

Trasporto merci pericolose

Parte seconda: incertezze nei dati storici di incidente

di Valerio Cozzani, Sarah Bonvicini,
Leonardo Vanni, Gigliola Spadoni e Severino Zanelli

La domanda di sicurezza nel trasporto stradale e ferroviario di sostanze pericolose rende necessario valutare il rischio cui risulta esposta la popolazione a causa del transito di questa tipologia di merci in aree residenziali contigue a zone industriali. Lo sviluppo di un'analisi di rischio implica una formulazione omogenea del problema in tutte le sue fasi ed una riduzione, per quanto possibile, delle incertezze presenti nei dati in ingresso.



L'analisi quantitativa del rischio dovuto al trasporto di sostanze pericolose richiede la disponibilità di valori affidabili per le frequenze di incidente e di rilascio, in generale basati su dati statistici. Nella prima parte dell'articolo (*Chimica e Industria*, 2001, **83**, 69) è stata presentata una raccolta di dati storici disponibili nella letteratura tecnica.

In questa seconda parte si affronta il problema dell'affidabilità dei dati statistici disponibili e della selezione dei dati da utilizzare in studi di rischio nel trasporto di sostanze pericolose nel contesto italiano.

Elementi d'incertezza nei dati storici per frequenze e probabilità di rilascio

Frequenza di incidente unitaria

Il primo problema da affrontare è la comprensione dei fattori che causano l'incertezza e l'apparente incongruenza dei dati storici riscontrate nella prima parte dell'articolo.

La frequenza di incidente unitaria è un valore statistico e come tale fortemente legato ai dati sui quali l'analisi statistica è stata condotta. Le varie fonti che raccolgono dati storici possono differenziarsi tra loro principalmente per:

- la definizione d'incidente;
- il criterio di raccolta dei dati;
- il grado di dettaglio dei dati raccolti;
- il numero di dati raccolti;

V. Cozzani, S. Zanelli, Dip. di Ingegneria Chimica, Chimica Industriale e Scienza dei Materiali - Università di Pisa - v.cozzani@ing.unipi.it; S. Bonvicini, G. Spadoni, Dip. di Ingegneria Chimica, Mineraria e delle Tecnologie Ambientali - Università di Bologna; L. Vanni, Gruppo Nazionale per la Difesa dai Rischi Chimico-Industriali ed Ecologici - Cnr.

- gli anni di riferimento dei dati;
- l'origine geografica dei dati.

In particolare, dal punto di vista del grado di dettaglio dei dati è importante conoscere se essi sono distinti sulla base di:

- tipologia di veicolo;
- tipo di strada o binario;
- entità e conseguenze del rilascio.

Particolare attenzione deve essere rivolta alla definizione di "incidente", sulla quale, tra le varie fonti, non esiste univocità. Basti pensare che a volte si definiscono "incidenti" solo quegli eventi in cui si è realizzato un danno economico superiore ad un valore di soglia, mentre altre volte si parla d'incidente solo se si è verificata la presenza di almeno un ferito, oppure se c'è stato l'intervento dei vigili del fuoco.

Relativamente al solo trasporto stradale, la maggior parte delle fonti utilizza dati che si riferiscono ad incidenti di veicoli adibiti al trasporto di merci generiche. Raramente sono riportati dati specifici per i veicoli adibiti al trasporto di sostanze pericolose. Nonostante alcuni autori siano propensi a ritenere che i veicoli per il trasporto di sostanze pericolose abbiano una frequenza di incidente inferiore a quella degli altri trasportatori di merce in virtù di una più scrupolosa manutenzione degli automezzi e di una maggiore preparazione e responsabilizzazione degli autisti, non esiste alcuna conferma a sostegno di questa tesi. Al contrario vi sono studi che mostrano come, in alcuni contesti territoriali, questi mezzi siano soggetti ad una maggiore incidentalità. Il numero dei dati raccolti consente di stabilire la significatività delle elaborazioni statistiche e quindi la credibilità dei risultati presentati. L'arco temporale a cui i dati si riferiscono è indice della loro attualità, in quanto non si può escludere che le caratteristiche di incidentalità dei mezzi siano soggette a variazioni nel corso del tempo.

L'origine geografica dei dati infine è un altro elemento impor-

Tabella 8 - Caratteristiche di alcune fonti statistiche per la frequenza incidentale unitaria nel trasporto ferroviario

Rif.	Ente di raccolta dei dati	Anno pubb.	Tipo incidenti registrati	Origine geografica	Anni rif. dati	Numero dati
[2]	Ferrovie Nazionali Danesi	1992	nd	Danimarca	1969-89	121
[3]	Vigili del Fuoco Ferrovie dello Stato	1998	Incidenti ferroviari GPL con intervento Vv Ff	Italia	1985-92	5
[6]	Federal Railroad Administration Usa	1998	Inc. vagoni trasporto merci - tutti gli incidenti con un danno superiore a \$6.200 '92	Usa	1995-98	9.000
[5]	nd	1987	nd	Canada	1980-85	nd

nd: informazione non disponibile

Tabella 9 - Caratteristiche di alcune fonti statistiche per la probabilità di rilascio nel trasporto ferroviario

Rif.	Ente di raccolta dei dati	Anno pubb.	Tipo incidenti registrati	Origine geografica	Anni rif. dati	Numero dati
[2]	Letteratura	1992	Incidenti ferroviari coinvolgenti propano e cloro	Usa	nd	nd
[3]	Vv Ff	1998	Incidenti ferroviari di sostanze pericolose con intervento Vv Ff rilascio superiore ai 10	Italia	1985-92	63
[6]	Us Federal Railroad Administration - Rpi/Aar	1993	Incidenti ferroviari di sostanze pericolose denunciati volontariamente al Rpi/Aar	Usa	1965-86	29.000

nd: informazione non disponibile

Tabella 10 - Caratteristiche di alcune fonti statistiche per la frequenza di incidente unitaria nel trasporto stradale

Rif.	Ente di raccolta dei dati	Anno pubb.	Tipo incidenti registrati	Origine geografica	Anni rif. dati	Numero dati
[2]	Laboratorio dati stradali danese	1992	Modello teorico da database con incidenti su strade danesi	Danimarca	1982-86	130.000
[11]	Isvap, Ministero Interni, Conto Nazionale Trasporti	1996	Tutti gli incidenti coinvolgenti sostanze pericolose	Italia	1985-88	oltre 200
[3]	Istat, Aci	1997	Statistiche Istat, incidenti stradali in cui è stato richiesto il soccorso stradale Aci	Italia	nd	nd
[8]	Department of Transport, Uk	1992	Incidenti coinvolgenti mezzi pesanti adibiti al trasporto merci	Uk	1986	14.773
[4]	Department of Transport, Usa	1995	Incidenti stradali sostanze pericolose con danni alle persone e/o superiori ai \$50,000 '95	Usa	1971-95	200.000
[27]	nd	1986	Autoarticolati a 5 assi con tara >1,5 t, almeno un ferito grave	Uk	nd	1.097
[28]	Transport & Road Research Laboratory, Uk	1986	Autoarticolati a 4 o 5 assi, almeno un ferito	Uk	nd	nd
[23]	nd	1980	Incidenti con danno >250 \$	nd	1966-70	nd

nd: informazione non disponibile

tante, perché può indicare differenze nelle caratteristiche delle vie di trasporto e dei veicoli impiegati per le merci pericolose.

Probabilità di rilascio

Anche la definizione di "rilascio" non è univoca tra le diverse fonti. Infatti alcune intendono per "rilascio" la fuoriuscita indesiderata del prodotto trasportato nel solo caso in cui essa dia luogo a esplosioni ed incendi. Altre indicano con il termine "rilascio" la fuoriuscita di sostanze pericolose indipendentemente dagli eventuali incendi o esplosioni che possono accompagnare il rilascio stesso. Altre ancora non forniscono alcuna defini-

zione. Nel presente lavoro si è adottata la seconda delle definizioni introdotte.

La metodologia tipicamente seguita per la valutazione della probabilità di rilascio è basata sull'elaborazione di dati storici. Quando tuttavia non si abbia a disposizione un numero di dati sufficientemente elevato da consentire elaborazioni statistiche, o nel caso di recipienti di nuova progettazione, si può ricorrere a metodi alternativi. In letteratura sono stati proposti approcci basati sulla stima della probabilità di rilascio tramite la valutazione dell'energia cinetica del mezzo al momento dell'impatto e della resistenza meccanica del recipiente [21].

Tabella 11 - Caratteristiche di alcune fonti statistiche per la probabilità di rilascio nel trasporto stradale

Rif.	Ente di raccolta dei dati	Anno pubb.	Tipo incidenti registrati	Origine geografica	Anni rif. dati	Numero dati
[2]	Ministero Interni Italia	1992	Incidenti coinvolgenti sostanze pericolose con intervento Vv Ff	Italia	1985-88	41
[11]	Ministero Interni Italia	nd	Incidenti coinvolgenti sostanze pericolose con intervento Vv Ff	Italia	1985-88	41
[3]	Vv Ff. Italia	1998	Incidenti coinvolgenti sostanze pericolose con intervento Vv Ff	Italia	1984-91	281
[8]	Department of Transport, Usa - Bcms	1992	Incidenti stradali coinvolgenti sostanze pericolose suddivisi per tipo di sostanza	Usa	1984-85	2.090
[4]	Department of Transport, Usa	1995	Incidenti stradali sostanze pericolose con danni alle persone e/o superiori a \$50.000 '95	Usa (Ca Il Mi)	1992	200.000
[13]	Bureau of Motor Carrier Safety (Bcms) of Fhwa, Usa	nd	Incidenti denunciati con danno >2000 \$ (1982), limitati a interstate Hw transport	Usa	1981-85	3.703
[15]	Epa	1985	Dato medio per autocisterne	Usa	nd	nd
[16]	Bmcs of Fwha	nd	Incidenti denunciati con danno >4.400 \$ (1987) (1987), limitati a interstate Hw transport	Pennsylvania (Usa)	1986-87	161

nd: informazione non disponibile

Avendo a disposizione dati storici, è possibile stimare la probabilità di rilascio come rapporto tra il numero dei rilasci ed il numero degli incidenti. Perché questa stima sia significativa, occorre però includere nel computo degli incidenti solamente quelli che hanno coinvolto veicoli carichi, ovvero veicoli dai quali un rilascio avrebbe effettivamente potuto avere origine. Infatti, se nel calcolo della probabilità di rilascio, si considerano tutti gli incidenti, indipendentemente dal fatto che essi possano dar luogo a un rilascio o meno, si ottiene una probabilità di rilascio più piccola di quella effettiva.

Nell'analisi dei dati storici si deve inoltre prestare attenzione al fatto che alcune fonti classificano i rilasci accidentali in base alla quantità di sostanza fuoriuscita, escludendo dal computo quelli di minore entità, perché ritenuti privi di conseguenze. In questo caso il valore della probabilità di rilascio è minore di quello che si avrebbe se si considerassero tutti i rilasci indipendentemente dalla loro entità. Inoltre, poiché la probabilità di rilascio a seguito di incidente è condizionata all'accadimento dell'incidente stesso, il suo valore varia al variare della definizione d'incidente. Ad esempio, se gli incidenti esaminati sono soltanto quelli con danni gravi, che portano a considerare solo eventi severi, la frequenza d'incidente unitaria risulta molto bassa, ma la probabilità di rilascio, condizionata al fatto che l'incidente è severo, risulta molto elevata.

Da questa considerazione segue l'importanza fondamentale di calcolare la frequenza di rilascio usando valori di frequenza di incidente unitaria e probabilità di rilascio congruenti tra loro. Trascurare questo aspetto può portare ad ottenere valori della frequenza di rilascio completamente privi di significato.

Analisi critica dei dati storici

Confronto delle fonti disponibili per il trasporto ferroviario

Le principali informazioni disponibili per alcune

fonti sulle caratteristiche dei dati raccolti sono riportate nelle Tabelle 8 e 9, rispettivamente, per la frequenza di incidente unitaria e la probabilità di rilascio.

Come appare evidente dalle tabelle, la principale fonte americana [6] costituisce per numero, completezza ed attualità un riferimento autorevole ed affidabile al di sopra di ogni altro. Tuttavia, come già detto, il sistema ferroviario europeo presenta differenze notevoli rispetto ai sistemi ferroviari nord-americani, tali da giustificare il ricorso a statistiche specifiche per il contesto europeo. Poiché in Europa ogni nazione ha un proprio ente di gestione dei servizi ferroviari, la raccolta dei dati è effettuata a livello nazionale. Di conseguenza, come evidenziato nelle Tabelle 8 e 9, sino ad ora le elaborazioni statistiche si sono basate su un numero modesto di eventi incidentali, mettendo in dubbio la validità dei dati statici derivati da alcune indagini.

Confronto delle fonti disponibili per il trasporto stradale

Le caratteristiche dei dati raccolti dalle diverse fonti relativamente al trasporto stradale sono riassunte nella Tabelle 10 e 11, rispettivamente, per la frequenza di incidente unitaria e la probabilità di rilascio.

Tabella 12 - Frequenze incidentali, probabilità di rilascio e frequenze unitarie di rilascio nel trasporto ferroviario in funzione della velocità

Dato	rif.	alta velocità	R	media velocità	R	bassa velocità	R	valore medio
f_{iuv}	[2]			$6,24 \cdot 10^{-9}$	0,5	$1,38 \cdot 10^{-8}$	1,2	$1,15 \cdot 10^{-8}$
	[4]	$8,66 \cdot 10^{-8}$	0,5	$2,20 \cdot 10^{-7}$	1,3	$8,09 \cdot 10^{-7}$	4,9	$1,64 \cdot 10^{-7}$
f_{iut}	[4]	$4,57 \cdot 10^{-7}$	0,5	$1,09 \cdot 10^{-6}$	1,3	$1,83 \cdot 10^{-6}$	2,1	$8,67 \cdot 10^{-7}$
$p_{ri}(NP)$	[5]	0,46	1,6	0,35	1,2	0,26	0,9	0,29
$p_{ri}(P)$	[5]	0,13	1,6	0,10	1,3	0,07	0,9	0,08
$f_{ruv}(NP)$	[5]	$3,98 \cdot 10^{-8}$	0,8	$7,70 \cdot 10^{-8}$	1,6	$2,10 \cdot 10^{-7}$	4,4	$4,76 \cdot 10^{-8}$
$f_{ruv}(P)$	[5]	$1,13 \cdot 10^{-8}$	0,9	$2,20 \cdot 10^{-8}$	1,7	$5,66 \cdot 10^{-8}$	4,3	$1,31 \cdot 10^{-8}$
$f_{rut}(NP)$	[5]	$2,10 \cdot 10^{-7}$	0,8	$3,83 \cdot 10^{-7}$	1,5	$4,76 \cdot 10^{-7}$	1,9	$2,51 \cdot 10^{-7}$
$f_{rut}(P)$	[5]	$5,94 \cdot 10^{-8}$	0,9	$1,09 \cdot 10^{-7}$	1,6	$1,28 \cdot 10^{-7}$	1,8	$6,94 \cdot 10^{-8}$

Tabella 13 - Fattori correttivi della probabilità di rilascio nel trasporto stradale per diverse categorie di strada

	[16]	[5]	[13]	media aritm.
A _{urb}	0,3	0,8	0,5	0,5
A _{ex}	1,3	1,1	1,4	1,3
B _{ex}	1,1	1,1	1,4	1,2

Come nel caso del trasporto ferroviario, alcune fonti statunitensi [4] evidenziano un elevato numero di dati raccolti. Tuttavia anche le statistiche europee si basano generalmente su un numero di dati sufficientemente elevato da giustificare la validità statistica delle indagini. La principale differenza tra le diverse fonti (sia europee sia americane) è nella definizione di "incidente". Questa è strettamente legata alle finalità dell'ente di raccolta dei dati, che sono diverse a seconda che si tratti, ad esempio, di una società d'assicurazione, di un corpo di polizia, o del corpo dei vigili del fuoco.

Influenza della velocità nel trasporto ferroviario

Alcune fonti riportano la frequenza incidentale in funzione della velocità consentita sul binario, individuando tre classi di velocità:

- velocità alta (oltre 90 km/h),
- velocità media (60 km/h),
- velocità bassa (40 km/h).

Nella Tabella 12 è riportato il rapporto R tra il valore della frequenza di incidente proprio di ogni categoria di velocità ed il valore medio globale.

Questo è stato ottenuto pesando i valori di frequenza d'incidente propri di ogni classe rispetto alle frazioni delle distanze percorse sui binari di ciascuna classe. I valori di R indicano come la frequenza incidentale cali al crescere della velocità. Ciò è presumibilmente giustificato dalla migliore qualità delle linee su cui è consentito un più elevato valore di velocità, ad esempio in termini di manutenzione e di segnaletica. Anche la probabilità di rilascio varia in funzione della velocità limite consentita sul binario, come indicato dai dati riportati nella stessa Tabella 12. I valori del rapporto R tra il valore di probabilità di rilascio proprio di ogni categoria di velocità ed il valore medio indicano come la probabilità di rilascio diminuisca al calare della velocità. Ciò è facilmente giustificabile se si considera che la forza d'urto in gioco in caso di incidente, responsabile dell'eventuale cedimento meccanico della ferrocisterna e dunque di un eventuale rilascio, sono minori in caso di bassa velocità.

In Tabella 12, infine, sono riportate anche le frequenze di rilascio in funzione della velocità consentita sul binario. I dati indicano chiaramente che la frequenza di rilascio aumenta al diminuire della velocità, come evidenziato dal rapporto R tra il valore proprio di ogni categoria di velocità ed il valore medio. Poiché la frequenza di rilascio è data dal prodotto della frequenza incidentale (che diminuisce con la velocità) e della probabilità di rilascio (che aumenta con la velocità), si ricava che il primo fattore risulta prevalente sul secondo.

Influenza della velocità nel trasporto stradale

Osservando i valori presentati in Tabella 5 (vedi prima parte), si nota come la frequenza incidentale unitaria sia maggiore in ambiente urbano che non in ambiente extraurbano, a sottolineare la scarsa dipendenza dalla velocità limite, tipicamente

minore in ambiente urbano che non su percorsi extraurbani.

Per quanto riguarda invece la probabilità di rilascio, alcune fonti riportano valori in funzione della categoria di strada. Rappor- tando tali valori al dato medio di probabilità di rilascio riportato dalla fonte, è possibile ottenere dei fattori correttivi della proba- bilità di rilascio per ogni categoria di strada, come riportato in Tabella 13.

Dall'analisi di questi dati si evince come, nel caso di strade ur- bane, la probabilità di rilascio è circa la metà rispetto al valore medio, mentre nel caso di strade extraurbane, sia di tipo A che di tipo B, la probabilità di rilascio è maggiore di un fattore com- preso tra 1,1 e 1,4 rispetto al valore medio. Tali dati conferma- no dunque la tesi per cui la velocità al momento dell'incidente giochi un ruolo fondamentale sulla rottura del contenimento.

Influenza di altri fattori

Relativamente all'influenza sulla frequenza di incidente, sulla probabilità di rilascio e sulla frequenza di rilascio di altri fattori quali, ad esempio, le condizioni meteorologiche, l'orario del viaggio, la particolare conformazione del tragitto, le caratteristi- che specifiche del veicolo, occorre sottolineare come, allo stato attuale, non esistono dati storici sufficientemente affidabili. L'in- troduzione di questi fattori mediante l'impiego di termini correttivi

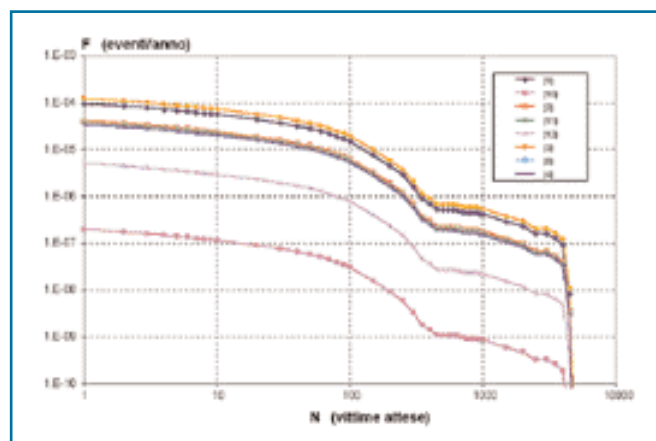


Figura 1 - Curve di rischio sociale dovute al trasporto di sostanze pericolose nell'area di Piombino ottenute utilizzando i diversi valori di letteratura per le frequenze di incidente e le probabilità di rilascio

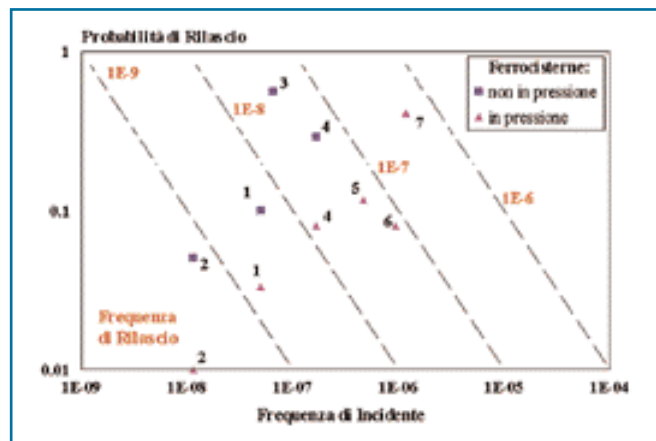


Figura 2 - Dati storici disponibili per la frequenza unitaria di rilascio (rilasci/km percorso dal vagone) nel trasporto ferroviario di sostanze pericolose (Tabelle 2 e 3, parte prima)

vi empirici non pare quindi attualmente di grande utilità, poiché l'assenza di dati storici rende arbitraria la stima di questi fattori.

Selezione delle fonti di dati più affidabili per il contesto italiano

È importante ricordare come, nel calcolo degli indici di rischio su un'area, la frequenza di rilascio incide in modo direttamente proporzionale sia sul valore del rischio individuale sia sulla frequenza cumulata F delle curve di rischio sociale [1]. A titolo di esempio si riportano in Figura 1 le curve di rischio sociale imputabile ai trasporti stradali di sostanze pericolose nell'area di Piombino, ottenute in funzione dei valori di frequenza di rilascio unitaria forniti da alcune fonti, a parità di tutti gli altri fattori.

La valutazione di tali curve è riportata in dettaglio in [20]. Si può immediatamente notare come le differenze nei valori di rischio sociale possano essere superiori ad un ordine di grandezza. Risulta dunque estremamente urgente il problema di definire dei valori di riferimento da utilizzarsi negli studi di rischio d'area, con particolare riferimento alla situazione italiana, sia per il trasporto stradale che per quello ferroviario.

La Figura 2, che si riferisce al trasporto ferroviario, riporta i punti le cui coordinate sono costituite dai dati di frequenza di incidente unitaria e di probabilità di rilascio riportati dalle diverse fonti analizzate.

Le rette tracciate sul grafico indicano valori di frequenza di rilascio unitaria costante. È possibile notare come il punto rappresentativo dei valori proposti da [1] (basati su dati raccolti dalle Ferrovie dello Stato italiane) si collochi in posizione intermedia rispetto ai dati forniti dalle altre fonti. Questo suggerisce di assumere per la rete ferroviaria italiana una frequenza di rilascio unitaria pari a 1×10^{-8} rilasci/km percorso dal vagone per trasporti a pressione atmosferica e di diminuire questo valore di un fattore 3 per i trasporti in pressione, in coerenza con i dati riportati in Tabella 3 (vedi prima parte).

La Figura 3, relativa ai dati sul trasporto stradale, è analoga alla Figura 2. Si può notare come il valore medio della frequenza di rilascio per autocisterne non in pressione sia, per gran parte delle fonti esaminate, all'incirca pari a 1×10^{-7} rilasci/km percorso dal veicolo. Infatti anche dall'esame della Tabella 7 (vedi prima parte) è possibile notare come il rapporto tra valore minimo e massimo della frequenza di rilascio unitaria per un contenitore generico mediata su tutte le categorie di strada sia pari ad un fattore 1,4. Tale valore è inaspettatamente piccolo, se si considera che gli analoghi rapporti per la probabilità di rilascio da contenitore generico e la frequenza di incidente media hanno valori superiori, pari rispettivamente a 2,7 e a 74,5. Si riscontra dunque un effetto di compensazione del valore della frequenza di incidente unitaria con il valore della probabilità di rilascio. Risulta difficile stabilire se esso sia dovuto a fattori casuali o ad un'influenza reciproca delle varie fonti. Occorre tuttavia ribadire che l'utilizzo di definizioni diverse per il termine "incidente" può portare a valori molto diversi della frequenza di incidente e, conseguentemente, della probabilità di rilascio condizionata all'incidente. Se però i due dati sono ricavati in modo coerente, il valore della frequenza di rilascio non risulta più dipendente dalla definizione di incidente: questo può giustificare la minore variabilità dei valori della frequenza di rilascio riportati in letteratura.

In ogni caso, i dati analizzati mostrano una convergenza nella stima della frequenza unitaria di rilascio intorno ad un valore di $1 \cdot 10^{-7}$ nonostante le grandi differenze presenti nei dati relativi alla frequenza d'incidente unitaria e alla probabilità di rilascio.

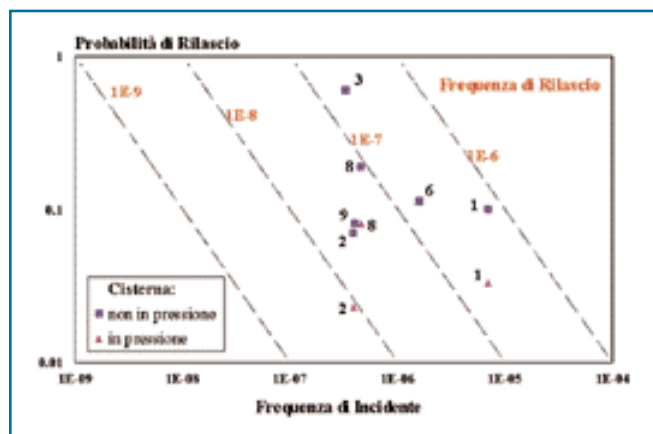


Figura 3 - Dati storici disponibili per la frequenza unitaria di rilascio (rilasci/km percorso dal veicolo) nel trasporto stradale di sostanze pericolose (Tabelle 5 e 6, parte prima)

Invece i valori relativi alla frequenza di rilascio per autocisterne in pressione presentano una notevole dispersione, presumibilmente a causa del numero limitato di dati su cui risultano basate le statistiche. La Tabella 6 (vedi prima parte) indica però che nella maggior parte delle fonti che riportano dati disaggregati rispetto al tipo di contenitore, il rapporto tra la probabilità di rilascio di contenitori in pressione e non in pressione è compreso tra 2,5 e 3. In attesa di indagini più accurate sulla probabilità di rilascio dei recipienti in pressione, in base ai dati di Tabella 6 (vedi prima parte), appare perciò ragionevole impiegare un valore di frequenza di rilascio pari a quello dei recipienti non in pressione diminuito di un fattore 3.

Conclusioni

L'elaborazione delle informazioni raccolte ha messo in luce i principali fattori da cui dipendono le frequenze di rilascio nel trasporto stradale e ferroviario di sostanze pericolose. Tra questi, i più importanti sono la velocità del mezzo e le caratteristiche meccaniche del contenitore, con particolare riferimento alla sua pressione di progetto.

L'analisi dei dati ha inoltre evidenziato come, sia nel caso del trasporto ferroviario sia in quello stradale, le frequenze di incidente e le probabilità di rilascio, anche distinguendo sulla base della classe di velocità del binario, del tipo di strada e delle caratteristiche del veicolo, abbiano una dispersione pari a più di un ordine di grandezza. Tuttavia tale variabilità si riduce nel caso del trasporto stradale quando si consideri il prodotto delle due grandezze, ovvero la frequenza di rilascio, da cui il rischio individuale e la frequenza cumulata nelle curve $F(N)$ di rischio sociale dipendono in modo proporzionale.

I risultati ottenuti evidenziano da una parte la necessità di utilizzare dati coerenti tra loro per le frequenze di incidente e le probabilità di rilascio, privilegiando i dati statisticamente significativi e possibilmente relativi ad un contesto simile a quello al quale devono essere applicati. Dall'altra, è evidente l'esigenza di ottenere dati più affidabili, promuovendo iniziative specifiche, in particolare modo in campo nazionale ed europeo, per lo sviluppo di banche dati sufficientemente complete e dettagliate per gli incidenti e i rilasci nel trasporto sia stradale che ferroviario di sostanze pericolose. In particolare, nel contesto italiano le risorse già presenti presso Corpi quali i Vv Ff e la Polizia Stradale potrebbero essere sfruttate per creare un archivio di tutti gli

incidenti che abbiano riguardato sostanze rientranti nella normativa ADR, obbligando anche gli autotrasportatori di tali merci a notificare a tali enti gli incidenti in cui rimangano coinvolti.

Nomenclatura

f_{iut}	frequenza d'incidente unitaria riferita al treno (incidenti/km percorso dal treno)
f_{iuv}	frequenza d'incidente unitaria riferita al vagone (incidenti/km percorso dal vagone)
f_{rut}	frequenza di rilascio unitaria riferita al treno (rilasci/km percorso dal treno)
f_{ruv}	frequenza di rilascio unitaria riferita al vagone (rilasci/km percorso dal vagone)
NP	contenitore non in pressione
P	contenitore in pressione
p_{ril}	probabilità di rilascio condizionata al verificarsi dell'incidente

Bibliografia

- [21] P. Pages, P. Hubert, Methods available for the assessment of risk related to the transport of dangerous substance, Centre d'étude sur l'évaluation de la protection dans le domaine nucléaire, Lyon, 1989.
- [22] N.C. Harris, H.G. Roodbol, *J. Chem. E.*, 1985, **389**.
- [23] C.A. Geffen, An assessment risk of transporting propane by truck and train, Technology report Pnl-3308, Battelle Pacific

Northwest Laboratory, 1980.

- [24] G.W. Westbrook, Proc. 1st Int. Symp. on Loss Prevention and Safety Promotion 1974, **197**.
- [25] P.R. Appleton, Transport accident frequency data and their application in risk assessment, Technical report Srd R 174, Ukaea, Culcheth UK, 1988.
- [26] R. Lautkaski, T. Mankamo, Proc. 2nd Int. Symp on Loss Prevention and Safety Promotion, 1977, **407**.
- [27] A. James, The probability of traffic accidents associated with the transport of radioactive wastes, Rep. DoE/Rw/85-175, Department of Environment, UK, 1986.
- [28] R.E. Allsop, D.J. Bannister *et al.*, A methodology for assessing social consideration in transport of low and intermediate level radioactive wastes, Rep. DoE/Rw/86-020, Department of Environment, UK, 1986.
- [29] M. Abkowitz, A. Eigher, S.Srinivasan, Assessing the release and cost and cost associated with truck transportation of hazardous wastes, EPA, Washington Dc, 1984.
- [30] National Safety Council, Fleet accident rates, Chicago, 1987.
- [31] Caltrans, Transportation of hazardous materials in California by highways and rail, Report to the Legislature, California, 1986.
- [32] Insurance Institute for Highway Safety, Big trucks and highway safety, Arlington Usa, 1985.
- [33] M. Griffiths, D. R. Linklater, Accidents involving road tankers with flammable loads, Res. Rep. 1/84, Traffic Authority of New South Wales, Traffic Accident Res. Unit, 1984.