TRHAZGIS: METODOLOGIA GIS DI ANALISI DI RISCHIO NEL TRASPORTO STRADALE DI SOSTANZE PERICOLOSE

Roberto Bubbico[1], Maurizio Conforti, Barbara Mazzarotta

Dipartimento di Ingegneria Chimica, Università di Roma "La Sapienza"
Via Eudossiana 18, 00184, Roma, Italy

[1]Gruppo Nazionale Difesa Rischi Chimico-Industriali ed Ecologici, CNR
c/o Dipartimento di Ingegneria Chimica, Università di Roma "La Sapienza", Via Eudossiana 18, 00184, Roma, Italy

Questo lavoro presenta uno strumento di calcolo basato su un approccio metodologico rigoroso e sull'utilizzo di informazioni "territoriali" accurate, disponibili all'interno di un applicativo GIS (Geographic Information System) appositamente sviluppato, che comprende, per tutte le strade statali e le autostrade d'Italia i dati di incidentalità, popolazione e meteorologia. Il programma gestisce queste informazioni e le combina con quelle della banca dati sostanze, che contiene informazioni sulla pericolosità dei prodotti trasportati, derivate da dati storici e mediante di programmi di analisi delle conseguenze, per valutare la curva F-N del rischio sociale. Inoltre, è possibile visualizzare, per ogni chilometro del percorso, l'andamento del rischio individuale geografico al variare della distanza dalla strada. Il programma costituisce un utile strumento per la gestione del rischio nel trasporto stradale delle merci pericolose, in cui i dati territoriali, soggetti a maggiori variazioni nel tempo, possono essere agevolmente aggiornati.

INTRODUZIONE

La valutazione del rischio nel caso di trasporto viene effettuata basandosi sulle tecniche di analisi di rischio quantificata, ormai consolidate nelle applicazioni agli impianti fissi. L'estensione di queste tecniche al trasporto delle sostanze pericolose, formalmente assai semplice, presenta tuttavia notevolissime complicazioni pratiche, legate sia al reperimento delle informazioni storico-statistiche necessarie alla valutazione della frequenza degli eventi incidentali, sia alla valutazione delle conseguenze di questi eventi, data la variabilità delle condizioni lungo il percorso che impone l'effettuazione di una gran mole di calcoli. Per questa ragione, nelle applicazioni di analisi di rischio al trasporto di prodotti pericolosi, è prassi comune [1] suddividere il percorso in un certo numero di tratte, in cui i valori dei parametri più importanti, quali meteorologia, popolazione e incidentalità vengono assunti costanti: ciò, se da un lato agevola notevolmente i calcoli, dall'altro introduce una serie di approssimazioni, poiché non consente di scendere nel dettaglio della effettiva situazione locale.

Sempre più spesso la gestione di informazioni territoriali viene affidata ad applicativi basati sull'utilizzo di sistemi GIS (Geographic Information System) che consentono di legare vari tipi di informazioni alle coordinate geografiche della località considerata. Tuttavia, la maggior parte degli applicativi sinora sviluppati presentano finalità diverse da quelle richieste per la valutazione del rischio nel trasporto di sostanze pericolose e sono carenti delle informazioni necessarie, come la distribuzione della popolazione lungo il percorso, le condizioni meteorologiche e l'incidentalità. Occorre quindi reperire le informazioni necessarie e predisporre un applicativo GIS apposito, che sia in grado di dialogare efficacemente con il programma di valutazione del rischio. Quest'ultimo, inoltre, deve poter accedere ad una banca dati sostanze che fornisca una serie di informazioni specifiche, quali la probabilità che si verifichino certi scenari incidentali e che essi evolvano nei possibili eventi pericolosi finali, nonché l'ampiezza della zona di impatto di detti eventi pericolosi finali in corrispondenza di varie condizioni meteorologiche. Una banca dati siffatta non esiste commercialmente, per cui va anch'essa predisposta, reperendo le informazioni storico-statistiche necessarie alla stima delle probabilità di scenari ed eventi pericolosi e procedendo alla valutazione delle aree di impatto mediante software di analisi delle conseguenze.

Questo lavoro mostra come è stato sviluppato un programma di calcolo che consente una valutazione rapida ed affidabile del rischio nel trasporto stradale di prodotti pericolosi sulla base di accurati dati territoriali, predisposti nella forma di un applicativo GIS, e di dettagliate informazioni riguardanti la pericolosità dei prodotti, contenute in una banca dati, anch'essa appositamente predisposta.

APPLICAZIONE DELL'ANALISI DI RISCHIO AL TRASPORTO DI SOSTANZE PERICOLOSE

Quando si applicano le tecniche di analisi di rischio al trasporto di sostanze pericolose, il campo di indagine viene normalmente ristretto a quegli eventi che riguardano propriamente il trasporto e che sono legati alla pericolosità del prodotto. Sulla base di questa definizione, che viene adottata anche nel presente

lavoro, restano quindi esclusi tutti gli eventi pericolosi che non hanno luogo durante il trasporto (per esempio quelli che si verificano durante le fasi di carico e scarico del prodotto), come pure quelli che non sono legati alla natura del prodotto trasportato (per esempio quelli legati alla normale infortunistica stradale, come morte del conducente in seguito ad un urto, investimento di un pedone, ecc.). Ne consegue che gli eventi presi in esame sono quelli che si originano quando si ha una perdita di prodotto per cause accidentali durante il trasporto: essi dipendono dalle caratteristiche intrinseche del prodotto (infiammabile e/o tossico), dalle modalità, dal quantitativo e dallo stato fisico (solido, liquido, gas liquefatto, gas pressurizzato) della perdita e dalle condizioni ambientali e meteorologiche. Dipendentemente dalla combinazione di questi fattori possono aver luogo vari eventi pericolosi che, nel caso più generale possibile, comprendono: jet-fire, incendio da pozza, incendio della nube di vapore, fireball, esplosione fisica del contenitore, esplosione della nube di vapori (UVCE: unconfined vapor cloud explosion), nube tossica.

La quantificazione del rischio passa attraverso la determinazione della frequenza di accadimento attesa per ognuno di questi eventi pericolosi, e la rispettiva area di impatto, da valutare utilizzando le tecniche di analisi delle conseguenze, dopo aver fissato dei valori di soglia di pericolosità per le esposizioni a radiazione termica, onde di sovrappressione e concentrazione di sostanze tossiche. Il rischio associato al trasporto di sostanze pericolose viene quindi misurato come rischio individuale e rischio sociale, in analogia con quanto viene fatto da tempo per gli impianti fissi.

Il rischio individuale, $IR_{x,y}$ è definito come la probabilità 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. Esso si può valutare, per un certo tratto di strada, come [1]:

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

dove T è il numero di viaggi annuali effettuati sul tratto di strada 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 nella direzione di interesse, $P_{i,j,k}$ 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. Una volta determinato il rischio individuale per varie localizzazioni geografiche è quindi possibile tracciare curve isorischio, come pure determinare l'andamento del rischio al variare della distanza dalla strada.

Il rischio sociale viene generalmente presentato nella forma delle cosiddette curve F-N, che legano la frequenza F di tutti i possibili eventi in grado di causare un numero di decessi uguali o superiori ad N, al numero di decessi stesso. I valori delle variabili di interesse si calcolano mediante le relazioni [1]:

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

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

dove $CA_{i,k}$ 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.

Le variabili che compaiono nelle eq. (1-3) dipendono dal caso di trasporto in esame (prodotto trasportato, stato fisico del prodotto durante il trasporto, quantitativo trasportato, numero di viaggi, caratteristiche del contenitore, tipici scenari di rilascio del prodotto nell'ambiente, possibile evoluzione di questi scenari, ecc.), dalle caratteristiche del territorio circostante (condizione meteorologiche, direzione prevalente del vento, orografia, presenza di campi, fiumi, edifici, densità di popolazione, ecc.) e dalle caratteristiche del percorso stesso (tipo di strada, presenza di incroci, gallerie, curve, dossi, tasso di incidentalità, ecc.). Inoltre, alcuni di questi fattori, tra cui tutti quelli legati al percorso ed una gran parte di quelli legati alle caratteristiche del territorio circostante, variano continuamente man mano che il mezzo procede lungo l'itinerario, costringendo a ricalcolare ogni volta la frequenza degli eventi pericolosi, l'estensione dell'area di impatto e la popolazione che si trova al suo interno. Per questa ragione un approccio rigoroso al problema risulta improponibile dal punto di vista pratico e si ricorre alla semplificazione di suddividere il percorso in un numero limitato di tratte, all'interno delle quali si considerano costanti i valori dei fattori coinvolti nel calcolo. Tuttavia, anche ricorrendo a questa notevole semplificazione, l'esecuzione dell'analisi di rischio richiede tempi lunghi, dato che occorre raccogliere e organizzare tutti dati necessari, nonché eseguire comunque un gran numero di calcoli delle conseguenze degli incidenti per varie modalità di rilascio e tenendo conto almeno della variabilità meteorologica stagionale.

SVILUPPO DELLA METODOLOGIA DI VALUTAZIONE DEL RISCHIO NEL TRASPORTO STRADALE DI SOSTANZE PERICOLOSE

L'approccio proposto in questo lavoro è frutto dell'esperienza maturata negli ultimi anni dal gruppo di ricerca, che ha portato alla messa a punto di una metodologia per la valutazione del rischio nel trasporto di sostanze pericolose [2], ed alla predisposizione di applicativi GIS finalizzati a questo scopo [3].

In particolare, l'approccio proposto si basa sulla suddivisione delle informazioni necessarie all'esecuzione di un'analisi di rischio nelle due categorie dei fattori strettamente legati al percorso e di quelli praticamente indipendenti da esso: nella prima ricadono, ad esempio, i dati meteorologici, di incidentalità e di popolazione; nell'altra le informazioni relative al prodotto, ai quantitativi trasportati, al numero dei viaggi, ma pure quelle relative alla probabilità che si verifichi un rilascio ed alla sua possibile evoluzione nei possibili eventi pericolosi finali, nonché quelle relative alle aree di impatto, che però sono a loro volta funzione delle condizioni meteorologiche.

Nello sviluppo della struttura del programma si sono separate queste due categorie di informazioni, mettendo a punto una banca dati per le informazioni legate al prodotto (TrHazDat), un applicativo GIS per le informazioni pertinenti al percorso (MapRisk), ed un software di calcolo (TrHaz) che, basandosi sui dati del caso di trasporto in esame, esegue i calcoli di valutazione del rischio.

Banca dati TrHazDat

Preliminarmente alla predisposizione della banca dati concernente le informazioni relative ai prodotti trasportati, è stata effettuata un'analisi approfondita, volta ad identificare le modalità di rilascio e le condizioni meteorologiche da prendere in esame ai fini della valutazione delle conseguenze.

Riguardo alle modalità di rilascio, le informazioni riportate in letteratura suggeriscono di distinguere tra rilasci lievi, gravi e catastrofici: i primi sono definiti come piccole perdite (per esempio per difetti di tenuta da valvole), i secondi come perdite consistenti, ma che non comportano lo svuotamento completo del contenitore, gli ultimi come la rapida perdita dell'intero carico. Tuttavia, sia le informazioni di letteratura che i verbali degli interventi effettuati dal Vigili del Fuoco, mostrano che le perdite lievi non sono generalmente da considerarsi pericolose, in quanto, in pratica, non provocano conseguenze letali per le persone esposte, se non in casi assai particolari. Si è quindi stabilito di semplificare il problema prendendo in esame due sole modalità di perdita, quella grave e quella catastrofica, associando, ai fini statistici, i dati relativi alle perdite lievi con quelle dei casi in cui non si è verificata perdita. Ciò ha comportato, tra l'altro, l'esclusione di tutti gli eventi di rilascio non innescate da incidente, quali, ad esempio le perdite per difetti di tenuta o per corrosione localizzata del contenitore, poiché questi ricadono generalmente nella categoria delle perdite lievi.

Come perdita grave di riferimento è stata assunta quella attraverso un foro del diametro di 15 mm, di durata pari a 15 min, localizzata, secondo una ipotesi conservativa, nella zona del contenitore che comporta la fuoriuscita della maggiore quantità di prodotto: nel caso di contenitore che viaggi a pieno carico, la conseguenza è la perdita parziale del 10-40% del prodotto trasportato, dipendentemente dalle caratteristiche e dello stato fisico. Come perdita catastrofica si è assunta quella attraverso un foro del diametro di 220 mm, localizzata in posizione tale da rendere possibile lo svuotamento completo del contenitore, che ha luogo in tempi piuttosto brevi (generalmente meno di 2 minuti).

Una volta definiti gli scenari incidentali vanno attribuiti valori di probabilità di perdita a seguito di incidente, sia per la modalità di rilascio grave che per quella catastrofica: ciò è stato fatto basandosi su dati di letteratura [1], riferiti a varie tipologie di contenitori, e sulle informazioni riportate in banche dati [4-5] relative a singoli prodotti.

Si è quindi passati ad esaminare la problematica relativa alla determinazione delle aree di impatto relative ai vari eventi pericolosi in cui, dipendentemente dalle caratteristiche del prodotto, può evolvere lo scenario incidentale. A tal fine si sono anzitutto fissati valori di soglia per la radiazione termica, la sovrappressione e la concentrazione di sostanze tossiche, superati i quali sia probabile la morte degli individui esposti: tali valori, riportati in dettaglio altrove [2], sono stati fissati basandosi su informazioni di letteratura [6]. L'area di impatto degli eventi pericolosi dipende però dalle condizioni ambientali e meteorologiche: per limitare il numero dei casi da esaminare si sono quindi preliminarmente reperiti i dati meteorologici rilevati da alcune decine di stazioni meteorologiche situate sul territorio nazionale [7]. Gli andamenti mensili dei dati di temperatura media, minima e massima, umidità relativa e velocità del vento sono stati analizzati ed accorpati in modo da ottenere 6 condizioni meteorologiche di riferimento, ottenute dalla combinazione di 3 livelli di temperatura (5, 14 e 26°C) e 2 livelli di velocità del vento (3 e 6 m/s). Le condizioni di stabilità atmosferica sono state assunte corrispondenti a quelle della classe D (neutra) della classificazione di Pasquill, in quanto ragionevolmente conservative.

Per ogni prodotto preso in esame è stata quindi eseguita l'analisi delle conseguenze, utilizzando un software commerciale (Trace 8.b della Safer Systems [9]) che consente di seguire tutta la sequenza degli

eventi, a partire dal rilascio nell'ambiente, la dispersione e l'eventuale accensione immediata o ritardata, calcolando i campi di irraggiamento, sovrappressione e concentrazione e quindi l'estensione delle zone di impatto. L'esecuzione di questa analisi, anche per un singolo prodotto, è piuttosto lunga e laboriosa, poiché vanno presi in esame tutti i possibili eventi pericolosi innescati da ognuna delle due modalità di rilascio preventivamente identificate, e poiché i calcoli vanno i ripetuti per ognuna delle 6 condizioni meteorologiche assunte come riferimento. I dati finali di interesse sono costituiti dai raggi delle zone di impatto, ove queste abbiano forma circolare, come nel caso di pool fire, fireball e UVCE e dai raggi e dall'angolo caratteristico della dispersione, per le aree di impatto di eventi quali jet-fire, nubi infiammabili e tossiche.

Infine, si è valutata la probabilità di accadimento per ogni evento pericoloso che può scaturire dagli scenari incidentali considerati, basandosi su dati di letteratura [1] e su quelli riportati in banche dati incidenti [4-5]. Questo passo risulta piuttosto delicato data la scarsezza dei dati disponibili per i singoli prodotti: in alcuni casi si sono quindi considerati valori medi per categorie di prodotti similari.

La banca dati TrHazDat contiene quindi, per ogni prodotto, le seguenti informazioni:

- stato fisico assunto per il prodotto durante il trasporto, limiti di infiammabilità e tossicità;
- probabilità che, a seguito di incidente, si verifichi un rilascio grave o catastrofico di prodotto;
- probabilità che ogni tipologia di rilascio evolva in ognuno dei possibili eventi pericolosi: jet fire, incendio da pozza, incendio da nube, esplosione della nube, fireball, esplosione fisica, nube tossica;
- distanze ed angoli che identificano le aree di impatto relative ad ogni evento pericoloso, calcolate corrispondentemente alle due modalità di rilascio definite ed a sei condizioni meteorologiche di riferimento.

La banca dati TrHazDat comprende attualmente una trentina di sostanze infiammabili e/o tossiche scelte tra quelle più frequentemente oggetto di trasporto.

Applicativo GIS MapRisk

Anche per quanto riguarda le informazioni di tipo territoriale è stato preliminarmente necessario identificare i dati da includere nel GIS e le modalità con cui organizzarle. Per predisporre l'applicativo si è scelto di utilizzare il programma ArcView, per la sua vasta diffusione e per la sua compatibilità con altri diffusi software di archiviazione e calcolo.

Le informazioni territoriali necessarie all'applicazione dell'analisi di rischio al caso di trasporto stradale di sostanze pericolose sono costituite essenzialmente dai dati di meteorologia, incidentalità e popolazione: tali dati, inoltre, devono essere disponibili per i vari punti del percorso. Occorre quindi, preliminarmente, disporre di uno schema completo della rete stradale e suddividerla in segmenti unitari a cui riferire tutte le informazioni necessarie. Quando, alcuni anni fa, si è avviata questa parte del programma di ricerca una copertura di questo tipo non era disponibile, per cui è stato necessario predisporla basandosi sulla cartografia stradale esistente. Si è quindi stabilito di utilizzare una segmentazione in tratte regolari della lunghezza di 1 km, a cui è più semplice riferire le informazioni di incidentalità [9], e di estendere tale segmentazione a tutte le strade statali ed autostrade di Italia. Non si è infatti ritenuto di estendere la segmentazione anche alle strade provinciale e comunali, sia per l'onere considerevolissimo che ciò avrebbe rappresentato, sia per l'assenza di dati locali di incidentalità: per questa tipologia di strade, infatti, i dati sono disponibili accorpati su base provinciale [10]. La suddivisione delle strade statali ed autostrade, d'altra parte, ha rappresentato un lavoro estremamente impegnativo che ha richiesto alcuni anni per essere completato. Anche se sono ora disponibili prodotti commerciali che offrono una copertura stradale più completa ed accurata, quella realizzata offre comunque indiscutibili vantaggi, quali la suddivisione in tratte di lunghezza unitaria che meglio si presta all'applicazione in esame.

Una volta proceduto alla segmentazione della rete stradale si sono inserite le localizzazioni delle stazioni di rilevamento meteorologiche, ad ognuna delle quali è stata associate una tabella di dati: la Figura 1 mostra le stazioni meteorologiche considerate e una parte della tabella relativa alla stazione di rilevamento di Grosseto.

Ad ogni segmento di strada è stata quindi associata una tabella relativa a 12 periodi stagionali, rispettivamente relativi alle ore più fredde, più calde ed intermedie delle quattro stagioni. I dati relativi sono stati valutati, per ogni tratto di strada, sulla base delle informazioni delle stazioni meteorologiche più vicine, tenendo conto della localizzazione degli spartiacque. Quindi, tali dati sono stati confrontati con le condizioni meteorologiche di riferimento utilizzate per la valutazione delle conseguenze, giungendo ad associare ad ogni periodo stagionale la rispettiva condizione meteorologica di riferimento. In tal modo, una volta selezionato il periodo dell'anno e della giornata in cui si svolge il viaggio, rimane definita per ogni segmento del percorso, anche la condizione meteorologica a cui vanno valutate le conseguenze degli eventi pericolosi.

Ad ogni segmento di strada è stato quindi associato il dato di incidentalità stradale [9], che è direttamente disponibile per ogni km: per essere utilizzato nell'analisi di rischio tale dato va combinato con quello dei

flussi di traffico, di cui sono attualmente disponibili dati aggiornati solo relativamente alle tratte autostradali. In attesa che l'ANAS renda disponibili analoghi dati per le strade statali, si è proceduto ad una valutazione di massima basata su alcune ipotesi semplificative [1,11].

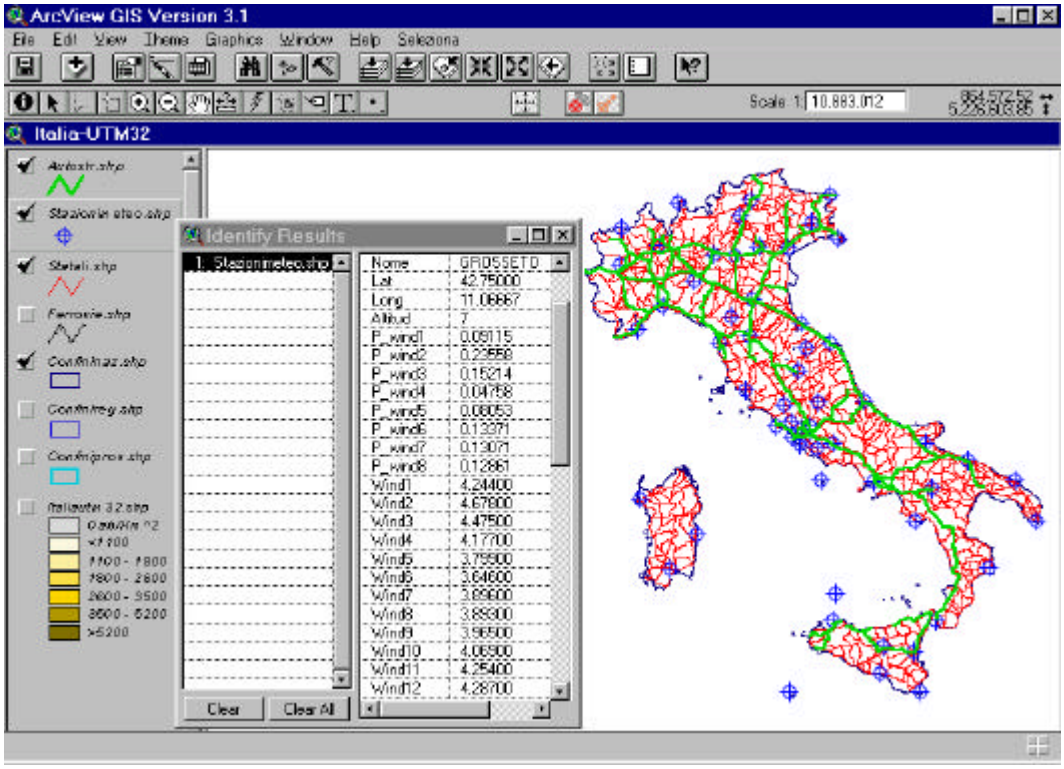

Figura 1: Localizzazione delle stazioni meteorologiche e tabella delle informazioni disponibili per la stazione di rilevamento di Grosseto.

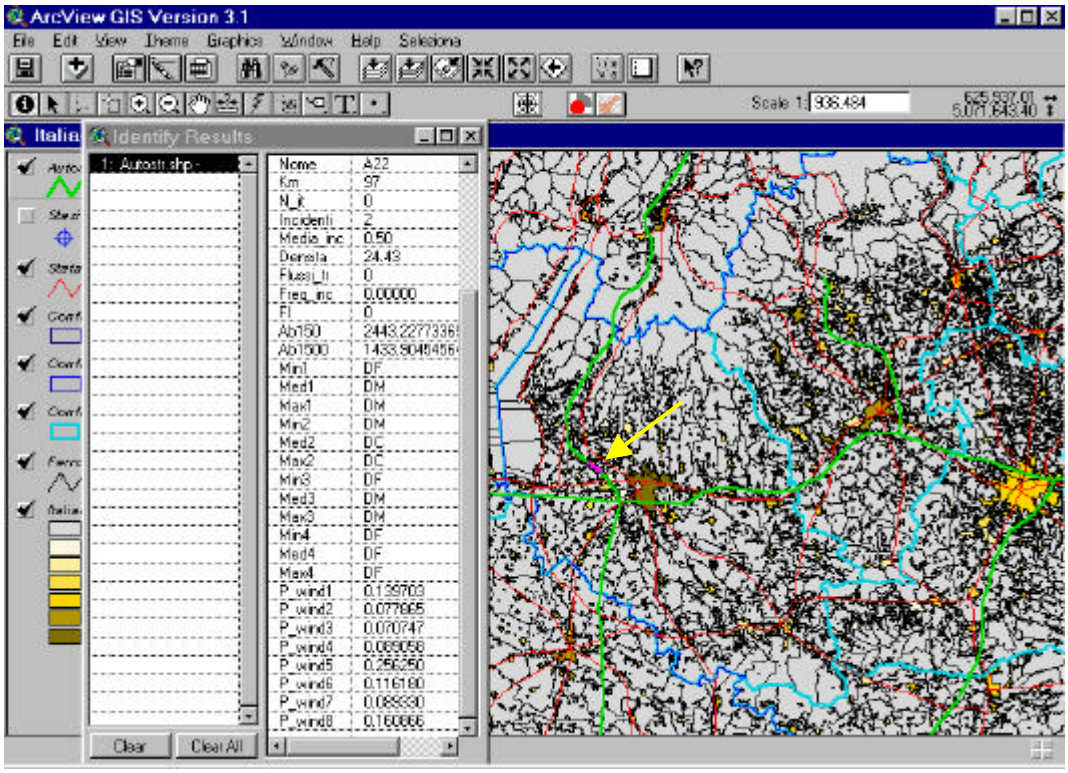

Figura 2: Copertura territoriale utilizzata e informazioni territoriali disponibili per il km 97 della A22

I dati relativi alla popolazione sono rilevati regolarmente dall'ISTAT [12] in occasione dei censimenti, l'ultimo dei quali si è tenuto nel 1991: essi sono disponibili con vario grado di dettaglio, che scende fino alle singole sezioni di censimento. Nel presente lavoro, la densità di popolazione è stata valutata basandosi sui dati georeferenziati relativi alle località abitate: essi sono stati riferiti ad ogni segmento di strada considerando la popolazione che risiede all'interno di fasce poste a distanza prestabilita da esso. L'estensione di queste fasce è stata fissata tenendo conto delle distanze a cui giunge mediamente l'area di impatto degli eventi pericolosi per i prodotti presenti nella banca dati: si è quindi stabilito di utilizzare due fasce, rispettivamente poste a distanza di 150 e 1500 m dalla strada. La prima è rappresentativa delle distanze mediamente raggiunte dalle aree di impatto di eventi pericolosi legati all'infiammabilità, la seconda della dispersioni di nubi tossiche: ovviamente, la popolazione a rischio viene calcolata, per ogni evento pericoloso, moltiplicando detta densità per l'effettiva area di impatto.

La Figura 2 mostra, a titolo di esempio, la tabella dei dati associati ad un certo chilometro dell'autostrada A22, identificato in fucsia sulla mappa ed indicato con la freccia gialla in figura. La tabella contiene, tra l'altro, la denominazione della strada, del chilometro in questione, il numero di incidenti e l'incidentalità media su quel chilometro, la densità di popolazione nelle due fasce a 150 e 1500 m, un codice che identifica le condizioni meteorologiche di riferimento in corrispondenza delle 12 condizioni meteorologiche stagionali, le probabilità di direzione di provenienza del vento ed è già predisposta per l'inserimento di ulteriori informazioni utili, non appena esse si renderanno disponibili.

Programma di valutazione del rischio TrHaz

Il programma di valutazione del rischio, TrHaz, gestisce e combina le informazioni relative al caso di trasporto con quelle relative al prodotto trasportato, contenute nella banca dati TrHazDat, e quelle territoriali, disponibili nell'applicativo GIS MapRisk, in modo da calcolare il rischio individuale ed il rischio sociale. La struttura del programma complessivo, denominato TrHazGis e le sue interazioni con i vari elementi che lo costituiscono, sono mostrate in Figura 3.

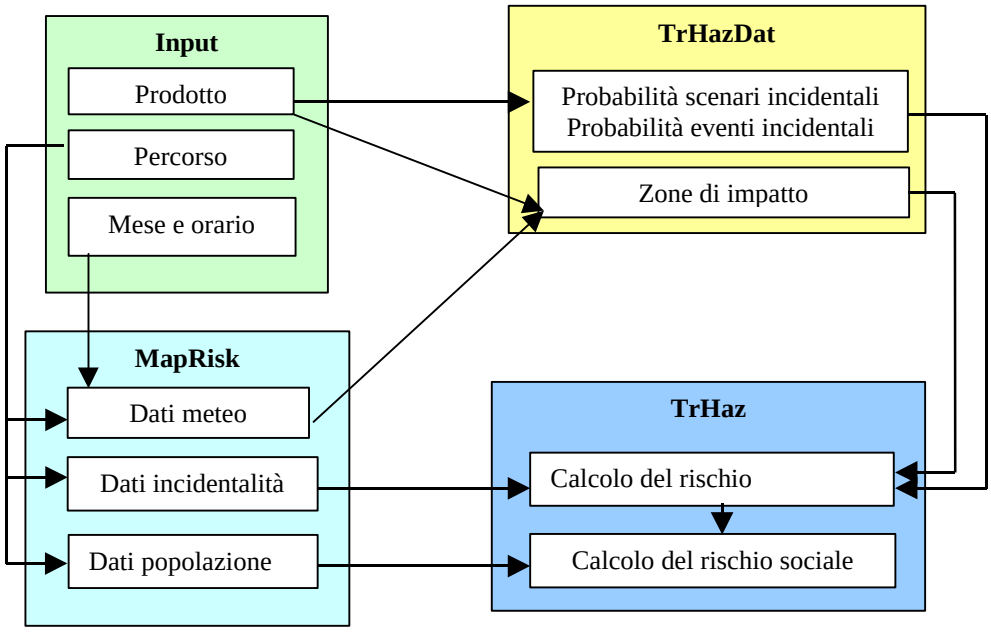

Figura 3: Struttura del programma TrHazGis per la valutazione del rischio

Il programma prevede una doppia opzione per la selezione del percorso, ossia utilizzando il programma GIS o direttamente inserendo le informazioni relative alle strade da percorrere. La scelta della seconda opzione è molto pratica, poiché consente di utilizzare il programma di valutazione del rischio sfruttando le informazioni territoriali dell'applicativo GIS, ma senza richiedere che esso venga avviato (il GIS funziona solo in presenza di una chiave hardware).

Ipotizzando di aver selezionato questa opzione, compare la maschera che consente di selezionare la sostanza oggetto del trasporto dalla lista delle sostanze disponibili (Figura 4) e quindi la maschera relativa al numero dei viaggi ed al percorso. Su di essa va selezionato il numero di viaggi effettuati per le varie condizioni meteorologiche (e nei vari orari della giornata), e specificato, per ogni tratto di cui si compone il percorso, la progressiva chilometrica iniziale e finale. Una volta scelta, ad esempio, la tipologia "autostrada",

occorre selezionare l'identificativo dell'autostrada dall'elenco ed indicare il km di ingresso e di uscita (Figura 5); quindi si inseriscono in successione questi dati per ogni tratto su autostrada e su statale di cui si compone il percorso. Per i tratti su strada provinciale, data la carenza di dati dettagliati di incidentalità, va indicato semplicemente il chilometraggio complessivo all'interno di ogni regione; infine, per i tratti su strade cittadine, il solo chilometraggio complessivo.

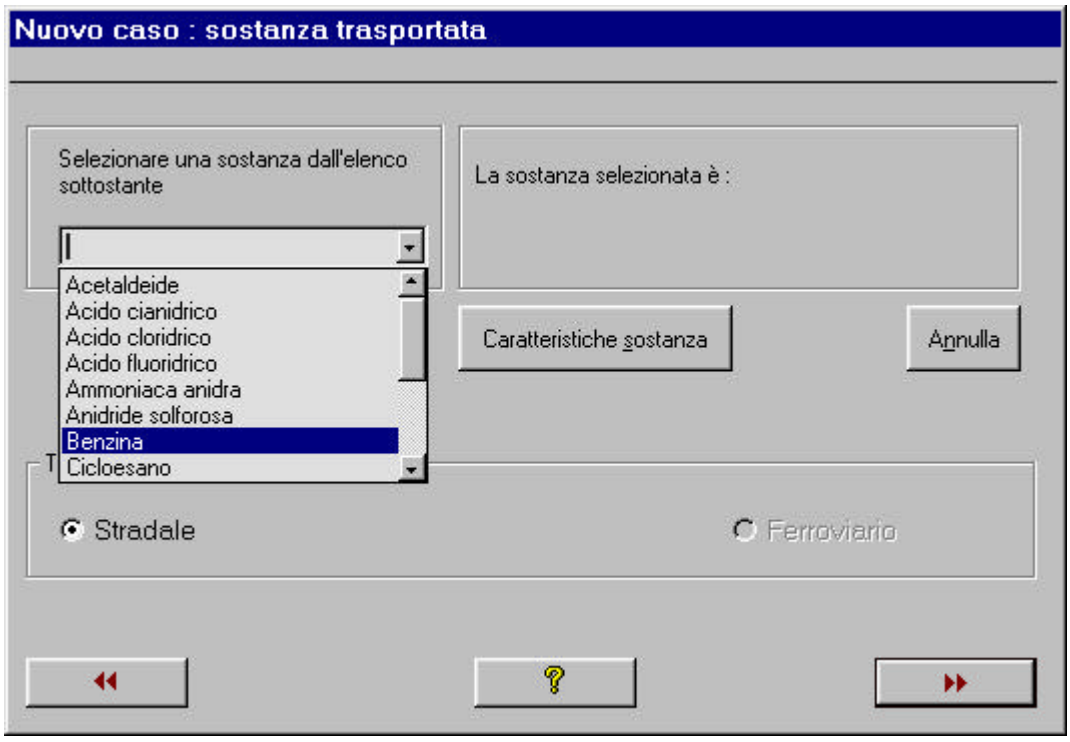

Figura 4: Scelta della sostanza di cui si effettua il trasporto

Figura 5: Inserimento dei dati relativi al percorso

Una volta terminato l'inserimento dei dati, il programma esegue i calcoli: l'operazione può richiedere dalle decine di secondi a qualche minuto, dipendentemente dalla velocità del processore utilizzato e dalla complessità e lunghezza del percorso: la maschera successiva consente di scegliere se visualizzare il rischio individuale, il rischio sociale, o ritornare al GIS Il rischio individuale, sulla base dell'eq. (1), varia con la localizzazione geografica, ossia lungo il percorso: esso viene quindi calcolato per i vari tratti su autostrada, statale, provinciale o strada urbana di cui è composto il percorso.

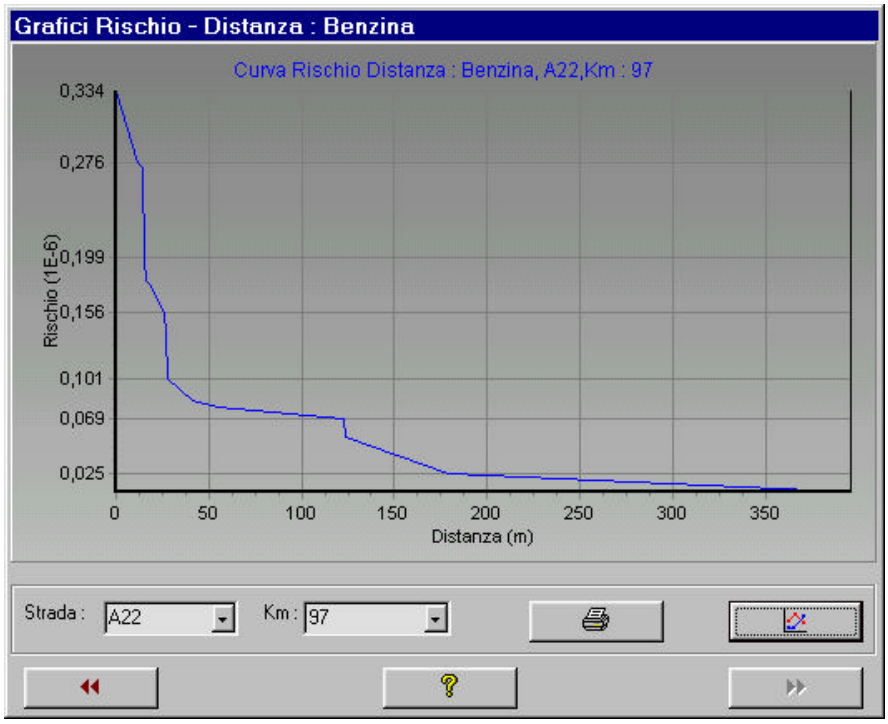

Figura 6: Curva del rischio individuale in funzione della distanza dalla strada per un km del percorso

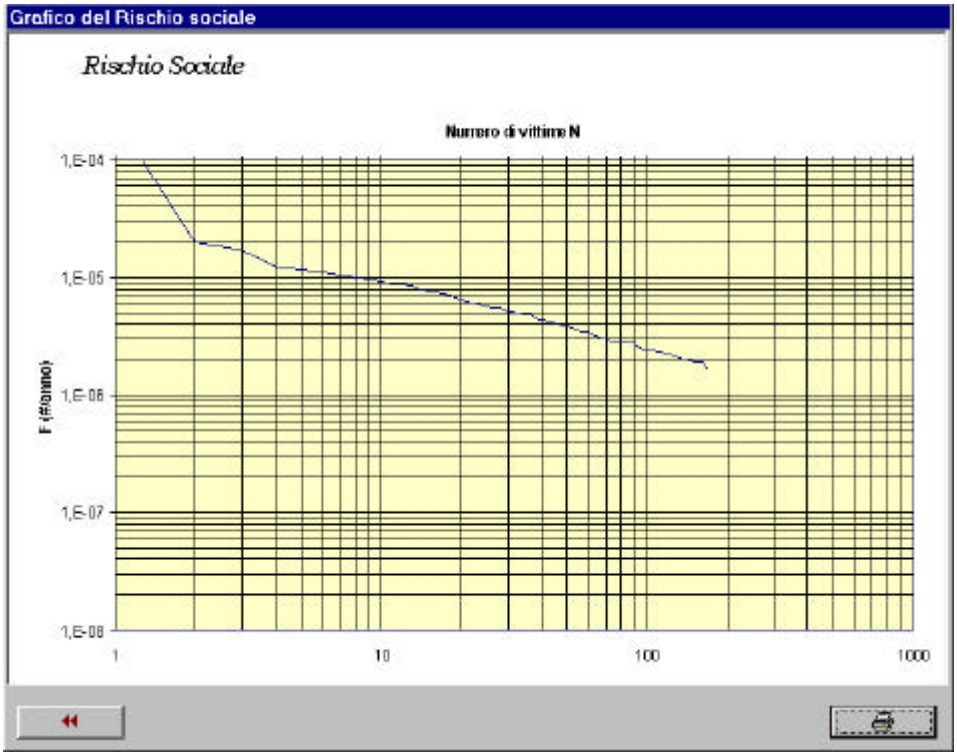

Figura 7: Curva del rischio sociale dell'intero percorso

Selezionando la strada e la progressiva chilometrica di interesse si può visualizzare il rischio individuale in funzione della distanza dalla strada (Figura 6). Il rischio sociale viene valutato, sulla base delle eq.(2-3) con riferimento all'intero percorso, poiché costituisce una grandezza di riferimento mediante la quale confrontare il rischio del trasporto in esame con altre tipologie di rischio o con opportune soglie di riferimento.

Il grafico relativo alla curva F-N del rischio sociale (Figura 7) può essere memorizzato, come pure può essere memorizzato l'intero caso di trasporto di cui si è effettuata l'analisi, per richiamarlo successivamente, eventualmente modificando qualche dato.

APPLICAZIONE DEL PROGRAMMA AD ALCUNI CASI DI ANALISI DI RISCHIO

Il software TrHazGis è stato quindi applicato ad alcuni casi esemplificativi: il primo fa riferimento alla valutazione del rischio relativo al trasporto di una sostanza pericolosa lungo due tragitti diversi, il secondo confronta il rischio per alcune sostanze pericolose lungo uno stesso percorso.

Il primo caso esaminato è costituito dal trasporto di grossi quantitativi di benzina con origine a Porto Marghera e termine al confine di stato del Brennero: i due percorsi esaminati sono rappresentati in Figura 8: il primo prevede una ventina di chilometri sulle statali 11 e 309 fino all'immissione nell'autostrada A4 e la prosecuzione lungo la A22 fino al confine, per un totale di circa 350 km; il secondo, più diretto, percorre circa 75 km sulle autostrade A27 ed A4, prosegue con 125 km sulle statali 51 e 49 e termina con 40 km sull'autostrada A22 fino al confine, per un totale di circa 240 km.

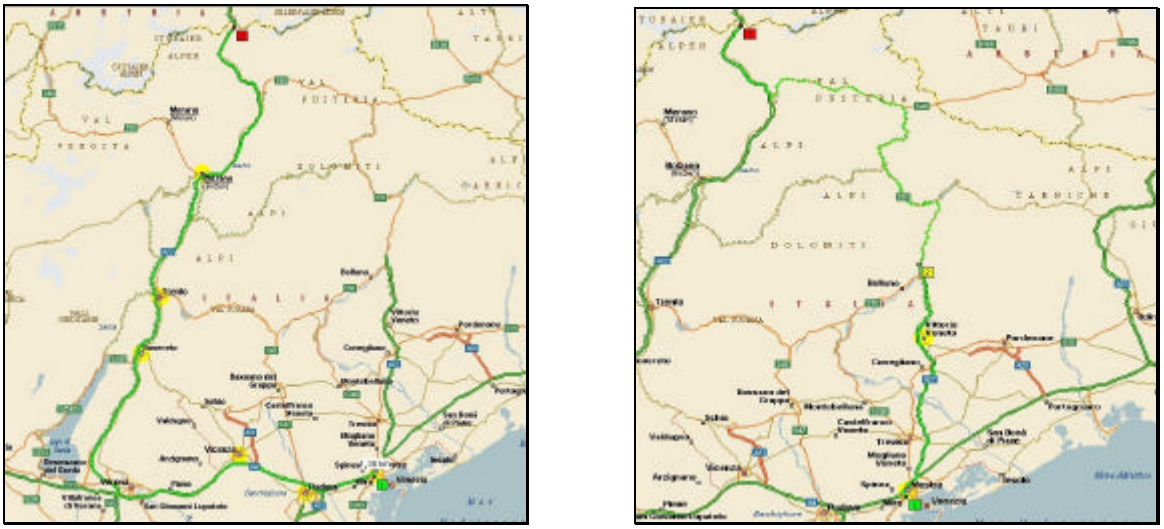

Figura 8: Percorsi considerati nella primo caso di esempio di applicazione della metodologia

Sono state quindi calcolate le curve del rischio sociale relative ai due percorsi, assumendo un trasporto di 65700 t/anno di benzina mediante 739 viaggi per stagione: i risultati, riportati in Figura 9, mostrano come il secondo percorso risulti meno pericoloso del primo. Ciò dipende, ovviamente, dalla combinazione di numerosi fattori, tra i quali, *in primis*, gioca un ruolo significativo la lunghezza totale del percorso, notevolmente più breve nel secondo caso. Vi sono tuttavia altri fattori che intervengono in modo più complesso e non facilmente predicibile, quali l'incidentalità maggiore sulle strade statali rispetto alle autostrade, la vicinanza ai centri abitati e l'estensione dei centri abitati stessi, parametri che variano localmente e che sono tenuti in debito conto dal programma di calcolo.

Il secondo caso fa riferimento al trasporto di tre prodotti, diversi per caratteristiche chimico-fisiche e per pericolosità, ossia benzina, cloro e cloruro di vinile, lungo la tratta autostradale sulla A22 relativa al primo percorso esaminato in precedenza, assumendo un singolo viaggio per stagione. In questo caso, la maggiore pericolosità di cloruro di vinile e cloro rispetto alla benzina determina, a parità di percorso, la sensibile differenza nella curva del rischio sociale riportata in Figura 10. Ne consegue che, effettuando un confronto con standard di accettabilità del rischio, il percorso che comporta un rischio tollerabile nel caso del trasporto di un particolare prodotto può non essere idoneo al trasporto di un'altra sostanza.

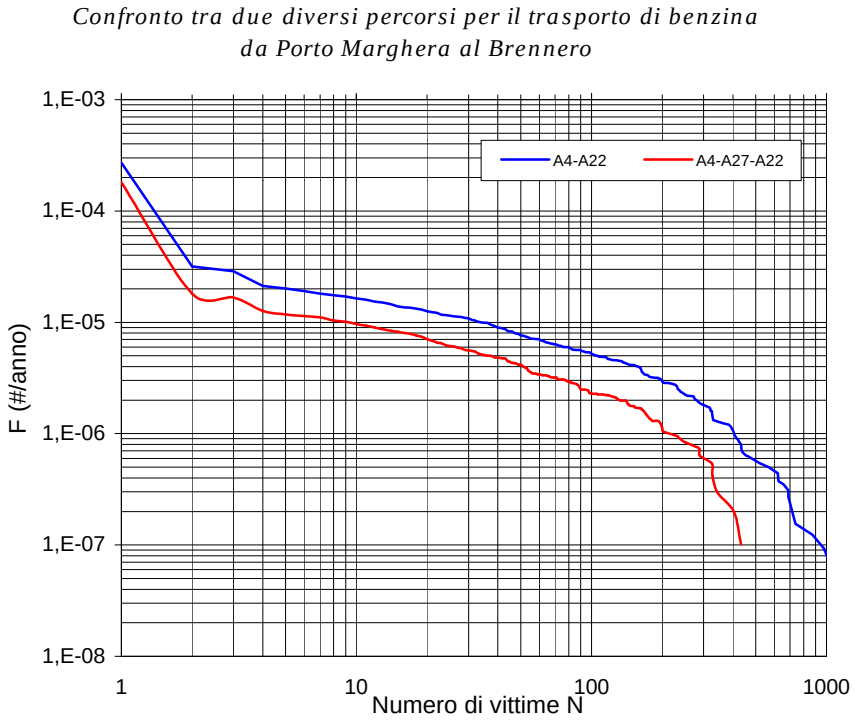

Figura 9: Confronto del rischio sociale nel trasporto di benzina secondo i due percorsi oggetto del primo caso di applicazione della metodologia.

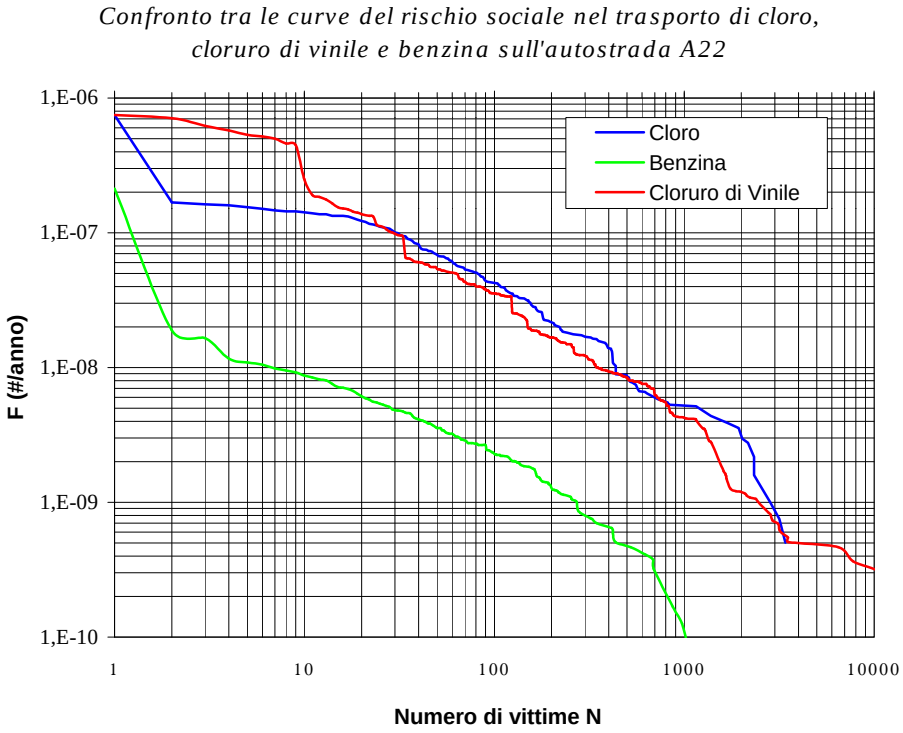

Figura 10: Confronto del rischio sociale nel trasporto di vari prodotti oggetto del secondo caso di applicazione della metodologia.

CONCLUSIONI

Il software TrHazGis costituisce uno strumento innovativo, ed unico nel suo genere, che consente di quantificare il rischio nel trasporto stradale di sostanze pericolose basandosi su informazioni territoriali molto dettagliate. Il programma fornisce inoltre utili indicazioni relativamente a "punti neri", ossia alla localizzazione di tratti di percorso in cui il rischio è particolarmente elevato, sulla base delle curve rischio-distanza.

L'utilizzo dell'applicativo è finalizzato alla gestione del rischio in questo tipo di attività, sia attraverso la verifica dei valori ottenuti dall'analisi rispetto ad opportune soglie di accettabilità, sia attraverso il confronto con l'utilizzo di percorsi o modalità di trasporto alternativi, in grado di ridurre il livello del rischio. L'estensione del programma all'analisi di percorsi ferroviari è infatti in corso, e la banca dati prodotti contiene già le informazioni relative alle probabilità di sversamento, alle evoluzioni degli scenari incidentali ed alle loro conseguenze in caso di trasporto ferroviario.

L'aggiornamento delle informazioni territoriali, ove si rendessero disponibili dati più accurati o più recenti, è assai agevole, poiché si sono utilizzati standard compatibili con quelli in uso presso le varie Amministrazioni ed Enti deputati alla loro raccolta; inoltre, non occorre modificare la struttura del programma per lavorare sui nuovi dati.

RINGRAZIAMENTI

Si desidera ringraziare il Dipartimento della Protezione Civile ed il C.N.R. Gruppo Nazionale Difesa Rischio Chimico-Industriale ed Ecologico per il supporto finanziario fornito a questo lavoro e gli Ingg. A.Di Stefano ed A.Guerrieri per la collaborazione fornita nella predisposizione dell'applicativo GIS.

BIBLIOGRAFIA

[1] CCPS, Guidelines for chemical transportation risk analysis, New York, AIChE, (1995).
[2] R. Bubbico, S. Di Cave and B. Mazzarotta, TrHaz: a quantified risk assessment tool for road transport of dangerous goods in Italy, Proceeding SRA 1998 Annual Conference "Risk analysis: opening the process", vol. 2, pp.665-676, (1998).
[3] R..Bubbico, S.Di Cave, B.Mazzarotta,, Transportation risk analysis: a GIS approach, Chemical Industry and Environment III, 2nd Vol., pp.333-340, Ed. R.Zarzycki & Z.Malecki Cracovia (1999).
[4] OSH-ROM, HSELINE, C15DOL, MHIDAS, NIOSHTIC, London, Silver Platter (1998).
[5] Banca Dati Incidenti VV. F., Roma, (1993).
[6] CCPS, Guidelines for chemical process quantitative risk analysis, New York, AIChE, (1989).
[7] ISTAT, Statistiche meteorologiche anni 1984-1991, Ann. n.25. Roma (1994).
[8] Safer System LLC, TRACE 8 User Guide. Westlake Village (1998).
[9] ACI-ISTAT, Atti 52° Conf. del traffico e della circolazione, Stresa (1996).
[10] ACI, Analisi dell'incidentalità stradale a livello nazionale e regionale, provinciale e nei comuni con oltre 250.000 abitanti, Roma (1997).
[11] M.Conforti, Sviluppo di una metodologia er la valutazione del rischio per la popolazione nel trasporto stradale di sostanze chimiche pericolose, Tesi di Laurea in Ingegneria Chimica, Università di Roma "La Sapienza" (2000).
[12] ISTAT, 13° Censimento generale della popolazione e delle abitazioni, Roma (1992).