ubicata lungo la linea ferroviaria Brennero-Verona. Così come riportato nel piano schematico della stessa (allegato n. 5), si contano 4 binari dedicati anche al traffico passeggeri e altri 4 dedicati al solo traffico merci; le banchine sono due collegate mediante un sottopassaggio. Presente anche lo scalo merci, anche se tale servizio non viene più espletato.

2.1.3 Descrizione delle attività dei servizi di soccorso e di emergenza

Sul posto intervenivano i funzionari della Polfer ed il personale dei Vigili del Fuoco e del 118. L'autoambulanza intervenuta ha provveduto a fornire la prima assistenza al personale di macchina.

2.1.4 Decisione di aprire un'indagine, composizione della squadra investigativa e svolgimento dell'indagine

Con la nota prot. n. DGIF/DIV2/210/2012/9/Uscita del 6 giugno 2013 (allegato n. 6), la Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie ha istituito una Commissione d'indagine formata dagli Ingg. :

- Roberto Focherini - Funzionario della Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
- Gennaro Scagliarini - incluso nell'elenco degli esperti per le Investigazioni Ferroviarie.

Roberto Focherini
Gennaro Scagliarini

.....
Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012

L'indagine si è svolta a partire dal 6/06/2012, data del decreto di nomina, e si è conclusa con la consegna della presente relazione. A seguito della nomina, si è subito proceduto a contattare telefonicamente i responsabili di RFI e di RTC per ottenere i nominativi dei referenti a cui rivolgersi nel prosieguo dell'indagine (sono risultati l'Ing. Botti Giorgio per RFI e l'Ing. Bracciali Andrea per RTC) e per fissare un sopralluogo sul sito dell'incidente da realizzarsi nella giornata successiva (del 7/06/2012). Nel corso del sopralluogo sono state scattate le fotografie di cui al CD che si allega.

La citata Commissione ha svolto le seguenti attività:

- 07 giugno 2012 : primo sopralluogo a Bressanone con effettuazione dei primi rilievi;
- 11 giugno 2012 : sopralluogo a Fortezza per la rilevazione dei primi segni di scalettamento delle ruote dagli assili;
- 14 giugno 2012 : sopralluogo a Bressanone per partecipare alle operazioni peritali di cui al verbale allegato;
- 17 luglio 2012 : sopralluogo a Bressanone per partecipare alle operazioni peritali di cui al verbale allegato;
- 06 e 07 agosto 2012 : sopralluogo a Bressanone per partecipare alle operazioni peritali di cui ai verbali allegati;
- 10, 11 e 12 settembre 2012 : sopralluogo a Lovere (BG) presso Lucchini RS per partecipare alle operazioni peritali di cui ai verbali allegati;
- 25 settembre 2012 : sopralluogo a Lovere (BG) presso Lucchini RS per partecipare alle operazioni peritali di cui ai verbali allegati;
- 08 ottobre 2012 : sopralluogo a Cirimido (CO), presso Casram Rail, per partecipare alle operazioni per la lettura dei dati conservati nell'apparecchiatura per la registrazione degli eventi, TELOC, montata sul locomotore EU 43 001;

Roberto Forneri
Gennaro Agliardi

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012

- 09 ottobre 2012 : incontro a Verona della Commissione Ministeriale per esame della documentazione;
- 17 e 18 ottobre 2012 : sopralluogo a Bressanone per assistere alle operazioni di pesatura dei carri, come da verbale allegato;
- 03 e 04 dicembre 2012 : incontro a Vienna presso NIB Austriaco
- 28 febbraio 2013 : incontro a Verona della Commissione Ministeriale per esame della documentazione
- 03 e 04 aprile 2013 : incontro a Verona della Commissione Ministeriale per esame della documentazione
- 19 giugno 2013 : incontro a Bratislava presso NIB Slovacco
- 20 giugno 2013 : sopralluogo a Trnava presso ZOS con NIB Slovacco
- 03 e 04 luglio 2013 : incontro a Verona della Commissione Ministeriale per esame della documentazione
- 09 , 10 e 11 settembre 2013: incontro a Verona della Commissione Ministeriale per esame della documentazione.

2.2 Circostanze dell'evento

2.2.1 Personale ed imprese appaltatrici coinvolte

Nell'evento sono risultati coinvolti i due macchinisti di RTC addetti alla condotta del treno.

2.2.2 Altre parti e testimoni

Oltre ai due macchinisti direttamente coinvolti, sono stati identificati due testimoni dell'evento. I verbali delle prove testimoniali fornite da tutte le persone innanzi indicate costituiscono gli allegati dal 7 al 10 alla presente relazione.

Roberto Fornerini
Germano Bagliani

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012

2.2.3 Treni e relativa composizione, numero di immatricolazione del materiale rotabile coinvolto

Lo svio di cui si tratta ha interessato il treno di RTC (Rail Traction Company) n. 44213 composto dalla locomotiva RTC EU 43 001, costruita dalla ditta Bombardier, e da 21 carri, le cui caratteristiche di composizione erano quelle di cui alla scheda treno M18 (allegato n. 4) e che vengono riassunte di seguito:

- Lunghezza (escluso il locomotore)	m	344
- Massa rimorchiabile effettiva	t	1.546
- Percentuale di massa frenata esistente	%	82
- Velocità massima rispetto veicoli in composizione ...	km/h	120
- I trasporti rispettano i limiti di carico massimi previsti per la categoria		C3
- Massa Netta	t	1.050

Dalle prescrizioni tecniche di RTC (allegato n. 11) risulta che per il treno di cui si tratta, tenuto conto delle caratteristiche dei veicoli in composizione, valevano i limiti di velocità previsti per il rango A.

Dalla lettura della scheda VVR (Virtual Vehicle Register) (allegato n. 12) dell'European Railway Agency si evince che il carro, che ha procurato l'evento di cui al precitato punto 2.1, individuato dalla mat. 31815341854-2, è un carro austriaco in carico a Rail Cargo Austria AG.; il soggetto responsabile della sua manutenzione risulta essere, a norma del Regolamento Europeo n.445/2011, ÖBB Technische Service. La costruzione del carro risulta autorizzata con nota del Ministero dei Trasporti austriaco del 23.02.1983 (allegato n. 13) e la sua messa in esercizio risulta rilasciata dallo stesso Ministero in data 8.06.1983 (allegato n. 14).

La situazione delle sale del primo carro, al momento dello svio, si presentava come da comunicazione ANSF prot.n. 04718/12 del 26/06/2012 (allegato n. 15) di seguito riportata :

Roberto Forneri
Gennaro Agliardi

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012

- *Sala 331850 1° carro – 1^a sala senso marcia treno : appartenente al gruppo TGr. 75.2, carico assiale massimo RSL 20.0 t, revisionata con revisione IS3 (con calettamento degli assili alle ruote) il 02.07.2011 presso le officine di ZOS Trnava. Trovata con due ruote scalettate.*
- *Sala 161788 1° carro – 2^a sala senso marcia treno: appartenente al gruppo TGr. 75.3, carico assiale massimo RSL 22.5 t, revisionata il 26/08/2008 a Knittelfeld (Austria). Trovata apparentemente integra.*
- *Sala 121553 1° carro – 3^a sala senso marcia treno: appartenente al gruppo TGr. 75.3, carico assiale massimo RSL 22.5 t, revisionata con revisione IS2 il 13.10.2010 presso le officine di Ptuj (Slovenia). Trovata apparentemente integra.*
- *Sala 325584 1° carro – 4^a sala senso marcia treno: appartenente al gruppo TGr. 75.3, carico assiale massimo RSL 22.5 t, revisionata con revisione IS3(con calettamento degli assili alle ruote) l'8/10/2010 presso le officine di ZOS Trnava. Trovata con una ruota scalettata.*

2.2.4 Infrastruttura e sistema di segnalamento

Il tratto ferroviario Brennero-Bressanone, a doppio binario, è compreso nella linea Bolzano-Brennero, il cui profilo piano-altimetrico è allegato alla presente (all. n. 16), presenta lunghi tratti in discesa con pendenza del 23-24‰, con progressiva chilometrica a decrescere dal confine con l'Austria. Nello stesso tratto di linea, la velocità massima ammessa ed i gradi di frenatura per tratta, ricavati dalla scheda treno (allegato n. 17), sono i seguenti :

- Velocità massima ammessa :
 - nella tratta da Brennero al cippo km 224+00 : 80 km/h
 - nella tratta cippo 224+00 – Vipiteno : 75 km/h
 - nella tratta Vipiteno – Campo di Trens : 95 km/h
 - nella tratta da Campo di Trens – Le Cave : 80 km/h
 - nella tratta Le Cave – Bressanone : 75 km/h
- Grado di frenatura
 - da Brennero a Vipiteno : VII
 - da Vipiteno a Campo di Trens : II
 - da Campo di Trens a Bressanone : VII

Roberto Fodhenini
Germano Baglieri

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012

La gestione della circolazione lungo tutta la linea Brennero-Bolzano, che comprende la stazione di Bressanone, viene esercitata da un posto centrale DCO avente sede a Verona, tranne che per le stazioni di Brennero e Fortezza presenziate dal personale operativo di pertinenza. Il distanziamento dei treni in linea viene realizzato impiegando un impianto di sicurezza di tipo “BAB (Blocco Automatico Banalizzato)” capace di interloquire con i comandi di segnalazione a bordo macchina, attrezzata coll’apparecchiatura RSC (Ripetizione Segnali Continua). Tutta la tratta è attrezzata col Sistema di Controllo Marcia Treno (SCMT) capace di controllare la velocità dei treni lungo la linea. In tale tratta sono installati due impianti per il Rilevamento Temperature Boccole, ubicati al km 236+887 per i treni pari e al km 202+772 per i treni dispari, la cui funzione è quella di rilevare sia la temperatura delle boccole degli assili che quella degli assi frenati dei rotabili in transito. Al superamento di una soglia prefissata, per la temperatura delle boccole, o di una determinata temperatura, per gli assi frenati, vengono inviate opportune segnalazioni alle stazioni di Brennero e di Fortezza, rispettivamente, oltre che al posto centrale CEI.

Il punto di rilevamento, posto al km 202+772 per i treni dispari, genera un segnale di allarme quando vengono rilevati nelle boccole delle ruote valori di temperatura superiori a quelli delle soglie prescritte, mentre non è previsto alcun allarme per la temperatura degli assi frenati.

2.2.5 Lavori svolti nei pressi del sito dell’evento o nelle vicinanze

Al momento dell’incidente non vi erano lavori in corso nella stazione di Bressanone e nei pressi della stessa.

Roberto Folchini
Germano Baglieri

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012

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

Poiché il materiale rotabile sviato, oltre ad occupare il binario di corsa dispari (binario II di transito del treno 44213 sviato), occupava la sagoma dell'adiacente binario di corsa pari (binario III), il Coordinatore al movimento di Verona provvedeva a sospendere la circolazione ferroviaria nel tratto di linea interessato dallo svio.

Per le informazioni circa il ripristino della linea e i danni procurati si può fare riferimento a quanto riportato dall'All.18 alla presente relazione.

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

Sul posto intervenivano il personale del 118, della Polizia di Stato e dei Vigili del Fuoco.

2.3 Decessi, lesioni, danni materiali

Come detto dianzi, nell'evento si avevano danni all'infrastruttura ferroviaria, al materiale rotabile ed alla circolazione dei treni (soppressioni e ritardi), che si possono così riassumere:

- danni all'infrastruttura che hanno riguardato l'armamento e gli impianti tecnologici;
- danni ai carri : i carri sviati sono risultati complessivamente 9, mentre il decimo (non sviato) presentava il respingente anteriore lato destro rotto;
- danni al locomotore;
- soppressioni di n. 15 treni viaggiatori e n. 14 treni merci;
- ritardo dei treni.

Roberto Forchioni
Genaro Baglieri

.....
Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012

Hanno costituito ulteriori oneri:

- la rimozione del locomotore e dei carri dalla sede ferroviaria effettuata da RFI e dai Vigili del Fuoco;
- l'intervento del personale di RFI per la ricognizione ed il ripristino dell'Infrastruttura.

I costi relativi sono stati forniti da RFI, per la parte di competenza, con la nota prot. n. DTP_VR/A0011/P/2012/0002569 dell' 11/08/2012 che riporta un ammontare pari a € 1.665.000,00 (allegato n. 18) ed a RFI Cargo, per la parte di competenza, con la nota prot. n. DC/PC/GOR/10 dell' 1/09/2012 che reca un ammontare pari ad € 17.473,00 (allegato n. 19).

Il costo dei danni subiti dal materiale rotabile (locomotore e 10 carri) ammonterebbe a circa € 2.000.000,00.

2.4 Circostanze esterne

L'evento non è riconducibile a circostanze meteo.

Roberto Folchini
Gennaro Aglieri

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012

3 RESOCONTO DELL'INDAGINE

3.1 Sintesi delle testimonianze

Le dichiarazioni del personale RTC, addetto alla condotta del treno 44213, non hanno evidenziato irregolarità di sorta nella marcia del treno dal Brennero fino all'ingresso nella stazione di Bressanone. Uno dei due testimoni presenti sul luogo dell'incidente ha riferito di aver sentito un forte rumore e di aver visto il treno entrare in stazione, a velocità sostenuta, e deragliare a partire dal secondo vagone; a seguire, vedeva che il locomotore si impennava sulla banchina. Il secondo testimone ha notato che le pastiglie dei freni del primo asse avevano assunto una colorazione rossa, con emanazione di un vistoso fumo bianco, percepito anche dall'altro teste; appena superati gli scambi, quel vagone ha cominciato a sbandare portando fuori dalla sede dei binari anche la locomotiva. Anche lui ha visto impennarsi la locomotiva. Di tali prove sono stati forniti i relativi verbali che, come innanzi citato, costituiscono gli allegati dal n. 7 al n. 10 alla presente relazione. Tali testimonianze concordano sostanzialmente e, trovando conforto nelle rilevazioni effettuate nello svolgimento delle attività investigative e peritali, hanno consentito di ricostruire la dinamica dell'incidente.

3.2 Sistema di gestione della sicurezza

3.2.1 Quadro organizzativo e modalità di assegnazione ed esecuzione degli incarichi

L'assetto organizzativo di RTC (Rail Traction Company SpA) e la relativa ripartizione delle responsabilità sono riportate nel manuale del sistema

Roberto Fodherini
Gennaro Aglieri

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012

di gestione della sicurezza, un cui stralcio (Ruoli e responsabilità) costituisce l' allegato n. 20 alla presente.

Gli incarichi vengono assegnati ed eseguiti nel rispetto delle procedure impartite con disposizione n. 18 del 26/07/2001 da RFI avente per oggetto : “Disciplina delle attività che le Imprese Ferroviarie, che circolano sulla Infrastruttura Ferroviaria Nazionale, devono svolgere in caso di anomalità rilevanti o incidenti di esercizio” (allegato n. 21), col Regolamento per la circolazione dei treni (allegato n. 22), con la prescrizione di esercizio 01/2010 di RTC (allegato n. 23), con la gestione delle emergenze di cui al documento SGS02 di RTC (allegato n. 24) e, infine, con le Istruzioni per il servizio del personale di condotta delle locomotive (allegato n. 25).

RTC è un Impresa Ferroviaria che opera principalmente sulla linea del Brennero, in possesso di Licenza rilasciata con DM 51T del 23/06/2000, come risulta dall'elenco delle imprese ferroviarie titolari di licenza (allegato n. 26).

3.2.2 Modalità dei controlli e delle verifiche interne e loro risultati

L'IF RTC ha svolto un'indagine interna dalla cui relazione finale (allegato n. 27) si evince che le cause dell'incidente sono da ricondursi agli scalettamenti delle ruote dal 1° e dal 4° assile del 1° carro in ordine marcia treno.

Il gestore dell'infrastruttura RFI ha anch'esso svolto una propria indagine (allegato n. 28) che ha condotto alla medesima conclusione.

Per quanto attiene al manutentore dei carri, cioè ÖBB Technische Service, si è venuti a conoscenza che tale società ha subappaltato la funzione di esecutore della manutenzione tecnica (come previsto alla lettera d) del punto 1. dell'articolo 4 del Regolamento UE n.445 della Commissione datato 10 maggio 2011) alla ZOS Trnava attraverso la società Technical Services Slovakia, s.r.o (allegato n. 29).

Roberto Fodhanini
Germano Baffarini

.....
Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012

I risultati delle indagini effettuate su tre (la 1^a, la 3^a e la 4^a) delle sale montate del carro oggetto dello svio, eseguite presso la ditta Lucchini RS in Lovere (BG), su disposizione della magistratura inquirente, utilizzando rilievi visivi, dimensionali e prove distruttive, sono contenuti nella relazione tecnica da questa redatta (documento R13-2012 del 15/11/2012, allegato n. 30 alla presente relazione).

La fiche UIC 813 e la norma unificata EN 13260 sono le principali regole di assemblaggio del sistema ruota-assile. L'ultimo aggiornamento della EN 13260 è in vigore dal 20 gennaio 2011 e presenta soglie minime di interferenza leggermente superiori a quelle della fiche UIC 813.

Le sale montate esaminate sono state identificate tramite le piastrine fissate ai corpi boccola e riscontro della marcatura dei singoli componenti. I due lati della sala sono stati definiti "lato A" (lato dove le targhette identificative erano attaccate alla boccola) e "lato B" (lato opposto).

Per quanto riguarda le misurazioni effettuate, per ciascuna delle sedi di calettamento delle ruote sull'asse e del foro mozzo, sono state eseguite tre misurazioni ($\emptyset A$, $\emptyset B$ e $\emptyset C$ dall'esterno verso l'interno), in tre differenti posizioni angolari ruotate di 120° l'una dall'altra.

Dalla lettura dell'appendice B della stessa relazione di Lucchini (allegato n. 31), recante le conclusioni finali, risulta che i valori di interferenza dichiarati per la ruota identificata come "sala A" recante il numero di matricola 331850, sono inferiori rispetto ai valori minimi previsti sia dalla norma UIC 813 che dalla norma EN 13260.

Di seguito si riportano i valori relativi alle interferenze misurate in Lucchini e dichiarate da ZOS relative alle sale montate in oggetto (sala A – I sala del I carro s.m.t. e sala B – IV sala del I carro s.m.t.) (figg. 3 e 4).

Roberto Folchini
Gennaro Bagliani

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012

Sala monta	Ruota	Assile	Posizione	Valore [mm] rilevati	Valore ¹ [mm] da certificati
Sala montata A 331850	Ruota lato A ZB K18343 R7T 09 99 CD v6	OBB VRS A 331850 ZB/11 29092/043 EA1N (10J12)	∅ A	0,086	0,16
			∅ B	0,166	
			∅ C	0,115	
	Ruota lato B ZB K18343 R7T 09 99 CD v6		∅ A	0,189	0,16
			∅ B	0,179	
			∅ C	0,077	
EN13260 par.3.1.2		Valore minimo di confronto		0,185	
UIC 813		Valore minimo di confronto		0,167	

Tabella XVI: calcolo interferenza sala montata A (331850).

Figura 3

Conforme alla EN13260 e alla UIC 813
Conforme alla UIC 813 e non conforme alla EN13260
Non conforme alla EN13260 e alla UIC 813

Sala monta	Ruota	Assile	Posizione	Valore [mm] rilevati	Valore ¹ [mm] Da certificati
Sala montata B 325584	Ruota lato A 32148 RAFIL 0105 03 05 R7T 004 (DI A1)	A OBB VRR 16365/59 EA1N BTBED	∅ A	0,223	0,18
			∅ B	0,243	
			∅ C	0,190	
	Ruota lato B 31154 RAFIL 0114 03 05 R7T 004		∅ A	-1,203	0,18
			∅ B	-0,035	
			∅ C	-0,759	
EN13260 par.3.1.2		Valore minimo di confronto		0,200	
UIC 813		Valore minimo di confronto		0,180	

Tabella XVII: calcolo interferenza sala montata B (325584).

Figura 4

Roberto Folchini
Gennaro Bagliani

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012

A seguito dei controlli dimensionali effettuati in Lucchini è risultato inoltre che la ruota “lato B” della medesima sala montata 331850 (vedere pag. 30 dell’allegato 30), pur presentando un valore di interferenza in posizione ØA che rispettava la norma EN 13260, ha comunque subito lo scalettamento; da ciò scaturisce, da parte della scrivente Commissione, la richiesta di aumentare, a livello normativo, il livello minimo di interferenza per il calettamento a freddo, rendendolo migliorativo anche rispetto alla norma EN 13260, al fine di garantire un maggior livello di sicurezza.

Per quanto riguarda la sala identificata con il numero di matricola 325584, i controlli dimensionali effettuati presso Lucchini sulla ruota scalettata (“lato B”) hanno rilevato valori di interferenza non conformi ad entrambe le regole di assemblaggio; in ogni caso i valori di interferenza certificati da ZOS per tale sala erano al limite inferiore della norma UIC 813.

Si anticipa che, come si vedrà meglio nel seguito, i controlli dimensionali sono relativi a componenti che hanno subito caletto e/o scaletto (accidentale o sperimentale) e che quindi tale circostanza può condizionare la significatività di tali valori.

Dopo i controlli esperiti presso Lucchini RS, sono stati effettuati due incontri con ÖBB Technische Service e con Technische Service Slovakia a Vienna nelle giornate del 4 e 5 dicembre 2012, e con ÖBB Technische Service e ZOS Trnava a Bratislava e a Trnava nelle giornate del 20 e 21 giugno 2013, per acquisire informazioni circa le cause che abbiano potuto condurre alla realizzazione di un assemblaggio non conforme e tale da produrre l’evento.

(La successiva figura 6 riporta le connessioni presenti tra le società implicate nello svio del treno a partire dal trazionista fino all’ esecutore dei processi di manutenzione).

Erano pure presenti i rappresentanti dei NIB (National Investigation Body), austriaco nel 1° incontro, e slovacco nel 2°.

Roberto Feltrin
Gennaro Anfieri

Nel corso del 1° incontro, è scaturito che l'elemento lubrificante impiegato da ZOS Trnava per facilitare il calettamento ed impedire danneggiamenti agli assili è la Loctite 232 T, il cui uso era richiesto da ÖBB Technische Service, come risulta dalle istruzioni per la manutenzione ed il montaggio delle sale montate fornite dalla stessa azienda ai propri operatori esterni, riportate nel documento che costituisce l'allegato n. 3. Dalla scheda tecnica della Loctite 232 T (allegato n. 32) si evince che tale prodotto è un acrilico, monocomponente, da impiegarsi come lubrificante-collante dei due elementi ruota-assile la cui proprietà non è solo quella di agevolarne l'assemblaggio, ma anche e soprattutto il disassemblaggio. Ancora, dalla scheda tecnica si rileva che per lo smontaggio, si deve preventivamente riscaldare la sala alla temperatura di 250°. Si deve inoltre porre in rilievo il fatto, rilevato durante il sopralluogo effettuato presso lo stabilimento della ZOS Trnava, che per le sale montate calettate utilizzando la Loctite 232 T, i valori minimi della pressione di scalettamento (pressione di primo distacco) erano dell'ordine dei 10 MPa, mentre per le sale che erano state montate utilizzando il Molycote (Solfuro di Molibdeno), le cui caratteristiche sono riportate nell'allegato n. 32-bis, i valori minimi della pressione (pressione di primo distacco) erano più elevati e dell'ordine dei 17 MPa.

La norma UIC 813 nel prevedere l'impiego di diversi lubrificanti (sego, olio vegetale, solfuro di molibdeno), stabilisce che il tipo di lubrificante da utilizzare viene fissato dal cliente. Nulla riferisce al riguardo la EN 13260.

Nel corso del primo incontro a Vienna è emerso che ÖBB Technische Service effettuava, quale unico controllo di qualità dell'attività di assemblaggio delle ruote sugli assili, la verifica dei diagrammi di Forza/Tempo registrati al momento dei calettamenti. Tali diagrammi venivano forniti dalla ZOS a ÖBB Technische Service quale unica documentazione comprovante il lavoro fatto. Di conseguenza, non veniva eseguita nessuna verifica sul valore dell'interferenza, nonostante le previsioni delle norme UIC 813 e EN 13260.

Roberto Folchini
Gennaro Aglieri

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012

Tale mancanza trova un suo riscontro nel documento “Ausgabe 3”, già visto quale allegato n. 3, redatto in data 9/07/2010 da ÖBB Technische Service, avente per oggetto “Regole di lavorazione per le sale montate dei carri merci ÖBB – per lavoratori esterni”; nella parte recante le modalità di realizzazione del calettamento tra ruote ed assili, non si trova alcuna indicazione circa la necessità di rilevare i valori dell’ interferenza, mentre vengono ampiamente descritti gli andamenti dei diagrammi di calettamento da verificare.

Inoltre, a seguito degli incontri effettuati con ZOS Trnava e come dichiarato dal personale stesso, è emerso che ZOS Trnava utilizzando la LOCTITE 232 era implicitamente vincolata dalle condizioni contrattuali di utilizzo di tale materiale a calettare le ruote con valori di interferenza molto bassi, prossimi ai limiti inferiori previsti dalle norme UIC 813 e EN 13260. Questo perché, provando a calettare con valori di interferenza maggiori, l’andamento del diagramma di caletto non risultava conforme alla norma. Questo “modus operandi” che ha portato a calettare migliaia di sale montate con valori di interferenza molto bassa, a valori prossimi ai limiti inferiori previsti dalle norme UIC 813 e EN 13260, è stato sostanzialmente imposto, come detto, da ÖBB TS/TS Slovakia ; a termini di contratto, ZOS Trnava utilizzava quale lubrificante per i calettamenti la LOCTITE 232 (nell’ allegato 60 sono riportati alcuni esempi di diagrammi di caletto con la LOCTITE 232 effettuati in ZOS). Invero, dal documento “Arbeitsregelwerk Ausgabe 3” risulta che le stesse disposizioni sono state fornite da ÖBB anche ad altre società alle quali ha subappaltato la funzione di esecutore della manutenzione tecnica.

Sembra a questa Commissione, che operare un assemblaggio col solo riferimento ai diagrammi di caletto, accoppiando le parti con interferenze molto basse, ancorché prossime ai valori inferiori delle previsioni normative, possa generare una incombente condizione di replica dei fenomeni di scalettamento, in quanto non si è fatto buon uso della possibilità di arrivare a forti stati di coazione

Roberto Focherini
Gennaro Anfieri

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012

reciproca tra le parti assemblate, che solo una maggiore interferenza potrebbe assicurare.

Di seguito (figura 5) si riportano due diagrammi della fiche UIC 813 recanti posizioni e classi di tolleranze delle quali il progettista deve tener conto affinché vengano rispettati i limiti per l'interferenza minima ($J_{min}=0,0009*D$) e per quella massima ($J_{max}=0,0015*D+0,06$) atti a garantire l'accoppiamento in funzione del diametro nominale dell'accoppiamento stesso(D).

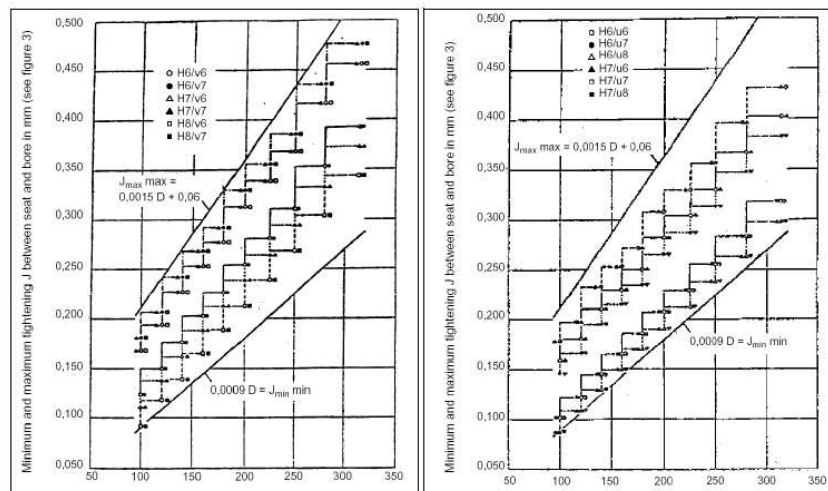


Figura 5

UIC 813-Selezione di tolleranze foro base per assile con posizione di tolleranza "V" (a sinistra) e "U" (a destra). Quest'ultima fornisce deviazioni minori, ma obbliga a lavorazioni più accurate del mozzo-ruota.

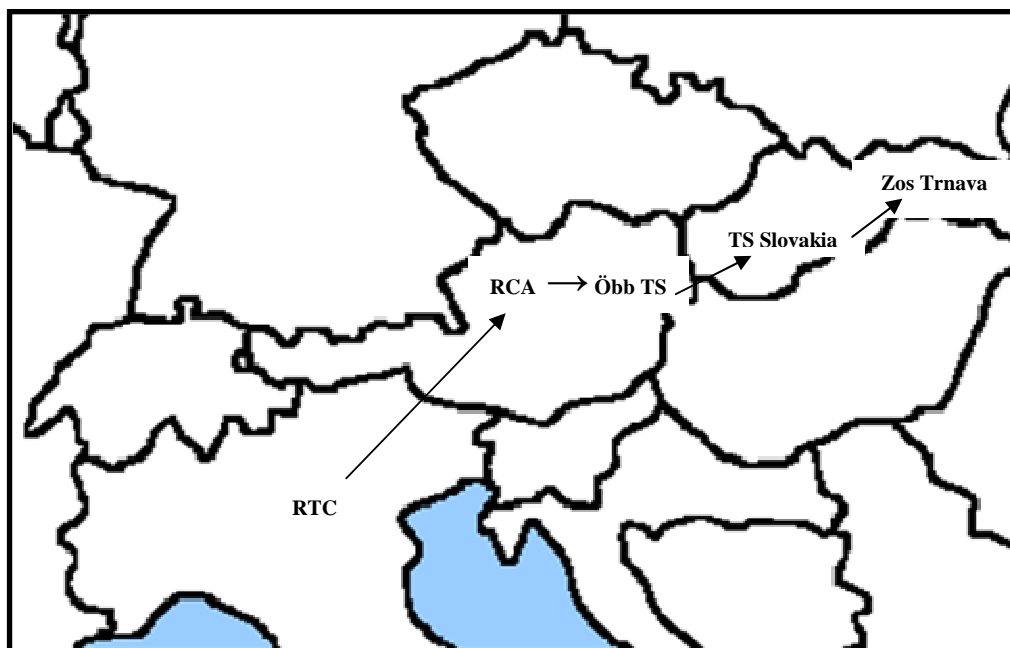


Figura 6

Roberto Focherini
Gennaro Baffanini

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012

3.3 Norme e regolamenti

3.3.1 Norme pertinenti e regolamenti comunitari e nazionali

Nel caso in questione trovano applicazione:

- ❖ D. Lgs. 10/08/2007, n. 162, avente per oggetto “Attuazione delle direttive 2004/49/CE e 2004/51/CE relative alla sicurezza ed allo sviluppo delle ferrovie comunitarie”
- ❖ Regolamento UE n. 445/2011 del 10/05/2011
- ❖ Fiche Code UIC 811-2 recante “Specification technique pour la fourniture d’essieux-axes pour matériels roulants moteur et remorque – Tollerances”
- ❖ Fiche Code UIC 812-2 recante “Roues monoblocs pour materiel roulant moteur et remorque – Tolerances”
- ❖ Fiche Code UIC 813 recante “Specification technique pour la fourniture d’essieux montes des matériels roulants moteur et remorque – Tollerances et montage”
- ❖ EN 13260 recante “Applicazioni ferroviarie – Sale montate e carrelli – Sale montate – Requisiti del prodotto”
- ❖ EN 13261 recante “Applicazioni ferroviarie – Sale montate e carrelli – Assi – Requisiti del prodotto”
- ❖ EN 13262 recante “Applicazioni ferroviarie – Sale montate e carrelli – Ruote – Requisiti del prodotto”

3.3.2 Altre norme quali norme di esercizio, istruzioni locali

Quali norme di esercizio valgono :

- il Regolamento per la circolazione treni di RTC (all. n. 22)
- le Istruzioni per il personale di condotta delle locomotive delle Ferrovie dello Stato (all. n. 25)
- le norme per la verifica tecnica dei veicoli di RFI (all. n. 34)
- le Istruzioni fornite coi fascicoli di linea della linea Brennero-Bolzano (all. n. 35).

Roberto Focherini
Gennaro Baglini

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012

3.4 Funzionamento del materiale rotabile e degli impianti tecnici

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

Nessuna anomalia è stata rilevata nel funzionamento di tutti i sistemi di segnalamento e comando-controllo, compresa la registrazione da parte degli apparecchi automatici di registrazione.

3.4.2 Infrastruttura

In allegato si riportano i verbali delle ultime visite periodiche all'Infrastruttura effettuate a piedi (il 25/08/2011 – allegato n. 36), in carrello (il 7/03/2012 – allegato n. 37) e in cabina (il 26/10/2011 – allegato n. 38), recanti gli esiti positivi delle ispezioni. Inoltre, il Responsabile del Cantiere meccanizzato di Bolzano di RFI, su incarico del Direttore DTP di Verona, successivamente all'evento, ma sempre nella stessa data del 6/06/2012, ha effettuato il rilievo del binario con mezzo di diagnostica mobile (rincalzatrice munita di apposito dispositivo per la registrazione dei parametri caratteristici del binario) nel tratto di binario compreso tra la progressiva km 188+806 (punta deviatoio 1a lato nord del binario dispari di accesso a Bressanone) e la progressiva km 190+400 (tratto di binario che comprendeva anche quello di inizio dello svio). I tracciati del grafico hanno evidenziato valori dei parametri del binario compresi all'interno delle tolleranze ammesse dalla norma di riferimento; l'esito di tale accertamento è stato quello che la tratta di binario sottoposta a verifica era “...omissis...perfettamente efficiente e atta alla circolazione dei treni in sicurezza...omissis...” (allegato n. 39).

Roberto Forchioni
Gennaro Agliardi

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012

3.4.3 Apparecchiature di comunicazione

Prima o dopo l'incidente non è stata utilizzata alcuna apparecchiatura di comunicazione.

3.4.4 Materiale rotabile, compresa la registrazione da parte di Apparecchi automatici di registrazione dati

Il documento di Rail Cargo Austria, recante la dicitura "Unterlagen zum vortail Brixen" (allegato n. 40), riporta gli interventi manutentivi eseguiti su tutti i carri rimorchiati componenti il treno 44213 fino al momento dell'incidente.

L'esame della tabella fornita dal dispositivo RTB, recante i rilevamenti della temperatura delle boccole e degli assi frenati (allegato n. 41), mostra come per i carri 1°, 4° e 5° le temperature dei freni siano piuttosto elevate se raffrontate con quelle di tutti gli altri assili; non solo, ma per tali carri la temperatura sui ceppi dei freni di sinistra è discretamente più elevata rispetto a quella dei ceppi freni di destra (come verrà analizzato in successivi paragrafi). Comunque, al passaggio del treno 44213 (individuato con n. 233041 dall'apparato RTB) intervenuto il giorno 6/06/2012 alle ore 11.44 circa, il dispositivo RTB non ha generato segnali di allarme, dato che i valori di temperatura rilevati erano al di sotto delle soglie prescritte (allegato n. 42 – nota di RFI del 19/09/2012 recante la modalità di lettura dei dati forniti dall'impianto di Rilevamento Temperatura Boccole e l'esito al passaggio del treno 44213 del giorno 6/06/2012). Anche le foto scattate sui ceppi frenanti non hanno mostrato irregolarità di sorta, nulla come conseguenza del fumo rilevato dai testi che hanno assistito allo svio.

Dalla lettura delle zone tachigrafiche (allegato n. 43) scaricate dalla memoria esterna dell'apparecchio di registrazione degli eventi TELOC mod. 2500 marca Hasler Rail inserito nella locomotiva Bombardier EU43-001 interessata dallo

Roberto Folchini
Gennaro Baglieri

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012

svio, si evince che le velocità assunte dal treno 44213 nelle diverse tratte e sino a Bressanone sono risultate inferiori a quelle ammesse in quelle tratte della linea dal Brennero, tranne in un punto dove si è rilevata, nei limiti di incertezza di misura del Teloc, una velocità che superava quella ammessa per 3 km/h circa (fig.88).

3.5 Documentazione del sistema operativo

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

Quelli già riportati nel punto 2.2.6.

3.5.2 Provvedimenti adottati a tutela e salvaguardia del sito dell'evento

Tecnici della Trazione elettrica hanno disalimentato la linea di contatto, che si era abbassata in conseguenza dell'abbattimento di alcuni pali di sostegno.

3.6 Interfaccia uomo – macchina – organizzazione

3.6.1 Tempo lavorativo del personale coinvolto.

Quello risultante dalle note recanti i danni subiti da RFI e da RFI Cargo di cui agli allegati 18 e 19, rispettivamente.

Roberto Folchini
Gennaro Bagliani

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012

3.7 Eventi precedenti dello stesso tipo

Si è a conoscenza di un altro analogo incidente avvenuto presso la stazione di Bressanone il 22/02/2001. In tale circostanza, un carro tipo ROS immatricolato da ÖBB con la mat. n. 31813925149-6 in composizione al treno 44821, sviava a causa dello scalettamento dei quattro corpi ruota dagli assi 3 e 4 del carrello posteriore lato marcia. A seguito di tale evento, il G.I. provvedeva ad emanare in data 23/02/2001 un provvedimento di restrizione alla circolazione dei carri ROS immatricolati ÖBB.

L'allegato n. 44 al presente elaborato reca la relazione d'inchiesta di RFI (prot. DI/TC.CS.NS-verif./VR.29-00/2001 del 20/03/2001), la descrizione della dinamica dello svio dell'1/03/2001 prot. DC/NE.SVR.RM.BZ.151/2001, la relazione tecnica relativa allo stesso redatta da Trenitalia Cargo il 12/03/2001 prot. DC/NE.SVR/RP.relazione 1, nonché n. 5 comunicazioni di RFI con le quali si:

1. Richiede la restrizione di traffico per i carri serie ROS immatricolati ÖBB, con nota prot. DI/TC.CS.NS-verif.211/2001 del 22/02/2001.
2. Comunica l'interdizione alla circolazione, per i carri tipo ROS della serie 3181 392 5, sulla rete FS, con nota prot. DI/TC.CS.NS-verif.212/2001 del 22/02/2001.
3. Richiede di modificare la restrizione di cui al prot. 211 innanzi riportata, con nota prot. DI/TC.CS.NS-verif.396/2001 del 10/04/2001.
4. Comunicano le condizioni per pervenire ad una modifica della restrizione di cui al prot. 211 innanzi riportata, con nota prot. DI/TC.CS.NS-verif.397/2001 del 10/04/2001.
5. Annullano le restrizioni ammesse in precedenza, con nota RFI/TC.CS.NS-Sie 189/2002 dell'8/02/2002.

Roberto Forhenzi
Gennaro Agliari

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012

4 ANALISI E CONCLUSIONI

4.1 Resoconto finale della catena di eventi

4.1.1 Conclusioni sull'evento

Alle ore 11,57 del 6 giugno 2012 il treno merci dell'IF Rail Traction Company Spa (RTC), proveniente da Brennero e diretto a Brescia Scalo, avente in composizione ventuno carri trasportanti rottami di ferro, entrava nella stazione di Bressanone sul binario di corretto percorso e sviava a causa dello scalettamento degli assili 1° (con due ruote) e 4° (con una ruota) dei 2 carrelli del primo carro.

4.2 Discussione

4.2.1 Analisi dei fatti rilevati per determinare le cause dell'evento

Al fine di determinare le cause dello svio, si riporta di seguito un'analisi critica dei fatti rilevati effettuata sulla base del precedente resoconto finale della catena degli eventi, degli esiti dei rilievi effettuati durante i sopralluoghi, dell'analisi della documentazione raccolta e della normativa ferroviaria vigente.

La dinamica dello svio, per quanto si è potuto ricostruire, è stata la seguente: lo scalettamento delle ruote dagli assili ha provocato un restringimento della distanza tra le ruote delle due sale interessate, la 1^a (scalettata con entrambe le ruote) e la 4^a (scalettata con una sola ruota), ordinate tenendo conto del senso marcia.

Roberto Fodda
Gennaro Aglieri

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012

In sede di sopralluogo si è verificato che le ruote di uno dei due assili (il 4° del 1° carro), avevano assunto una colorazione ciano, indice che erano state raggiunte temperature di circa 330 °C. L'esame visivo dei ceppi dei freni non ha mostrato la presenza di alcuna irregolarità.

All'atto dello svio, il primo carro s.m.t. era caratterizzato dalla presenza delle seguenti sale (in ordine s.m.t.), così come risultanti dalla documentazione dell'ANSF(allegato n. 15):

- 1^a : 331850 carico per asse pari a 20,0 t montata da ZOS a Trnava (Slovacchia)
- 2^a : 161788 carico per asse pari a 22,5 t montata Knittelfeld (Austria)
- 3^a : 121553 carico per asse pari a 22,5 t montata a Ptuj (Slovenia)
- 4^a : 325584 carico per asse pari a 22,5 t montata da ZOS a Trnava (Slovacchia).

Di tutte queste sale è stata fornita la documentazione che si allega, recante i dati di calettamento degli assili alle ruote (allegato n. 46).

Si nota come entrambe la sale scalettate (la 1^a e la 4^a) siano state montate presso la stessa officina ZOS di Trnava (Slovacchia).

All'atto del sopralluogo del 14/06/2012 si è proceduto alla identificazione della 1^a e della 4^a sala del 1° carro.

4.2.2 Analisi sull'infrastruttura

Per quello che concerne l'infrastruttura, i primi segni indicatori di uno scalettamento (e quindi dell'inizio di un fenomeno progressivo) sono stati notati già in corrispondenza della precedente Stazione di Fortezza, dove sono stati rilevati segni di urto, sfregamento ed abrasione della ruota in corrispondenza dei lati destri dei deviatori individuati come 21a e 25a (vedasi figg. 12 e 13 e piano schematico della stazione di Fortezza – allegato n. 45).

Il punto iniziale dello svio si individua alla chilometrica 189+099, in prossimità dei portali di stazione di Bressanone, sul binario di marcia del treno; in tale punto sono stati rilevati dei segni, procurati all'infrastruttura, da una delle ruote

Roberto Focherini
Gennaro Bagliarini

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012

del 1° carro a causa dello scalettamento e conseguente riduzione della distanza interna tra le ruote di una delle sale; tale ruota è scesa dalla rotaia procurando danni al dispositivo (tipo Pandrol) di fissaggio della rotaia stessa alle traverse. Procedendo nel senso di marcia del treno, alla distanza di circa sei metri dal primo punto di svio, sono stati rilevati dei segni di sormonto lasciati da una ruota sulla rotaia sinistra, il cui bordino ha percorso circa 150 metri. (Nel seguito vengono riportate le foto n. 7, 8, 9 e 10 scattate da RFI, caratterizzanti le due situazioni citate).



Figura 7

Punto di rilevazione primi segni (Foto RFI)



Figura 8

Rilevazione primi segni – particolare Pandrol(Foto RFI)



Figura 9

Punto di sormonto ruota sinistra – (Foto RFI)



Figura 10

Punto di sormonto – particolare-(Foto RFI)

Roberto Feltrin
Gennaro Bagliarini

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012

In base a quanto sopra descritto, il treno, percorrendo in discesa la curva destrorsa d'immissione alla stazione di Bressanone e immettendosi sul binario di corretto tracciato, ha subito la caduta lato interno della ruota destra del quarto asse del primo carro e, nel contempo, la ruota sinistra del quarto asse ha percorso la rotaia con il bordino sulla testa del fungo del binario, per poi ricadere esternamente alla chilometrica 188+850 circa.

Dopo la chilometrica 188+850, quindi, si ritiene che mentre il primo asse abbia proceduto con la ruota SX scalettata all'interno del binario, il quarto asse lo abbia fatto con la ruota DX scalettata all'interno del binario e con la ruota SX non scalettata, che sormontava la rotaia e lasciava dei segni all'esterno del binario. Alla chilometrica 188+806, a 293 metri dal punto di svio, il treno ha incontrato il primo deviatoio dispari (1a del piano schematico di stazione).

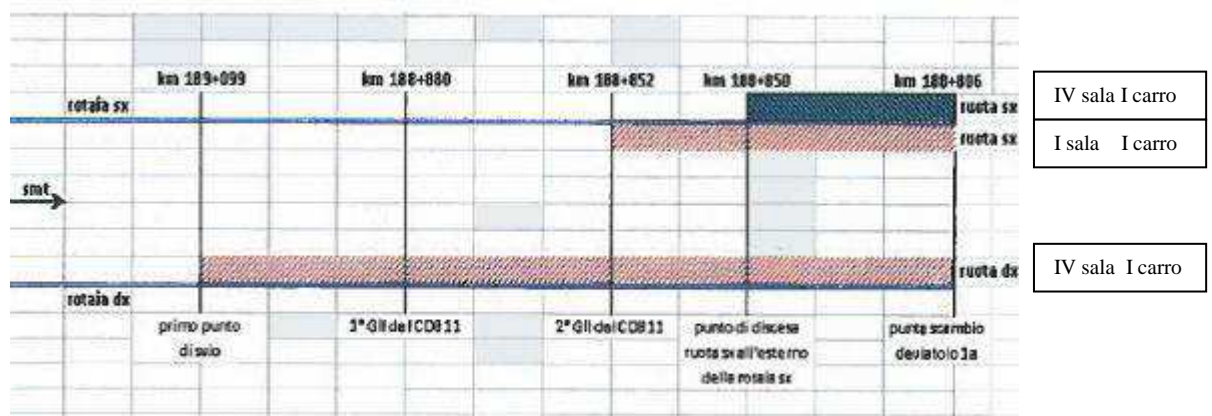


Figura 11

In figura 11 è riportata la rappresentazione schematica dei segni delle ruote rilevati dal primo punto di svio fino al deviatoio 1a della stazione di Bressanone.

Il treno ha quindi raggiunto il deviatoio 7b che, a causa della sua conformazione (scambio inglese), ha prodotto l'uscita del primo carro dalla sede ferroviaria.

Roberto Forchioni
Gennaro Bagliani



Figura 12
Fortezza segni deviatoio 25a (Foto RFI)



Figura 13
Fortezza segni deviatoio 21a (Foto RFI)

Si ritiene, in conclusione, che in un primo tempo la ruota destra del quarto asse sia rimasta sollevata (sostenuta dalle altre ruote del medesimo carrello), seppure muovendosi all'interno delle due rotaie di corsa e perciò internamente alla posizione normale, ed abbia toccato alcuni sistemi di ritenuta. Successivamente, la stessa ruota avrebbe proseguito sulle traverse (i segni sono chiaramente evidenti sulle traverse in c.a.p. e sugli scambi sequestrati, figg. 14 e 15). Si notano anche altri segni di ruote diverse, sicuramente quella di sinistra del primo asse e presumibilmente anche quella di sinistra del quarto asse (non scalettata).



Figura 14
Segni di rotolamento delle ruote sulle traverse sequestrate (Foto RFI)



Figura 15
Segni di rotolamento (bruciatura) sui deviatoi (Foto RFI)

Dopo il deviatoio 5a si rilevano vari segni di svio; a questo punto probabilmente, anche la ruota DX del primo asse del I carro sarebbe sviata (figg. 16 e 17).

Roberto Federmani
Gennaro Bagliarini

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012

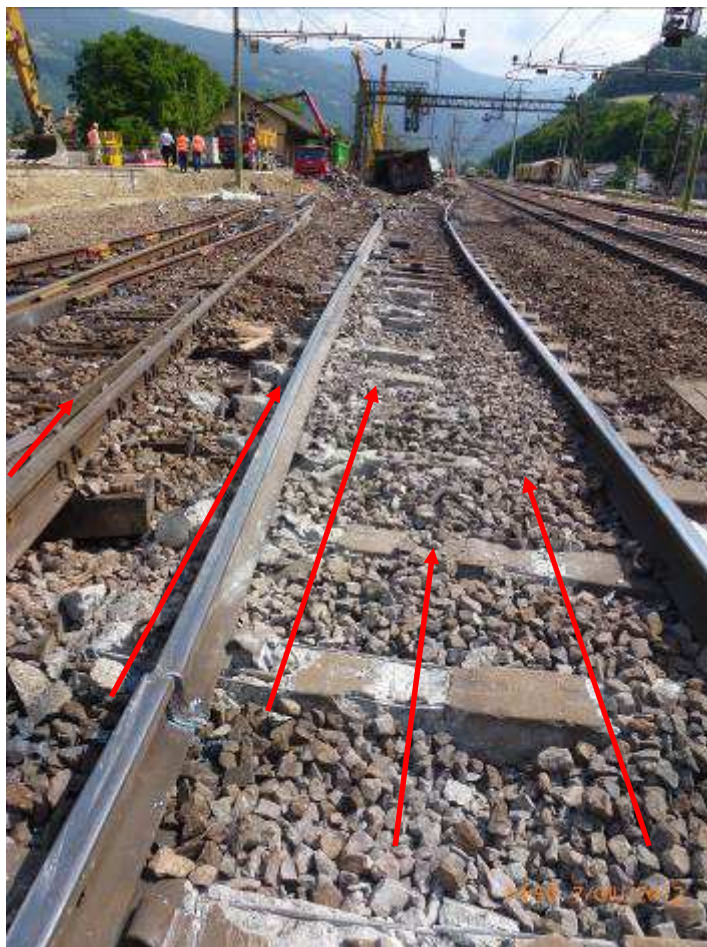


Figura 16

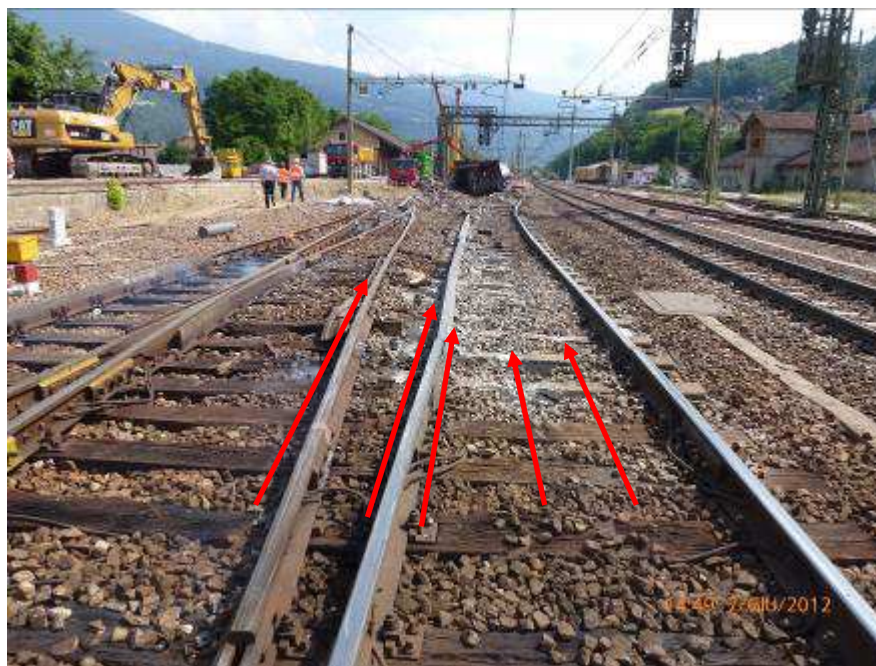


Figura 17

Roberto Focherini
Gennaro Bagliarini

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012

Per ultimo, si è ritenuto di verificare se l'infrastruttura sarebbe stata in grado, tra Brennero e Fortezza, di generare le sollecitazioni centripete di entità sufficiente a produrre lo scalettamento di circa 2,5 cm della ruota DX del 4° carro (fig. 18), come risulta dai segni rilevati a Fortezza e dalla relazione di RFI (all. 28). Tali sollecitazioni potrebbero generarsi su delle curve a SX che, come si vede dalla figura 19, sono presenti in detta tratta, si aggiunge inoltre che, poco prima di Fortezza, e cioè tra le località Le Cave e Mezzaselva (fig. 20), la linea presenta in un tratto di circa 2 km cinque curve alternate SX-DX-SX-DX-SX e che, tra la seconda(DX) e la terza(SX), e tra la quarta(DX) e la quinta(SX) di esse corre una distanza di circa 200m, rispettivamente. Considerando che il treno era lungo (all.4) 344m+20m del locomotore, questo significa che consecutivamente, mentre la testa del treno impegnava una curva SX la coda stava ancora impegnando una curva DX, producendo così sollecitazioni aggiuntive al treno stesso; è possibile che si possa essere generato, in tali condizioni, per due volte consecutivamente, un "effetto frusta". Da notare che i segni paralleli presenti nella zona di caletto sull'assile IV ruota DX (sala B lato B) iniziano subito dopo quei circa 2,5 cm che sono stati rilevati a Fortezza. Riducendosi la superficie tra il mozzo della ruota e l'assile, lo sforzo tangenziale necessario a spostare ulteriormente la ruota verso l'interno diminuisce e lo scalettamento diviene inarrestabile.

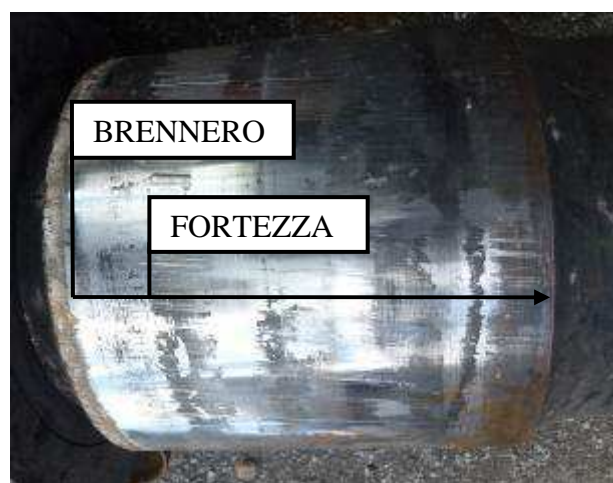


Figura 18- sala B lato B (IV sala lato DX)

Roberto Forchioni
Gennaro Baglini

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012

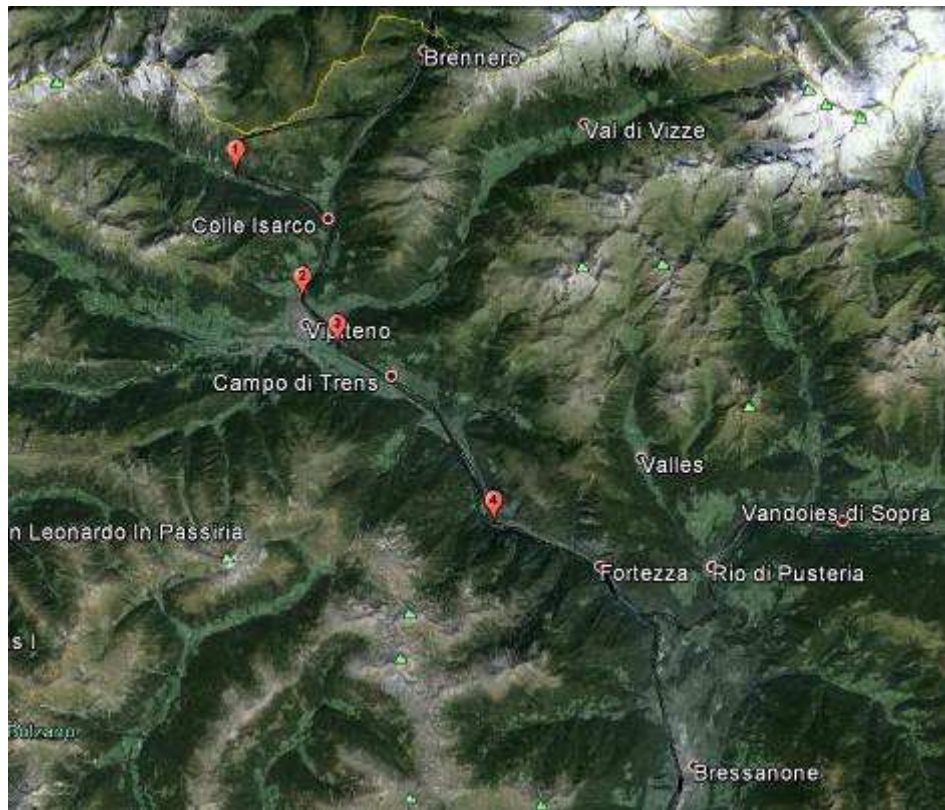


Figura 19 – tratta Brennero-Bressanone



Figura 20 – tratta Le Cave-Mezzaselva

Roberto Folchini
 Giovanni Agliari

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012

Allo stato di quiete, il treno si presentava (vedasi foto n. 1 e 2 precedenti) con la locomotiva sviata e intraversata e col carrello anteriore appoggiato sul marciapiede della banchina posta tra i binari 2 e 3. Alla locomotiva era agganciato il primo carro che si presentava, sviato, inclinato, privo delle 2 ruote del secondo carrello. Il terzo carro si trovava a circa 10,5 m. dal secondo, sviato e parzialmente inclinato. Sono risultati sviati complessivamente nove carri, il sesto dei quali si è intraversato e ha perso il carico, mentre l'ottavo ha tamponato il settimo infilandosi per circa 3,5 metri nella cassa dello stesso. Il decimo carro, il primo rimasto in linea di marcia, presentava il respingente anteriore lato destro rotto. I carri sono stati recuperati previo svuotamento del carico, con l'eccezione del primo e del secondo, senso marcia treno (s.m.t.), che sono stati sollevati con carico intatto, come risulta dai verbali delle operazioni peritali del 17 e 18 ottobre 2012.

Alle 11.56 del giorno 06/06/2012, il Personale RFI in servizio presso la sala operativa del COER di Verona, d'intesa col coordinatore CEI, diramava i provvedimenti necessari per attuare, così come previsto dalle vigenti disposizioni :

- l'interruzione immediata della circolazione su entrambi i binari di corsa della linea;
- l'intervento del 118 e dei VV.F.;
- l'intervento del personale RFI addetto alla manutenzione.
- l'intervento della Polfer di Bressanone, per i rilievi di propria competenza.

A seguito dello svio, così come risulta dalla Relazione d'inchiesta svolta da RFI, risultavano danneggiati:

- m. 400 circa di binario dispari (II di stazione) compresi i deviatoi 1°, 5°/7b;
- m. 200 circa del binario I di stazione, compreso il deviatoio 7°;
- m. 20 circa di binario pari (III di stazione);
- m. 100 circa di cordolo di marciapiede ubicato tra il II ed il III binario di Stazione;
- la linea aerea di contatto TE sovrastante la zona dello svio.

Roberto Folchini
Gennaro Agliari

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012

In conseguenza di tali danni, eseguite le verifiche del caso da parte del personale RFI, ottenuto il Nulla Osta da parte dei VV.F. e dalla Polfer, alle ore 14.10 veniva ripresa la circolazione ferroviaria nella tratta Fortezza-Ponte Gardena con circolazione su un solo binario, il IV della stazione di Bressanone. Nel frattempo venivano eseguiti gli interventi di riparazione atti a consentire il ripristino della linea aerea di contatto TE nella parte di stazione non interessata dallo svio del treno. Intervenuto il ripristino di questi impianti, alle ore 17.50 veniva riattivato il binario dispari nella tratta Bressanone – Ponte Gardena.

Gli interventi successivi effettuati da parte del personale ferroviario e non, appaiono corretti e rispondenti alla normativa tecnica di esercizio

Roberto Forchioni
Gennaro Agliari

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012

4.2.3 Analisi sul materiale rotabile

Poiché la IV sala del I carro è stata trovata staccata dal carro e non è stato dichiarato con certezza quali fossero i lati SX e DX di questa sala, nel seguito si farà riferimento, alla identificazione delle ruote come è avvenuta presso Lucchini, cioè tenendo conto della targhetta identificativa presente sulla sala (lato A).

Per ciò che concerne i segni rilevati sugli assili nella zona di caletto e sulle ruote si rileva quanto segue:

- SALA B LATO A (IV assile - ruota SX s.m.t.) : questa ruota non è scalettata; i valori dell'interferenza misurati in Lucchini relativi a questo accoppiamento ruota-assile sono risultati compresi tra 0,19mm e 0,24mm. Osservando attentamente le incisioni presenti sulla superficie di questa sala (fig.21) si nota che esse presentano le seguenti particolarità:
 - molte di esse sono sostanzialmente parallele
 - la maggior parte di queste incisioni parallele sono riscontrabili in un'area ben definita della ruota e dunque non uniformemente distribuite su questa.



Figura 21– sala B lato A – (segni sulla ruota SX del IV assile)

Roberto Folchini
Gennaro Aglieri

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012

Il fatto che dette incisioni siano sostanzialmente parallele è indice che l'assile si presentava inclinato rispetto al s.m.t. . In conseguenza si sarebbe potuto realizzare uno dei due seguenti eventi: se avesse scalettato la ruota DX, il carrello avrebbe subito una rotazione in senso orario (visto dall'alto), ovvero se avesse scalettato la ruota SX, il carrello avrebbe subito una rotazione in senso anti orario (visto dall'alto). Dalle incisioni rilevate sulla ruota lato A del IV assile si evince che tale ruota era una ruota SX e conseguentemente la ruota lato B del IV assile era una ruota DX. Si cercherà di giustificare brevemente tale affermazione tramite un'analisi direzionale dell'impatto tra gli elementi dell'infrastruttura e le due ruote del IV assile del I carro; le incisioni che si andranno a ricercare sulle ruote hanno la particolarità di presentare la stessa direzione del s.m.t. .

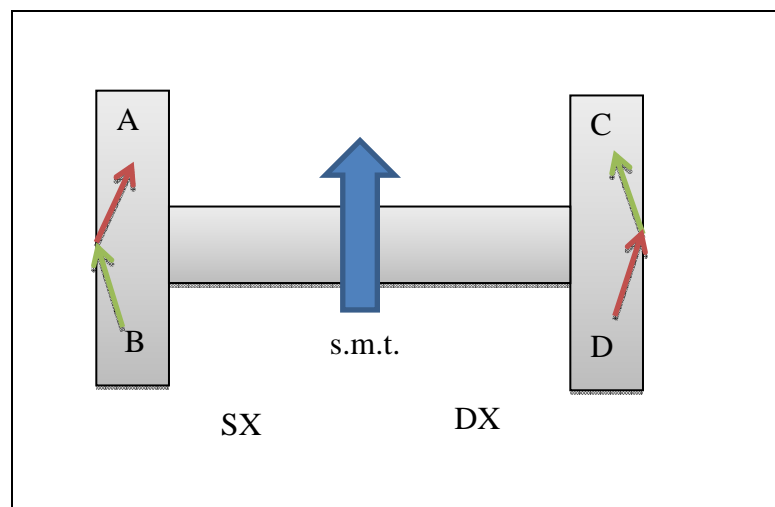


Figura 22

Come mostrato nella precedente figura 22 (vista dall'alto della sala montata), si possono distinguere quattro tipologie di incisioni longitudinali, indicate con le lettere dell'alfabeto: A, B, C, D; considerato il vincolo

Roberto Folchini
Gennaro Aglieri

esistente tra le ruote, costituito dall'assile, le incisioni possono ricondursi a solo due coppie (A,D) e (B,C). Come mostrato nelle figure 23 e 24, ove si è tenuto conto dello scalettamento di una delle due ruote, si prospettano due possibilità secondo cui possa essersi verificato l'evento; in tali figure le frecce in nero rappresentano sempre le frecce colorate, ma con una rotazione dell'assile di 180°, parallele alla direzione di marcia del treno e posizionate nella zona di contatto.

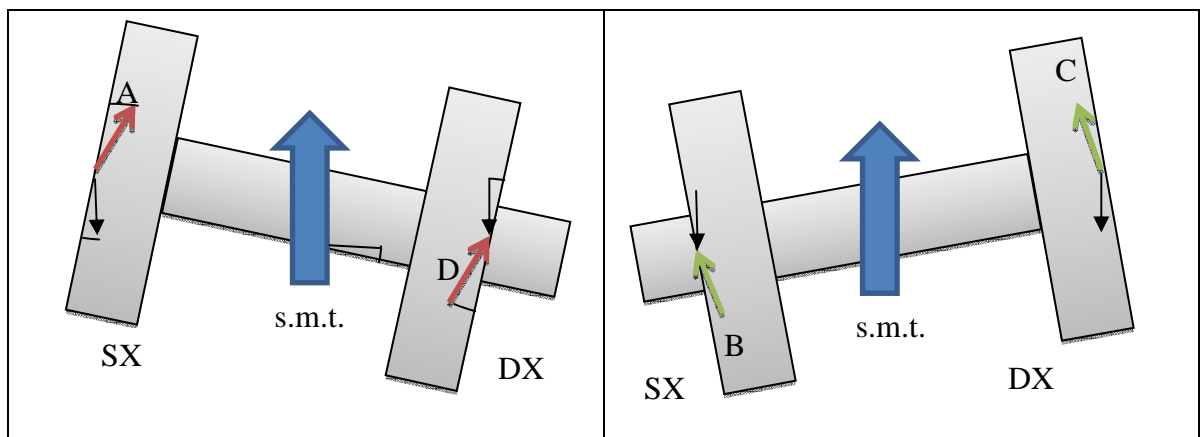


Figura 24

Figura 23

Come si può notare, l'angolo generato tra le incisioni e il piano della ruota è pari all'angolo di rotazione della ruota rispetto alla direzione del s.m.t. .

Come si rileva dalla figura 21, la ruota non scalettata (sala B lato A – del IV assile) mostra incisioni identificabili come quelle di tipo A e non presenta incisioni di tipo C, mentre la ruota scalettata (sala B lato B – del IV assile) mostra incisioni identificabili quali quelle di tipo D e non di tipo B (figg. 25 e 26).

Roberto Fodderini
Gennaro Aglieri



Figura 25– sala B lato B (segno sulla ruota DX del IV assile)



Figura 26 – sala B lato B (segno sulla ruota DX del IV assile)

Ne consegue che, come è stato già detto, la sala B lato A era una ruota SX, mentre la sala B lato B era una ruota DX. Una riprova di quanto detto la si ha anche dall'esame di altri due elementi:

Roberto Folchini
Gennaro Bagliani

*Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012*

- La posizione finale del II carrello del I carro che, come si può notare dalla figura 27, era ruotato in senso orario (visto dall'alto).



Figura 27 – parte posteriore del I carro

- L'analisi visiva delle sale B lato A (figg. 28, 29 e 31) e B lato B (figg. 30 e 31) mostra che i segni sulle rispettive superfici di rotolamento sono ben diversi in quanto, per la sala B lato A, il metallo si è letteralmente “spalmato”, fenomeno che si verifica solo al raggiungimento di determinate temperature. L'ipotesi che prima dell'impatto con l'infrastruttura/ballast, essa presentasse una temperatura sulla sua superficie di rotolamento tale da produrre una deformazione plastica sul metallo della corona della ruota, viene confermata dal riscontro con l'ultima rilevazione della temperatura dei freni (allegato 41) che mostra come la ruota SX del IV assile del I carro presentava un valore di 256 °C (4 Km prima di Fortezza). Tale ruota era la più calda del treno e anche quella che aveva la maggior differenza di temperatura (pari a 64 °C) rispetto alla sua opposta. Inoltre nel percorrere il tratto successivo della linea, la temperatura

Roberto Folchini
Gennaro Bagliani

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012

della superficie di rotolamento della ruota in oggetto non può che essere aumentata. Una differenza di frenatura da tra le ruote SX e DX di una stessa sala produce, inoltre, una coppia di forze che porta a far ruotare il carrello in senso anti orario, generando una forza centripeta sulla ruota DX che si va a sommare alle forze centripete che si generano in curva; tale fenomeno, in genere, non è in grado di provocare alcuno scalettamento, a meno che non intervengano altre problematiche.



Figura 28 – sala B lato A (ruota SX del IV assile)



Figura 29– sala B lato A (ruota SX del IV assile)

Infine, il raggruppamento delle incisioni rilevate sulla ruota sala B lato A è il risultato della somma degli effetti prodotti dallo svio subito da tale ruota e dal bloccaggio della stessa a causa della frenatura.

Roberto Forchioni
Gennaro Anfieri

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012



Figura 30– sala B lato B (ruota DX del IV assile)



Figura 31– sala B (ruota SX e DX del IV assile)

- SALA B LATO B (IV assile - ruota DX s.m.t.) : alla luce delle precedenti considerazioni tale ruota **risulta essere una ruota DX s.m.t.** . Considerando che, dai segni mostrati sull’infrastruttura, sicuramente la prima ruota ad aver scalettato è stata una ruota DX, **si desume che questa ruota sia stata la prima ruota a scalettare**, perché a differenza della ruota DX del I assile, essa ha un valore di interferenza misurato in Lucchini molto basso, il più basso rilevato in tutte le misurazioni. Si tenga conto, inoltre, che la posizione finale assunta dalla ruota DX del I assile, trovata appoggiata alla rotaia DX (fig. 41), non è molto compatibile con i segni rilevati sull’infrastruttura (fig. 17). In tal modo si spiega il sormonto della ruota SX della IV sala (che non ha scalettato), che altrimenti si sarebbe trovata a scalettare con una ruota DX della medesima sala in sede. Da notare che questo accoppiamento ruota/assile è l’unico che mostra delle incrostazioni ad anello sull’assile, sul lato esterno della zona di caletto (fig.32) e ciò potrebbe indurre a pensare trattarsi di un basso livello di interferenza dell’ accoppiamento ruota-assile, come si è anche potuto constatare successivamente. E’ possibile che sia stato fatto in Zos un errore di misura in difetto che si è andato a sommare alle condizioni già al limite della norma imposte dalle

Roberto Federmani
Gennaro Bagliani

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012

condizioni di caletto che vengono effettuate con l'utilizzo della Loctite 232. E' possibile inoltre che in fase di caletto sia stato girato, erroneamente, l'assile prima di calettare le ruote accoppiando il lato A dell'assile con la ruota B e il lato B dell' assile con la ruota A; in tal modo, stando ai documenti dichiarati in ZOS (all. 46b) si avrebbe per il IV assile, ruota lato A (mozzo di 201,01 mm, assile di 201,20 mm) un'interferenza di **0,19 mm** invece dei 0,18 mm dichiarati e per la ruota lato B (mozzo di 201,02 mm , assile di 20,19 mm) un'interferenza di **0,17mm** invece dei 0,18mm dichiarati. Ciò potrebbe giustificare, in parte, sia il valore molto alto di interferenza misurato in Lucchini sulla sala B lato A, sia quello molto basso misurato sulla sala B lato B e si spiegherebbe anche il motivo per cui in fase di caletto la sala B lato B abbia un valore così basso, come verrà illustrato in seguito.



Figura 32 – sala B lato B (ruota DX del IV assile)

Roberto Focherini
Gennaro Bagliani

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012

Inoltre nella parte interna del mozzo della ruota della sala B lato B si notano dei segni paralleli che ad un certo punto si interrompono tutti lungo una linea circolare; ciò potrebbe far pensare che nelle zone prive di linee orizzontali il valore dell'interferenza sia stato, nel momento del calettamento, minore rispetto alle zone del mozzo aventi le incisioni orizzontali (figura 33).



Figura 33 – sala B lato B (ruota DX del IV assile)

- SALA A LATO A (I assile - ruota SX s.m.t.) Come si può evincere dai rilievi fotografici effettuati dopo l'incidente, la SALA A LATO A è una ruota SX s.m.t. (figg. 34 e 38) e presenta circa 12 segni circolari (figg. 35 e 36) probabilmente generatisi con gli urti contro l'infrastruttura (fig.37), cioè dal basso verso l'alto con rotazione della ruota sull'assile e con le corrispettive marcature sulla ruota (fig.38). E' presumibile pensare che tale ruota sia stata la seconda ad aver scalettato, considerati i segni rilevati da RFI e il fatto che sia stata l'unica ruota lato SX ad aver scalettato verso l'interno. Inoltre si presume che tale scalettamento sia stato abbastanza lento, visti i segni circolari sull' assile.

Roberto Folchini
Gennaro Baglieri



Figura 34 – sala A lato A (ruota SX del I assile)



Figura 35 - sala A lato A - I sala lato SX

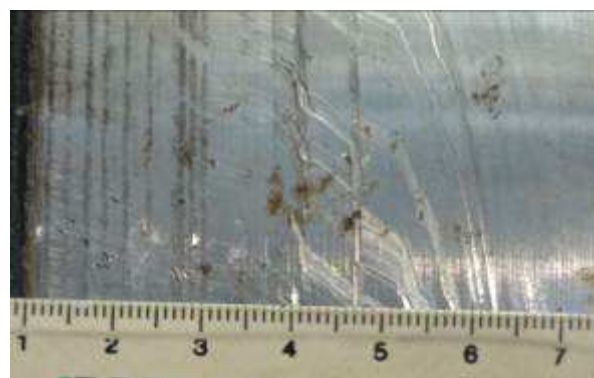


Figura 36 - sala A lato A - I sala lato SX

Roberto Focherini
Gennaro Bagliarini

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012

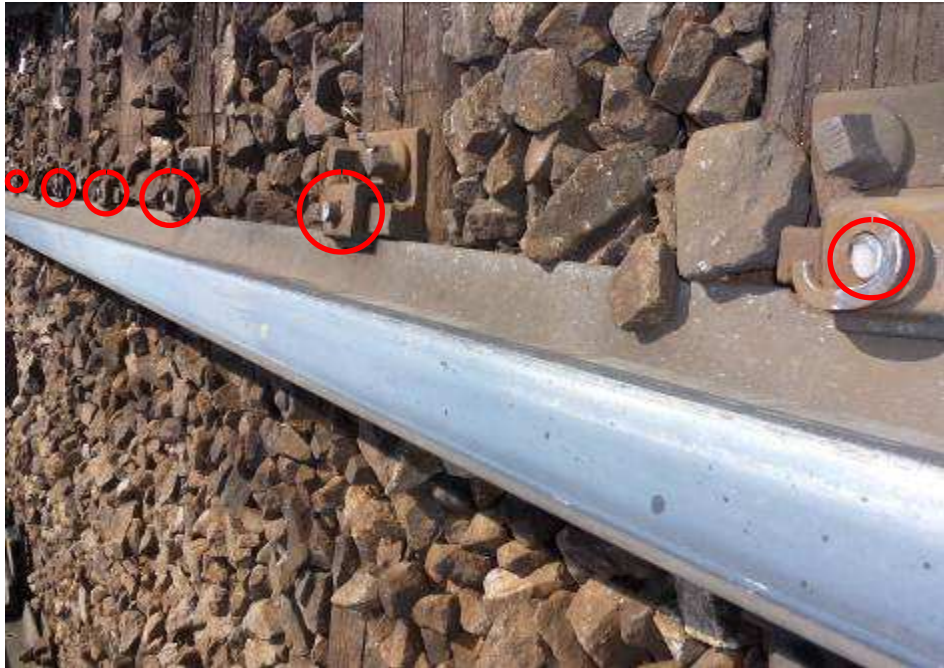


Figura 37



Figura 38 - Ruota SX I assile

Roberto Folchini
Gennaro Baglieri

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012

Dalla tabella delle temperature rilevate al PdC ubicato 4 km prima di Fortezza (punto di rilevamento situato al km 202+772), la temperatura rilevata sulla ruota SX della prima sala del I carro risultava di 224 °C (allegato 41-asse 5), più alta di 48°C del rispettivo lato DX. Tale temperatura a Bressanone sarà stata sicuramente più elevata, a causa delle condizioni di esercizio del convoglio, come si vedrà nel seguito.



Figura 39 - sala a lato b (ruota DX del I assile)



Figura 40 - sala a lato b (ruota DX del I assile)



Figura 41 - I assile

Roberto Focherini
Gennaro Baglieri

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012

- SALA A LATO B (I assile - ruota DX s.m.t.): questa ruota è presumibilmente l'ultima ad aver scalettato, probabilmente poco prima che il vagone si arrestasse. Che si sia trattato di uno scalettamento abbastanza veloce e con il treno a bassa velocità è confermato dal fatto che sull' assile non si vedono segni né cilindrici né assiali (fig. 39), ma si rilevano solo segni di molteplici urti contro il ballast dovuti ad un'intensa aratura dell'assile nel ballast stesso (fig. 40). Si rammenta che il I vagone, nella sua posizione di riposo terminale, è stato ritrovato piegato sulla destra; questo significa che prima dell'arresto, la ruota DX della I sala ha subito un sovraccarico dinamico sia per effetto della frenatura del carro, sia per l'inclinazione a DX subita dal carro; in tale fase probabilmente si è verificato anche il piegamento del I assile (fig.41).

Una ulteriore conferma che la ruota SX del IV assile non ha scalettato, si evince dall'esame della fig. 42; si nota come l'alloggiamento di tale ruota non mostra segni di contatto tra la ruota e le parti metalliche adiacenti, segni che invece sono particolarmente evidenti per la ruota SX della I sala (figg. 43 e 44) e per la ruota DX della stessa sala (fig. 45).



Figura 42 – alloggiamento ruota SX del IV assile

Roberto Folchini
Gennaro Baglini

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012



Figura 43-alloggiamento ruota SX del I assile



Figura 44-alloggiamento ruota SX del I assile



Figura 45-alloggiamento ruota DX del I assile

Una conferma ulteriore del fatto che, come ipotizzato, la prima ruota ad aver scalettato sia stata la sala B lato B (cioè la ruota DX del IV assile del primo carro) viene data dall'andamento dei diagrammi di caletto relativi alle quattro ruote sviate (figg. 46-47-48-49).

Roberto Folchini
Gennaro Baglini

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012

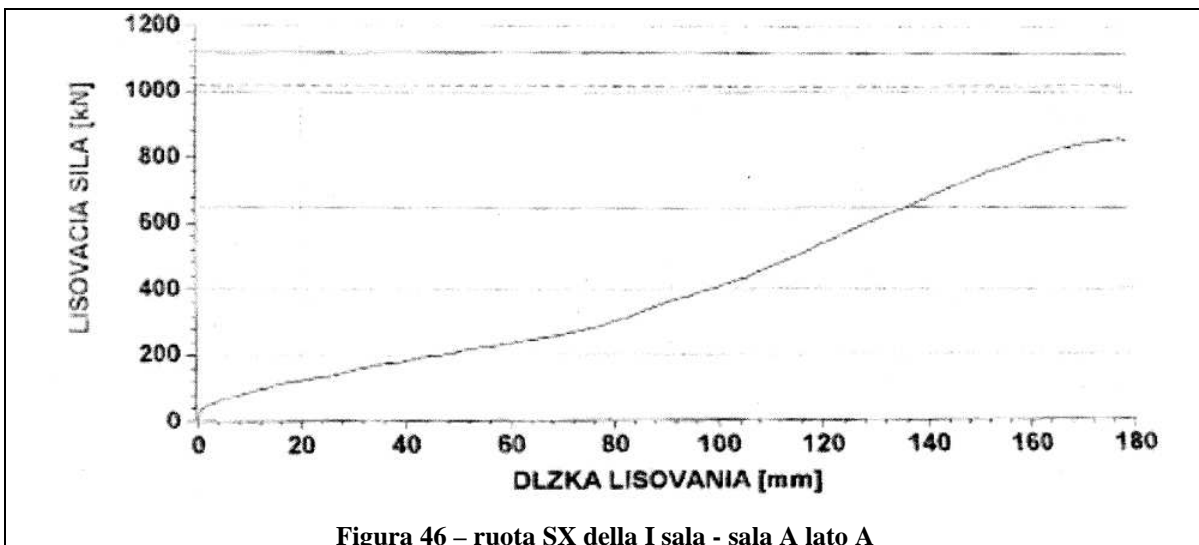


Figura 46 – ruota SX della I sala - sala A lato A

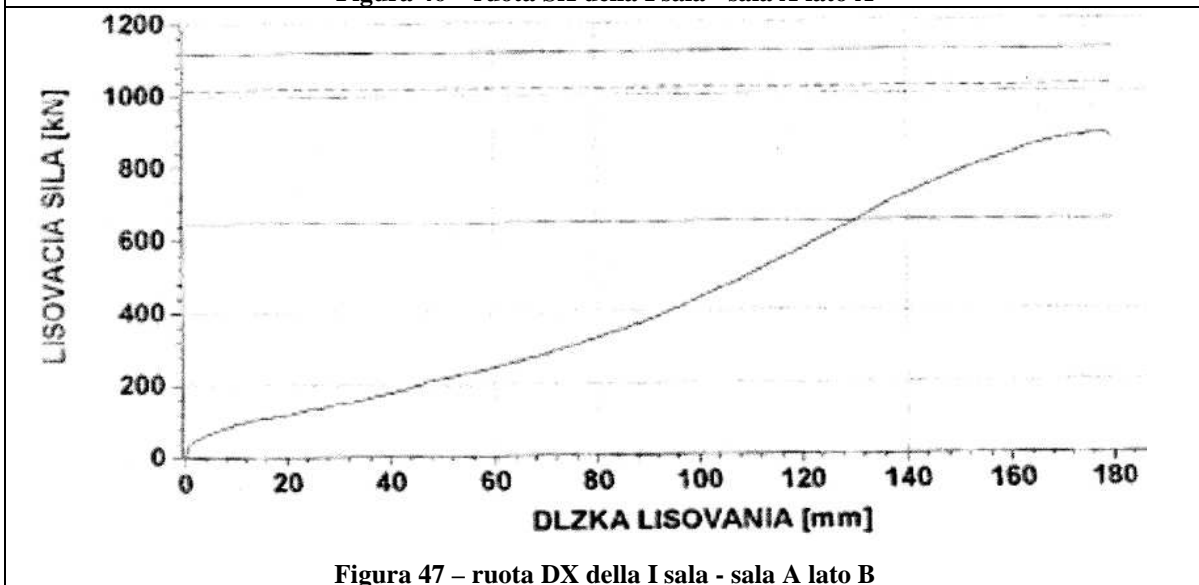


Figura 47 – ruota DX della I sala - sala A lato B

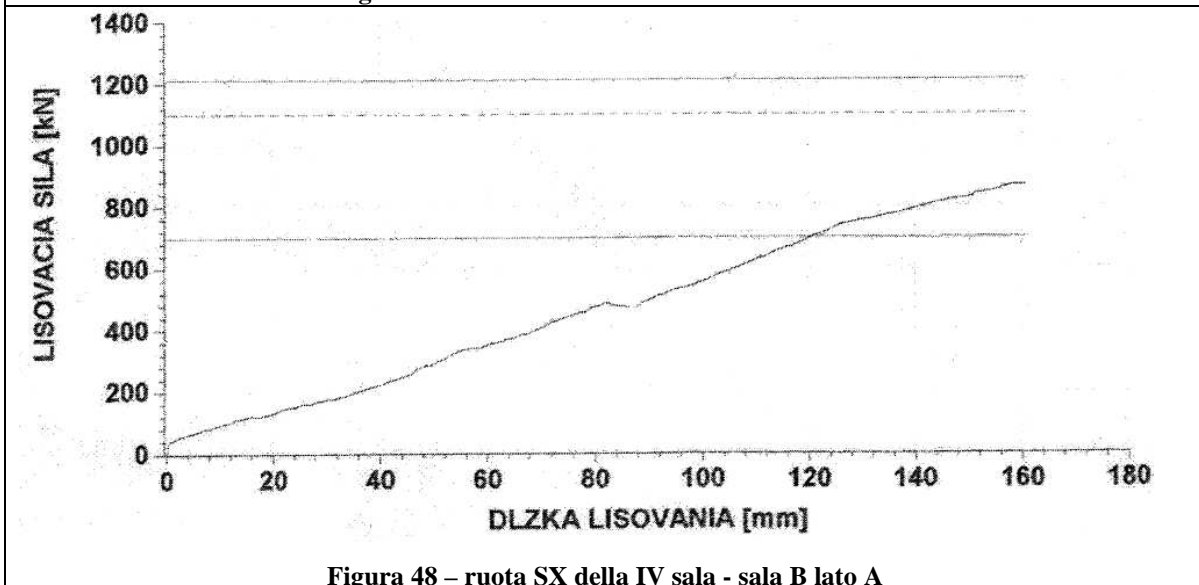
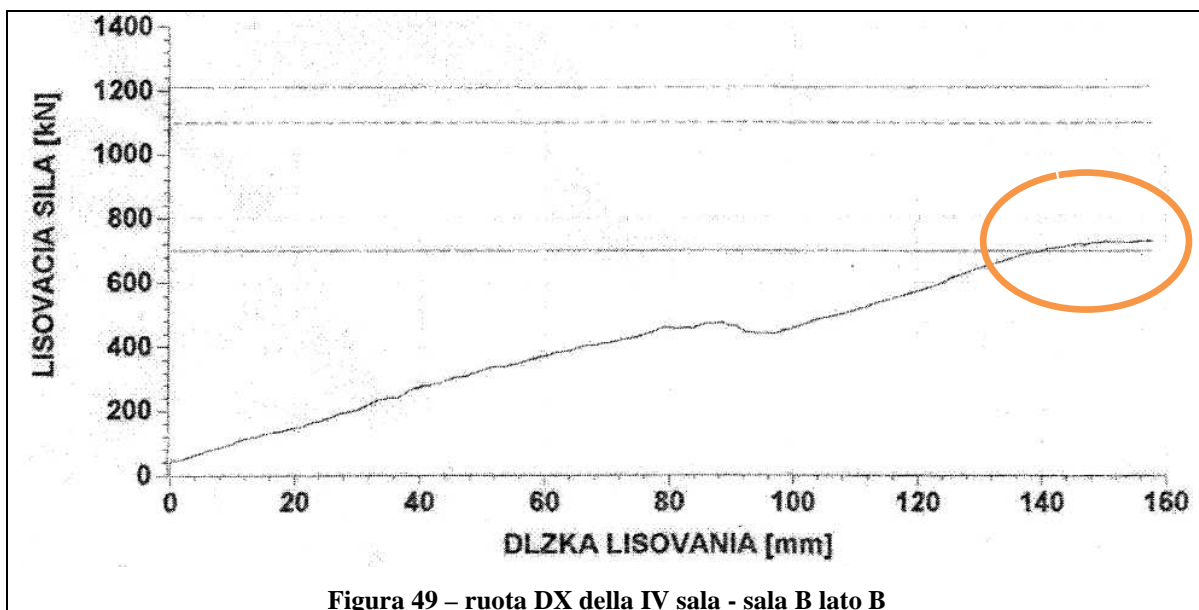


Figura 48 – ruota SX della IV sala - sala B lato A

Roberto Fodreini
 Giovanni Aglieri



Come si può notare dalle figure precedenti, la ruota DX della IV sala, cioè la sala B lato B, è quella che presenta il “peggiore” diagramma di caletto (fig. 49) se si considera il fatto che il massimo della forza di caletto è stato di **729,9 kN** contro gli 867,8kN della ruota SX della IV sala, gli 856,3kN della ruota SX della I sala e gli 880,9kN della ruota DX della I sala; quindi, detta ruota presenta un dato prossimo al limite inferiore per l’acceptabilità del diagramma stesso, limite che è posto a 700kN (come da allegati 46a e 46b).

Inoltre se fosse veramente stato invertito, per errore, il IV assile prima del caletto, considerando che la norma UIC determina, in tal caso un limite inferiore dell’interferenza pari a $J_{min} = D \cdot 0,0009 = 200\text{mm} \cdot 0,0009 = 0,18\text{mm}$ (dove D è il diametro nominale dell’accoppiamento ruota-mozzo), non risulterebbe verificata la norma UIC per la ruota sala B lato B, che questa commissione ha individuato essere la ruota DX della IV sala s.m.t. del I carro, in quanto in questo caso avremmo un’interferenza dichiarata pari a $J = 0,17\text{mm} < J_{min} = 0,18\text{mm}$.

Roberto Feltrin
Gennaro Aglieri

4.2.4 Considerazioni sul massimo valore dello sforzo di caletto

Riferendosi alla UIC 813(5.2.3.3.5) (all.68) risulta che i valori delle soglie che definiscono l'intervallo entro cui deve essere contenuto il massimo valore dello sforzo di caletto P_F è dato dalla formula:

$$P_F = a * D$$

Dove "a" assume i valori forniti dalla seguente tabella (fig.50):

Type de roue	1	2	3
	Lubrifiant		
	Huile	Suif	MoS ₂
Corps de roue non bandagés matériel remorqué	3,5 à 5,0	3,0 à 4,5	3,0 à 4,5
Roues monoblocs Roues bandagées Matériel remorqué	4,0 à 6,0	3,0 à 5,5	3,5 à 5,5
Roues monoblocs Roues bandagées Matériel moteur	4,5 à 6,5	3,0 à 6,0	3,5 à 6,0

Figura 50 – Limiti coefficiente "a" - UIC 813

Considerando che la Loctite è diversa dal MoS₂, per l'utilizzo di a_{min} sarebbe stato opportuno assumere come valori di riferimento quelli della prima colonna, perchè:

- qualora non sia espressamente citato nella norma, sarebbe opportuno, al fine di garantire una maggiore sicurezza, assumere le condizioni più stringenti per le quali quindi il coefficiente minimo " a_{min} " sia il più alto in tabella;
- la Loctite ha parametri fisico-chimici diversi da quelli del MoS₂

Ciò implica che, a parere di questa Commissione, il valore più opportuno da assumere per un carro avente gli assili con le ruote calettate con la "Loctite" avrebbe dovuto essere pari a $a_{min}=4$ e non $a_{min}=3,5$.

Roberto Federmani
Gennaro Baglini

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012

Di conseguenza la sala B lato B cioè la ruota destra della 4^a sala del primo carro s.m.t. avrebbe dovuto avere una soglia minima per il massimo sforzo di caletto pari a:

$$P_{Fmin}=a_{min} \cdot D = 4 \cdot 200KN = 800KN$$

mentre come si evince dall' allegato 46b tale valore è risultato pari a 700KN.

Per tale ruota il valore di P_F è pari a **729,9KN**, inferiore a quello che si sarebbe ottenuto applicando la norma UIC con $a_{min}=4$ (cioè $P_F > 800KN$). Tutto ciò deriva dal fatto che l'officina di Zos ha calettato le ruote con un coefficiente $a_{min}=3.5$ paragonandolo al M₀S₂ quando sarebbe stato, probabilmente, più opportuno usare il valore $a_{min}=4$ come precedentemente detto (fig.51).

	D	P_F	NORMA UIC 813 con $P_{Fmin}@a_{min}=3.5$	NORMA UIC 813 con $P_{Fmin}@a_{min}=4$
Sala A lato A	185	856,3kN	647,5kN	740kN
Sala A lato B	185	880,9kN	647,5kN	740kN
Sala B lato A	200	867,8kN	700kN	800kN
Sala B lato B	200	729,9kN	700kN	800kN
Sala C lato A	200	746,7kN	700kN	800kN
Sala C lato B	200	752,4kN	700kN	800kN

Figura 51 – Massima pressione di caletto P_F

Inoltre, c'è da dire che la Loctite non è un miscela al 50% di olio e 50% di sego e quindi non è applicabile il 2° comma del UIC 813 (5.2.3.3.5.) (all.68).

ÖBB TS e ZOS appaiono aver sottovalutato la pericolosità di calettare le sale al limite delle norme, o al di sotto di esso; inoltre c'è da ricordare che ÖBB TS si è rifiutata di fornire a questa Commissione i dati, inerenti i circa 2000 carri ritirati da ÖBB a seguito dell'incidente. L'atteggiamento di Zos è stato invece molto più costruttivo e disponibile aiutando questa Commissione, a

Roberto Fodderini
Gennaro Baglieri

comprendere perché ÖBB TS si sia preoccupata di ritirare in pochi giorni circa 2000 carri. Infatti, durante l'incontro effettuato presso Zos sono stati forniti a questa Commissione alcuni diagrammi di caletto di sale in lavorazione per ÖBB TS utilizzando il lubrificante "Loctite"(all. 60) non facenti parte del treno oggetto dello svio.

Da tali diagrammi è emerso che per tali sale montate (fig. 52):

- tutte presentavano un valore dell'interferenza non conforme alla norma EN 13260;
- quasi tutte (tranne le sale 43695, 72619 e 43941A) presentavano un valore dell'interferenza non conforme alla norma UIC 813;
- quasi tutte (tranne la sala 124030) presentavano uno sforzo massimo di caletto che rispettava la UIC 813 con $a_{min}=4$.

SALA	D	INTERFERENZA	P max	a=D/Pmax	Plast	Interf. min. UIC	Interf. min. EN	UIC@amin=3.5	UIC@amin=4	EN
124030	A 197	0,16	706,1	3,58	706,1	0,1773	0,197	689,5	788	669,8
	B 197	0,16	712	3,61	712	0,1773	0,197	689,5	788	669,8
5846	B 197	0,17	958,7	4,87	958,7	0,1773	0,197	689,5	788	669,8
	A 197	0,17	876,2	4,45	876,2	0,1773	0,197	689,5	788	669,8
5957	B 196	0,17	910,2	4,64	910,2	0,1764	0,196	686	784	666,4
	A 196	0,16	932,8	4,76	932,8	0,1764	0,196	686	784	666,4
3530	A 196	0,16	952,3	4,86	952,3	0,1764	0,196	686	784	666,4
	B 196	0,16	1004,3	5,12	1004,3	0,1764	0,196	686	784	666,4
24222	B 196	0,17	834,9	4,26	834,9	0,1764	0,196	686	784	666,4
	A 196	0,17	894,4	4,56	893,4	0,1764	0,196	686	784	666,4
43695	B 185	0,17	934,6	5,05	934,6	0,1665	0,185	647,5	740	629
	A 185	0,17	962,6	5,20	962,6	0,1665	0,185	647,5	740	629
43941	B 185	0,16	833	4,50	833	0,1665	0,185	647,5	740	629
	A 185	0,17	829,5	4,48	828,1	0,1665	0,185	647,5	740	629
72619	B 185	0,17	815,3	4,41	814,3	0,1665	0,185	647,5	740	629
	A 185	0,17	861	4,65	861	0,1665	0,185	647,5	740	629
120205	A 196	0,17	940,5	4,80	940,5	0,1764	0,196	686	784	666,4
	B 196	0,16	910,6	4,65	910,6	0,1764	0,196	686	784	666,4
122940	A 197	0,17	958,8	4,87	958,8	0,1773	0,197	689,5	788	669,8
	B 197	0,17	1046,1	5,31	1046,1	0,1773	0,197	689,5	788	669,8
124549	B 197	0,16	982,2	4,99	982,2	0,1773	0,197	689,5	788	669,8
	A 197	0,16	990,5	5,03	990,5	0,1773	0,197	689,5	788	669,8
120474	B 196	0,16	895,4	4,57	895,4	0,1764	0,196	686	784	666,4
	A 196	0,16	879,2	4,49	879,2	0,1764	0,196	686	784	666,4
120577	B 196	0,16	863,4	4,41	863,4	0,1764	0,196	686	784	666,4
	A 196	0,17	942,5	4,81	942,5	0,1764	0,196	686	784	666,4
121159	B 196	0,17	1062,7	5,42	1062,7	0,1764	0,196	686	784	666,4
	A 196	0,17	975,5	4,98	975,5	0,1764	0,196	686	784	666,4
124393	B 196	0,17	889,9	4,54	881	0,1764	0,196	686	784	666,4
	A 196	0,17	866,1	4,42	864,6	0,1764	0,196	686	784	666,4
126697	A 196	0,16	852,6	4,35	852,6	0,1764	0,196	686	784	666,4
	B 196	0,17	954,8	4,87	954,8	0,1764	0,196	686	784	666,4
128225	B 196	0,16	964,1	4,92	964,1	0,1764	0,196	686	784	666,4
	A 196	0,17	970,4	4,95	970,4	0,1764	0,196	686	784	666,4
119283	196	0,16	824,1	4,20	823,6	0,1764	0,196	686	784	666,4
116714	196	0,17	929,2	4,74	929,2	0,1764	0,196	686	784	666,4
125697	196	0,16	921,9	4,70	918,5	0,1764	0,196	686	784	666,4

Figura 52- (lavorazione sale montate - allegato 60)

Roberto Folmerini
Gennaro Aglieri

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012

4.2.5 Analisi della rugosità

C'è da puntualizzare che nei diagrammi di caletto forniti da ZOS, che fanno parte dell' allegato 60, non compare il valore della rugosità (R_a), che è determinante per l'andamento delle forze di caletto.

La norma UIC 812 (cap.5.2) (all.67) vincola il valore della rugosità che, per parti da assemblare, deve essere compreso nell'intervallo :

$$0,8 \mu\text{m} \leq R_a \leq 3,2 \mu\text{m}$$

e quindi il valore massimo di R_a deve essere inferiore a $3,2 \mu\text{m}$.

La norma UIC 811 (all.66), entra più nello specifico; essa, in relazione alla rugosità da utilizzare nel calettamento a freddo delle ruote (ANNEX della UIC 811 tabella 2, pag.14 , allegato 66) indica che, nella zona di caletto, l'assile deve avere una rugosità (R_a) compresa nell'intervallo:

$$0,4 \mu\text{m} \leq R_a \leq 1,6 \mu\text{m}$$

Come si rileva nella seconda riga della sottostante tabella (fig.53):

Tableau 2 : Rugosité de surface R_a

Désignation	Symboles de la figure 1 ^a	R_a (μm) ^b
Portée de calage de la roue	a_1	12,5 ^c
- calage à la presse	af_2	0,4 à 1,6 ^c
- calage à chaud	ac_2	1,6 ^c

Figura 53 – Valori rugosità UIC 811

Roberto Focherini
Gennaro Bagliarini

La norma EN13261(Cap.3.7.1.1.) (all. 64), invece, prescrive che nella zona di caletto si deve avere una rugosità Ra compresa nell'intervallo:

$$0,8 \mu\text{m} \leq R_a \leq 1,6 \mu\text{m}$$

Come si rileva nell'ultima riga della sottostante tabella (fig. 54):

Designation	Symbol (see Figure 6)	Surface roughness ^a Ra (µm)	
		Rough-machined	Finished or ready for assembly
End of the axle - axle end and chamfer	a	-	6,3
- axle centre face (solid and hollow axle)	See details R1 and R2	-	3,2
Journal - journal diameter	b	12,5	0,8
- stress relieving grooves	c (detail V)		0,8
Abutment - abutment diameter	d	12,5	1,6
Wheelseat - wheelseat diameter	e	12,5	Minimum 0,8 Maximum 1,6 ^c
- lead in taper	f (detail U)		1,6

Figura 54 – Valori rugosità assile EN13261

Secondo la normativa UNI, i valori di rugosità relativi alla ruota devono essere compresi negli intervalli dati dalla EN13262 cap.3.6.1.1. (all.65 pag.20 e fig.55):

Roberto Folchini
Gennaro Aglieri

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012

Table 8 — Surface roughness (Ra) of wheels in the state of delivery

Area of the wheel	State of delivery ^a	Roughness Ra (µm)	
		Category 1	Category 2
Bore	Finished	≤ 12,5	
	Ready for assembly ^b	0,8 to 3,2	

Figura 55 – Valori rugosità foro ruota EN13262

In sede di colloqui con ZOS e ÖBB TS è scaturito che ZOS aveva provato a calettare delle ruote con $Ra > 3,2 \mu\text{m}$, ma ÖBB TS non aveva condiviso tale scelta e perciò era stato deciso di non utilizzare valori di rugosità Ra superiori a $3,2 \mu\text{m}$.

Si procede ora a una **valutazione dei valori della rugosità** che verosimilmente potevano avere gli assili e le ruote **prima dell'operazione di caletto**, cioè di quei valori che sono “normativamente” significativi, eseguendo una **valutazione** utilizzando i dati ottenuti a posteriori.

Di seguito in fig.56 si riportano i valori della rugosità misurati presso Lucchini (all.30) in 2 punti degli assili (zone A e B) e in un punto delle rispettive ruote. In rosso sono evidenziati i valori che superano i valori massimi ammessi dalle norme ($1,6 \mu\text{m}$ per gli assili e $3,2 \mu\text{m}$ per le ruote).

Roberto Folchini
Gennaro Aglieri

ANALISI RUGOSITA'								
SALA	N°	LATO	POSIZIONE	ASSILE MISURA 1	ASSILE MISURA 2	RUOTA MISURA 1	RUOTA MISURA 2	Media a zone sull' assile
A	331850	A	A1	1,17	1,605			2,36
			A2	1,8	1,484			
			A3	1,034	7,089			
			B1	2,518	1,085			1,98
			B2	3,148	2,361			
			B3	1,321	1,452			
			0°			2,839		
			120°				3,498	
			240°				3,2	
		B	A1	2,559	1,293			2,16
			A2	1,543	1,022			
			A3	4,765	1,783			
			B1	0,855	1,163			2,01
			B2	3,16	2,435			
			B3	3,675	0,748			
			0°				4,223	
			120°				3,191	
			240°				3,843	
B	325584	A	A1	0,799				1,22
			A2	0,958				
			A3	1,905				
			B1	1,668				1,64
			B2	1,425				
			B3	1,824				
			0°			1,479		
			120°				1,893	
			240°				1,887	
		B	A1	5,787				3,09
			A2	1,46				
			A3	2,024				
			B1	2,234				2,92
			B2	3,679				
			B3	2,859				
			0°			1,91		
			120°				1,937	
			240°				1,832	2,073
C	12569	A	A1	0,25				0,23
			A2	0,185				
			A3	0,241				
			B1	0,585				0,77
			B2	0,87				
			B3	0,842				
			0°			1,831		
			120°				1,992	
			240°				1,883	
		B	A1	0,189				0,19
			A2	0,161				
			A3	0,232				
			B1	0,925				0,71
			B2	0,855				
			B3	0,349				
			0°			1,733		
			120°				1,915	
			240°				1,922	

Figura 56

Roberto Foddeini
Gennaro Baglieri

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012

Dall'esame di tali dati emerge che le ruote che hanno scalettato mostrano una possibile problematica rappresentata da un valore di rugosità superiore alla norma (fig.57).

ANALISI RUGOSITA' a posteriori							
SALA	N°	LATO	Media assile	Media ruota	Σ ASSE+RUOTA	σ assile	σ ruota
A	331850	A	2,2	3,2	5,4	1,6	0,3
		B	2,1	3,8	5,8	1,2	0,4
B	325584	A	1,4	1,8	3,2	0,3	0,2
		B	3,0	1,9	4,9	1,0	0,1
C	12569	A	0,5	1,9	2,4	0,2	0,1
		B	0,5	1,9	2,3	0,2	0,1

Figura 57

Si è inoltre rilevato che il valore più elevato della rugosità sull'assile, misurato in corrispondenza della zona di caletto, è stato riscontrato sulla sala B lato B (ruota DX del 4° carro s.m.t.) che è stata la prima ruota a scalettare; il secondo valore più elevato di rugosità sull' assile è stato riscontrato sulla sala A lato A che è stata la seconda ruota a scalettare; infine il terzo valore più elevato di rugosità è stato riscontrato sulla sala A lato B che è stata la terza ruota a scalettare.

Per trovare un range plausibile di valori entro cui inquadrare la rugosità prima delle operazioni di caletto, si analizzano le 6 ruote suddividendole in due gruppi, esaminando prima i valori della rugosità delle 3 ruote non scalettate e poi quelli delle 3 ruote scalettate.

Roberto Forbinini
Gennaro Baglini

1) RUOTE NON SCALETTATE

Le tre ruote non scalettate presentano uno stato delle superfici ottimale, come si evince anche dal basso valore dello scarto quadratico medio (fig.57).

Le 3 ruote non scalettate hanno subito un calettamento in officina dall'esterno verso l'interno e uno scalettamento sempre in officina dall'interno verso l'esterno.

Ipotizzando che i punti di misura della rugosità presi materialmente in Lucchini sulle circonferenze dette A e B siano stati presi in corrispondenza delle superfici cilindriche comprese rispettivamente tra le circonferenze A_1 e A_2 e tra le circonferenze B_1 e B_2 . Inoltre, detta L la distanza tra i punti di misurazione della rugosità sulle circonferenze A e B sull'assile, nella zona di caletto; detta L_1 la distanza tra le circonferenze A_1 e B_1 sull'assile; detta L_2 la distanza tra le circonferenze A_2 e B_2 sull'assile (zone di misurazione della rugosità) e ipotizzando che le zone di misurazione tra A_1 e A_2 e tra B_1 e B_2 siano comprese tra una distanza $L_1/5$ e $2L_2/5$ dalla fine della zona di caletto, si ottengono le due situazioni della seguente figura, che definiscono l'intervallo ipotetico entro cui sono contenute le misurazioni effettuate (fig.58).

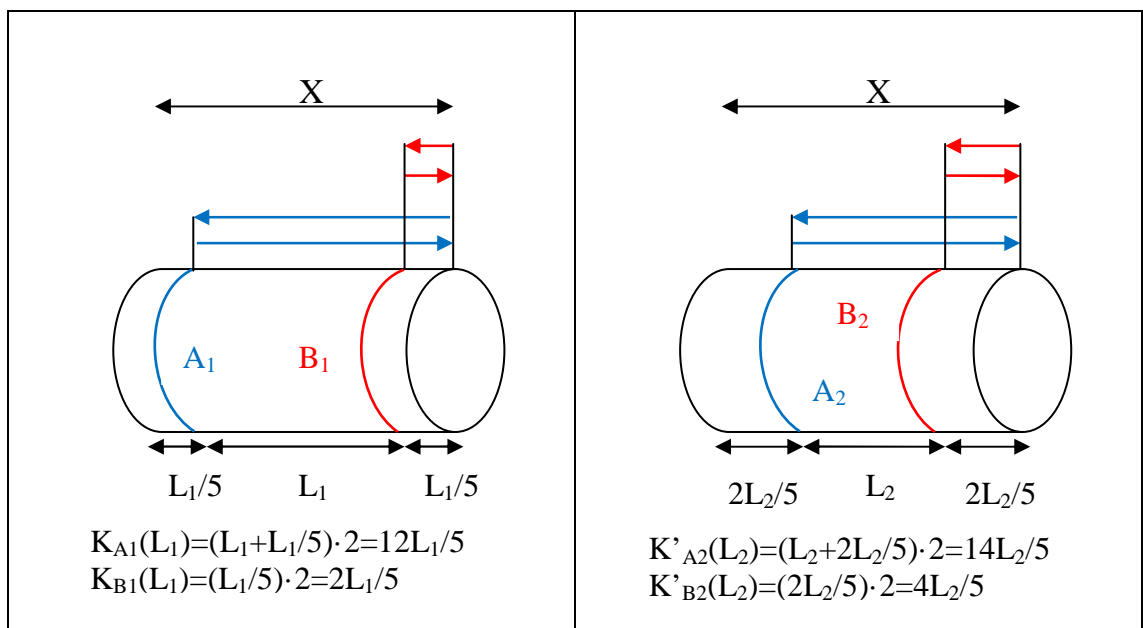


Figura 58

Roberto Folchini
Gennaro Anfani

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012

Le frecce in blu mostrano la lunghezza della parte di ruota che, nei due casi, è entrata in contatto con la circonferenza A dell'assile ($K_{A1}(L_1)$, $K'_{A2}(L_2)$) e le frecce in rosso mostrano la lunghezza della parte di ruota che, nei due casi, è entrata in contatto con la circonferenza B dell'assile ($K_{B1}(L_1)$, $K'_{B2}(L_2)$), il tutto durante le due fasi di caletto e scaletto delle ruota.

La portata di caletto X è legata a L_1 e L_2 dalle seguenti relazioni:

$$\begin{cases} X = \frac{7L_1}{5} \\ X = \frac{9L_2}{5} \end{cases}$$

Per quanto riguarda la ruota, poiché le misurazioni di rugosità sono state effettuate sostanzialmente al centro del mozzo, questo sarà collocato nei due rispettivi casi in $L_1/2 + L_1/5$ e in $L_2/2 + 2L_2/5$; le frecce verdi mostrano la lunghezza della parte di assile ($K_{C1}(L)$, $K'_{C2}(L_2)$) che è entrata in contatto, nei due casi, con la circonferenza C del mozzo della ruota durante le due fasi di caletto e scaletto (fig.59).

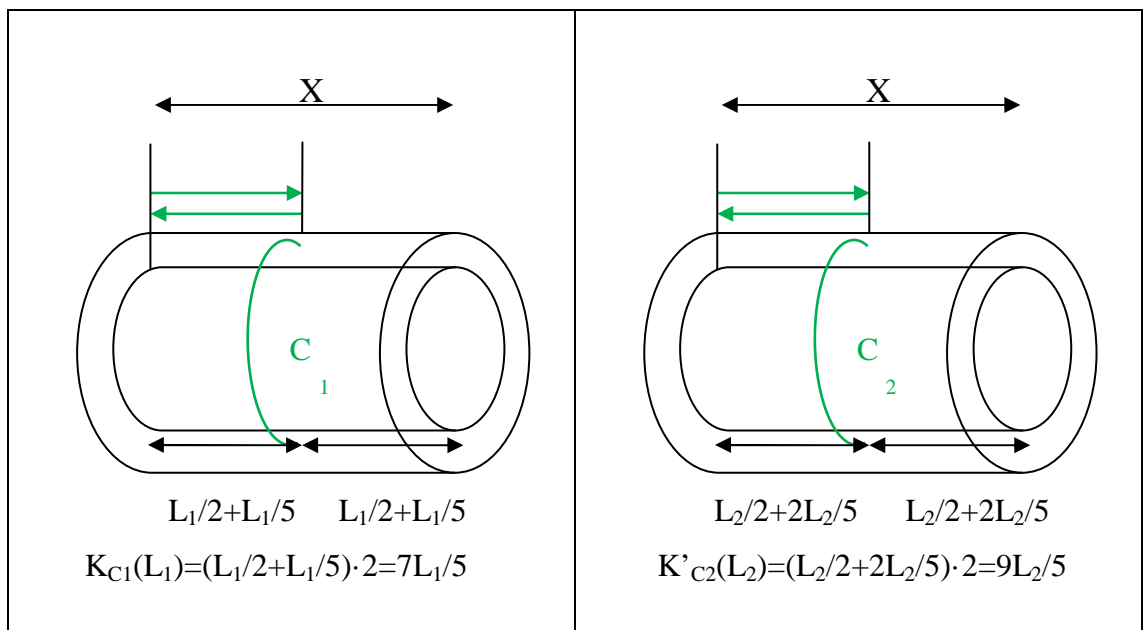


Figura 59

Roberto Folchini
Gennaro Boglietti

Come si può notare dalla figura 58 lo sfregamento che hanno subito i punti della circonferenza A₁ e A₂ è molto maggiore di quello subito dai punti della circonferenza B₁ e B₂; questo ha prodotto una maggiore riduzione della rugosità misurata a posteriori su A₁ e A₂ rispetto a B₁ e B₂. Questo infatti è proprio quello che si evince dai dati rilevati in Lucchini. Per le tre sale non scalettate si ha (fig.60):

ANALISI RUGOSITA' a posteriori degli assili delle ruote non scalettate							
SALA	N°	LATO	Posizione	Rugosità media	ΔRba	$\frac{\Delta R_{ba}}{\text{MEDIO}}$	$\sigma_{\Delta R_{ba}}$ medio
B	325584	A	A	1,22	0,42	0,5	0,05
			B	1,64			
C	12569	A	A	0,23	0,54		
			B	0,77			
		B	A	0,19	0,52		
			B	0,71			

Figura 60

Dove ΔR_{ba} rappresenta la variazione media di rugosità tra i punti del cerchio B e i punti del cerchio di A.

A questo punto, tenendo conto di quanto detto in precedenza, si valuta la Rugosità esistente prima del calettamento, per queste sale e per questo tipo di scalettamento (dall'interno all'esterno), nel seguente modo:

$$R_{iA} = R_{fA} + \Delta R_A = R_{fA} + \Delta R_{ba} + \Delta R_B$$

$$R_{iB} = R_{fB} + \Delta R_B$$

$$R_{iC} = R_{fC} + \Delta R_C = R_{fC} + \Delta R_{ba}/2 + \Delta R_B$$

Dove:

R_{iA} : è la rugosità nei punti del cerchio A sull' assile prima dell' operazione di caletto

Roberto Focherini
Gennaro Anfieri

R_{iB} : è la rugosità nei punti del cerchio B sull' assile prima dell' operazione di caletto

R_{iC} : è la rugosità nei punti del cerchio C sulla ruota prima dell' operazione di caletto

R_{fA} : è la media rugosità nei punti del cerchio A sull' assile a posteriori

R_{fB} : è la media rugosità nei punti del cerchio B sull' assile a posteriori

R_{fC} : è la media rugosità nei punti del cerchio C sulla ruota a posteriori

ΔR_A : rappresenta la variazione di rugosità tra i punti del cerchio A prima del calettamento e dopo lo scalettamento.

ΔR_B : rappresenta la variazione di rugosità tra i punti del cerchio B prima del calettamento e dopo lo scalettamento.

ΔR_C : rappresenta la variazione di rugosità tra i punti del cerchio C prima del calettamento e dopo lo scalettamento.

Adesso si cerca di calcolare ΔR_B . Essendo lo sfregamento in B prodotto da un contatto di superficie, variabile come detto tra $2 \cdot (L_1/5)$ e $2 \cdot (2L_2/5)$, ipotizzando valide le seguenti proporzioni:

$$\text{min: } \Delta R_{ba} : 2L_1 = \Delta R_B : (2 \cdot (L_1/5))$$

$$\text{max: } \Delta R_{ba} : 2L_2 = \Delta R_B : (2 \cdot (2 \cdot L_2/5))$$

si avrà:

$$\Delta R_{ba}/5 \leq \Delta R_b \leq \Delta R_{ba} \cdot 2/5$$

Da cui :

$$\mathbf{0,1 \mu m \leq \Delta R_b \leq 0,2 \mu m}$$

Noti tutti i parametri si può valutare la rugosità prima del caletto per queste ruote come segue (fig.61):

Roberto Fodhenini
Germano Anfieri

ANALISI RUGOSITA' a priori – ruote non scalettate						
SALA	N°	LATO	R _{iB} ≡ R _{iA} ≡ Ra Assile		R _{iC} ≡ Ra Ruota	
			min	MAX	min	MAX
B	325584	A	1,7	1,8	2,1	2,2
C	12569	A	0,9	1,0	2,3	2,4
		B	0,8	0,9	2,2	2,3

Figura 61

Generalizzando, si può calcolare la rugosità R_i prima del caletto, in un punto generico della zona in esame, noto il valore della rugosità in tale punto dopo lo scaletto e considerando che tale punto è stato sottoposto ad uno sfregamento variabile tra K(L₁) e K'(L₂):

$$R_f + \frac{K(L_1)}{4 \cdot L_1} \leq R_i \leq R_f + \frac{K'(L_2)}{4 \cdot L_2}$$

(Con R_f e R_i espressi in μm)

Come si nota, tale formula ha la stessa forma per entrambi gli estremi dell'intervallo. Se si fosse utilizzata la portata di caletto X, invece di L, per definire lo sfregamento K, le espressioni che definiscono l'intervallo della precedente disequazione non avrebbero avuto la stessa forma; infatti, ponendo K in funzione della portata di caletto X si ottiene:

$$R_f + \frac{7 \cdot K_i(X)}{20 \cdot X} \leq R_i \leq R_f + \frac{9 \cdot K'_i(X)}{20 \cdot X}$$

(Con R_f e R_i espressi in μm)

Roberto Folchini
Gennaro Baglieri

2) RUOTE SCALETTATE

Le tre ruote scalettate presentano uno stato delle superfici della zona di caletto non ottimale, a causa dello scalettamento indotto che si è verificato nello svio delle tre ruote e degli eventuali impatti che possono aver avuto gli assili, con l'infrastruttura e col ballast. I mozzi delle ruote, per le loro conformazioni fisiche, restano tendenzialmente più protetti da urti. D'altro canto, c'è da dire che quando sono state effettuate le misurazioni della rugosità di queste ruote presso Lucchini, si è cercato di individuare delle zone intatte.

Le tre ruote non scalettate hanno subito un calettamento in officina dall'esterno verso l'interno e uno scalettamento indotto, sempre dall'interno verso l'esterno. Rifacendosi alla modellizzazione fatta precedentemente, in questo caso per l'assile, si avrà (fig.62):

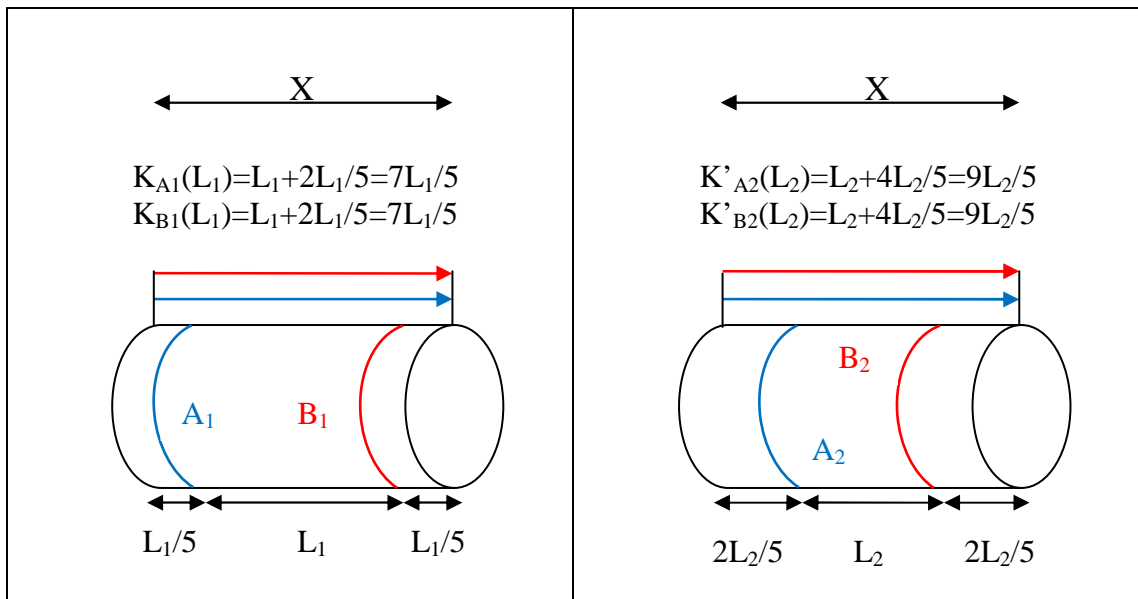


Figura 62

Le frecce in blu mostrano la lunghezza della parte di ruota che è entrata in contatto con la circonferenza A dell'assile ($K_{A1}(L_1)$, $K'_{A2}(L_2)$); le frecce in

Roberto Focherini
Gennaro Bagliarini

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012

rosso mostrano la lunghezza della parte di ruota che è entrata in contatto con la circonferenza B dell'assile ($K_{B1}(L_1)$, $K'_{B2}(L_2)$), il tutto durante le due fasi di caletto e scaletto delle ruota. Per quanto riguarda la ruota, le frecce verdi mostrano la lunghezza della parte di assile ($K_{C2}(L_1)$, $K'_{C2}(L_2)$) che è entrata in contatto con la circonferenza C del mozzo della ruota durante le due fasi di caletto e scaletto (fig.63).

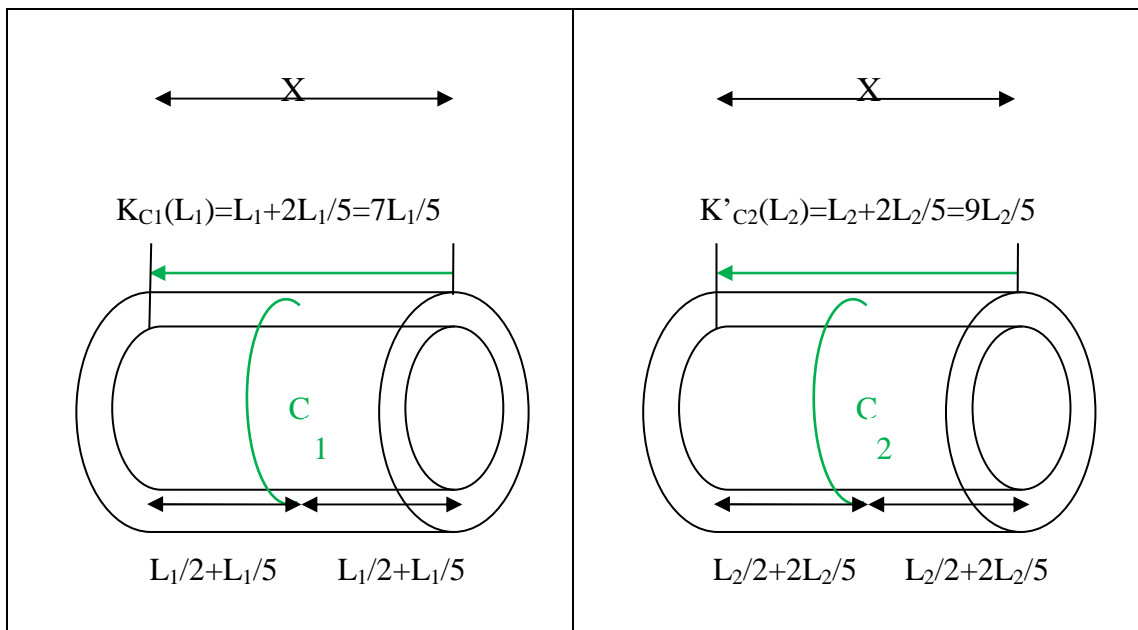


Figura 63

Come si può notare dalla figura 62, questa volta, a differenza del caso precedente, le circonferenze A e B sono venute a contatto con un' uguale lunghezza di superficie di parte della ruota; questo ha prodotto una riduzione dei valori della rugosità misurata in A e B quasi identica. Questo infatti è proprio quello che si evince dai dati rilevati in Lucchini. Per le tre sale scalettate si ha infatti (fig. 64):

Roberto Folchini
Gennaro Aglieri

ANALISI RUGOSITA' a posteriori degli assili delle ruote scalettate							
SALA	N°	LATO	Posizione	Rugosità media	ΔR_{ba}	$\frac{\Delta R_{ba}}{\text{MEDIO}}$	$\sigma \Delta R_{ba}$ medio
A	331850	A	A	2,36	-0,38	-0,2	0,1
			B	1,98			
B	325584	B	A	2,16	-0,15	-0,2	0,1
			B	2,01			
B	325584	B	A	3,09	-0,17	-0,2	0,1
			B	2,92			

Figura 64

Dalla fig. 64, se si considera che il dato sull'assile di 7,089 in posizione A3 della sala A lato A è palesemente alterato, si evince che sostanzialmente $\Delta R_{ba} \approx 0$.

In questo caso si riscontra una situazione analoga a quella del mozzo della ruota del caso precedente, in quanto la lunghezza dello sfregamento delle superfici è pari alla lunghezza di tutta la zona di caletto.

Utilizzando il modello prima ricavato, si ha:

$$R_f + \frac{K(L_1)}{4 \cdot L_1} \leq R_i \leq R_f + \frac{K'(L_2)}{4 \cdot L_2}$$

(Con R_f e R_i espressi in μm)

Si ottiene quindi:

$$R_{fA} + 0,35 \leq R_{iA} \leq R_{fA} + 0,45$$

$$R_{fB} + 0,35 \leq R_{iB} \leq R_{fB} + 0,45$$

$$R_{fC} + 0,35 \leq R_{iC} \leq R_{fC} + 0,45$$

(Con R_f e R_i espressi in μm)

Roberto Foderini
Gennaro Bagliarini

Adesso si devono calcolare i valori di R_{fA} , R_{fB} , R_{fC} epurando i dati misurati in Lucchini al fine di ridurre da una parte i dati corrotti e dall'altra lo scarto quadratico medio " σ ". Per quanto riguarda l'asse della sala A lati A e B, visto che sono state fatte due misurazioni, si prenderà per ciascuna di esse, quella minima; per ciò che invece concerne l'asse della sala B lato B e la ruota della sala A lato B, si considererà il minimo dei valori di tutte le misurazioni; le misurazioni sulle altre due restanti ruote resteranno invariate (fig.65):

ANALISI RUGOSITA' a posteriori - ruote scalettate con dati epurati								
SALA	N°	LATO	POSIZIONE	ASSILE MISURA 1	ASSILE MISURA 2	RUOTA MISURA 1	RUOTA MISURA 2	
A	331850	A	A1	1,17				
			A2		1,484			
			A3	1,034				
			B1		1,085			
			B2		2,361			
			B3	1,321				
			0°				2,839	
			120°				3,498	
			240°				3,2	
		B	A1			1,293		
			A2			1,022		
			A3			1,783		
			B1	0,855				
			B2			2,435		
			B3			0,748		
			0°					
			120°					3,191
			240°					
B	325584	B	A1					
			A2	1,46				
			A3					
			B1					
			B2					
			B3					
			0°				1,91	
			120°				1,937	
			240°				1,832	2,073

Figura 65

Roberto Folchini
Gennaro Bagliani

Da cui (fig.66):

ANALISI RUGOSITA' a posteriori - ruote scalettate con dati epurati							
SALA	N°	LATO	Media assile≡ R _{fA} ≡ R _{fB}	Media ruota≡ R _{fC}	Σ ASSE+RUOTA	σ assile	σ ruota
A	331850	A	1,41	3,18	4,6	0,5	0,3
		B	1,36	3,19	4,5	0,6	0,0
B	325584	B	1,46	1,93	3,4	0,0	0,1

Figura 66

Come si nota adesso “σ” è diminuito considerevolmente rispetto ai valori riportati in fig.57.

Si procede quindi al calcolo della rugosità Ra, come descritto in precedenza:

ANALISI RUGOSITA' a priori										
SALA	N°	LATO	R _{iA} =R _{iB} ≡ Ra Assile		R _{iC} ≡ Ra Ruota		Σ= Ra ASSE + Ra RUOTA	Req= Σ/2	σ assile	σ ruota
			min	MAX	min	MAX				
A	331850	A	1,8	1,9	3,5	3,6	5,3 - 5,5	2,65 - 2,75	0,5	0,3
		B	1,7	1,8	3,5	3,6	5,2 - 5,4	2,60 - 2,70	0,6	0,0
B	325584	A	1,7	1,8	2,1	2,2	3,8 - 4,0	1,90 - 2,00	0,3	0,2
		B	1,8	1,8	2,3	2,4	4,1 - 4,2	2,05 - 2,10	0,0	0,1
C	12569	A	0,9	1,0	2,3	2,4	3,2 - 3,4	1,60 - 1,70	0,2	0,1
		B	0,8	0,9	2,2	2,3	3,0 - 3,2	1,50 - 1,60	0,2	0,1

Figura 67

Dalla fig.67 e considerando inoltre che la sala B lato A, che è la sala che non ha scalettato, presentava sull’assile tre valori su 6 superiori a 1,6 μm (1,905 μm – 1,668 μm – 1,824 μm); si desume che:

- Probabilmente Zos torniva gli assili con una rugosità di **circa 1,8 μm** (il limite sia della norma UIC che EN è 1,6 μm);

Roberto Folmerini
Gennaro Aglieri

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012

- Probabilmente Zos ha tornito le ruote della sala 331850 con una rugosità di **circa 3,5 μm** (il limite sia della norma UIC che EN è 3,2 μm).

A questo punto si comprende anche perché il diagramma di caletto della sala B lato B (fig.49) presenti il valore della massima pressione di caletto inferiore di più di 100kN rispetto a quelli della sala A (figg. 46 e 47). Infatti considerando che tutte e tre le ruote presentavano un'interferenza “dichiarata” al limite con la norma UIC 813, probabilmente, la sostanziale differenza nel diagramma di caletto è imputabile al valore di rugosità della ruota della sala B lato A che è molto inferiore al valore di rugosità delle ruote della sala A (di circa 1,2 μm). La sala B lato A, invece, anche avendo una rugosità quasi uguale a quella della sala B lato B, aveva, di fatto, un'interferenza superiore alle tre ruote scalettate. E' chiaro, a questo punto, che usare un valore di R_a elevato produce un “miglior” diagramma di caletto, ma allo stesso tempo ciò comporta un aumento del rischio nella formazione di “cricche”.

Utilizzando un valore di R_a elevato è possibile, in parte, “mascherare” a livello di diagramma di caletto, le “deficienze” prodotte sul grafico stesso a seguito di un basso valore di interferenza.

La documentazione fornita da Öbb Ts mostra che Zos a livello contrattuale doveva calettare le ruote sull'assile, utilizzando una rugosità $R_a=1,6 \mu\text{m}$ per l'assile nella zona di caletto e una rugosità $R_a=3,2 \mu\text{m}$ per le ruote nella zona del mozzo (fig. 68 - allegato 2 pag. 114 e allegato 3 pag. 86).

Roberto Folchini
Gennaro Aglieri

2 Vorbereitung der Bauteile zum Aufpressen

- (1) Nach der Vermessung der Wellenschenkel Durchmesser ist aus Bild 1 das richtige Übermaß festzulegen, sofern in den Zeichnungen nicht anders dargestellt.
- (2) Die beiden Fügeile sind vorzugsweise in materialsparenden beliebigen Zwischenwerten auszuführen.
- (3) Folgende Oberflächenrauigkeiten anzuwenden, sofern in den Zeichnungen nicht anders dargestellt:
 - a. Welle Ra 1.6µm
 - b. Nabenbohrung Ra 3.2 µm

Figura 68 – direttive Öbb Ts

Ciò mostra la seguente problematica:

Per tornire le ruote con i limiti sulla soglia imposti da ÖBB Ts, Zos avrebbe dovuto tornire le ruote con una precisione di un ordine di grandezza in meno, cioè di almeno **10nm**, difficile da pensare però, visto che Zos misurava l'interferenza col 1/100 di mm e visto che le variazioni di rugosità rispetto alla norma sembravano essere dell'ordine dei decimi di µm. Da ciò si desume che per ÖBB Ts sarebbe stato più corretto fornire non un valore, ma un intervallo di valori entro cui contenere la rugosità, ad esempio:

- Ra=1,4 µm ±0,2 µm per l'assile nella zona di caletto
- Ra=3,0 µm ±0,2 µm per il mozzo della ruota

Roberto Focherini
Gennaro Anfieri

4.2.6 Analisi dell'interferenza ruota-assile

Considerando i valori rilevati presso Lucchini si ricava la tabella (fig. 69) avente la seguente legenda:

Conforme alla EN13260 e alla UIC 813
Conforme alla UIC 813 e non conforme alla EN13260
Non conforme alla EN13260 e alla UIC 813

In tale tabella (fig.69) sono riportati i valori di interferenza calcolati a zone, di interferenza media e di interferenza MAX ricavata facendo la differenza tra i dati in “celeste”, relativi al massimo delle medie dei valori rilevati sull’assile tra le tre posizioni di misura nella zona di caletto e i dati in “rosa” relativi al minimo dei relativi valori della ruota nella zona del mozzo.

Da tale analisi è stata esclusa la sala D n. 121553 (all. 46-d) che sarebbe la 3^a sala del I carro s.m.t, calettata il 26-07-2006, presso Ptuj in Slovenia, in quanto:

- le ruote di tale sala non sono scalettate;
- il calettamento delle ruote non è stato effettuato presso l’officina di ZOS;
- L’interferenza dichiarata tra le due ruote e l’assile era di **0,29µm** e quindi abbondantemente sopra le soglie minime di interferenza fornite dalla UIC 813 e dalla EN13260 ed anche entro il valore massimo previsto.

Per quanto riguarda la sala D si deve , altresì, rilevare che la rugosità dichiarata dall’officina di SZ Centralne Delavnice non era conforme né alle norme UIC 811, né alle norme EN 13261, in quanto è stato dichiarato un valore di rugosità sull’assile nella zona di caletto pari a $Ra=2,0\mu m$ in corrispondenza della ruota SX e

Roberto Fornerini
Gennaro Aglieri

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012

pari a $Ra=2,1\mu m$ in corrispondenza della ruota DX, quando, invece, le dette norme indicano che $Ra\leq 1,6\mu m$. Inoltre la rugosità della ruota non è stata riportata nei fogli di lavorazione. Si nota inoltre che, anche se l'officina che ha effettuato il calettamento delle ruote è diversa da quella delle sale A, B e C, il cliente della lavorazione è sempre il medesimo: ÖBB.

C'è da rilevare che detta sala, a differenza delle altre oggetto del nostro esame, non utilizzava per l'assemblaggio la Loctite come lubrificante.

Come prima osservazione si nota che delle sei ruote, relative ai tre assili oggetto dell'analisi (A-B-C), quelle che presentano i valori più elevati dello scarto quadratico medio, relativo all'interferenza calcolata a zone, sono proprio le tre ruote che sono scalettate; queste ruote hanno anche il valore dell'interferenza media misurata molto bassa perché, a seguito dell'incidente, sono state soggette a maggiori sollecitazioni rispetto a quelle non scalettate. Per tali ragioni il valore dell'interferenza media non è molto significativo.

Si procede ora ad analizzare i dati ruota per ruota:

1) SALA A LATO A (ruota SX del 1° assile s.m.t. del I carro)

L'assile mostra delle alterazioni evidenti in zona A, mentre la ruota presenta delle alterazioni evidenti in corrispondenza delle zone A e C. I dati rilevati mostrano un'interferenza compresa tra 0,16mm e 0,17mm;

2) SALA A LATO B (ruota DX del 1° assile s.m.t. del I carro)

L'assile non sembra mostrare delle alterazioni evidenti, mentre la ruota presenta delle alterazioni evidenti in corrispondenza della zona C. I dati rilevati mostrano un'interferenza compresa tra 0,18mm e 0,20mm;

3) SALA B LATO A (ruota SX del 4° assile s.m.t. del I carro)

L'assile mostra delle leggere alterazioni in zona C, mentre la ruota presenta delle alterazioni evidenti in corrispondenza della zona C. I dati rilevati mostrano un'interferenza compresa tra 0,21mm e 0,24mm;

4) SALA B LATO B (ruota DX del 4° assile s.m.t. del I carro)

L'assile mostra delle marcate alterazioni nelle zone A, B e C e anche la ruota mostra delle marcate alterazioni in zona A, B e C. I dati rilevati non sembrano essere utili ai fini del calcolo dell'interferenza in quanto tale ruota, essendo stata la prima a scalettare, ha avuto delle serie alterazioni a seguito dello svio e delle modalità con cui esso si è verificato. Probabilmente il fatto stesso che lo scalettamento di questa sala montata sia avvenuto lentamente (si rammenta che già a Fortezza era iniziato il processo di scalettamento), ha contribuito a lesionare la zona di caletto ed in particolare il mozzo della ruota. Pur calcolando l'interferenza utilizzando il massimo valore assoluto rilevato sull'assile e il minimo valore assoluto rilevato sul mozzo della ruota, si otterrebbe un'interferenza $I=0,068\text{mm}$ il cui valore però, risulta comunque troppo basso e quindi inaccettabile: ciò perché non sarebbe stato possibile generare un diagramma di caletto come quello fornito (all. 46 b). Utilizzando, però, la modellizzazione che verrà fatta in seguito, risulta verosimile che l'interferenza di questa ruota fosse compresa tra 0,16mm e 0,18mm al momento del caletto;

5) SALA C LATO A (4° assile s.m.t. del IV carro)

L'assile mostra delle leggere alterazioni in zona A, mentre la ruota presenta delle leggere alterazioni in corrispondenza della zona C. I dati rilevati mostrano un'interferenza compresa tra 0,19mm e 0,21mm;

6) SALA C LATO B (4° assile s.m.t. del IV carro)

L'assile non sembra mostrare delle alterazioni evidenti, mentre la ruota presenta delle leggere alterazioni in corrispondenza della zona C. I dati rilevati mostrano un'interferenza compresa tra 0,20mm e 0,22mm.

Roberto Fornerini
Gennaro Baglieri

ANALISI INTERFERENZA																		
SALA	N°	LATO	POSIZIONE	ASSILE MISURA (dopo pulizia)	RUOTA MISURA (dopo pulizia)	Media a zone	σ a zone	Media	σ	INTERFERENZA a zone	σ interferenza a zone	INTERFERENZA media	INTERFERENZA MAX	INTERFERENZA DICHIARATA	LIMITE INTERFERENZA UIC 813 Jmin=D*0,0009	LIMITE INTERFERENZA EN 13260 Jmin=D*0,001	Proposta nuovo limite per normativa EN Jmin=D*0,0011	
A	331850	A	Assile	A1	187,17	187,156	0,02	187,171	0,02	0,086	0,03	0,122	0,171	0,160	0,167	0,185	0,204	
				A2	187,167													
				A3	187,132													
				B1	187,17													
				B2	187,177													
				B3	187,18													
		A	Ruota	RB1	187,01	187,070	0,0	187,049	0,03	0,189	0,179	0,077	0,148	0,203	0,160	0,167	0,185	0,204
				RB2	187													
				RB3	187,02													
				RC1	187,08													
				RC2	187,08													
				RC3	187,04													
		B	Assile	A1	187,165	187,152	0,01	187,161	0,01	0,189	0,179	0,077	0,148	0,203	0,160	0,167	0,185	0,204
				A2	187,152													
				A3	187,14													
				B1	187,16													
				B2	187,166													
				B3	187,17													
		B	Ruota	RA1	186,95	186,963	0,0	187,013	0,06	0,189	0,179	0,077	0,148	0,203	0,160	0,167	0,185	0,204
				RA2	186,97													
				RA3	186,97													
				RB1	186,99													
				RB2	187													
				RB3	186,97													
		B	Assile	A1	201,205	201,210	0,00	201,207	0,01	0,223	0,243	0,190	0,219	0,247	0,180	0,180	0,200	0,220
				A2	201,215													
				A3	201,21													
				B1	201,2													
				B2	201,212													
				B3	201,208													
		A	Ruota	RA1	200,97	200,987	0,01	200,988	0,04	-1,203	-0,035	-0,759	-0,666	0,180	0,180	0,180	0,200	0,220
				RA2	200,99													
				RA3	201													
				RB1	200,98													
				RB2	200,97													
				RB3	200,94													
B	Assile	A1	201,22	201,207	0,01	201,213	0,01	-1,203	-0,035	-0,759	-0,666	0,180	0,180	0,180	0,200	0,220		
		A2	201,196															
		A3	201,204															
		B1	201,215															
		B2	201,22															
		B3	201,2															
B	Ruota	RA1	202,68	202,410	0,79	201,879	0,68	-1,203	-0,035	-0,759	-0,666	0,180	0,180	0,180	0,200	0,220		
		RA2	201,33															
		RA3	203,22															
		RB1	201,28															
		RB2	201,26															
		RB3	201,2															
B	Assile	A1	198,618	198,623	0,01	198,632	0,01	0,190	0,185	0,170	0,182	0,207	0,190	0,180	0,200	0,220		
		A2	198,634															
		A3	198,618															
		B1	198,625															
		B2	198,642															
		B3	198,628															
A	Ruota	RA1	198,43	198,433	0,00	198,450	0,02	0,222	0,212	0,181	0,205	0,222	0,190	0,180	0,200	0,220		
		RA2	198,43															
		RA3	198,44															
		RB1	198,44															
		RB2	198,45															
		RB3	198,45															
B	Assile	A1	198,75	198,748	0,00	198,747	0,00	0,222	0,212	0,181	0,205	0,222	0,190	0,180	0,200	0,220		
		A2	198,75															
		A3	198,745															
		B1	198,745															
		B2	198,749															
		B3	198,742															
B	Ruota	RA1	198,53	198,527	0,00	198,542	0,02	0,222	0,212	0,181	0,205	0,222	0,190	0,180	0,200	0,220		
		RA2	198,52															
		RA3	198,53															
		RB1	198,55															
		RB2	198,55															
		RB3	198,5															

Figura 69

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
 Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
 Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012

Roberto Folchini
 gemma Boglietti

Fatte le prime osservazioni sui dati rilevati, ora si cerca di dedurre il possibile valore delle interferenze per tutte le ruote prima del calettamento.

Per far ciò si effettueranno due modellazioni del problema:

- a) la prima più semplificativa in cui non si terrà conto della geometria della zona di caletto delle sei ruote esaminate in Lucchini che, se da un lato porterà a delle valutazioni più imprecise per ciò che concerne l'incidente oggetto di questa relazione, dall'altro permetterà di proporre delle proposte normative più semplici;
- b) la seconda, invece, andando a considerare anche le diverse geometrie della zona di caletto, porta a conclusioni più precise al riguardo dell'incidente, ma anche all'impiego di modelli leggermente più complessi.

a) MODELLO PER IL CALCOLO DELL'INTERFERENZA SENZA VALUTAZIONE DELLE GEOMETRIE NELLA ZONA DI CALETTO

Considerato che di tutte e sei le ruote ci sono i diagrammi di caletto e che il valore dello sforzo massimo di caletto è correlato all'interferenza delle ruote e alla rugosità, si può verosimilmente ipotizzare di modellizzare il calcolo dell'interferenza nel seguente modo:

$$\begin{cases} P_{Fi} = K_A * I_i * (1 + Ra_{eqi}) \\ \forall i \in [1,6] \subset \mathbb{N} \end{cases}$$

Dove:

Roberto Folchini
Gennaro Anfani

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012

- I_i è l'interferenza da calcolare (calcolata in mm) dell' accoppiamento i-simo
- P_{Fi} è il massimo della forza di caletto dell' accoppiamento i-esimo (calcolata in kN)
- Ra_{eqi} è la rugosità equivalente calcolata come la media tra la rugosità del mozzo della ruota "i-esima" e dell' assile nella zona di caletto "i-esimo" (calcolate in μm)
- K_A è una variabile dipendente dalle modalità di caletto, dal tipo e dal quantitativo di lubrificante. C'è da notare, però che, anche se il lubrificante ha un suo effetto sul diagramma di caletto, tutte e sei le ruote sono state calettate col medesimo lubrificante (Loctite) che si suppone sia stato distribuito in maniera uniforme e con lo stesso quantitativo. In questo modello si supporrà che il valore di K_A sia sostanzialmente simile per tutti e sei gli accoppiamenti; valutazioni più approfondite verranno fatte nel modello caso b).

Questo sarà il vincolo che si viene a generare tra le variabili; tale vincolo è generato dal fatto che tutte e sei le ruote sono soggette allo stesso fenomeno fisico.

Inoltre c'è da puntualizzare che a prescindere dalle logiche deduzioni che si possono effettuare, la validità del modello sarà data proprio dai dati sperimentali acquisiti, che si dovranno sostanzialmente allineare con una possibile soluzione del problema matematico.

Visto che gli accoppiamenti ruote assile in esame sono 6, avremmo quindi un sistema di 6x6 equazioni, riducibili a 6x3 equazioni, in quanto il precedente sistema di equazioni può essere applicato specularmente. Le 6x3 equazioni ammettono 6x3 incognite:

- 6 incognite di interferenza I
- 6 incognite di rugosità Ra_{eq}
- 6 incognite di Pf_{max}

Roberto Fodderini
Germano Anfieri

.....
Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012

$$\begin{cases} I_i = I_j * (P_{Fi} / P_{Fj}) * (1 + Ra_{eqj}) / (1 + Ra_{eqi}) \\ \forall i \in [1,6] \subset \mathbb{N} \\ \forall j \in [1,6] \subset \mathbb{N} \end{cases}$$

Per sostituzioni successive, tale sistema è equivalente, da un punto di vista “matematico”, ad un sistema di 5 equazioni in 18 incognite:

$$\begin{cases} I_i = I_1 * (P_{Fi} / P_{F1}) * (1 + Ra_{eq1}) / (1 + Ra_{eqi}) \\ \forall i \in [2,6] \subset \mathbb{N} \end{cases}$$

Da un punto di vista “fisico” le 18 variabili in realtà, non possono assumere un valore qualsiasi, ma sono vincolate dai dati sperimentali ed eventualmente dalle deduzioni fatte su essi:

- Per quanto riguarda le P_F sono note e deducibili dal diagramma di caletto dei tre accoppiamenti (all. 46 a-b-c, fig.70).

Valori P_F			
SALA	N°	LATO	P_F
A	331850	A	856,3
		B	880,9
B	325584	A	867,8
		B	729,9
C	12569	A	746,8
		B	752,4

Figura 70

Roberto Forchioni
Gennaro Baffanini

- Da quanto detto nel precedente capitolo, in relazione agli intervalli entro cui risulta probabilmente contenuta la rugosità equivalente, si ha che (fig.71):

Valori R_{aeq}			
SALA	N°	LATO	R_{aeq}
A	331850	A	2,65 - 2,75
		B	2,60 - 2,70
B	325584	A	1,90 - 2,00
		B	2,05 - 2,10
C	12569	A	1,60 - 1,70
		B	1,50 - 1,60

Figura 71

- Per quanto riguarda l'interferenza data dall'accoppiamento delle sei ruote con i tre assili, si possiedono le misurazioni effettuate e si considerano le relative deduzioni fatte in precedenza.

Tra le infinite soluzioni vincolate che verificano il sistema predetto se ne sceglierà una che verifichi le condizioni dedotte di rugosità e interferenza misurate e/o dedotte.

Come soluzione al predetto sistema di 6x6 equazioni si scelgono quindi le 6x3 soluzioni del sistema come da fig.72 :

ACCOPIAMENTO	SALA/LATO	Raeq		2,75	2,60	1,90	2,05	1,70	1,55
			Pfmax	856,30	880,90	867,80	729,90	746,75	752,36
			Interferenza	0,171	0,183	0,224	0,179	0,207	0,221
ACCOPIAMENTO	AA	2,75	856,30	0,171	0,171	0,171	0,171	0,171	0,171
	AB	2,60	880,90	0,183	0,183	0,183	0,183	0,183	0,183
	BA	1,90	867,80	0,224	0,224	0,224	0,224	0,224	0,224
	BB	2,05	729,90	0,179	0,179	0,179	0,179	0,179	0,179
	CA	1,70	746,75	0,207	0,207	0,207	0,207	0,207	0,207
	CB	1,55	752,36	0,221	0,221	0,221	0,221	0,221	0,221

Figura 72

Roberto Fodherini
Gennaro Bagliarini

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012

Tale risultato è in linea sia con i valori di interferenza che di rugosità misurati presso Lucchini. In definitiva, tutto ciò mostra una sostanziale coerenza del modello utilizzato che permette quindi di calcolare, in linea di principio, l'interferenza dell'accoppiamento ruota-assile noto il diagramma di caletto e la rugosità. In questo caso, il valore di K_A che risolve il modello è pari a :

$$K_A = 1335,361 \text{ kN}/(\text{mm} \cdot \mu\text{m})$$

A questo punto considerando che la variabile K_A risulta verosimilmente compresa, in generale, tra i seguenti valori:

$$1300 \text{ kN}/(\text{mm} \cdot \mu\text{m}) \leq K_A \leq 1400 \text{ kN}/(\text{mm} \cdot \mu\text{m})$$

Al fine di evitare scalettamenti di ruote e “mascheramenti” dei diagrammi di caletto dovuti a elevati valori di rugosità, che portano a sovrastimare il valore di P_F , risulta quindi opportuno che siano verificate le seguenti due condizioni:

$$1) \quad 0,0010 \geq \frac{J_{\min}}{dm} \geq 0,0011$$

$$2) \quad 0,0010 \geq \frac{P_{F\min}}{K_A * dm * (1 + Ra_{eq})} \geq 0,0011$$

Roberto Federico
Gennaro Anfieri

Dove:

- J_{\min} è la soglia minima dell'interferenza nella zona di caletto espressa in millimetri
 - dm è il diametro nominale dell'accoppiamento espresso in millimetri
 - $P_{F\min}$ è la soglia minima che deve superare la forza massima di caletto P_F , espressa in kN
 - Ra_{eq} è la media della rugosità della ruota e dell'assile nella zona di caletto, espressa in μm
- Per ciò che concerne la prima disequazione, l'estremo inferiore è quello proposto dall'EN, mentre l'estremo superiore è quello proposto per opportuna analisi, da questa Commissione. Nello svio in oggetto, la ruota DX della prima sala s.m.t. del primo carro sembra aver avuto un'interferenza allineata con la normativa EN. Tale ruota ha scalettato, quindi sarebbe da valutare se sia o no da incrementare il limite inferiore di interferenza J_{\min} imposto dalla normativa EN.
 - Per ciò che concerne la seconda disequazione, considerando che K_A risulta sostanzialmente contenuto nel pre-citato intervallo, si calcola il valore minimo considerando un $K_1=1333kN/(mm \cdot \mu m)$ e il valore massimo con un $K_2=1364kN/(mm \cdot \mu m)$, per cui si ottiene:

$$\frac{4}{3} * dm * (1 + Ra_{eq}) \leq P_{F\min} \leq \frac{3}{2} * dm * (1 + Ra_{eq})$$

Se adesso si vanno a confrontare i valori di P_F con i due estremi della soglia minima $P_{F\min}$ (Figg. 73 e 74) e si nota quanto segue:

Roberto Folchini
Gennaro Aglieri

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012

- 1) Per ciò che concerne il limite inferiore proposto di P_{Fmin} si nota che le tre ruote che non lo rispettano sono proprio quelle che hanno scalettato; inoltre, la prima ruota ad aver scalettato, ha una P_F di quasi 100kN sotto al valore di P_{Fmin} proposto.
- 2) Se da una parte si potrebbe considerare sufficiente il limite minimo proposto, dall'altra bisognerebbe considerare che i valori di $Raeq > 2,4\mu m$ non sono comunque accettabili da un punto di vista normativo; inoltre se ad esempio si dichiara una rugosità $Raeq = 2,4\mu m$ e nella realtà, vuoi perché sia stato fatto volontariamente, vuoi per problematiche di lavorazione o di misura, tale valore può non coincidere con quello reale, si dovrebbe prendere in esame quindi la possibilità di dare delle condizioni più stringenti, come quelle espresse dal limite superiore di P_{Fmin} proposto, che in ogni caso non potrà superare il valore di $P_{Fmin} = 5,1 * dm$ (proprio per un discorso normativo).

Raeq	Interferenza	K_A	dm	Pf	Pfmin @ $C_1=4/3$
2,75	0,171	1333	185	856,3	925
2,6	0,184	1333	185	880,9	888
1,9	0,224	1333	200	867,8	773
2,05	0,180	1333	200	729,9	813
1,7	0,207	1333	200	746,75	720
1,55	0,221	1333	200	752,36	680

Figura 73

Raeq	Interferenza	K_A	dm	Pf	Pfmin @ $C_2=3/2$
2,75	0,167	1364	185	856,3	1041
2,6	0,179	1364	185	880,9	999
1,9	0,219	1364	200	867,8	870
2,05	0,175	1364	200	729,9	915
1,7	0,203	1364	200	746,75	810
1,55	0,216	1364	200	752,36	765

Figura 74

Dove $C_1 = K_1 * 0,001$ e $C_2 = K_2 * 0,0011$

Roberto Forbinini
Gennaro Bagliarini

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012

b) MODELLO PER IL CALCOLO DELL'INTERFERENZA CON VALUTAZIONE DELLE GEOMETRIE NELLA ZONA DI CALETTO

Come nel caso precedente, considerato che di tutte e sei le ruote ci sono i diagrammi di caletto e che il valore dello sforzo massimo di caletto è correlato all'interferenza delle ruote e alla rugosità e che l'area di contatto a fine caletto è pari a πDX , si può verosimilmente ipotizzare di modellizzare il calcolo dell'interferenza nel seguente modo:

$$\begin{cases} P_{Fi} = K_B * D_i * X_i * I_i * (1 + Ra_{eqi}) \\ \forall i \in [1,6] \subset \mathbb{N} \end{cases}$$

Dove:

- I_i è l'interferenza da calcolare (espressa in mm) dell' accoppiamento i-esimo;
- P_{Fi} è il massimo della forza di caletto dell' accoppiamento i-esimo (espressa in kN);
- Ra_{eqi} è la rugosità equivalente calcolata come la media tra la rugosità del mozzo della ruota "i-esima" e dell' assile nella zona di caletto "i-esimo" (espressa in μm);
- K_B è una variabile dipendente dalle modalità di caletto, dal tipo e dal quantitativo di lubrificante. C'è da notare, però che, anche se il lubrificante ha un suo effetto sul diagramma di caletto, tutte e sei le ruote sono state calettate col medesimo lubrificante (Loctite) che si suppone sia stato disposto in maniera uniforme e con lo stesso quantitativo; potremo quindi

Roberto Folchini
Gennaro Anfieri

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012

verosimilmente supporre che il valore di K_B sia sostanzialmente uguale per tutte e sei gli accoppiamenti (espressa in $\text{kN}/(\text{mm}^3 \cdot \mu\text{m})$);

- D è il diametro dell'accoppiamento (espresso in mm);
- X è la portata di caletto (espressa in mm);

Questo sarà il vincolo che si viene a generare tra le variabili; tale vincolo è generato dal fatto che tutte e sei le ruote sono soggette allo stesso vincolo fisico. A prescindere dalle logiche deduzioni che si possono effettuare, la validità del modello sarà data proprio dai dati sperimentali acquisiti, che si dovranno sostanzialmente allineare con una possibile soluzione del problema matematico. Come nel caso precedente, visto che gli accoppiamenti ruote-assili in esame sono sei, si avrà quindi un sistema di 6×6 equazioni, riducibili a 6×3 , in quanto il precedente sistema di equazioni può essere applicato specularmente. Le 6×3 equazioni ammettono 6×3 incognite:

- 6 incognite di interferenza I
- 6 incognite di rugosità Ra_{eq}
- 6 incognite di Pf_{max}

$$\left\{ \begin{array}{l} I_i = I_j \cdot (P_{Fi} / P_{Fj}) \cdot D_j \cdot X_j \cdot (1 + Ra_{eqj}) / (D_i \cdot X_i \cdot (1 + Ra_{eqi})) \\ \forall i \in [1,6] \subset \mathbb{N} \\ \forall j \in [1,6] \subset \mathbb{N} \end{array} \right.$$

Per sostituzioni successive, tale sistema è equivalente, da un punto di vista “matematico”, ad un sistema di 5 equazioni in 18 incognite:

$$\left\{ \begin{array}{l} I_i = I_1 \cdot (P_{Fi} / P_{F1}) \cdot D_1 \cdot X_1 \cdot (1 + Ra_{eq1}) / (D_i \cdot X_i \cdot (1 + Ra_{eqi})) \\ \forall i \in [2,6] \subset \mathbb{N} \end{array} \right.$$

Roberto Forchioni
Gennaro Bagliarini

Da un punto di vista “fisico” le 18 variabili in realtà, non possono assumere un valore qualsiasi, ma sono vincolate, dai dati sperimentali ed eventualmente dalle deduzioni fatte su essi.

- Per quanto riguarda le P_F sono note e deducibili dal diagramma di caletto dei tre accoppiamenti (all. 46 a-b-c, fig.75).

Valori P_F			
SALA	N°	LATO	P_F
A	331850	A	856,3
		B	880,9
B	325584	A	867,8
		B	729,9
C	12569	A	746,8
		B	752,4

Figura 75

- Da quanto detto nel precedente capitolo, per quanto riguarda gli intervalli entro cui risulta probabilmente contenuta la rugosità equivalente, si ha che (fig.76):

Valori R_{aeq}			
SALA	N°	LATO	R_{aeq}
A	331850	A	2,65 - 2,75
		B	2,60 - 2,70
B	325584	A	1,90 - 2,00
		B	2,05 - 2,10
C	12569	A	1,60 - 1,70
		B	1,50 - 1,60

Figura 76

Roberto Foderini
Gennaro Baglieri

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012

Di tali valori di R_{aEQ} si sceglieranno, a differenza del caso precedente, i valori minimi dell'intervallo, in quanto più rappresentativi, poichè in tal caso le misurazioni di rugosità effettuate sull'assile vengono ritenute maggiormente vicine ai punti estremi della zona di caletto.

- Per quanto riguarda i valori di X, questi sono ricavati dagli allegati 69 (per la sala A), 70 (per la sala B) e 71 (per la sala C).
- Per quanto riguarda i valori di D sono ricavati dagli allegati 46a (per la sala A), 46b (per la sala B), 46c (per la sala C).
- Per quanto riguarda l'interferenza data dall' accoppiamento delle sei ruote con i tre assili, si possiedono le misurazioni effettuate e si considerano le relative deduzioni fatte in precedenza.

Tra le infinite soluzioni vincolate che verificano il sistema predetto se ne sceglierà una che verifichi le condizioni di rugosità e interferenza che si sono verificate.

Come soluzione al predetto sistema di 6x6 equazioni si scelgono quindi le 6x3 soluzioni del sistema come da fig.77 :

SALA/LATO	X	D	RaEQ	Pfmax	Interferenza	190	190	185	185	186,8	186,4
						187	187	201	201	198,5	198,5
						2,65	2,6	1,9	2,05	1,6	1,5
						856,3	880,9	867,8	729,9	746,75	752,36
						0,171	0,178	0,208	0,167	0,201	0,211
ACCOPIAMENTO	AA	190	187	2,65	856,3	0,171	0,171	0,171	0,171	0,171	0,171
	AB	190	187	2,6	880,9	0,178	0,178	0,178	0,178	0,178	0,178
	BA	185	201	1,9	867,8	0,208	0,208	0,208	0,208	0,208	0,208
	BB	185	201	2,05	729,9	0,167	0,167	0,167	0,167	0,167	0,167
	CA	186,8	198,5	1,6	746,75	0,201	0,201	0,201	0,201	0,201	0,201
	CB	186,4	198,5	1,5	752,36	0,211	0,211	0,211	0,211	0,211	0,211

Figura 77

Roberto Focherini
Gennaro Bagliani

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012

Tale risultato è in linea sia con i valori di interferenza che con quelli di rugosità misurati presso Lucchini. Inoltre lo scarto di rugosità equivalente Ra_{eq} tra i lati A e B dei tre assili risulta molto piccolo, dell'ordine di $0,15\mu\text{m}$, cosa abbastanza plausibile in quanto si presuppone che i componenti della medesima sala montata siano soggetti allo stesso tipo di tornitura.

In definitiva, tutto ciò mostra una sostanziale coerenza del modello utilizzato che permette quindi di calcolare, in linea di principio, l'interferenza dell'accoppiamento ruota-assile, noti il diagramma di caletto e la rugosità.

Il valore di K che risolve questo modello è pari a :

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{K_B} = \frac{\mathbf{P_{Fi}}}{\mathbf{D_i * X_i * I_i * (1 + Ra_{eqi})}} \\ \forall i \in [1,6] \subset \mathbf{N} \end{array} \right.$$

quindi:

$$\mathbf{K_B = 3,86 * 10^{-2} \text{ kN}/(\text{mm}^3 \cdot \mu\text{m})}$$

A questo punto considerando che K risulta verosimilmente compresa, in generale, tra i seguenti valori:

$$3,6 * 10^{-2} \text{ kN}/(\text{mm}^3 \cdot \mu\text{m}) \leq \mathbf{K_B} \leq 4,1 * 10^{-2} \text{ kN}/(\text{mm}^3 \cdot \mu\text{m})$$

Roberto Folberini
Gennaro Anfiorini

l'interferenza delle ruote prima del calettamento, molto probabilmente, è valutabile come da fig.78 :

ANALISI INTERFERENZA a priori							
SALA	N°	LATO	INTERFERENZA	INTERFERENZA DICHIARATA	LIMITE INTERFERENZA UIC 813 Jmin=D*0,0009	LIMITE INTERFERENZA EN 13260 Jmin=D*0,001	Proposta nuovo limite per normativa EN Jmin=D*0,0011
A	331850	A	0,17	0,160	0,167	0,185	0,204
		B	0,18	0,160	0,167	0,185	0,204
B	325584	A	0,21	0,180	0,180	0,200	0,220
		B	0,17	0,180	0,180	0,200	0,220
C	12569	A	0,20	0,190	0,180	0,200	0,220
		B	0,21	0,190	0,180	0,200	0,220

Figura 78

Al fine di evitare scalettamenti di ruote e “mascheramenti” dei diagrammi di caletto dovuti a elevati valori di rugosità, che portano a sovrastimare il valore di P_F , risulta quindi opportuno che siano verificate le seguenti due condizioni:

$$1) \quad 0,0010 \leq \frac{J_{\min}}{D} \leq 0,0011$$

$$2) \quad 0,0010 \leq \frac{P_{F\min}}{K_B * D^2 * X * (1 + Ra_{eq})} \leq 0,0011$$

Dove:

- J_{\min} è la soglia minima dell'interferenza nella zona di caletto espressa in millimetri
- D è il diametro nominale dell'accoppiamento espresso in millimetri (o il diametro reale, qualora si abbia il dato)
- $P_{F\min}$ è la soglia minima che deve superare la forza massima di caletto P_F , espressa in kN
- Ra_{eq} è la media della rugosità della ruota e dell'assile nella zona di caletto, espressa in μm
- X è la portata di caletto espressa in millimetri

Roberto Forchini
Gennaro Aglieri

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012

- Per ciò che concerne la prima disequazione, l'estremo inferiore è quello proposto dall'EN, mentre l'estremo superiore è quello proposto per opportuna analisi, da questa Commissione. Nello svio in oggetto, la ruota DX della prima sala s.m.t. del primo carro sembra aver avuto un'interferenza allineata con la normativa EN. Tale ruota ha scalettato, quindi sarebbe da valutare se sia o no da incrementare il limite inferiore di interferenza J_{min} imposto dalla normativa EN.
- Per ciò che concerne la seconda disequazione, considerando che K risulta sostanzialmente contenuto nel pre-citato intervallo, si calcola il valore minimo considerando il minimo valore di K_A : $K_{Amin}=3,6*10^{-2} \text{ kN}/(\text{mm}^3 \cdot \mu\text{m})$, da ciò si ottiene:

$$3,6*10^{-5}*D^2*X*(1+Ra_{eq}) \leq P_{Fmin} \leq 4*10^{-5}*D^2*X*(1+Ra_{eq})$$

Se adesso andiamo a confrontare i valori di P_F con i due estremi della soglia minima P_{Fmin} (Fig. 79) si nota quanto segue:

- 1) Per ciò che concerne il limite inferiore proposto di P_{Fmin} , le tre ruote che non lo rispettano sono proprio quelle che hanno scalettato; inoltre la prima ruota ad aver scalettato, ha una P_F di quasi 100kN al di sotto del valore di P_{Fmin} proposto;
- 2) Se apparentemente si potrebbe considerare sufficiente il limite minimo proposto, in realtà bisognerebbe considerare che i valori di $Ra_{eq} > 2,4 \mu\text{m}$ non sono comunque accettabili da un punto di vista normativo; inoltre se ad esempio si dichiara una rugosità $Ra_{eq} = 2,4 \mu\text{m}$ e nella realtà, vuoi perché sia stato fatto volontariamente, vuoi per problematiche di lavorazione o di misura, tale valore può non coincidere con quello reale,

Roberto Focherini
Gennaro Baglieri

si dovrebbe prendere in esame quindi la possibilità di dare delle condizioni più stringenti, come quelle espresse dal limite superiore di P_{Fmin} proposto.

Raeq	Interferenza	Ka	D	X	Pf	Pfmin @ C1=Ka*0,001
2,65	0,183	0,036	187	190	856	873
2,6	0,191	0,036	187	190	881	861
1,9	0,223	0,036	201	185	868	780
2,05	0,178	0,036	201	185	730	821
1,6	0,215	0,036	198,5	186,8	747	689
1,5	0,225	0,036	198,5	186,4	752	661

Raeq	Interferenza	Ka	D	X	Pf	Pfmin @ C2=Ka*0,0011
2,65	0,183	0,036	187	190	856	960
2,6	0,191	0,036	187	190	881	947
1,9	0,223	0,036	201	185	868	858
2,05	0,178	0,036	201	185	730	903
1,6	0,215	0,036	198,5	186,8	747	758
1,5	0,225	0,036	198,5	186,4	752	727

Figura 79

Dove $C_1 = K_A * 0,001$ e $C_2 = K_A * 0,0011$

Da tutte le considerazioni fatte si può dedurre quindi quanto segue:

- La SALA B LATO B: è la ruota che ha scalettato per prima, cioè la ruota DX della IV sala s.m.t.; aveva presumibilmente un'interferenza intorno **0,17mm** o in ogni caso al limite previsto dalla norma UIC 813 e sicuramente inferiore a quello della norma EN13260;

Roberto Foderini
Gennaro Aglieri

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012

- La SALA A LATO A: è la seconda ruota a scalettare cioè la ruota SX del I assile del primo carro; aveva un'interferenza presumibilmente pari a **0,17mm**, al limite con la norma UIC 813 e inferiore alla norma EN13260;
- La SALA A LATO B: è la terza ruota a scalettare e cioè la ruota DX della I sala del I carro; aveva un valore di interferenza presumibilmente pari a **0,18mm** e quindi di poco superiore a quanto stabilito dalla norma UIC 813 e al limite con la norma EN 13260;
- La SALA B LATO A: è la ruota SX del IV assile del I carro e non ha scalettato perché aveva un'interferenza presumibilmente pari a **0,21mm** , valore che risponde alla norma UIC 813, l'EN13260;
- La SALA C LATO A: Tale ruota non ha scalettato aveva un'interferenza presumibilmente pari a **0,20mm**, valore che rispetta sia la norma UIC 813 che l'EN13260; si rammenta che questa sala montata ha sicuramente ricevuto meno sollecitazioni rispetto alle altre due, in quanto facente parte del 4° carro s.m.t.;
- La SALA C LATO B: Tale ruota non ha scalettato aveva un'interferenza presumibilmente pari a **0,21mm** , valore che rispetta sia la norma UIC 813 che l'EN13260; si rammenta che questa sala montata ha sicuramente ricevuto meno sollecitazioni rispetto alle altre due, in quanto facente parte del 4° carro s.m.t. .

Roberto Fodherini
Gennaro Bagliarini

-----CONSIDERAZIONI-----

Considerando ora tutti e 34 gli accoppiamenti ruote/assili che non rispettavano le norme (fig.3 e fig.52) o erano al limite con esse, considerando le migliaia di carri di RCA ritirati dalla circolazione, risulta difficile pensare che ÖBB Ts non abbia, con coscienza e volontà, cercato in tutti i modi di calettare le ruote dei carri con bassi valori di interferenza.

E' possibile che in tutto ciò ci sia un ritorno economico e cioè quello di avere degli assili a vita "infinita". Utilizzare un'interferenza elevata può produrre delle maggiori lesioni sull'assile quando si effettua l'operazione di ricalcamento; quindi, invece di aumentare l'interferenza e ridurre la rugosità, ÖBB Ts ha preferito diminuire l'interferenza e aumentare la rugosità; qui entra in gioco la Loctite, in quanto col Molycot sarebbe impossibile per le sue caratteristiche calettare a 0,16mm - 0,18mm perché ha altre caratteristiche fisiche. Dov'è il vantaggio? La rugosità è dell'ordine dei **µm** mentre l'interferenza è dell'ordine dei **decimi di mm**, quindi una differenza di 2 ordini di grandezza, cioè 100 volte inferiore. Se paradossalmente quando si ricalca l'assile si dovesse ritornire in modo tale da rifare solo la rugosità, sarebbe sufficiente una lavorazione dell'ordine dei 10 **µm**; ciò permetterebbe di riutilizzare l'assile molte più volte. Considerando che solitamente in un carro ci sono 4 assili, che il costo di un assile dell'ordine di 1250€ e ipotizzando un parco di carri dell'ordine di 20000 carri, il vantaggio nel non sostituire un assile nuovo su tutti i carri genera un utile U dell'ordine:

$$U=4*1250*20000=100M€$$

Cioè un utile dell'ordine di 100 milioni di euro.

Da quanto detto in precedenza è emerso , quindi, quanto segue:

- calettare con valori di interferenza bassi o addirittura sotto norma era una prassi;

Roberto Foderini
Gennaro Aglieri

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012

- il lubrificante “Loctite” impiegato obbligava il manutentore ad utilizzare livelli bassi di interferenza; ma è anche vero il contrario e cioè che la scelta da parte di Öbb Ts di avere bassi livelli di interferenza obbligava il manutentore ad utilizzare un lubrificante aventi le caratteristiche della Loctite;
- era una prassi calettare con una pressione massima di caletto tale da verificare, in pratica, una soglia minima di tale pressione (facendo riferimento alla norma UIC813) avente $a_{\min}=4$ (prassi non rispettata nel caso dell’incidente);
- era una prassi calettare con valori di rugosità posti sulla soglia definita dalle norme UIC 811 e dalla EN13661 e con valori di rugosità Ra, sull’assile, nella zona di caletto, probabilmente pari a $Ra \approx 1,8 \mu\text{m}$ e comunque contenuti nell’intervallo: $1,6 \mu\text{m} \leq Ra \leq 3,2 \mu\text{m}$ e con valori di Ra sul mozzo della ruota pari a $Ra \approx 3,5 \mu\text{m}$ e comunque contenuti nell’intervallo: $2,0 \mu\text{m} \leq Ra \leq 4,0 \mu\text{m}$;
- Possibile tolleranza in fase di tornitura del mozzo della ruota e dell’assile nella zona di caletto di circa $0,1 \mu\text{m}$ che ha prodotto una rugosità leggermente diversa anche tra ruote calettate sullo stesso assile;
- a parità di P_F , una variazione dell’ordine di $1/10$ di μm sulla rugosità sembra essere equivalente a una variazione dell’ordine di $1/100$ di mm di interferenza sul diagramma di caletto;
- a parità di rugosità, una variazione di 100kN di P_F sul diagramma di caletto equivale ad un aumento dell’interferenza dell’ordine di $1/100$ di mm;
- la tenuta dell’assemblaggio tra la ruota e l’assile è determinata “in primis” dall’interferenza che si interpone tra le due superfici di caletto;
- un possibile ritorno economico nell’utilizzo di tali procedure di caletto al limite normativo;
- carenze normative sia per la UIC 813 che per la EN 13260.

Roberto Forchioni
Gennaro Magliani

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012

4.2.7 Considerazioni sulla temperatura dei freni e delle ruote

Come già accennato, la temperatura dei freni delle 4 ruote di SX del primo carro era compresa tra 224°C e 256°C al Posto di Controllo sito 4 km prima della stazione di Fortezza.

Per quello che concerne il punto di rilevamento della temperatura sulla ruota effettuato al PdC di Fortezza, esso è stato fatto non nel punto di contatto ceppo-ruota, ma sul bordo della ruota come da fig.76 (modello Ducati a 4 moduli, due interni e due esterni alla rotaia), questo significa che la temperatura a Fortezza nel punto di contatto con i ceppi freno era più alta, di almeno 50°C.

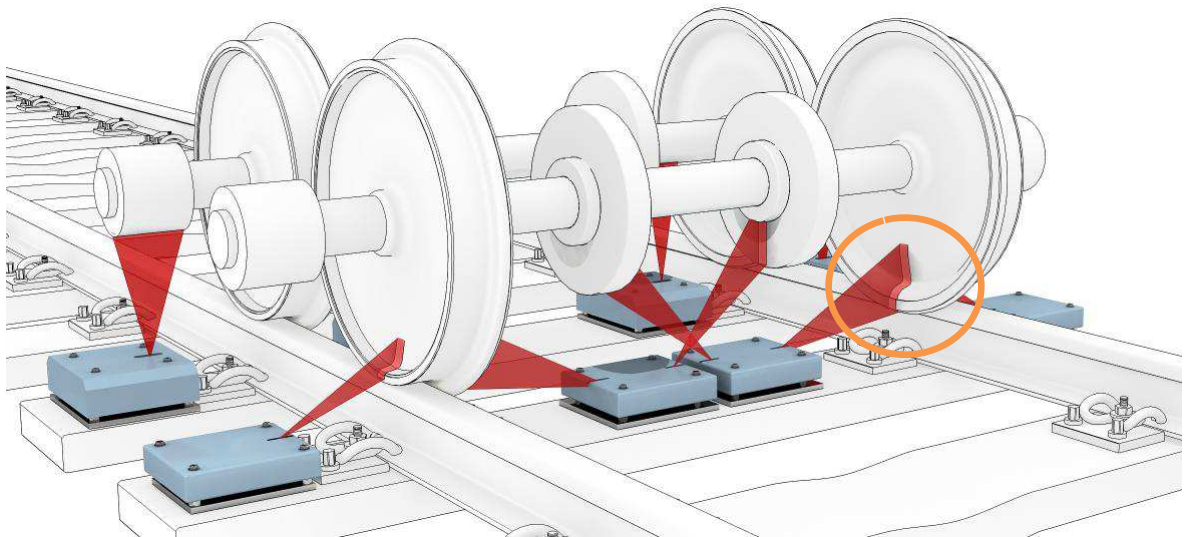


Figura 80

Superata Fortezza, le ruote hanno continuato a surriscaldarsi a causa delle continue frenate dato che la linea fino a Bressanone, e cioè per ulteriori 10 km, presenta una **pendenza del 23%** (all.16).

A Bressanone è stata rilevata su una controrotaia (fig. 81) e in altri punti dell'infrastruttura la presenza di un deposito metallico appartenente ad una delle ruote (probabilmente la ruota SX del 4° assile del I carro s.m.t.). Tale deposito metallico, che aveva un color "ciano", è significativo in quanto si è raffreddato molto velocemente e ciò fornisce un'indicazione abbastanza precisa sulle

Roberto Folchini
Gennaro Aglieri

possibili temperature raggiunte dalle ruote al momento dell'incidente, colore che è lo stesso di quello rilevato su altre ruote (fig.82). Il colore del metallo esposto a riscaldamento è dato dallo spessore dell'ossido che si crea sul metallo stesso; in tal caso è ragionevole pensare che la superficie di rotolamento delle ruote del I carro, al momento dello svio fosse compresa tra 330°C e 270°C (fig.83).



Figura 81



Figura 82 – ruota SX del IV assile

Roberto Folchini
Gennaro Baffari

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012

Colorazioni da ossidazione (*)	Temp.[°C]	Colorazioni da incandescenza	Temp.[°C]
Grigio scuro	427	Fusione:	1500
Ampio "buco" senza variazioni significative di colore	---	Inizio scintille	1400
Blu/grigio leggero	330	Bianco	1200
Blu/grigio	320	Giallo chiaro	1100
Blu chiaro	310	Giallo	1050
Blu	300	Arancione chiaro	990
Blu/Viola	290	Arancione	930
Viola scuro	280	Rosso chiaro	870
Violetto	270	Rosso acceso	840
Giallo rossastro	260	Rosso arancione	810
Marroncino	250	Rosso ciliegia	770
Marroncino chiaro	240	Inizio della transizione di fase verso l'austenite, siamo in zona "Curie"	---
Giallo oro	230	Rosso ciliegia scuro	700
Giallo chiaro	220	Rosso sangue	650
Paglierino	210	Rosso scuro	600
Paglierino tenue	200	Grigio nero rossastro	550
		Grigio rosso	500

Figura 83

Tali alte temperature hanno comportato lo scrostamento della vernice oltre i 5cm dalla superficie di rotolamento come dalle figg. 84 e 85 (ruota SX del IV assile).



Figura 84 – ruota SX del IV assile



Figura 85 – ruota SX del IV assile

Roberto Follierini
Gennaro Anfieri

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012

Come già accennato, il treno al Posto di Controllo ubicato a 4 km da Fortezza aveva la ruota SX del 4° assile del I carro ad una temperatura sul bordo di 256°C, questo significa che se si tenesse conto, ad esempio, dei regolamenti delle ferrovie svizzere FFS (all. 61) il treno stava viaggiando in una condizione di pericolo per la sicurezza e avrebbe dovuto essere fermato a Fortezza al fine di espletare i controlli atti a verificare la possibilità di proseguo della sua marcia. Per ciò che riguarda i ceppi dei freni, tenendo conto di ciò che ha dichiarato di aver visto, a Bressanone, il testimone 2 (all.10), che ha notato: “*il primo vagone con le pasticche dei freni rosse e un vistoso fumo bianco*” sul lato SX s.m.t., si potrebbe ipotizzare che tali ceppi abbiano raggiunto temperature prossime ai 600°C.

4.2.8 Considerazioni sul personale di condotta RTC

Si è rilevato che il treno è partito dal Brennero con un ritardo 38min., infatti, dalla scheda treno fig.86, risulta che il treno sarebbe dovuto partire dal Brennero alle 10:43 e arrivare a Bressanone alle 11:36, mentre dal Teloc (figg. 87 e 88) risulta che esso è partito alle 11:11 ed è arrivato a Bressanone alle 11:57, quindi sostanzialmente ha impiegato 46min invece di 53min, 7 minuti meno del previsto, superando anche in un punto (fig. 88), di poco, il limite massimo di velocità.

Roberto Focherini
Gennaro Baglieri

Scheda Treno											
Fascicolo Linee 42 43 46 29		Treno 44213/		Scheda n° 1/4		Sigla di Composizione M120A P80%					
Validità Dal: 13.01.12 Al: 10.06.12		Termine Scheda BRESCIA SCALO		Da: BRENNERO A: Cippo Km 146.000							
Classificazione EUC		Prestazione 1550t		Lunghezza		Int. alla Sigla EU43		RSC9 SCMT			
Grado di frenatura	Binario L/S	Vel. Max.	Vel. Marc.	Prog. Km.	Località	Orario	Binario ILLD	Vel. Max.	sx	Simbologia	dx
VII	55	55		238.711	° BRENNERO.....	10.11	55				
	80	80		238.197	Dev. U.		80				
				237.827	SI COD Km237.827						
				235.156	V.COD Km 235.156						
				234.387	* P.C.Terne Bren.	10.50					
				229.798	* P.C.Fleres	10.54					
	75	75		224.000	Cippo Km 224.000		75				
				223.157	° Colle Isarco	11.02					
II	95	95		217.358	Vipiteno	11.08	95				
VII	80	80		212.436	Campo di Trens	11.12	80				
	75	75		205.662	Le Cave	11.19	75				
				196.540	° FORTEZZA	11.26					
	80	80		194.000	Cippo Km 194.000		80				
V	100	100		186.363	Bressanone	11.36	100				

Figura 86

Device: Hasler TELOC15		07.06.2012	
Memory typ: stm	ID: RTC	Wheel diameter: 1045	Vehicle type: EU43
Configuration name: EU43_C02	Distance counter: 424101 km	Serial Number: 07061480	Vehicle ID: 001
Time from: 06/06/12 11:05:29	Time to: 06/06/12 11:35:29		

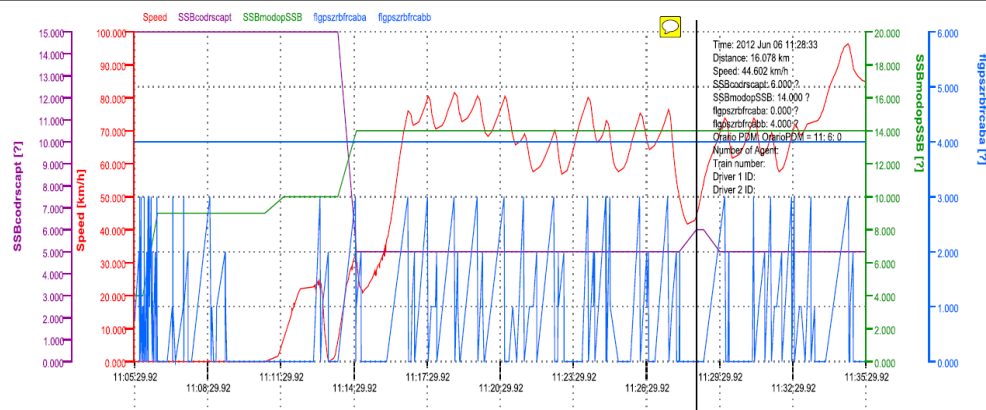


Figura 87

Device: Hasler TELOC15		07.06.2012	
Memory typ: stm	ID: RTC	Wheel diameter: 1045	Vehicle type: EU43
Configuration name: EU43_C02	Distance counter: 424101 km	Serial Number: 07061480	Vehicle ID: 001
Time from: 06/06/12 11:35:29	Time to: 06/06/12 12:05:29		

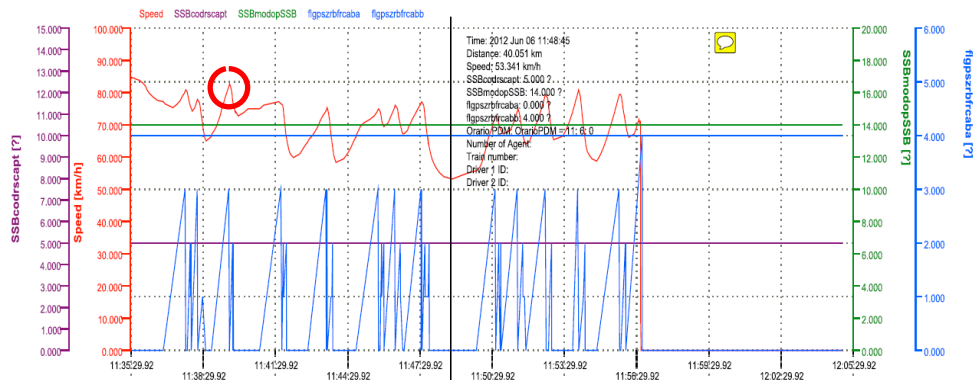


Figura 88

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012

Roberto Foderini
Germano Bagnari

4.2.9 Considerazioni sul peso dei carri

Il peso del materiale trasportato dai carri ha contribuito a generare, in fase di discesa dal Brennero, quelle forze necessarie a provocare lo scalettamento delle ruote. Lo spostamento dei pesi del carro e le forze centripete che si generano in curva, sui bordini delle ruote, hanno prodotto delle forze parallele all'assile agevolando lo scorrimento della ruota sull'assile stesso (fig 89). C'è da puntualizzare, però, che se il calettamento delle ruote fosse stato effettuato "ad arte" o con un minimo margine rispetto al limite normativo, il deragliamento del treno in oggetto non sarebbe mai avvenuto.

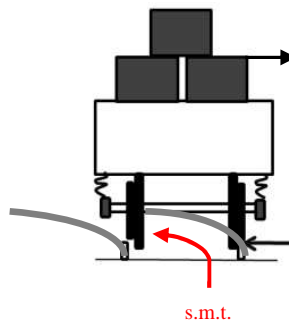


Figura 89

Roberto Folchini
Gennaro Baglieri

4.2.10 Considerazioni sulla frenatura disomogenea SX-DX

Si cercherà nel seguito di spiegare perché la forte differenza di frenatura tra le ruote SX e DX nella I e della IV sala del primo carro ha rappresentato una concausa, seppur lieve, nello svio. Innanzi tutto c'è da dire che la differenza di temperatura tra il lato SX e DX delle due sale produce una differenza di frenatura tra le due ruote e quindi di forze agenti sulle ruote stesse. In conseguenza si genera una coppia di forze che porta a ruotare in senso antiorario i 2 carrelli del primo carro; se le sale montate fossero state calettate "ad arte" questo non sarebbe stato un problema, visto che si tratta fenomeni che si riscontrano con una certa frequenza; nel caso presente, tali forze si sono generate andando a favorire lo scalettamento di una delle due ruote dell'assile. La ruota che tenderà a scalettare per prima tra quella del lato SX e quella del lato DX, sarà quella col peggior valore di interferenza e col peggior diagramma di caletto (ruota rossa in fig.90).

Al riguardo c'è da dire che, per le ruote della I sala, ove si è rilevato un ΔT di **48C°** (al PdC di Fortezza - 14 km prima di Bressanone all.41), si aveva:

- lato SX: temp 224°C al PdC di Fortezza (14 km prima di Bressanone)
interferenza: 0,16mm circa (dati Lucchini)
massima forza di caletto: 856,3kN (allegato 46a)
- lato DX: temp:176°C al PdC di Fortezza(14 km prima di Bressanone)
interferenza: 0,18mm circa (dati Lucchini)
massima forza di caletto: 880,9kN (allegato 46a)

e per quelle della IV sala, ove si è rilevato un ΔT di **64C°** (al PdC di Fortezza - 14 km prima di Bressanone all.41), si aveva:

- lato SX: temp 256°C al PdC di Fortezza (14 km prima di Bressanone)
interferenza: 0,24mm circa (dati Lucchini)
massima forza di caletto: 867,8kN (allegato 46b)
- lato DX: temp:192°C al PdC di Fortezza(14 km prima di Bressanone)
interferenza: 0,18mm circa (dato Zos)
massima forza di caletto: 729,9kN (allegato 46b)

Quindi:

- il primo scalettamento sulla I sala è stato generato dalla ruota SX, mentre la ruota DX è rimasta temporaneamente unita all'assile;
- il primo scalettamento sulla IV sala è stato generato dalla ruota DX, mentre la ruota SX è rimasta unita all'assile e non ha scalettato a causa del suo buon valore di interferenza, che è risultato a norma.

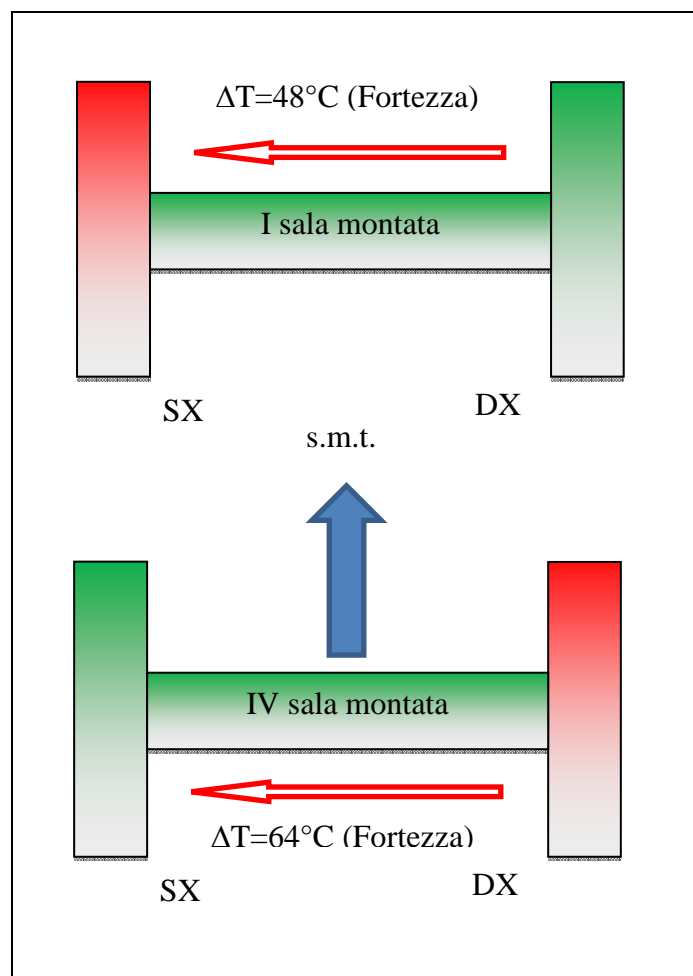


Figura 90

Per ciò che concerne le temperature elevate rilevate sul lato SX del primo carro e la differenza di temperatura rilevata tra i lati SX e DX del I carro, sono da farsi tre osservazioni:

- 1) come si può constatare dall' all.62, poco prima dell'incidente, il 24/5/2012 è stato effettuato il cambio dei ceppi dei freni del primo carro. Ceppi che sono stati cambiati quindi qualche giorno prima dell'incidente;
- 2) la timoneria dei freni non correttamente registrata, ha prodotto una differenza di frenatura tra i lati SX e DX del carro;
- 3) **il carro era il primo del convoglio**, cioè il primo a sentire l'onda di depressione sui freni e quindi quello ad essere destinato a frenare di più rispetto agli altri carri.

In conclusione, quindi, il fatto di avere dei ceppi nuovi, una timoneria dei freni non correttamente registrata e il fatto che carro fosse il primo del convoglio ha prodotto, da una parte, il surriscaldamento delle ruote di SX del carro e, dall'altra, una notevole differenza di frenatura tra ruote SX e DX del primo carro.

4.3 Conclusioni

4.3.1 Cause dirette ed immediate dell'evento, comprese le concause riferibili ad azioni delle persone coinvolte o alle condizioni del materiale rotabile o degli impianti tecnici

- **Causa diretta** dell'incidente è lo scalettamento di 2 ruote del 1° assile s.m.t. del primo carro e di una ruota del 4° assile s.m.t. del primo carro in composizione al treno 44213 di RTC del 6/06/2012. Verosimilmente la prima ruota ad aver scalettato è stata la ruota destra della IV sala montata s.m.t. del I carro. Tali scalettamenti sono dovuti, sostanzialmente, a problematiche inerenti i bassi valori di interferenza utilizzati.
- **Concause circostanziali** (hanno tutte agito marginalmente): c'è da dire che la manutenzione (IS3) del I assile del I carro è avvenuta il 6-7-2011 (all. 46a) , mentre quella del IV assile del I carro l'8-10-2010 (all.46b) , se l'interferenza fosse stata l'unica causa, il carro avrebbe sviato prima del 6-6-2012. Le seguenti concause circostanziali, se da una parte hanno generato delle condizioni sfavorevoli, dall'altra, si ricorda che sono condizioni routinarie che si sviluppano costantemente sulla tratta Brennero-Bressanone senza generare alcuno svio. Tali concause che, quindi, non hanno determinato le vere motivazioni dello svio, ma hanno contribuito a determinare il luogo e il momento in cui esso è avvenuto, vengono di seguito riportate:

- il surriscaldamento delle ruote: già 4 Km prima di Fortezza sono state rilevate temperature sul primo carro lato SX $> 250^{\circ}\text{C}$ e ciò come mostra il regolamento delle ferrovie svizzere FFS (all. 61) genera una condizione di allarme che avrebbe dovuto portare all'arresto del treno già a Fortezza come si evince dalle procedure a tal riguardo

dell'allegato in questione; la circostanza potrebbe aver agevolato lo svio della ruota SX della IV sala del I carro, come conseguenza delle modificate condizioni di aderenza e/o di geometria della ruota;

- il funzionamento non omogeneo del sistema frenante: presumibilmente causato da una timoneria dei freni del I carro non correttamente registrata;
- la presenza di carri a pieno carico;
- la tipologia del tracciato con presenza di curve ed elevato dislivello;
- il fatto che il carro che ha generato lo svio del treno fosse il primo in composizione s.m.t.;

Roberto Foderini
Gennaro Bagliani

4.3.2 Cause indirette riferibili alle competenze, alle procedure ed alla Manutenzione

Tra le **cause indirette** per quanto concerne:

- la **manutenzione del materiale rotabile**: la ZOS Trnava, nel calettamento della sala 331850 ha certificato un valore di interferenza, per i due accoppiamenti, pari a 0,16 mm, valore inferiore a quello previsto dalle norme di assemblaggio (minimo previsto, in tali condizioni, 0,167 mm). Si fa presente che, al momento in cui è stata effettuata la manutenzione degli assili, ZOS adottava un sistema di misura con precisione al 1/100 di mm. Dal gennaio 2013 ZOS ha adottato un sistema di misura con precisione fino al 1/1000 di mm;

- la **manutenzione del materiale rotabile**: l'utilizzo del lubrificante "Loctite" si è mostrato essere non una causa diretta dello svio, ma una causa indiretta dello svio e adesso si cercherà di spiegare il perchè di tutto questo. Da quanto è risultato dagli incontri effettuati presso ZOS e dai vari diagrammi di caletto forniti (all.60) la Loctite permette di calettare con valori di interferenza orientativamente compresi tra 0,16mm e 0,24mm, mentre il Molycot tra 0,24mm e 0,32mm questo a causa della diversità chimico-fisica dei due componenti e probabilmente per la loro differente viscosità. Tutto ciò ha portato ad effettuare dei calettamenti con **valori di interferenza molto bassi che sono la vera causa degli scalettamenti**. Quindi la Loctite non risulta essere pericolosa di per sé, ma lo può diventare in quanto causa indiretta di un calettamento a bassa interferenza. Col Molycot questo problema non si pone, in quanto tutto il "range" di interferenza (0,24 mm - 0,32 mm) di utilizzo del lubrificante si trova sopra al valore minimo di interferenza dato dalle normative e con ampio margine;

- **la manutenzione del materiale rotabile:** la ZOS Trnava calettava le ruote utilizzando una rugosità (Ra) nella zona di caletto al limite delle norme (UIC 811 e EN13661) come richiesto contrattualmente dal committente ÖBB TS, se non leggermente sopra tale limite ($Ra \approx 1,8 \mu\text{m}$ per gli assili 331850 e 325584 e $Ra \approx 3,5 \mu\text{m}$ per le ruote dell' assile 331850), producendo "un mascheramento" di eventuali problematiche nel diagramma di caletto, che sarebbero emerse utilizzando rugosità inferiori, portando probabilmente a scartare tali accoppiamenti. Questa non conformità con le norme, è stata riscontrata anche nella sala montata D n. 121553 (all. 46-d) che sarebbe la 3^a sala del I carro s.m.t, calettata il 26-07-2006 da SZ Centralne Delavnice presso l'officina di Ptuj, in Slovenia; in questo caso si è **certificato** un valore di rugosità sull'assile nella zona di caletto di $Ra=2,0\mu\text{m}$ per la ruota SX e $Ra=2,1\mu\text{m}$ per la ruota DX. quando, invece, le pre-dette norme indicano un valore di $Ra \leq 1,6\mu\text{m}$;
- le **procedure:** è stata rilevata la non conformità alle norme di riferimento delle istruzioni fornite da ÖBB all'officina ZOS per l'assemblaggio delle sale montate;
- le **procedure:** la rilevazione della temperatura dei freni a ceppi non genera alcun allarme per temperature maggiori di 250°C , come invece viene attualmente applicato in Svizzera (vedere regolamento FFS 50099 - all.61).

4.3.3 Cause a monte riferibili alle condizioni del quadro normativo ed all'applicazione del sistema di gestione della sicurezza

Per ciò che concerne le **cause a monte**, per quanto riferibili al **quadro normativo**, c'è da evidenziare:

- una carenza normativa sulla certificazione dei lubrificanti da impiegare nelle operazioni di calettamento degli assili alle ruote;
- una inadeguatezza normativa della norma **UIC 813** in quanto due ruote sono scalettate dai relativi assili nonostante le dimensioni rilevate fossero comunque entro i limiti imposti. E' stata rilevata un'inadeguatezza di tale norma, sia per ciò che concerne **il valore minimo di interferenza** ammessa, sia per ciò che concerne **la soglia minima del valore della massima forza** esercitata in fase di caletto. Al riguardo, non si escludono anche delle inadeguatezze della UNI EN13260.

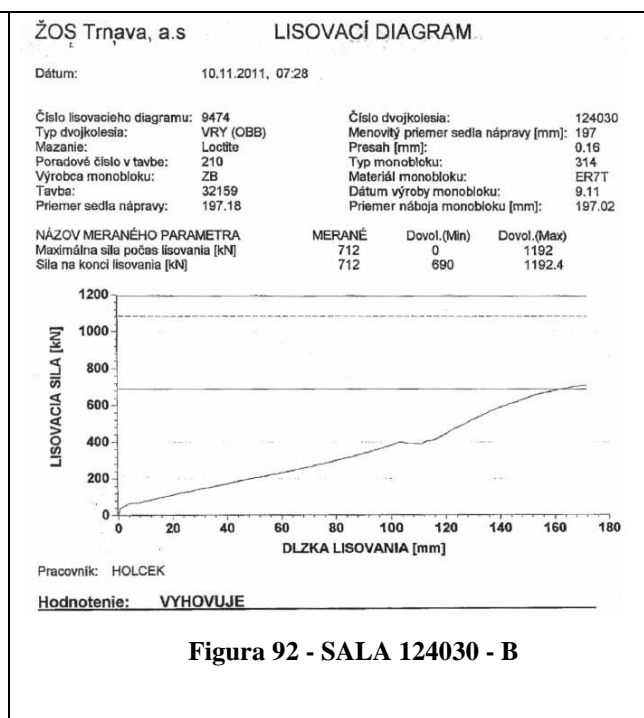
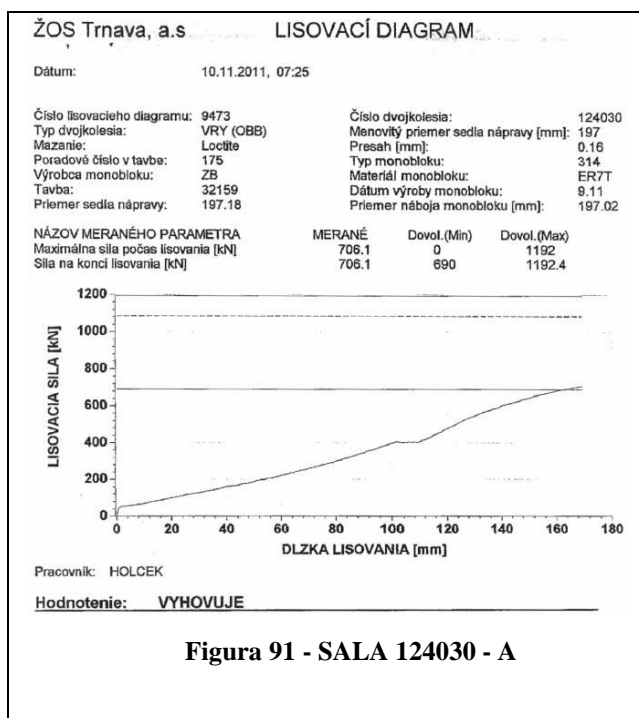
4.4 Osservazioni aggiuntive

4.4.1 Carenze rilevate durante l'indagine, ma non pertinenti ai fini della determinazione delle cause

- A seguito della visita presso ZOS, ove sono stati visionati anche diagrammi di sale montate non facenti parte del treno oggetto dello svio (all.60), è stato rilevato che molte sale montate venivano calettate per ÖBB, sempre con la Loctite, con bassi valori di interferenza e forza massima di caletto. Tale problematica è indirettamente collegata con le cause dello svio in oggetto e col fatto che ÖBB dopo l'incidente di Bressanone ha ritirato circa 2000 carri dalla circolazione.

In particolare si è rilevato che la sala montata 124030 (all.49), non appartenente al treno oggetto dello svio, che ha effettuato manutenzione in ZOS il 10-11-2011 mostra in maniera marcata il pericolo che tale sala montata possa generare un doppio scalettamento, sia per il basso valore dell'interferenza (0,16mm) (non conforme né con l'UIC813, né con l'EN 13260) dei due accoppiamenti ruota/assile, sia per il basso valore della massima forza di caletto misurata (706.1kN e 712kN su una soglia minima di 690kN). Si riportano di seguito i diagrammi di caletto delle due ruote di questa sala montata (figg.91 e 92).

Roberto Folbenini
Gennaro Anfani



- La rugosità della sala D n. 121553 (all. 46-d) che sarebbe la 3^a sala del I carro s.m.t, calettata il 26-07-2006, presso Ptui in Slovenia, dall'officina di SZ Centralne Delavnice non era conforme né con le norme UIC 811, né con le norme EN 13261 in quanto si è dichiarato un valore di rugosità sull'assile nella zona di caletto di Ra=2,0µm per la ruota SX e Ra=2,1µm per la ruota DX quando, invece, le dette norme indicano che Ra≤1,6µm. Inoltre la rugosità della ruota non è stata riportata nei fogli di lavorazione. Si nota, infine che anche se l'officina che ha effettuato il calettamento delle ruote è diversa da quella della sala A,B e C, il cliente della lavorazione è sempre il medesimo: ÖBB.

4.5 Provvedimenti adottati. Resoconto dei provvedimenti già presi o adottati successivamente all'evento

A seguito dell'incidente l'ANSF, con nota prot. n. 04718/12 del 26/06/2012 (già allegato n. 15), ha invitato le IF e RFI, in quanto responsabili della propria parte di sistema e del relativo funzionamento, giusto quanto previsto dal D. Lgs. n. 162/2007, a disporre una intensificazione mirata dei controlli da esperire sui carri che avessero subito interventi di manutenzione presso l'officina ZOS di Trnava.

Inoltre, con successiva nota prot. n. 07299/12 del 27/09/2012 (allegato n. 47), la stessa Agenzia ha disposto con effetto immediato che le IF e RFI, sempre in attuazione del medesimo disposto, "accettino, in composizione ai propri treni, carri con assili le cui ruote siano state calettate nella officina sopracitata solo dopo aver avuto evidenza tracciabile, dal soggetto responsabile della manutenzione di ciascun carro, che il calettamento delle ruote sia stato effettuato nel rispetto delle normative e delle regole di manutenzione di riferimento, con particolare riguardo ai valori di interferenza per il calettamento degli assili nelle ruote".

La scrivente Commissione ha richiesto a ÖBB TS, la documentazione inerente i 2000 carri ritirati dalla circolazione a seguito del Warning lanciato da ANSF dopo l'incidente di Bressanone.

In particolare la richiesta si riferiva all'acquisizione di notizie in merito a:

- 1) I diagrammi di caletto
- 2) I valori dell'interferenza di ogni accoppiamento ruota-assile
- 3) Il tipo di lubrificante impiegato in ogni accoppiamento ruota-assile.

ÖBB non ha ritenuto di permettere l'accesso a tale documentazione, negando ogni possibile collaborazione.

A seguito dell' incidente ZOS Trnava, per ridurre gli errori di misura, ha adottato una strumentazione di misura per il calcolo dell'interferenza che ha una precisione di 1/1000 di mm e non di 1/100 di mm come era in precedenza.

Inoltre, sempre a seguito del presente incidente, ÖBB TS ha modificato le condizioni contrattuali con ZOS Trnava permettendo a questa l'impiego anche del Molycot quale lubrificante e non solo della Loctite 232, come previsto in precedenza, il cui utilizzo obbligava, a detta degli stessi tecnici della ZOS, a calettare le sale montate con valori di interferenza prossimi alla soglia inferiore minima consentita dalla norma UIC 813.

4.6 Raccomandazioni

- 1) L'ANSF valuti la possibilità di inibire la circolazione su tutto il territorio nazionale di tutti (o di parte de) i carri merci che abbiano subito interventi manutentivi anteriormente alla data del 21/12/2012 avendo come ECM o impresa di manutenzione la ÖBB TS; ciò in quanto, solo a partire da questa data tale Impresa ha emanato disposizioni operative, relativamente alla manutenzione ed all'assemblaggio di sale montate, che rispondono alla norma EN 12360. Sino a quella data era stato previsto da ÖBB TS un controllo che teneva conto del solo andamento del diagramma di calettamento, per verificarne la rispondenza alle norma UIC 813; non veniva effettuata alcuna verifica sul valore dell'interferenza, come previsto dalla stessa norma UIC 813. L'ANSF valuterà la possibilità di estendere tale previsione anche ai carri di altre Imprese/Detentori che potrebbero avere utilizzato simili metodiche di assemblaggio ruote-assili.

- 2) A seguito del fatto che in occasione della visita presso ZOS sono stati visionati anche diagrammi di altre sale montate, calettate per ÖBB sempre con la Loctite, aventi bassi valori di interferenza e bassa forza massima di caletto, **si raccomanda all'ANSF** di disporre che:
 - la sala montata **124030** che ha effettuato manutenzione in ZOS il 10-11-2011 sia tolta dalla circolazione internazionale, qualora non sia già stato fatto, in quanto entrambe le ruote di questa sala montata, mostrano un pericolo di un doppio scalettamento, dovuto alla mancata ottemperanza della UIC 813 (vedere cap. 4.4.1);

 - le sale montate **5846, 5957, 3530, 24222, 43941, 120205, 122940, 124549, 120474, 120577, 121159, 124393, 126697, 128225, 119283,**

116714, 125697 siano tolte dalla circolazione internazionale, qualora non sia già stato fatto, in quanto mostrano valori di interferenza non conformi con UIC 813;

- si valuti di togliere dalla circolazione internazionale la sala **43695** e **72619** in quanto sono di poco conformi alla UIC 813 ma non alla EN13260.

- 3) Si raccomanda l'**ANSF di inibire** la circolazione di tutti i vagoni e carri ferroviari aventi sale montate (quale che sia la data dell'ultima manutenzione IS3) che non rispondano alle indicazioni di calettamento a freddo date dall' EN 13260 (cap.3.1.2.) aventi, quindi, accoppiamenti ruota/assile con interferenza $J < 0,0010 * dm$, **dove dm rappresenta il diametro nominale dell'accoppiamento in millimetri**, in quanto le indicazioni fornite dalla norma UIC 813 si sono dimostrate inadeguate dal un punto di vista della sicurezza.
- 4) Posto che dalle evidenze tecniche dell'indagine, si è riscontrato il fenomeno dello scalettamento in corrispondenza di valori di interferenza, certificati e/o rilevati sostanzialmente non rispondenti alle prescrizioni della norma UIC 813 o al limite con i valori delle soglie minime definite da tale normativa (come risulta dalle misure effettuate presso Lucchini RS), **si raccomanda** all' ANSF, all' UIC e al CEN **di valutare** l'opportunità di aumentare la tolleranza minima di interferenza nel calettamento a freddo delle sale montate , come attualmente stabilito dalle norme UIC 813 (Annexe A1) ed EN 13260 (cap. 3.1.2.) , portandola a valori $J_{min} = 0,0011 * dm$, **dove dm rappresenta il diametro nominale dell'accoppiamento in millimetri**. Questo in quanto il rispetto letterale minimo dei valori forniti dalle norme possono riflettersi in maniera negativa sui margini di sicurezza.

- 5) Si raccomanda all' ANSF, all' UIC e al CEN, al fine di evitare scalettamenti di ruote e "mascheramenti" dei diagrammi di caletto dovuti a elevati valori di rugosità, che nelle operazioni di calettamento a freddo, sia verificata la condizione tale per cui:

$$P_F \geq 3,6 \cdot 10^{-5} \cdot dm^2 \cdot X \cdot (1 + Ra_{eq})$$

dove:

P_F è la forza massima di caletto in kN

dm è il diametro nominale dell'accoppiamento in millimetri

Ra_{eq} è la media della rugosità della ruota e dell'assile nella zona di caletto espressa in μm

X è la portata di caletto in mm

o in alternativa la seguente condizione più semplificativa:

$$P_F \geq \frac{4}{3} \cdot dm \cdot (1 + Ra_{eq})$$

e di valutare l'opportunità che la soglia minima della forza di caletto P_{Fmin} sia contenuta nel seguente intervallo:

$$3,6 \cdot 10^{-5} \cdot dm^2 \cdot X \cdot (1 + Ra_{eq}) \leq P_{Fmin} \leq 4 \cdot 10^{-5} \cdot dm^2 \cdot X \cdot (1 + Ra_{eq})$$

o in alternativa la seguente condizione più semplificativa:

$$\frac{4}{3} \cdot dm \cdot (1 + Ra_{eq}) \leq P_{Fmin} \leq \frac{3}{2} \cdot dm \cdot (1 + Ra_{eq})$$

6) Si raccomanda l' ANSF di:

- di raccomandare all'UIC di aumentare la soglia minima, definita nel diagramma di caletto, del massimo valore della forza di caletto a freddo per ciò che concerne la norma UIC 813(cap.5.2.3.3.5.), ponendo quindi, per le ruote monoblocco del materiale rimorchiato, almeno $a_{\min} \geq 4$ per qualsiasi lubrificante. Dove "a_{min}" è il minimo di un coefficiente che determina il valore di detta soglia in quanto $P_{F\min} = a_{\min} \cdot D$ dove "D" è il diametro nominale dell'accoppiamento in millimetri;
- di raccomandare al CEN di aumentare la soglia minima della forza finale di caletto a freddo come attualmente stabilito dalla norma EN13260 (cap. 3.1.3.1), ponendo quindi almeno $F_{\min} \geq 1,00 \cdot F$, dove F è definito dalla norma EN13260 cap.3.2.1.

Tutto ciò in quanto il rispetto letterale minimo dei valori forniti dalle norme possono riflettersi in maniera negativa sui margini di sicurezza.

- 7) Si raccomanda all' ANSF di disporre affinché venga prevista, a livello comunitario, una certificazione di omologazione anche per i lubrificanti da impiegarsi nelle operazioni di calettamento.
- 8) Si raccomanda all' ANSF di valutare la possibilità di inibire la circolazione su tutto il territorio nazionale di tutti i carri, in proprietà di qualsiasi impresa ferroviaria, che abbiano delle sale montate i cui assili siano stati calettati a freddo impiegando quale lubrificante la "Loctite 232", in concomitanza a valori di interferenza o di massima forza di caletto ai limiti inferiori rispetto alle norme vigenti e di lanciare in proposito un "warning" a livello europeo.
- 9) Si raccomanda all' ANSF di valutare la possibilità di ridefinire la soglia di allarme per il surriscaldamento dei freni a ceppi, determinata dai dispositivi a terra di Rilevazione Temperatura Freni, portandola a valori

di $T=250^{\circ}\text{C}$ e che l'operatore della circolazione disponga l'arresto immediato del treno disponendo il segnale a via impedita o avvisando direttamente l'agente di condotta, quando possibile.

- 10) Si raccomanda all' **ANSF** che si adoperi affinché nella azione di definizione di un quadro normativo europeo per la manutenzione, evidenzi la necessità che nelle operazioni di calettamento vengano, obbligatoriamente, riportati, nei relativi diagrammi, i valori di rugosità **Ra** sia del mozzo della ruota che della zona di caletto dell'assile, e che tale valore di **Ra** sia frutto di misurazioni.

5 RINGRAZIAMENTI

Per la massima collaborazione e disponibilità offerte durante lo svolgimento delle indagini, si ringraziano :

- gli ingg. Fabrizio D'Errico e Roberto Lucani
- per la Polfer, il commissario Capo Serena Russo e il Sovrintendente Mauro Monti
- gli ingg. Diego Miglioranzi e Andrea Bracciali per RTC
- l'ing. Botti Giorgio per RFI
- il NIB austriaco, ed in particolare il Direttore Peter Urbanek
- il NIB slovacco, ed in particolare il Direttore Mikulas Sedlak
- il consolato Italiano in Slovacchia ed in particolare il dott. Roberto Rizzo e la sig.ra Dalila Cereova

Non si ringrazia il Direttore Generale Marco Pittaluga che ha ostacolato, abusando della propria autorità, lo svolgimento delle indagini, procrastinando la consegna della relazione.

6 ABBREVIAZIONI E SIGLE

ANSF	Agenzia Nazionale per la Sicurezza delle Ferrovie
DCO	Dirigente Centrale Operativo
DGIF	Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
DM	Dirigente del Movimento
GI	Gestore dell' Infrastruttura
IF	Impresa Ferroviaria
SCMT	Sistema di Controllo Marcia Treno
RTC	Rail Traction Company
ÖBB	Österreichische Bundes Bahn
UIC	Unione Internazionale delle Ferrovie
NIB	National Investigation Body
smt	Senso marcia treno
CEN	Comitato Europeo di Normazione
c.a.p.	Calcestruzzo Armato Precompresso

*Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012*

*Roberto Forchioni
Gennaro Aglieri*

7 ELENCO DEGLI ALLEGATI

- 1) Rapporto informativo da COER di RFI di Verona del 6/06/2012
- 2) Documento “Richtlinie Ril 800.02.00” dell’1/01/2011
- 3) Documento “Arbeitsregelwerk Ausgabe 3” del 9/07/2010
- 4) Scheda composizione treno
- 5) Piano schematico della stazione di Bressanone
- 6) Nota del 6/06/2012 di nomina della Commissione incaricata dalla DGIF del Ministero delle Infrastrutture e Trasporti
- 7) Verbale prove testimoniali
- 8) Verbale prove testimoniali
- 9) Verbale prove testimoniali
- 10) Verbale prove testimoniali
- 11) Prescrizioni tecniche RTC
- 12) Scheda VVR (Virtual Vehicle Register) relativa al 1° carro
- 13) Autorizzazione alla costruzione del 1° carro del 23/02/1983
- 14) Autorizzazione alla sua messa in esercizio dell’ 8/06/1983
- 15) Comunicazione ANSF prot.n. 04718/12 del 26/06/2012 recante la tracciabilità delle sale montate sul 1° carro in composizione al treno
- 16) Profilo plano-altimetrico della linea ferroviaria Brennero Bressanone
- 17) Scheda treno secondo il fascicolo di linea 42 43 46 29 mod. M120 valida dal 13/01/2012 al 10/06/2012
- 18) Danni di pertinenza di RFI nota dell’11/06/2012
- 19) Danni di pertinenza di RFI Cargo nota del 4/09/2012
- 20) Allegato 4 del manuale di gestione della sicurezza di RTC del 29/03/2010
- 21) Disposizione RFI n.18 del 26/07/2001 recante la “Disciplina delle attività che le IF, che circolano sulla Infrastruttura Ferroviaria Nazionale, devono svolgere in caso di anomalità rilevanti o incidenti di esercizio”.
- 22) Regolamento per la circolazione dei treni (*)
- 23) Prescrizione di esercizio di RTC n.01 del 26/01/2010
- 24) Procedura di RTC SGS02 per la gestione delle emergenze(*)
- 25) Istruzione per il servizio di condotta delle locomotive delle Ferrovie dello Stato – Ristampa 2002 (*)
- 26) Elenco Imprese Ferroviarie titolari di licenza
- 27) Relazione finale dell’IF RTC (*)
- 28) Relazione finale del GI RFI (*)
- 29) Lettera dell’1/03/2009 con cui viene sub-appaltata la funzione di esecutore della manutenzione tecnica a ZOS Trnava
- 30) Relazione di Lucchini RS(*)
- 31) Stralcio delle conclusioni finali della precitata relazione di Lucchini RS
- 32) Scheda tecnica della Loctite 232
- 32-bis) Caratteristiche del Molycote
- 33) Dati di calettamento delle ruote agli assili, relativi alle sale componenti il 1° carro smt.

*Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012*

Roberto Folchini
Gennaro Agliari

- 34) Norme per la verifica tecnica dei veicoli di RFI (*)
- 35) Fascicolo linea Brennero-Bolzano (*)
- 36) Rapporto di visita al binario a piedi da RFI del 25/08/2011
- 37) Rapporto di visita al binario in carrello da RFI del 7/03/2012
- 38) Rapporti di visite armamento e sede in cabina da RFI del 26/10/2011, del 22/03/2012 e del 28/05/2012
- 39) Esito rilievo stato geometrico del binario con mezzo di diagnostica mobile effettuato da RFI il 6/06/2012
- 40) Documento di Rail Cargo Austria “Unterlagen zum vortail Brixen“ recante gli interventi manutentivi di tutti i carri in composizione al treno sviato
- 41) Tabella recante le temperature delle boccole e dei freni rilevate dal dispositivo RTB ubicato al km 202+772 binario dispari
- 42) Documento RFI avente per oggetto “ lettura zone dati impianto RTB al km 202+772 della linea Verona-Brennero a seguito passaggio del treno 44213 del 6/06/2012”
- 43) Zona tachigrafica dell’apparecchio HASLER TELOC montato sul locomotore EU 43-001 recante manovra partenza e arresto
- 44) Relazione d’inchiesta di RFI sull’incidente occorso in Bressanone il 22/02/2001.
- 45) Stralcio piano schematico della stazione di Fortezza
- 46) Schede di lavorazione ZOS delle sale componenti il 1° carro smt
- 47) Nota ANSF prot. n. 07299/12 del 27/09/2012
- 48) Nota ÖBB Technische Service del 21/12/2012.
- 49) Documentazione ZOS relativa ai diagrammi di caletto della sala 124030
- 50) Verbale della riunione peritale del 14/06/2012.
- 51) Verbale della riunione peritale del 17/07/2012.
- 52) Verbale della riunione peritale del 6/08/2012.
- 53) Verbale della riunione peritale del 7/08/2012.
- 54) Verbale della riunione peritale del 10/09/2012.
- 55) Verbale della riunione peritale del 11/09/2012.
- 56) Verbale della riunione peritale del 12/09/2012.
- 57) Verbale della riunione peritale del 25/09/2012.
- 58) Verbale della riunione peritale dell’ 8/10/2012.
- 59) Verbale delle riunioni peritali del 17 e 18/10/2012.
- 60) Diagrammi di caletto di sale ÖBB effettuate in Zos, calettate con la Loctite e non appartenenti al treno oggetto dello svio.
- 61) Regolamento FFS I-50099.
- 62) Documentazione ultima manutenzione I carro.
- 63) UNI EN 13260
- 64) UNI EN 13261
- 65) UNI EN 13262
- 66) UIC 811
- 67) UIC 812
- 68) UIC 813
- 69) Dati progetto sala A
- 70) Dati progetto sala B e C
- 71) Dati per calcolo portata sala C

(*) viene allegata solo la 1^a pagina; l'intero documento viene riportato nell'allegato CD che contiene anche la presente relazione, nonché le fotografie scattate sul luogo dello svio.

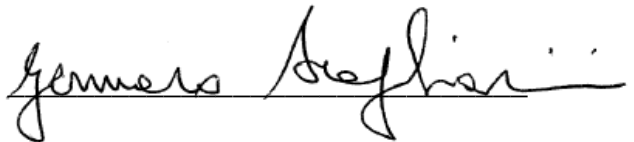
Roma, 14 maggio 2014

La Commissione Ministeriale di indagine :

Presidente : Ing. Roberto Focherini



Membro : Ing. Gennaro Scagliarini



Questa relazione non può essere riprodotta, in forma parziale, né alterata o modificata. Qualsiasi alterazione di questo documento, senza autorizzazione dei membri della commissione sarà perseguita a norma di legge. Come documento fa fede esclusivamente quello consegnato, firmato in tutte le pagine.

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie
Relazione di indagine per incidente ferroviario di Bressanone del 6.6.2012