

*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 1: incidentalità stradale

Nella prima parte di questo lavoro è presentata la metodologia di esame della banca-dati canadese D.G.A.I.S., che contiene informazioni sugli incidenti nel trasporto di merci pericolose, e sono riportati i risultati dell'analisi dei dati di incidentalità nel trasporto su strada.

L'analisi di una banca-dati incidentale può avere un duplice scopo. Uno di questi è senz'altro quello di "imparare dall'esperienza" [1, 2], ovvero in primo luogo di capire quali sono state le cause di un incidente, onde mettere in atto preventivamente quelle misure di sicurezza volte a diminuire la probabilità che esso si ripeta in futuro, e, in secondo luogo, di comprendere quali azioni sono state adottate (o avrebbero potuto essere intraprese) per ridurre e contenere le conseguenze dell'incidente una volta che esso si è verificato, in modo da contrastare opportunamente una situazione incidentale con caratteristiche simila-

ri che abbia ad accadere in futuro. A conferma di questa finalità didattica delle banche-dati, in talune di esse è presente, per ogni incidente riportato, un campo riservato alle "learned lessons".

Il secondo motivo per cui può essere utile analizzare una banca-dati incidentale è quello di ricavarne dei dati da impiegare nelle analisi quantificate del rischio [3]. Con riferimento al trasporto di merci pericolose, tali dati possono essere costituiti, ad esempio, dalla probabilità che ad un incidente del mezzo di trasporto segua un rilascio della sostanza trasportata, dalla probabilità che il rilascio sia continuo anziché istantaneo, dalla curva di distribuzione della pro-

babilità di accadimento dei quantitativi massicci rilasciati, dalle probabilità di accadimento dei diversi scenari incidentali finali che possono verificarsi (ad esempio differenti tipologie di incendio o di esplosione).

Molto spesso, in assenza di informazioni specifiche relative al trasporto, questi dati vengono mutuati dalle banche-dati relative agli incidenti avvenuti negli stabilimenti fissi, ovvero negli impianti di produzione e stoccaggio delle sostanze pericolose.

Nell'industria di processo infatti è una consuetudine ormai affermata quella di raccogliere informazioni circa gli eventi incidentali che si verificano; addirittura le società che posseggono più stabilimenti chimici

dispongono di proprie banche-dati per la gestione delle informazioni sugli eventi incidentali [1].

Occorre tuttavia tenere presente che i mezzi di contenimento che vi sono in impianto sono più vari di quelli propri del trasporto e spesso diversi da questi ultimi; inoltre le modalità di incidente in uno stabilimento possono essere decisamente differenti da quelle proprie di un mezzo di trasporto, per cui per le analisi del rischio nel trasporto sarebbe preferibile utilizzare dati derivanti da incidenti avvenuti nel settore del trasporto.

L'analisi della banca-dati D.G.A.I.S. (*Dangerous Goods Accident Information System*) [4], che raccoglie informazioni circa gli eventi incidentali nel trasporto di merci pericolose avvenuti sul territorio canadese, è stata intrapresa sia per individuare le cause principali dell'incidentalità nel trasporto, sia per ottenere dati per le analisi di rischio.

Preliminarmente si sono prese in considerazione altre due banche-dati incidentali relative all'industria chimica, la banca-dati IChemE [5] e la banca-dati MHIDAS [6], estraendo ed analizzando ogni volta gli eventi incidentali avvenuti durante il trasporto; purtroppo in entrambi i casi la genericità e talvolta la lacunosità delle informazioni contenute non ha consentito di ottenere dati statisticamente affidabili.

L'analisi della banca-dati D.G.A.I.S. è stata effettuata nella consapevolezza delle differenze presenti tra il sistema dei trasporti del Canada rispetto a quello italiano, sia dal punto di vista delle infrastrutture che da quello delle caratteristiche dei mezzi di trasporto; questa diversità rende necessario applicare con cautela i dati canadesi al contesto italiano; ciononostante l'assenza in Italia (e addirittura in Europa) di banche-dati specifiche per il settore del trasporto di merci pericolose ha giustificato il lavoro

intrapreso. Nella prima parte di questo articolo sono riportati i risultati relativi all'analisi degli incidenti avvenuti nel trasporto su strada, mentre è riservata alla seconda parte la presentazione dei dati relativi al trasporto ferroviario.

La banca-dati D.G.A.I.S.

La banca-dati D.G.A.I.S. è stata concepita nel quadro di un piano nazionale canadese che promuove la pubblica sicurezza nel trasporto delle merci pericolose [7]; questo programma è gestito da uno specifico direttorato, il TDG (*Transport Dangerous Goods Directorate*), alle dipendenze del Ministero dei Trasporti del Canada (*Transport Canada*).

La rilevazione degli incidenti viene effettuata mediante la compilazione, da parte della persona responsabile delle merci al momento in cui si è verificato l'incidente o di un suo impiegato, di un modulo di due pagine, il DOR (*Dangerous Occurrence Report*), destinato al TDG. In esso sono presenti informazioni sul luogo e la data dell'incidente, sulla modalità di trasporto, sul tipo di veicolo impiegato, sulle caratteristiche dei mezzi di contenimento, sulle sostanze coinvolte, sulle cause, la dinamica e le conseguenze dell'incidente.

Le informazioni, sotto forma di file, sono disponibili su base annuale; in questa ricerca sono stati esaminati i dati relativi ad un periodo di 13 anni, dal 1988 al 2000. Per ogni anno vi sono due tipi di file: i "file incidente" ed i "file sostanze". Nei "file incidente" sono memorizzati tanti record quanti sono stati gli eventi incidentali avvenuti nell'anno a cui il file si riferisce; nei "file sostanze" sono memorizzati tanti record quante sono state le sostanze coinvolte negli eventi incidentali accaduti nell'anno in esame; poiché in un singolo

evento incidentale possono essere coinvolte più sostanze, ogni "record incidente" è in relazione con uno o più "record sostanze".

La ricerca svolta ha riguardato il trasporto via terra, tralasciando il trasporto aereo e quello marittimo; peraltro oltre il 90% dei record della banca-dati è relativo ad eventi avvenuti nel trasporto via terra. Inoltre si è limitata l'attenzione al trasporto cosiddetto "in bulk", ovvero che riguarda un solo mezzo di contenimento di grandi dimensioni, non considerando gli eventi a carico di contenitori di piccole dimensioni, quali, ad esempio, bombole, barili, fusti. Infatti il danno che può essere prodotto da un recipiente di piccola capacità è trascurabile rispetto a quello potenzialmente associato al serbatoio di un'autobotte o di una ferro-cisterna.

Con queste limitazioni l'analisi ha avuto ad oggetto in primo luogo il trasporto stradale [8]; ad esso si riferiscono i risultati riportati in questa prima parte dell'articolo. L'esame ha riguardato 3.282 "record incidente" relativi ad incidenti stradali, a cui sono collegati 3.431 "record sostanze". Il numero dei "record sostanze" è maggiore del numero dei "record incidente", ma il divario dei due campioni è piccolo nel trasporto su strada, poiché solitamente il veicolo stradale contiene una sola sostanza. In particolare quasi al 96% dei "record incidente" è associato un solo "record sostanza"; al restante 4% dei "record incidente" corri-

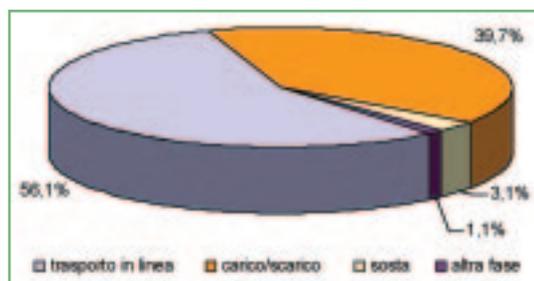


Fig. 1 - Incidentalità stradale: classificazione per fase del trasporto

spondono due sostanze, essendo trascurabile la percentuale degli incidenti in cui sono coinvolti tre o più prodotti.

Innanzitutto si sono analizzati i "record incidente", classificando gli eventi incidentali sulla base della fase del trasporto durante la quale l'incidente si è verificato e, per ogni fase, sulla base del tipo di incidente e delle sue cause; inoltre si sono esaminati anche i danni letali all'uomo. In secondo luogo, esaminando i "record sostanze", si è provveduto a raggruppare gli eventi sulla base dello stato fisico della sostanza trasportata e, per ciascuna classe, a seconda del quantitativo rilasciato; in aggiunta gli eventi sono stati classificati anche in base alle caratteristiche di pericolosità delle sostanze trasportate e, per le sostanze infiammabili, in base allo scenario finale che si è verificato.

Le categorie individuate per ogni tipo di classificazione non coincidono sempre con quelle presenti nella banca-dati D.G.A.I.S.; infatti in molti casi si è ritenuto opportuno accorpate le classi presenti nella banca-dati, spesso molto numerose, in un numero più ridotto di categorie, sia per una migliore leggibilità dei risultati, sia per dare una maggiore significatività statistica ai dati ottenuti. Purtroppo i record sono spesso incompleti ovvero non sono compilati per tutte le voci disponibili, per cui per alcune delle classificazioni effettuate il numero dei record utilizzabili è stato esiguo, andando

in questo modo ad incidere sulla validità statistica delle elaborazioni effettuate.

Analisi dell'incidentalità stradale

Prima di poter indagare sulle tipologie di incidente, si è reso necessario individuare in quale fase del trasporto il mezzo è rimasto coinvolto in un evento incidentale; intuitivamente infatti le modalità di incidente possono variare notevolmente da una fase all'altra del trasporto, per cui, a titolo di esempio, il ribaltamento è un evento che tipicamente può verificarsi mentre il veicolo è in viaggio, mentre appare poco probabile durante le operazioni di carico/scarico. Nel trasporto stradale si sono individuate principalmente tre fasi del trasporto: il *trasporto in linea*, la fase di *carico/scarico* e la *sosta* in un parcheggio. La distribuzione degli eventi incidentali tra queste fasi, ottenuta sul campione dei "record incidente", è riportata in Figura 1.

Si può notare come oltre la metà degli incidenti - il 56,1% - si sia verificata durante la fase del *trasporto in linea*; ad essa segue - per consistenza numerica - la categoria degli incidenti in fase di *carico/scarico* con una rilevanza del 39,7%; la percentuale degli incidenti avvenuti durante la *sosta* del veicolo o in una ulteriore diversa fase del trasporto è trascurabile.

In generale le operazioni di carico/scarico delle autocisterne avvengono sotto la responsabilità del personale di impianto all'interno degli stabilimenti: il riempimento e lo svuotamento delle autobotti rappresenta pertanto una delle numerosissime operazioni effettuate nella gestione dell'impianto, il cui rischio viene solitamente quantificato nell'ambito della valutazione di rischio dello stabilimento. Inoltre in impianto è generalmente presente una squadra di emergenza addestrata in modo specifico, nonché

misure di sicurezza, di tipo organizzativo e materiale, per fronteggiare una situazione anomala. Per tale motivo la fase del *carico/scarico*, pur avendo ad oggetto un veicolo di trasporto, esula dalle operazioni di trasporto vere e proprie e pertanto non sarà ulteriormente analizzata nel seguito.

Relativamente alla fase del *trasporto in linea*, si sono classificati gli incidenti sulla base della loro tipologia, individuando le seguenti classi: *collisione* (con altro veicolo o con un ostacolo generico), *ribaltamento*, *uscita fuori strada* e *perdita spontanea dal mezzo di contenimento* (per esempio per fessurazione del serbatoio dovuta a corrosione o per trafileamento da una valvola non perfettamente chiusa). La distribuzione degli incidenti del *trasporto in linea* tra queste categorie è riportata in Figura 2.

È possibile notare come, oltre agli incidenti stradali veri e propri - quali il *ribaltamento*, la *collisione* e l'*uscita fuori strada* -, ai quali sono soggetti anche i veicoli che non trasportano merci pericolose, ha un peso significativo la categoria delle *perdite spontanee dal mezzo di contenimento*, ovvero dei rilasci che avvengono senza che vi sia un incidente stradale propriamente detto. Si è poi provveduto ad individuare, per ogni tipo di incidente avvenuto durante la fase del *trasporto in linea*, la causa primaria che lo ha prodotto, facendo riferimento a quattro tipologie di cause: *errore umano*, *guasto del veicolo*, *guasto del mezzo di contenimento* e *causa esterna*.

Per *errore umano* si intende sia un'azione errata da parte del conducente del veicolo (quale una manovra sbagliata, il mancato rispetto di semafori, precedenza, distanze di sicurezza, l'eccessiva velocità, una frenata brusca, la conduzione del veicolo non adeguata al fondo stradale e/o alle condizioni atmosferiche, condizioni psico-fisiche del conducente non idonee alla guida), sia

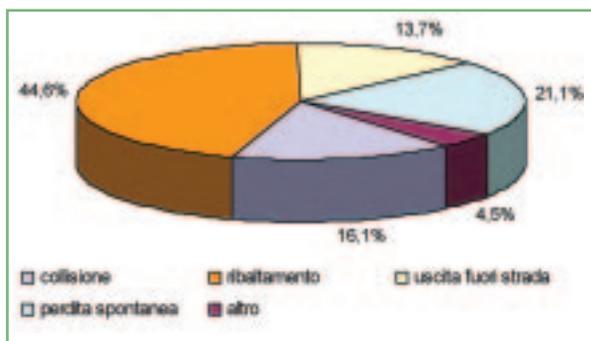


Fig. 2 - Incidentalità stradale: trasporto in linea, classificazione per tipo di incidente

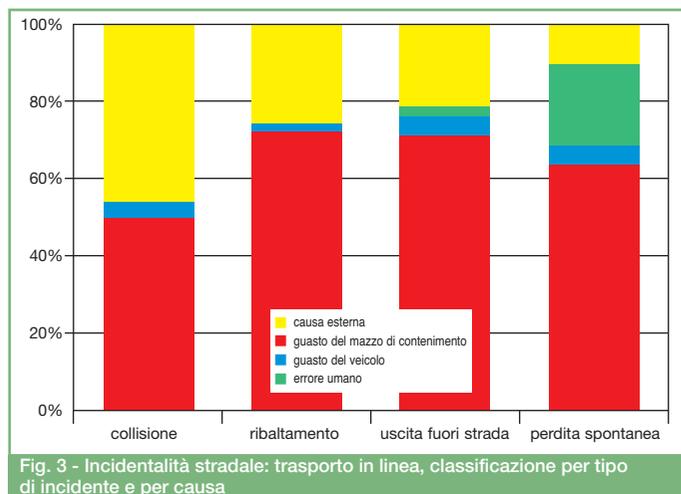


Fig. 3 - Incidentalità stradale: trasporto in linea, classificazione per tipo di incidente e per causa

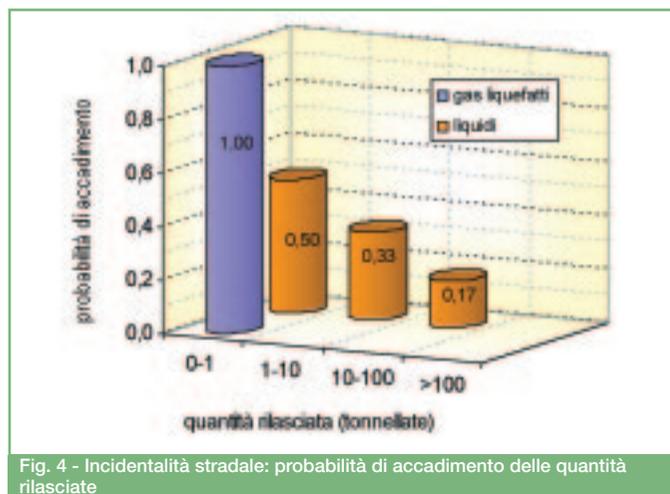


Fig. 4 - Incidentalità stradale: probabilità di accadimento delle quantità rilasciate

un errore commesso in fase di caricamento del veicolo (ad esempio il sovra-riempimento del contenitore, l'imperfetta chiusura di una valvola, la mancata introduzione di inibitori per impedire l'innesco di reazioni spontanee). Il *guasto del veicolo* è costituito da un guasto del mezzo di trasporto, quale ad esempio la rottura di un asse delle ruote, lo scoppio di un pneumatico, il malfunzionamento dei freni; il *guasto del mezzo di contenimento* è costituito da una perdita dalla cisterna della sostanza pericolosa trasportata. Sono invece esempi di *cause esterne* un ostacolo accidentale presente sulla sede stradale, condizioni meteorologiche particolarmente avverse, un incendio in atto sulla carreggiata.

Esaminando la Figura 3, risulta chiaramente come per tutte le tipologie di incidente la causa più frequente sia l'*errore umano*, seguita dalla *causa esterna*; nel caso di *perdita spontanea dal mezzo di contenimento* assume una certa rilevanza come causa primaria anche il *guasto del mezzo di contenimento*.

Emerge pertanto come una più scrupolosa osservanza delle norme stradali, con particolare riferimento al rispetto delle distanze di sicurezza e dei limiti di velocità, ed in

generale una guida più prudente, potrebbero grandemente diminuire la frequenza di accadimento degli incidenti. Analogamente un'intensificazione della frequenza di ispezione e manutenzione dei mezzi di contenimento potrebbe ridurre le perdite spontanee da questi ultimi.

Relativamente alle *collisioni*, ai *ribaltamenti* ed alle *uscite fuori strada*, che sono innanzitutto incidenti stradali che avvengono indipendentemente dalle caratteristiche della merce trasportata, sarebbe di grande utilità conoscere la percentuale degli incidenti a cui è seguito un rilascio della sostanza trasportata, ovvero stimare una probabilità di rilascio; purtroppo la genericità delle informazioni contenute nella banca dati non consente di quantificare questo dato. D'altronde esso serve per poter calcolare la frequenza di rilascio dai veicoli; infatti quest'ultimo parametro, che entra nelle analisi di rischio, si ottiene moltiplicando la frequenza di incidente per la probabilità di rilascio in seguito ad incidente.

Interessante sarebbe pure conoscere, nel caso in cui sia avvenuto il rilascio della sostanza trasportata, se la perdita sia stata continua o istantanea; questa informazione manca nella quasi totalità dei record.

In taluni dei "record sostanza" si trova tuttavia indicata la quantità di sostanza complessivamente fuoriuscita; si è ritenuto utile analizzare questa informazione separatamente per i liquidi e per i gas liquefatti in pressione; generalmente i primi vengono trasportati in condizioni ambiente di temperatura e pressione, mentre i secondi si trovano generalmente alla tensione di vapore a temperatura ambiente; il differente valore della pressione di stoccaggio durante il trasporto incide profondamente sulla portata di rilascio (e quindi anche sulla quantità complessivamente fuoriuscita), per cui si è ritenuto utile effettuare una classificazione distinta. In particolare si sono utilizzati 220 record per i liquidi e 1.897 per i gas liquefatti; i risultati sono riportati in Figura 4.

Come si può notare, per quello che riguarda i gas liquefatti, tutte le perdite sono state inferiori ad 1 t (tonnellata), mentre nel caso dei liquidi, i rilasci sono stati caratterizzati da quantitativi maggiori, potendosi individuare tre categorie: 0+1 t, 1+10 t e 10+100 t.

Questo fatto è giustificabile con la maggiore resistenza delle autocisterne per i trasporti in pressione (quali quelle che contengono i gas liquefatti) rispetto alla resistenza delle

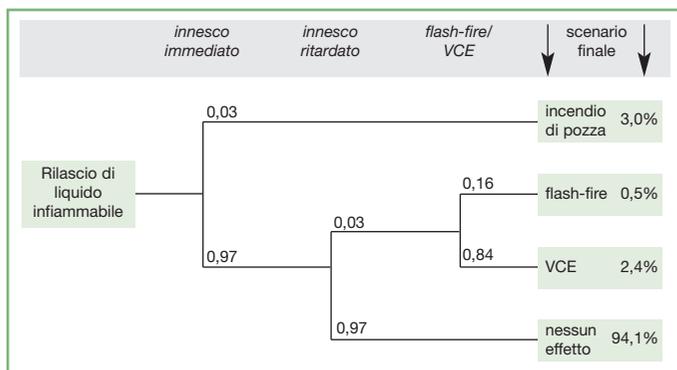


Fig. 5 - Incidentalità stradale: rilascio di liquidi infiammabili, albero degli eventi post-rilascio

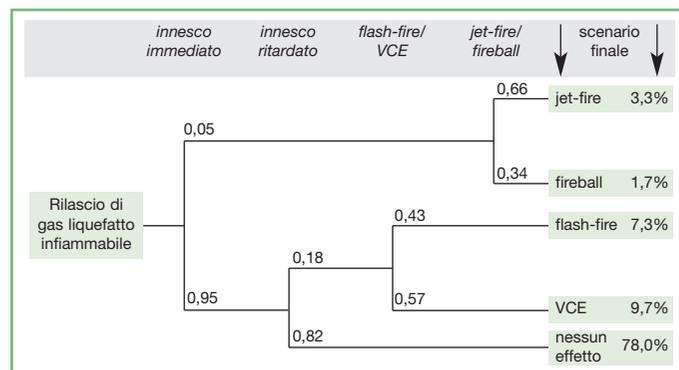


Fig. 6 - Incidentalità stradale: rilascio di gas liquefatti infiammabili, albero degli eventi post-rilascio

autobotti destinate ai trasporti a pressione atmosferica (quali quelle che convogliano i liquidi); infatti, tenendo presente che non vi sono differenze particolarmente significative nelle capacità delle rispettive autocisterne, la maggiore robustezza di un'autobotte in pressione fa sì che gli eventuali fori accidentali sul suo mantello abbiano dimensioni più piccole che non sul mantello di un'autocisterna a pressione atmosferica e che quindi, nonostante la maggiore forza di pressione che contribuisce alla fuoriuscita di sostanza nel caso dei rilasci di gas liquefatti in pressione, la quantità totalmente rilasciata sia minore per questa categoria di sostanze che non nel caso dei liquidi. Il fatto poi che la probabilità di accadimento degli sversamenti cali al crescere dell'entità del rilascio stesso conferma che le perdite piccole sono generalmente più probabili di quelle grandi, come solitamente si assume nelle valutazioni di rischio.

Relativamente alle sostanze infiammabili, si è cercato anche di quantificare gli alberi degli eventi post-rilascio, distinguendo tra liquidi e gas liquefatti in pressione, in quanto gli eventi finali che si possono verificare

per le sostanze infiammabili dipendono dalle condizioni di stoccaggio. In entrambi i casi è stato possibile utilizzare per questa classificazione un numero limitato di record rispetto al totale di quelli nei quali è avvenuto il rilascio, in quanto nella maggior parte di essi, a causa della genericità delle informazioni contenute, non è affatto individuabile lo scenario finale che si è verificato; si sono pertanto utilizzati 1.844 record per i liquidi e 128 per i gas liquefatti.

Inoltre spesso anche per questi record di dubbia interpretazione è stato necessario adottare alcune assunzioni, onde far coincidere l'evento indicato nel record con uno degli scenari finali presenti nell'albero degli eventi; a titolo di esempio, nei record si parla talvolta in modo generico di "fire", senza specificare quale tipo di incendio si sia verificato, e solo leggendo altre informazioni in esso riportate, è possibile individuare una specifica tipologia di incendio. L'albero degli eventi così ottenuto è riportato in Figura 5 per i liquidi infiammabili. Occorre notare come la probabilità percentuale di innesco immediato sia pari al 3,0%, come pure la probabilità percentuale di innesco

ritardato, per una probabilità di innesco complessiva prossima al 6,0%. Nel caso in cui ci sia l'innesco ritardato, ovvero si incendi una nube di gas evaporata da una pozza di liquido, è più probabile che questa bruci con effetti esplosivi, ovvero che vi sia un'esplosione (nota con l'acronimo VCE, vapor cloud explosion, con probabilità 0,84) anziché un semplice flash-fire (probabilità 0,16). A tale proposito vale la pena notare come solitamente nelle valutazioni di rischio del trasporto, per i liquidi infiammabili, si consideri che in caso di innesco ritardato si abbia ugualmente un incendio di pozza, ritenendosi che, anche in presenza di uno sversamento catastrofico, la quantità di sostanza che evapora dalla pozza sia tale da formare una nube di piccole dimensioni, che di fatto non si estende in modo significativo oltre il bordo della pozza stessa. Dall'analisi di Figura 5 emerge invece come l'innesco ritardato di una nube dia luogo a scenari diversi (e ben più pericolosi) dell'incendio di pozza ed abbia una probabilità percentuale di accadimento (pari a 0,5%+2,4%=2,9%) simile a quella dell'innesco immediato (pari al 3%). Il fatto poi che la VCE risulti più frequente del

Analysis of a Hazmat Transport Accident Data-Base. Part 1: Road Accidents

ABSTRACT 

In this first part of the paper the methodology is presented through which the Canadian data-base D.G.A.I.S. (Dangerous Goods Accident Information System) has been examined and the results of the analysis of the information about road accidents are reported.

flash-fire non trova plausibili spiegazioni; infatti, pur essendo noto che le VCE sono favorite rispetto ai flash-fire dalla presenza di ostacoli che costituiscano un confinamento alla libera dispersione della nube, la scarsità delle informazioni contenute della banca dati non consente di analizzare l'influenza di questo aspetto.

In particolare i dati riportati nell'albero degli eventi per i liquidi infiammabili sono riferiti a sostanze con punto di infiammabilità nell'intervallo $-18\text{ }^{\circ}\text{C}+23\text{ }^{\circ}\text{C}$; occorre dire tuttavia che le probabilità negli alberi per i liquidi con temperatura di infiammabilità maggiore (e quindi meno pericolosi) sono risultate analoghe, per cui l'albero di Figura 5 può essere considerato valido per tutti i liquidi infiammabili. Questo fatto appare di difficile giustificazione, in quanto ci si aspetterebbe una probabilità d'innesco totale calante al crescere del punto d'infiammabilità.

Nel caso dei gas liquefatti occorrerebbe quantificare due alberi degli eventi distinti, uno per i rilasci continui ed uno per i rilasci istantanei, in quanto gli scenari che si possono verificare sono differenti nei due casi [3]; purtroppo il fatto che non sia indicato nei record se la perdita è stata continua o istantanea, non ha consentito un'analisi di questo genere ed è stato possibile solamente quantificare un albero degli eventi complessivo, riportato in Figura 6. La pro-

babilità percentuale di innesco totale è pari al 22,0%, ed è maggiore che non nel caso dei liquidi, a conferma della maggiore infiammabilità dei gas [1]. La probabilità di accadimento della VCE (pari a 0,43) e quella del flash-fire (pari a 0,57) non sono inve-

ce dissimili come nel caso dei liquidi, ed anche questo fatto è di difficile giustificazione, in quanto l'esplosione di una nube è favorita, rispetto al solo incendio, dalla turbolenza interna alla nube, che è senz'altro maggiore nel caso delle nubi formate da gas liquefatti, accompagnate all'origine da un rilascio a getto o comunque da un flash, rispetto a quelle formate da pozze di liquidi che evaporano. Il fatto comunque che la VCE ed il flash-fire abbiano probabilità di accadimento simili contrasta con l'ipotesi tipicamente assunta nelle analisi di rischio del trasporto di gas liquefatti infiammabili di considerare trascurabile la probabilità di accadimento della VCE ovvero di considerare pari ad 1 la probabilità del flash-fire [9]. L'ultima analisi effettuata è volta ad individuare i danni all'uomo, ed in particolare i decessi verificatisi a causa del trasporto di

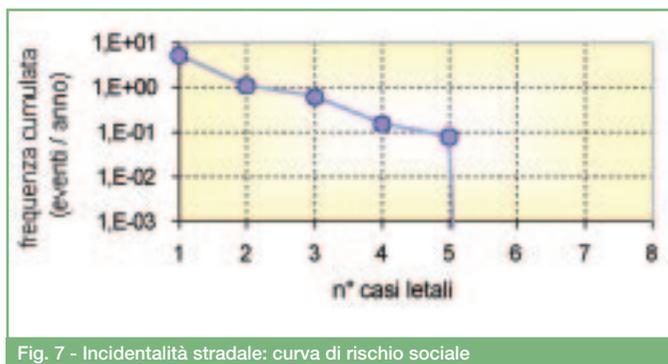


Fig. 7 - Incidentalità stradale: curva di rischio sociale

sostanze pericolose. Considerando solamente i casi di danno effettivamente imputabili alla pericolosità della sostanza trasportata ed escludendo pertanto i decessi dovuti al solo fatto che si è verificato un incidente, si sono registrati nel trasporto stradale, in un periodo pari a 13 anni (dal 1988 al 2000), 69 eventi incidentali nei quali si è avuto almeno un morto, per un totale di 94 casi di danno letale; il numero massimo di decessi avvenuti in un singolo incidente risulta pari a 5. Facendo riferimento ad una popolazione canadese complessiva pari a 28,5 milioni di abitanti (dato riferito al 1996), si ottiene un valore medio del rischio individuale pari a $2,5 \times 10^{-7}$ eventi/anno; il rischio sociale in termini di numero atteso di morti è pari a 7,2 decessi/anno. Il rischio sociale espresso come curva "frequenza cumulata/numero di casi letali" è riportato in Figura 7.

Bibliografia

- | | |
|--|--|
| [1] F.P. Lees, Loss Prevention in the Process Industries, Butterworth-Heinemann, Oxford, (UK), 1996. | [6] HSE, "MHIDAS, the Major Hazard Incident Data Service", HSE (UK), 2000. |
| [2] T. Kletz, Learning from accidents, Butterworths, London (UK), 1988. | [7] http://www.tc.gc.ca/tdg/menu.htm |
| [3] CCPS, Guidelines for Chemical Transportation Risk Analysis, AIChE, New York (USA), 1995. | [8] E. De Quarto, Trasporto stradale di sostanze pericolose: analisi degli incidenti riportati nel database D.G.A.I.S., Tesi di Laurea, Università di Bologna, Italia, 2003. |
| [4] D.G.A.I.S. Dangerous Goods Accident Information System, Canada, 2000. | [9] TNO, Department of Industrial Safety, Guidelines for quantitative risk assessment (Purple Book), CPR18E, Sdu Uitgevers, The Hague (NL), 1999. |
| [5] IChemE, "The Accident Database", Version 4.1, IChemE, Rugby (UK), 2000. | |