

# GESTIONE DEL RISCHIO NEL TRASPORTO VIA TERRA DI MERCI PERICOLOSE

Roberto Bubbico, Sergio Di Cave, Barbara Mazzarotta  
Dipartimento di Ingegneria Chimica, Università di Roma "La Sapienza", Via Eudossiana 18, 00184, Roma.  
[mazzarot@ingchim.ing.uniroma1.it](mailto:mazzarot@ingchim.ing.uniroma1.it)

## SOMMARIO

Il presente lavoro propone una metodologia atta a gestire il trasporto via terra di merci pericolose sulla base dei risultati di un'analisi di rischio che copra tutte le attività di trasporto di interesse. A tal fine è stato messo a punto uno strumento software rapido e di agevole utilizzo che assiste l'operatore nell'esecuzione delle analisi dei singoli casi di trasporto, consente di combinarle per valutare il rischio complessivo, e facilita la valutazione degli effetti di variazioni di percorso e/o di mezzo di trasporto, comprendendo tra le opzioni anche il trasporto intermodale. In tal modo si ottiene un quadro completo e dettagliato che consente una efficace gestione del rischio, selezionando gli interventi più efficaci per la sua mitigazione.

## 1 INTRODUZIONE

La gestione della sicurezza nel trasporto di merci pericolose via terra richiede la disponibilità di strumenti di valutazione del rischio che consentano di confrontare in modo agevole e rapido la pericolosità presentata dalle varie soluzioni alternative. Dato il quantitativo di merce da trasportare tra un punto di origine ed uno di destinazione, è infatti possibile, in linea di principio, utilizzare modalità di trasporto diverse (strada, ferrovia, intermodale) come pure, specialmente per il trasporto stradale, percorsi diversi. Il confronto deve poi tenere conto delle diverse caratteristiche dei contenitori utilizzati per le varie tipologie di trasporto: ad esempio, un incremento del volume del singolo contenitore comporta, da un lato, la riduzione del numero di contenitori necessari per il trasporto a parità di quantitativo trasferito, ma, dall'altro, un aumento del quantitativo che può essere sversato, cui può conseguire un aumento di scala dell'incidente [1].

La valutazione del rischio richiede la conoscenza delle variabili collegate alla pericolosità della merce trasportata, alle caratteristiche del contenitore ed alle peculiarità delle modalità di trasporto (ad esempio, nel trasporto intermodale, il contenitore deve essere spostato da un mezzo di trasporto all'altro), come pure quella delle variabili che caratterizzano il territorio in cui si snoda l'itinerario seguito dal mezzo di trasporto, quali, ad esempio, l'incidentalità locale, la collocazione della popolazione rispetto al percorso, le condizioni meteorologiche prevalenti, ecc. La complessità, ed il numero, delle informazioni richieste rappresentano di fatto la maggiore limitazione ad un efficace utilizzo degli approcci tipici dell'analisi di rischio nel caso del trasporto di merci pericolose.

Scopo del lavoro è quello di mostrare come sia applicabile anche alla gestione del trasporto di merci pericolose una metodologia di analisi di rischio rigorosa, che consenta di valutare il rischio di ogni caso di trasporto, di determinare gli effetti di possibili variazioni di percorso/mezzo di trasporto e pervenire ad una efficace mitigazione del rischio stesso.

## 2 METODOLOGIA

La valutazione del rischio nel trasporto di merci pericolose è largamente basata su una metodologia [2] che estende l'approccio classico dell'analisi di rischio quantitativa (QRA) [3] al caso del trasporto. Sostanzialmente, il percorso viene suddiviso in tratte, e per ognuna di esse si valuta il rischio, individuale o sociale, basandosi sulle seguenti relazioni [2]:

$$IR_{x,y} = T \cdot A \cdot \sum_{i=1}^n R_i \cdot \sum_{j=1}^m L_{i,j} \cdot W_j \cdot \sum_{k=1}^{S_i} P_{i,j,k} \quad (1)$$

$$F_{g,i,k} = T \cdot A_g \cdot R_i \cdot L_g \cdot P_{i,k} \quad (2)$$

$$N_{g,i,k} = CA_{i,k} \cdot PD_g \cdot PF_{i,k} \quad (3)$$

dove  $IR_{x,y}$ , rischio individuale, è definito come la probabilità che, in un determinato intervallo di tempo, un individuo, posto nella collocazione geografica di coordinate  $x, y$  possa perdere la vita in conseguenza dell'attività di trasporto delle sostanze pericolose in esame,  $T$  è il numero di viaggi annuali effettuati sul tratto di percorso

considerato,  $A$  l'incidentalità locale, riferita al chilometro,  $R_i$  la probabilità che si verifichi la perdita di un  $i$ -esimo quantitativo di prodotto,  $L_{i,j}$  l'estensione della  $j$ -esima zona di rilascio,  $W_j$  la probabilità che il vento spiri verso il punto  $x,y$ ,  $P_{i,j,k}$  la probabilità che si verifichi il decesso di un individuo posto nella posizione di coordinate geografiche  $x,y$ , posto che abbia luogo il  $k$ -esimo evento pericoloso possibile,  $F$  la frequenza di tutti i possibili eventi in grado di causare un numero di decessi uguali o superiori ad  $N$ ,  $CA_{i,k}$  è l'area di impatto associata al  $k$ -esimo evento pericoloso possibile,  $PD_g$  è la densità di popolazione del  $g$ -esimo segmento in cui è stato suddiviso il percorso e  $PF_{i,k}$  è la probabilità di morte dell'individuo esposto.

Dal punto di vista pratico, l'applicazione delle equazioni precedenti richiede la conoscenza di un gran numero di fattori i quali, per di più, in generale variano lungo il percorso: tenuto conto che l'accuratezza dell'analisi aumenta al diminuire della lunghezza della tratta, ne consegue che è richiesto il reperimento di una mole considerevole di dati. Inoltre, la valutazione delle aree di impatto associate agli eventi pericolosi (incendi, esplosioni, nubi tossiche) verso cui possono evolvere gli scenari incidentali comporta l'effettuazione di una modellizzazione di analisi delle conseguenze, la cui esecuzione va demandata ad analisti di rischio e richiede tempi abbastanza lunghi. Sulla base di quanto esposto si comprende come l'applicazione dell'analisi di rischio al trasporto stradale e ferroviario di merci pericolose sia di fatto limitata ad approcci semplificati [4] che considerano tratte molto ampie con caratteristiche medie similari, o allo studio dettagliato di singoli casi di trasporto [5].

## 2.1 Caratteristiche del programma di valutazione e gestione del rischio TrHazGIS

Per superare questi inconvenienti, nel corso di un progetto di ricerca finanziato dal Dipartimento della Protezione Civile per il tramite del CNR-GNDRICIE, è stato sviluppato e messo a punto uno strumento software veloce e di semplice utilizzo, che consente di effettuare una analisi di rischio dettagliata per il trasporto stradale e ferroviario di merci pericolose [6]. Questo strumento è costituito da un programma di valutazione del rischio, denominato TrHazGIS, interfacciato con banche dati appositamente predisposte e con un applicativo GIS (Geographic Information System).

Per quanto attiene i dati richiesti per la valutazione del rischio, questi sono stati suddivisi nelle due classi di informazioni relative agli scenari incidentali associati alla merce pericolosa ed alla modalità di trasporto, inseriti nella banca dati TrHazDat, e quelle relative al territorio in cui si snoda il percorso seguito dal mezzo di trasporto, gestite tramite l'applicativo GIS MapRisk.

In particolare, la banca dati TrHazDat comprende, per singoli prodotti e/o per classi di prodotti, come previste dalla classificazione RID/ADR:

- la probabilità che si abbia lo sversamento di un certo quantitativo di prodotto, a seguito di incidente nel trasporto stradale e ferroviario o a seguito di movimentazione del contenitore intermodale, dedotta da dati di letteratura [2, 7] e dall'elaborazione di informazioni contenute in banche dati incidenti [8];
- la probabilità che, a valle dello sversamento di un certo quantitativo di prodotto, si verifichi uno dei possibili eventi pericolosi (getto incendiato, incendio da pozza, incendio della nube di vapori, esplosione della nube di vapori, BLEVE/fireball, nube tossica, dispersione senza conseguenze), dedotta dall'elaborazione delle informazioni contenute in banche dati incidenti [8];
- l'estensione delle aree di impatto degli scenari incidentali e distanza raggiunta rispetto al punto di rilascio, calcolate per due diverse entità dei quantitativi sversati e per sei diverse condizioni meteorologiche, mediante il software Trace [9] di analisi delle conseguenze.

L'applicativo GIS utilizza una base di dati territoriale [10] che copre l'intero territorio nazionale e comprende una descrizione dettagliata della rete stradale (viabilità principale, secondaria e principali vie di attraversamento urbano) e della rete ferroviaria, con una lunghezza media delle tratte di circa 400 m per le strade e circa 700 m per la ferrovia.

Ad ognuna delle tratte stradali e ferroviarie sono state quindi associate le seguenti informazioni territoriali:

- incidentalità della tratta (incidenti/veicolo-km), valutata in base a dati medi per le ferrovie ed in base a dati locali per la strada, a partire dalla combinazione di numero di incidenti/anno [11-12] e traffico veicolare [13-15] (veicoli/anno) sulla tratta;
- la popolazione residente entro le distanze di effetto tipiche degli scenari incidentali relative alle sostanze infiammabili e tossiche (150 e 1500 m), calcolate a partire dai dati ISTAT relativi alle località abitate [16];
- i viaggiatori in transito, stimati in base ai dati di traffico sulla tratta [13-15]
- i valori di temperatura minima media e massima stagionali e di velocità media del vento attesi per la tratta, sulla base delle rilevazioni medie mensili nelle principali stazioni meteorologiche [17].

Il software di valutazione del rischio, TrHazGIS consente di scegliere il prodotto trasportato, la modalità di trasporto (stradale, ferroviaria o intermodale) ed il numero di viaggi stagionali effettuati, quindi si collega all'applicativo GIS. Mediante quest'ultimo viene selezionato il percorso e vengono trasferite al programma di calcolo tutte le informazioni territoriali associate ad ognuna delle tratte che compongono l'itinerario.

A questo punto vengono eseguiti automaticamente i calcoli relativi al rischio individuale ed al rischio sociale. In particolare, la frequenza di ognuno dei possibili eventi pericolosi si ottiene attraverso il prodotto dell'incidentalità della tratta per la probabilità che si sversino un certo quantitativo di prodotto e per quella che questo scenario incidentale evolva nell'evento pericoloso. Il numero di vittime associate a quell'evento pericoloso viene determinato sulla base dell'area di impatto, tenendo conto della popolazione residente e dei viaggiatori in transito all'interno della distanza di effetto dell'evento pericoloso. Nel calcolo si tiene anche conto del numero di viaggi effettuato per ogni stagione, e del momento della giornata in cui esso viene effettuato, andando a selezionare l'area di impatto calcolata per la condizione meteorologica più prossima a quella della tratta. La curva del rischio sociale viene quindi ottenuta ripetendo il calcolo per tutte le tratte dell'itinerario, e cumulando opportunamente i valori di frequenza e numero di vittime: la fase computazionale richiede circa un minuto su un PC con processore Pentium II.

Le informazioni relative al caso di trasporto sono quindi archiviate in una banca dati, che costituisce lo strumento base per la gestione del rischio. È infatti possibile sia combinare più casi archiviati, per valutare il rischio complessivo sia abbinare percorsi già studiati a casi di trasporto diversi (variando, ad esempio, il prodotto trasportato o il numero di viaggi): studiando l'effetto delle diverse combinazioni delle attività di trasporto al variare della modalità e dell'itinerario utilizzati, si può infine pervenire alla individuazione delle misure più efficaci per una mitigazione del rischio.

### 3 GESTIONE DEL RISCHIO NEL TRASPORTO VIA TERRA

Quello che segue è un semplice esempio che mostra le potenzialità del software per la gestione del rischio nel trasporto via terra di merci pericolose.

Nell'applicazione si è fatto riferimento alla collocazione di stabilimenti industriali realmente esistenti, come risulta dal database INDURISK [18]: in particolare, se ne sono selezionati tre, che, ai fini di questa applicazione, sono stati identificati con le lettere A, B e C.

Sempre ai fini dell'applicazione, si è quindi ipotizzato che tra questi stabilimenti si effettui un'attività di trasporto di merci pericolose: in particolare, si è assunto che lo stabilimento A necessiti di ossido di etilene e che venga rifornito dagli stabilimenti B e C. Per quanto attiene i quantitativi trasportati, si è assunto che allo stabilimento A arrivino i seguenti quantitativi di ossido di etilene:

- dallo stabilimento B: 4500 t/anno, circa pari a 200 viaggi/anno;
- dallo stabilimento C: 1800 t/anno, circa pari a 80 viaggi/anno.

Il numero dei viaggi necessario è stato determinato tenuto conto delle dimensioni standard assunte per il contenitore utilizzato per il trasporto stradale/intermodale (35 m<sup>3</sup>), del grado di riempimento del contenitore e della densità del prodotto, che viene trasportato come liquido "flemmatizzato" con azoto. Si è pure ipotizzato che i viaggi siano uniformemente distribuiti nel corso dell'anno e che vengano effettuati in condizioni intermedie tra quelle di massima e minima temperatura stagionali riscontrati lungo le varie tratte dei percorsi.

#### 3.1 Informazioni relative ai percorsi

Lo studio è iniziato utilizzando l'applicativo GIS MapRisk per:

- localizzare gli stabilimenti sul territorio;
- trovare le connessioni stradali tra di essi, con il criterio del percorso più veloce;
- determinare la distanza degli stabilimenti dalla rete ferroviaria;
- individuare gli scali ferroviari più prossimi agli stabilimenti;
- trovare le connessioni stradali tra gli stabilimenti e gli scali ferroviari, con il criterio del percorso più breve;
- determinare il percorso ferroviario più breve tra gli scali situati in prossimità degli stabilimenti.

In particolare, per la selezione dei percorsi stradali e ferroviari, si è utilizzata l'opzione della ricerca automatica del percorso più veloce o più breve, denominata "routing" tra punti assegnati.

La Figura 1 mostra la collocazione degli stabilimenti sul territorio: lo stabilimento B è localizzato in direzione Est rispetto ad A e quello C in direzione sud.

Lo stabilimento A è collocato ai margini di un centro abitato, a circa 1.5 km da una stazione ferroviaria, ma non è comunque dotato di un proprio raccordo ferroviario. Il percorso stradale tra lo stabilimento A e la stazione ferroviaria è riportato in blu nella Figura 1.

Lo stabilimento B è situato ad una distanza effettiva da A, misurata lungo il percorso stradale più veloce, riportato in rosso nella Figura 1, pari a circa 54 km. Anche lo stabilimento B è collocato in una zona densamente abitata, ed a circa 3.7 km da una stazione ferroviaria, raggiungibile con il percorso stradale indicato in blu nella Figura 1). Il percorso ferroviario tra le stazioni più vicine agli stabilimenti A e B, indicato in nero nella Figura 1, è pari a circa 72 km (le due località non sono collegate direttamente).

Lo stabilimento C è situato ad una distanza effettiva da A, misurata lungo il percorso stradale più breve, riportato in rosso nella Figura 1, pari a circa 96 km. Lo stabilimento C è abbastanza lontano da centri abitati e si trova a circa a 27 km dalla stazione ferroviaria più vicina, raggiungibile con il percorso stradale riportato in blu nella Figura 1. Il percorso ferroviario tra le stazioni più vicine agli stabilimenti A e C, riportato in nero nella Figura 1, è pari a circa 87 km.

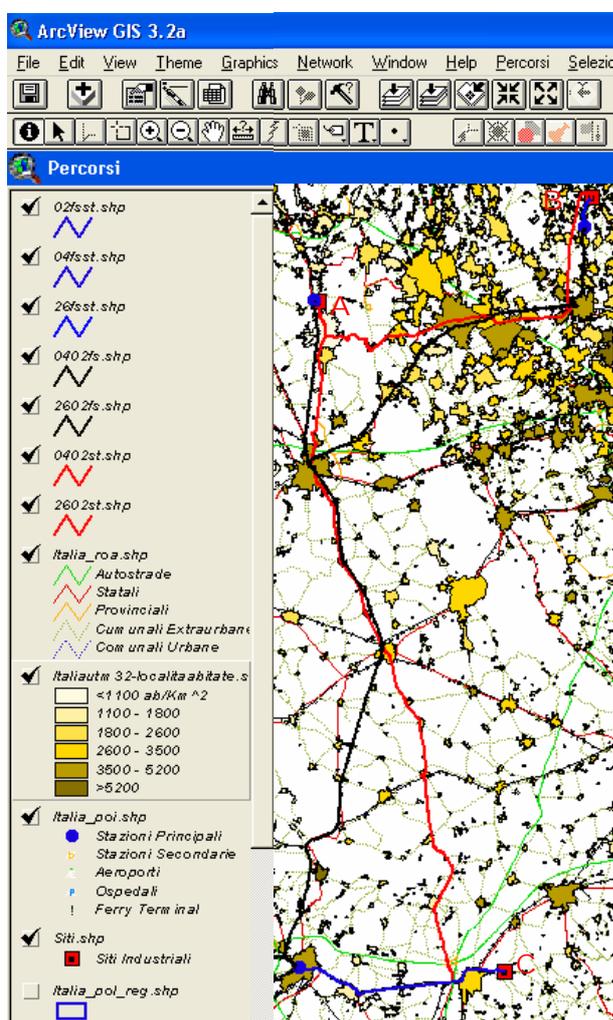


Figura 1. Localizzazione degli stabilimenti e delle loro connessioni

Data la localizzazione degli stabilimenti, le alternative, relativamente alle modalità di trasporto utilizzabili, sono quelle del trasporto interamente stradale oppure del trasporto intermodale (suddiviso nella tratta stradale di connessione tra lo stabilimento di partenza e lo scalo più vicino, in quella ferroviaria tra gli scali iniziali e finali, e in quella stradale di connessione tra lo scalo finale e lo stabilimento di destinazione), come riportato in Tabella 1. Dall'esame della Tabella 1 si nota che il percorso intermodale supera in lunghezza quello stradale di circa il 43% per quanto concerne i collegamenti tra gli stabilimenti B ed A, e del 20% per quanto riguarda le connessioni tra gli stabilimenti B e C.

Tabella 1: Lunghezza dei percorsi seguiti dal trasporto stradale e intermodale tra i siti considerati

Modalità di trasporto	Da B ad A	Da C ad A
<b>Stradale diretto</b>	<b>54</b>	<b>96</b>
1° tratta stradale	4	27
tratta ferroviaria	72	87
2° tratta stradale	1.5	1.5
<b>Trasporto intermodale</b>	<b>77.5</b>	<b>115.5</b>

### 3.2 Valutazione del rischio per le singole attività di trasporto

Si sono quindi effettuate le simulazioni relative al trasporto di ossido di etilene dagli stabilimenti B e C verso quello A, esaminando separatamente il trasporto stradale e quello intermodale, lungo i percorsi descritti nel paragrafo precedente. Le informazioni territoriali relative ad ognuno dei percorsi selezionati (stradali e tratte costituenti i percorsi intermodali) vengono esportate direttamente dall'applicativo GIS MapRisk in un formato utilizzabile, dal programma di valutazione del rischio TrHazGIS, come mostra la Figura 2.

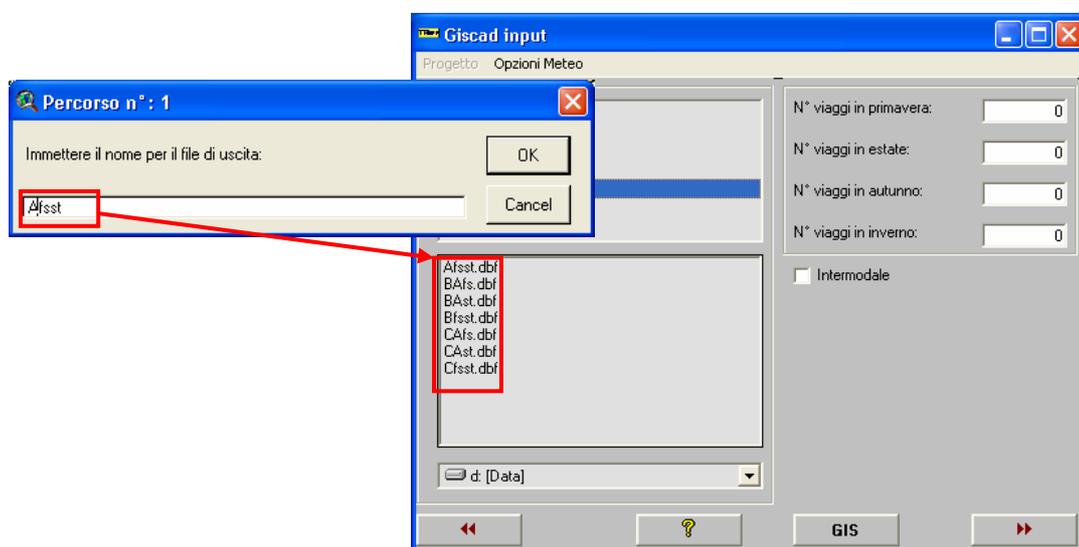


Figura 2. Esportazione delle informazioni relative al percorso da MapRisk a TrHazGIS.

Il programma di valutazione del rischio viene avviato con la scelta della sostanza trasportata, come mostra la Figura 3.

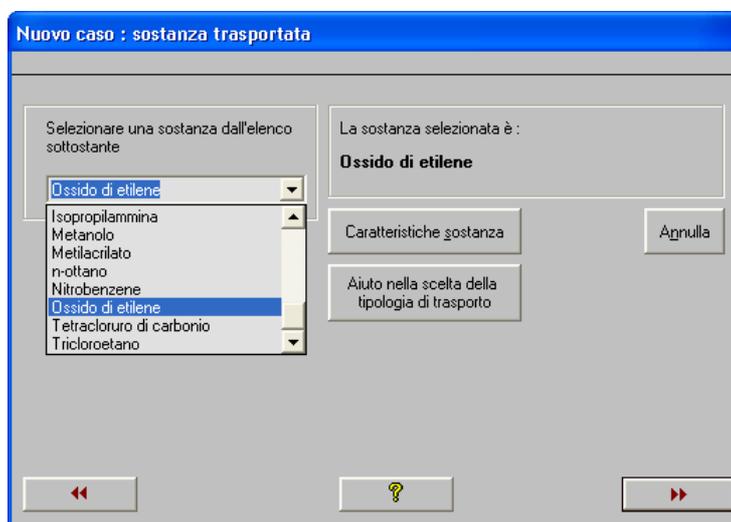


Figura 3. Selezione della sostanza trasportata.

Una volta selezionata la sostanza di interesse occorre inserire le informazioni relative al numero di viaggi effettuati per ogni stagione ed abbinarvi il percorso selezionato. Nel caso di trasporto puramente stradale o ferroviario non è necessario specificare la tipologia di trasporto, poiché il programma la riconosce automaticamente sulla base delle informazioni contenute nel file del percorso. Nel caso di trasporto intermodale occorre invece selezionare l'apposita opzione ed inserire i file relativi alle tratte stradali e ferroviaria del percorso nelle caselle predisposte, come mostra la Figura 4.

Il programma effettua quindi automaticamente il calcolo del rischio sociale relativo all'attività di trasporto prescelta e genera il relativo grafico della curva F-N, come mostra la Figura 5.

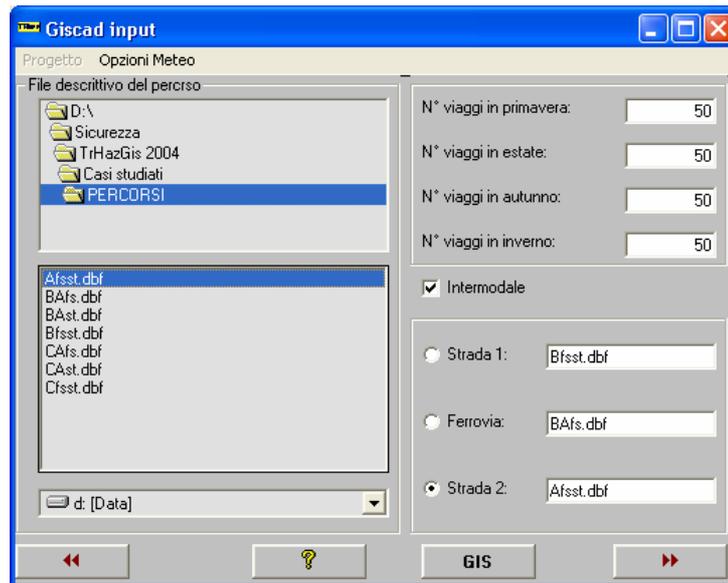


Figura 4. Selezione del numero dei viaggi e del percorso

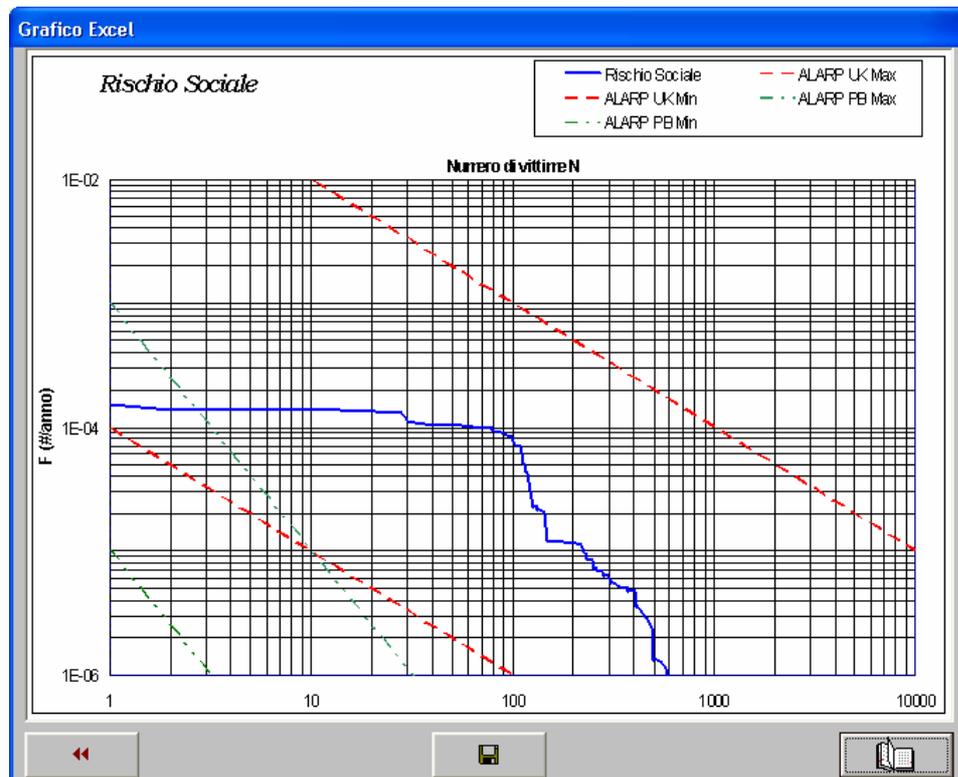


Figura 5. Curva F-N del rischio sociale per il caso di trasporto considerato.

Sul grafico sono riportate, oltre alla curva del rischio sociale relativa al caso studiato, le curve limite della cosiddetta zona ALARP, ossia quella in cui il rischio deve essere ridotto per quanto ragionevolmente realizzabile (As Low As Reasonably Practicable) indicate in alcuni documenti ufficiali pubblicati nel Regno Unito [19] e nei Paesi Bassi [20]. Tali limiti non hanno una validità rigorosa, essendo estrapolati da situazioni diverse da quelle del trasporto merci pericolose, ma forniscono comunque una prima indicazione del livello del rischio.

### 3.3 Gestione del rischio nelle attività di trasporto merci pericolose in esame

Le informazioni relative al caso, come pure il grafico F-N, possono essere memorizzati, agendo sui pulsanti di comando posti nella parte inferiore della finestra. L'archiviazione del caso studiato consente di richiamarlo successivamente per variare qualcuno dei dati (ad esempio il numero di viaggi stagionale) senza reinserire le altre informazioni, ma anche di effettuare confronti e valutazioni sull'insieme dei casi archiviati che costituiscono la base per una efficace gestione del rischio nel trasporto di merci pericolose.

L'archivio di gestione dei casi storici, mostrato in Figura 6, può essere richiamato in ogni momento direttamente dal programma di gestione del rischio TrHazGIS, selezionando i casi di interesse tra quelli presenti e scegliendo quindi l'operazione da effettuare (valutazione del rischio sociale cumulativo dei casi selezionati, confronto del rischio tra due casi selezionati, richiamo dei dati relativi al caso selezionato).

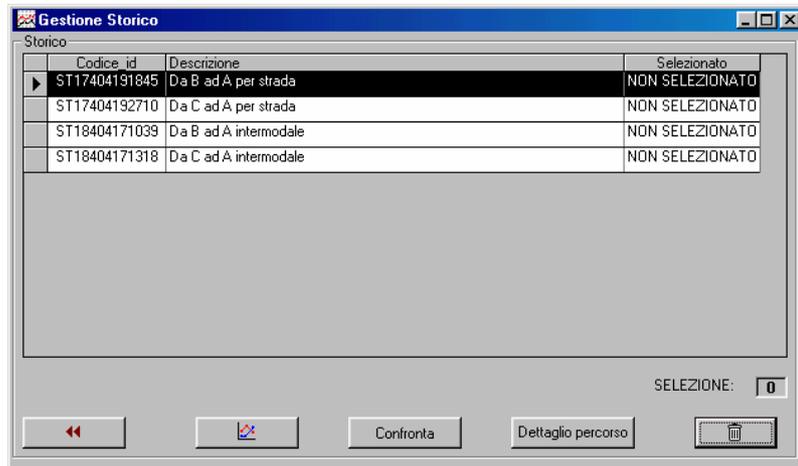


Figura 6. Archivio di gestione dei casi studiati

I risultati ottenuti dall'esame dei casi studiati sono stati quindi confrontati per stabilire le modalità più opportune per l'effettuazione del trasporto da ogni stabilimento di origine considerato a quello di destinazione.

### 3.3.1 Scelta della modalità di trasporto dai singoli stabilimenti

Le Figure 7 ed 8 mostrano il confronto fra le curve del rischio sociale relative al trasporto stradale e intermodale tra lo stabilimento B e quello A (Figura 7) e tra lo stabilimento C e quello A (Figura 8).

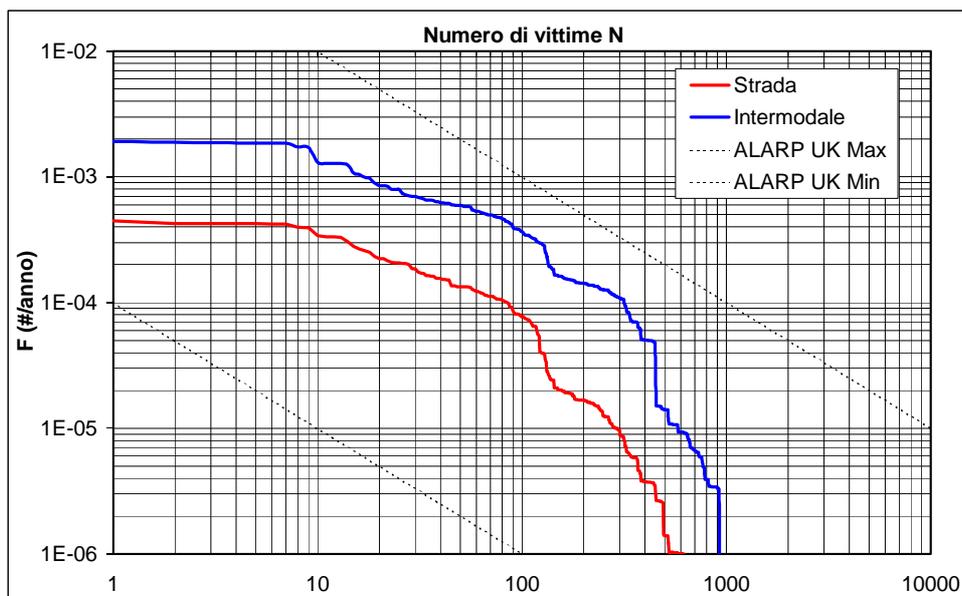


Figura 7. Curve del rischio sociale per le attività di trasporto tra lo stabilimento B e quello A.

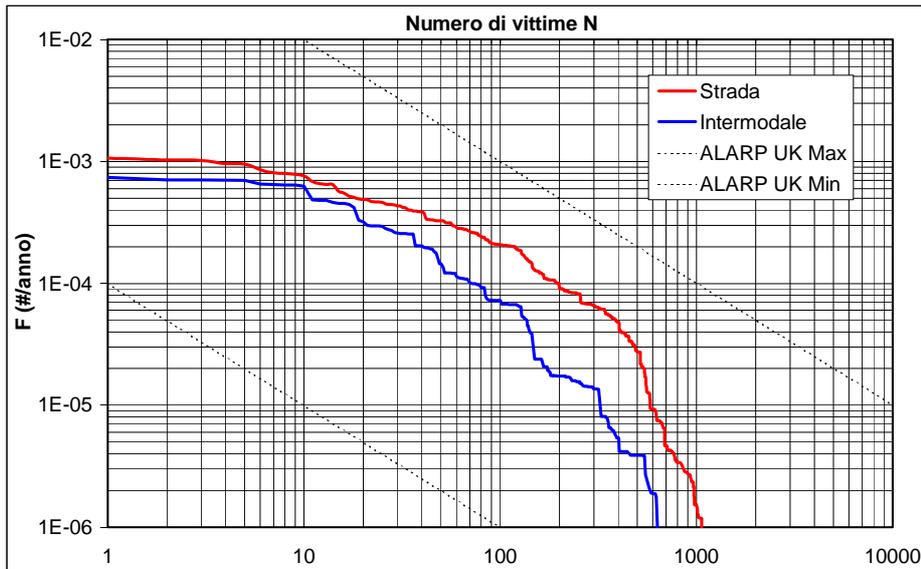


Figura 8. Curve del rischio sociale per le attività di trasporto tra lo stabilimento C e quello A.

Si nota come il trasporto intermodale dia luogo ad un rischio superiore a quello del trasporto stradale nel primo caso e inferiore nel secondo. Questo risultato, che conferma come il trasporto intermodale tra località assegnate non sia sempre meno rischioso di quello stradale, dipende dalla combinazione di vari fattori. Anzitutto, nel trasporto intermodale esistono dei termini di rischio aggiuntivi, rappresentati dalla probabilità che si verifichi un incidente nel corso del trasferimento del contenitore dal mezzo stradale a quello ferroviario e viceversa. Inoltre, il percorso intermodale, pure in presenza di una tratta ferroviaria con incidentalità mediamente inferiore a quella delle tratte stradali, risulta generalmente più lungo di quello interamente stradale; il percorso ferroviario, inoltre, spesso attraversa un numero di centri abitati maggiore rispetto a quello stradale, il che comporta un aumento della popolazione a rischio. La situazione sopra descritta si verifica di fatto per il percorso intermodale tra gli stabilimenti B ed A, che è considerevolmente più lungo di quello stradale (vedi Tabella 1) e attraversa zone densamente abitate, ma non per quello da C ad A, in cui prevale il contributo della minore incidentalità del percorso ferroviario.

La Figura 9 mostra il confronto del rischio complessivo per le attività di trasporto in esame, per i vari abbinamenti di trasporto stradale e intermodale possibili.

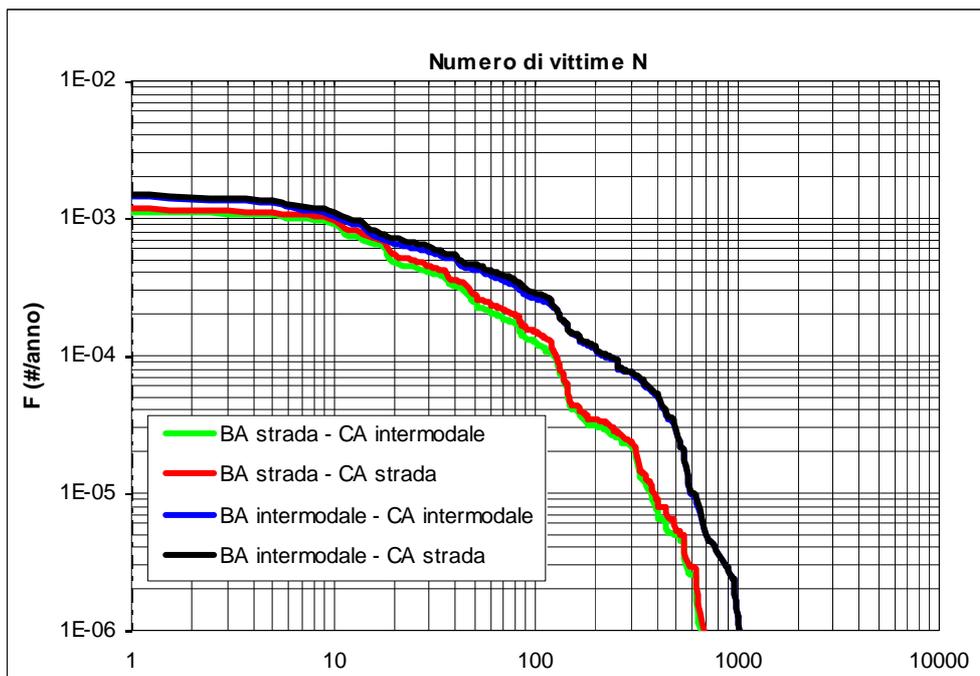


Figura 9. Confronto tra le varie combinazioni di trasporto possibili nel caso in esame.

Come atteso, sulla base dei risultati ottenuti per le attività di trasporto riguardanti i singoli stabilimenti di provenienza, la combinazione che comporta il rischio più basso è quella in cui il trasporto da B ad A è effettuato via strada e quello da C ad A con modalità intermodale. Questa soluzione consente di ottenere una modesta riduzione del rischio (circa il 10%) rispetto al caso in cui si effettui il trasporto esclusivamente stradale da entrambi gli stabilimenti, ma una riduzione più consistente (fino ad un ordine di grandezza) rispetto alle soluzioni che prevedono il trasporto intermodale tra lo stabilimento B e quello A.

### 3.3.2 Ripartizione dei flussi

Un'ulteriore passo verso l'ottimizzazione della gestione del trasporto di merci pericolose nel caso in esame è quello di studiare l'effetto della ripartizione dei rifornimenti di ossido di etilene tra i due diversi stabilimenti di provenienza. La Figura 10 mostra i risultati che si ottengono ipotizzando che il trasferimento del prodotto avvenga esclusivamente dallo stabilimento B, via strada, ovvero esclusivamente dallo stabilimento C, via intermodale, confrontati con quello ottenuto con la ripartizione dei flussi prospettata inizialmente (200 viaggi/anno dallo stabilimento B e 80 viaggi/anno dallo stabilimento C).

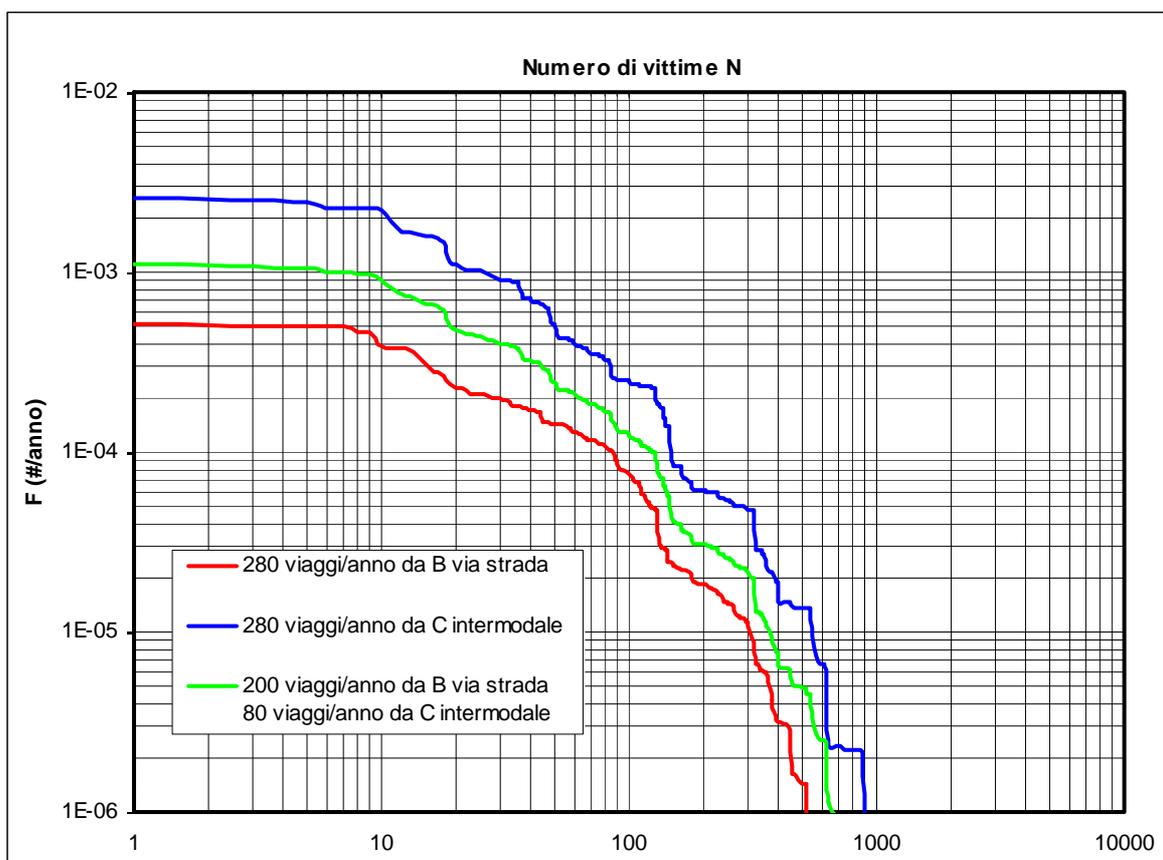


Figura 10. Confronto tra le varie ripartizioni dei flussi dagli stabilimenti di provenienza.

Il risultato ottenuto è per certi versi, ovvio, ossia mostra come il rischio si riduca effettuando tutta l'attività di trasporto lungo il percorso a minor rischio, in questo caso quello stradale tra lo stabilimento B e quello A. Va però rimarcato che questa soluzione, che pure porta alla minimizzazione del rischio sociale nell'area considerata, potrebbe tuttavia non essere considerata "equa", poiché comporta la "concentrazione" del rischio su di un unico percorso: ne consegue che la popolazione residente e in transito lungo l'itinerario prescelto sarebbe esposta ad un rischio non trascurabile, mentre tale rischio diverrebbe zero per la popolazione che si trova lungo l'altro itinerario, non più percorso dai mezzi che trasportano merci pericolose.

Nell'ottica della gestione ottimale della sicurezza nelle attività di trasporto in esame, si potrebbe quindi seguire anche un altro criterio, indirizzato alla ripartizione del rischio nel modo più uniforme possibile tra i due percorsi che collegano, rispettivamente, gli stabilimenti B e C con A. La Figura 11 mostra come, suddividendo gli approvvigionamenti tra lo stabilimento B, con 228 viaggi/anno e quello C, con 52 viaggi/anno, le rispettive curve F-N (mostrate in rosso e in blu nella Figura 11), presentino andamenti assai simili tra loro, con una soddisfacente ripartizione del rischio tra i due itinerari/modalità di trasporto. La curva

del rischio totale che si ottiene adottando questa ripartizione dei flussi, mostrata in giallo nella Figura 11, si posiziona leggermente al di sotto di quella, riportata in verde nella stessa figura, relativa alla ripartizione dei flussi inizialmente prevista (200 viaggi/anno dallo stabilimento B e 80 viaggi/anno dallo stabilimento C).

Anche in questo caso, quindi, l'utilizzo del programma di gestione del rischio consente di pervenire ad una riduzione "ragionata" del livello del rischio sociale per le attività di trasporto considerate.

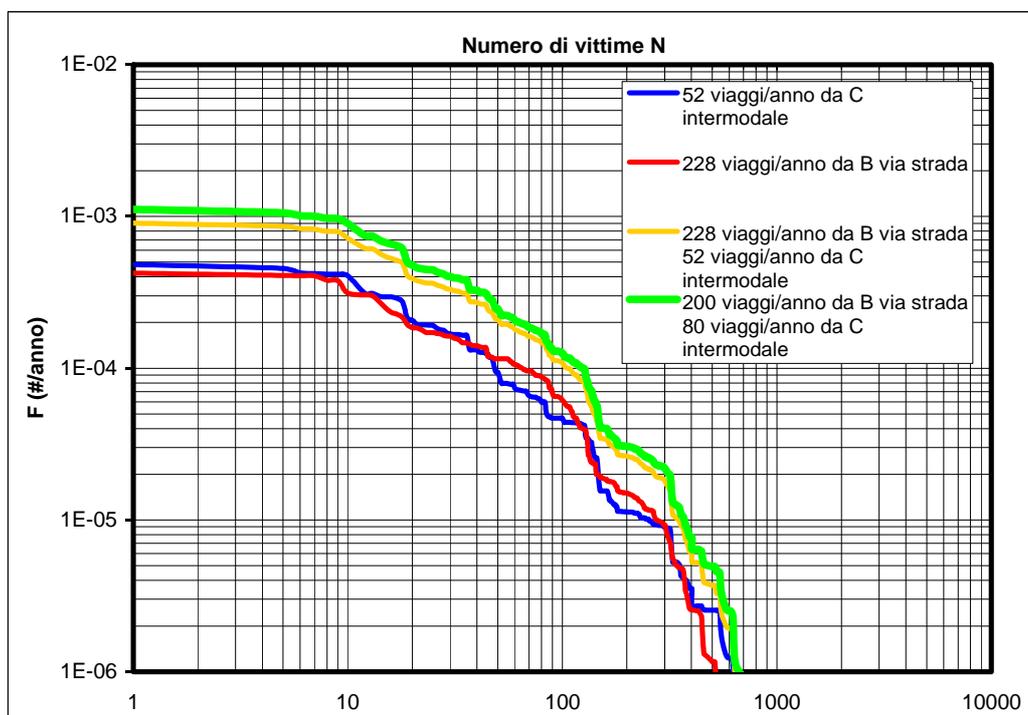


Figura 11. Ripartizione del rischio sugli itinerari dai due stabilimenti.

### 3 CONCLUSIONI

La metodologia presentata consente di valutare in modo rapido il rischio presentato dal trasporto di qualsivoglia merce pericolosa su una qualunque rete di trasporto, tenendo conto della pericolosità intrinseca nel prodotto e nella modalità di trasporto e delle caratteristiche locali di incidentalità e vulnerabilità della rete. Il software di gestione del rischio, basato su detta metodologia, consente di pianificare le attività di trasporto tenendo anche conto del rischio presentato dalle diverse modalità di trasporto, dai vari itinerari e dalla ripartizione dei flussi tra di essi.

### 4 RINGRAZIAMENTI

Il presente lavoro è stato finanziato dal Dipartimento della Protezione Civile, per il tramite del CNR, Gruppo Nazionale Difesa dai Rischi Chimico-Industriali ed Ecologici.

### 5 ELENCO DEI SIMBOLI

- A incidentalità sulla tratta considerata (incidenti/veicolo km);
- $CA_{i,k}$  area di impatto associata al k-esimo evento pericoloso possibile ( $km^2$ );
- F frequenza di tutti i possibili eventi in grado di causare un numero di decessi uguali o superiori ad N (eventi/anno);
- $IR_{x,y}$  rischio individuale che, in un determinato intervallo di tempo, un individuo, posto nella collocazione geografica di coordinate x, y possa morire in conseguenza dell'attività di trasporto di sostanze pericolose in esame (eventi/anno);
- $L_{i,j}$  estensione della j-esima zona di rilascio (km);
- N numero di decessi;

$P_{i,j,k}$	probabilità che si verifichi il decesso di un individuo posto nella posizione di coordinate geografiche x,y, posto che abbia luogo il k-esimo evento pericoloso possibile;
$PD_g$	densità di popolazione del g-esimo segmento in cui è stato suddiviso il percorso (abitanti/km <sup>2</sup> );
$PF_{i,k}$	probabilità di morte dell'individuo esposto;
$R_i$	probabilità che si verifichi la perdita di un i-esimo quantitativo di prodotto;
T	numero di viaggi annuali effettuati sul tratto di strada considerato (viaggi/anno);
$W_j$	probabilità che il vento spiri nella direzione di interesse.

## 6 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] B.Mazzarotta, Risk reduction when transporting dangerous goods: road or rail?, Risk Decision and Policy, 7, pp.45-56 (2002).
- [2] CCPS, Center for Chemical Process Safety, *Guidelines for Chemical Transportation Risk Analysis*, AIChE, New York (1995).
- [3] CCPS, Center for Chemical Process Safety, *Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis*, 2<sup>nd</sup> Ed., AIChE, New York (2000).
- [4] A.D.Little, ADLTRS, Transportation Risk Screening Program, Version 5.1, Arthur D. Little Inc, Acorn Park (1994).
- [5] R.Bubbico, C.Ferrari, B.Mazzarotta, Risk analysis of LPG transport by road and rail, J. Loss Prev. Proc. Ind., 13, pp.27-31 (2000).
- [6] R.Bubbico, S. Di Cave, B.Mazzarotta, A GIS supported transportation risk analysis approach, Risk, Reliability and Security, pp. 361- 374, CCPS, Jacksonville, 8-11/10 (2002).
- [7] V.Cozzani, S. Bonvicini, L. Vanni, G. Spadoni, S. Zanelli, Analisi comparativa delle frequenze di incidente e di rilascio nel trasporto stradale e ferroviario di sostanze pericolose, VGR2k, Sessione 5/030, Pisa, October 24-26 (2000).
- [8] OSH-ROM, HSELINE, C15DOL, MHIDAS, NIOSHTIC, London, Silver Platter (2001).
- [9] Safer System LLC, TRACE 8.b User Guide. Westlake Village (2000).
- [10] TeleAtlas, RoadNet for Arc/Info, TeleAtlas BV (1996).
- [11] ACI, *Analisi dell'incidentalità stradale a livello nazionale e regionale, provinciale e nei comuni con oltre 250.000 abitanti*, Roma (2000).
- [12] ACI-ISTAT, Atti 56° Conf. del traffico e della circolazione, Stresa (2000).
- [13] AISCAT, *Informazioni*, Anno XXXV, n.3-4 (2000).
- [14] ANAS, Ente Nazionale per le Strade, *Censimento della circolazione lungo le strade statali ed autostrade nell'anno 1989* (1989).
- [15] ANAS, Comunicazione privata relativa al censimento della circolazione lungo le strade statali ed autostrade nell'anno 1995 (2002).
- [16] ISTAT, *13° Censimento generale della popolazione e delle abitazioni*, Roma (1992).
- [17] ISTAT, *Statistiche meteorologiche anni 1984-1991*, Annunario n.25. Roma (1994).
- [18] VVF, *Database INDURISK*, Roma (2001).
- [19] Health & Safety Commission, *Major Hazard Aspects of the Transport of Dangerous Substances*, London, HMSO (1991).
- [20] Dutch National Environmental Policy Plan, *Premises for Risk Management*, Second Chamber of the State General, Session 1988-1989, Vol. 5, p.137, The Netherlands (1989).