

Emidio De Quarto, Sarah Bonvicini,
Gigliola Spadoni
Dipartimento di Ingegneria Chimica,
Mineraria e delle Tecnologie
Ambientali
Università di Bologna
sarah.bonvicini@unibo.it



ANALISI DI UNA BANCA-DATI DEGLI INCIDENTI NEL TRASPORTO DI MERCI PERICOLOSE

Parte 2: incidentalità ferroviaria

In questa seconda parte dell'articolo sono riportati i risultati dell'analisi dei dati di incidentalità nel trasporto ferroviario di merci pericolose della banca-dati D.G.A.I.S.;

questa sezione, che fa seguito ad una prima sugli incidenti stradali, contiene anche le conclusioni della ricerca effettuata.

In questa seconda parte dell'articolo sono riportati i risultati dell'analisi dei dati di incidentalità ferroviaria contenuti nella banca dati canadese D.G.A.I.S. (*Dangerous Goods Accident Information System*) (Cfr. E. De Quarto, *Analisi degli incidenti ferroviari nel database D.G.A.I.S.*, Università di Bologna, 2004). Questa parte del lavoro fa seguito ad una prima parte (*Chimica e Industria*, 2005, **86**(5), 60) in cui sono state illustrate le finalità di questo studio e le caratteristiche della banca-dati analizzata ed i risultati emersi dall'esame

degli incidenti avvenuti nel trasporto su strada. In questa seconda parte dell'articolo sono riportate anche le considerazioni conclusive della ricerca effettuata.

Relativamente al trasporto ferroviario l'analisi ha avuto ad oggetto 3.445 "record incidente", a cui corrispondono 4.328 "record sostanze". Il numero dei "record sostanze" è maggiore del numero dei "record incidente", in quanto in un incidente può esse-

re coinvolta più di una sostanza (si pensi, ad esempio al deragliamento di un treno contenente diverse ferrocisterne, ciascuna destinata ad una specifica sostanza).

Nel caso del trasporto ferroviario il divario tra i due campioni non è piccolo come nel trasporto stradale, poiché su rotaia, pur in presenza dei "convogli dedicati" che trasportano una sola tipologia di merce, possono viaggiare treni con più carri di sostan-

Errata corrige

Nella prima parte dell'articolo (*Chimica e Industria*, **87**(5), 60) si è verificata un'inversione nella legenda della Fig. 3 a pag 63: il colore verde va associato a "guasto del mezzo di contenimento", il rosso a "errore umano". Ci scusiamo con i lettori.

ze differenti. Infatti l'88% degli eventi incidentali ha interessato una sola sostanza, nel 7% due, nel 3% tre e nel restante 2% più di tre prodotti differenti.

La metodologia con cui sono stati analizzati i dati degli incidenti su rotaia è la stessa con la quale sono stati esaminati i dati del trasporto su strada ed è illustrata nella prima parte dell'articolo.

Analisi dell'incidentalità ferroviaria

La prima classificazione effettuata è stata per fase del trasporto, individuando le fasi del *trasporto in linea*, di *carico/scarico*, di *sosta in scalo/stazione*; il risultato di questa classificazione è riportato in Figura 1. Tralasciando gli incidenti avvenuti durante le operazioni di carico/scarico delle ferrocisterne (dato che queste vengono effettuate all'interno degli stabilimenti) si osserva come agli incidenti durante il *trasporto in linea*, che costituiscono il 36,9%, seguano con una percentuale del 30,8% quelli avvenuti durante la *sosta in scalo/stazione*. Gli incidenti negli scali o addirittura in stazione, dove solitamente le ferrocisterne sono sottoposte alle manovre per la scomposizione e formazione dei convogli, essendo gli scali e ancor più le

stazioni molto spesso in prossimità o addirittura all'interno dei centri abitati, hanno un'elevata potenzialità di danno.

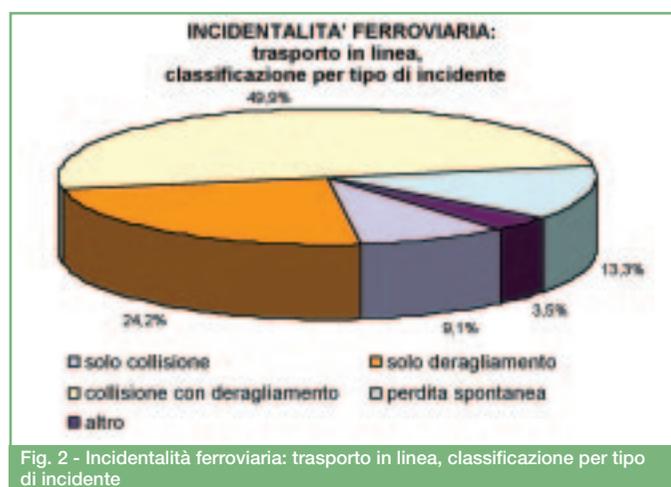
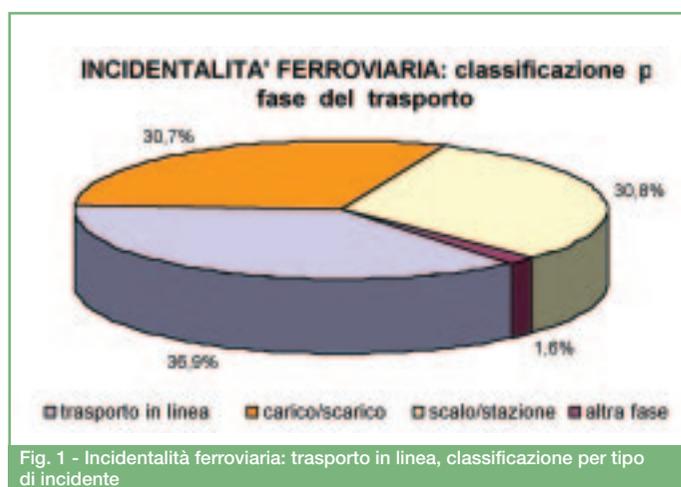
Considerando separatamente gli incidenti avvenuti durante le fasi del *trasporto in linea* e della *sosta in scalo/stazione*, nelle Figure 2 e 3 sono riportati i risultati della classificazione per tipo di incidente, avendo individuato le seguenti tipologie: *solo collisione* (contro un vagone o un convoglio o altro ostacolo presente sui binari) in seguito alla quale tutti i carri del convoglio sono rimasti sui binari, *solo deragliamento* per cui almeno uno dei vagoni del treno è risultato sviato dai binari, *collisione con deragliamento* e *perdita spontanea* della sostanza trasportata.

È possibile notare come la percentuale delle *collisioni con deragliamento* sia quasi doppia nella fase del *trasporto in linea* rispetto a quella durante la *sosta in scalo/stazione*; ciò può facilmente essere giustificato considerando la maggiore velocità dei convogli durante il trasporto in linea e quindi la maggiore energia in gioco in caso di urto, che provoca generalmente impatti di violenza tale da fare sviare i carri. Il deragliamento può determinare il ribaltamento del veicolo e quindi l'impatto della cisterna contro il terreno, con conseguen-

te danneggiamento del serbatoio e fuoriuscita del prodotto trasportato.

Durante la *sosta in scalo/stazione* è invece molto più probabile che non durante il trasporto in linea che sia accertata la perdita spontanea di sostanza; infatti solamente quando il vagone rimane fermo nella stessa posizione per un certo lasso di tempo è possibile che la sostanza fuoriuscita si accumuli in modo tale da consentire agli operatori di accorgersi del rilascio; durante il viaggio la turbolenza causata dalla velocità del convoglio provoca infatti una rapida diluizione dei gas mentre una piccola perdita in fase liquida cade in un punto sempre diverso della massicciata, per cui l'individuazione casuale di un rilascio diventa pressoché impossibile, a meno che la perdita stessa non sia di dimensioni rilevanti.

Le probabilità di accadimento della *solo collisione* e del *solo deragliamento* sono invece simili per le due fasi del trasporto. Esaminando, separatamente per le due fasi del trasporto, le cause di ogni tipo di incidente, si ottengono i risultati riportati nelle Figure 4 e 5; le cause prese in esame sono: *errore umano*, *guasto del veicolo*, *guasto del mezzo di contenimento* e *causa esterna*. Rientrano tra le *cause esterne* quelle imputabili all'armamento ferroviario,



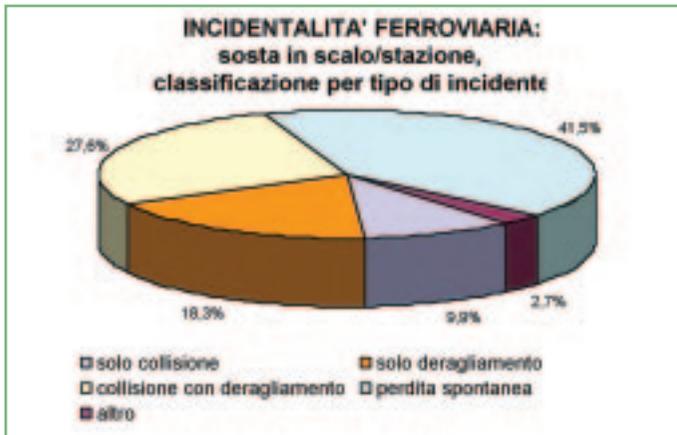


Fig. 3 - Incidentalità ferroviaria: sosta in scalo/stazione, classificazione per tipo di incidente

ad esempio il guasto di uno scambio o una discontinuità dei binari.

Emerge per entrambe le fasi del trasporto prese in esame come l'*errore umano* sia la principale causa di incidente, seguita, ad una certa distanza, dalle *cause esterne*; i *guasti del veicolo* come pure i *guasti del mezzo di contenimento* occupano una posizione marginale. Anche nell'ambito dell'incidentalità ferroviaria è stata effettuata una classificazione sulla base dei quantitativi rilasciati, utilizzando un campione di

decrezca all'aumentare della quantità fuoriuscita, a conferma del fatto che i rilasci gravi sono meno numerosi dei rilasci lievi. Inoltre si può osservare come le probabilità di accadimento delle tre categorie di rilascio siano del tutto simili per i liquidi e per i gas, ed in particolare come nella classe dei liquidi si siano verificati anche alcuni sversamenti di entità superiore a 100 t. Poiché mediamente i mezzi di contenimento impiegati nel trasporto ferroviario hanno capacità maggiore di quelli utilizzati in

755 record per i liquidi e di 81 record per i gas liquefatti; i risultati di questa classificazione, ottenuta dall'analisi dei "record sostanze", sono riportati in Fig. 6. È possibile notare come, sia per i gas che per i gas liquefatti, la probabilità di accadi-

mento delle perdite ambito stradale e quindi anche le quantità rilasciate possono essere maggiori nel caso del trasporto su rotaia rispetto a quello su strada, è giustificato il fatto che su rotaia si siano verificate perdite maggiori che non su strada.

Il fatto che l'entità del rilascio sia mediamente inferiore nel caso dei liquidi trasportati a pressione atmosferica anziché nel caso dei gas liquefatti in pressione può essere giustificato considerando le osservazioni introdotte nel caso del trasporto stradale.

Nelle Figure 7 e 8 sono riportati gli alberi degli eventi per i liquidi e per i gas liquefatti, ottenuti su una base, rispettivamente, di 685 e di 47 record. Gli alberi degli eventi sono quasi identici a quelli ottenuti nell'incidentalità stradale, ed in particolare risulta simile, sia per i liquidi che per i gas liquefatti, la probabilità d'innescio complessiva, mentre nel caso del trasporto ferroviario, a causa dei maggiori quantitativi trasportati (e mediamente rilasciati, come emerso dall'analisi della Figura 6), ci si sarebbe potuti aspettare una probabilità di innescio più

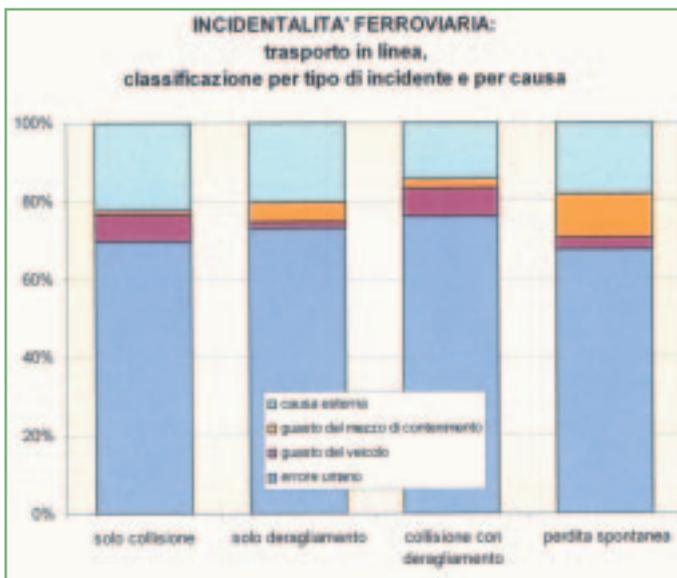


Fig. 4 - Incidentalità ferroviaria: trasporto in linea, classificazione per tipo di incidente e per causa

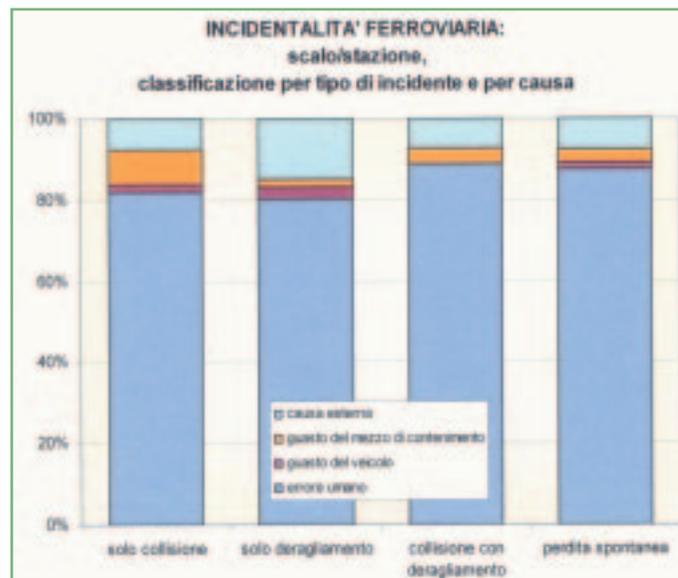


Fig. 5 - Incidentalità ferroviaria: sosta in scalo/stazione, classificazione per tipo di incidente e per causa

elevata. Nel caso del trasporto ferroviario inoltre il flash-fire e la VCE hanno, sia nel caso dei liquidi che in quello dei gas liquefatti, la stessa probabilità di accadimento. L'analisi dei danni all'uomo imputabili alla pericolosità della sostanza trasportata ha portato ad individuare, in un periodo pari a 13 anni, 111 eventi incidentali per ferrovia nei quali si è avuto almeno un morto, per un totale di 142 casi di danno; il numero massimo di decessi avvenuti in un singolo incidente risulta pari a 20. Il valore medio del rischio individuale (facendo riferimento ad una popolazione canadese complessiva pari a 28,5 milioni di abitanti) risulta pari a $3,8 \times 10^{-7}$ eventi/anno ed il rischio sociale in termini di numero atteso di morti a 10,9 decessi/anno. Il rischio sociale espresso come curva "frequenza cumulata - numero di morti" è riportato in Figura 9. Si può notare come nel caso del trasporto su rotaia i valori di rischio siano tutti leggermente più elevati che non nel caso del trasporto su gomma. La curva di rischio sociale in particolare, pur avendo inizialmente valori di frequenza simili, raggiunge,

nel caso della ferrovia, il valore di 20 decessi, mentre nel trasporto stradale arriva solamente a 5. Una plausibile giustificazione a questo deriva dal fatto che i quantitativi di sostanza trasportati e quindi rilasciati dai veicoli ferroviari sono mediamente maggiori che non nel caso dei veicoli stradali; di conseguenza anche le aree di danno ed il numero di persone coinvolte nell'incidente risultano più elevati.

Conclusioni

Il principale risultato che è emerso dall'analisi delle cause dell'incidentalità stradale e ferroviaria è l'elevata incidenza dell'errore umano per tutte le tipologie d'incidente; a seconda della modalità del trasporto e del tipo d'incidente, questo dato è compreso tra il 53% e l'89%.

Nel caso delle perdite spontanee, non conseguenti cioè ad un incidente propriamente detto, l'errore avviene generalmente durante il caricamento del veicolo e dunque non è direttamente imputabile alla ditta che effettua il trasporto. Occorre tuttavia rammentare che la presenza ed il rispetto

di specifiche procedure di consegna e accettazione del veicolo, quando questo viene affidato dalla ditta mittente alla ditta che effettua il trasporto, volte a verificare, ad esempio, il quantitativo di sostanza caricata (ovvero l'ottemperanza del grado di riempimento fissato dalle norme cogenti), le sue condizioni di pressione e temperatura, l'effettiva chiusura dei bocchettoni di carico e più in generale l'assenza di perdite, potrebbe ridurre grandemente il numero dei rilasci spontanei rilevati durante il trasporto propriamente detto. D'altra parte l'individuazione tempestiva di una perdita evita che un veicolo non integro sia avviato alla marcia, con pericolo che, anche in seguito alle sollecitazioni dovute al moto, il rilascio aumenti di entità.

Una percentuale senz'altro più piccola (ma nonostante ciò non trascurabile, specie nel trasporto stradale) delle perdite spontanee è dovuta a guasti del mezzo di contenimento, ovvero a rottura o usura o malfunzionamento dei diversi componenti dell'equipaggiamento della cisterna, quali, ad esempio, l'avaria delle valvole di tenuta, il serraggio difettoso dei bocchettoni di carico/scarico, il logoramento delle guarnizioni delle valvole. Poiché il mezzo di contenimento impiegato per il trasporto è una cisterna sostanzialmente non differente dai serbatoi fissi presenti all'interno degli stabilimenti chimici, per di più soggetta alle sol-

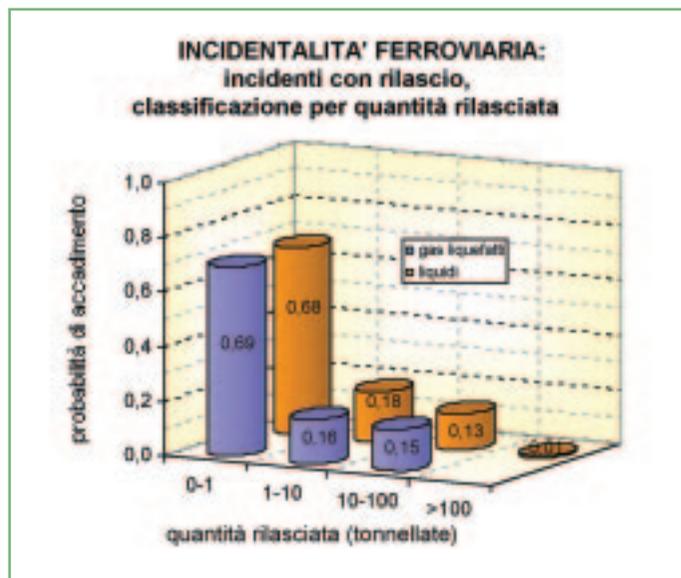


Fig. 6 - Incidentalità ferroviaria: probabilità di accadimento delle quantità rilasciate

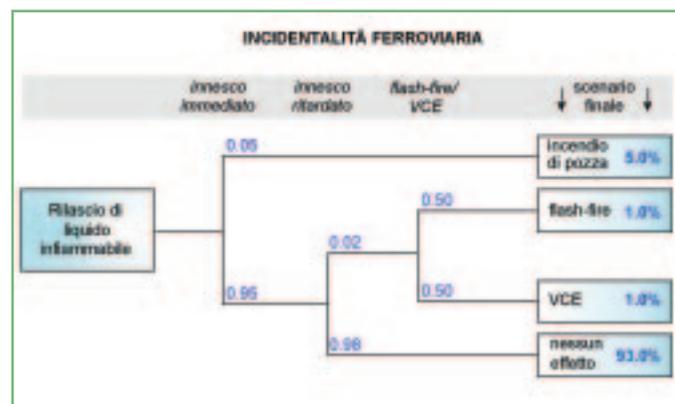


Fig. 7 - Incidentalità ferroviaria: rilascio di liquido infiammabile, albero degli eventi post-rilascio

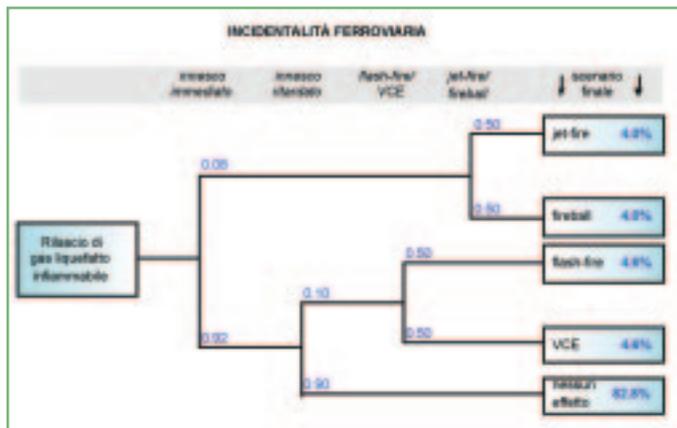


Fig. 8 - Incidentalità ferroviaria: rilascio di gas liquefatti infiammabili, albero degli eventi post-rilascio

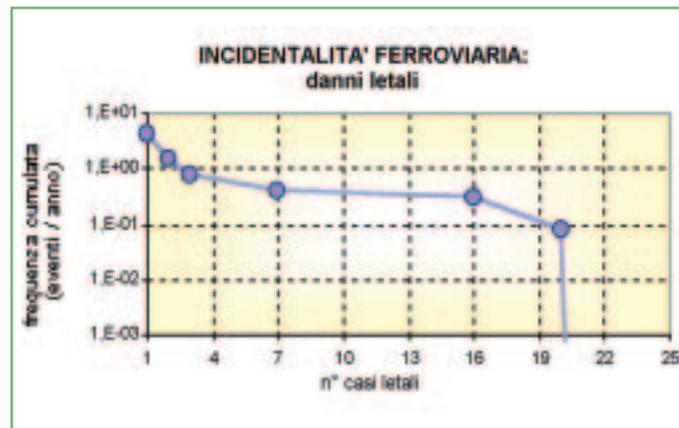


Fig. 9 - Incidentalità ferroviaria: curva di rischio sociale

lecitazioni derivanti dal moto ordinario del veicolo, la sua frequenza di guasto dipende, tra l'altro, dalle sue caratteristiche costruttive, dalla sua durata di esercizio e dalla periodicità con cui vengono eseguite le procedure di manutenzione, aventi lo scopo di verificare la tenuta del serbatoio ed il buon funzionamento di tutto l'equipaggiamento di servizio. Al fine di ridurre le perdite spontanee imputabili al mezzo di contenimento, potrebbe essere opportuno rendere più frequenti le ispezioni manutentive a carico dei serbatoi destinati al trasporto di merci pericolose, per individuare precocemente quei componenti che richiedono di essere riparati o sostituiti.

In verità il contributo dell'errore umano è significativo per tutte le tipologie di eventi incidentali, e quindi non solo per le perdite spontanee, ma anche per gli incidenti del trasporto veri e propri; nella maggior parte dei casi questi incidenti sono imputabili all'inosservanza delle specifiche procedure esistenti per la manovra e la conduzione

dei veicoli contenenti sostanze pericolose e dunque il richiamo ad un più rigoroso rispetto delle norme esistenti ed un potenziamento dell'attività di informazione e formazione dei conducenti di questi veicoli potrebbe ridurre drasticamente il verificarsi di questi incidenti. A tale scopo potrebbe essere utile, specie in ambito ferroviario, incrementare anche l'adozione di dispositivi automatici.

Relativamente ai dati di probabilità ricavati dall'analisi della banca-dati D.G.A.I.S. al fine di essere impiegati per le analisi di rischio aventi ad oggetto una linea stradale o ferroviaria, occorre evidenziare come le informazioni in essa riportate siano talvolta incomplete o non sufficientemente precise per ottenere tutti i dati probabilistici necessari.

Il fatto che i record non siano sempre compilati in ogni loro parte ha comportato che talune classificazioni siano state effettuate su un campione esiguo di incidenti; in alcuni casi, per aumentare l'entità dei campio-

ni, è stato necessario assegnare alcuni record ad una definita categoria adottando in modo soggettivo delle specifiche supposizioni riguardo alle informazioni mancanti. Inoltre talvolta non è stato possibile comprendere e giustificare pienamente le differenze esistenti nei valori di alcuni dati. Nonostante i valori numerici ottenuti siano caratterizzati da una notevole incertezza per i motivi sopra esposti, si ritiene comunque preferibile utilizzare questi dati per le analisi di rischio relative al trasporto anziché informazioni relative agli impianti, in considerazione del fatto che queste ultime si riferiscono ad incidenti con caratteristiche in generale differenti da quelli che possono accadere durante il trasporto. Emerge dunque come urgente l'esigenza, al fine di ottenere dati affidabili, di intraprendere iniziative specifiche, eventualmente a livello europeo, per lo sviluppo di banche-dati complete e dettagliate per gli incidenti e i rilasci nel trasporto di merci pericolose.

Analysis of a Hazmat Transport Accident Data-Base. Part 2: Rail Accidents

ABSTRACT 

In this paper results are presented about the analysis of the data of hazmats rail accidents reported by the Canadian data-base D.G.A.I.S.; this section follows a previous one where the analysis of the road accidents has been discussed. Finally some concluding remarks about the performed research are drawn.