



*Ministero delle Infrastrutture  
e dei Trasporti*

DIREZIONE GENERALE PER LE INVESTIGAZIONI FERROVIARIE

**Prot. DGIF/DIV2/179 /2013 /7.1-9/Uscita**

**Roma, 31 maggio 2013**

All' Agenzia Nazionale per la  
Sicurezza delle Ferrovie  
Piazza della Stazione, 45  
50123 FIRENZE

Oggetto: Integrazione alla relazione d'indagine della Commissione ministeriale costituita con Decreto Dirigenziale n.16 del 17 luglio 2012, relativa all'incidente ferroviario occorso il 29/06/2009 a Viareggio, concernente le cause di perforazione della ferrocisterna.

Si deve preliminarmente e chiaramente sottolineare come l'evento incidentale, sia da considerare generato, quanto alla sua causa primaria e diretta, dal fatto che un assile del primo carrello della prima ferro-cisterna del convoglio si è spezzato determinando il deragliamento ed il ribaltamento della stessa cisterna, la quale, nel suo moto di traslazione verso la posizione finale di quiete, ha impattato un ente dell'infrastruttura ferroviaria subendo uno squarcio dal quale è fuoriuscito GPL che si è incendiato.

La Relazione Tecnica della Commissione d'indagine, che qui si accompagna, attribuisce, per giusta impostazione ingegneristica, viste le valutazioni che poggiano essenzialmente su variabili geometriche e cinematiche, una maggiore plausibilità quale strumento agente che ha prodotto lo squarcio alla cisterna, al picchetto n° 24 di verifica della curva dell'asse del binario di corsa del convoglio.

La Commissione ha seguito pertanto la strada di una analisi di natura probabilistica visto che per quanto ampia sia stata la scelta di ipotesi cinematiche e geometriche prese in considerazione, la complessità del fenomeno incidentale non permette un pronunciamento incondizionato sulla sua causa.

Non è d'altronde possibile dare ulteriore forza in senso deterministico alle conclusioni per la chiara impossibilità di prendere in esame le innumerevoli variabili di tipo dinamico che hanno certamente avuto un ruolo nella vicenda ma che sono ben difficilmente valutabili nella loro esatta azione a meno di non commettere gravi errori di tipo quantitativo.

1 

Questa Direzione Generale intende peraltro presentare alcune considerazioni aggiuntive come in appresso.

È di tutta evidenza il fatto che, una volta subito il deragliamento ed il conseguente ribaltamento, la ferro-cisterna era fortemente esposta a molte possibilità di impatto, tutte evidentemente casuali, che avrebbero potuto condurre ad esiti analoghi a quello in effetti verificatosi.

Va, ad esempio, considerato che la cisterna ribaltata ingombra la sagoma limite della via di corsa adiacente e ciò poteva comportare un impatto con un eventuale convoglio incrociante in senso opposto, che avrebbe facilmente spezzato la continuità strutturale della cisterna e, probabilmente, anche quella di molte delle cisterne seguenti.

Allo stesso modo avrebbero potuto agire i pilastri metallici di un portale TE o ancora una spalla di un ponte, così come avrebbero potuto, agli effetti degli esiti qui analizzati, agire molti altri elementi che sono comunque imprescindibili per l'utilizzo della infrastruttura ferroviaria.

Alla luce di quanto detto appare comunque plausibile, pur nella citata considerazione che molti sono gli elementi dell'infrastruttura che possono costituire un potenziale pericolo per l'integrità delle ferro-cisterne che trasportano merci pericolose, formulare le seguenti Raccomandazioni Tecniche:

### **RACCOMANDAZIONE n. 1**

L'ANSF, vorrà considerare di impegnare RFI Gestore dell'infrastruttura, affinché, in via alternativa:

- studi ed attui un mirato piano di graduale rimozione dei picchetti di regolazione seguendo un processo di lavorazione che inizi dai siti maggiormente esposti, per grado di confinante urbanizzazione, sostituendoli con sistemi di controllo plano-altimetrico della stabilità geometrica delle curve caratterizzati da valore nullo rispetto al rischio di costituire strumento potenziale di taglio e/o lacerazione;
- avvii una graduale installazione di sistemi di protezione e confinamento degli stessi picchetti che ne annullino la intrinseca potenzialità di diventare strumento di taglio e lacerazione, seguendo ancora il principio del primato gerarchico dei siti maggiormente esposti per grado di confinante urbanizzazione.

### **RACCOMANDAZIONE n. 2**

L'ANSF vorrà considerare l'opportunità di chiedere ad RFI, Gestore dell'Infrastruttura, l'effettuazione di una analisi e di una conseguente valutazione complessiva del potenziale rischio di costituire strumento di taglio e/o lacerazione, da parte di enti o componenti l'infrastruttura che siano tecnicamente eliminabili o sostituibili al fine di ridurre il grado di rischio.

Il Direttore Generale  
(Ing. Marco Pittaluga)





**Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti**  
**Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie**



**Integrazione alla relazione di indagine del  
23.03.2012 riguardante l'incidente ferroviario di  
Viareggio del 29.06.2009**

**Roma, 30/05/2013**

*Diugnetto*

*R*

*[Signature]*

---

*Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti*

*Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie*

*Integrazione alla relazione di indagine del 23.03.2012 riguardante l'incidente ferroviario di Viareggio del 29.06.2009*

## INDICE

1. Premessa.	10
2. Parte Prima	12
2.1 Quesito C.12	12
2.2 Quesito C.13	16
2.3 Quesito C.14	20
2.4 Meccanica dell'incidente	21
2.4.1 Aspetti di natura cinematica	21
Tabella 3 – schema velocità accelerazioni nel tratto di interesse	28
2.4.2 Aspetti di natura geometrica.	28
2.4.3. Valutazione visiva superfici picchetto e piegata a zampa di lepre	39
2.4.4 Descrizione della geometria degli enti presenti sull' infrastruttura	49
2.4.4.1. Descrizione comunicazione S.60 UNI/400/0.0094 D.O.S.	49
Figura 4 - Schema del cuore del deviatoio estratto dal disegno FS 9712	50
2.4.4.2. Descrizione picchetto di regolazione curva n. 24.	51
2.4.4.2.1 Rilievi enti infrastruttura	52
2.4.4.3. Descrizione controrotaia destra attigua al deviatoio 13B.	58
Figura 5 - Schema controrotaia destra deviatoio 13B estratto dal disegno FS 9712 (scambio semplice tg.00939 S.60 UNI/400/0.094/ d.o.s. con cuore monoblocco di acciaio fuso al manganese)	58
Figura 6 - Schema controrotaia destra deviatoio 13B estratto dal disegno FS 8821 (dispositivo di crociamento con cuore monoblocco scambio semplice tg. 0,0939 S.60 UNI/400/0.094/ d.o.s.)	59
2.4.4.4. Descrizione del programma STUDIOMAX 3D	59
2.4.4.5. Ipotesi di ricostruzione degli scenari riguardante il taglio della cisterna	60
Ipotesi n° 1 – Urto ferrocisterna contro la controrotaia destra del deviatoio 13B.	61
1. Organi di aggancio	64
2. Posizione relativa squarcio – piegata zampa di lepre	64
3. Compatibilità urto zattera – controrotaia	65
4. Compatibilità urto cisterna – piegata zampa di lepre	67
Ipotesi n° 2 – Urto ferrocisterna – controrotaia destra deviatoio 13B con angolo di circa 6° della generatrice della cisterna rispetto al binario.	68

1. Organi di aggancio:	68
2. Posizione relativa squarcio – piegata zampa di lepre	68
3. Compatibilità urto zattera - controrotaia	69
4. Compatibilità urto ferrocisterna contro piegata zampa di lepre.	70
<b>Ipotesi n° 3 – Urto ferrocisterna – controrotaia destra deviatore 13B con angolo di circa 15° della generatrice della cisterna rispetto al binario</b>	<b>72</b>
1. Organi di aggancio	72
2. Posizione relativa squarcio – piegata zampa di lepre	72
3. Compatibilità urto zattera - controrotaia	73
4. Compatibilità scaletta accesso terrazzino	74
5. Compatibilità urto ferrocisterna - piegata zampa di lepre	75
<b>Ipotesi n° 4 - Urto ferrocisterna contro piegata a zampa di lepre con carro che segue la traiettoria dello squarcio</b>	<b>77</b>
1. Organi di aggancio	77
2. Posizione relativa squarcio – piegata zampa di lepre	77
3. Compatibilità urto zattera - controrotaia	78
4. Compatibilità urto cisterna - piegata zampa di lepre	78
<b>Ipotesi n° 5 - Urto cisterna – picchetto n° 24 con angolo di circa 6°</b>	<b>79</b>
1. Organi di aggancio	79
2. Posizione relativa squarcio - picchetto	79
3. Compatibilità urto zattera - controrotaia	81
4. Compatibilità urto cisterna – picchetto 24	82
<b>Ipotesi n° 6 - Urto ferrocisterna – picchetto n° 24 con angolo di circa 15°</b>	<b>83</b>
1. Organi di aggancio	83
2. Posizione relativa squarcio - picchetto	83
3. Compatibilità urto zattera - controrotaia	85
4. Compatibilità urto ferrocisterna – picchetto n° 24	86
<b>Ipotesi n° 7 - Urto cisterna contro picchetto n° 24 con carro che segue la traiettoria dello squarcio</b>	<b>87</b>
1. Organi di aggancio	87
2. Posizione relativa squarcio – picchetto n° 24	88
3. Compatibilità urto zattera - controrotaia	89
4. Compatibilità urto cisterna contro picchetto n° 24	90

Ipotesi n° 8 – approccio cisterna alla piegata zampa di lepre con angolo di 5° in ingresso e di 10° in uscita (ipotesi dei CTU GIP);	95
1. Organi di aggancio	95
2. Posizione relativa squarcio – zampa di lepre	95
3. Compatibilità urto zattera - controrotaia	96
Ipotesi n° 9 - approccio cisterna alla piegata zampa di lepre con angolo di 8° in ingresso e di 8° in uscita rispetto al binario	98
1. Organi di aggancio	98
2. Posizione relativa squarcio – zampa di lepre	99
3. Compatibilità urto zattera - controrotaia	100
Ipotesi n°10 – approccio cisterna alla piegata zampa di lepre con angolo di 10° in ingresso e di 10° in uscita rispetto all’angolo di taglio (definito come angolo fra generatrice cilindro e tangente alla linea di taglio)	102
1. Organi di aggancio	102
2. Posizione relativa squarcio – zampa di lepre	102
3. Compatibilità urto zattera - controrotaia	104
Ipotesi n°11 - approccio cisterna alla piegata zampa di lepre con angolo di 12° in ingresso e di 12° in uscita rispetto al binario	105
1. Organi di aggancio	105
2. Posizione relativa squarcio – zampa di lepre.	106
3. Compatibilità urto zattera - controrotaia	108
2.5 Valutazioni.	109
3. Parte seconda	113
3.1 Conclusioni	113
3.2 Raccomandazioni	113

### **Indice tabelle - foto - figure**

FIG. 1 - DETTAGLIO TRAIETTORIA ASSILE N° 98331 .....	22
FIG. 2 – POSIZIONE STATICA FINALE CONVOGLIO E VELOCITÀ DELLA LOCOMOTIVA DURANTE IL SUO MOTO .....	23
FOTO 1 – POSSIBILE COMPATIBILITÀ SIMULACRO PIEGATA A ZAMPA DI LEPRE - SQUARCIO CISTERNA	30
FOTO 2 – POSSIBILE COMPATIBILITÀ SIMULACRO ZAMPA DI LEPRE - SQUARCIO CISTERNA.....	30
FOTO 3 – POSSIBILE COMPATIBILITÀ SIMULACRO PIEGATA A ZAMPA DI LEPRE - SQUARCIO CISTERNA	31

---

*Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti*

*Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie*

*Integrazione alla relazione di indagine del 23.03.2012 riguardante l'incidente ferroviario di Viareggio del 29.06.2009*

FOTO 4 – POSSIBILE COMPATIBILITÀ SIMULACRO PIEGATA A ZAMPA DI LEPRE - SQUARCIO CISTERNA	31
FOTO 5 – POSSIBILE COMPATIBILITÀ SIMULACRO PICCHETTO - SQUARCIO CISTERNA .....	32
FOTO 6 – POSSIBILE COMPATIBILITÀ SIMULACRO PICCHETTO - SQUARCIO CISTERNA .....	32
FOTO 7 – POSSIBILE COMPATIBILITÀ TRUCIOLO ZAMPA - DI LEPRE.....	33
FOTO 8 – POSSIBILE COMPATIBILITÀ TRUCIOLO - PIEGATA A ZAMPA DI LEPRE .....	33
FOTO 9 – POSSIBILE COMPATIBILITÀ TRUCIOLO - PIEGATA A ZAMPA DI LEPRE .....	34
FOTO 10 – POSSIBILE COMPATIBILITÀ TRUCIOLO - PIEGATA A ZAMPA DI LEPRE .....	34
FOTO 11 – POSSIBILE COMPATIBILITÀ TRUCIOLO - PICCHETTO 24 .....	35
FOTO 12 – POSSIBILE COMPATIBILITÀ TRUCIOLO - PICCHETTO 24 .....	35
FOTO 13 – POSSIBILE COMPATIBILITÀ TRUCIOLO - PICCHETTO 24 .....	36
FOTO 14 – POSSIBILE COMPATIBILITÀ TRUCIOLO - PICCHETTO 24 .....	36
FOTO 15 – POSSIBILE COMPATIBILITÀ TRUCIOLO - PICCHETTO 24 .....	37
FOTO 16 – POSSIBILE COMPATIBILITÀ TRUCIOLO - PICCHETTO 24 .....	37
FOTO 17 – POSSIBILE COMPATIBILITÀ TRUCIOLO - PICCHETTO 24 .....	38
FOTO 18 – POSSIBILE COMPATIBILITÀ TRUCIOLO - PICCHETTO 24 .....	38
FOTO 19 – POSSIBILE COMPATIBILITÀ TRUCIOLO - PICCHETTO 24 .....	39
FOTO 20 – RIGATURE PRESENTI SU PICCHETTO 24 (04/07/2009) .....	40
FOTO 21 - PICCHETTO N. 24 –SEGNI DI SFREGAMENTO PRESENTI SUL PICCHETTO .....	40
(DA RELAZIONE CTU GIP).....	40
FOTO 22 - PICCHETTO N. 24 –SEGNI DI SFREGAMENTO PRESENTI SUL PICCHETTO .....	41
(DA RELAZIONE CTU GIP).....	41
FOTO 23 – RIGATURE PRESENTI SU PICCHETTO 24 (24/03/2010) .....	42
FOTO 24 – RIGATURE PRESENTI SU CISTERNA (PARTE INFERIORE) (04/07/2009) .....	42
FOTO 25 – RIGATURE PRESENTI SU CISTERNA (PARTE INFERIORE) (04/07/2009) .....	43
FOTO 26 – RIGATURE PRESENTI SU CISTERNA (PARTE SUPERIORE) (04/07/2009).....	43
FOTO 27 – RIGATURE PRESENTI SU RICCIOLO ATTACCATO INTERNO CISTERNA (04/07/2009).....	43
FOTO 28 – RIGATURE PRESENTI SU RICCIOLO TROVATO INTERNO CISTERNA (07/06/2011).....	44
FOTO 29 – RIGATURE PRESENTI SU RICCIOLO TROVATO INTERNO CISTERNA (07/06/2011).....	44
FOTO 30 – RIGATURE PRESENTI SU RICCIOLO ATTACCATO INTERNO CISTERNA (08/06/2011).....	45
FOTO 31 – IMPRONTE PRESENTI SULLA PIEGATA A ZAMPA DI LEPRE LATO SINISTRO SMT (03/07/2009) .....	46
FOTO 32 – IMPRONTE PRESENTI SULLA PIEGATA A ZAMPA DI LEPRE VISTA SMT (03/07/2009).....	47

FOTO 33 – IMPRONTE PRESENTI SULLA PIEGATA A ZAMPA DI LEPRE LATO SINISTRO SMT (08/05/2011)	48
FOTO 34 - PIEGATA A ZAMPA DI LEPRE (DA RELAZIONE CTU GIP)	50
FOTO 35 - COMPLANARITÀ PIEGATA A ZAMPA DI LEPRE RISPETTO AL PIANO DEL FERRO	51
FOTO 36 – COMPLANARITÀ PIEGATA A ZAMPA DI LEPRE RISPETTO AL PIANO DEL FERRO	51
FOTO 37 - POSIZIONE DEL LASER PER IL RILEVAMENTO DELLE ALTEZZE DEL BINARIO E DEL PICCHETTO N 24	53
FOTO 38 - RILEVAMENTO DELL'ALTEZZA DELLA CONTROROTAIA ADIACENTE AL PICCHETTO 24	54
FOTO 39 - RILEVAMENTO DELL'ALTEZZA DEL BINARIO ADIACENTE AL PICCHETTO 24	55
FOTO 40 - RILEVAMENTO DELL'ALTEZZA DEL PICCHETTO N 24 NELLA POSIZIONE STATICA FINALE	56
FOTO 41 - RILEVAMENTO DELL'ALTEZZA DEL PICCHETTO N 24 NELLA POSIZIONE STATICA FINALE	57
FOTO 42 – SCENARIO ZONA DEVIATOIO (DA RELAZIONE CTU GIP)	62
FOTO 43 – SCENARIO ZONA DEVIATOIO 13B – CONTROROTAIA DESTRA DEVIATOIO 13B	63
FOTO 44 – DETTAGLIO DEFORMAZIONE CONTROROTAIA DESTRA	63
IMMAGINE 1 ESTRATTA DAL FILMATO – PARTICOLARE ORGANI DI AGGANCIO – POSIZIONE ZATTERA RISPETTO ALLA CONTROROTAIA	64
IMMAGINE 2 ESTRATTA DAL FILMATO – POSIZIONE DEI PARTICOLARI ANALIZZATI	65
FOTO 45 – DETTAGLIO DEFORMAZIONE ZATTERA	66
FOTO 46 – SEGNI SUL BINARIO RICONDUCEBILI ALLO SFREGAMENTO DELLA RUOTA	66
FOTO 47 – DETTAGLIO DELLO SQUARCIO SULLA CONTROROTAIA DESTRA RICONDUCEBILE ALL'URTO CONTRO LA ZATTERA	67
IMMAGINE 3 ESTRATTA DAL FILMATO – PARTICOLARE ORGANI DI AGGANCIO	68
IMMAGINE 4 ESTRATTA DAL FILMATO – PARTICOLARE POSIZIONE RELATIVA SQUARCIO CISTERNA PIEGATA ZAMPA DI LEPRE	69
IMMAGINE 5 ESTRATTA DAL FILMATO – DETTAGLIO POSIZIONE RECIPROCA ZATTERA CONTROROTAIA	70
FOTO 48 – DETTAGLIO DEFORMAZIONE PIEGATA ZAMPA DI LEPRE UNITAMENTE ALLA MENSOLA E ALTRI ELEMENTI DI MATERIALE ROTABILE	71
IMMAGINE 6 ESTRATTA DAL FILMATO – POSIZIONE ORGANI DI AGGANCIO	72
IMMAGINE 7 ESTRATTA DAL FILMATO – POSIZIONE RECIPROCA SQUARCIO PIEGATA ZAMPA DI LEPRE	73
IMMAGINE 8 ESTRATTA DAL FILMATO – POSIZIONE RECIPROCA ZATTERA - CONTROROTAIA	73
IMMAGINE 9 ESTRATTA DAL FILMATO – POSIZIONE SCALETTA METALLICA – BINARIO – SQUARCIO – PIEGATA A ZAMPA DI LEPRE	74

FOTO 49 – FERROCISTERNA AL MOMENTO DEL RECUPERO (RUOTATA DI 180 ° RISPETTO ALLA POSIZIONE STATICA FINALE).....	75
IMMAGINE 10 ESTRATTA DAL FILMATO – POSIZIONE RECIPROCA SQUARCIO - PIEGATA ZAMPA DI LEPRE .....	76
IMMAGINE 11 ESTRATTA DAL FILMATO – POSIZIONE GANCIO DI TRAINO E POSIZIONE RECIPROCA ZATTERA CONTROROTAIA .....	77
IMMAGINE 12 ESTRATTA DAL FILMATO – POSIZIONE ORGANI DI TRAINO .....	79
IMMAGINE 13 ESTRATTA DAL FILMATO – POSIZIONE RECIPROCA INIZIO SQUARCIO – PICCHETTO 24 VISTA DALL’ALTO .....	80
IMMAGINE 14 ESTRATTA DAL FILMATO – POSIZIONE RECIPROCA INIZIO SQUARCIO – PICCHETTO 24 VISTA DAL BASSO .....	80
IMMAGINE 15 ESTRATTA DAL FILMATO – POSIZIONE RECIPROCA FINE SQUARCIO – PICCHETTO 24 VISTO DALL’ALTO .....	81
IMMAGINE 16 ESTRATTA DAL FILMATO – POSIZIONE RECIPROCA FINE SQUARCIO – PICCHETTO 24 VISTO DAL BASSO .....	81
IMMAGINE 17 – DISTANZA PICCHETTO 24- CONTROROTAIA DESTRA DEVIATOIO 13B .....	82
IMMAGINE 18 ESTRATTA DAL FILMATO FOTO ESTRATTA DAL FILMATO – POSIZIONE RECIPROCA ORGANI DI TRAINO LOCOMOTIVA PRIMO CARRO .....	83
IMMAGINE 19 ESTRATTA DAL FILMATO FOTO ESTRATTA DAL FILMATO – POSIZIONE RECIPROCA INIZIO SQUARCIO PICCHETTO 24 VISTA DALL’ALTO .....	84
IMMAGINE 20 ESTRATTA DAL FILMATO FOTO ESTRATTA DAL FILMATO – POSIZIONE RECIPROCA INIZIO SQUARCIO PICCHETTO 24 VISTA DAL BASSO. ....	84
IMMAGINE 21 ESTRATTA DAL FILMATO – POSIZIONE RECIPROCA FINE SQUARCIO PICCHETTO 24 VISTA DALL’ALTO .....	85
IMMAGINE 22 ESTRATTA DAL FILMATO – POSIZIONE RECIPROCA FINE SQUARCIO PICCHETTO 24 VISTA DAL BASSO. ....	85
IMMAGINE 23 ESTRATTA DAL FILMATO – PARTICOLARE MOMENTO DELLO SGANCIO DEGLI ORGANI DI AGGANCIO ALLA LOCOMOTIVA .....	87
IMMAGINE 24 ESTRATTA DAL FILMATO – INIZIO DELLO SQUARCIO VISTA DALL’ALTO .....	88
IMMAGINE 25 ESTRATTA DAL FILMATO - FOTO ESTRATTA DAL FILMATO – INIZIO DELLO SQUARCIO VISTA DAL BASSO .....	88
IMMAGINE 26 ESTRATTA DAL FILMATO – FINE DELLO SQUARCIO VISTA DALL’ALTO .....	89
IMMAGINE 27 ESTRATTA DAL FILMATO – FINE DELLO SQUARCIO VISTA DAL BASSO.....	89
IMMAGINE 28– DISTANZA PICCHETTO 24- CONTROROTAIA DESTRA DEVIATOIO 13B.....	90
IMMAGINE 29 ESTRATTA DAL FILMATO – PARTICOLARE DELLA COLLISIONE DEI RESPINGENTI CON LA LOCOMOTIVA .....	91

FOTO 50 – VISTA FRONTALE DELLA LOCOMOTIVA .....	91
FOTO 51 – DETTAGLIO SQUARCIO LOCOMOTIVA PER URTO DEI RESPINGENTI DELLA FERROCISTERNA	92
FOTO 52 – FERROCISTERNA NELLA POSIZIONE STATICA FINALE.....	92
FOTO 53 – DETTAGLIO SQUARCIO PARTE INIZIALE PRIMA DEL RECUPERO (04/07/2009) .....	93
FOTO 54 – DETTAGLIO SQUARCIO PARTE INIZIALE PRIMA DEL RECUPERO (04/07/2009) .....	93
FOTO 55 – DETTAGLIO SQUARCIO PARTE INIZIALE DOPO IL RECUPERO (04/07/2009).....	94
FOTO 56 – DETTAGLIO SQUARCIO PARTE FINALE DOPO IL RECUPERO (04/07/2009).....	94
IMMAGINE 30 - ESTRATTA DAL FILMATO – PARTICOLARE MOMENTO DELLO SGANCIO DEGLI ORGANI DI AGGANCIAMENTO DELLA LOCOMOTIVA.....	95
IMMAGINE 31 - FOTO ESTRATTA DAL FILMATO – INIZIO DELLO SQUARCIO VISTA DAL BASSO .....	96
IMMAGINE 32 – FOTO ESTRATTA DAL FILMATO – FINE DELLO SQUARCIO VISTA DAL BASSO .....	96
IMMAGINE 33 – POSIZIONE RECIPROCA ZATTERA RISPETTO AL BINARIO.....	97
IMMAGINE 34– PARTICOLARE ORGANI DI AGGANCIAMENTO ALLA LOCOMOTIVA .....	98
IMMAGINE 35 – PARTICOLARE ORGANI DI AGGANCIAMENTO ALLA LOCOMOTIVA .....	99
IMMAGINE 36 – PARTICOLARE ORGANI DI AGGANCIAMENTO ALLA LOCOMOTIVA .....	99
IMMAGINE 37 – PARTICOLARE SQUARCIO RISPETTO ALLA PIEGATA A ZAMPA DI LEPRE IN POSIZIONE INIZIALE .....	100
IMMAGINE 38 – PARTICOLARE POSIZIONE SQUARCIO RISPETTO ALLA PIEGATA A ZAMPA DI LEPRE IN POSIZIONE FINALE (PUNTA DELLA PIEGATA DEFORMATA AL VERO).....	100
IMMAGINE 39 – PARTICOLARE ZATTERA CONTROROTAIA DESTRA INIZIO SQUARCIO .....	101
IMMAGINE 40 – PARTICOLARE ZATTERA CONTROROTAIA DESTRA FINE SQUARCIO .....	101
IMMAGINE 41 ESTRATTA DAL FILMATO – PARTICOLARE MOMENTO DELLO SGANCIO DEGLI ORGANI DI AGGANCIAMENTO ALLA LOCOMOTIVA .....	102
IMMAGINE 42 ESTRATTA DAL FILMATO – INIZIO DELLO SQUARCIO VISTO DAL BASSO .....	103
IMMAGINE 43 ESTRATTA DAL FILMATO– FINE DELLO SQUARCIO VISTO DAL BASSO.....	103
IMMAGINE 44 – DISTANZA PICCHETTO 24- CONTROROTAIA DESTRA DEVIATOIO 13B .....	104
IMMAGINE 45 – PARTICOLARE DEGLI ORGANI DI AGGANCIAMENTO ALLA LOCOMOTIVA .....	105
IMMAGINE 46 – PARTICOLARE DEGLI ORGANI DI AGGANCIAMENTO ALLA LOCOMOTIVA .....	106
IMMAGINE 47 – PARTICOLARE DEGLI ORGANI DI AGGANCIAMENTO ALLA LOCOMOTIVA .....	106
IMMAGINE 48– POSIZIONE SQUARCIO RISPETTO ALLA PIEGATA A ZAMPA DI LEPRE IN POSIZIONE INIZIALE .....	107
IMMAGINE 49– POSIZIONE SQUARCIO RISPETTO ALLA PIEGATA A ZAMPA DI LEPRE IN POSIZIONE FINALE (PUNTA DELLA PIEGATA DEFORMATA AL VERO) .....	107

IMMAGINE 50 – PARTICOLARE ZATTERA CONTROROTAIA DESTRA FINE SQUARCIO .....	108
IMMAGINE 51 – PARTICOLARE ZATTERA CONTROROTAIA DESTRA FINE SQUARCIO .....	108

## **1. Premessa.**

Incidente ferroviario occorso il giorno 29.06.2009 alle ore 23.48 circa nella stazione ferroviaria di Viareggio che provocò il decesso di 32 persone e numerosi feriti.

Gli accertamenti del caso vennero eseguiti dalla Polfer di Firenze coadiuvata da personale della Polizia Ferroviaria di Milano, che con nota specifica informativa interessarono del sinistro la Procura della Repubblica presso il Tribunale Ordinario di Lucca.

Successivamente vennero nominati numerosi Consulenti Tecnici da parte della Procura della Repubblica presso il Tribunale Ordinario di Lucca, fra cui il Prof. Paolo Toni, ordinario di meccanica applicata alle macchine dell'Università di Firenze, per ricostruire la dinamica del sinistro, le cause dell'incidente e quant'altro utile ai fini di giustizia, mentre la Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie nominava una Commissione ministeriale d'inchiesta composta da Ing. Franco Branciamore Presidente, Ing. Lorenzo Loreto Membro, Ing. Roberto Lucani membro, per valutare nell'ambito delle proprie competenze le cause dell'incidente al fine di promuovere eventuali raccomandazioni volte a prevenire incidenti analoghi.

In data 5 febbraio 2011 ebbe inizio l'incidente probatorio ove la Commissione Ministeriale venne ammessa con le medesime prerogative delle parti offese ed in tale sede vennero predisposti i quesiti ed il calendario delle prove da eseguirsi sui resti del carro e della cisterna.

In data 16 Maggio 2011 ebbe inizio l'incidente probatorio con operazioni peritali di laboratorio che, sulla base dei numerosi quesiti posti dal Giudice Indagini Preliminari (G.I.P.) titolare dell'indagine, si sostanziarono prevalentemente nell'analisi delle caratteristiche meccaniche, chimico-fisiche e metallografiche del materiale di cui erano composti gli assili, le ruote, le boccole del primo carrello del primo carro del convoglio, per risalire allo loro natura, alla loro origine, agli interventi manutentivi eseguiti sugli stessi, allo stato manutentivo attuale riferito al momento dell'incidente, alle caratteristiche meccaniche, chimico-fisiche e metallografiche della cisterna, allo stato manutentivo della medesima e dei suoi componenti, alle possibili cause della sua rottura.

Fra settembre e ottobre del 2011 i Consulenti tecnici del G.I.P., i periti del Pubblico Ministero e delle parti depositarono gran parte dei propri elaborati tecnici che venivano messi a disposizione delle parti per l'esame.

---

*Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti*

*Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie*

*Integrazione alla relazione di indagine del 23.03.2012 riguardante l'incidente ferroviario di Viareggio del 29.06.2009*

Tali elaborati tecnici, contengono numerosi elementi analitici e descrittivi di pregevole natura ma anche notevoli incongruenze in ordine alla ricostruzione dell'evoluzione del sinistro relativamente alle cause della rottura della cisterna, sia per le ipotesi assunte alla base del ragionamento seguito dai medesimi consulenti, sia per le conclusioni a cui gli stessi consulenti giunsero.

Di tali aspetti la Commissione Ministeriale ne ha formalmente preso atto, tuttavia, sulla base di tutti gli elementi tecnici-documentali e sperimentali acquisiti nel corso dei numerosi sopralluoghi, sulla scorta dei risultati delle prove di laboratorio e delle risultanze degli incontri avuti con le parti interessate ha ricostruito diversi scenari riguardanti in particolar modo la cinematica del sinistro, con particolare riferimento alle cause della rottura della cisterna, secondo criteri e metodologie adottati nella letteratura tecnica, al fine di fornire una adeguata e motivata ricostruzione della possibile causa dello squarcio della cisterna.

In data 30 marzo 2012 la Commissione ministeriale d'indagine depositò una prima relazione riguardante gli aspetti dell'incidente riconducibili alle cause del deragliamento, rinviando a studi ed approfondimenti ulteriori l'analisi relativa alle possibili cause della rottura della cisterna, alla più probabile evoluzione delle dinamiche della perforazione del recipiente, alla possibile individuazione del componente o dei componenti dell'infrastruttura ferroviaria che ne avrebbero determinato la rottura dell'involucro e la successiva dispersione nell'ambiente del GPL contenuto all'interno della medesima.

## 2. Parte Prima

Fra i numerosi quesiti posti dal G.I.P nell'udienza preliminare dell'incidente probatorio tre riguardavano la cisterna. In particolare veniva chiesto se la cisterna fosse stata progettata e costruita secondo le norme in vigore al momento della sua costruzione, quali fossero le sue caratteristiche meccaniche, metallografiche e chimico-fisiche, la causa della perforazione della culatta e della viola.

In particolare la formulazione dettagliata del primo quesito posto dal G.I.P. era il seguente:

### 2.1 Quesito C.12

In merito al recipiente in pressione contenente il GPL: culatta e viola rotta *“Accertare se i parametri dimensionali del componente, con particolare riguardo allo spessore del mantello, corrispondano alle specifiche di fabbricazione RID (vigente alla data della immatricolazione)”*.

A tal proposito si riporta una breve sintesi delle caratteristiche della cisterna:

- Anno di costruzione 2004
- Costruttore CHEMET SA
- Omologazione: EBA - Eisenbahn-Bundesamt (Ufficio federale per le ferrovie - Germania)
- Pressione di prova (e di progetto) 2,5 MPa (25 bar)
- La cisterna è dotata di schermo parasole
- Capacità 109.800 litri
- Controllo iniziale (messa in servizio) : Dicembre 2004 (questo controllo comprende anche una prova di pressione idraulica a 25 bar)
- Controllo intermedio 19.02.2009 (questo controllo comprende la prova di tenuta stagna)
- La cisterna risulta idonea al trasporto di “GPL” (Miscela A0), 23/1965.
- Si può ipotizzare che la pressione all'interno della cisterna al momento dell'incidente, con il contenuto ad una temperatura di circa 25°C, fosse compresa tra i valori di 4 e 6 bar.

- Contenuto della cisterna La cisterna conteneva “IDROCARBURI GASSOSI IN MISCELA LIQUEFATTI N.A.S. “comunemente chiamati G.P.L. = GAS DI PETROLIO LIQUEFATTI. Nel caso specifico dai dati riportati sui documenti e sui carri-cisterna si rileva che la miscela in questione è quella denominata Miscela A0 . Ai fini del trasporto (RID) il GPL è classificato come segue: Gas infiammabile - Classe 2 - Codice di classificazione 2F - Numero ONU 1965 - Numero di identificazione del pericolo 23.

Tenuto conto che la cisterna fu costruita nel 2004, si riporta una sintesi della normativa (ADR/RID) vigente al momento della sua costruzione riguardante i criteri di progettazione/costruzione.

Il capitolo 6.2 dell’Accordo ADR/RID 2003 pubblicato sulla G.U. UE del 26.04.2004, in ordine alla progettazione e costruzione dei recipienti a pressione testualmente si legge:

*“...Nella progettazione dei recipienti a pressione, si deve tener conto di tutti i fattori importanti, come:*

- *la pressione interna;*
- *le temperature ambiente e di esercizio, comprese quelle durante il trasporto;*
- *i carichi dinamici.....affinché la parete sopporti la pressione, il suo spessore minimo calcolato tenendo conto in particolare :*
- *della pressione di calcolo;*
- *di temperature di calcolo che offrano sufficienti margini di sicurezza;*
- *delle sollecitazioni massime e delle concentrazioni massime delle sollecitazioni se necessario;*
- *dei fattori inerenti le proprietà dei materiali.”*

Mentre per quanto attiene allo spessore minimo del serbatoio si fa riferimento al paragrafo 6.8.2.1.17 del medesimo ADR/RID 2003 ove testualmente si legge:

*“... lo spessore del serbatoio non deve essere inferiore al più grande dei valori ottenuti dalle seguenti formule:*

$$e = P_{ep} * D / 2 * \sigma \lambda \qquad e = P_{cal} * D / 2 * \sigma \lambda$$

*nelle quali :*

*e=spessore minimo del serbatoio in mm*

*P<sub>ep</sub>=pressione di calcolo in MPa come precisato al 6.8.2.1.14*

*D= diametro interno del serbatoio in mm*

---

*Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti*

*Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie*

*Integrazione alla relazione di indagine del 23.03.2012 riguardante l'incidente ferroviario di Viareggio del 29.06.2009*

$\sigma$  = sforzo ammissibile definito al 6.8.2.1.16 (N/mm<sup>2</sup>)

$\lambda$  = coefficiente inferiore o uguale a 1, che tiene conto dell'eventuale indebolimento dovuto ai giunti di saldatura e legato ai metodi di controllo definiti al 6.8.2.1.23....”

### **Realizzazione e controllo delle saldature**

6.8.2.1.23. La capacità del costruttore a realizzare lavori di saldatura deve essere riconosciuta dall'autorità competente. I lavori di saldatura devono essere eseguiti da saldatori qualificati, secondo un procedimento di saldatura la cui qualità (compresi i trattamenti termici che possono essere necessari) deve essere dimostrata da una prova del procedimento. I controlli non distruttivi devono essere effettuati mediante radiografia o ultrasuoni e devono confermare che l'esecuzione delle saldature corrisponde alle sollecitazioni.

Conviene effettuare i seguenti controlli secondo i valori del coefficiente lambda ( $\lambda$ ) utilizzato per la determinazione dello spessore del serbatoio al 6.8.2.1.17:

$\lambda = 0,8$ : i cordoni di saldatura devono essere verificati, per quanto possibile, a vista sulle due facce e sono sottoposti, a campione, ad un controllo non distruttivo tenendo particolarmente conto dei nodi di saldatura;

$\lambda = 0,9$ : tutti i cordoni longitudinali su tutta la loro lunghezza, la totalità dei nodi, il 25 % dei cordoni circolari e le saldature di assemblaggio degli equipaggiamenti di diametro importante devono essere oggetto di controlli non distruttivi. I cordoni di saldatura devono essere verificati, per quanto possibile, a vista sulle due facce;

$\lambda = 1,0$  : tutti i cordoni di saldatura devono essere oggetto di controlli non distruttivi e devono essere verificati, per quanto possibile, a vista sulle due facce. Deve essere effettuato un prelievo di provini di saldatura.

Quando l'autorità competente ha dei dubbi sulla qualità dei cordoni di saldatura, può ordinare dei controlli supplementari.

6.8.2.1.16. Per tutti i metalli e leghe lo sforzo  $\sigma$  alla pressione di prova deve essere inferiore al più piccolo dei valori dati dalle seguenti formule:

$$\sigma \leq 0,75 Re \text{ o } \sigma \leq 0,5 Rm$$

nelle quali:

$Re$  = limite di snervamento per gli acciai con un limite di snervamento definito; o limite di snervamento garantito allo 0,2 % di

*allungamento per gli acciai senza limite di snervamento definito (all'1 % per gli acciai austenitici)*

*R<sub>m</sub> = resistenza alla rottura per trazione.*

*I valori Re e R<sub>m</sub> da utilizzare devono essere i valori minimi specificati dalle norme dei materiali. Se non ne esistono per il metallo o la lega in questione, i valori Re e R<sub>m</sub> utilizzati devono essere approvati dall'autorità competente o da un organismo da essa designato.*

*I valori minimi specificati dalle norme sui materiali possono essere superati fino al 15 % in caso d'utilizzazione d'acciai austenitici, se questi valori più elevati sono attestati nel certificato di controllo.*

### *6.8.3, Prescrizioni particolari applicabili alla classe 2*

#### *6.8.3.1 Costruzione dei serbatoi*

*6.8.3.1.1. I serbatoi destinati al trasporto di gas compressi, liquefatti o disciolti sotto pressione devono essere costruiti in acciaio. Un allungamento a rottura minimo del 14 % e uno sforzo  $\sigma$  inferiore o uguale ai limiti indicati qui di seguito, in funzione dei materiali, possono essere ammessi per i serbatoi senza saldature in deroga al 6.8.2.1.12:*

*a) se il rapporto Re/R<sub>m</sub> (caratteristiche minime garantite dopo trattamento termico) è superiore a 0,66 senza essere superiore a 0,85:  $\sigma \leq 0,75 Re$ ;*

*b) se il rapporto Re/R<sub>m</sub> (caratteristiche minime garantite dopo trattamento termico) è superiore a 0,85:  $\sigma \leq 0,5 R_m$ ,*

Pertanto, applicando la formula di cui sopra si ha lo spessore minimo della cisterna pari a :

$$e = \frac{Pep \cdot D}{2 \cdot \sigma \lambda} = \frac{2.5 \cdot 3040}{2 \cdot (0.75 \cdot 460)} \cdot 1 = 11.01 \text{ mm}$$

essendo

e = spessore minimo del serbatoio in mm

Pep = pressione di calcolo 2.5 MPa ;

D = diametro interno del serbatoio 3040 mm;

$\sigma$  = sforzo ammissibile pari a 0.75\*460 (MPa)

$\lambda$ =coefficiente inferiore o uguale a 1, che tiene conto dell'eventuale indebolimento dovuto ai giunti di saldatura e legato ai metodi di controllo definiti al 6.8.2.1.23.

Nel caso di specie il materiale costituente il serbatoio è risultato del tipo "P460NL2" EN 10028-3 con un limite di snervamento pari a 460 MPa.

Dai controlli eseguiti in sede di sopralluogo è emerso che il mantello ha evidenziato un valore medio di 12.5 mm mentre i fondi 13.5 mm. Pertanto, tali valori sono risultati assolutamente compatibili con i valori minimi previsti dall'accordo ADR/RID.

## 2.2 Quesito C.13

La formulazione del secondo quesito posto dal GIP riguardante la cisterna era il seguente.

In merito al recipiente in pressione contenente il G.P.L: culatta e virola rotta

*“Caratterizzare il materiale dal punto di vista meccanico, metallografico e chimico e verificare se esso corrisponda ai requisiti di accettabilità contenuti nella normativa (RID).“*

Dalla documentazione in atti si è potuto rilevare che il materiale costituente il serbatoio è un acciaio del tipo "P460NL2" EN 10028-3 normalizzato.

Trattasi di acciaio secondo la EN sopra citata saldabile a grano fine i cui simboli assumono i seguenti significati:

P= acciaio per recipiente in pressione;

460= limite di snervamento pari a 460 MPa;

NL2= acciaio speciale a bassa temperatura ( prove di impatto pari o superiore a 50°C).

La composizione chimica (% in massa) per essere inquadrato nella categoria deve risultare la seguente:

P460NL2	Carbonio C <sub>max</sub>	Manganese (Mn)	Zolfo (S)	Molibdeno (Mo)	Niobio (Nb)	Vanadio (V) max	Alluminio (Al) max
	0.20	Da 1.10 a 1.70	0.010	0.10	0.05	0.2	0.020

Tutte le prove di laboratorio sono state eseguite presso la società Lucchini RS di Lovere.

Per eseguite le prove necessarie alla caratterizzazione del materiale della cisterna si è reso necessario prelevare una serie di provini la cui origine è rappresentata dallo schema di seguito riportato.

Qui di seguito si riportano gli esiti delle sopra citate prove.

**Accertamenti irripetibili su assile: risultati Indagini MET**

Risposta a QUESITO C.13

Metallurgy and Laboratories Department

**LUCCHINI**RS

QUESITO	Prodotti: culatta e virola	Norma/Riferimenti	Data/Luogo
C.13	-Esecuzione prove meccaniche e di resilienza -Analisi chimica e metallografica	RID	30/06/11 MET

-Punzonatura, ricavo ed esecuzione prove meccaniche, di resilienza, analisi chimica, metallografica, misura spessori su **culatta** e **virola**:

- 2 trazioni Ø10mm in direzione longitudinale (vl) / **radiale (cr)**,
- 2 trazioni Ø10mm in direzione trasversale (ct) e (vt),
- 3 resilienze KCU longitudinali (vl1, vl2, vl3) e **radiali (cl1, cl2, cl3)**,
- 3 resilienze KCU trasversali (vt1, vt2, vt3) e **(ct1, ct2, ct3)**,
- 3 resilienze Kv longitudinali (vl1, vl2, vl3) e **radiali (cl1, cl2, cl3)**,
- 3 resilienze Kv trasversali (vt1, vt2, vt3) e **(ct1, ct2, ct3)**,

-Punzonatura e ricavo da **culatta** e **virola** di un campione di sezione intera (c) e (v), per analisi chimica, esame micrografico, misura spessori.

**Quesito C.13 -**  
**In merito al recipiente in pressione contenente il gpl: culatta e virola rotta** caratterizzare il materiale dal punto di vista meccanico, metallografico e chimico e verificare se esso corrisponda ai requisiti di accettabilità contenuti nella normativa (RID).

Loveve, 30 Giugno 2011
MET Metallurgy and Laboratories Department
Autore: Andrea Ghidini [a.ghidini@lucchinirs.it](mailto:a.ghidini@lucchinirs.it)
r 159

2

Accertamenti irripetibili su assile: risultati Indagini MET

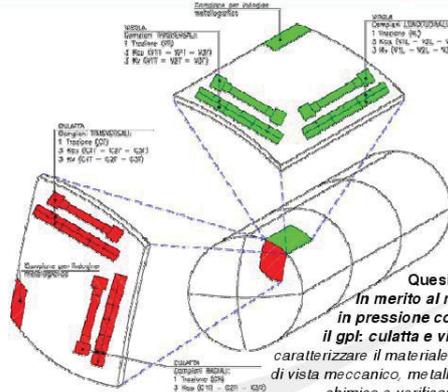
Metallurgy and Laboratories Department

Risposta a QUESITO C.13

LUCCHINI RS

QUESITO	Prodotti: culatta e virola	Norma/Riferimenti	Data/Luogo
C.13	-Esecuzione prove meccaniche e di resilienza -Analisi chimica e metallografica	RID	30/06/11 MET

- Punzonatura, ricavo ed esecuzione prove meccaniche, di resilienza, analisi chimica, metallografica, misura spessori su **culatta** e **virola**:
- 2 trazioni Ø10mm in direzione longitudinale (vt) / **radiale (ct)**,
- 2 trazioni Ø10mm in direzione trasversale (ct) e (vt),
- 3 resilienze KCU longitudinali (vt1, vt2, vt3) e **radiali (ct1, ct2, ct3)**,
- 3 resilienze KCU trasversali (vt1, vt2, vt3) e (ct1, ct2, ct3),
- 3 resilienze Kv longitudinali (vt1, vt2, vt3) e **radiali (ct1, ct2, ct3)**,
- 3 resilienze Kv trasversali (vt1, vt2, vt3) e (ct1, ct2, ct3),
- Punzonatura e ricavo da **culatta** e **virola** di un campione di sezione intera (c) e (v), per analisi chimica, esame micrografico, misura spessori.



Quesito C.13 -  
In merito al recipiente in pressione contenente il gpl: culatta e virola rotta caratterizzare il materiale dal punto di vista meccanico, metallografico e chimico e verificare se esso corrisponda ai requisiti di accettabilità contenuti nella normativa (RID).

Lovere, 30 Giugno 2011

MET Metallurgy and Laboratories Department

Autore: Andrea Ghidini a.ghidini@lucchinirs.it

r 159

2

Accertamenti irripetibili su assile: risultati Indagini MET

Metallurgy and Laboratories Department

Risposta a QUESITO C.13:

risultati prove meccaniche e di resilienza da virola e culatta

LUCCHINI RS

- Esecuzione prove di trazione (filettate) su MTS 500 kN secondo EN13261; Metodo di prova secondo UNI EN ISO 6892-1:2009
- Esecuzione prove di durezza HB 5/750/15 su testa delle trazioni, dopo rottura delle stesse. Metodo di prova secondo ISO 6506-1:2006.
- Esecuzione prove di resilienza, prelevate in accordo a EN 13261, al Pendolo Charpy 450 J; Metodo di prova secondo UNI EN ISO 148-1.

Trazione	Posiz. teste	Rs [MPa] 6.8.3	Rm [MPa] 6.8.3	Rs/Rm 6.8.3	A [%] 6.8.3	Z [%]	HB	Kcu [J] longitudinali	Kcu [J] trasversali	Kv [J] longitudinali -20°C 6.8.5.2/3	Kv [J] trasversali -20°C 6.8.5.2/3
Requisiti RID Classe 2		≤ 460	≤ 725	≤ 0.85	≥ 14	/	/	≥ 20 J	≥ 8 J	≥ 27 J (34J/cm2)	≥ 27 J (34J/cm2)
V L	1	463	618	0.75	31.4	73.7	193	86 87 83	/	155 163 166	/
	2	n.a.	/	/	/	/	/	/	/	/	/
V T	1	489	640	0.76	29.7	70.7	192	/	91 89 91	/	200 197 189
	2	499	650	0.71	31.4	73.5	/	/	/	/	/
C L	1	468	707	0.66	34.3	74.7	187	88 92 92	/	183 158 161	/
	2	457	639	0.72	31.4	76.4	/	/	/	/	/
C T	1	458	645	0.71	28.5	75.3	186	/	93 92 94	/	155 173 173
	2	509	644	0.79	40.0	70.5	/	/	/	/	/

Lovere, 30 Giugno 2011

MET Metallurgy and Laboratories Department

Autore: Andrea Ghidini a.ghidini@lucchinirs.it

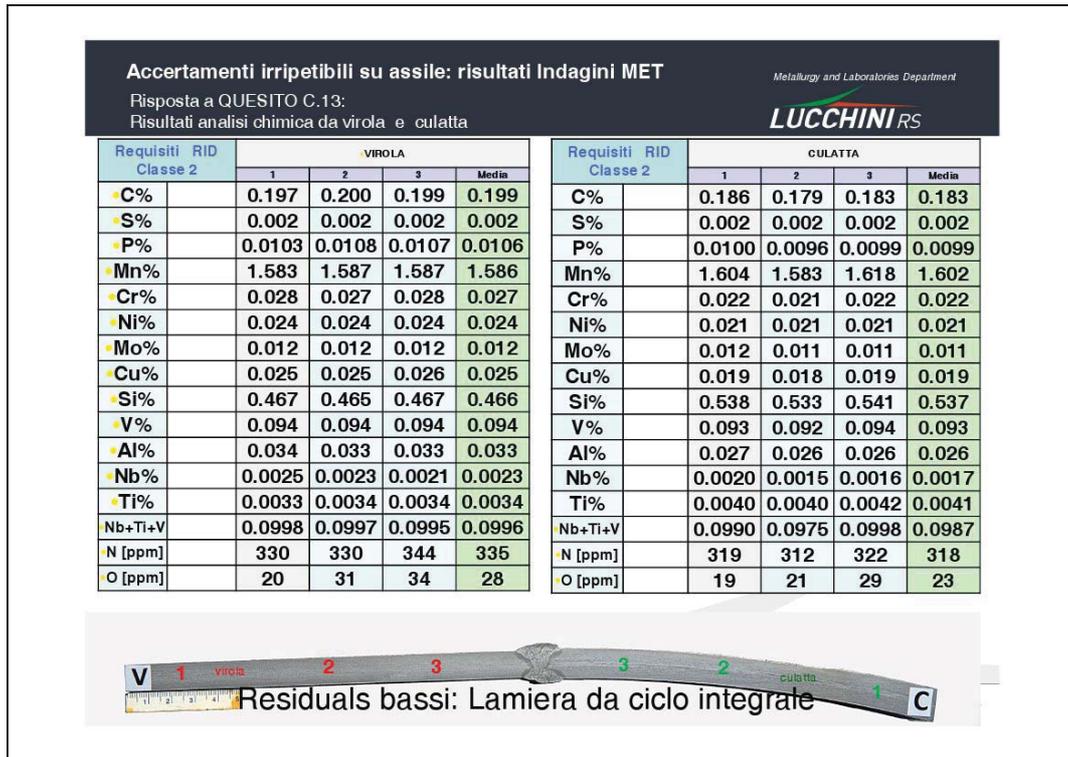
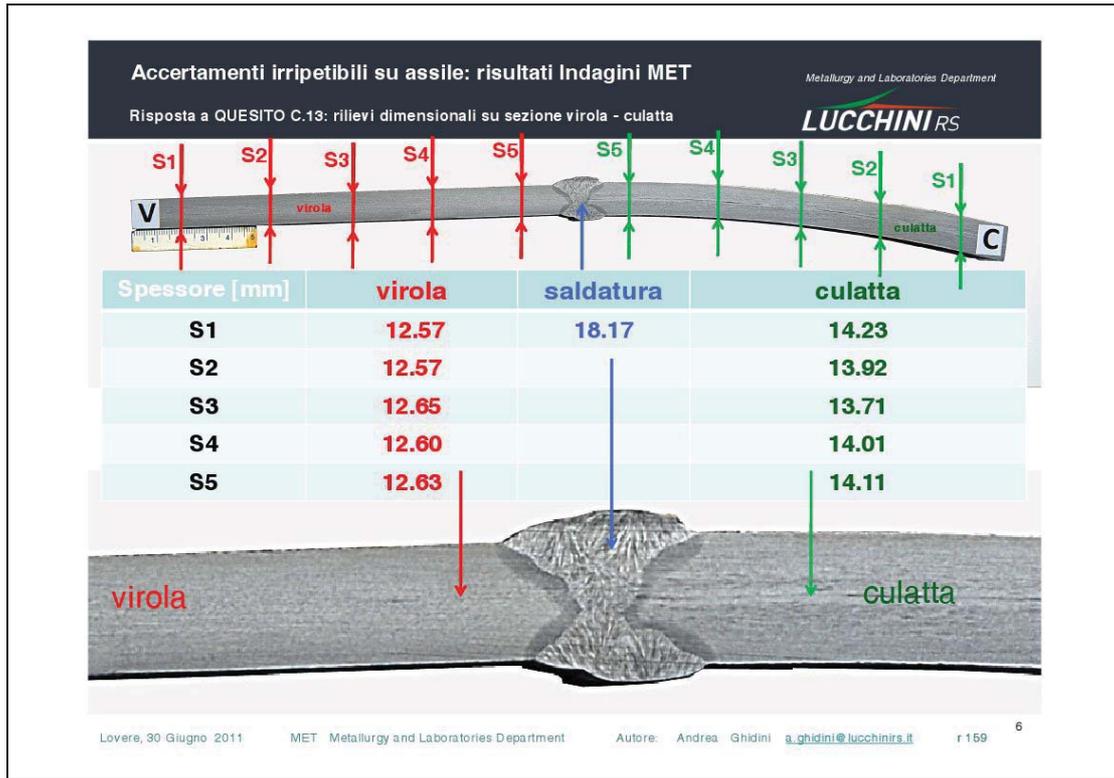
r 159

8

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti

Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie

Integrazione alla relazione di indagine del 23.03.2012 riguardante l'incidente ferroviario di Viareggio del 29.06.2009



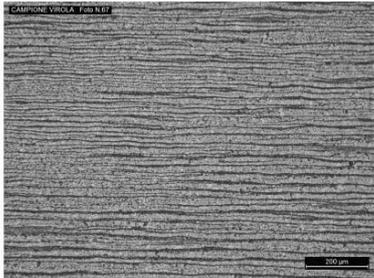
**Accertamenti irripetibili su assile: risultati Indagini MET**

Risposta a QUESITO C.13:  
Risultati analisi metallografica da virola e culatta

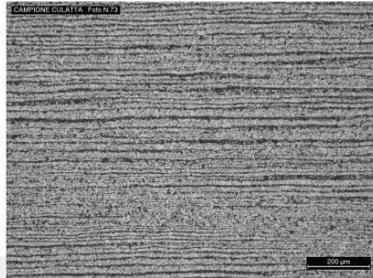
Metallurgy and Laboratories Department

**LUCCHINI** RS

	Campione Virola	Campione Culatta
Microstruttura (metodo UNI 2227; criterio EN 13261 Par. 3.3.1)	Ferrite e Perlite a bandeggiamento marcato	Ferrite e Perlite a bandeggiamento marcato
Dimensioni grano (metodo EN ISO 643; criterio EN 13261 Par. 3.3.1)	11 (vds. micro Diapositive successive)	11 (vds. micro Diapositive successive)



CAMPIONE VIROLA (100x)



CAMPIONE CULATTA (100x)

Lovere, 30 Giugno 2011
MET Metallurgy and Laboratories Department
Autore: Andrea Ghidini [a.ghidini@lucchinirs.it](mailto:a.ghidini@lucchinirs.it)
r 159 9

Dall'analisi dei risultati delle prove di laboratorio sopra riportati, si evince che il materiale della cisterna è compatibile dal punto di vista tecnico ( meccanico-chimico-metallografico) con quanto dichiarato dal costruttore e con la documentazione inerente la cisterna acquisita dalla Commissione ministeriale.

### 2.3 Quesito C.14

L'ultimo quesito posto dal GIP in relazione al recipiente a pressione era il seguente:

In merito al recipiente in pressione contenente il GPL: culatta e virola rotta

*“Rilevare, descrivere ed analizzare tutti gli elementi di fatto utili a determinare il grado di credibilità delle ipotesi di taglio della cisterna provocato dal picchetto n. 24 o dalla piegata a zampa di lepre del deviatore 13/b — l'analisi sarà in primo luogo sviluppata valutando la compatibilità tra la geometria dello squarcio e quella dei due oggetti di cui sopra, anche tramite deduzioni della dinamica terminale dell'incidente rilevabile dallo scenario emergente dai riscontri effettuati dalla PG. “*

Al fine di rispondere in maniera esaustiva a detto ultimo quesito è necessario esprimere una serie di considerazioni che vanno dallo studio della cinematica del moto della ferrocisterna, alla

possibile compatibilità geometrica del moto con gli elementi dell'infrastruttura ferroviaria, oltre a considerazioni di natura tecnica e tecnologica, coadiuvata da rilievi geometrici e fotografici acquisiti nei vari sopralluoghi a cui la Commissione Ministeriale ha partecipato.

In primo luogo si è avuto riguardo di analizzare il moto del convoglio nel suo complesso a livello di macro sistema, con lo studio degli spazi, delle velocità, delle accelerazioni, dei tempi ecc...rilevati dal sistema Driving Information System (DIS). Successivamente si è analizzato la più probabile cinematica del primo carrocisterna negli ultimi istanti del proprio moto al fine di rilevare elementi utili per una adeguata ricostruzione delle possibili cause della perforazione della cisterna.

## **2.4 Meccanica dell'incidente**

La meccanica dell'incidente è stata considerata sia per il suo aspetto cinematico (velocità, accelerazioni, spazi e tempi), sia per quello geometrico: posizione dei carri sull'infrastruttura ferroviaria e ricostruzione 3D dell'intero convoglio dal passaggio sulla passatoia a raso all'arresto del primo carro.

### **2.4.1 Aspetti di natura cinematica**

La cinematica del convoglio (tempi, spazi di percorrenza, velocità ecc..) risulta sufficientemente dettagliata in quanto tutti i dati cinematici di cui sopra sono stati acquisiti dal sistema di bordo DIS.

Tuttavia, si è reso necessario eseguire una serie di calcoli sia per l'allineamento dei punti riportati sul DIS con quelli rilevati dagli organi di PG i quali hanno elaborato la planimetria cui si fa costantemente riferimento nella presente relazione tecnica, sia per il calcolo delle decelerazioni a cui il convoglio è stato sottoposto dallo svio alla sua posizione statica finale.

Dalla planimetria elaborata dall'organo accertatore si evince (vedi figura 1) che in prossimità della passatoia a raso al termine del marciapiede del 4° binario l'assile 98331 si sganciava e veniva proiettato a distanza di circa 65.16 metri con un angolo di circa 20° ed una velocità di circa 21 m/s ( $V_{ass} = V_{tr} / \cos(20^\circ)$ ).

Oltre a tale semplice verifica sulla velocità di proiezione dell'assile, la Commissione ha sviluppato anche una serie di considerazioni di natura cinematica e geometrica per individuare la più probabile evoluzione del sinistro che ha caratterizzato il moto della prima ferrocisterna negli istanti immediatamente precedenti al ribaltamento e la

individuazione dell'oggetto o degli oggetti che, verosimilmente, hanno provocato lo squarcio della culatta e del mantello.

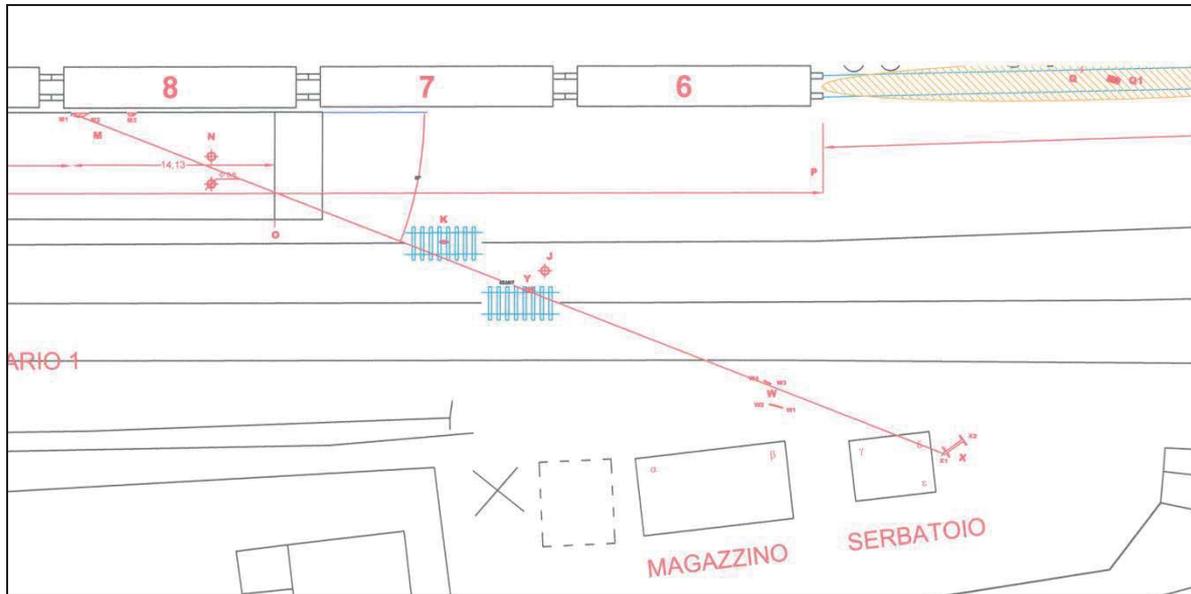


FIG. 1 - DETTAGLIO TRAIETTORIA ASSILE N° 98331

A tale scopo partendo dalle posizioni statiche finali raggiunte dai componenti del convoglio (locomotore, ferrocisterne ecc..) così come rilevato dall'organo di PG, ed elaborando tali elementi con l'analisi dei dati cinematici rilevati dalla lettura del DIS, è stato possibile risalire ai parametri fisici (tempi, spazi, velocità, decelerazioni ecc..) che hanno caratterizzato l'evento.

Di seguito si riportano le posizioni dei vari carri, le loro coordinate planimetriche relative ed assolute, le velocità possedute dai vari componenti del convoglio in relazione allo spazio percorso.

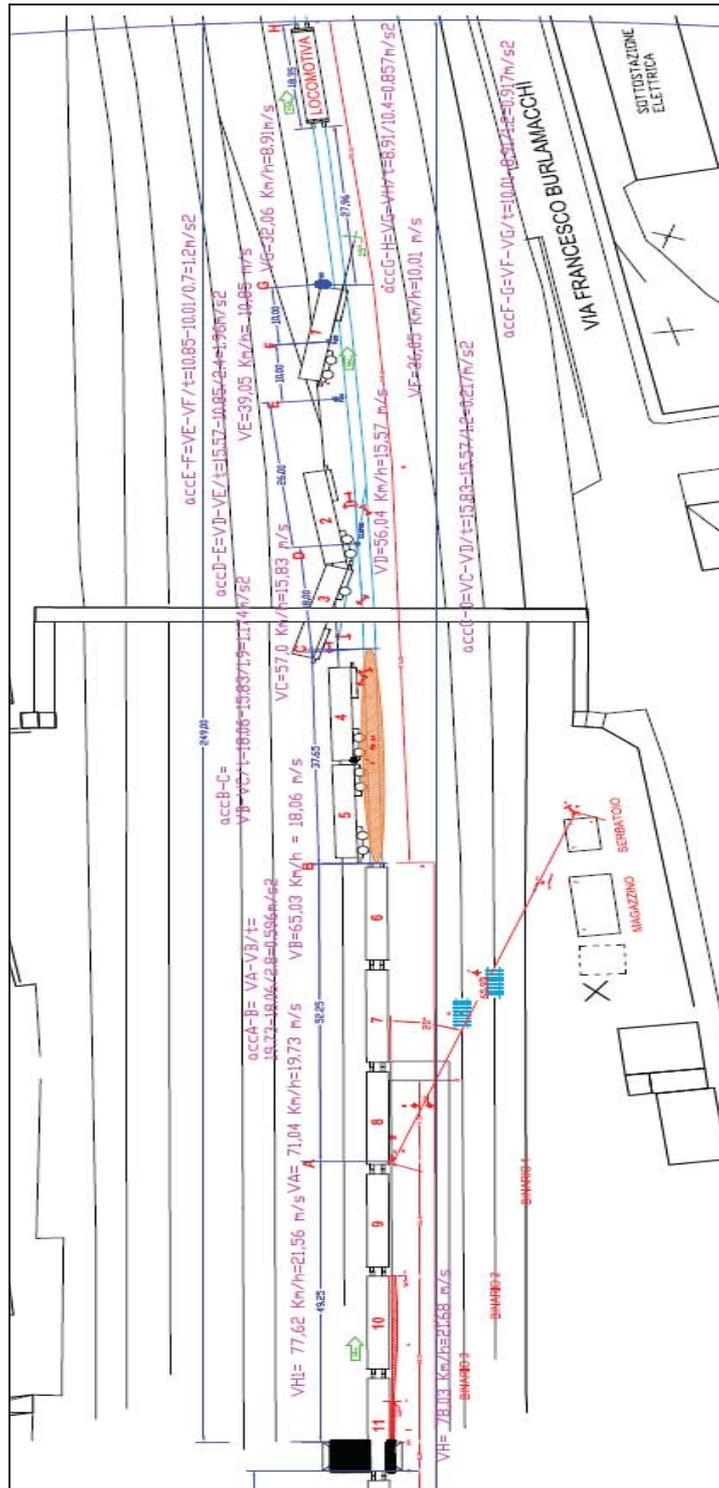


FIG. 2 – POSIZIONE STATICA FINALE CONVOGLIO E VELOCITÀ DELLA LOCOMOTIVA DURANTE IL SUO MOTO

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti

Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie

Integrazione alla relazione di indagine del 23.03.2012 riguardante l'incidente ferroviario di Viareggio del 29.06.2009

Dall'analisi dello schema di cui sopra si evince che il primo carro cisterna, dopo aver oltrepassato la passatoia a raso posta al termine del marciapiede del quarto binario della stazione di Viareggio, alla velocità di circa 78 Km/h, dapprima sormontava il marciapiede posto sul lato destro senso marcia treno (smt) provocando la rottura per circa 29 metri del cordolo e dell'asfalto per poi, a distanza di circa 20 metri, perdere la seconda sala del primo carrello che veniva proiettata a distanza di circa 65 metri sul lato destro smt con un angolo di circa 20°. Dopo aver percorso ulteriori 52 metri circa, il primo carrello del primo carro cisterna, privo del necessario supporto, iniziava a ruotare intorno alla sua ralla nel mentre la cisterna si ribaltava sul fianco sinistro smt unitamente ai primi quattro carri. Nel suo moto roto-traslatorio il carrello provocava la rottura delle traverse e l'aratura dell'infrastruttura ferroviaria con conseguente distruzione dei binari per una lunghezza di circa 38 metri passando da una velocità di 65 Km/h a circa 57 Km/h. Dopo aver percorso ulteriori 18 metri col carrello che aveva compiuto un giro completo intorno alla propria ralla, la ferrocisterna, ancora agganciata al locomotore, incontrava, alla velocità di circa 56 Km/h, la controrotaia destra smt del deviatoio 13B, la piegata a zampa di lepre del deviatoio 13B e la controrotaia sinistra del medesimo deviatoio.

Dal momento del sormonto del marciapiede alla piegata a zampa di lepre erano trascorsi appena 8 secondi e la ferro cisterna aveva percorso circa 157 metri.

Dopo circa ulteriori 26 metri, muovendosi sui binari, la prima ferrocisterna incontrava il picchetto numero 24 ad una velocità riferita al locomotore di 39 Km/h in un tempo di 2.4 secondi per poi urtare il picchetto 23 posto a distanza di ulteriori 10 metri in un tempo di 0.7 secondi alla medesima velocità di 39 Km/h. Dunque durante il percorso la cisterna ha incontrato alcuni enti che potenzialmente per la loro forma, natura e dimensione possono avere inciso sull'involucro della cisterna e precisamente n° 2 picchetti di riferimento delle curve a m. 1,25 dalla rotaia della controrotaia sx del deviatoio 13 B, la piegata a zampa di lepre del cuore del deviatoio 13B e la controrotaia dx del deviatoio 13B.

Infine nel giungere nella posizione statica finale, la ferrocisterna veniva rinvenuta con angolazione di 15° in senso orario rispetto alla direzione dei binari dopo aver percorso rispetto al picchetto 23 ulteriori 10 metri in 1.2 secondi, mentre il locomotore, riferito al suo baricentro, si fermava a circa 37 metri dai respingenti anteriori del primo carro cisterna (progressiva chilometrica 119+437 al tempo di 23.48.42 dai dati DIS).

Quindi la posizione statica finale del convoglio era così individuata: a 37 metri dal locomotore era presente il primo carro rovesciato sul lato sinistro smt, a 10 m. da questo si trovano gli altri 4 carri cisterna ribaltati, 2 carri cisterna sviati e non rovesciati e gli altri 7 regolarmente sul binario.

Da tali ultimi dati si rileva che la ferro cisterna è rimasta agganciata al locomotore almeno fino al passaggio fra il picchetto 24 e 23 ove si rileva una diminuzione dell'accelerazione che passa da 1.96 m/s<sup>2</sup> alla piegata a zampa di lepre a 0.8 m/s<sup>2</sup> al picchetto 22.

A tal riguardo si riporta, per semplicità, uno schema delle velocità e delle accelerazioni (estratto dai dati del DIS) relative al tratto interessato.

n. rec	stato condotta PcM Coasting, F- Frenatura T-	percorrenza metrica (m)	DELTA PERCORRENZA (m)	PROGRESSIVA METRICA	PROGRESSIVA METRICA RISPETTO P.TO DI SVIO	v PcM (km/h)	t (sec)	DELTA t	ACCELERAZIONI	NOTE	VELOCITA' DA ZTE PUNTI RILEVANTI (km/h)
1498	C	291128	0	0,00	-415,80	94	0,00	0,00	-0,04		
1499	C	291325	197	197,00	-218,80	93	7,70	7,70	0,00		
1500	C	291351	26	223,00	-192,80	93	8,60	0,90	0,00	LE COLONNE COLORATE	
1501	C	291359	8	231,00	-184,80	93	9,00	0,40	0,00	SONO STATE AGGIUNTE	
1502	C	291391	32	263,00	-152,80	93	10,20	1,20	0,00		
1503	C	291391	0	263,00	-152,80	93	10,40	0,20	0,00		
1504	C	291406	15	278,00	-137,80	93	11,00	0,60	0,00		
1505	C	291424	18	296,00	-119,80	93	11,50	0,50	0,00		
1506	C	291432	8	304,00	-111,80	93	11,60	0,10	0,00		
1507	C	291448	16	320,00	-95,80	93	12,40	0,80	-0,21		
1508	C	291481	33	353,00	-62,80	92	13,70	1,30	0,00		
1509	C	291489	8	361,00	-54,80	92	14,00	0,30	0,00		
1510	C	291497	8	369,00	-46,80	92	14,40	0,40	0,00		
1511	T	291512	15	384,00	-31,80	92	15,10	0,70	0,00		
1512	T	291530	18	402,00	-13,80	92	15,50	0,40	0,00	16,44 sec antecedente lo svio	92
1513	T	291562	32	434,00	18,20	92	17,38	1,88	0,00	inizio svio circa metri 0 -18,20	25,56
1514	T	291577	15	449,00	33,20	92	17,88	0,50	0,00		
1515	T	291592	15	464,00	48,20	92	18,68	0,80	-0,26		
1516	T	291648	56	520,00	104,20	90	20,78	2,10	0,00		
1517	C	291673	25	545,00	129,20	90	21,78	1,00	-0,56		
1518	C	291689	16	561,00	145,20	89	22,28	0,50	-0,23		
1519	C	291719	30	591,00	175,20	88	23,48	1,20	0,00		
1520	C	291736	17	608,00	192,20	88	24,38	0,90	-0,62		
1521	C	291765	29	637,00	221,20	86	25,28	0,90	-0,35	accelerazioe media nel tratto SVIO-PASSATOIA (m/s2)	-0,252
1522	C	291779	14	651,00	235,20	85	26,08	0,80	-0,40		
1523	C	291803	24	675,00	259,20	84	26,78	0,70	-0,19		
1524	C	291831	28	703,00	287,20	83	28,28	1,50	-0,46		
1525	C	291852	21	724,00	308,20	82	28,88	0,60	0,00		
1526	C	291859	7	731,00	315,20	82	29,38	0,50	-1,11		
1527	C	291875	16	747,00	331,20	80	29,88	0,50	0,00		
1528	C	291875	0	747,00	331,20	80	30,28	0,40	-0,93		
1529	C	291895	20	767,00	351,20	78	30,88	0,60	0,00	passatoia circa 340,81 m da svio	78,03
1530	C	291895	0	767,00	351,20	78	31,08	0,20	0,00	$V=Vi+(Vi-1-Vi+1)/Vi-1$	21,68
1531	C	291901	6	773,00	357,20	78	31,58	0,50	-5,56		
1532	C	291909	8	781,00	365,20	76	31,68	0,10	-0,69		
1533	C	291914	5	786,00	370,20	75	32,08	0,40	-1,39	accelerazioe media nel tratto FINE PASSATOIA- PUNTO A (m/s2)	-0,929
1534	C	291920	6	792,00	376,20	74	32,28	0,20	0,00		
1535	C	291920	0	792,00	376,20	74	32,48	0,20	-0,69		
1536	F	291928	8	800,00	384,20	73	32,88	0,40	-5,56		
1537	F	291934	6	806,00	390,20	71	32,98	0,10	-0,93	p.to (A) circa 389,99 m da svio	71,04
1538	F	291940	6	812,00	396,20	70	33,28	0,30	-0,23	$V=Vi+(Vi-1-Vi+1)/Vi-1$	19,73
1539	F	291965	25	837,00	421,20	69	34,48	1,20	-0,93		
1540	F	291971	6	843,00	427,20	68	34,78	0,30	-0,56		
1541	F	291977	6	849,00	433,20	67	35,28	0,50	-2,78	accelerazioe media nel tratto A-B (m/s2)	-0,596

Tabella 1 – schema velocità accelerazioni nel tratto di interesse

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti

Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie

Integrazione alla relazione di indagine del 23.03.2012 riguardante l'incidente ferroviario di Viareggio del 29.06.2009

		percorrenza metrica (m)	DELTA PERCORRENZA (m)	PROGRESSIVA METRICA	PROGRESSIVA METRICA RISPETTO P. TO DI SVIO	v PdM (km/h)	t (sec)	DELTA t	ACCELERAZIONI	NOTE	VELOCITA' DA ZTE PUNTI RILEVANTI (km/h)
1542	F	291982	5	854,00	438,20	66	35,38	0,10	-0,69		
1543	F	291988	6	860,00	444,20	65	35,78	0,40	-0,93	P.to (B) circa 442,24 m da svio	65,03
1544	F	291993	5	865,00	449,20	64	36,08	0,30	0,00	$V=Vi+(Vi-1-Vi+1)/Vi-1$	18,06
1545	F	291993	0	865,00	449,20	64	36,18	0,10	-0,93		
1546	F	291998	5	870,00	454,20	63	36,48	0,30	0,00		
1547	F	291998	0	870,00	454,20	63	36,58	0,10	-8,33		
1548	F	292003	5	875,00	459,20	60	36,68	0,10	0,00	accelerazioe media nel tratto B-C (m/s2)	-1,174
1549	F	292003	0	875,00	459,20	60	36,78	0,10	-1,85		
1550	F	292008	5	880,00	464,20	58	37,08	0,30	-0,56		
1551	F	292013	5	885,00	469,20	57	37,58	0,50	0,00		
1552	F	292013	0	885,00	469,20	57	37,68	0,10	0,00	P.to (C) circa 479,89 m da svio	57
1553	F	292029	16	901,00	485,20	57	38,18	0,50	0,00	$V=Vi+(Vi-1-Vi+1)/Vi-1$	15,83
1554	F	292034	5	906,00	490,20	57	38,58	0,40	-2,78	accelerazioe media nel tratto C-D (m/s2)	-0,217
1555	F	292039	5	911,00	495,20	56	38,68	0,10	0,00		
1556	F	292039	0	911,00	495,20	56	38,88	0,20	-2,78	zampa I.(D) circa 497,89 m da svio	56,04
1557	F	292044	5	916,00	500,20	54	39,08	0,20	0,00	$V=Vi+(Vi-1-Vi+1)/Vi-1$	15,57
1558	F	292044	0	916,00	500,20	54	39,18	0,10	-5,56		
1559	F	292048	4	920,00	504,20	50	39,38	0,20	0,00		
1560	F	292048	0	920,00	504,20	50	39,48	0,10	-8,33		
1561	F	292053	5	925,00	509,20	44	39,68	0,20	-2,78		
1562	F	292056	3	928,00	512,20	42	39,88	0,20	0,00	accelerazioe media nel tratto D-E (m/s2)	-1,967
1563	F	292056	0	928,00	512,20	42	39,98	0,10	-0,40		
1564	F	292060	4	932,00	516,20	41	40,68	0,70	-2,78		
1565	F	292063	3	935,00	519,20	40	40,78	0,10	-0,56		
1566	F	292066	3	938,00	522,20	39	41,28	0,50	-2,78	pic 24 (E) circa 523,89 m da svio	39,05
1567	F	292069	3	941,00	525,20	38	41,38	0,10	0,00	$V=Vi+(Vi-1-Vi+1)/Vi-1$	10,85
1568	F	292069	0	941,00	525,20	38	41,58	0,20	-0,93		
1569	F	292073	4	945,00	529,20	37	41,88	0,30	-2,78	accelerazioe media nel tratto E-F (m/s2)	-1,2
1570	F	292076	3	948,00	532,20	36	41,98	0,10	-1,39	pic 23 ( F ) circa 533,89 m da svio	36,05
1571	F	292079	3	951,00	535,20	35	42,18	0,20	0,00	$V=Vi+(Vi-1-Vi+1)/Vi-1$	10,01
1572	F	292079	0	951,00	535,20	35	42,28	0,10	-1,39		
1573	F	292082	3	954,00	538,20	34	42,48	0,20	-2,78		
1574	F	292085	3	957,00	541,20	32	42,68	0,20	0,00	accelerazioe media nel tratto F-G (m/s2)	-0,917
1575	F	292085	0	957,00	541,20	32	42,88	0,20	0,00		
1576	F	292088	3	960,00	544,20	32	43,18	0,30	-1,85	pic 22 (G) circa 543,89 da svio (progressiva metrica 959,69)	32,06
1577	F	292091	3	963,00	547,20	30	43,48	0,30	0,00	$V=Vi+(Vi-1-Vi+1)/Vi-1$	8,91
1578	F	292093	2	965,00	549,20	30	43,78	0,30	-0,93		
1579	F	292096	3	968,00	552,20	29	44,08	0,30	0,00		
1580	F	292096	0	968,00	552,20	29	44,38	0,30	-2,78		
1581	F	292098	2	970,00	554,20	28	44,48	0,10	0,00		
1582	F	292098	0	970,00	554,20	28	44,68	0,20	0,00		
1583	F	292098	0	970,00	554,20	28	44,88	0,20	0,00		
1584	F	292098	0	970,00	554,20	28	44,98	0,10	-5,56	accelerazioe media nel tratto G-H (m/s2)	-0,857
1585	F	292103	5	975,00	559,20	26	45,08	0,10	-1,39		
1586	F	292105	2	977,00	561,20	25	45,28	0,20	0,00		

Tabella 2– schema velocità accelerazioni nel tratto di interesse

		percorrenza metrica (m)	DELTA PERCORRENZA (m)	PROGRESSIVA METRICA	PROGRESSIVA METRICA RISPETTO P.TO DI SVIO	v PdM (km/h)	t (sec)	DELTA t	ACCELERAZIONI	NOTE	VELOCITA' DA ZTE PUNTI RILEVANTI (Km/h)
1587	F	292105	0	977,00	561,20	25	45,68	0,40	-2,78		
1588	F	292107	2	979,00	563,20	24	45,78	0,10	0,00		
1589	F	292107	0	979,00	563,20	24	45,98	0,20	-2,78		
1590	F	292109	2	981,00	565,20	23	46,08	0,10	-1,39		
1591	F	292111	2	983,00	567,20	22	46,28	0,20	0,00		
1592	F	292111	0	983,00	567,20	22	46,48	0,20	-1,85		
1593	F	292115	4	987,00	571,20	20	46,78	0,30	0,00		
1594	F	292115	0	987,00	571,20	20	47,18	0,40	-2,78		
1595	F	292118	3	990,00	574,20	19	47,28	0,10	0,00		
1596	F	292118	0	990,00	574,20	19	47,58	0,30	-1,39		
1597	F	292120	2	992,00	576,20	18	47,78	0,20	0,00		
1598	F	292120	0	992,00	576,20	18	47,88	0,10	-2,78		
1599	F	292121	1	993,00	577,20	17	47,98	0,10	0,00		
1600	F	292121	0	993,00	577,20	17	48,18	0,20	-2,78		
1601	F	292123	2	995,00	579,20	16	48,28	0,10	0,00		
1602	F	292123	0	995,00	579,20	16	48,48	0,20	-0,93		
1603	F	292124	1	996,00	580,20	15	48,78	0,30	0,00		
1604	F	292124	0	996,00	580,20	15	48,88	0,10	-1,39		
1605	F	292125	1	997,00	581,20	14	49,08	0,20	0,00		
1606	F	292125	0	997,00	581,20	14	49,18	0,10	-0,93		
1607	F	292128	3	1000,00	584,20	13	49,48	0,30	0,00		
1608	F	292128	0	1000,00	584,20	13	49,88	0,40	-2,78		
1609	F	292129	1	1001,00	585,20	11	50,08	0,20	-0,93		
1610	F	292130	1	1002,00	586,20	10	50,38	0,30	-1,39		
1611	F	292131	1	1003,00	587,20	9	50,58	0,20	0,00		
1612	F	292131	0	1003,00	587,20	9	50,68	0,10	0,00		
1613	F	292131	0	1003,00	587,20	9	50,88	0,20	-1,85		
1614	F	292132	1	1004,00	588,20	7	51,18	0,30	-1,39		
1615	F	292133	1	1005,00	589,20	6	51,38	0,20	0,00		
1616	F	292133	0	1005,00	589,20	6	51,48	0,10	-2,78		
1617	F	292133	0	1005,00	589,20	5	51,58	0,10	0,00		
1618	F	292133	0	1005,00	589,20	5	51,78	0,20	0,00		
1619	F	292133	0	1005,00	589,20	5	51,98	0,20	-2,78		
1620	F	292133	0	1005,00	589,20	4	52,08	0,10	0,00		
1621	F	292133	0	1005,00	589,20	4	52,18	0,10	-1,39		
1622	F	292134	1	1006,00	590,20	3	52,38	0,20	-1,39		
1623	F	292134	0	1006,00	590,20	2	52,58	0,20	-0,31		
1624	F	292134	0	1006,00	590,20	1	53,48	0,90	-2,78		
1625	F	292134	0	1006,00	590,20	0	53,58	0,10			
				distanza da inizio svio (m)			tempo da inizio svio (s)				
		tratto interess (m)	1006	1006	590,20		37,14			ARRESTO	

Tabella 3 – schema velocità accelerazioni nel tratto di interesse

#### 2.4.2 Aspetti di natura geometrica.

Da un punto di vista geometrico non vi è dubbio che il primo carro abbia concluso la

*Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti*

*Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie*

*Integrazione alla relazione di indagine del 23.03.2012 riguardante l'incidente ferroviario di Viareggio del 29.06.2009*

propria fase dinamica con angolazione di circa 15° rispetto alla direzione del binario. Inoltre se si considera che i primi segni di incisione sulla cisterna hanno un andamento angolare iniziale di circa 5° - 6° rispetto alla direttrice del cilindro, è da ritenere che l'ente contro cui il carro ha urtato abbia modificato la traiettoria del carro dal punto d'urto alla posizione statica finale.

Con riferimento al presunto punto d'urto, all'andamento delle abrasioni presenti sulla culatta e sul mantello del recipiente, alla posizione statica finale del carro rilevate dall'organo accertatore, sono stati elaborati una serie di scenari in 3D mediante animazione filmata con lo scopo di rappresentare le posizioni reciproche del primo carro con taluni enti dell'infrastruttura quali la controrotaia destra del deviatoio 13B, la piegata alla piegata a zampa di lepre del cuore del deviatoio 13B, la controrotaia sinistra del medesimo deviatoio, il picchetto 24, allo scopo di individuare la posizione probabilisticamente più compatibile al momento dell'urto.

Nell'analisi delle possibili cause della rottura della cisterna, questa Commissione ministeriale, pur avendo partecipato fin dal primo momento nella ricostruzione della possibile evoluzione dell'incidente e a tutte le fasi dell'incidente probatorio, ha ritenuto di non esprimere una valutazione in merito, laddove si è cercato una compatibilità geometrica-meccanica-matografica fra i vari simulacri realizzati in materiale di resina riproducenti sia la piegata a zampa di lepre che il picchetto n. 24, perché come evidenziato nei vari filmati e nelle varie foto allegate, non è stato possibile individuare con certezza la natura dello squarcio, unitamente alla natura del truciolo essendo entrambi di dimensioni variabili (larghezza e lunghezza) quale dei vari enti abbia potuto perforare la cisterna.

Infatti dalle foto seguenti si rileva che a seconda dell'angolo di appoggio e a seconda della posizione dello squarcio i due simulacri risultano alle volte geometricamente compatibili, altre volte assolutamente privi di qualsivoglia attinenza. Analogamente per quanto attiene alla compatibilità del truciolo con i medesimi due componenti.



FOTO 1 – POSSIBILE COMPATIBILITÀ SIMULACRO PIEGATA A ZAMPA DI LEPRE - SQUARCIO CISTERNA



FOTO 2 – POSSIBILE COMPATIBILITÀ SIMULACRO ZAMPA DI LEPRE - SQUARCIO CISTERNA



FOTO 3 – POSSIBILE COMPATIBILITÀ SIMULACRO PIEGATA A ZAMPA DI LEPRE - SQUARCIO CISTERNA



FOTO 4 – POSSIBILE COMPATIBILITÀ SIMULACRO PIEGATA A ZAMPA DI LEPRE - SQUARCIO CISTERNA



FOTO 5 – POSSIBILE COMPATIBILITÀ SIMULACRO PICCHETTO - SQUARCIO CISTERNA



FOTO 6 – POSSIBILE COMPATIBILITÀ SIMULACRO PICCHETTO - SQUARCIO CISTERNA



FOTO 7 – POSSIBILE COMPATIBILITÀ TRUCIOLO ZAMPA - DI LEPRE



FOTO 8 – POSSIBILE COMPATIBILITÀ TRUCIOLO - PIEGATA A ZAMPA DI LEPRE



FOTO 9 – POSSIBILE COMPATIBILITÀ TRUCIOLO - PIEGATA A ZAMPA DI LEPRE



FOTO 10 – POSSIBILE COMPATIBILITÀ TRUCIOLO - PIEGATA A ZAMPA DI LEPRE



FOTO 11 – POSSIBILE COMPATIBILITÀ TRUCIOLO - PICCHETTO 24



FOTO 12 – POSSIBILE COMPATIBILITÀ TRUCIOLO - PICCHETTO 24



FOTO 13 – POSSIBILE COMPATIBILITÀ TRUCIOLO - PICCHETTO 24



FOTO 14 – POSSIBILE COMPATIBILITÀ TRUCIOLO - PICCHETTO 24



FOTO 15 – POSSIBILE COMPATIBILITÀ TRUCIOLO - PICCHETTO 24



FOTO 16 – POSSIBILE COMPATIBILITÀ TRUCIOLO - PICCHETTO 24



FOTO 17 – POSSIBILE COMPATIBILITÀ TRUCIOLO - PICCHETTO 24



FOTO 18 – POSSIBILE COMPATIBILITÀ TRUCIOLO - PICCHETTO 24



FOTO 19 – POSSIBILE COMPATIBILITÀ TRUCIOLO - PICCHETTO 24

Dalle sopra citate foto è stato possibile rilevare che diversamente confrontando porzioni di materiali ipotizzati come tra loro interferenti, accade sia possibile riscontrare una compatibilità geometrica fra squarcio e simulacro del picchetto, così come appare a volte compatibile anche la geometria fra simulacro della piegata a zampa di lepre e squarcio; analoghe compatibilità si riscontrano tra il ricciolo di risulta dell'azione di squarcio e il picchetto ed in parte tra la piegata a zampa di lepre ed il medesimo ricciolo.

#### **2.4.3. Valutazione visiva superfici picchetto e piegata a zampa di lepre**

Ancora in tema di compatibilità tra squarcio e suoi elementi residuanti (ricciolo ancora attaccato al mantello della cisterna e ricciolo rinvenuto staccato all'interno della medesima cisterna) con gli elementi che hanno presuntivamente operato il medesimo squarcio, si deve valutare come esista una condizione di corrispondenza tra linee generate da azione di attrito ben visibili sulla punta del picchetto e sui riccioli nonché sulla porzione di cisterna che segue in stretta continuità lo squarcio come è di chiara evidenza nelle foto 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30.



FOTO 20 – RIGATURE PRESENTI SU PICCHETTO 24 (04/07/2009)



FOTO 21 - PICCHETTO N. 24 –SEGNII DI SFREGAMENTO PRESENTI SUL PICCHETTO  
(DA RELAZIONE CTU GIP)



FOTO 22 - PICCHETTO N. 24 –SEGNI DI SFREGAMENTO PRESENTI SUL PICCHETTO  
(DA RELAZIONE CTU GIP)



FOTO 23 – RIGATURE PRESENTI SU PICCHETTO 24 (24/03/2010)



FOTO 24 – RIGATURE PRESENTI SU CISTERNA (PARTE INFERIORE) (04/07/2009)



FOTO 25 – RIGATURE PRESENTI SU CISTERNA (PARTE INFERIORE) (04/07/2009)



FOTO 26 – RIGATURE PRESENTI SU CISTERNA (PARTE SUPERIORE) (04/07/2009)



FOTO 27 – RIGATURE PRESENTI SU RICCIOLO ATTACCATO INTERNO CISTERNA (04/07/2009)



FOTO 28 – RIGATURE PRESENTI SU RICCIOLO TROVATO INTERNO CISTERNA (07/06/2011)



FOTO 29 – RIGATURE PRESENTI SU RICCIOLO TROVATO INTERNO CISTERNA (07/06/2011)



FOTO 30 – RIGATURE PRESENTI SU RICCIOLO ATTACCATO INTERNO CISTERNA (08/06/2011)

Non si rilevano analoghe linee sulla superficie frontale e orizzontale dell'eventuale fronte di impatto della piegata a zampa di lepre che mostra invece linee curve le cui tangenti ai loro vertici appaiono sostanzialmente perpendicolari al presunto moto reciproco tra cisterna e piegata a zampa di lepre che non possono essere state generate da azioni di attrito e strisciamento quanto piuttosto generate da azione di compressione e quindi da forze impulsive prodotte da altro strumento non identificabile come si evince dalle foto 31, 32, 33.



FOTO 31 – IMPRONTE PRESENTI SULLA PIEGATA A ZAMPA DI LEPRE LATO SINISTRO SMT (03/07/2009)



FOTO 32 – IMPRONTE PRESENTI SULLA PIEGATA A ZAMPA DI LEPRE VISTA SMT (03/07/2009)



FOTO 33 – IMPRONTE PRESENTI SULLA PIEGATA A ZAMPA DI LEPRE LATO SINISTRO SMT (08/05/2011)

Non ritenendo la Commissione di poter esaurire la propria analisi affidandosi alle sole valutazioni appena rappresentate, ha valutato opportuno cercare di ricostruire l'evoluzione dell'incidente effettuando una serie di simulazioni geometriche mediante filmati e fotogrammi in 3D delle varie fasi del moto del convoglio.

Tuttavia, prima di procedere alla rappresentazione dei vari scenari, la Commissione ha ritenuto opportuno riportare una sintesi descrittiva delle caratteristiche geometriche dei vari

enti dell'infrastruttura (piegata a zampa di lepre, picchetto 24, controrotaia, ecc.) e del software in 3D utilizzato per la simulazione dei vari filmati.

## 2.4.4 Descrizione della geometria degli enti presenti sull' infrastruttura

### 2.4.4.1. Descrizione comunicazione S.60 UNI/400/0.0094 D.O.S.

Nella figura che segue viene rappresentato il componente in esame rilevato dal disegno FS 9712

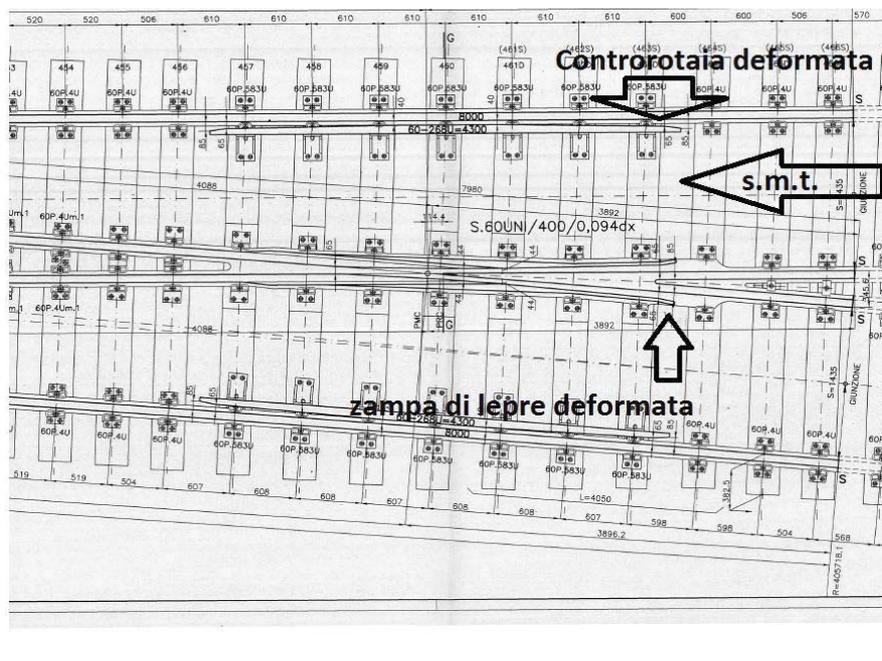


Figura 3 - Particolare della zona della comunicazione che presenta deformazioni e di cui si riporta una sezione trasversale alla posizione del cuore del deviativo utile per rilevare l'altezza e le altre dimensioni geometriche del piano del ferro.

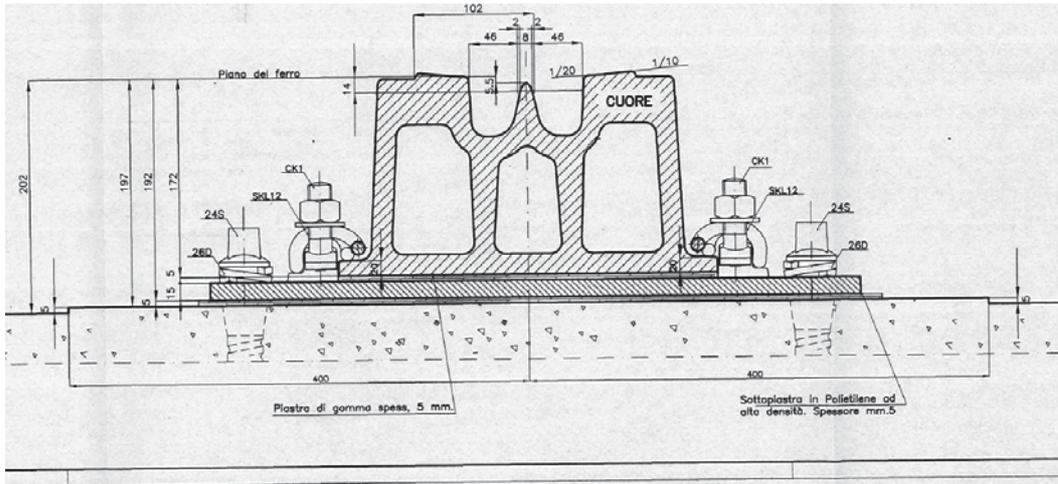


Figura 4 - Schema del cuore del deviatoio estratto dal disegno FS 9712



FOTO 34 - PIEGATA A ZAMPA DI LEPRE (DA RELAZIONE CTU GIP)



FOTO 35 - COMPLANARITÀ PIEGATA A ZAMPA DI LEPRE RISPETTO AL PIANO DEL FERRO



FOTO 36 – COMPLANARITÀ PIEGATA A ZAMPA DI LEPRE RISPETTO AL PIANO DEL FERRO

#### **2.4.4.2. Descrizione picchetto di regolazione curva n. 24.**

La sistemazione dei picchetti di regolazione delle curve viene realizzata secondo indicazioni riportate nelle norme di riferimento.

Per comodità di lettura della relazione si riporta quanto indicato nelle voci dei cataloghi dei

prezzi del gruppo AM.PZ.A.(parte 1)<sup>1</sup>

#### **2.4.4.2.1 Rilievi enti infrastruttura**

Dai rilievi eseguiti dalla P.G. in data 04.07.2009 nella zona del picchetto 24 (classificato nella repertazione con 1) sui principali elementi quale picchetto 24, rotaia, controrotaia si evidenzia che il picchetto n. 24, nella sua posizione statica finale, risulta complanare al binario adiacente e precisamente ad un quota di circa **26.2 cm** rispetto ad un medesimo punto assunto a riferimento, come rilevabile dalle seguenti foto 37, 38, 39, 40, 41 mentre la controrotaia risulta sporgente sul piano del ferro come riportato nel disegno richiamato in figura 6.

---

<sup>1</sup> Nei prezzi delle voci sono compresi e compensati ove non diversamente specificato gli oneri appresso indicati: - gli studi geometrici preliminari e definitivi ed ogni operazione ad essi connessa secondo i procedimenti e le modalità in uso nelle Ferrovie e le disposizioni delle Ferrovie stesse. Per la realizzazione delle nuove picchettazioni di riferimento laterali in sostituzione di quella unica di intervista, la cui esecuzione resta subordinata all'approvazione degli stessi studi da parte delle Ferrovie; ai controlli finali, a nuove picchettazioni realizzate, le frecce rilevate sulle tacche della picchettazione lato binario esterno (che sarà assunta come riferimento fondamentale con picchetti distanti fra di loro 10 metri) dovranno corrispondere a quelle teoriche dello stesso studio con tolleranza di un millimetro; (i picchetti lato binario interno verranno riferiti alla predetta picchettazione fondamentale, e disposti in posizione radiale con tolleranza di un millimetro sulla distanza fra le tacche corrispondenti: - gli scavi in materie di qualsiasi natura, consistenza e durezza per formazione di casseri, previa rimozione della massicciata in modo da incassare completamente nella piattaforma stradale i masselli di fondazione; - la formazione dei massetti di fondazione a forma cubica con lato di cinquanta centimetri, oppure cilindrica con diametro di sessanta centimetri e altezza di cinquanta centimetri, utilizzando conglomerato cementizio della resistenza caratteristica Rbk 150; - la predisposizione di picchetti di riferimento, ricavandoli da rotaie fornite dalle Ferrovie in una delle stazioni limitrofe al luogo d'impiego, mediante taglio a cannelo ad una estremità e taglio a sega dall'altra, di lunghezza tale che, posti in opera, risultino infissi nel massello di fondazione per almeno trentacinque centimetri e sporgano, con l'estremità superiore tagliata a sega e con superficie perfettamente piana, di cinque centimetri al di sopra della rotaia alta del binario adiacente (per particolari casi che non riflettono le condizioni di posa precitate, verranno impartite disposizioni dalle Ferrovie e l'Appaltatore vi dovrà adempiere): in corrispondenza dei Marciapiedi di stazione o di opere d'arte, in sostituzione dei picchetti di rotaia porranno essere applicate, a richiesta delle Ferrovie, piastre di acciaio inossidabile 18/10 dello spessore di mm. 7 fornite dall'Appaltatore, opportunamente zancate e numerate e delle dimensioni di mm. 150 x 300 se collocate a raso sul piano di calpestio dei marciapiedi oppure delle dimensioni di mm. 150 x 150 se poste in posizione verticale sul cordolo dello stesso marciapiedi o su altre opere d'arte; in tal caso i prezzi della presente voce saranno ridotti della quota di cui alla voce AM.PZ.,\201.C.;



FOTO 37 - POSIZIONE DEL LASER PER IL RILEVAMENTO DELLE ALTEZZE DEL BINARIO E DEL PICCHETTO N 24



FOTO 38 - RILEVAMENTO DELL'ALTEZZA DELLA CONTROROTAIA ADIACENTE AL PICCHETTO 24



FOTO 39 - RILEVAMENTO DELL' ALTEZZA DEL BINARIO ADIACENTE AL PICCHETTO 24

---

*Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti*

*Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie*

*Integrazione alla relazione di indagine del 23.03.2012 riguardante l'incidente ferroviario di Viareggio del 29.06.2009*



FOTO 40 - RILEVAMENTO DELL' ALTEZZA DEL PICCHETTO N 24 NELLA POSIZIONE STATICA FINALE



FOTO 41 - RILEVAMENTO DELL'ALTEZZA DEL PICCHETTO N 24 NELLA POSIZIONE STATICA FINALE

### 2.4.4.3. Descrizione controrotaia destra attigua al deviatoio 13B.

Il componente in esame è stato rilevato dal disegno FS 9712 scambio semplice tg.0.0939 S.60 UNI/400/0.094/ d.o.s. (scambio semplice tg.00939 S.60 UNI/400/0.094/ d.o.s. con cuore monoblocco di acciaio fuso al manganese) di cui si riporta un estratto schematico.

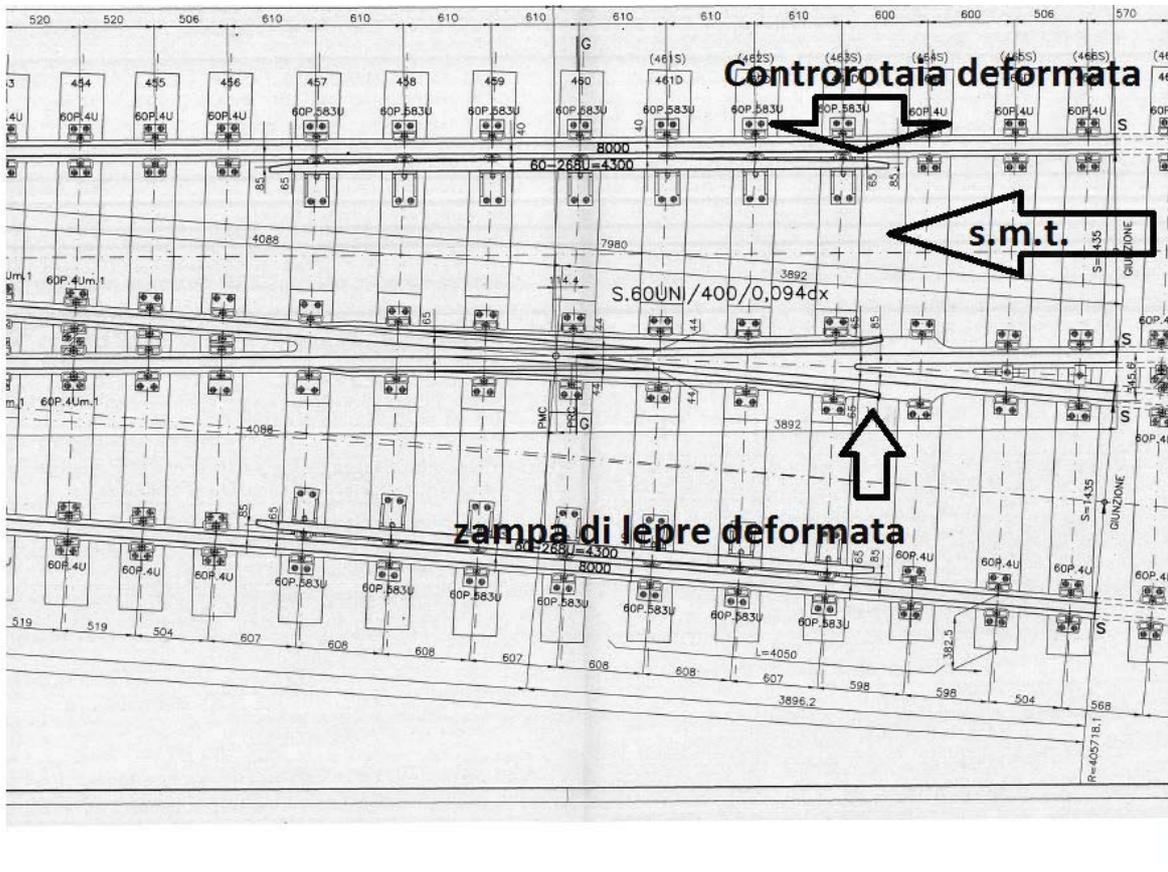


Figura 5 - Schema controrotaia destra deviatoio 13B estratto dal disegno FS 9712 (scambio semplice tg.00939 S.60 UNI/400/0.094/ d.o.s. con cuore monoblocco di acciaio fuso al manganese)

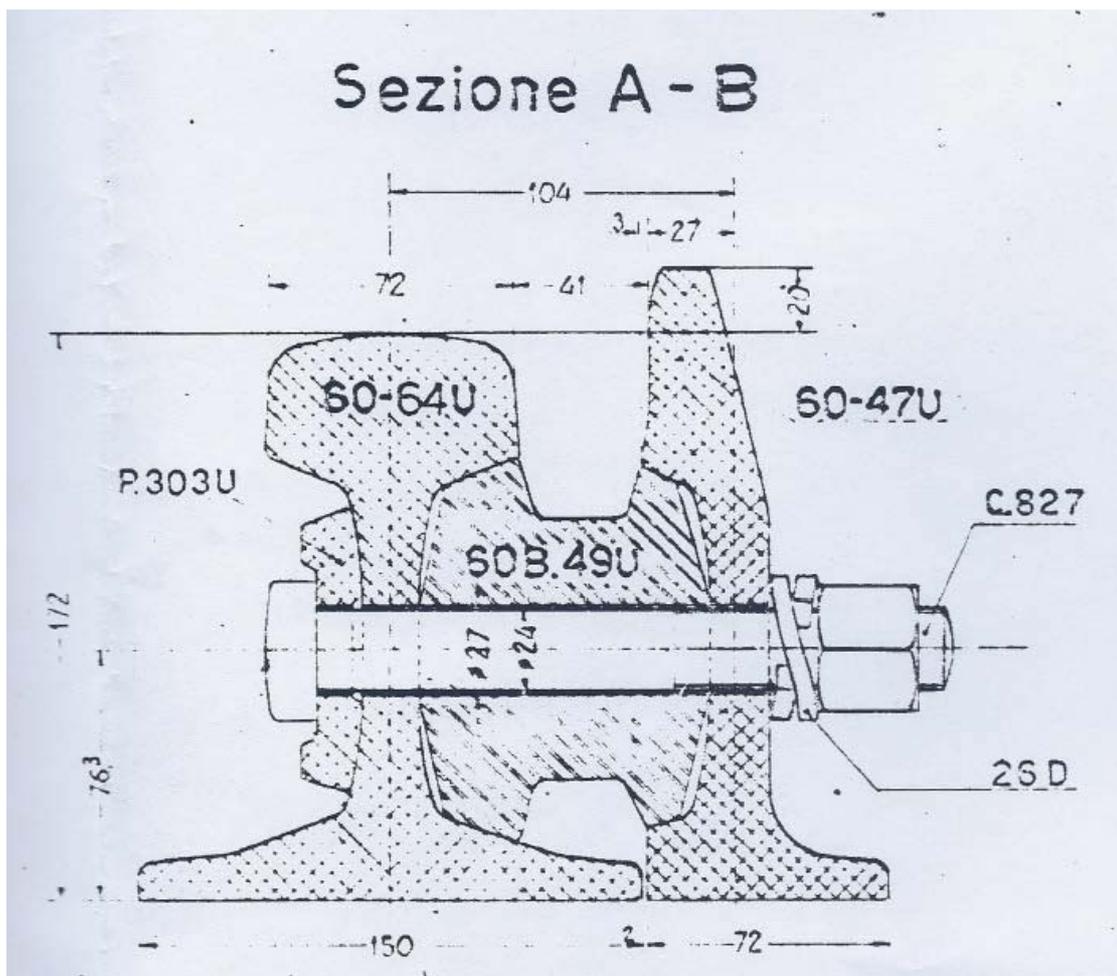


Figura 6 - Schema controrotaia destra deviatoio 13B estratto dal disegno FS 8821 (dispositivo di crociamento con cuore monoblocco scambio semplice tg. 0,0939 S.60 UNI/400/0.094/ d.o.s.)

#### 2.4.4.4. Descrizione del programma STUDIOMAX 3D

La Commissione ha utilizzato per la ricostruzione dei filmati il software Autodesk® 3ds Max®, chiamato anche 3D Studio Max o solo Max, programma di grafica vettoriale tridimensionale e animazione, rendering e compositing realizzato dalla divisione Media & Entertainment di Autodesk.

In allegato alla presente relazione e a sostegno delle tesi più avanti espresse, è possibile prendere visione dei filmati che contengono tutte le ipotesi più avanti descritte e che per

*Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti*

*Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie*

*Integrazione alla relazione di indagine del 23.03.2012 riguardante l'incidente ferroviario di Viareggio del 29.06.2009*

ovvii motivi spazio riportano solo fotogrammi peraltro significativi degli stessi filmati.

#### **2.4.4.5. Ipotesi di ricostruzione degli scenari riguardante il taglio della cisterna**

Nei paragrafi seguenti si riportano le varie ricostruzioni in 3D del moto del convoglio a valle della passatoia fino all'arresto, ove si evidenziano con una serie di scenari le possibili interazioni del primo carro cisterna con vari enti dell'infrastruttura al fine di individuare la più plausibile causa della perforazione della cisterna.

La ricostruzione dei vari scenari è stata realizzata facendo ricorso a documentazioni depositate in atti, figurini del materiale rotabile e schede tecniche della ferrocisterna rinvenute sul sito internet [http://www.gatx.eu/sites/default/files/rysunek\\_techiczny\\_7397\\_451Ra.pdf](http://www.gatx.eu/sites/default/files/rysunek_techiczny_7397_451Ra.pdf).

Al fine di sintetizzare i risultati delle varie ricostruzioni la Commissione ha fatto riferimento ad uno schema in cui per ogni singolo caso vengono valutate le compatibilità geometriche e cinematiche degli enti interessati, anche tenendo conto di quanto emerso dagli incontri avuto con le parti ai sensi del D. Lgs. 162/2007.

Le ricostruzioni di cui sopra hanno avuto origine da elementi certi emersi durante le varie fasi investigative che la Commissione ha effettuato e non contestate da nessuna delle parti in causa.

In particolare si è avuto modo di constatare, alla luce dei vari rilievi eseguiti nell'immediatezza dell'evento che la controrotaia destra è stata urtata dalla zattera destra del primo assile (rinvenuto al momento dell'urto nella posizione del secondo assile per effetto della rotazione subita precedentemente) e che lo sgancio della locomotiva, dall'analisi cinematica, si è verificata nella zona picchetto 24.

### **Ipotesi n° 1 – Urto ferrocisterna contro la controrotaia destra del deviatoio 13B.**

In questo primo scenario si ipotizza che la ferrocisterna, seppur rovesciata sul fianco sinistro smt, marciasse ancora attaccata al locomotore e parallela all'asse ferroviario. Giunta in corrispondenza della controrotaia destra del deviatoio 13B, viene a contatto con quest'ultima mediante il piatto porta-molle del complesso sospensione-boccola, comunemente ed in seguito per brevità in seguito chiamato “**zattera**”, del lato sinistro smt della sala n. 85890 (la prima del primo carrello) tanto da determinarne la rottura. L'urto della ferrocisterna contro la controrotaia destra del deviatoio 13B è senza ombra di dubbio l'evento certo sia perché in prossimità di tale componente dell'infrastruttura sono state rinvenute la zattera della sala n. 1 del primo carrello (n. 85890) fratturata e la cui natura e conformazione della rottura sono risultate perfettamente compatibili con la deformazione rilevata sulla controrotaia (immagini 1-2 estratte dal filmato 3D). Infine in prossimità della controrotaia sono state rinvenute anche le piastre al manganese (piastre parasala) della boccola della prima sala del primo carrello.

Infine la deformazione plastica rilevata sulla controrotaia lato destro del deviatoio 13B, evidenzia che la forza che ha determinato detta deformazione ha andamento rettilineo e quindi in quell'istante il carro percorreva una traiettoria parallela al binario.

Anche analizzando la figura 3D di questa prima ipotesi risulta che, la traccia dello squarcio reale sulla cisterna risulta al di sopra della posizione reciproca piegata a zampa di lepre - squarcio, di circa 70 centimetri ed avanzata di circa 3 metri.

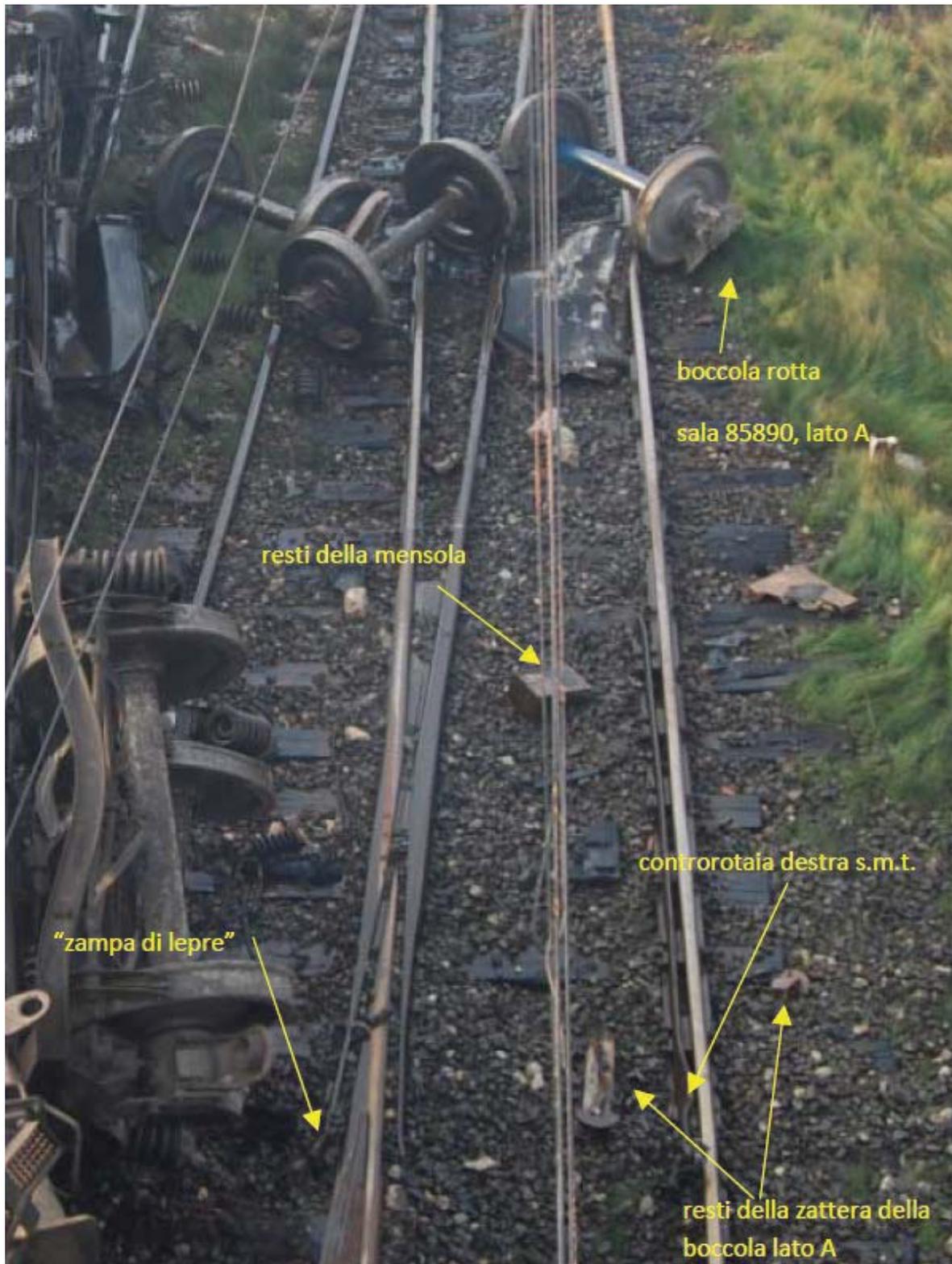


FOTO 42 – SCENARIO ZONA DEVIATOIO (DA RELAZIONE CTU GIP)



FOTO 43 – SCENARIO ZONA DEVIATOIO 13B – CONTROROTAIA DESTRA DEVIATOIO 13B.

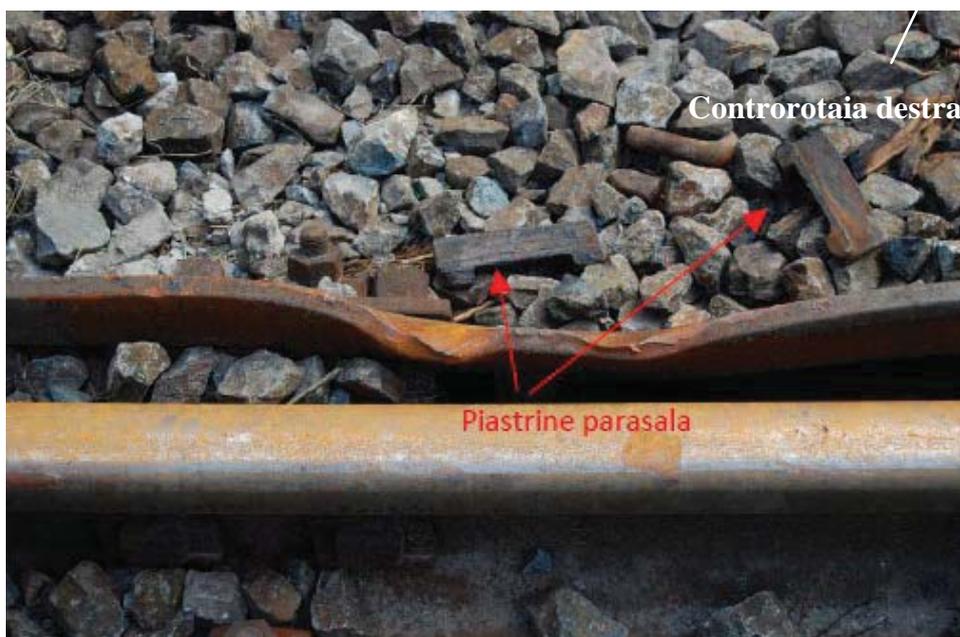


FOTO 44 – DETTAGLIO DEFORMAZIONE CONTROROTAIA DESTRA

Alla luce di quanto appena riferito, dato per certo che vi è stato urto fra controrotaia destra e complesso boccola-zattera, dalla ricostruzione 3D si evince che la piegata a zampa di lepre non può aver attinto la cisterna là dove è presente lo squarcio.

A tal riguardo analizzando alcuni fotogrammi del filmato relativo allo scenario in esame

si rileva quanto segue per quanto attiene i particolari cerchiati e numerati:

### 1. Organi di aggancio

La posizione degli organi di aggancio risultano compatibili con le altre condizioni al contorno (contatto zattera - controrotaia, punti di appoggio della ferro cisterna, posizione reciproca ferrocisterna-binario, ecc..)



IMMAGINE 1 ESTRATTA DAL FILMATO – PARTICOLARE ORGANI DI AGGANCIO – POSIZIONE ZATTERA RISPETTO ALLA CONTROROTAIA.

### 2. Posizione relativa squarcio – piegata zampa di lepre

Nel caso in esame la posizione dello squarcio non è compatibile con la piegata a zampa di lepre in quanto l'inizio dello squarcio è situato in posizione geometrica più alta (circa 70 cm) e più avanzata (circa 3 metri) rispetto a tale ente dell'infrastruttura.

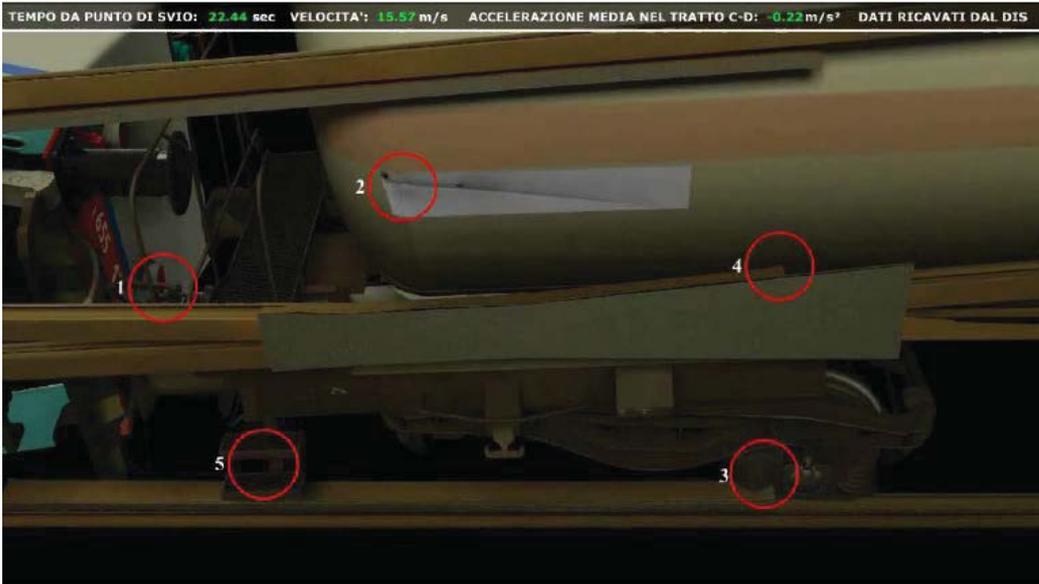


IMMAGINE 2 ESTRATTA DAL FILMATO – POSIZIONE DEI PARTICOLARI ANALIZZATI

### 3. Compatibilità urto zattera – controrotaia

In questa ipotesi si rileva che sia la posizione statica finale dei resti della zattera, sia lo squarcio presente sulla controrotaia risultano compatibili con l'urto fra i due elementi (foto 23-25). Inoltre sono evidenti i segni di urto sul fungo della rotaia (foto 24) riconducibile allo sfregamento del cerchione della ruota sinistra della prima sala montata, natura ed entità della rottura della zattera compatibili con i suddetti elementi d'urto.



FOTO 45 – DETTAGLIO DEFORMAZIONE ZATTERA



FOTO 46 – SEGNI SUL BINARIO RICONDUCIBILI ALLO SFREGAMENTO DELLA RUOTA



FOTO 47 – DETTAGLIO DELLO SQUARCIO SULLA CONTROROTAIA DESTRA RICONDUCIBILE ALL'URTO CONTRO LA ZATTERA

#### **4. Compatibilità urto cisterna – piegata zampa di lepre**

In questa ipotesi si rileva che la posizione reciproca controrotaia - piegata a zampa di lepre (10 centimetri in avanti della piegata a zampa di lepre rispetto alla controrotaia) è tale che imponendo il contatto fra la zattera e controrotaia destra non vi è possibilità di interferenza fra cisterna e piegata zampa di lepre.

---

*Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti*

*Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie*

*Integrazione alla relazione di indagine del 23.03.2012 riguardante l'incidente ferroviario di Viareggio del 29.06.2009*

## **Ipotesi n° 2 – Urto ferrocisterna – controrotaia destra deviatoio 13B con angolo di circa 6° della generatrice della cisterna rispetto al binario.**

In questo secondo caso si ipotizza che l'urto che ha determinato la perforazione della cisterna sia avvenuto quando la ferrocisterna ha urtato la controrotaia destra con angolo di circa 6° in senso orario rispetto alla direzione di marcia del treno.

A tal riguardo analizzando alcuni fotogrammi del filmato relativo allo scenario in esame si rileva quanto segue per quanto attiene i particolari cerchiati e numerati:

### **1. Organi di aggancio:**

La posizione degli organi di aggancio risultano compatibili con le altre condizioni al contorno, il carro risulta ancora agganciato al locomotore compatibilmente con i dati rilevati dal DIS.



IMMAGINE 3 ESTRATTA DAL FILMATO – PARTICOLARE ORGANI DI AGGANCIO

### **2. Posizione relativa squarcio – piegata zampa di lepre**

Nel caso in esame l'urto della cisterna contro la piegata a zampa di lepre non risulta compatibile in quanto lo squarcio è situato in posizione geometrica più alta (circa 70 cm) e più avanzata (circa 3 metri).

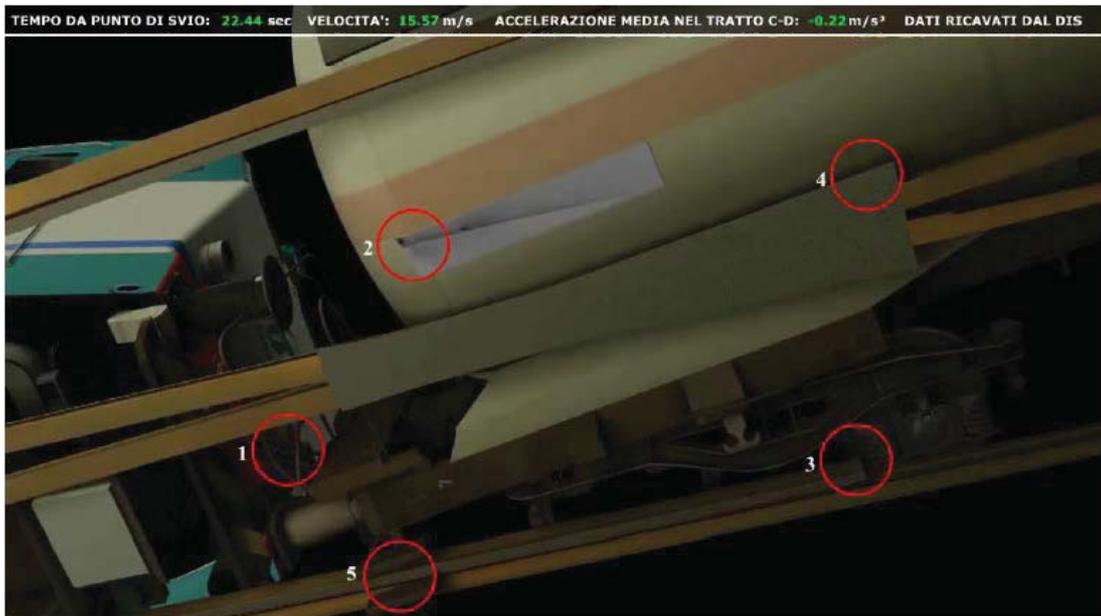


IMMAGINE 4 ESTRATTA DAL FILMATO – PARTICOLARE POSIZIONE RELATIVA SQUARCIO CISTERNA PIEGATA ZAMPA DI LEPRE

### 3. Compatibilità urto zattera - controrotaia

In questa ipotesi si rileva che l'urto della zattera con la controrotaia non si concretizza in quanto la zattera viene a trovarsi fra i due binari che il convoglio stava percorrendo.

Pertanto, come riferito in precedenza, posto che l'urto fra la zattera e la controrotaia è un elemento certo ed inconfutabile della dinamica del sinistro, si deve dedurre l'ipotesi in analisi non appare realistica.

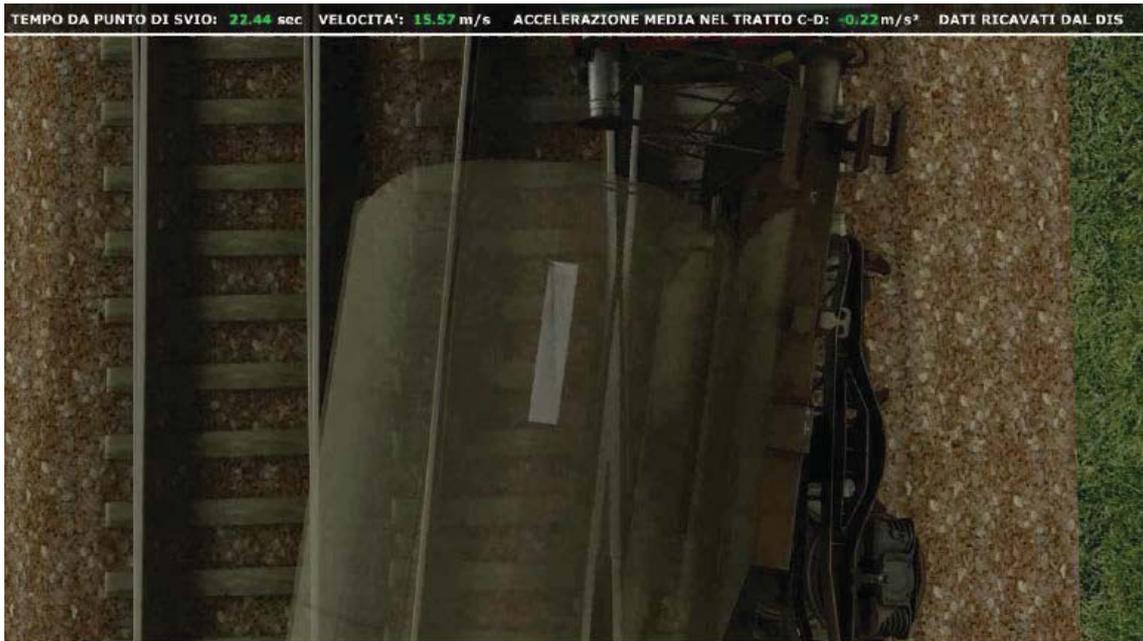


IMMAGINE 5 ESTRATTA DAL FILMATO – DETTAGLIO POSIZIONE RECIPROCA ZATTERA CONTROROTAIA

#### **4. Compatibilità urto ferrocisterna contro piegata zampa di lepre.**

In questa ipotesi si rileva che la posizione reciproca squarcio-piegata a zampa di lepre è tale che pur imponendo un angolo di  $6^\circ$  fra binario e cisterna, non vi è possibilità di interferenza fra cisterna e piegata zampa di lepre. Inoltre la deformazione della piegata a zampa di lepre mostra un andamento verso sinistra smt (direzione monte), contrariamente a quanto sarebbe potuto verificarsi se il carro avesse marciato con direzione di  $6^\circ$  come ipotizzato nel presente schema.



FOTO 48 – DETTAGLIO DEFORMAZIONE PIEGATA ZAMPA DI LEPRE UNITAMENTE ALLA MENSOLA E ALTRI ELEMENTI DI MATERIALE ROTABILE.

### **Ipotesi n° 3 – Urto ferrocisterna – controrotaia destra deviatoio 13B con angolo di circa 15° della generatrice della cisterna rispetto al binario**

In questo schema si ipotizza che l'urto che ha determinato la perforazione della cisterna sia avvenuto per effetto dell'urto della ferrocisterna contro la controrotaia destra con angolo di 15° in senso orario rispetto alla direzione di marcia del treno.

A tal riguardo analizzando alcuni fotogrammi del filmato relativo allo scenario in esame si rileva quanto segue per quanto attiene i particolari cerchiati e numerati:

#### **1. Organi di aggancio**

La posizione degli organi di aggancio risulta ancora compatibile con le altre condizioni al contorno, il carro risulta ancora agganciato al locomotore compatibilmente con i dati rilevati dal DIS.



IMMAGINE 6 ESTRATTA DAL FILMATO – POSIZIONE ORGANI DI AGGANCIO

#### **2. Posizione relativa squarcio – piegata zampa di lepre**

Nel caso in esame l'urto della cisterna contro la piegata a zampa di lepre non risulta compatibile in quanto lo squarcio è situato in posizione geometrica più alta (circa 70 cm) e più avanzata (circa 3 metri).



IMMAGINE 7 ESTRATTA DAL FILMATO – POSIZIONE RECIPROCA SQUARCIO PIEGATA ZAMPA DI LEPRE.

### 3. Compatibilità urto zattera - controrotaia

In questa ipotesi si rileva che l'urto della zattera contro la controrotaia non si verifica in quanto la zattera viene a trovarsi internamente al binario percorso dal convoglio.



IMMAGINE 8 ESTRATTA DAL FILMATO – POSIZIONE RECIPROCA ZATTERA - CONTROROTAIA.

#### 4. Compatibilità scaletta accesso terrazzino

In merito alla presenza delle deformazioni sulla scaletta di accesso al terrazzino, questa Commissione, pur prendendo atto della natura di dette deformazioni, in mancanza di riscontri oggettivi sull'infrastruttura in prossimità della zona, non ritiene di dover attribuire a detto elemento un aspetto rilevante ai fini della ricostruzione cinematica dell'evento.

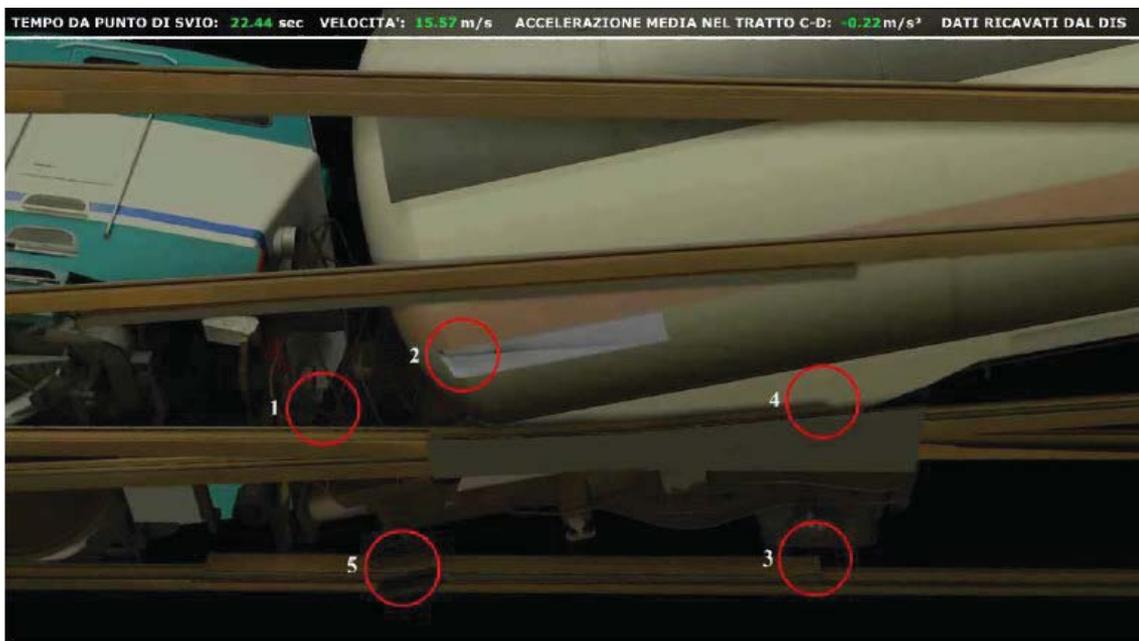


IMMAGINE 9 ESTRATTA DAL FILMATO – POSIZIONE SCALETTA METALLICA – BINARIO – SQUARCIO  
– PIEGATA A ZAMPA DI LEPRE

Infatti dalla immagine 9 si rileva che la posizione dei predellini di accesso al terrazzino di ispezione frontale della cisterna, risulterebbero affondare completamente nel ballast durante il moto. Tale ultima condizione si dimostra impossibile in quanto dalle immagini reali (foto 27) si evince che detti predellini hanno subito una deformazione di semplice rotazione dei loro piani mediali diversa rispetto a quella che in questi casi ci si sarebbe potuto attendere e cioè una deformazione con andamento antero-posteriore rispetto alla direzione di marcia del treno.



FOTO 49 – FERROCISTERNA AL MOMENTO DEL RECUPERO (RUOTATA DI 180° RISPETTO ALLA POSIZIONE STATICA FINALE)

### **5. Compatibilità urto ferrocisterna - piegata zampa di lepre**

In questa ipotesi si rileva che la posizione reciproca squarcio-piegata a zampa di lepre è tale che pur imponendo un angolo di 15° fra binario e cisterna, non vi è possibilità di interferenza fra cisterna e piegata zampa di lepre. Inoltre la deformazione della piegata a zampa di lepre mostra andamento verso sinistra smt (verso monte), contrariamente alla direzione assunta di 15°.

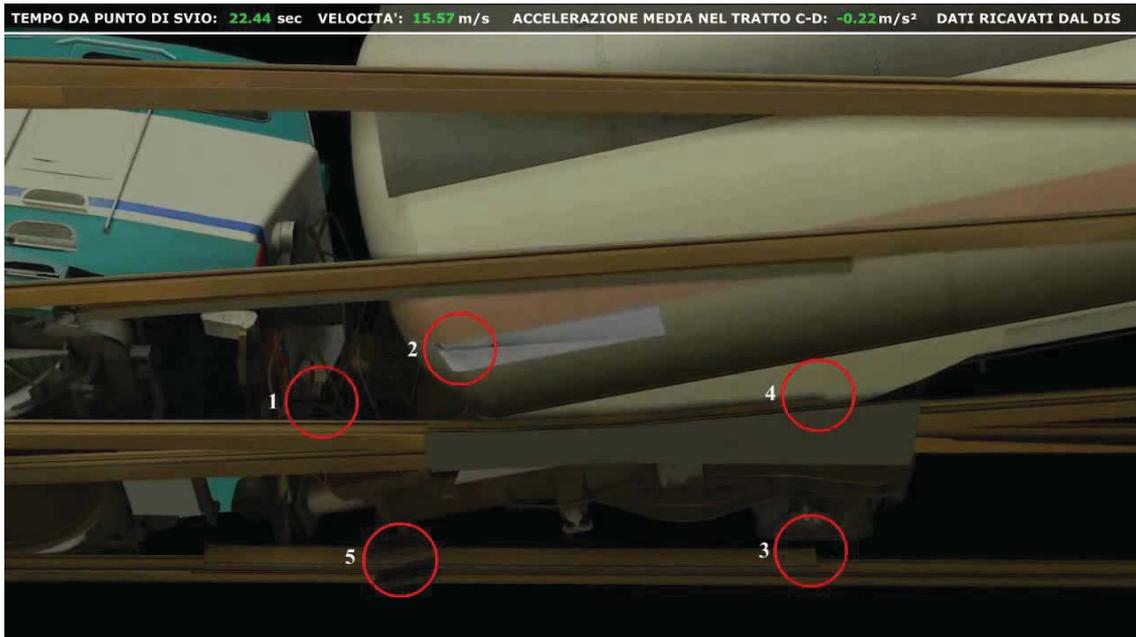


IMMAGINE 10 ESTRATTA DAL FILMATO – POSIZIONE RECIPROCA SQUARCIO - PIEGATA ZAMPA DI LEPRE

#### **Ipotesi n° 4 - Urto ferrocisterna contro piegata a zampa di lepre con carro che segue la traiettoria dello squarcio**

In questo schema si ipotizza che l'urto che ha determinato la perforazione della cisterna sia avvenuto contro la piegata a zampa di lepre e che la cisterna abbia percorso una traiettoria coincidente con la geometria dello squarcio.

A tal riguardo analizzando alcuni fotogrammi del filmato relativo allo scenario in esame si rileva quanto segue:

##### **1. Organi di aggancio**

In questa ipotesi la posizione degli organi di aggancio (vedi immagine 11 estratta dal filmato) risulta non compatibile con quanto rilevato dal DIS in questo tratto di binario in quanto contrariamente a quanto visto dal filmato si rileva che gli organi di trazione risultano staccati.



IMMAGINE 11 ESTRATTA DAL FILMATO – POSIZIONE GANCIO DI TRAINO E POSIZIONE RECIPROCA ZATTERA CONTROROTAIA

##### **2. Posizione relativa squarcio – piegata zampa di lepre**

Nel caso in esame l'urto della cisterna contro la piegata a zampa di lepre risulta compatibile (perché imposta dalla ricostruzione). Tuttavia, tenuto conto che a tale imposizione consegue

lo sganciamento del carro dalla locomotiva, la ricostruzione si rende incompatibile in quanto in contrasto con i dati cinematica rilevati dal DIS.

### **3. Compatibilità urto zattera - controrotaia**

In questa ipotesi, si rileva che se si impone il contatto della ferrocisterna con la piegata a zampa di lepre, l'urto della zattera con la controrotaia non si concretizza in quanto la zattera risulta esterna al binario. Inoltre la scaletta metallica verrebbe a trovarsi esternamente al binario, circostanza che avrebbe dovuto determinare segni di danneggiamento dell'infrastruttura che in realtà non si riscontrano. Analogamente si rileva che la mensola di ancoraggio del carro risulterebbe compenetrata nell'infrastruttura mentre in realtà non si rilevano segni di tale interferenza.

### **4. Compatibilità urto cisterna - piegata zampa di lepre**

Questa ipotesi, in quanto imposta nella ricostruzione, risulta compatibile. Tuttavia, tenuto conto che tale imposizione determina lo sganciamento del carro rispetto alla locomotiva, la ricostruzione è da ritenersi non compatibile in quanto non in linea con i dati cinematici rilevati dal DIS.

### **Ipotesi n° 5 - Urto cisterna – picchetto n° 24 con angolo di circa 6°**

In questo schema si ipotizza che l'urto che ha determinato la perforazione della cisterna sia avvenuto contro il picchetto 24 con un angolo di 6° in senso orario.

A tal riguardo analizzando alcuni fotogrammi del filmato relativo allo scenario in esame si rileva quanto segue:

#### **1. Organi di aggancio**

La posizione degli organi di aggancio risulta ancora compatibile con i dati cinematica rilevati dal DIS, così come si evince dalla figura seguente.



IMMAGINE 12 ESTRATTA DAL FILMATO – POSIZIONE ORGANI DI TRAINO

#### **2. Posizione relativa squarcio - picchetto**

Nel caso in esame l'urto della cisterna contro il picchetto n. 24 risulta compatibile nella parte iniziale ma non in quella finale, come rilevabile dalle immagini 13, 14, 15 e 16.



IMMAGINE 13 ESTRATTA DAL FILMATO – POSIZIONE RECIPROCA INIZIO SQUARCIO – PICCHETTO 24  
VISTA DALL'ALTO



IMMAGINE 14 ESTRATTA DAL FILMATO – POSIZIONE RECIPROCA INIZIO SQUARCIO – PICCHETTO 24  
VISTA DAL BASSO

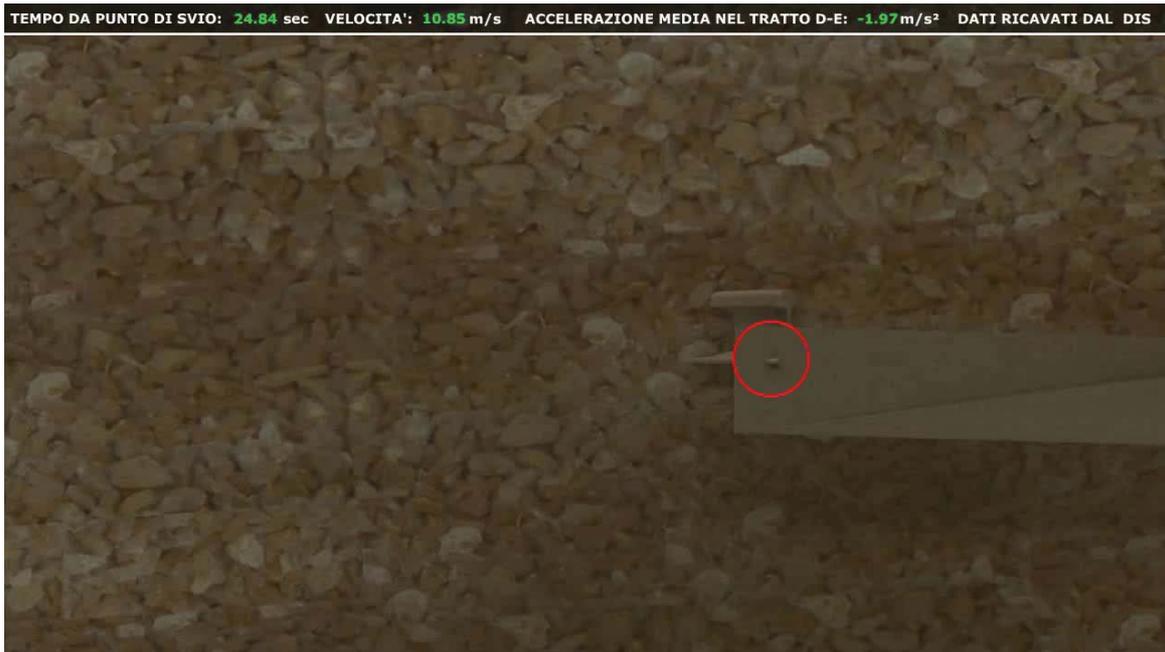


IMMAGINE 15 ESTRATTA DAL FILMATO – POSIZIONE RECIPROCA FINE SQUARCIO – PICCHETTO 24 VISTO DALL'ALTO



IMMAGINE 16 ESTRATTA DAL FILMATO – POSIZIONE RECIPROCA FINE SQUARCIO – PICCHETTO 24 VISTO DAL BASSO

### 3. Compatibilità urto zattera - controrotaia

In questa ipotesi si rileva che se si impone il contatto della ferrocisterna con il picchetto n.

24, l'urto della zattera con la controrotaia destra non è rilevabile in quanto dal picchetto n. 24 alla controrotaia/piegata a zampa di lepre vi è una distanza di circa 26 metri, pertanto nel filmato non risulta possibile rappresentare la distanza reciproca fra i suddetti elementi.

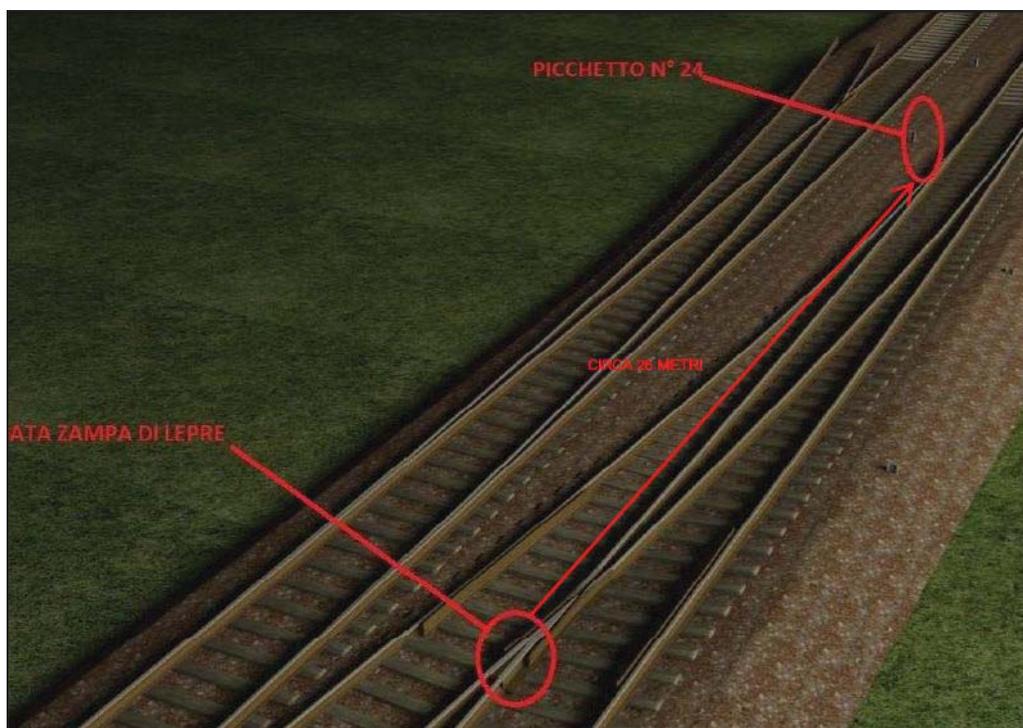


IMMAGINE 17 – DISTANZA PICCHETTO 24- CONTROROTAIA DESTRA DEVIATOIO 13B

#### **4. Compatibilità urto cisterna – picchetto 24**

Questa ipotesi in quanto impostata nella ricostruzione evidenzia che la parte iniziale dello squarcio della cisterna è compatibile con l'impatto contro il picchetto, mentre la parte finale risulta distante qualche centimetro. Pertanto questa ipotesi non descrive correttamente l'interazione picchetto-cisterna.

### **Ipotesi n° 6 - Urto ferrocisterna – picchetto n° 24 con angolo di circa 15°**

In questo schema si ipotizza che l'urto che ha determinato la perforazione della cisterna sia avvenuto contro il picchetto 24 con angolo di circa 15°.

A tal riguardo analizzando alcuni fotogrammi del filmato relativo allo scenario in esame si rileva quanto segue:

#### **1. Organi di aggancio**

La posizione degli organi di aggancio risulta ancora compatibile come si evince dalla figura seguente.



IMMAGINE 18 ESTRATTA DAL FILMATO FOTO ESTRATTA DAL FILMATO – POSIZIONE RECIPROCA ORGANI DI TRAINO LOCOMOTIVA PRIMO CARRO

#### **2. Posizione relativa squarcio - picchetto**

Nel caso in esame l'urto della cisterna contro il picchetto n. 24 risulta compatibile nella parte finale ma non in quella iniziale come si evince dalle foto eseguenti.

TEMPO DA PUNTO DI SVIO: 24.84 sec VELOCITA': 10.85 m/s ACCELERAZIONE MEDIA NEL TRATTO D-E: -1.97 m/s<sup>2</sup> DATI RICAVATI DAL DIS



IMMAGINE 19 ESTRATTA DAL FILMATO FOTO ESTRATTA DAL FILMATO – POSIZIONE RECIPROCA INIZIO SQUARCIO PICCHETTO 24 VISTA DALL'ALTO

TEMPO DA PUNTO DI SVIO: 24.84 sec VELOCITA': 10.85 m/s ACCELERAZIONE MEDIA NEL TRATTO D-E: -1.97 m/s<sup>2</sup> DATI RICAVATI DAL DIS

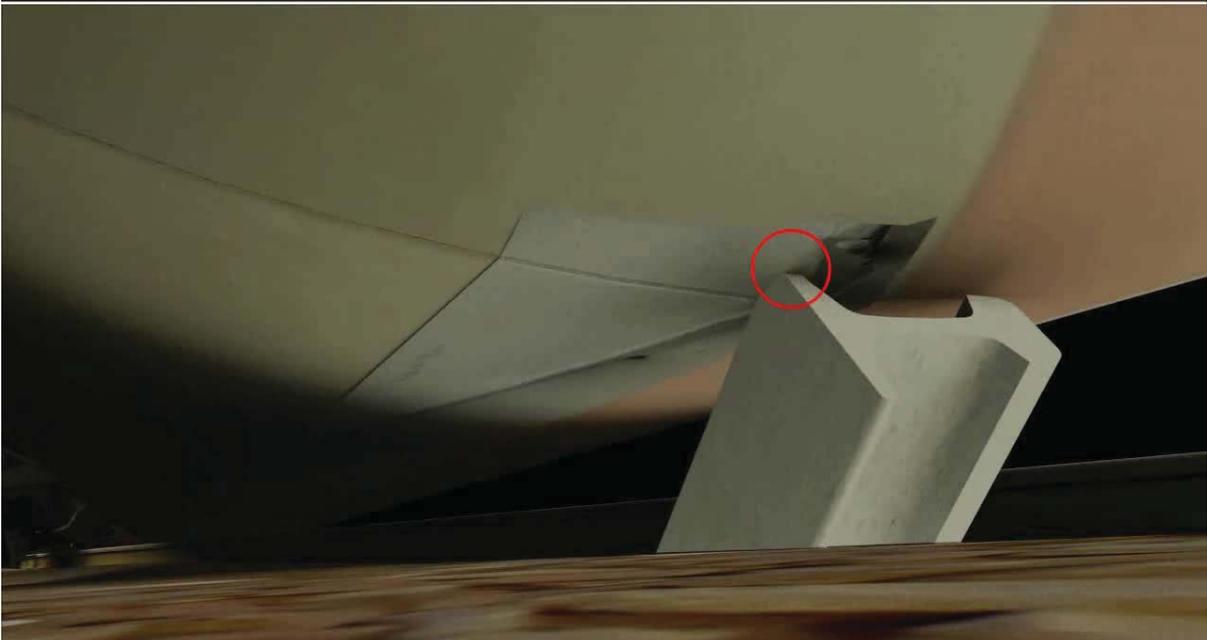


IMMAGINE 20 ESTRATTA DAL FILMATO FOTO ESTRATTA DAL FILMATO – POSIZIONE RECIPROCA INIZIO SQUARCIO PICCHETTO 24 VISTA DAL BASSO.

---

*Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti*

*Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie*

*Integrazione alla relazione di indagine del 23.03.2012 riguardante l'incidente ferroviario di Viareggio del 29.06.2009*



IMMAGINE 21 ESTRATTA DAL FILMATO – POSIZIONE RECIPROCA FINE SQUARCIO PICCHETTO 24  
VISTA DALL'ALTO



IMMAGINE 22 ESTRATTA DAL FILMATO – POSIZIONE RECIPROCA FINE SQUARCIO PICCHETTO 24  
VISTA DAL BASSO.

### 3. Compatibilità urto zattera - controrotaia

In questa ipotesi si rileva che se si impone il contatto della ferrocisterna con il picchetto n.

24 l'urto della zattera contro la controrotaia destra non è rilevabile in quanto dal picchetto n. 24 alla controrotaia/piegata a zampa di lepre vi è una distanza di circa 26 metri, pertanto nel filmato non risulta possibile rappresentare la distanza reciproca fra i suddetti elementi.

#### **4. Compatibilità urto ferrocisterna – picchetto n° 24**

Questa ipotesi, in quanto impostata nella ricostruzione, evidenzia che la parte iniziale dello squarcio non è compatibile per effetto di 3 centimetri di differenza, mentre la parte finale risulta compatibile. Pertanto questa ipotesi non descrive correttamente l'interazione picchetto-cisterna.

### **Ipotesi n° 7 - Urto cisterna contro picchetto n° 24 con carro che segue la traiettoria dello squarcio**

In questo schema si ipotizza che la ferrocisterna urti il picchetto 24, subisce rallentamento che provoca una spinta da tergo da parte del secondo carro e per effetto dell'urto il gancio di traino si scollega dal locomotore.

A tal riguardo analizzando alcuni fotogrammi del filmato relativo allo scenario in esame si rileva quanto segue:

#### **1. Organi di aggancio**

In questa ipotesi la posizione degli organi di aggancio fra primo carro e locomotore risulta ancora compatibile. Infatti in conseguenza della spinta eccentrica ricevuta dal secondo carro, a seguito del rallentamento per l'urto contro il picchetto 24, il carro subisce uno spostamento iniziale della testa da destra verso sinistra smt (da mare verso monte) e dal basso verso l'alto, con conseguente variazione della sua traiettoria, per poi ritornare con la testa del carro verso destra smt e con la coda verso monte (vedi filmato). In tale frangente avviene lo sgancio dell'organo d'aggancio alla locomotiva e la contestuale collisione del respingente sul frontale della locomotiva stessa



IMMAGINE 23 ESTRATTA DAL FILMATO – PARTICOLARE MOMENTO DELLO SGANCIO DEGLI ORGANI DI AGGANCO ALLA LOCOMOTIVA

## 2. Posizione relativa squarcio – picchetto n° 24

Nel caso in esame l'urto della cisterna contro il picchetto n° 24 risulta perfettamente compatibile in quanto in questa ipotesi non vengono impostati né l'angolo di entrata né l'angolo di uscita, ma la cinematica del carro viene determinata sulla base della spinta eccentrica che il secondo carro trasferisce al primo carro.



IMMAGINE 24 ESTRATTA DAL FILMATO – INIZIO DELLO SQUARCIO VISTA DALL'ALTO



IMMAGINE 25 ESTRATTA DAL FILMATO - FOTO ESTRATTA DAL FILMATO – INIZIO DELLO SQUARCIO VISTA DAL BASSO



IMMAGINE 26 ESTRATTA DAL FILMATO – FINE DELLO SQUARCIO VISTA DALL'ALTO



IMMAGINE 27 ESTRATTA DAL FILMATO – FINE DELLO SQUARCIO VISTA DAL BASSO

### 3. Compatibilità urto zattera - controrotaia

In questa ipotesi si rileva che se si impone il contatto della ferrocisterna con il picchetto n. 24, l'urto della zattera contro la controrotaia destra, non è rilevabile in quanto dal picchetto n. 24 alla controrotaia/piegata a zampa di lepre vi è una distanza di circa 26 metri, pertanto

nel filmato non risulta possibile rappresentare la distanza reciproca fra i suddetti elementi.

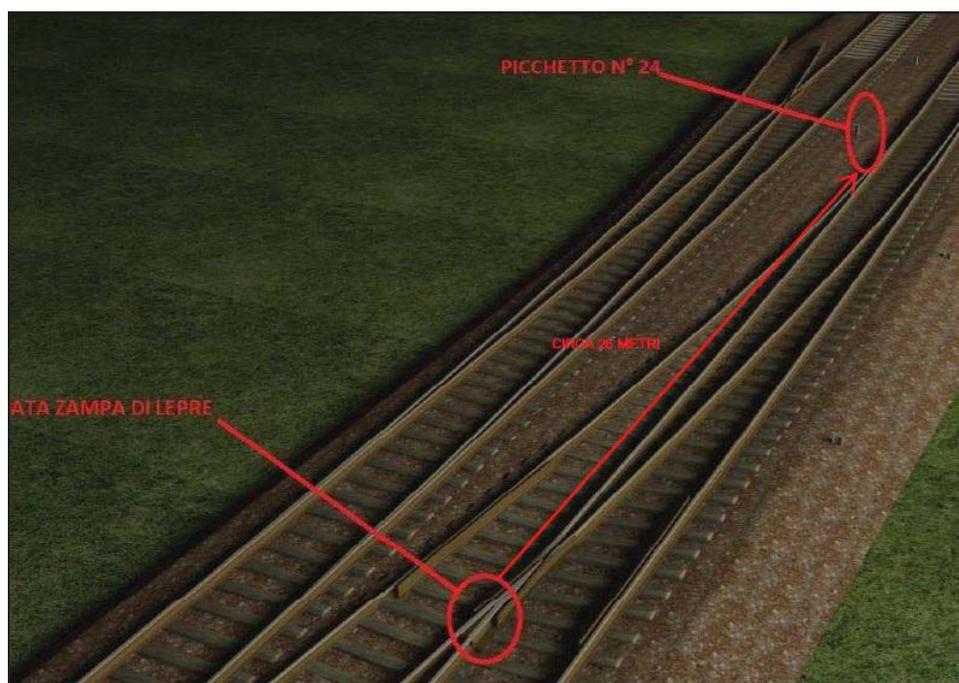


IMMAGINE 28– DISTANZA PICCHETTO 24- CONTROROTAIA DESTRA DEVIATOIO 13B

#### **4. Compatibilità urto cisterna contro picchetto n° 24**

Questa ipotesi rende perfettamente compatibile lo squarcio con la traiettoria seguita dalla ferrocisterna in quanto in questa ipotesi non vengono impostati nè l'angolo di entrata nè l'angolo di uscita, ma la cinematica del carro viene determinata sulla base della spinta eccentrica che il secondo carro trasferisce al primo carro



IMMAGINE 29 ESTRATTA DAL FILMATO – PARTICOLARE DELLA COLLISIONE DEI RESPINGENTI CON LA LOCOMOTIVA



FOTO 50 – VISTA FRONTALE DELLA LOCOMOTIVA



FOTO 51 – DETTAGLIO SQUARCIO LOCOMOTIVA PER URTO DEI RESPINGENTI DELLA FERROCISTERNA



FOTO 52 – FERROCISTERNA NELLA POSIZIONE STATICA FINALE



FOTO 53 – DETTAGLIO SQUARCIO PARTE INIZIALE PRIMA DEL RECUPERO (04/07/2009)



FOTO 54 – DETTAGLIO SQUARCIO PARTE INIZIALE PRIMA DEL RECUPERO (04/07/2009)



FOTO 55 – DETTAGLIO SQUARCIO PARTE INIZIALE DOPO IL RECUPERO (04/07/2009)



FOTO 56 – DETTAGLIO SQUARCIO PARTE FINALE DOPO IL RECUPERO (04/07/2009)

**Ipotesi n° 8 – approccio cisterna alla piegata zampa di lepre con angolo di 5° in ingresso e di 10° in uscita (ipotesi dei CTU GIP);**

In questa ipotesi si analizza la ferrocisterna che approccia la piegata a zampa di lepre con un angolo di 5° in ingresso e completa lo squarcio con 10° in uscita.

A tal riguardo analizzando alcuni fotogrammi si rileva quanto segue:

**1. Organi di aggancio**

In questa ipotesi la posizione degli organi di aggancio fra primo carro e locomotore risulta compatibile fino a quando la cisterna si muove con un angolo di 5°.

Non appena l'angolo di taglio supera tale valore, dovendo la cisterna seguire la traiettoria dello squarcio, gli organi di aggancio non risultano più compatibili con la posizione reciproca del carro con la locomotiva.

Tale circostanza rappresenta una incongruenza con l'analisi cinematica ricavata dal DIS che localizza lo sgancio nella zona del picchetto 24.



IMMAGINE 30 - ESTRATTA DAL FILMATO – PARTICOLARE MOMENTO DELLO SGANCIO DEGLI ORGANI DI AGGANCIO DELLA LOCOMOTIVA

**2. Posizione relativa squarcio – zampa di lepre**

Nel caso in esame la cisterna segue, perché imposta, la traiettoria dello squarcio.

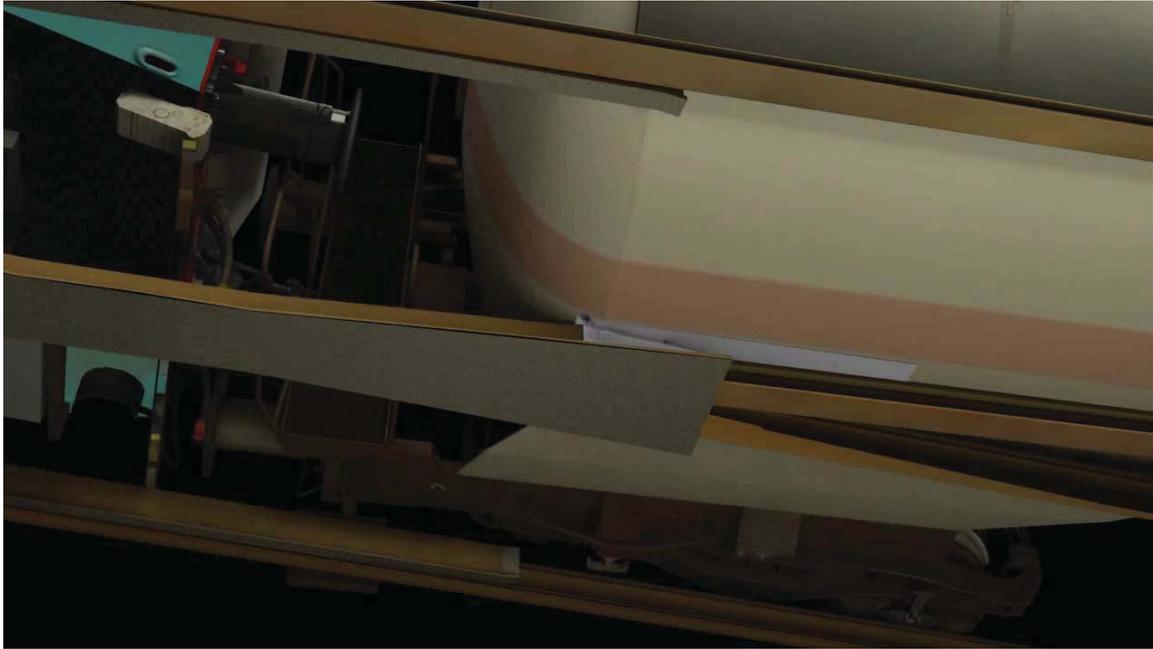


IMMAGINE 31 - FOTO ESTRATTA DAL FILMATO – INIZIO DELLO SQUARCIO VISTA DAL BASSO



IMMAGINE 32 – FOTO ESTRATTA DAL FILMATO – FINE DELLO SQUARCIO VISTA DAL BASSO

### **3. Compatibilità urto zattera - controrotaia**

In questa ipotesi si rileva che, ancor prima che la cisterna si approssimi alla piegata a zampa di lepre, la zattera del primo asse del primo carrello si trova all'esterno della controrotaia

destra pertanto viene a mancare il presupposto fondamentale dell'urto frontale tra la zattera e la controrotaia evento questo dato come certo e non contestato da alcuna delle parti in causa.



IMMAGINE 33 – POSIZIONE RECIPROCA ZATTERA RISPETTO AL BINARIO

### **Ipotesi n° 9 - approccio cisterna alla piegata zampa di lepre con angolo di 8° in ingresso e di 8° in uscita rispetto al binario**

In questa ipotesi si analizza la ferrocisterna che si avvicina alla piega a zampa di lepre con un angolo di 8° in ingresso e con un angolo di 8° in uscita.

A tal riguardo analizzando alcuni fotogrammi si rileva quanto segue:

#### **1. Organi di aggancio**

In questa ipotesi la posizione degli organi di aggancio fra primo carro e locomotore risulta essere compatibile e coerente.



IMMAGINE 34– PARTICOLARE ORGANI DI AGGANCO ALLA LOCOMOTIVA



IMMAGINE 35 – PARTICOLARE ORGANI DI AGGANCIO ALLA LOCOMOTIVA



IMMAGINE 36 – PARTICOLARE ORGANI DI AGGANCIO ALLA LOCOMOTIVA

## 2. Posizione relativa squarcio – zampa di lepre

Nel caso in esame la cisterna investe la piegata a zampa di lepre senza tuttavia provocare lo squarcio, in quanto come si vede dal fotogramma, il taglio risulta posizionato a sinistra rispetto alla zampa di lepre e distante circa 40/50 cm.



IMMAGINE 37 – PARTICOLARE SQUARCIO RISPETTO ALLA PIEGATA A ZAMPA DI LEPRE IN POSIZIONE INIZIALE



IMMAGINE 38 – PARTICOLARE POSIZIONE SQUARCIO RISPETTO ALLA PIEGATA A ZAMPA DI LEPRE IN POSIZIONE FINALE (PUNTA DELLA PIEGATA DEFORMATA AL VERO)

### 3. Compatibilità urto zattera - controrotaia

Nel caso in esame l'urto della cisterna contro la piegata a zampa di lepre non risulta possibile in quanto come si rileva dal fotogramma quando lo squarcio si approssima alla piegata a zampa di

lepre esso risulta disassato.

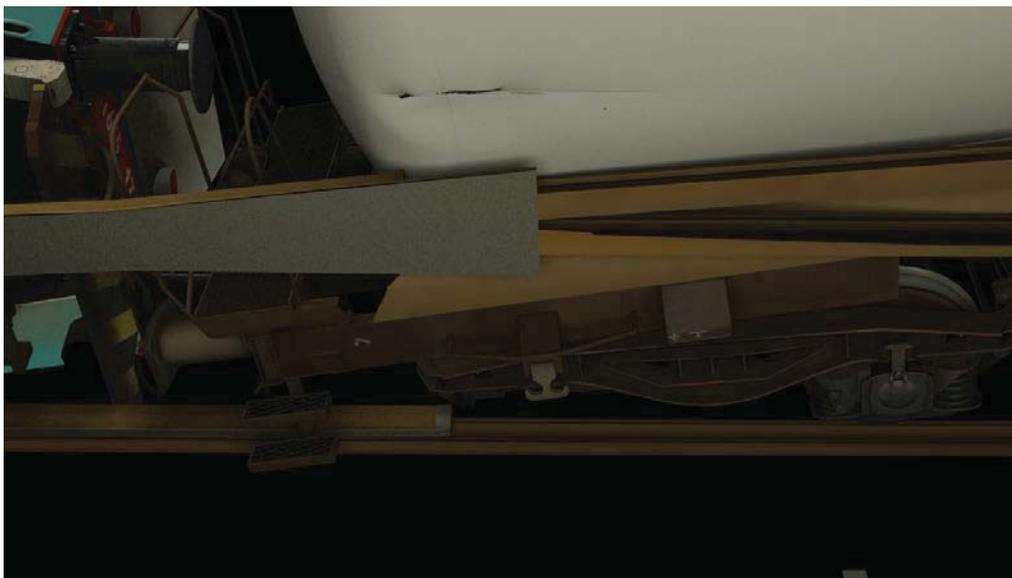


IMMAGINE 39 – PARTICOLARE ZATTERA CONTROROTAIA DESTRA INIZIO SQUARCIO



IMMAGINE 40 – PARTICOLARE ZATTERA CONTROROTAIA DESTRA FINE SQUARCIO

**Ipotesi n°10 – approccio cisterna alla piegata zampa di lepre con angolo di 10° in ingresso e di 10° in uscita rispetto all'angolo di taglio (definito come angolo fra generatrice cilindro e tangente alla linea di taglio)**

In questo schema si ipotizza che la ferrocisterna urti la piegata a zampa di lepre con un angolo in entrata ed in uscita di 10°.

A tal riguardo analizzando alcuni fotogrammi del filmato relativo allo scenario in esame si rileva quanto segue:

### **1. Organi di aggancio**

In questa ipotesi la posizione degli organi di aggancio fra primo carro e locomotore non risulta compatibile in quanto la cisterna nel seguire la traiettoria dello squarcio, impostata come elemento di valutazione, determina lo sgancio degli organi di aggancio.

Tale circostanza rappresenta una incongruenza con l'analisi cinematica rilevata dal DIS che localizza lo sgancio nella zona del picchetto 24.



IMMAGINE 41 ESTRATTA DAL FILMATO – PARTICOLARE MOMENTO DELLO SGANCIO DEGLI ORGANI DI AGGANCIAMENTO ALLA LOCOMOTIVA

### **2. Posizione relativa squarcio – zampa di lepre**

Nel caso in esame la cisterna segue, perché imposta nella simulazione, la traiettoria dello

squarcio con lo stesso angolo in ingresso e in uscita.

In tale ipotesi non risulta attingibile la cisterna, fin dalla culatta, dalla piegata a zampa di lepre perché la parte iniziale dello squarcio risulta troppo elevata rispetto alla posizione della punta della piegata a zampa di lepre.



IMMAGINE 42 ESTRATTA DAL FILMATO – INIZIO DELLO SQUARCIO VISTO DAL BASSO



IMMAGINE 43 ESTRATTA DAL FILMATO– FINE DELLO SQUARCIO VISTO DAL BASSO

### **3. Compatibilità urto zattera - controrotaia**

In questa ipotesi si rileva che la zattera del primo asse del primo carrello si trova all'esterno della controrotaia destra pertanto viene a mancare il presupposto fondamentale dell'urto frontale tra la zattera e la controrotaia, evento questo dato come certo e non contestato da alcuna delle parti in causa



IMMAGINE 44 – DISTANZA PICCHETTO 24- CONTROROTAIA DESTRA DEVIATIOIO 13B

**Ipotesi n°11 - approccio cisterna alla piegata zampa di lepre con angolo di 12° in ingresso e di 12° in uscita rispetto al binario**

In questa ipotesi si analizza la ferrocisterna che si avvicina alla piega a zampa di lepre con un angolo di 12° in ingresso e con un angolo di 12° in uscita.

A tal riguardo analizzando alcuni fotogrammi si rileva quanto segue:

**1. Organi di aggancio**

In questa ipotesi la posizione degli organi di aggancio fra primo carro e locomotore risulta essere compatibile e coerente.



IMMAGINE 45 – PARTICOLARE DEGLI ORGANI DI AGGANCIO ALLA LOCOMOTIVA



IMMAGINE 46 – PARTICOLARE DEGLI ORGANI DI AGGANCIO ALLA LOCOMOTIVA



IMMAGINE 47 – PARTICOLARE DEGLI ORGANI DI AGGANCIO ALLA LOCOMOTIVA

## 2. Posizione relativa squarcio – zampa di lepre.

Nel caso in esame la cisterna investe la piegata a zampa di lepre senza tuttavia provocare lo squarcio in quanto, come si nota dal fotogramma, il taglio risulta posizionato a sinistra rispetto

alla zampa di lepre e spostato di circa 40/50 cm.



IMMAGINE 48– POSIZIONE SQUARCIO RISPETTO ALLA PIEGATA A ZAMPA DI LEPRE IN POSIZIONE INIZIALE



IMMAGINE 49– POSIZIONE SQUARCIO RISPETTO ALLA PIEGATA A ZAMPA DI LEPRE IN POSIZIONE FINALE (PUNTA DELLA PIEGATA DEFORMATA AL VERO)

### 3. Compatibilità urto zattera - controrotaia

Nel caso in esame l'urto della cisterna contro la piegata a zampa di lepre non risulta possibile in quanto, come si rileva dal fotogramma, quando lo squarcio si approssima alla piegata a zampa di lepre sia in piegata che in uscita la zattera si trova distante dalla controrotaia destra circa due metri.



IMMAGINE 50 – PARTICOLARE ZATTERA CONTROROTAIA DESTRA FINE SQUARCIO



IMMAGINE 51 – PARTICOLARE ZATTERA CONTROROTAIA DESTRA FINE SQUARCIO

## **2.5 Valutazioni.**

La ricostruzione delle dinamiche dell'urto cisterna - elemento dell'infrastruttura ferroviaria, elaborata nei precedenti paragrafi, è stata realizzata basandosi sull'analisi cinematica del convoglio nella fase finale del suo moto attraverso lo studio dei vari scenari 3D inerenti le posizioni reciproche dei differenti componenti dell'infrastruttura ferroviaria che la ferrocisterna ha o potrebbe aver urtato durante il proprio moto.

Gli scenari sono stati elaborati tenendo conto degli elementi oggettivi presenti agli atti, elementi dedotti e/o rilevati in sede di sopralluogo (posizione statica finale dei carri, entità delle deformazioni, frammenti dei vari elementi dei carri, tracce di segni d'urto sui componenti dell'infrastruttura, sul recipiente in pressione, sui dispositivi dei carri, ecc...).

Quanto sopra ha consentito di poter determinare con sufficiente approssimazione la natura e la cronologia degli urti subiti dalla ferrocisterna durante le ultime fasi del suo moto e di poter esprimere talune riflessioni in ordine alla reale evoluzione del sinistro.

In particolare, dall'analisi delle varie ricostruzioni elaborate nei precedenti paragrafi, si rileva che la prima ipotesi di urto, **filmato numero 1** (ipotesi urto ferrocisterna contro controrotaia destra smt con angolo di 0°), vale a dire l'urto della zattera contro la controrotaia destra del deviatore 13B, mentre il convoglio marciava parallelamente ai binari, **rappresenta un elemento di certezza**, posto che in prossimità di detto elemento infrastrutturale sono state rinvenute sia le piastre al manganese appartenenti alla sala 85890, sia la zattera frantumata, sia la boccola della medesima sala. Inoltre la natura e l'entità della lacerazione della zattera evidenziano una consistente compatibilità con l'incisione rinvenuta sulla medesima controrotaia. Infine sul fungo del binario in prossimità della suddetta controrotaia, si notano segni di strisciature di forma circolare, non altrimenti riconducibili se non al contatto con la ruota della medesima sala.

Pertanto, dato per certo che si è verificato l'urto della zattera contro la controrotaia destra smt con le modalità di cui sopra, fatto non contestato in nessuna delle perizie tecniche venute in possesso di questa Commissione Ministeriale d'Indagine, elaborate per conto delle varie parti in causa, appare caratterizzato da limitata probabilità il fatto che la cisterna possa aver urtato la piegata a zampa di lepre laddove inizia lo squarcio, proprio perché

quest'ultimo si trova circa 3 metri avanti rispetto alla punta della piegata a zampa di lepre e circa 70 centimetri più in alto della stessa.

Il **filmato numero 4** (ipotesi urto della ferrocisterna con la piegata a zampa di lepre a cui è stato imposto di seguire l'andamento reale dello squarcio), evidenzia inoltre una rotazione della ferrocisterna obbligata proprio dalla necessità di muoversi secondo la traiettoria mutevole dello squarcio.

Dal medesimo filmato si evince che in conseguenza di tale moto si concretizzerebbe lo sgancio degli organi di aggancio fra locomotore e ferrocisterna, e fra questa e la ferrocisterna che segue. Condizione che in realtà non si è verificata.

Infatti dall'analisi dei parametri cinematici estrapolati dal DIS, si rileva, per contro, che lo sgancio fra carro e locomotore è avvenuto a circa 35-40 metri a valle della piegata a zampa di lepre, vale a dire fra il picchetto 24 e 22.

I **filmati numero 2** (ipotesi urto ferrocisterna contro controrotaia destra smt con angolo di 6°) e **numero 3** (ipotesi urto ferrocisterna contro controrotaia destra smt con angolo di 15°) evidenziano ulteriori incongruenze di natura geometrica oltre a quella già rilevata circa la posizione reciproca cisterna - piegata a zampa di lepre, costituite dalla posizione relativa non più congrua della zattera con la controrotaia destra nonché la posizione dei predellini di accesso al terrazzino frontale della cisterna che in questi casi risulterebbero affondare completamente durante il moto al di sotto del piano del ballast. Tale ultima condizione si dimostra impossibile in quanto dalle immagini reali si evince che detti predellini hanno subito, nella realtà, una deformazione di semplice rotazione dei loro piani mediali diversa rispetto a quella che in questi casi ci si sarebbe potuto attendere e cioè una deformazione con andamento antero-posteriore rispetto alla direzione di marcia del treno (foto 49)

Procedendo nell'analisi dei **filmati numero 5 – 6 - 7**, rispettivamente:

- a) ipotesi urto ferrocisterna contro picchetto n. 24 con angolo di 6°;
- b) ipotesi urto ferrocisterna contro picchetto n. 24 con angolo di 15°;
- c) ipotesi urto ferrocisterna contro picchetto n. 24 cui è stato imposto di seguire l'andamento reale dello squarcio,

che ripropongono la ricostruzione delle possibili interazioni fra ferrocisterna e tale elemento dell'infrastruttura ferroviaria, è emerso che, nell'ipotesi di urto contro il picchetto 24 con angolo di 6°, risulta compatibile l'inizio dello squarcio con la posizione iniziale della punta della suola del picchetto mentre, nella parte finale all'uscita dello squarcio, tale compatibilità non trova riscontro.

Analogamente nell'ipotesi dell'urto con angolo di 15°, si rileva la compatibilità nella parte finale ma non in quella iniziale.

Procedendo nell'analisi dei **filmati numero 8 – 9 – 10 - 11**, rispettivamente:

- a. Ipotesi approccio cisterna alla piegata zampa di lepre con angolo di 5° in ingresso e di 10° in uscita (ipotesi dei CTU GIP);
- b. Ipotesi approccio cisterna alla piegata zampa di lepre con angolo di 8° in ingresso e di 8° in uscita rispetto al binario;
- c. Ipotesi approccio cisterna alla piegata zampa di lepre con angolo di 10° in ingresso e di 10° in uscita rispetto all'angolo di taglio
- d. Ipotesi approccio cisterna alla piegata zampa di lepre con angolo di 12° in ingresso e di 12° in uscita rispetto al binario

che ripropongono la ricostruzione delle possibili interazioni fra ferrocisterna e piegata a zampa di lepre.

Dall'analisi delle sopracitate ipotesi è emerso che pur imponendo condizioni geometriche che simulano gli angoli (ingresso – uscita) dello squarcio rilevati sulla cisterna, non si rilevano elementi geometrici di contatto fra piegata a zampa di lepre e cisterna nella zona dello squarcio, avendo imposto la condizione vincolante dell'urto della zattera con la controrotaia destra dato incontrovertibile e non contestato da nessuno delle parti in causa.

Fra le varie ipotesi quella che appare disporre del maggior grado di compatibilità rispetto alle condizioni geometriche e cinematiche analizzate e che conseguentemente dispone di un più alto grado di probabilità di corrispondenza alla realtà degli accadimenti è l'ipotesi di urto della ferrocisterna con il picchetto n. 24 nella versione in cui lo stesso picchetto nel portarsi

nella sua posizione statica finale, ruota ed agisce sulla cisterna lungo la traiettoria dello squarcio (filmato 7).

L'analisi di quest'ultimo scenario rivela compatibilità geometriche e cinematiche.

Parimenti, appare congrua la particolare traiettoria seguita dalla cisterna nell'ultima fase del moto.

La circostanza che il picchetto 24 sia stato rinvenuto affondato nel ballast e con inclinazione statica finale antero - laterale sinistra smt, trova adeguato riscontro nel movimento del carro che a seguito dell'urto contro il picchetto subisce un rallentamento a cui segue uno spostamento verso sinistra smt dovuto alla spinta ricevuta da parte del secondo carro.

Successivamente, si concretizza un ulteriore moto roto-traslatorio della ferrocisterna che costringe i respingenti anteriori verso la parte posteriore della cassa del locomotore in prossimità del vetro parabrezza che subisce a sua volta la frantumazione per effetto della pressione esercitata da tale respingente.

Anche la sequenza dello sgancio dal locomotore in termini di distanza e tempi, trova adeguata giustificazione come si evince dal filmato.

Alla luce di quanto fin qui riferito, tenuto conto di tutti gli elementi al contorno (compatibilità geometrica, riscontro di segni/tracce di interazione fra elementi del carro e componenti dell'infrastruttura, compatibilità dei dati cinematici e delle posizioni reciproche degli elementi del carro-infrastruttura, sequenza dello sgancio del primo carro dalla locomotiva, ecc...), le risultanze appaiono attribuire maggiori condizioni di probabilità all'ipotesi che l'agente perforante possa essere stato il picchetto n. 24.

Tutti gli scenari analizzati nel presente studio portano ad escludere in modo chiaro l'ipotesi di un qualsiasi coinvolgimento della controrotaia destra del deviatore 13B nell'azione di squarcio della cisterna.

### 3. Parte seconda

#### 3.1 Conclusioni

Alla luce di quanto riferito nei precedenti paragrafi, si sintetizzano le risposte ai quesiti proposti dal GIP in sede di incidente probatorio.

In merito al quesito C.12 è emerso che la cisterna è stata progettata e realizzata secondo i criteri stabiliti dall'accordo ADR/RID 2003 posto che sia alla misurazione diretta che all'analisi di laboratorio lo spessore del mantello e della culatta è risultato rispettare i valori minimi previsti.

In merito al quesito C.13 è emerso che la cisterna ha evidenziato sotto il profilo delle caratteristiche meccaniche, chimiche e metallografica la rispondenza a quelle fornite dal costruttore e riportate nel certificato della cisterna.

Infine per quanto attiene al quesito C14 da quanto riportato in precedenza e meglio descritto nel paragrafo 2.5, se ne deduce che la maggiore probabilità a esercitare l'azione di squarcio sulla cisterna sia da attribuire al picchetto n. 24.

#### 3.2 Raccomandazioni

Oltre alle raccomandazioni esplicitate nella relazione del 23.03.2012 di questa Commissione ministeriale, alla luce anche delle conclusioni sopra esposte, si raccomanda all'Agenzia Nazionale per la Sicurezza delle Ferrovie (ANSF) di sensibilizzare il Gestore dell'Infrastruttura RFI ad effettuare un'analisi e una valutazione del rischio in relazione ad eventuali enti/componenti presenti sull'infrastruttura, in particolare ai picchetti di regolazione delle curve, che potrebbero rilevarsi potenziali pericoli per la sicurezza della circolazione ferroviaria secondo tempi e modalità ritenute più opportune.

Presidente Dott. Ing. Franco Branciamore



Membro Dott. Ing. Lorenzo Loreto



Membro Dott. Ing. Roberto Lucani



---

*Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti*

*Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie*

*Integrazione alla relazione di indagine del 23.03.2012 riguardante l'incidente ferroviario di Viareggio del 29.06.2009*