

# **RISCHIO DA TRASPORTO DI SOSTANZE PERICOLOSE**

## **AUTORE:**

**ing. Loris Tomiato**  
**ing. Riccardo Quaggiato**  
**dr. Giovanni De Luca**  
**ing. Laura Armanini**

**ARPAV**  
**ARPAV**  
**ARPAV**  
**collaboratrice ARPAV**

**ANPA:** Via Vitaliano Brancati, 48 –00144 Roma

**ARPAV:** Piazzale Stazione, 1 –35100 Padova

## **SCOPO E FINALITA'**

Obiettivo di questo studio è un Programma di Previsione e Prevenzione dei Rischi in collaborazione con l'ufficio di Protezione Civile della Provincia di Vicenza.

## **1. IL TRASPORTO DI SOSTANZE PERICOLOSE: UNA BREVE INTRODUZIONE**

### **1.1 Rischio industriale: confronto tra impianti fissi e attività di trasporto**

Il tema del rischio industriale è affrontato a livello comunitario dalla Direttiva 96/82/CE, comunemente denominata Direttiva Seveso bis e recepita dallo Stato italiano con il D.Lgs. 334/99. Tale normativa disciplina la produzione e lo stoccaggio di sostanze pericolose presenti in quantità superiori ad un limite soglia in insediamenti industriali ad alto rischio di incidente rilevante. Per quanto riguarda invece l'attività di trasporto delle merci pericolose prodotte o impiegate negli stabilimenti, non esiste un quadro normativo. La Direttiva fa riferimento ai soli trasporti effettuati all'interno dello stabilimento per ragioni interne. La mancanza di una regolamentazione specifica implica l'assenza di prescrizioni e procedure per l'informazione alla popolazione in merito a questo tipo di rischio alquanto serio.

L'entità del rischio da trasporto di merci pericolose è paragonabile a quello relativo agli impianti fissi. In Europa gli incidenti che avvengono durante il trasporto di prodotti chimici rappresentano un terzo degli incidenti che coinvolgono prodotti chimici in generale e sono responsabili per un terzo della perdita di vite umane.

Uno studio avente come scopo il confronto tra i rischi derivanti dal trasporto e quelli dall'impiego di sostanze pericolose in impianti fissi (Bertelle et al., 1996), ha comparato l'entità delle conseguenze derivate dagli incidenti esprimendole in numero di persone decedute. Considerando il corrispondente valore della frequenza di accadimento, si è ottenuto il grafico qui di seguito riportato (Fig.1) che illustra l'andamento della distribuzione degli incidenti in funzione dei parametri probabilità di accadimento - numero di morti. L'andamento delle due "spezzate" è simile nonostante la probabilità di accadimento di incidenti negli impianti fissi sia in media pari al doppio di quella relativa al trasporto.

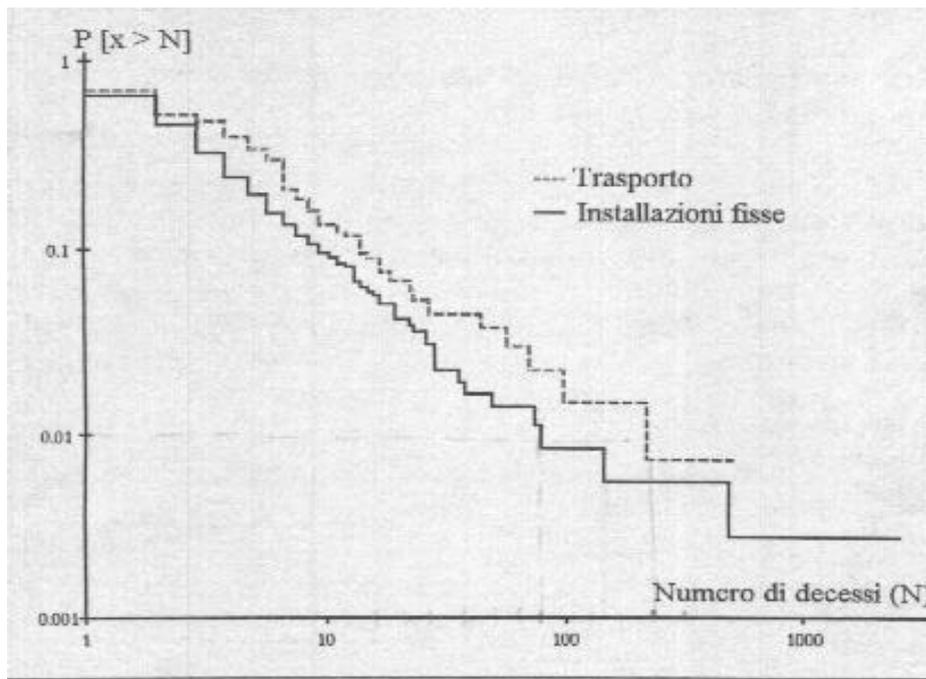


Fig.1 Andamento della distribuzione degli incidenti

Alcuni studi sul rischio a livello d'area, tra cui ARIPAR - 1992, hanno dimostrato che la frequenza di accadimento degli incidenti e l'entità delle conseguenze variano a seconda della sorgente. In figura 2 sono rappresentate le curve di rischio associate a varie sorgenti comprendenti sia gli impianti fissi sia le diverse modalità di trasporto. Risulta evidente il considerevole contributo al rischio d'area da parte del trasporto di merci pericolose.

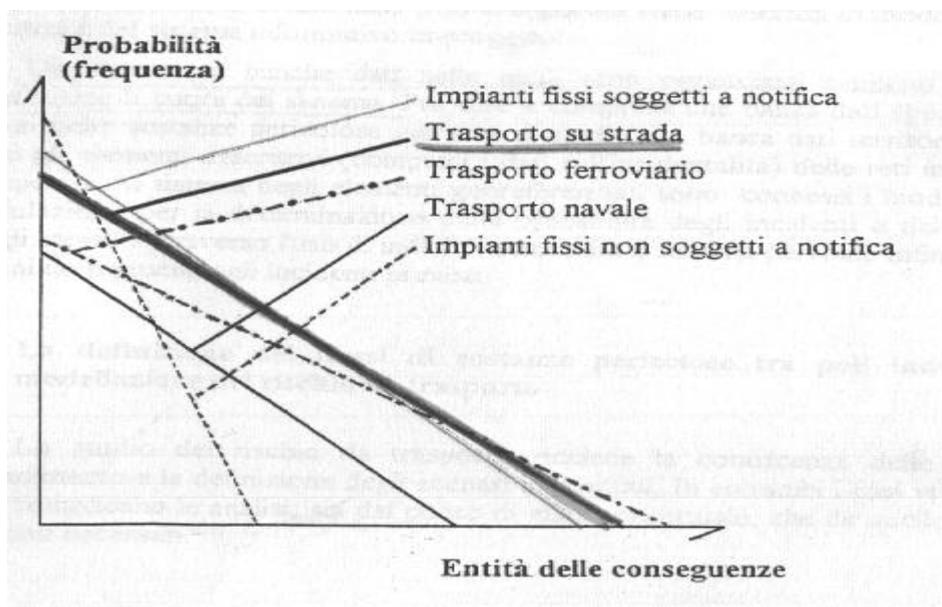


Fig.2 Curve di rischio

Circa la valutazione del rischio da trasporto, un altro aspetto riguarda la qualità dei dati raccolti, intesa come affidabilità degli stessi; una qualità elevata risulta di fondamentale importanza durante l'attività di valutazione del rischio poiché il procedimento prevede spesso di effettuare delle estrapolazioni da una quantità esigua di dati.

Il risultato di uno studio condotto dal Centro Comune di Ricerca di Ispra mostra che spesso i dati storici relativi agli incidenti avvenuti durante il trasporto di prodotti chimici pericolosi, sono poco affidabili. Mentre le informazioni relative alla data e al luogo dell'incidente sono di "alta qualità", ossia mostrano una elevata corrispondenza, e quelle sulla modalità di accadimento e sul numero di morti di "media qualità", quelle

riguardanti il nome e la quantità della sostanza coinvolta sono di “bassa qualità” e quindi troppo spesso non concordanti.

## 1.2 Classificazione delle materie pericolose

Una definizione di sostanze pericolose riscontrata più volte in letteratura e ritenuta valida da molti autori è la seguente: per materie pericolose si intendono quelle sostanze solide, liquide o gassose che per la loro particolare natura fisico-chimica sono in grado di produrre danni alle persone, alle cose e all'ambiente.

L'A.D.R. suddivide tali sostanze in varie classi, di seguito riportate, a seconda del tipo di pericolo da esse presentato:

**Classe 1 Materie ed oggetti esplosivi.** Si considera esplosiva la materia che, per reazione chimica, può emettere gas ad una temperatura, ad una pressione e ad una velocità tali da produrre danni all'ambiente circostante.

**Classe 2 Gas compressi, liquefatti o disciolti sotto pressione.** Queste sono sostanze che hanno una temperatura critica inferiore a 50°C, oppure che a 50°C hanno una tensione di vapore superiore a 300 kPa (3 bar).

**Classe 3 Materie liquide infiammabili.** Appartengono quelle sostanze che sono liquide o viscoso ad una temperatura non superiore ai 15°C, che hanno una tensione di vapore massima a 50°C di 300 kPa (3 bar) e un punto di infiammabilità fino a 100°C. In funzione del valore di questo ultimo parametro si identificano tre gruppi di diversa pericolosità.

**Classe 4.1 Materie solide infiammabili.** In questo caso viene fornito un elenco delle sostanze e non un criterio di appartenenza (es. zolfo, gomma, naftalina).

**Classe 4.2 Materie soggette ad accensione spontanea.** In questo caso viene fornito un elenco delle sostanze e non un criterio di appartenenza (es. fosforo e suoi composti, composti organometallici).

**Classe 4.3 Materie che a contatto con l'acqua sviluppano gas infiammabili.** In questo caso viene fornito un elenco delle sostanze e non un criterio di appartenenza (metalli alcalini, polvere o trucioli di alluminio, di zinco, carburo di calcio, di alluminio).

**Classe 5.1 Materie comburenti.** In questo caso viene fornito un elenco delle sostanze e non un criterio di appartenenza (es. perossido d'idrogeno stabilizzato, diserbanti inorganici contenenti clorati, cloriti di sodio e di potassio, concimi con nitrato di ammonio).

**Classe 5.2 Perossidi organici.** In questo caso viene fornito un elenco delle sostanze e non un criterio di appartenenza.

**Classe 6.1 Materie tossiche.** I parametri che distinguono le varie sostanze in base al loro grado di tossicità (molto tossiche, tossiche e nocive) sono la Ld50 (Ld = Letal dose) per ingestione e assorbimento cutaneo e di Lc50 (Lc = Letal concentration) per ingestione nel ratto.

**Classe 6.2 Materie ripugnanti o suscettibili di produrre infezioni.** In questo caso viene fornito un elenco delle sostanze e non un criterio di appartenenza (es. pelli fresche, pezzi anatomici di animali, letame).

**Classe 7 Materie radioattive.** Rientrano i materiali con attività specifica superiore a 0,002 microcurie per grammo.

**Classe 8 Materie corrosive.** Vi appartengono quelle sostanze che, per la loro azione chimica, attaccano i tessuti epiteliali della pelle, delle mucose o degli occhi con le quali esse vengono a contatto o che, in caso di dispersione, possono causare danni ad altre merci o ai mezzi di trasporto; sono comprese anche le sostanze che formano un composto liquido corrosivo in presenza di acqua o vapori o nebbie, corrosivi in presenza di umidità. Si suddividono in molto corrosive, corrosive, poco corrosive.

**Classe 9 Materie ed oggetti pericolosi vari.** Rientrano in genere soluzioni e miscele (es. preparati, rifiuti) che non compaiono nelle classi precedenti

Le materie per le quali è ammesso il trasporto in cisterne sono quelle appartenenti alle classi 2, 3, 4.1, 4.2, 4.3, 5.1, 5.2, 6.1, 8 e 9.

Le classi 1, 2 e 7 sono “classi limitative” ossia solo i prodotti espressamente citati negli elenchi dell'A.D.R. possono essere trasportati rispettando determinate condizioni, mentre per quelli non citati è vietato il trasporto su strada.

## 2. MODELLO TEORICO PER L'ANALISI DEL RISCHIO

### 2.1 Il concetto di rischio

Il termine "rischio" è associato ai concetti di incertezza e danno, a seconda del contesto in cui viene utilizzato; ne consegue che una definizione generale può essere "probabilità di danno".

Il rischio è definito dall'espressione 2.1:

$$\text{RISCHIO} = Y(F, M, V) \quad (2.1)$$

dove:

**F** = probabilità di accadimento: termine che considera il rapporto tra gli eventi significativi per l'analisi in questione e gli eventi totali.

**M** = conseguenze: termine che considera il danno provocato; in genere si prende come riferimento il numero di persone coinvolte (morti, feriti, persone da evacuare, ecc.), ma non si escludono i danni alle cose e all'ambiente.

**V** = vulnerabilità: termine che descrive la debolezza intrinseca di un sistema nei confronti di eventi incidentali.

Tale equazione fornisce risultati sufficientemente attendibili per l'analisi di rischio applicata agli impianti fissi, mentre l'applicazione di questa metodologia al trasporto di sostanze pericolose risulta notevolmente problematica sia per il calcolo della probabilità di accadimento che per la valutazione degli scenari incidentali e delle loro conseguenze.

Per quanto riguarda il primo fattore le maggiori difficoltà nascono dalla grande varietà di veicoli, metodi e condizioni di trasporto delle sostanze nonché dalla presenza di variabili non dipendenti dal "processo" di trasporto quali le condizioni della sede stradale (legate al clima) e il comportamento degli altri veicoli.

Relativamente al secondo fattore si incontrano grossi problemi nella valutazione del danneggiamento (tipologia ed entità) subito dal veicolo nell'incidente e, quindi, nel calcolo del termine sorgente cioè della quantità di sostanza rilasciata. Grande rilevanza ha anche la morfologia del terreno circostante poiché influisce pesantemente sulla previsione degli scenari incidentali.

Vi è, infine, un'oggettiva difficoltà nell'individuare parametri che definiscano correttamente la vulnerabilità che permettano di ottenere una stima credibile del danno atteso in caso di evento incidentale. Per un impianto fisso, infatti, è relativamente semplice descrivere il territorio circostante (distribuzione della popolazione, caratteristiche geomorfologiche e naturali,...) ma si deve comunque ricorrere a rappresentazioni statistiche; nel caso del trasporto di sostanze pericolose quest'indeterminatezza si amplifica sia perché l'analisi deve essere estesa a tutto il territorio adiacente i percorsi interessati, sia per l'estrema variabilità dei possibili effetti di un incidente e della sua interazione con l'ambiente circostante.

Generalmente finora si è quindi preferito affrontare solo una parte del problema, separando solo l'analisi degli scenari incidentali o studiando solo percorsi di limitata estensione.

Questo studio, invece, si propone di valutare il rischio da trasporto nella sua globalità cioè includendo tutte le sostanze e tutti i percorsi relativi alle aziende comprese nel censimento; nella creazione del modello di calcolo sono quindi state adottate le necessarie semplificazioni assumendo ipotesi iniziali che hanno permesso di limitare il numero di variabili del problema.

Ne consegue indubbiamente una notevole diminuzione di precisione del modello. Lo scopo dello studio, cioè una prima analisi conoscitiva del fenomeno, giustifica tuttavia queste assunzioni e il risultato ottenuto è del tutto valido se considerato nei giusti termini: un indice utile ad avere una visione globale della situazione attuale e a capire quali sono i campi che meritano maggiore approfondimento nell'analisi.

### 2.2 Frequenza attesa di incidente con rilascio di sostanze

La prima fase di un'analisi del rischio per il trasporto di merci pericolose consiste nel calcolo della probabilità che avvenga un incidente che coinvolga mezzi adibiti a tale scopo e, successivamente, nella valutazione della possibilità che l'incidente provochi un rilascio di sostanze in atmosfera o nell'ambiente circostante.

Il calcolo della probabilità di accadimento di un incidente deve necessariamente tener conto della morfologia della strada percorsa, nonché dell'esposizione al rischio che il percorso seguito implica. Tali fattori sono stati tenuti in debito conto nello sviluppo del modello di calcolo delle frequenze, suddividendo i valori secondo le

tre tipologie di strada considerate (Autostrade, Strade Statali e Strade Provinciali) ed inoltre considerando, per ciascuna di esse, il traffico medio annuo che le interessa.  
I dati di partenza consistono in:

$$\begin{aligned} T &= n^\circ \text{ veicoli tot/anno} \\ I &= n^\circ \text{ incidenti tot/anno} \\ L &= \text{lunghezza totale del reticolo stradale (Km)} \\ n &= \text{tipologia di strada} \end{aligned}$$

I coefficienti fissati per ipotesi, sono:

$$\begin{aligned} K_1 &= \text{incidenti da TSP/incidenti totali} \\ K_2 &= \text{TSP/veicoli totali} \end{aligned}$$

La frequenza attesa media di incidente generico per la tipologia di strada considerata è data da:

$$F_{\text{media}} = [I \times K_1 / (T \times K_2 \times L)]_n \quad [\text{inc.} / \text{TSP} \cdot \text{km}] \quad (2.2)$$

Per semplificare i calcoli successivi, si ricava una frequenza attesa generale come risultato della media pesata secondo la lunghezza delle tipologie di strada:

$$F_{\text{media totale}} = S [F_{\text{media}} \times L_n / L] \quad [\text{inc.} / \text{TSP} \cdot \text{km}] \quad (2.3)$$

Considerando i dati sul traffico, forniti dalla Provincia di Vicenza e dalla società Autostrada Brescia -Verona-Vicenza-Padova, e il numero di incidenti totali, ricavato da uno studio ACI sulla Provincia di Vicenza pubblicato nel Febbraio 2001, possiamo costruire la seguente tabella:

**Tab. 2.1:** Dati sul traffico

	<b>Veicoli tot /anno</b>	<b>Veicoli &gt; 35 q/anno</b>	<b>Incidenti tot /anno</b>	<b>Lunghezza totale</b>
<b>Autostrade</b>	32.743.463	9.377.026	109	71
<b>Strade Statali</b>	129.458.200	20.394.375	678	427
<b>Strade Provinciali</b>	300.020.510	61.045.155	366	277

Per il calcolo dei coefficienti K1 e K2 si assume come ipotesi che il 5% degli automezzi di stazza superiore a 35 q.li sia adibito al trasporto di sostanze pericolose.

In base a questa assunzione otteniamo i valori riportati nella tabella 2.2:

**Tab. 2.2:** Valori del coefficiente K<sub>2</sub>

	<b>K<sub>2</sub></b>
<b>Autostrade</b>	0,014
<b>Strade Statali</b>	0,008
<b>Strade Provinciali</b>	0,01

Siamo ora in possesso di tutti gli elementi necessari al calcolo delle frequenze medie di incidente. I risultati sono riportati nella tabella 2.3:

**Tab. 2.3:** Frequenze medie di incidente

	<b>F<sub>m,n</sub> [inc./TSP · km]</b>
<b>Autostrade</b>	1 e-8
<b>Strade Statali</b>	4,6 e-9
<b>Strade Provinciali</b>	1,32 e-9

La frequenza attesa di incidente risulta pari a:

$$F_m = (1 \cdot e^{-7} \cdot 0,1 + 4,6 \cdot e^{-8} \cdot 0,61 + 1,32 \cdot e^{-8} \cdot 0,39) / 3 = 4,33 \cdot e^{-9} \quad (2.4)$$

### 3. APPLICAZIONE DEL MODELLO

#### 3.1 Raccolta dei dati in ingresso

##### 3.1.1 Trasporti di merci pericolose

I dati relativi alle sostanze pericolose trasportate su strada sono stati ottenuti in parte consultando banche dati di altri Enti, in parte raccolti con interviste ai responsabili delle aziende.

Sono qui di seguito rappresentate le categorie individuate:

- **Industrie soggette a D.Lgs.334/99** (a rischio di incidente rilevante)
- **Depositi di carburanti**
- **Stazioni di servizio**

Tale elenco presenta indubbiamente notevoli lacune; in particolare, tenendo presente le realtà produttive della provincia di Vicenza, non considera le concerie che sono notevoli centri di movimentazione di sostanze pericolose. I quantitativi però sono piuttosto piccoli e quindi il contributo di queste realtà alla valutazione generale dei rischi è molto ridotto e quindi trascurabile. Il set di informazioni da includere nel censimento è stato definito sulla base del modello teorico di analisi del rischio che verrà descritto in seguito; si è provveduto a definire puntualmente il formato dei dati richiesti, successivamente si è creata la struttura del database relazionale destinato ad accoglierli ed organizzarli.

Si è optato per una struttura ad albero su tre livelli gerarchici:

- **Aziende e sedi** dati anagrafici dell'azienda e delle sedi operative
- **Sostanze** tipi di sostanze e movimentato annuo in entrata ed uscita
- **Trasporti** provenienza e destinazione delle varie sostanze, modalità e frequenza di trasporto

Le sostanze sono state classificate secondo il numero ONU che funge da link con i trasporti; alle aziende è stato richiesto di specificare, per ogni sostanza trattata, il movimentato annuo in entrata ed in uscita nonché le modalità di trasporto preferenziali associando un peso percentuale alle seguenti categorie:

- Autobotte
- Tank-container
- Autoarticolato
- Colli
- Rinfusa

I record relativi ai trasporti contengono informazioni quali provenienza, destinazione ed, eventualmente, località intermedia di transito del tragitto abitualmente seguito dalla sostanza; per ognuno di questi si specificano tipo di trasporto e frequenza media (settimanale, mensile o annuale).

##### 3.1.2 Grafo stradale

Parallelamente alla banca dati alfanumerica dei dati relativi ai trasporti si è costruito un applicativo in ambiente GIS mediante il quale è possibile visualizzare i tragitti percorsi sul grafo delle strade della Provincia ed, eventualmente, eseguire analisi spaziali sulla base delle informazioni raccolte.

Ai fini della costruzione del software è stato necessario creare una base dati georeferenziata; in primo luogo si è definita la rete stradale utilizzando il grafo della Regione Veneto: i tematismi considerati sono relativi alle Autostrade, alle Strade Statali, alle Strade Provinciali ed alle arterie di collegamento.

In connessione al grafo è stato costruito il tematismo dei centri urbani. Successivamente sono stati inseriti i dati relativi al traffico veicolare medio forniti dall'Amministrazione Provinciale di Vicenza sotto forma di tematismo Arcview rappresentante un grafo stradale rettificato. Attuando una semplificazione del reticolo per selezionare solo Autostrade, Strade Statali e Provinciali è stato possibile collegare i vari record alle corrispondenti tratte nel grafo stradale utilizzato per lo studio. I dati raccolti riguardano i transiti annui medi totali di veicoli adibiti al trasporto di merci generiche.

### 3.1.3 Vulnerabilità del territorio

Per ottenere una completa valutazione del rischio i dati relativi alle frequenze attese di incidente, che verranno calcolate in seguito, unitamente alle distanze di danno individuate al Cap.3 devono essere confrontate con un indice di vulnerabilità in modo tale da poter valutare l'entità del danno eventualmente subito dal territorio compreso nelle aree interessate da rischio di incidente.

La vulnerabilità del territorio vicentino è stata rappresentata per mezzo di due mappe tematiche: una riguardante la demografia (Vulnerabilità civile), ed una le tipologie di utilizzo dei suoli (Vulnerabilità ambientale).

La prima è basata su un Indice di Vulnerabilità Civile calcolato a partire dai dati demografici resi noti da ISTAT relativamente all'ultimo Censimento della popolazione; il territorio è stato diviso mediante le sezioni censuarie in aree di densità uniforme e nota. La densità è rappresentata nell'equazione 3.1:

$$I_{vuln} = [\text{Ln}(\rho_i) / \text{Ln}(\rho_{max})] \cdot 10 \quad (3.1)$$

Dove:

$\rho_i$  = densità della sezione i-esima

$\rho_{max}$  = densità massima riscontrata

L'indice ottenuto è compreso tra 1 e 10.

La vulnerabilità ambientale è stata valutata utilizzando la classificazione CORINE – 2° livello che specifica le destinazioni d'uso dei suoli.

Ad ogni categoria è stato assegnato un Indice di vulnerabilità ambientale tenendo conto dei vari aspetti legati al trasporto di merci pericolose ed alle caratteristiche dei terreni.

I risultati ottenuti sono riassunti nella tabella 3.1:

**Tab. 3.1:** Indici di vulnerabilità ambientale

TIPOLOGIA DI TERRENO	ID VULNERABILITÀ
Urbano	3
Aree industriali e infrastrutture	1
Aree estrattive	1
Aree ricreative	4
Vigneti e frutteti	6
Prati	7
Terreni agrari e vegetazione naturale permanente	8
Boschi	6
Siepi e pascoli	8
Vegetazione rada, sabbia e rocce nude	4
Fiumi e bacini acquei	10

## 3.2 Preparazione dei dati

### 3.2.1 Sostanze

Il modello teorico di analisi del rischio è stato applicato per step successivi di preparazione dei dati e, successivamente, di calcolo degli indici.

Innanzitutto è stata analizzata la tabella relativa alle sostanze ed è stato eseguito un controllo sull'esattezza dei numeri ONU. I record della tabella sono stati poi classificati assegnando a ciascuno la classe ADR di appartenenza:

**Tab. 3.2:** Classi ADR di appartenenza

NR. KEMLER	TIPOLOGIA DI PERICOLO
------------	-----------------------

2F	Gas infiammabili compressi
2TC	Gas liquefatti tossici e corrosivi
3	Liquidi infiammabili
4	Solidi infiammabili o tossici
5	Sostanza ossidante tossica o corrosiva
6	Liquido tossico o molto tossico (infiammabile o corrosivo)
8	Liquido corrosivo e tossico
X	Sostanza molto corrosiva e/o tossica che reagisce con l'acqua

Per rendere del tutto omogenei i dati, tutti i valori di movimentato annuo sono stati convertiti nell'unità di misura Tonnellate/Anno ottenendo la tabella 3.3:

**Tab. 3.3:** Valori di movimentato annuo

CLASSE SOSTANZA	MOVIMENTATO
2F	70996 tonn/anno
2TC	1649 tonn/anno
3	1141166 tonn/anno
4	594 tonn/anno
5	15649 tonn/anno
6	24820 tonn/anno
8	54929 tonn/anno
X	40743 tonn/anno

**Tab. 3.4:** Movimentato annuo

NUMERI ONU	MOVIMENTATO [ T/ANNO]
1202, 1203, 0000, 1223 (carburanti)	1073581
Tutti gli altri	287176

Alla voce "Tutti gli altri" corrispondono ben 165 numeri ONU diversi; tale estrema varietà di sostanze caratterizzate da movimentato piuttosto basso, è principalmente dovuta alle realtà produttive incluse nello studio: tre aziende di chimica fine che adottano moltissimi tipi di processi diversi e lavorano su commesse e non su prodotti fissi.

### 3.2.2 Trasporti

I trasporti sono stati raggruppati in modo tale da creare un elenco di tutti i percorsi seguiti; in pratica, sono stati isolati 294 percorsi univoci a fronte di 2392 trasporti in totale.

I percorsi individuati sono stati poi georeferenziati su GIS individuando, con una procedura automatica guidata dall'operatore, i tragitti di collegamento tra le località di provenienza e destinazione, seguendo i criteri del percorso più corto e fissando una gerarchia di utilizzo per i vari tipi di strada (1. Autostrada, 2. S. Statale, 3. S. Provinciale).

Al termine della procedura viene creato un tematismo GIS denominato "Percorsi" che costituisce la base dati per l'analisi successiva.

### 3.3 Risultati

L'analisi finale prevede il collegamento tra la tabella del movimentato annuo e quella dei trasporti; infine l'importazione della tabella generale nell'applicativo GIS per l'esecuzione dei calcoli finali e la creazione delle mappe tematiche.

Il primo passo è stato il calcolo del numero di transiti annui: è stata innanzitutto individuata la capacità media dei mezzi utilizzati nelle modalità di trasporto definite nella scheda di censimento compilata dalle aziende.

Si è così ottenuta la tabella 3.5:

**Tab. 3.5** : Capacità media dei mezzi

	<b>2F</b>	<b>2TC</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5/6/8</b>	<b>X</b>
<b>Autobotte</b>	6	6	15	/	15	12
<b>Tank-container</b>	15	30	24	24	24	25
<b>Autoarticolato</b>	15	30	24	24	24	25
<b>Colli</b>	3	3	3	2.5	3	/
<b>Rinfusa</b>	/	/	15	15	15	/

In base ai valori fissati (espressi in t) si è calcolato il numero di trasporti annui effettuati da ogni azienda per ciascuna sostanza movimentata; con una procedura di calcolo i record sono poi stati raggruppati in base a classe di sostanza e località di partenza ed arrivo.

A questo punto si è completato il tematismo GIS “Percorsi”: a ciascun oggetto grafico rappresentante un percorso è associato il numero totale annuo, diviso per classe ADR, di veicoli che trasportano sostanze pericolose. Affinché il lavoro risultasse completo era necessario ottenere la somma dei transiti, quindi il numero totale di trasporti di sostanze pericolose all’anno. A tal fine è stata predisposta una procedura di calcolo che, in ambiente GIS, fosse in grado di eseguire l’analisi spaziale necessaria al trasferimento dei dati da un tematismo (“Percorsi”) ad un altro (“Strade”).

Per rendere l’analisi più precisa il tema relativo al grafo stradale, composto in totale da 630 records, è stato ulteriormente suddiviso spezzando le poligonali di cui è composto in linee più semplici (circa 21000 records); questo ha permesso di rilevare l’influenza degli incroci di strade interessate da trasporti di sostanze pericolose.

#### **4. ANALISI DEI RISULTATI**

I risultati dell’applicazione del modello permettono di fare alcune valutazioni significative sulla situazione attuale del trasporto di sostanze pericolose e sui possibili sviluppi dell’attività pianificatoria da esso influenzata.

È doveroso effettuare alcune considerazioni sul metodo adottato per conseguire questi risultati:

1. A causa della sinteticità dei dati relativi ai trasporti forniti dalle aziende non è stato possibile individuare i reali percorsi seguiti dalle sostanze; è stato quindi adottato il criterio che appariva più credibile: si è supposto che gli autisti seguissero sempre il tragitto più breve preferendo percorrere nell’ordine autostrade, strade statali ed, infine, strade provinciali.
2. Ancora a causa del formato di raccolta dei dati sui trasporti (provenienza e destinazione all’interno della Provincia) vengono a mancare tutte le informazioni relative a trasporti intermodali e, soprattutto, a transiti di attraversamento del territorio provinciale. Questo aspetto avrebbe però richiesto una campagna di rilevamento diretta con grande impegno di tempo e risorse.
3. Il metodo di analisi spaziale, condotto per attribuire ad ogni tratta del grafo stradale il giusto numero di transiti, sovrastima i risultati in corrispondenza degli incroci fra due o più tragitti dichiarati dalle aziende.

Passando all’analisi delle mappe tematiche, emergono alcuni aspetti che meritano di essere sottolineati:

- **Tavole Generali** : si nota che i transiti e, di conseguenza, le frequenze attese di incidente, hanno una elevata diffusione sul territorio provinciale; si può, però, distinguere una parte della rete stradale caratterizzata da frequenza attesa di incidente mediamente più alta: essa è costituita dai tratti autostradali e da alcune Strade Statali (SS 248, 247, 246, 47, 500) che costituiscono le principali arterie di collegamento tra la zona centrale della provincia e le aree produttive periferiche.

- **Classe 2F (gas infiammabili)** : appare evidente come la distribuzione dei transiti sia influenzata dai grossi depositi di GPL. Sono rappresentati, però, solamente i quantitativi in ingresso a tali aziende; esse provvedono, solitamente, all’imbottigliamento ed alla distribuzione al dettaglio (in colli o botticella) che non è stata rilevata nel censimento. Le frequenze di incidente, perciò, si riferiscono soprattutto ai grossi carichi destinati ai depositi, cioè agli autoarticolati.

- **Classe 3 (liquidi infiammabili)** : le considerazioni fatte in precedenza sulla preponderanza dei quantitativi relativi a questa classe trovano pieno riscontro in queste mappe: i valori sono generalmente alti e la distribuzione dei percorsi molto ampia. Di conseguenza, anche la frequenza attesa di incidente è molto alta ma la limitata pericolosità delle sostanze coinvolte deve indurre a mitigare l’influenza di questa classe nelle valutazioni pianificatorie.

- **Classe 2TC, 6, X (gas o sostanze tossiche o che reagiscono con l'acqua)** : è evidente la loro limitata diffusione territoriale; infatti fanno parte di tali classi sostanze usate in prevalenza come materie prime nell'industria chimica, presente nel territorio vicentino in numero limitato. Al contrario del caso precedente, però, queste sostanze sono caratterizzate da un'elevata pericolosità e devono essere quindi tenute in maggior considerazione in fase di pianificazione.

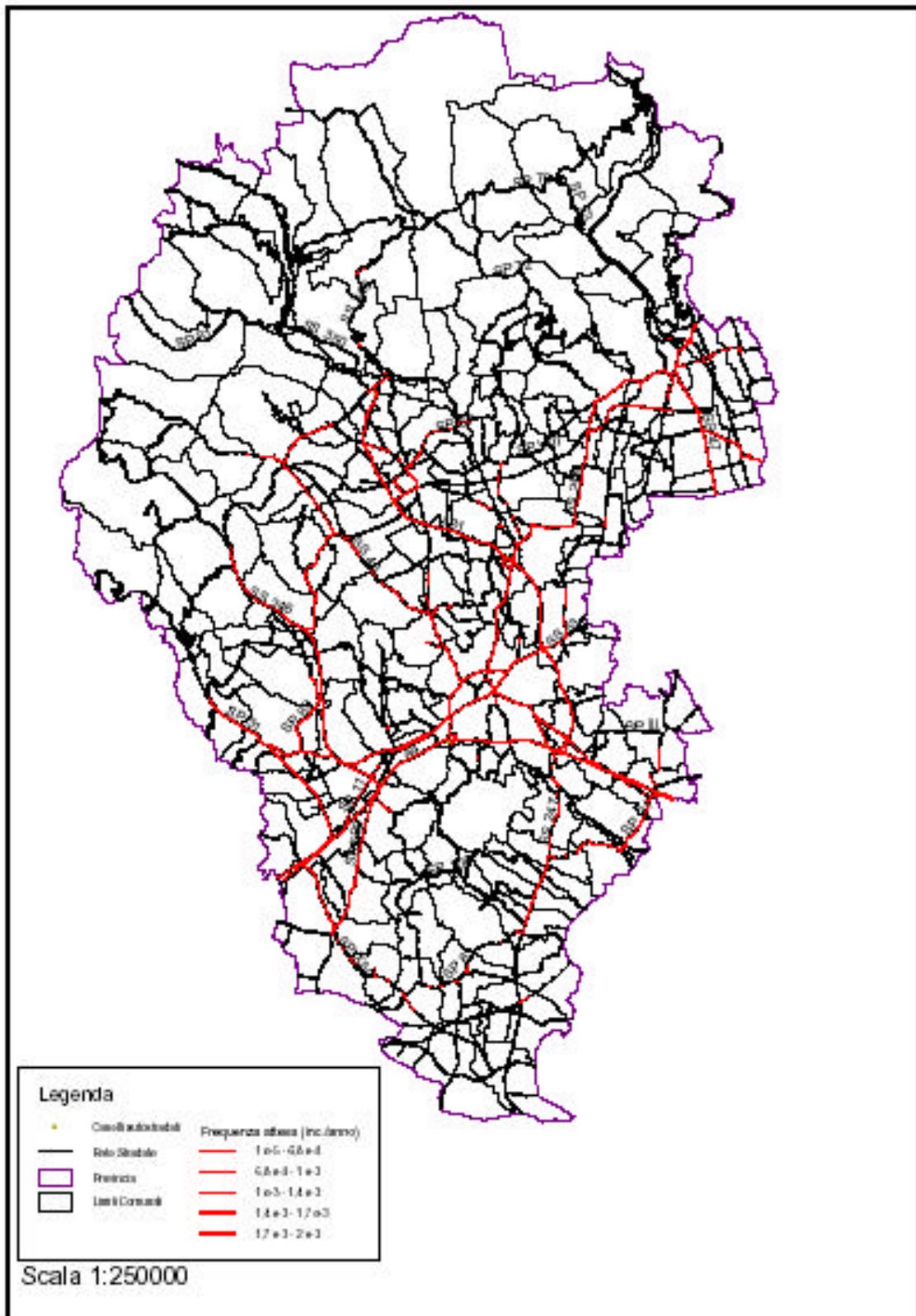
- **Classe 8 (sostanze corrosive)** : tali sostanze hanno una elevata diffusione sul territorio, dovuta alla presenza di aziende che svolgono attività di smistamento e rivendita ad aziende conciarie e di trattamento delle superfici metalliche; in questo caso, però, l'alta pericolosità intrinseca delle sostanze è mitigata dalle modalità di trasporto.

#### 4. CONCLUSIONI

È opportuno evidenziare come i risultati ottenuti fossero ampiamente prevedibili, sia per quanto riguarda la distribuzione sul territorio che per le tipologie di sostanze coinvolte. Il quadro d'insieme fornito dallo studio è però utile per capire le dimensioni del problema, indubbiamente superiori alle attese, e ad individuare una scala prioritaria di intervento.

Le mappe tematiche prodotte permettono, infatti, di capire quali sono le zone maggiormente interessate dal problema per le quali è necessario svolgere indagini più approfondite.

Poiché l'obiettivo prefissato in fase di progettazione era un'analisi preliminare della situazione attuale, lo studio è stato impostato assumendo alcune ipotesi che, semplificando il problema, hanno aumentato considerevolmente l'incertezza dei risultati conseguiti. Sarebbe perciò inesatto considerare questi risultati come il dato di input per la pianificazione, urbanistica e dell'emergenza, dato che il grado di dettaglio richiesto da queste operazioni è notevolmente maggiore di quello per cui lo studio era stato progettato. In fase di pianificazione di dettaglio è, invece, necessario tenerne conto per capire dov'è il caso di eseguire un'analisi più particolareggiata, tenendo conto della quantità di transiti.



**Tav. 1:** Frequenza attesa di incidente

