

## **ANALISI DELLA SICUREZZA NEL TRASPORTO DI MERCI PERICOLOSE VIA STRADA E FERROVIA IN SICILIA**

Roberto Bubbico, Giuseppe Maschio\*, Barbara Mazzarotta, Ettore Parisi, Valeria Usai

Dipartimento di Ingegneria Chimica, Università di Roma "La Sapienza", Via Eudossiana 18, 00184, Roma  
Tel. 06-44585-590; Fax. 06-4827453; E-mail: [mazzarot@ingchim.ing.uniroma1.it](mailto:mazzarot@ingchim.ing.uniroma1.it)

\* Dipartimento di Chim. Industr. e Ing. Materiali, Università di Messina, Salita Sperone 31, 98166, Messina

E' stata eseguita un'analisi della sicurezza nel trasporto stradale e ferroviario di merci pericolose in Sicilia, utilizzando uno strumento software, appositamente sviluppato, in grado di effettuare valutazioni del rischio individuale e sociale basate su informazioni territoriali accurate. Sono stati analizzati 35 casi di trasporto stradale (14 prodotti e 14 percorsi) e 8 casi di trasporto ferroviario (8 prodotti e 3 percorsi), che rappresentano un insieme significativo delle attività di trasporto delle sostanze maggiormente pericolose. I risultati mostrano che il rischio relativo alla strada, su cui viaggia circa il 96% del totale trasportato, è significativamente elevato e che è possibile ottenere una sensibile riduzione del rischio complessivo ipotizzando uno spostamento dalla strada alla ferrovia di una parte dei prodotti trasportati.

### **1. INTRODUZIONE**

Le problematiche relative al trasporto delle merci pericolose via terra e, in particolare, via strada e ferrovia, stanno diventando sempre più attuali in considerazione del verificarsi di alcuni incidenti con un bilancio assai pesante, sia in termini di vite umane che di ripercussioni sulla mobilità, come pure per una maggiore presa di coscienza collettiva sulla necessità di individuare modalità di trasporto alternative e più "sicure" [1] sia per l'uomo che per l'ambiente.

L'analisi dell'effettiva pericolosità di queste attività è resa complessa dal gran numero di fattori di cui occorre tenere conto per una valutazione accurata del rischio (incidentalità, popolazione, meteorologia, ecc.) e dalla loro continua variabilità lungo il percorso, per cui la gran mole di informazioni e di calcoli necessari limita di fatto l'estensione al trasporto di merci pericolose delle metodologie da tempo messe a punto ed utilizzate per l'analisi di rischio negli impianti fissi [2]. Per rendere gestibile il problema viene suggerito [3] di suddividere il percorso in tratte omogenee in cui si possano considerare costanti i parametri coinvolti: di fatto, tali tratte sono spesso individuate semplicemente sulla base delle caratteristiche delle infrastrutture coinvolte e della densità abitativa circostante, individuando in tal modo classi di valori di incidentalità e di popolazione, mentre non si tiene generalmente conto delle variazioni delle condizioni meteorologiche. Un approccio di questo genere è alla base di metodi "short-cut" commerciali [4], adatti ad una primissima valutazione del livello del rischio.

Introducendo ipotesi più realistiche riguardo alle condizioni meteorologiche e gli scenari incidentali [5] è possibile ottenere analisi più precise, ma non si raggiunge ancora quel livello di accuratezza che è generalmente richiesto in questo tipo di valutazioni. E' quindi necessario dotarsi di strumenti più raffinati, che tengano conto in modo accurato della variabilità locale dei parametri lungo l'itinerario: a tale scopo si possono utilizzare applicativi che sfruttano le potenzialità dei sistemi informativi geografici (GIS). Tuttavia, gli applicativi commerciali non riportano le informazioni necessarie per l'analisi di rischio, quali incidentalità, traffico, popolazione e condizioni meteorologiche lungo le vie di comunicazione: tali dati vanno quindi reperiti dalle varie fonti che ne sono in possesso e quindi manipolati in modo da poterli riferire in modo corretto alle tratte elementari di percorso.

Un applicativo GIS di questo tipo, denominato MapRisk, è stato messo a punto dal Dipartimento di Ingegneria Chimica dell'Università di Roma "La Sapienza" nell'ambito di un progetto di ricerca finanziato dal Gruppo Nazionale Difesa dai Rischi Chimico-Industriali ed Ecologici (GNDRICIE) del Consiglio Nazionale delle Ricerche. Tale progetto ha comportato alcuni anni di lavoro e l'applicativo è stato predisposto in modo da potere fornire le informazioni territoriali occorrenti alla valutazione del rischio nel trasporto stradale e ferroviario di sostanze pericolose [6].

L'effettivo utilizzo dell'analisi di rischio come strumento di gestione del trasporto di merci pericolose richiede però, non solo la disponibilità di dati accurati, ma anche la possibilità di effettuare le valutazioni in un tempo ragionevolmente breve. Tale esigenza si scontra con il problema collegato alla varietà di prodotti trasportati e degli scenari incidentali, che si traduce in una ancor maggiore varietà di possibili evoluzioni dello scenario incidentale a dare luogo a varie tipologie di incendi (jet fire, pool fire, flash fire, fireball) esplosioni (BLEVE, UVCE) e nubi tossiche, dipendentemente dalle caratteristiche della sostanza coinvolta e dalle condizioni di trasporto. Poiché ognuno di tali eventi finali va modellizzato attraverso l'analisi delle conseguenze per valutare l'area di impatto, che varia con le condizioni meteorologiche, risulta evidente che

tale fase della valutazione del rischio risulta assai impegnativa, sia in termini temporali sia per la necessità che essa sia affidata a specialisti che utilizzino i modelli matematici più aggiornati ed affidabili. Ne consegue come nella valutazione complessiva del rischio nel trasporto di merci pericolose l'analisi delle conseguenze degli scenari incidentali rappresenti lo step controllante dal punto di vista dei tempi di esecuzione dell'analisi. Anche in questo caso è però possibile velocizzare il processo, se l'analisi delle conseguenze viene effettuata a priori per un certo numero di scenari incidentali, tipici delle modalità di trasporto considerate, e condizioni meteorologiche di riferimento, inserendo direttamente i risultati, in termini di aree di impatto, angoli di effetto e distanze raggiunte, in una banca dati prodotti. In tal modo, posto che il prodotto di interesse sia presente nella banca dati, l'analisi del rischio viene enormemente velocizzata e può essere portata a termine anche da un tecnico non specialista.

Una banca dati prodotti con queste caratteristiche, denominata TrHazDat, è stata anch'essa messa a punto da Dipartimento di Ingegneria Chimica dell'Università di Roma "La Sapienza" nel corso degli ultimi anni: essa contiene attualmente informazioni sulle conseguenze degli eventi pericolosi che possono scaturire da 2 scenari incidentali sia per il trasporto stradale che ferroviario, valutate per 6 diverse condizioni meteorologiche e per 29 sostanze infiammabili e/o tossiche tra quelle maggiormente oggetto di trasporto nel nostro Paese, valutate mediante un software commerciale di analisi delle conseguenze [7]. Essa contiene inoltre i valori di probabilità associati ad ogni scenario incidentale ed evento pericoloso, derivati dalle informazioni su casi storici [8-9].

Lo strumento software complessivamente ottenuto dalla combinazione dell'applicativo GIS MapRisk, con la banca dati prodotti TrHazDat, denominato TrHazGIS [10] consente quindi di effettuare un'analisi accurata e al tempo stesso rapida del rischio nel trasporto stradale e ferroviario di sostanze pericolose e risponde quindi ai requisiti richiesti per uno strumento gestionale ed applicativo agile ed efficace.

Nel presente lavoro questo strumento è stato applicato ad un caso reale e complesso, rappresentato dal complesso delle attività di trasporto stradale e ferroviario di merci pericolose in Sicilia. Tale ambito regionale costituisce un buon banco di prova per la presenza di numerosi ed importanti impianti industriali e di una vasta attività di trasporto di prodotti pericolosi via terra. A tale riguardo occorre tenere presente le difficoltà nel reperire informazioni riguardanti i quantitativi effettivamente trasportati, le modalità di trasporto utilizzate, le località di origine e destinazione ed il percorso seguito, che ha richiesto una paziente azione di recupero delle informazioni presso le varie aziende/enti che, a vario titolo, ne erano in possesso, nonché un'accurata verifica della loro congruenza ed affidabilità.

## 2. METODOLOGIA

Lo strumento software TrHazGIS, che sarà descritto in maggior dettaglio in questo paragrafo, consente come detto di valutare il rischio individuale e sociale associato al trasporto di merci pericolose via strada e ferrovia attraverso la combinazione delle informazioni territoriali contenute nell'applicativo GIS MapRisk e quelle relative ai prodotti contenute nella banca dati TrHazDat.

Il programma di valutazione del rischio fornisce curve del rischio individuale geografico per ogni tratta in funzione della distanza e le curve F-N del rischio sociale complessive per l'intero percorso.

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. Per ogni tratto considerato esso si può valutare, come [3]:

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

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.

Le curve F-N del rischio sociale 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 [3]:

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

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

dove  $CA_{i,k}$  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.

L'applicativo MapRisk copre le informazioni territoriali (incidentalità, popolazione e meteorologia) necessarie per applicare le eq. 1-3 per tutto il territorio nazionale: per le principali vie di comunicazione stradale (statali e autostrade) il grado di dettaglio è pari a 1 km, per la viabilità minore si utilizzano dati medi accorpatisi a livello regionale e per le linee ferroviarie si utilizzano i dati per tratta.

Le fonti dei dati di incidenti sono le rilevazioni annuali ACI-Istat degli incidenti per km di estesa stradale principale [11] e complessiva [12]; per i dati di traffico autostradale si sono utilizzate le informazioni AISCAT [13] mentre e per quello stradale si è proceduto sulla base di ipotesi semplificative [10].

Per ogni tratta elementare di percorso stradale e ferroviario si sono calcolati i dati relativi alla popolazione a partire dai dati Istat [14] del censimento 1991 relativi alle località abitate (circa 70.000) utilizzando la procedura seguente. Poiché l'estensione delle zone di effetto degli eventi incidentali rispetto al punto considerato è molto variabile (si va da una decina di metri nel caso di un jet fire alla decina di chilometri nel caso di una nube tossica) ed è pure variabile la localizzazione dei centri abitati rispetto all'itinerario seguito, occorre preliminarmente definire delle fasce entro cui valutare la densità media di popolazione. Tenuto conto sia delle distanze di effetto ottenute per i vari prodotti e per i vari scenari incidentali, sia dell'esigenza di contenere al massimo il numero delle fasce da considerare, si è stabilito di utilizzarne due, con distanza rispettivamente 150 e 1.500 m dal punto mediano della tratta. Tali fasce sono utilizzate soltanto per ottenere valori appropriati di densità di popolazione ed il numero di persone a rischio viene valutato moltiplicando l'area di impatto per la densità relativa alla prima fascia per gli eventi con raggio di azione sotto a 150 m, mentre si utilizza la densità relativa alla seconda fascia in tutti gli altri casi.

Le condizioni meteorologiche (temperatura massima, media e minima stagionale; velocità media del vento annuale) sono state valutate per ogni tratto stradale e ferroviario sulla base dei dati rilevati nelle stazioni meteorologiche [15] vicine e poste sullo stesso versante rispetto allo spartiacque, pesati con l'inverso del quadrato della distanza tra tratta considerata e punto di rilevamento. I dati così ottenuti sono stati confrontati con 6 condizioni meteorologiche di riferimento (temperatura di 5, 14 e 26°C, velocità del vento 3 e 6 m/s) determinando quella più vicina ai valori temperatura massima, media e minima stagionali di ogni tratta. Si è quindi associata ad ogni tratta stradale e ferroviaria una serie di 12 condizioni meteorologiche di riferimento, relative rispettivamente alle 4 stagioni ed alle 3 condizioni di viaggio in pieno giorno, primo mattino e tarda serata, e piena notte.

La banca dati prodotti TrHazDat contiene, per ogni prodotto presente, le probabilità di rilascio medio e catastrofico a seguito di incidente stradale o ferroviario, le probabilità che ognuno di essi evolva nei possibili eventi pericolosi finali (jet fire, pool fire, flash fire, UVCE, nube tossica, ecc.) ed i risultati ottenuti dall'analisi delle conseguenze di ognuno di questi eventi pericolosi finali, valutati in corrispondenza delle 6 condizioni meteorologiche di riferimento citate in precedenza. In particolare, le probabilità di rilascio e di sua evoluzione negli eventi pericolosi finali è stata valutata mediante analisi statistica dei casi riportati su due banche dati, una nazionale [8] ed una internazionale [9], mentre l'analisi delle conseguenze è stata effettuata mediante il software Trace 8.b [7]. A tale riguardo si sono utilizzate come soglie di letalità i valori di 10 kW/m<sup>2</sup> per la radiazione termica, di 5 kPa per la sovrappressione (individui al coperto) e di IDLH per la tossicità, determinando, per ogni evento pericoloso finale e situazione meteorologica le aree di impatto, le distanze e gli angoli di effetto.

Il programma di valutazione del rischio richiede di selezionare la sostanza ed il numero di viaggi per ogni stagione, indicando il periodo della giornata in cui esso si svolge; occorre quindi definire il percorso, indicando, per un percorso stradale, i chilometri iniziali e finali di ogni statale ed autostrada che ne fa parte, ed i chilometri complessivi percorsi su viabilità locale e urbana, e, per quello ferroviario, le tratte percorse. Sulla base dei dati di input il programma seleziona i valori di incidentalità di ogni tratta, che vengono combinati con le probabilità di fuoriuscita e con quelle degli eventi pericolosi finali. Sulla base delle condizioni meteorologiche stagionali dei viaggi vengono quindi selezionati i risultati dell'analisi delle conseguenze di questi eventi pericolosi e quindi le aree di impatto, che, combinate con la densità di popolazione di ogni tratta consentono di determinare la popolazione a rischio. Il calcolo richiede un paio di minuti su un PC con processore Pentium III.

Il programma consente inoltre di memorizzare i casi studiati e le relative curve F-N del rischio sociale che possono quindi essere sommate, in modo da ottenere la curva complessiva relativa a più casi di trasporto che originano da uno stesso stabilimento, o che si svolgono lungo un medesimo itinerario o che interessano una zona più o meno ampia, come una regione o, al limite, l'intero territorio nazionale.

### 3. IL TRASPORTO DI MERCI PERICOLOSE IN SICILIA

La Regione Siciliana rappresenta una delle aree a più alta concentrazione di insediamenti ad elevato rischio di incidente rilevante esistenti in Italia. Gli impianti fissi presenti nella regione sono in grado di

trattare complessivamente circa 100 milioni di tonnellate di prodotti petroliferi e chimici per anno, anche se negli ultimi anni la produzione reale è diminuita considerevolmente rispetto a quella potenziale.

Le aree più critiche sono concentrate nel settore sud-orientale dell'isola e tra esse, nel tratto di costa che va da Siracusa ad Augusta è presente una delle più elevate concentrazioni di impianti chimici e di raffinazione esistenti in Europa. La presenza di piccole e medie imprese operanti nel settore chimico appare, invece, veramente limitata. Come conseguenza si ha una sovrapproduzione di prodotti petroliferi e chimici di base rispetto ai consumi regionali e elevati flussi di tali prodotti e di materie prime in ingresso ed in uscita dal territorio regionale.

La regione è inoltre attraversata dal gasdotto transmediterraneo proveniente dall'Algeria e da una rete di oleodotti e gasdotti che collegano i petrolchimici di Priolo, Gela e Ragusa.

Infine, non va trascurato che l'area in questione è soggetta ad altre sorgenti di rischi potenziali come quello sismico, vulcanico ed idrogeologico. A tutto questo si accompagna lo stato di degrado nell'assetto del territorio e le notevoli carenze nelle infrastrutture e nella rete dei sistemi di trasporto stradale e ferroviario.

I dati relativi al trasporto delle merci pericolose in Sicilia sono stati raccolti per l'anno 2000 a cura del Dipartimento di Chimica Industriale ed Ingegneria dei Materiali dell'Università di Messina nell'ambito di un progetto di ricerca finanziato dal Gruppo Nazionale Difesa dai Rischi Chimico-Industriali ed Ecologici del Consiglio Nazionale delle Ricerche.

La raccolta dei dati è stata eseguita in collaborazione con l'Ufficio di Protezione Civile della Prefettura di Messina, utilizzando le seguenti fonti di informazioni :

- Aziende Chimiche e petrolchimiche della regione (dati complessivi e tipologia di sostanze),
- Ferrovie dello Stato (dati sul trasporto su rotaia e intermodale),
- Capitaneria di Porto di Messina (dati relativi al traghettamento sullo Stretto di Messina) ,
- Società private di navigazione (dati relativi al passaggio dello Stretto di Messina su strada).

I dati raccolti hanno permesso di individuare le principali sostanze trasportate e i valori dei relativi flussi su base annua. E' stato possibile individuare le sostanze che per caratteristiche chimico-fisiche e di pericolosità e per numero di vettori rappresentano le principali fonti di rischio potenziale.

I dati del censimento sono stati inseriti in un data base relazionale costruito in ambiente ACCESS che permette una rapida visualizzazione dei dati raggruppati per categorie d'interesse. Inoltre per ogni sostanza sono stati individuati gli scenari incidentali più probabili e le procedure per la gestione delle emergenze.

Per una più agevole esecuzione delle simulazioni successive degli eventi incidentali, si è ritenuto opportuno "accorpate" le sostanze censite in un numero minore di gruppi tenendo conto delle caratteristiche chimico-fisiche e del tipo (infiammabili, esplosivi, tossici) e grado di pericolosità.

Sulla base dei dati raccolti è possibile tracciare il quadro complessivo dei flussi di prodotti chimici e petroliferi in ingresso e in uscita dalla Regione.

Per quanto concerne gli ingressi, essi sono costituiti per la massima parte da greggio che viene trasportato via mare.

I prodotti in uscita, compresi gli interscambi tra i poli produttivi, sono costituiti da prodotti petroliferi e prodotti chimici che vengono trasportati in maniera più diversificata. I prodotti petroliferi in uscita dagli stabilimenti sono trasportati prevalentemente via mare, mentre la movimentazione via terra è in buona parte rappresentata dai consumi interni regionali di carburanti, combustibili e da interscambio tra stabilimenti. Per quanto riguarda i prodotti chimici che, avendo consumi interni molto limitati, sono per la quasi totalità inviati nel continente, si osserva una situazione più differenziata con consistenti percentuali di prodotti trasportati per strada e ferrovia.

La situazione delineata evidenzia come nella Regione Siciliana il rischio di incidenti coinvolgenti il trasporto di prodotti chimici interessa una parte di territorio regionale ben più vasta rispetto a quella occupata dagli impianti fissi.

Gli stabilimenti complessivamente considerati sono stati 7: la movimentazione prevalente è quella navale, che interessa oltre 51 Mt/anno, seguita da quella per condotta e quella stradale, pari a circa 4 Mt/anno ognuna, e da quella ferroviaria intorno a 0.2 Mt/anno: il trasporto stradale e ferroviario, pur rappresentando solo poco più del 7 % del totale complessivo, rappresenta comunque, in valore assoluto, quantitativi ragguardevoli.

Data la localizzazione degli stabilimenti (vedi Figura 1) le attività di trasporto stradale e ferroviario interessano prevalentemente la Sicilia orientale e, in particolare, le direttrici che collegano gli stabilimenti con gli imbarchi del porto di Messina. Ad evitare motivi di incertezza, l'esatta localizzazione degli stabilimenti è stata determinata in loco, in corrispondenza del cancello di ingresso/uscita delle merci, mediante GPS.

Sulla base dei dati disponibili, che indicavano quantitativi trasportati, modalità di trasporto e stabilimenti/località di origine/destinazione si sono preliminarmente individuati i percorsi presumibilmente seguiti, ove non fossero indicati, basandosi su un programma di routing commerciale e sulla cartografia delle

zone interessate, nonché, con l'ausilio dell'applicativo GIS MapRisk, i chilometri iniziali e finali di ogni tratta su strada statale e autostrada o le tratte ferroviarie di interesse.



Figura 1. Localizzazione delle principali aree industriali e città della Sicilia

Si è quindi proceduto ad un esame approfondito dei prodotti coinvolti: in alcuni casi le sostanze risultavano univocamente identificate sulla base della denominazione chimica, mentre in altri veniva fornita una denominazione più generale (ad esempio: glicoli condensati) oppure il nome commerciale. Sulla base del numero identificativo ONU del prodotto è stato comunque possibile risalire alle sue caratteristiche principali ed alla codifica ADR/RID della normativa relativa al trasporto stradale/ferroviario delle sostanze pericolose. A tale riguardo occorre precisare che, anche se tutte le sostanze che ricadono sotto le normative ADR/RID presentano caratteristiche di pericolosità, tra i prodotti oggetto di trasporto in Sicilia, solo quelli che ricadono entro alcune classi, quali la 2 (gas compressi, liquefatti e disciolti in pressione), la 3 (liquidi infiammabili) e la 6.1 (materie tossiche) rappresentano un rischio effettivo ed immediato per la popolazione in caso di incidente durante il trasporto. Sulla base di questa considerazione e delle informazioni relative alle caratteristiche del prodotto (stato fisico, proprietà chimico-fisiche, grado di infiammabilità, ecc.) si sono scartati preliminarmente alcuni casi di trasporto che sono stati ritenuti scarsamente significativi in termini di effettivo pericolo.

I casi di trasporto dei prodotti rimanenti sono stati tutti analizzati, ricorrendo però, in alcuni casi, a degli accorpamenti tra classi di prodotti sostanzialmente simili: ad esempio, GPL, propano e propilene sono stati accorpati e considerati conservativamente alla stregua di propano; altri accorpamenti hanno riguardato l'ossido di etilene e l'ossido di propilene, l'ottene e l'ottano, l'etilbenzene, il propilbenzene, il butilbenzene ed il benzene, il cherosene, il toluene e la benzina.

Sulla base di queste semplificazioni i casi da analizzare si sono ridotti a 35 per il trasporto stradale, per complessive 14 sostanze lungo 14 percorsi diversi, ed a 8 per il trasporto ferroviario, per complessive 8 sostanze lungo 3 percorsi diversi. I quantitativi di sostanze trasportate, suddivise per tipologia, sono riportati in Figura 2, mentre la Figura 3 riporta la suddivisione tra trasporto stradale e ferroviario, sulla base del numero di viaggi effettuati. I prodotti maggiormente trasportati sono benzina, GPL, ammoniaca ed ossido di

etilene: si può notare inoltre che il trasporto di benzina e di GPL avviene esclusivamente via strada e quello di ammoniaca quasi esclusivamente per ferrovia.

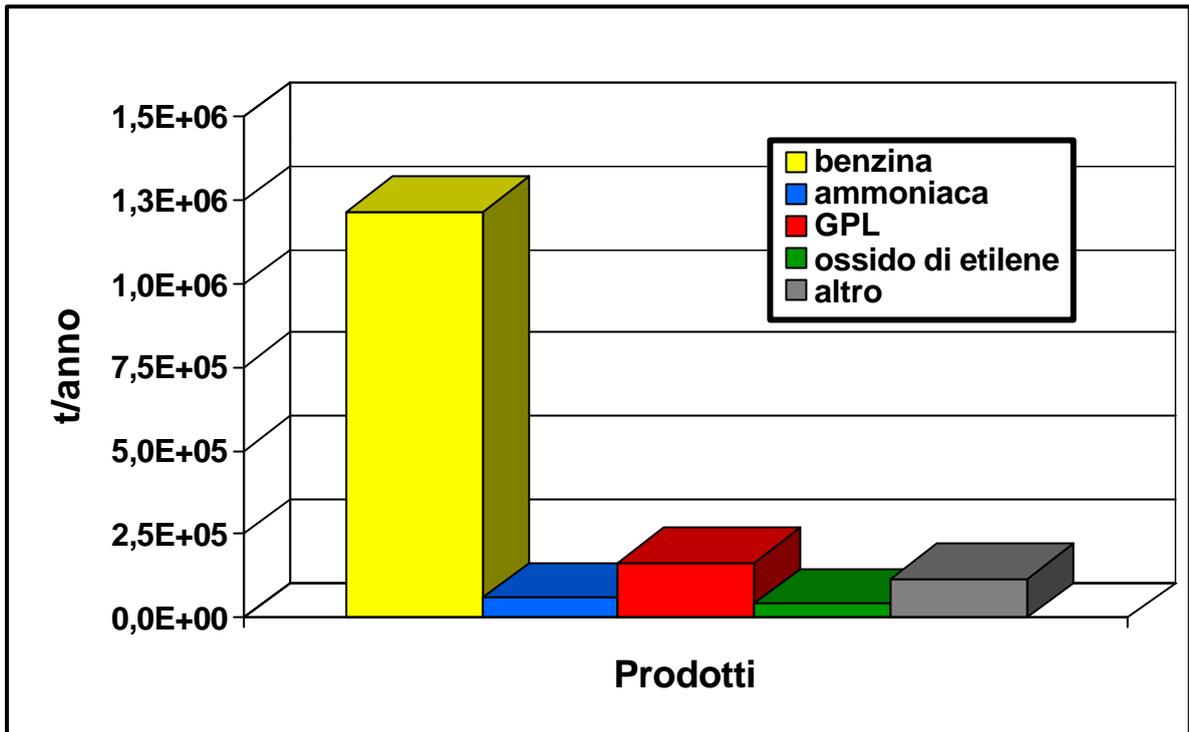


Figura 2. Quantitativi di prodotti trasportati in Sicilia via strada e ferrovia

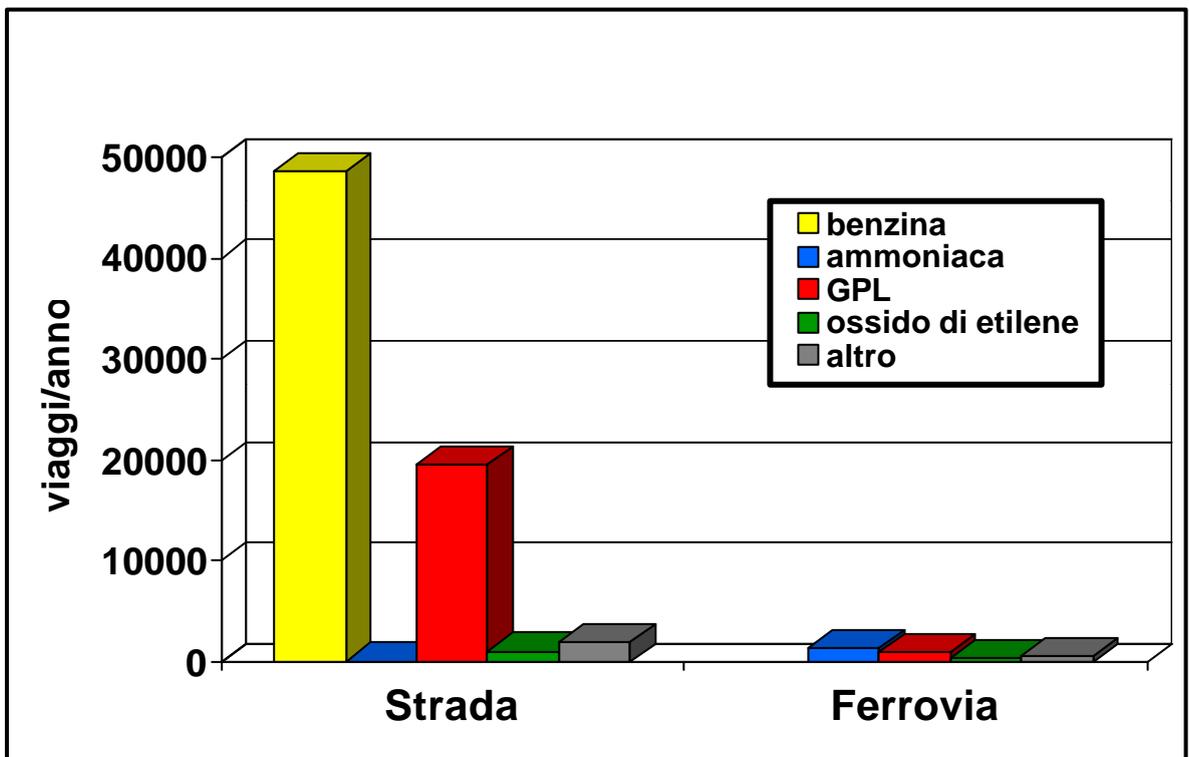


Figura 3. Numero di viaggi di trasporti stradali e ferroviari di merci pericolose in Sicilia.

#### 4. VALUTAZIONE DEL RISCHIO

I casi di trasporto sia stradale che ferroviario sono stati quindi analizzati singolarmente, determinando per ognuno di essi la curva F-N del rischio sociale: poiché non erano disponibili dati relativi ai quantitativi trasportati per stagione, né al momento del viaggio, si sono suddivisi i quantitativi trasportati in modo uniforme tra tutti i mesi e si è ipotizzato che i viaggi vengano effettuati al mattino o al pomeriggio, ossia in condizioni di temperatura media rispetto ad ogni stagione.

Analizzando i dati ottenuti è risultato evidente come, assai spesso, l'entità del rischio fosse legata più all'entità dei quantitativi trasportati e quindi dei viaggi effettuati che non alla pericolosità della sostanza o dell'itinerario o alla presenza di una densità di popolazione particolarmente alta in prossimità dell'itinerario stesso. In particolare, il rischio più elevato è stato ottenuto per il trasporto stradale di GPL da vari impianti verso il porto di Messina. Si è quindi proceduto a sommare tra loro le curve del rischio sociale relative a tutti i casi di trasporto stradale e ferroviario, prima separatamente e quindi tra loro, a dare la curva FN complessiva che rispecchia il rischio sociale dovuto a tutte le attività di trasporto di merci pericolose via strada o ferrovia in Sicilia, mostrate nella Figura 4. Nella figura sono anche riportate le curve limite della zona ALARP (ossia della zona in cui il rischio va ridotto per quanto ragionevolmente possibile –As Low As Reasonably Practicable) indicatedall'HSE [16]: tali curve, anche se non si riferiscono a casi di trasporto, ma più precisamente ad un'analisi di rischio in un'area portuale, possono però costituire un utile riferimento per una valutazione preliminare riguardo all'accettabilità del rischio.

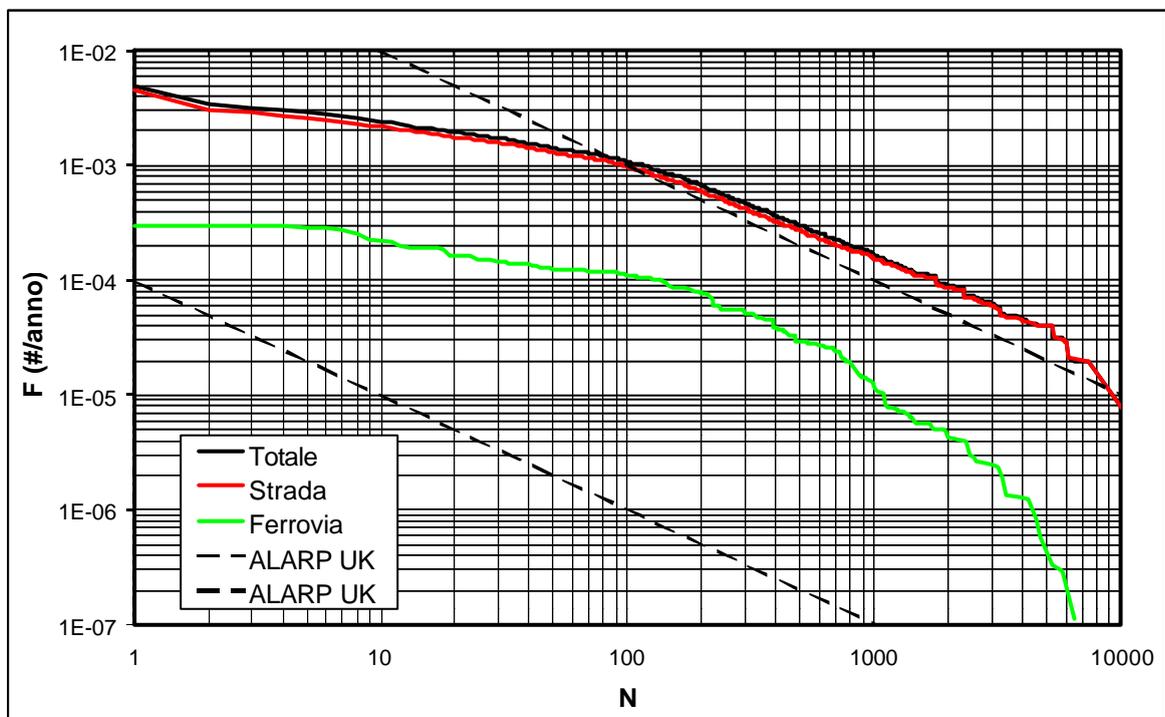


Figura 4. Curve F-N del rischio sociale per il trasporto stradale e ferroviario di merci pericolose in Sicilia.

Dall'esame della curve riportate in Figura 4 si nota che il rischio relativo al trasporto stradale è di oltre un ordine di grandezza superiore rispetto a quello del trasporto ferroviario e che la relativa curva FN è praticamente coincidente con quella totale. Ciò non è sorprendente, se si considera che circa il 95% delle merci pericolose viaggia per strada, tuttavia, va rimarcato che la curva FN complessiva (come pure quella del trasporto stradale) supera abbondantemente la curva limite della zona ALARP, posizionandosi quindi nel campo del rischio inaccettabile, nella zona in cui il numero delle vittime potrebbe essere elevato (> 100).

In particolare, tra i percorsi stradali quelli autostradali sulle tratte dirette a Messina (da Catania e da Milazzo) risultano particolarmente pericolosi per l'elevato tasso di incidentalità che esse presentano.

Sulla base dei risultati ottenuti sembrano quindi quanto mai opportuni interventi volti alla mitigazione del rischio: tali interventi si possono concretizzare nello spostamento di parte delle attività di trasporto in esame dalla strada ad altra modalità di trasporto, quale quello navale, ferroviario o, ove quest'ultimo non fosse possibile per la mancanza dei raccordi ferroviari negli stabilimenti, intermodale.

## 5. PROVVEDIMENTI MITIGATIVI

Si sono quindi ripetute le analisi di rischio ipotizzando di spostare su ferrovia alcuni casi di trasporto scelti tra quelli che maggiormente contribuiscono al rischio stradale, a cominciare da quelli relativi a stabilimenti dotati di un proprio raccordo ferroviario. Dopo avere effettuato alcuni tentativi si è pervenuti alla situazione rappresentata in Figura 5, in cui le curve rappresentative del rischio associato al trasporto stradale e ferroviario si intersecano: tale situazione è indicativa di un minimo del rischio complessivo che, infatti, si porta al disotto della curva limite della zona ALARP. Tuttavia, la parte finale della curva totale, nella zona in cui il numero delle vittime potenziali è elevato coincide sempre con quella relativa al trasporto stradale.

Come detto, i risultati riportati in Figura 5 si conseguono trasferendo parte della attività di trasporto dalla strada alla ferrovia: ciò comporta, tra l'altro, una riduzione del numero dei viaggi, dato che i contenitori ferroviari hanno generalmente una capacità maggiore di quelli stradali. In pratica, si è trasferita parte della benzina e del Gpl, e l'acido cloridrico, che non compare a titolo individuale, ma sotto la voce "altri prodotti", come mostra la Figura 6. In particolare si sono trasferite su ferrovia 4 attività di trasporto di Gpl (dalle aree di Priolo e di Milazzo a Messina) e 2 attività di trasporto di benzina (dall'area di Priolo a Messina) e 2 attività di trasporto di benzina (dall'area di Priolo a Messina) selezionate come quelle che presentavano i maggiori quantitativi trasportati. Per quanto riguarda l'acido cloridrico, esso è stato trasferito da strada a ferrovia per minimizzare la curva del rischio sociale totale.

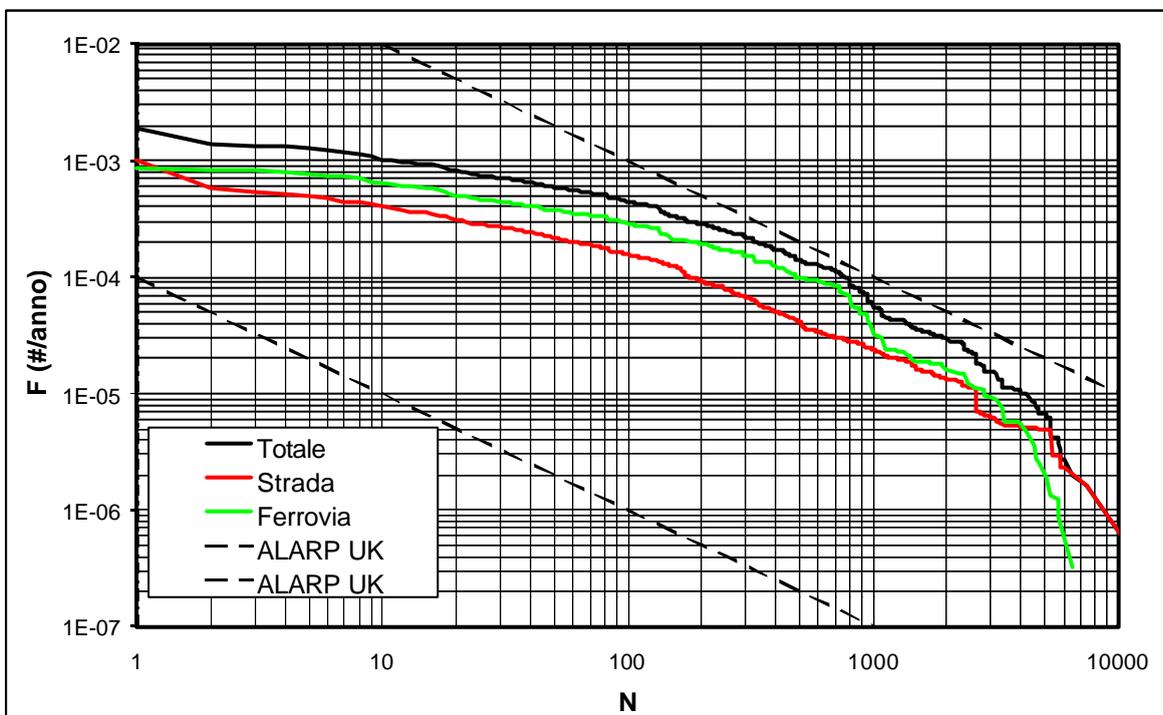


Figura 5. Curve FN del rischio sociale per il trasporto stradale e ferroviario di merci pericolose in Sicilia dopo attuazione dei provvedimenti mitigativi.

Per quanto riguarda gli stabilimenti di origine delle merci pericolose che sono state trasferite dalla strada alla ferrovia, si è verificato che essi siano effettivamente connessi con tronchetti di diramazione alla rete ferroviaria: ciò è vero in tutti i casi con due sole eccezioni che sono appresso descritte. Uno degli stabilimenti non è attualmente connesso alla rete ferroviaria, pur essendolo stato in passato: si è perciò ipotizzato di potere ripristinare agevolmente tale collegamento. Un altro stabilimento non è dotato di raccordo ferroviario proprio, ma è collegato tramite un breve oleodotto (circa 2 km) ad uno stabilimento vicino che ne è provvisto, per cui, in questo caso, si è considerato quest'ultimo stabilimento come punto di origine del trasporto. Non si è quindi utilizzata in nessun caso la modalità di trasporto intermodale.

L'entità della riduzione del rischio ottenuta attraverso questo trasferimento di parte delle attività del trasporto dalla strada alla ferrovia è più evidente in Figura 7, dove sono confrontate le curve totali relative ai casi prima e dopo la mitigazione. Si nota una significativa riduzione del livello complessivo del rischio, di un fattore pari a circa 5, ottenuta semplicemente bilanciando meglio tra loro i rischi relativi al trasporto ferroviario ed a quello stradale.

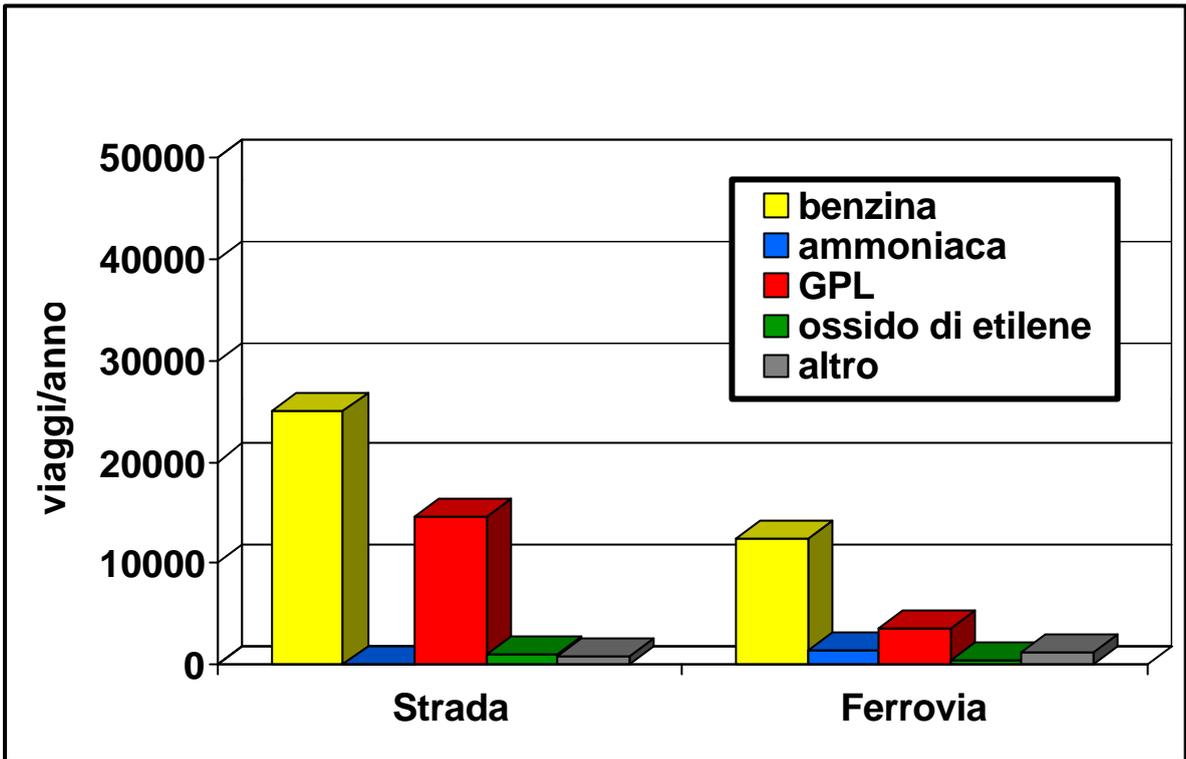


Figura 6. Numero di viaggi di trasporti stradali e ferroviari di merci pericolose in Sicilia dopo l'intervento mitigativo.

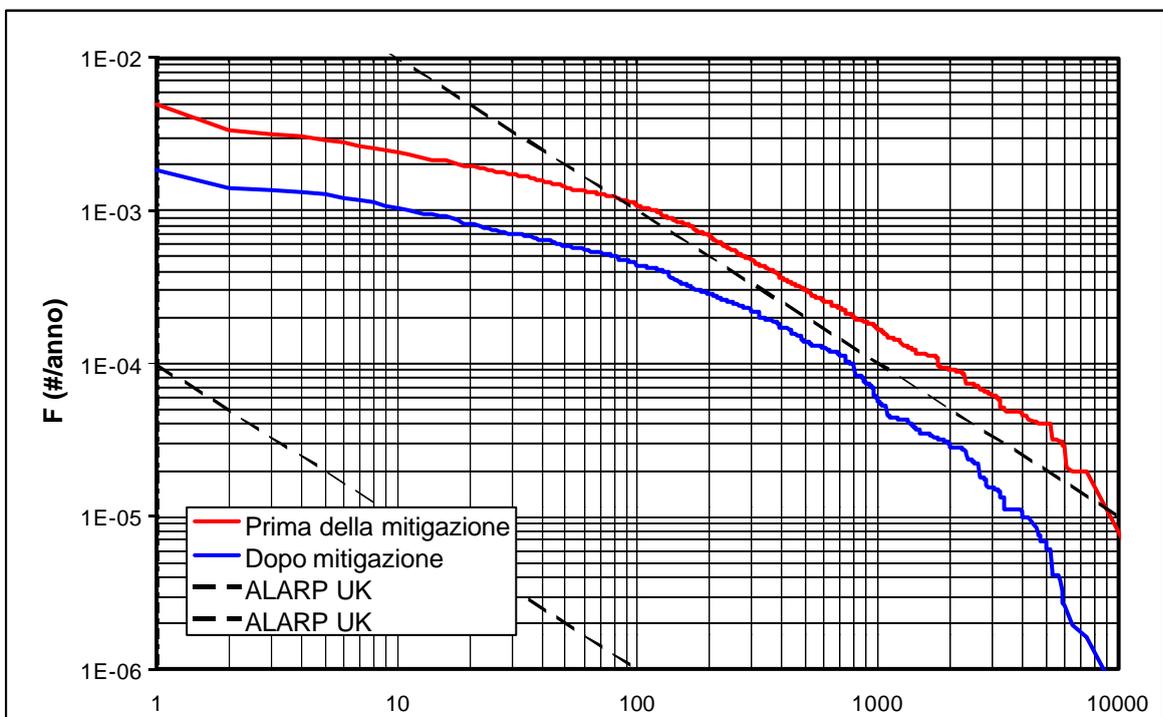


Figura 7. Confronto del rischio complessivo associato al trasporto stradale e ferroviario di sostanze pericolose in Sicilia, prima e dopo l'intervento mitigativo proposto

## 6. CONCLUSIONI

Il software TrHazGIS per la valutazione del rischio nel trasporto stradale e ferroviario di merci pericolose si è dimostrato uno strumento efficace per analizzare i livelli di rischio presentati da tali attività anche in un intero ambito regionale, come pure per “gestire” tale rischio studiando le combinazioni di modalità di trasporto (come pure i percorsi) che consentono, in sede di pianificazione di tali di attività, una significativa riduzione del rischio. Nel sistema considerato il rischio risulta infatti abbastanza elevato, soprattutto per quanto riguarda il trasporto stradale, ma, come si è dimostrato in questo lavoro, è possibile ridurlo in modo significativo trasferendo alcune delle attività di trasporto merci pericolose dalla strada alla ferrovia.

Nel sistema ferroviario e stradale esaminato esistono, peraltro, anche alcuni punti critici (attraversamento di Messina per il traghettamento, tangenziale di Catania, collegamento ferroviario Gela-Priolo, ecc.) per i quali è quindi opportuno svolgere un’analisi di maggior dettaglio, utilizzando uno strumento quale il programma TRAT 2 [17] specifico per queste esigenze.

## 7. RINGRAZIAMENTI

Questa ricerca è stata svolta nell’ambito di progetti di ricerca finanziati dal Gruppo Nazionale Difesa dai Rischi Chimico-Industriali ed Ecologici del Consiglio Nazionale delle Ricerche. Si ringrazia inoltre la Dr.ssa Maria Francesca Milazzo per l’assistenza nell’opera di rilevazione delle coordinate geografiche degli impianti.

## 8. BIBLIOGRAFIA

- [1] B.Mazzarotta, Risk reduction when transporting dangerous goods: road or rail?, *Risk Decision and Policy*, Vol.7, pp. 45-56 (2002).
- [2] CCPS, Guidelines for chemical process quantitative risk analysis, New York, AIChE, (2000).
- [3] CCPS, Guidelines for chemical transportation risk analysis, New York, AIChE, (1995).
- [4] A.D.Little, ADLTRS, Transportation Risk Screening Program, Version 5.1, Arthur D. Little Inc, Acorn Park, 1994.
- [5] 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).
- [6] 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).
- [7] Safer System LLC, TRACE 8.b User Guide. Westlake Village (2000).
- [8] Banca Dati Incidenti VV. F., Roma, (1993).
- [9] OSH-ROM, HSELINE, C15DOL, MHIDAS, NIOSHTIC, London, Silver Platter (2001).
- [10] R.Bubbico, M.Conforti, B.Mazzarotta, TrHazGis: metodologia GIS di analisi di rischio nel trasporto stradale di sostanze pericolose, *VGR 2000, Atti Dip. Costr. Mecc. e Nucl. Univ. Pisa N.027*, lavoro Session 5\018, Pisa 24-26/10/2000.
- [11] ACI-ISTAT, Atti 56° Conf. del traffico e della circolazione, Stresa (2000).
- [12] ACI, Analisi dell’incidentalità stradale a livello nazionale e regionale, provinciale e nei comuni con oltre 250.000 abitanti, Roma (2000).
- [13] AISCAT, Informazioni, Anno XXXV, n.3-4 (2000).
- [14] ISTAT, 13° Censimento generale della popolazione e delle abitazioni, Roma (1992).
- [15] ISTAT, Statistiche meteorologiche anni 1984-1991, Ann. n.25. Roma (1994).
- [16] Health & Safety Commission, Major Hazard Aspects of the Transport of Dangerous Substances, London, HMSO (1991).
- [17] S. Bonvicini, P. Leonelli, R. Lisi, G. Maschio, G. Spadoni “Risk analysis of the transportation of hazardous materials: an application of the TRAT2 software to Messina” Proceedings of the 10<sup>th</sup> International Symposium "Loss Prevention and Safety Promotion in the process Industries" Stockholm June 2001



