

LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO NEL TRASPORTO FERROVIARIO

V. Giovine¹, P. Genovesi¹, G. Spadoni², B. Mazzarotta³

¹Rete Ferroviaria Italiana

²Dipartimento di Ingegneria Chimica, Mineraria e delle Tecnologie Ambientali, Università di Bologna

³Dipartimento di Ingegneria Chimica, Materiali, Materie Prime e Metallurgia, Università di Roma “La Sapienza”

per informazioni: gigliola.spadoni@unibo.it

SOMMARIO

La valutazione quantitativa del rischio connesso con il trasporto ferroviario di sostanze pericolose ha trovato in Italia applicazione nel Piano Operativo Merci Pericolose varato da RFI su base volontaria nel 2001. Sono stati esaminati sia la rete italiana, adottando per l'analisi indici di rischio appositamente costruiti, sia alcuni dei principali scali di sosta e attraversamenti di città, in questo caso facendo uso della tipica procedura QRA (Quantitative Risk Analysis). È stato inoltre utilizzato un indice di rischio per effettuare una programmazione annuale della distribuzione dei flussi determinando i percorsi ferroviari a minimo rischio. In questo articolo si presentano sinteticamente gli aspetti metodologici delle valutazioni effettuate e alcuni dei risultati ottenuti al fine di evidenziare concretamente i benefici che tali tipologie di analisi possono fornire.

1. INTRODUZIONE

Il tema della sicurezza del trasporto di merci pericolose attraverso vettori diversi (stradali, ferroviari e navali) è da tempo all'attenzione della comunità internazionale; organismi pubblici e associazioni di compagnie private hanno provveduto a dotarsi di regole gestionali e tecniche, gli uni attraverso l'emanazione di norme, gli altri attraverso l'adozione ed il rispetto di accordi, al fine di garantire alla collettività un elevato grado di sicurezza a prevenzione e protezione da eventi incidentali possibili. Gli strumenti utilizzati hanno teso a definire sia un'uniformità di comportamenti e di regole costruttive sia la fissazione di competenze e compiti degli addetti dei comparti coinvolti.

L'indagine qui sintetizzata muove dalla necessità di approfondire gli aspetti sopra ricordati per la realtà del trasporto ferroviario italiano; lo studio affronta i vari temi avvalendosi in larga parte di un approccio quantitativo basato sulla valutazione del rischio associato al trasporto e anche per tale ragione assume complessivamente caratteristiche del tutto innovative per il settore dei trasporti in Italia. La procedura di valutazione dei rischi d'incidente rilevante¹, nota nel mondo tecnico-scientifico internazionale con riferimento principalmente ai rischi connessi con le grandi aree industriali, è stata infatti in anni recenti utilizzata anche per indagini di rischio relative al settore dei trasporti; tuttavia studi ampi sono assai poco numerosi e non contengono in generale anche le altre indagini qui riportate.

Le diverse valutazioni di rischio effettuate sono contenute in un ampio studio che Rete Ferroviaria Italiana ha deciso di avviare nel 2001 per approfondire i problemi principali connessi con il trasporto di merci pericolose sulla rete. Sono stati indagati in particolare:

- l'entità e significatività dei rischi indotti dai vettori di trasporto nel loro cammino sul territorio italiano,
- la varietà, complessità e attualità tecnica della normativa di legge vigente,
- la rispondenza dell'attuale sistema di regole operative e procedure di gestione delle emergenze,

con l'obiettivo di attivare, se del caso, provvedimenti di adeguamento tecnico, gestionale, procedurale e/o organizzativo e di aggiornare il sistema informativo in materia.

¹ La definizione di incidente rilevante da assumere quale riferimento è quella mutuata, qui come in tutti i contesti scientifici internazionali, dalla cosiddetta “normativa Seveso”, la cui versione più recente (il DLgs 334/99) recita all'art. 3: “un evento quale un'emissione, un incendio o un'esplosione di grande entità, dovuto a sviluppi incontrollati che si verificano durante l'attività di uno stabilimento di cui all'articolo 2, comma 1, e che dia luogo ad un pericolo grave, immediato o differito, per la salute umana o per l'ambiente, all'interno o all'esterno dello stabilimento, e in cui intervengano una o più sostanze pericolose...” naturalmente contestualizzandola alla situazione specifica del trasporto.

L'analisi è stata affidata ad alcuni Dipartimenti universitari²; dell'ampio lavoro svolto si sintetizzano nelle pagine seguenti le sole fasi in cui l'analisi di rischio ha costituito il tema portante, senza soffermarsi quindi su altri aspetti di pari se non superiore importanza quali ad esempio la realizzazione di un applicativo GIS.

Qualche nota occorre fare soltanto in merito al primo passo dell'analisi: tale passo è consistito nell'effettuare un censimento dei flussi di merci pericolose sulla rete al fine di valutare la consistenza del trasporto e contemporaneamente scegliere alcune sostanze, o tipologie di sostanze, in grado di rappresentare, per entità e pericolosità, un primo campione significativo dell'insieme e sulle quali opportunamente focalizzare tutte le indagini successive. La scelta è caduta su cinque sostanze: GPL, ammoniaca e cloro – gas liquefatti, il primo caratterizzato da alta infiammabilità, gli altri da tossicità -, ossido di etilene –sostanza altamente infiammabile e tossica -, e benzene, rappresentativo delle classi dei liquidi facilmente infiammabili e infiammabili.

2. GLI INDICI DI RISCHIO

In generale, in un'analisi di rischio, sia che ci si riferisca a metodi di valutazione ad indici, ovvero semiquantitativi, sia che si utilizzino metodi propriamente quantitativi, ovvero misure vere e proprie, occorre sempre effettuare una stima delle due componenti del rischio, cioè probabilità (o frequenza) e magnitudo delle conseguenze di ogni incidente ipotizzato per gli apparati/linee dell'impianto soggetto all'analisi. Nel caso del trasporto "l'apparato" è evidentemente il vettore e, se del caso, il convoglio e "l'impianto" la linea di trasporto o lo scalo, che costituiscono pertanto l'oggetto dell'analisi; l'impatto probabile è infine il risultato dell'intersezione tra effetti fisici degli incidenti (le conseguenze) e presenza di individui e/o di ambiente fisico vulnerabile nel territorio circostante. I calcoli sono basati, nel metodo semi-quantitativo, su indagini statistiche desunte da dati storici per la componente probabilistica e su risultati modellistici per la componente magnitudo, cosicché si garantisce alla grandezza valutata una propria oggettività, pur nella semplificazione adottata.

Nello studio qui riassunto sono stati considerati più indici –un totale di sei - per evidenziare anche aspetti specifici del rischio legati cioè alle caratteristiche dei prodotti trasportati, alle modalità di trasporto (container/tradizionale), come pure alle caratteristiche territoriali della rete.

In particolare, sono stati definiti i seguenti indici:

1. **indice di criticità per il trasporto di merci pericolose:** individua le tratte della rete in cui si verificano attualmente le combinazioni maggiormente critiche per quantitativi di merci pericolose trasportate e popolazione esposta alle conseguenze degli scenari incidentali;
2. **indice di pericolosità della sostanza:** individua la pericolosità relativa delle merci di riferimento, tenuto conto di caratteristiche del prodotto, probabilità di sversamento, scenari incidentali e aree di impatto;
3. **indice di rischio delle tratte e delle stazioni:** individua il rischio per le singole tratte e le stazioni della rete in funzione della sostanza trasportata e delle modalità di trasporto (container/tradizionale);
4. **indice di rischio globale per il trasporto di merci pericolose:** individua il rischio globale per le singole tratte della rete in funzione dei flussi totali di merci pericolose.
5. **indice meteorologico:** individua l'influenza delle condizioni meteorologiche sugli indici di rischio;
6. **indice di incidentalità per punti singolari:** individua un fattore correttivo dell'incidentalità, determinato sulla base dei punti singolari presenti per ogni tratta della rete ferroviaria.

A titolo esemplificativo si riportano e commentano gli indici di cui al punto 2, poiché tipico di ciascuna singola sostanza, e 5, poiché rappresenta la globalità delle informazioni quantitative.

2.1 ASPETTI METODOLOGICI

In termini sintetici si osserva per gli indici n.2 e 5 quanto segue.

a-Indice di pericolosità della sostanza

² Si tratta di gruppi di ricerca operanti nel settore della gestione del trasporto ferroviario (INDACO, Politecnico di Milano) e della valutazione e gestione dei rischi da trasporto di sostanze pericolose (DICMA, Università di Bologna e DICMPPM, Università di Roma-La Sapienza).

L'indice di pericolosità è una grandezza adimensionale, con valore minimo pari ad 1, che aumenta all'aumentare della pericolosità della sostanza, intesa come combinazione della probabilità degli eventi finali in cui possono evolvere gli scenari incidentali ed ampiezza dell'area di impatto degli eventi finali stessi. Tale indice è quindi indipendente dalle caratteristiche della rete e dai quantitativi trasportati ed è definito come:

$$IP_{s,j} = \frac{R_s \cdot \sum_k D_k \cdot \sum_i (L_{i,k,s} \cdot W_{i,k,j,s})}{IP_{\min}} \quad (1)$$

dove

- $IP_{s,j}$ = indice di pericolosità per la merce pericolosa di riferimento s e per tipo di trasporto (container/tradizionale) j ;
- R_s = probabilità di rilascio per la merce pericolosa di riferimento s nell'ambiente a seguito di un incidente, assunta indipendente dalla tipologia di trasporto (container/tradizionale);
- D_k = probabilità che lo sversamento della merce pericolosa di riferimento avvenga da un foro di dimensioni k , assunta indipendente dalla tipologia di trasporto (container/tradizionale) e dalla merce di riferimento;
- $L_{i,k,s}$ = probabilità che, a valle dello sversamento della merce pericolosa di riferimento s da un foro di dimensioni k , si verifichi l'evento finale i , assunta indipendente dalla tipologia di trasporto (container/tradizionale);
- $W_{i,k,j,s}$ = area di impatto relativa all'evento pericoloso finale i , verificatosi a valle della fuoriuscita della merce pericolosa di riferimento s da un foro di dimensioni k , per il tipo di trasporto (container/tradizionale) j ;
- IP_{\min} = valore minimo assunto dall'indice di pericolosità calcolato per tutte le merci di riferimento e tipologie di trasporto (container/tradizionale) considerate.

La determinazione dell'indice di pericolosità ha richiesto, per ogni merce pericolosa di riferimento e tipologia di trasporto (container/tradizionale), la stima delle probabilità di fuoriuscita della sostanza dal contenitore, della probabilità che il foro da cui avviene la perdita abbia specifiche dimensioni, della probabilità che lo scenario incidentale evolva in uno dei possibili eventi finali (incendio, esplosione, nube tossica) e dell'area di impatto di ogni evento finale. I valori delle probabilità sono stati assunti, in accordo con la letteratura [x1-x5], mentre quelli delle aree di impatto sono stati valutati applicando la tecnica di analisi delle conseguenze [x6] utilizzando il software specialistico Trace 8.b [x7] e assumendo come condizioni meteorologiche medie una temperatura di 14°C, una velocità del vento di 3 m/s, ed una classe di stabilità atmosferica di Pasquill D (neutra). La normalizzazione dei valori dell'indice di pericolosità è stata effettuata dividendo i valori ottenuti per l'indice di pericolosità delle varie merci pericolose di riferimento e tipologia di trasporto (container/tradizionale) per il valore minimo dell'indice stesso, che, come atteso, è stato riscontrato per il benzene trasportato in container.

b- indice di rischio globale per il trasporto di merci pericolose

Questo indice caratterizza il rischio globale dovuto al trasporto delle merci pericolose di riferimento sulla rete RFI secondo la definizione classica che tiene conto della frequenza degli eventi pericolosi (incendi, esplosioni, nubi tossiche) che possono derivare dagli scenari incidentali e delle conseguenze degli eventi stessi (popolazione nelle aree di impatto). Ne consegue che nella definizione di tale indice si tiene conto anche dei quantitativi di merci pericolose di riferimento trasportati sulla rete e delle modalità di trasporto adottate.

L'indice di rischio globale per il trasporto delle merci pericolose di riferimento è stato quindi definito come segue:

$$IR_{RFI} = \frac{\sum_s DP_s \sum_j^n \left(\frac{Q_{j,s}}{N_j} \cdot IP_{s,j} \right)}{IR_{RFI,\max}} \cdot 1000 \quad (2)$$

dove

- IR_{RFI} = indice di rischio globale normalizzato per il trasporto delle merci pericolose di riferimento;
- DP_s = densità di popolazione riferita alla fascia individuata per la merce pericolosa di riferimento s , indipendente dalla tipologia di trasporto (container/tradizionale);
- $Q_{s,j}$ = quantitativo annuale in transito sulla tratta relativamente alla merce pericolosa di riferimento s e per il tipo di trasporto (container/tradizionale) j ;
- N_j = quantitativo trasportato per singolo contenitore utilizzato per ogni tipo di trasporto (container/tradizionale) j ;
- $IP_{s,j}$ = indice di pericolosità per la merce pericolosa di riferimento s e per il tipo di trasporto (container/tradizionale) j ;
- $IR_{RFI,max}$ = valore massimo dell'indice di rischio complessivo per le merci pericolose di riferimento.

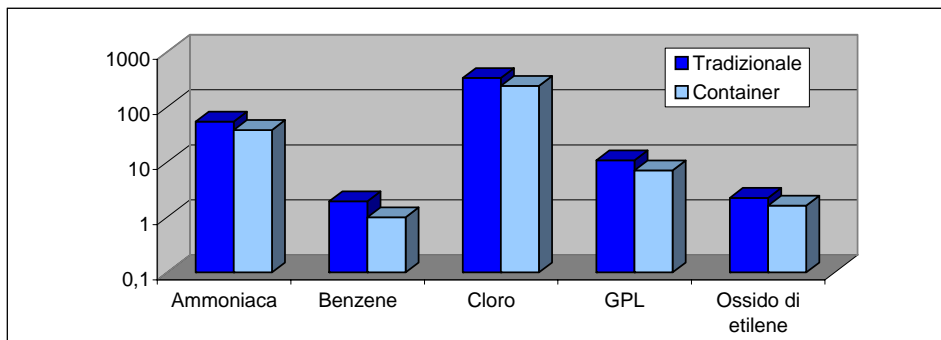
I quantitativi trasportati per singolo contenitore sono stati assunti pari a 25 t per il trasporto in container e 47 t per il trasporto tradizionale.

I valori dell'indice di rischio globale sono normalizzati tra 0 e 1000: anche in questo caso, come per l'indice di criticità, si ottiene il valore zero per le tratte a cui non risulta associato alcun trasporto delle merci pericolose di riferimento.

2.2 L'APPLICAZIONE ALLA RETE FERROVIARIA

I valori ottenuti per gli indici di pericolosità sono mostrati nella fig. 1 in cui sull'asse delle ordinate si è utilizzata la scala logaritmica per una migliore leggibilità dei valori più bassi.

Fig.1 Indice di pericolosità delle sostanze



Si nota come la pericolosità relativa delle merci di riferimento considerate sia, in ordine decrescente, la seguente: cloro, ammoniacca anidra, GPL, ossido di etilene, benzene. I prodotti ad elevata tossicità (cloro e ammoniacca) sono quindi maggiormente pericolosi rispetto a quelli la cui pericolosità sia da ascrivere principalmente all'inflammabilità (GPL, ossido di etilene e benzene).

La distribuzione dei valori degli indici di rischio globale, mostrata in fig. 2, caratterizza al meglio di queste valutazioni semi-quantitative, il rischio indotto dal trasporto di merci pericolose di riferimento effettuato sulla rete, poiché in esso si inglobano in modo sufficientemente accurato anche la varietà degli scenari incidentali, le loro probabilità di accadimento e le aree di impatto associate agli eventi finali.

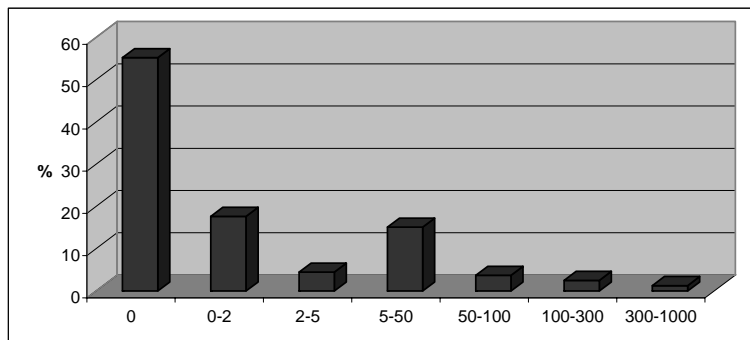


Fig. 2. Indice di rischio globale per il trasporto di merci pericolose

Vantaggi significativi possono essere associati all'applicativo GIS³ predisposto che consente di ottenere le viste relative a tutti gli indici di rischio associati alla rete (indice di criticità, indici di rischio della rete e delle stazioni, indice di rischio globale per il trasporto): la fig. 3 mostra, a titolo di esempio, la distribuzione dell'indice di rischio globale sulla rete RFI.

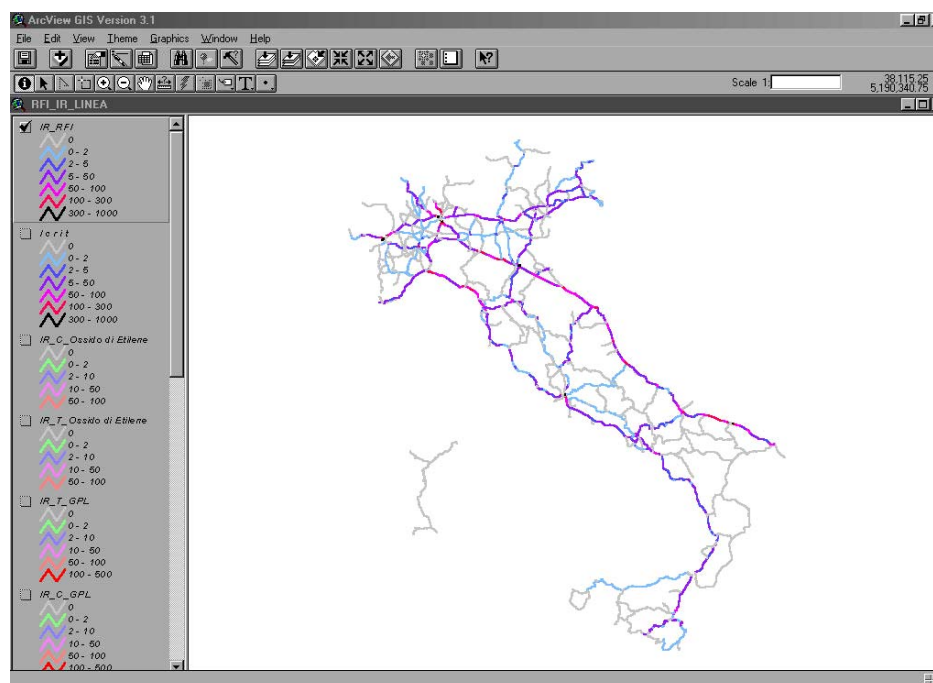


Fig.3 Distribuzione dell'indice di rischio globale sulla rete ferroviaria.

3. L'ANALISI QUANTITATIVA DEL RISCHIO (QRA) NEI TRASPORTI

La metodologia quantitativa di valutazione del rischio ha fatto ricorso a misure di rischio quali il rischio individuale e sociale per quantificare l'impatto probabile sul territorio di scali e tratti di linea che l'analisi ad indici ha evidenziato tra i più significativi (attraversamenti cittadini e tratti particolari (gallerie)).

La procedura di quantificazione adottata è la stessa utilizzata ormai da alcuni anni per eseguire indagini di dettaglio di aree industriali in cui sono presenti impianti a rischio di incidente rilevante ed è nota come analisi di rischio d'area. Essa è sintetizzabile in alcuni passi fondamentali che consistono nell'identificazione e quantificazione – in termini di probabilità e di effetti fisici delle conseguenze - degli eventi incidentali iniziatori e degli scenari incidentali che ne derivano. E' dalla ricomposizione quantitativa dell'insieme degli scenari incidentali che si ottengono infine le misure di rischio complessive utili per valutare l'esposizione della popolazione. Gli incidenti su cui indagare, da cui hanno origine gli eventi iniziatori, sono nei casi in studio quelli da cui derivano rilasci di sostanze pericolose.

Anche in questo caso, e forse più che nel caso degli indici di rischio, sarebbe eccessivamente onerosa la descrizione di tutte le valutazioni effettuate; si è scelto di mostrare alcuni elementi di dettaglio, a parere di chi scrive significativi del livello di approfondimento utilizzato, delle valutazioni di scali (il caso di riferimento è lo scalo di Livorno-Calambrone) e attraversamenti cittadini (Mantova).

³ La sovrapposizione della matrice Origine-Destinazione dei flussi sul territorio italiano è stata possibile con l'uso di una piattaforma georeferenziata (GIS-Arcview 3.1): dalla sua costruzione, attraverso la georeferenziazione dell'intera rete e la caratterizzazione del territorio, sono state evidenziate – e saranno in futuro evidenziabili con aggiornamento dei dati – alcune zone del territorio da sottoporre ad analisi di dettaglio poiché caratterizzate sia da alta densità abitativa che da flussi significativi. Il sistema costruito è dotato di svariati strati informativi, riguardanti singolarità della rete (ponti, cavalcavia, passaggi a livello, ...) e specificità del territorio (densità abitative, impianti a rischio,...).

3.1 ASPETTI METODOLOGICI

Nel caso degli scali, i rilasci sono riconducibili a:

- i) eventi anomali durante le operazioni di movimentazione;
- ii) guasti del contenimento (durante la sosta).

SCALI: eventi anomali durante le operazioni di movimentazione

Gli incidenti che possono coinvolgere merci pericolose in scali ferroviari si possono suddividere in alcune tipologie principali:

- collisione con vagoni fermi
- incidenti durante la composizione
- cambio di locomotore
- deragliamento di un vagone
- incidenti durante la manovra

E' evidente come queste tipologie di incidenti abbiano frequenze attese di incidente principalmente dipendenti dal numero di singoli vagoni movimentati nello scalo. In termini metodologici è possibile adottare per il loro calcolo un approccio statistico o applicare tecniche specifiche.

La disponibilità di dati statisticamente significativi relativi al numero di incidenti e numero medio di carri movimentati ogni anno per alcuni scali italiani, ha permesso di stabilire una frequenza unitaria di incidente pari 4×10^{-5} eventi/carro. Il ridotto numero di incidenti non permette invece di ottenere dati statisticamente significativi da indagini su scali italiani rispetto alla probabilità di rilascio. E' stato possibile però ottenere una stima per la probabilità di rilascio a seguito di incidente in scali ferroviari desumendola da fonti europee.

Per modellare le conseguenze fisiche del rilascio di una sostanza pericolosa occorre conoscere la quantità totale della sostanza sversata e la sua portata. Al fine di individuare queste due informazioni fondamentali le rotture incidentali, che danno luogo a rilascio, vengono suddivise in categorie, che rappresentano a grandi linee la gravità dell'incidente⁴. Ad esse deve affiancarsi la definizione dei diametri equivalenti di rottura, che costituiscono una schematizzazione delle sezioni tipiche di efflusso a seguito di incidente (fa eccezione naturalmente la rottura catastrofica rappresentata dalla fuoriuscita pressoché istantanea dell'intero contenuto).

Si noti che per gli incidenti negli scali ferroviari sono state definite due categorie di rottura, avendo ritenuto trascurabile la categoria di rottura catastrofica, poiché trattasi in genere di urti con limitata energia cinetica. Categorie di rottura e diametri equivalenti, sono riportati nella tabella 1, che si riferisce a cisterne atmosferiche ed in pressione.

	diametro (mm)
rilascio lieve	50
rilascio grave	100

Tab.1. Categorie di rottura e relativi diametri equivalenti utilizzate per valutare le conseguenze di rilasci durante manovre in scali ferroviari.

SCALI: guasti del contenimento (durante la sosta)

La valutazione del rischio dovuto ai rilasci causati da guasto dei sistemi di contenimento dei carri negli scali ferroviari è stata affrontata sviluppando una metodologia specifica che, attraverso l'identificazione dei guasti possibili, ne rendesse fattibile la stima delle frequenze attese. La metodologia è stata derivata dalle procedure tipiche utilizzate per l'analisi di rischio in impianti chimici.

L'analisi è stata effettuata con la seguente procedura:

- reperimento di dati sulle cisterne e definizione di schemi di riferimento,
- identificazione degli eventi incidentali attraverso analisi di operabilità,
- valutazione delle frequenze attese attraverso alberi di guasto,

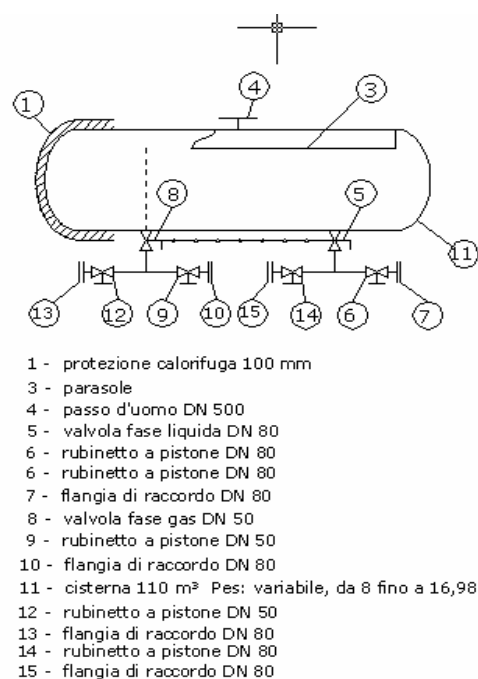
⁴ La selezione del numero, dei diametri e delle probabilità equivalenti delle diverse categorie di rottura deve essere basata su un attento lavoro di valutazione dell'importanza relativa attribuita a ciascuna categoria, nonché dell'influenza e sensibilità degli indici di rischio alle scelte effettuate per i valori di riferimento.

- definizione degli scenari incidentali e selezione degli alberi degli eventi.

Volendo sintetizzare il percorso di lavoro effettuato, si osserva che le tipologie di rilascio credibili a seguito di guasti delle cisterne utilizzate per il trasporto ferroviario di sostanze pericolose sono state individuate applicando l'analisi di operabilità a schemi di riferimento definiti per le diverse tipologie di cisterne (si veda la fig. 4). Con detta analisi sono state evidenziate ed esaminate quattro ipotesi incidentali (Top Event), tre relative allo sversamento – molto lieve (trafilamento da valvole o da guarnizioni), lieve (prevalentemente cedimento di guarnizioni) e grave (principalmente dall'errata apertura di valvole) - ed una quarta relativa alla rottura catastrofica.

Attraverso l'applicazione della tecnica degli alberi di guasto sono poi state derivate le frequenze attese dei rilasci, tenendo in debito conto i risultati dell'analisi di sensitività.

Fig. 4. Schema tecnico di riferimento di una cisterna utilizzata per gas liquefatti in pressione



ATTRAVERSAMENTI: eventi anomali durante il viaggio

In questo caso i rilasci sono riconducibili ad eventi anomali durante il viaggio e per la loro valutazione occorre rifarsi ad un'indagine complessiva sulle modalità di esecuzione di una Transport Risk Analysis (TRA). In particolare è necessario un approfondimento su due parametri fondamentali: la frequenza d'incidente unitaria (frequenza annua con cui si verifica un incidente, riferita ad 1 km percorso da un singolo vagone), che è un valore statistico e come tale fortemente legato all'origine dei dati su cui la statistica è stata condotta; e la probabilità di rilascio, ad incidente avvenuto, anch'essa di derivazione statistica. In questo studio la relazione di calcolo fondamentale adottata è stata la seguente:

$$f_{rc} = L i_{tr} f_u P_{ril} P_c$$

ove

L = lunghezza tratto, i = intensità traffico, f_u = frequenza di incidente unitaria, P_{ril} = probabilità di rilascio a seguito dell'incidente e P_c = probabilità della categoria di rottura.

Le scelte numeriche considerate nel presente studio e derivanti da indagine statistica internazionale e nazionale, sono in parte riportate in Tab.2.

	cisterne atmosferiche	cisterne in pressione
Frequenza di incidente unitaria (ev./km vagone)	$5 \cdot 10^{-8}$	$5 \cdot 10^{-8}$
probabilità di rilascio	0.100	0.03
frequenza di rilascio unitaria (ev./km vagone)	$5 \cdot 10^{-9}$	$1.5 \cdot 10^{-9}$

Tab.2. Valori della frequenza di incidente unitaria, della frequenza di rilascio unitaria e della probabilità di rilascio utilizzati nello studio

Scelte sono state fatte anche per le categorie di rottura (rilascio lieve, rilascio grave e rilascio catastrofico) determinandone le probabilità di accadimento condizionate e per i valori dei diametri equivalenti, anch'essi basati su un'estesa attività di approfondimento e di validazione.

A seguito di un rilascio accidentale di una sostanza pericolosa l'incidente può evolvere con varie modalità, originando scenari incidentali tra loro diversi; l'individuazione di questi avviene comunemente con alberi degli eventi conseguenti al rilascio; quelli utilizzati nel presente studio sono stati definiti sulla base della letteratura tecnica del settore, di un'attenta analisi dell'importanza attribuita a ciascuno scenario e della sensitività dei risultati finali ai valori introdotti per le probabilità dei singoli scenari (si veda l'esempio di fig.5).

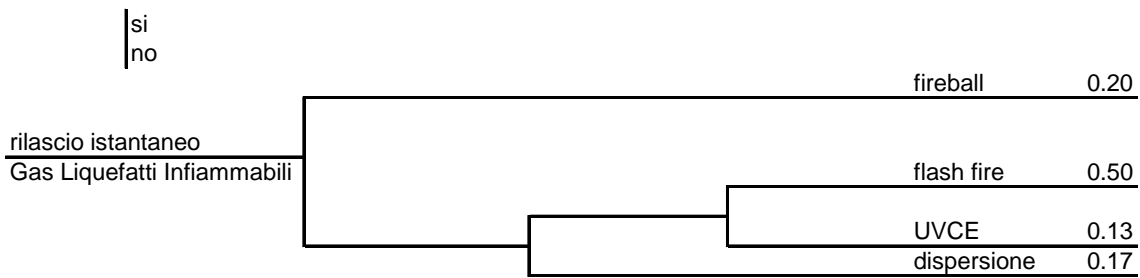


Fig. 5. albero degli eventi per un rilascio istantaneo di gas liquefatti infiammabili

3.2. ASPETTI APPLICATIVI: LA QRA DI UNO SCALO E DI UN ATTRAVERSAMENTO CITTADINO

Lo scalo di Livorno -Calambrone

Del vasto lavoro svolto si richiamano le principali osservazioni e conclusioni: le sostanze pericolose considerate sono state⁵

Categoria di Accorpamento	Movimentazione [carri/anno]
GPL	1388
INFIAMMABILI LIQUIDI	1242
ACRILONITRILE	30

Tab. 3: sostanze pericolose movimentate nello scalo di Livorno-Calambrone nell'anno 2002.

Tenendo conto della movimentazione giornaliera e del tempo di permanenza nello scalo, nonché, e necessariamente, delle caratteristiche del territorio, sono state ottenute mappe di rischio locale ed individuale ed infine curve di rischio sociale.

La figura 6 mostra i risultati ottenuti per il rischio locale, la cui analisi evidenzia che l'estensione è riconducibile ad un'area ristretta intorno allo scalo ferroviario. Ad una distanza di 120 metri dallo scalo si raggiungono valori di rischio pari a 10^{-5} eventi/anno, mentre valori di rischio pari a 10^{-6} eventi/anno sono raggiunti a 320 metri; infine, ad una distanza di circa 700 metri dallo scalo il rischio locale diventa del tutto trascurabile (10^{-9} - 10^{-10} eventi/anno). Il rischio sociale (Fig. 7 di pagina seguente) mostra che con una frequenza dell'ordine di 10^{-5} ci si possono attendere eventi con magnitudo ≥ 1 .

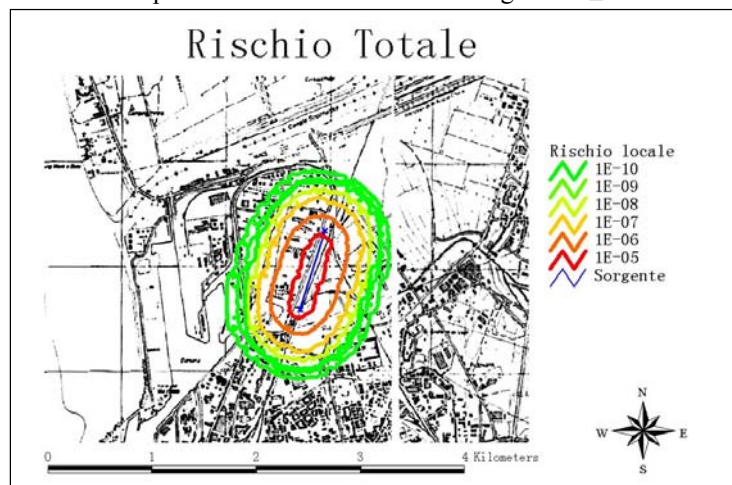


Fig. 6: rischio locale per lo scalo di Livorno-Calambrone.

⁵ Si noti che sono state considerate tutte le sostanze movimentate, eventualmente accorpate per famiglie di comportamento chimico-fisico simile.

La valutazione dell'accettabilità o meglio della tollerabilità del rischio può essere fatta, ed è stata fatta, seguendo i criteri dettati dalla normativa olandese ed inglese.

Nel caso in esame secondo entrambi i criteri il rischio, sia locale che sociale, dovuto allo scalo ferroviario Livorno-Calambrone, è accettabile.

Le conclusioni sono state: “sulla base dell’analisi effettuata, considerando un tempo medio di sosta di due ore, il rischio dovuto alla movimentazione delle sostanze pericolose nello scalo di Livorno-Calambrone appare sotto controllo e lo scalo compatibile con il territorio circostante.”

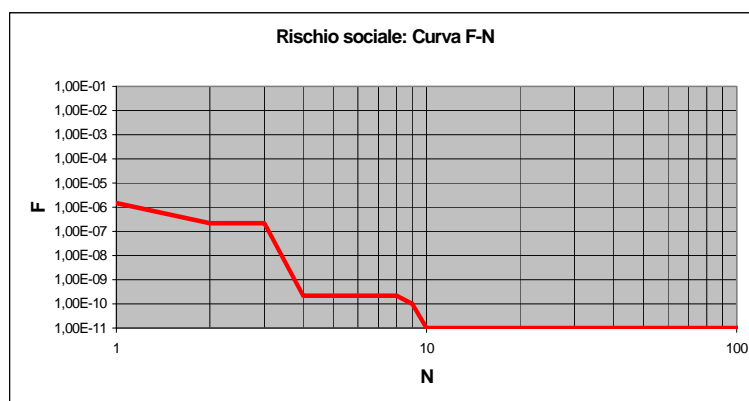


Fig. 7: rischio sociale per lo scalo di Livorno-Calambrone.

L'attraversamento della zona urbana di Mantova

Rappresentando ancora in termini assai sintetici l’analisi di rischio, che ha riguardato le linee ferroviarie che attraversano l'area urbana di Mantova si evidenzia, in Fig. 8, l’area di impatto considerata, che comprende il centro storico, il comune di Mantova e altre piccole località; detta area si può ritenere praticamente pianeggiante e consente quindi una corretta simulazione delle conseguenze degli eventi incidentali anche con strumenti di calcolo semplici.

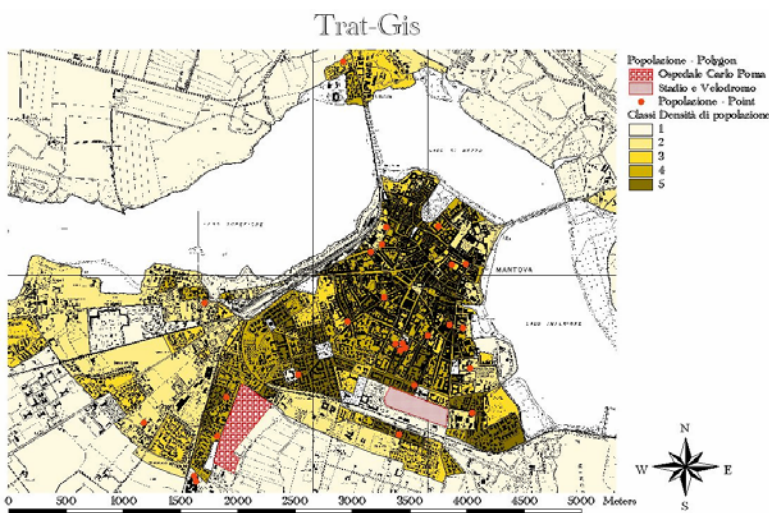


Fig.8 L’area d’impatto e la distribuzione della popolazione nell’area urbana di Mantova

Sull’area insistono flussi di sostanze pericolose, la cui movimentazione segue percorsi ferroviari diversi così come rappresentato in tab.4.

I risultati ottenuti per il rischio locale (fig. 9 di pagina seguente) mostrano che in nessun punto dell’area il rischio supera il valore pari a 10^{-6} eventi/anno, considerato da vari criteri quale soglia di accettabilità: i valori di rischio

locale nell’area infatti risultano, anche in prossimità della linea, inferiori a 10^{-7} eventi/anno. Il rischio locale é quasi completamente dovuto al trasporto di cloro. Le valutazioni effettuate non mostrano centri di aggregazione della popolazione esposti a valori di rischio locale elevati. In particolare nell’Ospedale, la cui estensione territoriale è significativa, si hanno valori di rischio molto bassi, compresi tra 10^{-9} e 4.5×10^{-8} eventi/anno.

itinerario	Liquidi Infiammabili (54 t/carro)	Cloro (45 t/carro)	GPL (45 t/carro)
rotta 1: Frassine – Mantova	1190	-	18
Rotta 2: Cremona – Mantova	-	10	-
Rotta 3: Modena – Mantova	-	-	17
Rotta 4: Mantova – Verona	1190	10	35

Tab.4: sostanze pericolose movimentate nell'anno 2001 sulle tratte ferroviarie.

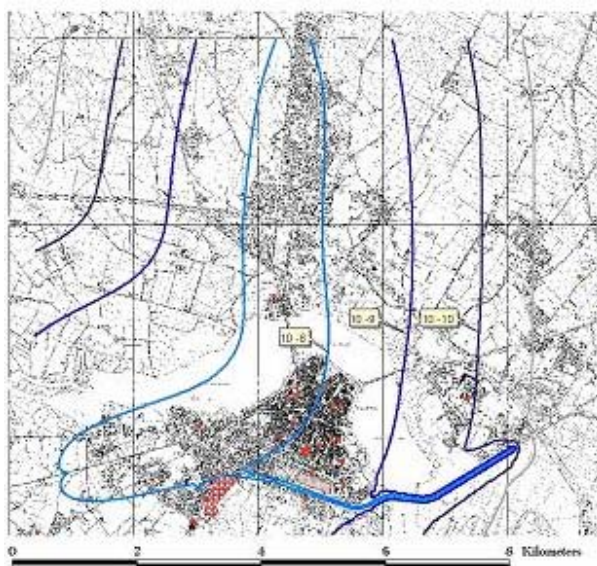
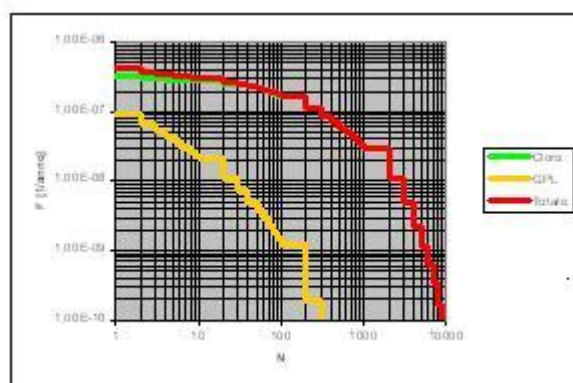


Fig. 9. Rischio locale dovuto al trasporto di sostanze pericolose negli attraversamenti ferroviari nell'area di Mantova

La figura 10 mostra invece i risultati ottenuti per il rischio sociale, sintetizzati dalle curve F-N relative all'intera area di studio. La curva F-N di rischio sociale è pressoché coincidente con quella relativa al trasporto del solo cloro ed inoltre resta sempre al di sotto dei valori di accettabilità proposti nel Regno Unito, mentre mostra una lieve incompatibilità rispetto ai criteri olandesi per N superiore a 100 e frequenze inferiori a 10^{-8} eventi/anno. Ne segue che il trasporto ferroviario delle sostanze pericolose censite nell'area urbana di Mantova non genera situazioni critiche di rischio per la popolazione. Potrebbe tuttavia essere opportuna un'analisi a livello di dettaglio più spinto per individuare percorsi alternativi che rendano l'impatto di tale trasporto ancora minore.

Fig. 10: rischio sociale dovuto al trasporto di sostanze pericolose - attraversamenti ferroviari nell'area di Mantova



4. I PERCORSI A MINIMO RISCHIO

La loro determinazione è un tassello del più ampio lavoro effettuato che ha condotto allo sviluppo di sistemi informatici che, sfruttando le funzionalità tipiche di un database e di un GIS, integrano gli elementi informativi necessari alla programmazione e alla gestione dei trasporti di merci pericolose, considerando il livello di rischio a essi associato, e permettono inoltre la gestione di eventuali situazioni di emergenza in modo tempestivo ed efficiente.

Vale la pena evidenziare che l'applicativo realizzato, la cui descrizione non è centrale per l'oggetto del presente lavoro, si basa tuttavia sull'analisi del rischio relativa a ogni trasporto di sostanze pericolose e si concretizza nell'attribuzione di un indice di rischio unitario differenziato per tipo di trasporto (container o tradizionale), per ogni sostanza considerata e per singole tratte di linea, sul quale è basata la procedura di ricerca del percorso a rischio minimo. Quest'ultimo richiede la definizione di un indice di rischio per il singolo itinerario O-D che, sulla base dell'indice di pericolo già evidenziato al par. 3, conduce alla seguente relazione:

$$IR_{itinerario} = \sum_{archi} \sum_s^g \sum_j^n X_{s,j} \times DP_{s,j} \times IP_{s,j} = \sum_{archi} \sum_s^g \sum_j^n X_{s,j} \times IR_{s,j, tratta},$$

nella quale:

- $DP_{s,j}$ è la densità di popolazione (caratteristica di ogni arco) riferita alla fascia individuata per il trasporto j e per la sostanza s ;
- $IP_{s,j}$ è l'indice di pericolo della sostanza s trasportata nel contenitore j e dipende dalla probabilità di rilascio R_s della sostanza s , dalla probabilità di accadimento del foro k , dalla probabilità di accadimento dell'evento finale i e dall'area d'impatto dell'evento finale stesso,

ed infine l'incognita del problema di minimo

- $X_{s,j} = \frac{Q_{s,j}}{N_j}$ rappresenta il rapporto tra il quantitativo transitante per tratta ferroviaria di sostanza s e tipologia di trasporto j e il quantitativo trasportato da un singolo veicolo di trasporto (una sorta di numero equivalente di veicoli).

L'applicativo così sviluppato è articolato in quattro sezioni: Gestione dei trasporti, Gestione degli scali, Gestione della rete, Gestione dei dati statistici e, qualora il prototipo venisse implementato, permetterebbe una programmazione completa del trasporto di merci pericolose.

5. CONCLUSIONI

La valutazione del rischio d'incidente rilevante associato al trasporto di sostanze pericolose ha trovato un'ampia applicazione in alcune fasi del Piano Operativo Merci Pericolose varato da RFI nel 2001. La sintesi qui riportata ha mostrato che le tecniche di analisi semiquantitative possono produrre indici di rischio di indubbia utilità: infatti, conoscendo la loro distribuzione sull'intera rete italiana, è stato possibile individuare le priorità per analisi di maggior dettaglio e, di conseguenza, per eventuali interventi di prevenzione e/o mitigazione.

Il maggior dettaglio è stato ottenuto applicando le tecniche di valutazione dei rischi tipicamente in uso per gli impianti dell'industria di processo; le indagini sono state rivolte a punti critici della rete quali attraversamenti cittadini e nodi di grande concentrazione delle merci (scali di smistamento). Il giudizio sulla significatività e importanza per il territorio dei risultati ottenuti è stato desunto da una comparazione ragionata con i criteri di tollerabilità usualmente adottati in Paesi anglosassoni, la cui applicazione peraltro è generalmente accettata dalle autorità tecniche italiane.

Ad uno specifico indice si è ricorso anche per la definizione e informatizzazione di una procedura di programmazione dei trasporti basata sulla individuazione dei percorsi ferroviari a minimo rischio. Il prototipo di software predisposto è attualmente utilizzato in via sperimentale per testarne la fruibilità e l'efficacia.