

# IL RISCHIO DA TRASPORTO DI SOSTANZE PERICOLOSE: UN'ANALISI D'IMPATTO TERRITORIALE CON IL TRAT2

P. Leonelli<sup>1</sup>, G. Maschio<sup>2</sup>, G. Spadoni<sup>1</sup>

1. Dipartimento di Ingegneria Chimica, Mineraria e delle Tecnologie Ambientali, Università di Bologna, Viale Risorgimento, 2-40136 Bologna; e-mail: [paolo.leonelli@mail.ing.unibo.it](mailto:paolo.leonelli@mail.ing.unibo.it); [gigliola.spadoni@mail.ing.unibo.it](mailto:gigliola.spadoni@mail.ing.unibo.it)
2. Dipartimento di Chimica Industriale ed Ingegneria dei Materiali, Università di Messina, Salita Sperone, 31, 98166 Messina; e-mail: [maschiog@sciocco.unime.it](mailto:maschiog@sciocco.unime.it)

## SOMMARIO

Il presente lavoro considera i rischi di incidente rilevante dovuti al trasporto di sostanze pericolose e focalizza l'attenzione su di un algoritmo per la valutazione dei medesimi avente validità del tutto generale, ovvero applicabile a qualunque vettore di trasporto (auto- o ferro-cisterna, condotta, nave), e soprattutto sullo strumento di calcolo che su di esso si basa, il TRAT2. Il software costruito rende semplice, anche per utenti non esperti, l'esecuzione di analisi di rischio nei trasporti consentendo una mappatura territoriale di indici di rischio individuale e sociale. Le sue ampie potenzialità risultano evidenti anche dalla predisposizione di un caso di studio avente per oggetto il territorio di Messina.

## INTRODUZIONE

Il trasporto di sostanze pericolose (via strada, ferrovia,...) è ormai da tempo considerato una sorgente di rischio di incidente rilevante, poiché in grado di generare, e la casistica storica lo dimostra ampiamente [1], eventi anomali caratterizzati da gravi conseguenze a strutture e persone. Per una loro valutazione possono essere utilizzate le misure di *rischio individuale* e *rischio sociale* (curve F-N) che da tempo costituiscono uno strumento di quantificazione, condiviso da tutta la comunità scientifica, da cui ottenere l'impatto su di un territorio. Il loro uso, inizialmente tipico delle valutazioni di rischio concernenti gli impianti fissi, si è esteso a partire dagli anni '90 anche al settore trasporti [2] nonostante la complessità dei calcoli che lo accompagna. Le sorgenti di rischio, infatti, non sono più le singole localizzazioni degli apparati sede di probabili eventi incidentali, ma i percorsi curvilinei dei tracciati stradali o ferroviari, poiché l'incidente può avvenire in qualsiasi punto di essi.

Alla complessità della valutazione si è ovviato attraverso la predisposizione di procedure di lavoro in grado di garantire, in tempi di calcolo "ragionevoli", sia l'accuratezza delle valutazioni sia la flessibilità applicativa. Ad una di queste [3] è riconducibile il codice di calcolo TRAT2, oggetto di questa memoria, che è stato predisposto per rendere semplice la valutazione previsionale dei rischi nei trasporti anche per utenti non familiari con le procedure di indagine tipiche del settore. L'intento è, da un lato, quello di fornire ai decisori indicazioni per una corretta politica di prevenzione, che deve includere anche una opportuna pianificazione territoriale, dall'altro di delineare i presupposti di base della pianificazione dell'emergenza.

La sintetica applicazione ad un'area specifica, quella di Messina, deve essere vista come un utile campo di prova delle potenzialità dello strumento poiché il significativo trasporto che la caratterizza e che coinvolge più sostanze pericolose via strada (e ferrovia) in un contesto misto, urbano e residenziale, consente di utilizzare tutte le potenzialità contenute nello strumento.

## TRAT2

Il nome del codice trae le proprie origini dall'acronimo di una procedura precedente [4], di cui esso costituisce una rivisitazione ed aggiornamento. Significative sono sia l'introduzione di alcune innovazioni metodologiche sia la particolare struttura elaborativa/informatica costruita.

### Dati e calcoli preliminari per l'analisi di rischio

Volendo descrivere come si possa procedere all'esecuzione di un'analisi dei rischi nel trasporto di sostanze pericolose occorre caratterizzare, qualunque sia il vettore di trasporto considerato,:

- (a) la rete di trasporto
- (b) il veicolo o sorgente di rischio viaggiante
- (c) l'area di impatto

Una rete di trasporto è sempre schematizzabile con rami e nodi; ogni *ramo l* di un insieme  $N_{link}$  è caratterizzato da varie proprietà quali: le coordinate x,y nell'area di impatto; la tipologia della rete di trasporto (strada, via d'acqua, ferrovia,...); il quantitativo annuo di vettori  $N_{vet}(l, v)$  che transitano sul ramo per ogni tipologia di veicolo considerato v; la frequenza incidentale  $\lambda_{inc}(l)$ , funzione sia delle specificità della strada che del traffico presente, dal cui prodotto con la probabilità di rilascio si ottiene la frequenza di rilascio  $\lambda_{ril}(l)$ . Come conseguenza delle definizioni date ad ogni ramo, nella trattazione che seguirà, si associano proprietà uniformi in tutti i suoi punti. Ulteriore ipotesi, fondamentale per la fase di calcolo, è la linearità del ramo.

Naturalmente è necessario tenere presente che nell'arco temporale considerato, l'anno, le proprietà dei rami possono variare significativamente sicché appare opportuno suddividere l'anno in periodi più brevi, genericamente indicate come "stagioni" ( $j=1, N_{stag}$ ), alle quali associare proprietà differenti (giorno/notte, inverno, autunno,...). In sintesi per ogni ramo si parlerà di:  $N_{vet}(l, v, j)$ ,  $\lambda_{inc}(l, j)$ ,  $\lambda_{ril}(l, j)$ .

La caratterizzazione del veicolo (o sorgente di rischio viaggiante) richiede di chiarire una volta per tutte cosa si debba intendere per "tipologia del veicolo": tipologie di veicoli sono un'autocisterna che trasporta ammoniaca, una ferrocisterna che trasporta GPL o una bettolina che trasporta gasolio; si può allora parlare di più tipologie di veicoli ( $N_{veic}(l)$ ) per ogni ramo l. Fa eccezione naturalmente la condotta, per la quale non si può definire il passaggio di più sostanze contemporaneamente.

Per ogni sorgente di rischio viaggiante occorre definire la  $p_{ril}(l,v)$ , ovvero la probabilità di rilascio a seguito di un incidente: è abbastanza intuitivo che essa dipenda sia dalle caratteristiche costruttive del veicolo, funzione della sostanza trasportata, sia dalla specificità della rete (ad esempio dalle velocità ammesse su di una strada).

Dalla caratterizzazione della rete di trasporto e della probabilità di rilascio tipica della coppia *rete di trasporto - tipologia del veicolo* discende il calcolo della frequenza incidentale di una specifica tipologia di veicolo su di un ramo:

$$f_{ril}(l, v, j) = N_{vet}(l, v, j) \cdot \lambda_{inc}(l, j) \cdot p_{ril}(l, v) \dots\dots\dots (1)$$

Per analizzare i rischi connessi con il veicolo in movimento sulla rete, ovvero per identificare e quantificare gli scenari incidentali caratteristici, occorre la conoscenza di:

- condizioni di trasporto di ogni sostanza (pressione, temperatura e quantitativo),
- numero e dimensioni dei fori equivalenti scelti per rappresentare con un insieme discreto la molteplicità di possibili rotture accidentali di una specifica tipologia di veicolo,
- scenari incidentali ( $i, i=1, N_{sc}(v)$ ) ai quali ciascun foro equivalente di una specifica tipologia di trasporto può dare origine, secondo l'albero degli eventi specifico della sostanza considerata (incendio di pozza e/o di getto, dispersione di gas tossico,...),
- probabilità dell'i-esimo scenario  $p_{sc}(i)$  a seguito del rilascio (ottenibile come prodotto della probabilità che il rilascio sia caratterizzato da uno specifico foro equivalente per la probabilità che che ad esso segua lo scenario i).

Si vedano i riferimenti [2] e [4] per avere esempi di caratterizzazioni di veicoli stradali e ferroviari.

La caratterizzazione dell'area d'impatto richiede che si definiscano sia la distribuzione di popolazione sul territorio sede delle valutazioni sia alcuni *parametri* il cui valore influenza gli *effetti* degli scenari incidentali.

Tra questi ultimi si rammentano la rugosità del terreno, la temperatura e l'umidità dell'atmosfera e il grado di confinamento che entrano nella modellistica delle dispersioni atmosferiche di gas/vapori e delle VCE; le condizioni meteorologiche tipiche dell'area d'impatto definite attraverso una generica coppia classe di stabilità – velocità del vento ( $k, k=1, N_{met}$ ), la distribuzione della densità di probabilità del vento  $p_w(j, k, \vartheta)$ , tipica della stagione j, della condizione meteo k e della direzione del vento  $\vartheta$ . La procedura di valutazione qui brevemente sintetizzata permette di considerarne la variabilità significativa soprattutto quando si abbia a che fare con aree di grandi dimensioni.

Una stima ben approssimata del rischio sociale richiede che sia ben definita la *distribuzione di popolazione* sull'area e di questa la probabilità di presenza indoor/outdoor, poiché la protezione indoor è certamente uno degli effetti di mitigazione più importanti. Si deve allora distinguere tra zone in cui la popolazione può essere considerata uniformemente distribuita e centri di aggregazione, ove in piccole superfici si concentrano molte persone. Sono ad esempio zone a definita densità le aree residenziali ed i centri urbani e anche le strade, in cui con una densità per unità di lunghezza si può caratterizzare il flusso di viaggiatori. Sono per contro centri di vulnerabilità particolari le scuole, gli ospedali, i centri commerciali,...

I dati per rete di trasporto, sorgenti di rischio e area d'impatto costituiscono la base necessaria su cui poggia la valutazione delle misure di rischio; ad essi si debbono aggiungere, per caratterizzare le conseguenze degli incidenti, le "mappe di danno (o di vulnerabilità)". Ad ognuno degli  $N_{sc}(v)$  scenari

identificati, per ogni “foro equivalente”, corrispondono, nelle condizioni più generali,  $N_{met}$  casi di effetto dannoso (si pensi ad esempio alle diverse distribuzioni di concentrazione che caratterizzano le possibili condizioni meteo: classe di stabilità-velocità del vento), ciascuno dei quali è rappresentabile con una mappa di distribuzione sul territorio della grandezza fisica d’impatto (irraggiamento, sovrappressione,...) o ancor meglio, con una mappa di distribuzione della probabilità di morte (o vulnerabilità) che ne consegue.

Tali mappe evidentemente non dipendono dalla distribuzione di popolazione, ma dalla caratterizzazione del veicolo e dai parametri fisici dell’area di impatto e sono tipicamente fornite come un insieme di valori su di un grigliato di passo noto; si dovrà procedere con interpolazioni per ottenere valori in punti non appartenenti alla griglia.

## Il calcolo del rischio individuale

Rammentando che il rischio individuale (per definizione *outdoor*) in un generico punto P di un territorio è dato dalla somma dei rischi in esso generati da ciascuna sorgente presente nell’area in esame, per una miglior comprensione della procedura se ne schematizza il calcolo attraverso i passi seguenti:

- (a) valutazione del rischio individuale indotto da un singolo ramo e da una specifica tipologia di trasporto;
- (b) estensione della valutazione a tutti i rami e tutte le tipologie di trasporto.

A titolo descrittivo della fase (a), si consideri sul piano X/Y rappresentante il territorio il generico ramo l e su di esso una sorgente di rischio puntuale Q(t), essendo t la coordinata lineare sul ramo. Tale sorgente è anche l’origine del piano  $\xi/\eta$  sul quale sono state valutate le distribuzioni di danno (o mappe di vulnerabilità) ove  $\xi$  è la generica direzione del vento (con  $\vartheta$  si indica l’inclinazione rispetto al riferimento fisso X). Si vuole introdurre una nuova variabile, l’Unità di Rischio, per tutti i punti del piano attorno a Q(t). Si procede allora considerando un generico punto S dell’area circostante a Q(t) e valutando le vulnerabilità in esso indotte da uno scenario incidentale i in una specifica condizione meteorologica k al variare della direzione del vento in Q(t). La vulnerabilità media pesata con la distribuzione della rosa dei venti in S è quindi data da:

$$\int_0^{2p} p_w(j, k, J) \cdot V_{Q(t) \rightarrow S}(i, k, J) dJ \dots\dots\dots (2)$$

Calcolando l’integrale (2) per ogni condizione meteo e ripetendo per tutti gli scenari incidentali possibili in Q(t) si ottiene, tenuto conto dell’additività del rischio individuale, la seguente equazione:

$$UR_{Q(t) \rightarrow S}(j, v) = \sum_{i=1}^{N_{sc}(v)} p_{sc}(i) \cdot \sum_{k=1}^{N_{met}} \int_0^{2p} p_w(j, k, J) V_{Q(t) \rightarrow S}(i, k, J) dJ \dots\dots\dots (3)$$

che può essere definita come l’unità di rischio in S durante la “stagione” j per la tipologia di veicolo v causata dalla sorgente Q(t). Ripetendo per tutti i punti del piano prossimo a Q(t), si ottiene la mappa dell’unità di rischio. Poiché la sorgente di rischio Q(t) si muove lungo il ramo di trasporto l, per valutare il rischio individuale in un generico punto P del territorio sarà necessaria l’integrazione di linea della (3) effettuata interpolando la mappa dell’unità di rischio. Il calcolo richiede a questo punto soltanto l’associazione della frequenza incidentale del rilascio corrispondente al ramo, alla tipologia di trasporto ed alla “stagione” j e la somma di tutti i contributi di ogni “stagione”

$$IR_p(l, v) = \sum_{j=1}^{N_{seas}} f_{ril}(l, v, j) \int_{L_1} UR_{Q(t) \rightarrow P}(j, v) dt \dots\dots\dots (4)$$

Per quanto riguarda la fase (b), il calcolo deve procedere considerando che i contributi al rischio dei diversi rami sono additivi ed additivi sono pure i contributi delle tipologie di veicoli. Ne segue l’equazione (5):

$$IR_p = \sum_{l=1}^{N_{links}} \sum_{v=1}^{N_{vet}^{(l)}} \sum_{j=1}^{N_{st}} f_{ril}(l, v, j) \cdot \int_{L_l} \sum_{i=1}^{N_{out}^{(v)}} P_{sc}(i) \sum_{k=1}^{N_{met}} \int_0^{2p} p_w(j, k, J) v_{Q(t)_v \rightarrow S}(i, k, j) dJ \quad (5)$$

## Il calcolo del rischio sociale

Si tratta, come è ben noto, di calcolare un indice di rischio, la curva F-N, che rappresenta l'entità del coinvolgimento della popolazione nei possibili incidenti. Anche per il rischio sociale, come per quello individuale, vale l'additività dei contributi delle sorgenti di rischio, sicché si può affermare che il rischio sociale dovuto ad una rete di trasporto è la risultante dei contributi di ciascun ramo della rete ed il singolo contributo del ramo è a sua volta la risultante dei rischi indotti da ciascuna tipologia di veicolo transitante sul ramo.

Per riassumere in breve la procedura di calcolo, si consideri in prima istanza uno scenario incidentale  $i$ ; poiché a questo possono essere associati  $N_{met}$  accorpamenti meteorologici,  $N_{st}$  situazioni stagionali e  $N_\vartheta$  direzioni caratteristiche del vento, ogni combinazione *scenario  $i$  – accorpamento  $k$  – stagione  $j$  – direzione  $\vartheta$*  costituisce uno scenario incidentale specifico *scen*, cui è possibile associare sia una frequenza di accadimento sia un numero  $N$  di casi di danno (nel caso delle curve F-N il danno  $\equiv$  morte).

In particolare, con riferimento ad una sorgente di rischio  $Q(t)$  del ramo  $l$  per la tipologia di veicolo  $v$ , si ha:

$$f_{Q(t)l,v}^{scen}(i, j, k, J) = f_{ril}(l, v, j) \cdot p_{sc}(i) \cdot p_w(j, k, J) \dots\dots\dots (6)$$

mentre il corrispondente numero di casi di danno è riportato nell'equazione (7) come somma dei contributi della popolazione presente, all'esterno(out) con una frazione  $X$  o all'interno(in), in aree residenziali o lungo le strade (i viaggiatori), con densità  $\rho_A$  e  $\rho_L$  rispettivamente, oppure in definiti centri di aggregazione con popolazione  $P$ :

$$\begin{aligned} N_{Q(t)l,v}^{scen}(i, j, k, J) = & \\ = & \sum_{m=1}^{N_L} r_{L_m}(j) \left[ X_{L_m}(j) \int_{L_m} V_{Q(t)_v}^{in}(i, k, J) dL_m + (1 - X_{L_m}(j)) \int_{L_m} V_{Q(t)_v}^{out}(i, k, J) dL_m \right] + \\ & + \sum_{n=1}^{N_A} r_{A_n}(j) \left[ X_{A_n}(j) \int_{A_n} V_{Q(t)_v}^{in}(i, k, J) dA_n + (1 - X_{A_n}(j)) \int_{A_n} V_{Q(t)_v}^{out}(i, k, J) dA_n \right] + \\ & + \sum_{o=1}^{N_C} P_{C_o}(j) \left[ X_{C_o}(j) V_{Q(t)_v}^{in}(i, k, J) + (1 - X_{C_o}(j)) V_{Q(t)_v}^{out}(i, k, J) \right] \quad (7) \end{aligned}$$

essendo  $V^{in}$  e  $V^{out}$  le vulnerabilità indoor ed outdoor già predisposte con le mappe di danno. La costruzione della curva F-N complessiva procede secondo i passi:

- calcolo della curva cumulata per tutti gli scenari specifici al variare della direzione  $\vartheta$
- calcolo dell'integrale esteso all'intero ramo delle sorgenti di rischio
- calcolo complessivo per tutti gli accorpamenti meteo, per tutte le "stagioni", per tutti gli scenari, per tutte le tipologie di trasporto e per tutti i rami della rete.

A sintetico commento si osserva che le procedure di calcolo descritte sono del tutto generali e di conseguenza possono permettere il confronto di alternative di trasporto, in termini di pluralità di sostanze trasportate, di più modalità di trasporto e differenti percorsi qualora si disponga di un codice di calcolo che ne renda semplice e agile la gestione.

## L'architettura del software

TRAT2 è il software che, traducendo in algoritmi le procedure di calcolo del rischio sopra riassunte, rende disponibile in tempi assai brevi l'esecuzione di corrette valutazioni degli indici di rischio.

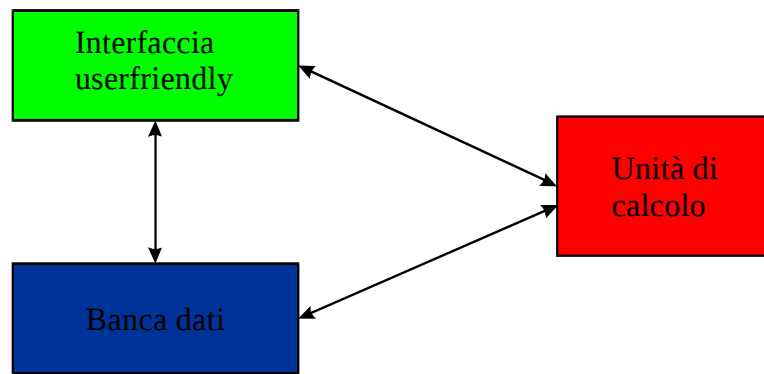


Figura 1

La Fig. 1 mostra che l'attuale versione è composta fondamentalmente da tre applicativi sviluppati in linguaggio C++ e Fortran e da una banca dati, di tipologia ACCESS, che colloquia tramite librerie ad accesso diretto.

L'interfaccia user-friendly consente all'utente, attraverso il dialogo con la banca dati, la rapida introduzione dell'elevato numero di dati necessari inizialmente per una descrizione di dettaglio del caso in esame. Dalla banca i dati sono esportati all'unità di calcolo, che li elabora riversando a sua volta i risultati prodotti nella banca dati. Da ultimo i risultati possono essere visualizzati direttamente o esportati per effettuare un'elaborazione esterna di grafici.

Lo sviluppo completo dell'architettura ha dunque richiesto:

1. la definizione di procedure di introduzione dati,
2. l'organizzazione della comunicazione dati da banca ad unità di calcolo,
3. la predisposizione di una banca dati per la gestione facile sia dell'introduzione dei dati d'ingresso, sia della visualizzazione dei risultati elaborati dall'unità di calcolo.

### L'introduzione dei dati

L'attività di introduzione dati è stata ripartita in due fasi, in relazione alla tipologia degli utenti:

1. fase I: per analisti di rischio, ovvero utenti in grado di sviluppare autonomamente alberi degli eventi incidentali per diverse tipologie di trasporto connesse a diverse sostanze;
2. fase II: per decisori interessati ad effettuare valutazioni per specifiche aree di impatto.

Tale predisposizione facilita la collaborazione tra le due figure sopracitate mantenendone distinte le competenze e rispettando di conseguenza i ruoli da essi ricoperti. Inoltre la struttura non eccessivamente rigida consente a personale che voglia svolgere entrambi i ruoli di poter utilizzare il software sia in fase di definizione della struttura della banca dati, sia in fase di descrizione dell'area in esame.

Va notato che la suddivisione permette l'utilizzo della stessa analisi di rischio per specifici vettori, sviluppata da esperti in questo settore, per più aree simili tra loro con riferimento a tipologia del territorio, vettori di trasporto e sostanze pericolose trasportate; ciò significa, più esplicitamente, che la banca dati di analisi di rischio di specifiche tipologie di veicolo è riutilizzabile per una notevole varietà di applicazioni.

In sintesi l'introduzione dati del codice TRAT2 richiede:

- nella I fase, lo sviluppo di modelli base (template) funzionali alla costruzione e organizzazione della banca dati;
- nella II fase, l'introduzione dati territoriali, di flusso,...

#### I fase (lo sviluppo del template)

La fig.2 mostra il menù nella configurazione iniziale.



Figura 2

Si noti che sono disabilitate tutte le voci che si riferiscono alla descrizione dell'area di impatto e dei flussi O/D. In questa fase è consentita una introduzione di dati rivolta alla definizione della struttura della banca dati e all'analisi di rischio dei singoli vettori di trasporto.

Esaminando la voce menù Configurazione (fig.3) si nota la possibilità di definire gli aspetti riguardanti il numero di accorpamenti stagionali e meteorologici, le direzioni vento oltre che la descrizione delle aree funzionale alla scelta dei modelli di simulazione di incidenti. Tali opzioni determinano *la struttura della banca dati* e non sono quindi utilizzabili durante la seconda fase di introduzione dati.

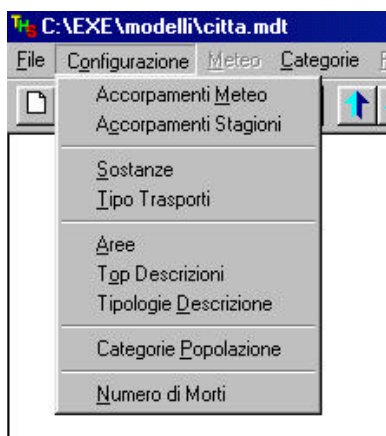


Fig.3

In tale fase è possibile anche introdurre la descrizione dei vettori di trasporto. La scheda relativa, richiamabile dal menù, (Fig. 4) contiene la descrizione dell'analisi di rischio eseguita per il singolo vettore, attraverso le probabilità condizionate di rilascio piccolo, medio,... e, per ciascun rilascio, le probabilità di occorrenza dei vari scenari incidentali, ai quali si affiancano le mappe di vulnerabilità che ne descrivono le conseguenze (le mappe sono discretizzate e contenute in file). Si noti che queste ultime fanno riferimento ad una specifica tipologia di area (vedi campo "Tipo Area"). Se varia la tipologia d'area che può essere presente in un territorio in prossimità dei tratti della rete di trasporto, è necessario ridefinire e ricalcolare (se del caso) l'albero degli eventi associato; in tal modo si consente un calcolo degli effetti che ingloba le specificità del territorio (importanza della presenza di edifici nella valutazione degli effetti di una VCE o di una dispersione di sostanze tossiche).

Descrizione: ACN STRADA

Tipo Trasporto: STRADA

Sostanza: ACRILONITRILE

Tipo Area: CITTA

| TOP          | Lambda   |
|--------------|----------|
| FORO PICCOLO | 8.2e-02  |
| FORO MEDIO   | 1.64e-02 |
| CATASTROFICO | 1.6e-03  |

| Tipologie              | Occorr. |
|------------------------|---------|
| POOLFIRE               | 0.10    |
| DISP. PESANTE CONTINUO | 0.90    |

| File di Vulnerabilità |
|-----------------------|
| Acns116.vul           |
| Acns126.vul           |
| Acns136.vul           |

Record inseriti: 16

Figura 4

La definizione dei vettori di trasporto per diverse tipologie e/o sostanze effettuata in questa fase sarà successivamente utilizzabile per le analisi di rischio di più aree territoriali purché descritte dalla stessa tipologia identificata nella compilazione della scheda dei trasporti.

Ulteriore dato che può essere definito prescindendo da una applicazione ad un'area di interesse è la definizione delle categorie di popolazione: si associano alle categorie di interesse (residenti, studenti, malati,...) le probabilità di essere all'interno o all'esterno in ognuno degli accorpamenti stagionali.

## II fase (la definizione del caso di studio)

All'atto dell'avvio dell'analisi di un caso reale ai fini della valutazione del rischio sociale e del rischio individuale è necessario anzitutto scegliere tra i possibili *template* disponibili quello più consono per l'area in studio. Si rammenta che l'operazione di introduzione *modello* descritta nella fase precedente soddisfa due obiettivi: la definizione della struttura della banca dati necessaria per la descrizione del caso in esame, l'introduzione preventiva di tutte le tipologie di veicoli per tutte le sostanze volute.

All'apertura di una nuova banca per l'analisi di un nuovo caso si richiedono, oltre alla scelta del modello, le seguenti operazioni:

1. scelta del nome della banca dati per il caso in esame;
2. selezione di una immagine grafica che consenta la descrizione del caso in esame;
3. selezione delle dimensioni della mappa e della direzione nord.

A valle di queste definizioni si attivano i menù riportati in figura.5.

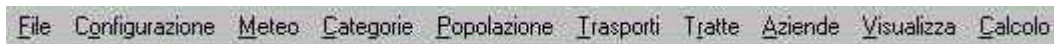


Figura 5

Naturalmente la voce Configurazione del menù non consente di apportare modifiche alla struttura della banca dati.

Per l'area in esame si possono introdurre, qualora necessario, nuove tipologie di trasporto o trasporti di altre sostanze che, poiché inserite in questa fase, non porteranno ad aggiornamento del relativo modello e saranno quindi applicabili al solo caso in esame.

I menù attivi nell'analisi di un caso di interesse sono numerosi. A titolo esemplificativo si riporta in Fig. 6 la scheda del menù Meteo, attraverso cui si fornisce la rosa dei venti per gli accorpamenti meteorologici definiti, una per ogni accorpamento stagionale.

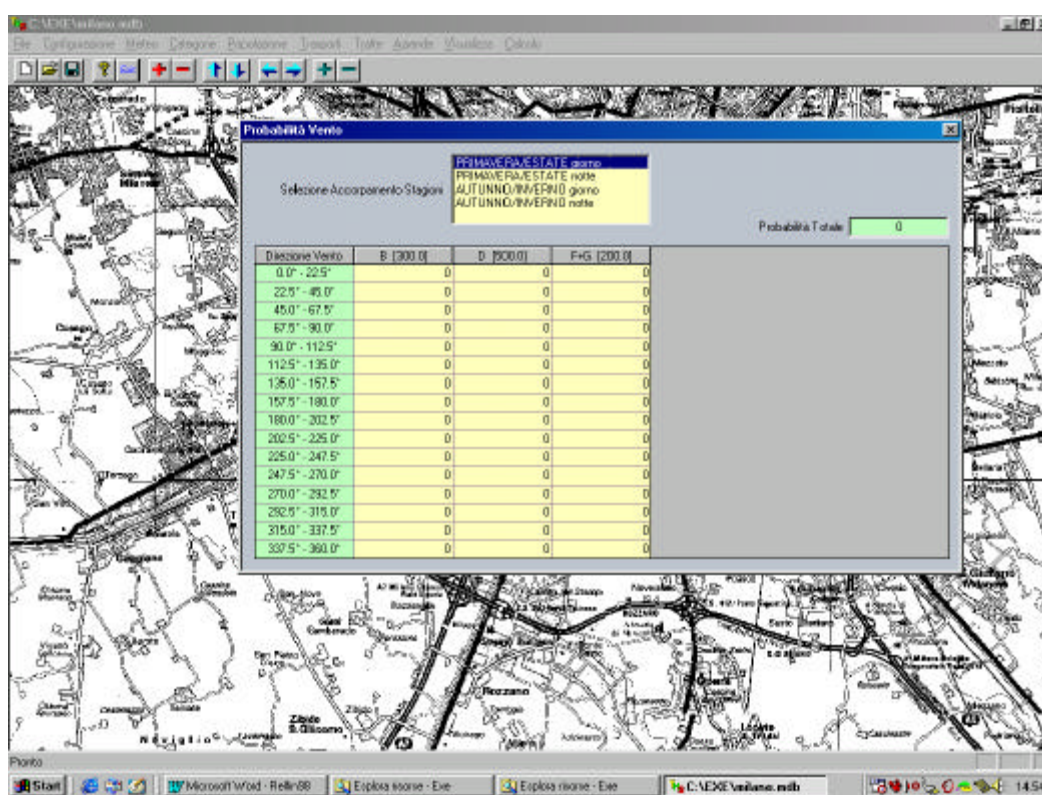


Figura 6

Il menù Popolazione conduce alla scelta della distribuzione di popolazione nel territorio, secondo le regole descritte in precedenza (vedi caratterizzazione dell'area di impatto).

Il passo successivo di introduzione della descrizione dei vettori di sostanze pericolose presenti sull'area è suddivisa anch'esso in due fasi:

1. caratterizzazione della rete dedicata al trasporto di sostanze pericolose;
2. definizione del numero di vettori provenienti o diretti ad aziende presenti sul territorio.

La fase 1. comporta la descrizione della rete utilizzata dai vettori di trasporto di sostanze pericolose. In questo caso occorre completare per ogni tratto la scheda che (vedi figura 7) consente di definire la posizione, la descrizione dell'area presente attorno al tratto (tipologia di area), la tipologia della rete (strade, ferrovie,...) e la frequenza incidentale che lo caratterizza. Si noti che tale scheda è predisposta per l'indicazione dei dati meteorologici cui fare riferimento nella valutazione degli indici di rischio. Tale predisposizione consente di analizzare i trasporti in aree di grande estensione in cui ovviamente le condizioni meteorologiche caratteristiche possono variare.

**Tratte**

Identificatore  
 TRATTA 4

X1 1300    Freq. Incidenti 5e-007  
 Y1 830    Centralina  
 X2 2100    Tipo trasporto TIPO 1  
 Y2 830    Tipo Area APERTA CAMPAGNA

Aggiorna

Spezzata ☐

TRATTA 1: (100, 2530) (900, 1930)  
 TRATTA 2: (900, 1930) (700, 1330)  
 TRATTA 3: (700, 1330) (1300, 830)  
 TRATTA 4: (1300, 830) (2100, 830)  
 TRATTA 5: (2100, 830) (3100, 130)

Figura 7

Terminata la fase di descrizione delle reti di distribuzione per le diverse tipologie di trasporto (strade, ferrovie, ...) si passa alla fase di definizione delle aziende presenti sull'area e ai corrispondenti vettori dedicati al trasporto di sostanze pericolose.

**Definizione Aziende**

Nuovo Elimina Esci

Denominazione enichem    X 3110    Y 6275

| Rotte         | Origine | Destinazione | Tratte |
|---------------|---------|--------------|--------|
| enichem MI-RA | Milano  | Ravenna      | ...    |

| Trasporti  | Accorpamento Stagionale | N° Vettori |
|------------|-------------------------|------------|
| NH3 STRADA | PRIMAVERA/ESTATE giorno |            |
|            | PRIMAVERA/ESTATE notte  |            |
|            | AUTUNNO/INVERNO giorno  |            |
|            | AUTUNNO/INVERNO notte   |            |

Posizione X = 2795, Y = 6362

Figura 8

La scheda di tale fase (figura 8) richiede:

- ♦ il legame tra le rotte adottate dai vettori ed i rami della rete,
- ♦ i trasporti di tutte le sostanze presenti su tali rotte ed il numero di vettori per i vari accorpamenti stagionali.

Questa ultima fase di introduzione dati completa la fase di input ed avvia la valutazione degli indici di rischio nell'area di interesse.

### I risultati

I risultati calcolati dal TRAT2 sono, come ben noto, mappe di rischio individuale e curve di rischio sociale; è interessante avere qualche dettaglio sull'ampio spettro di indagini dei diversi contributi.

Con riferimento al *rischio individuale*, si ottiene non soltanto la mappa globale, dovuta a tutti i trasporti presenti sull'area connessi a tutte le aziende presenti, ma anche il contributo di ogni singola tipologia di trasporto o di sostanza ed infine il contributo di una singola azienda.

La modalità di calcolo adottata consente anche di valutare separatamente l'indice di rischio sia per la popolazione outdoor, sia per la popolazione indoor, così fornendo un'analisi delle differenze connesse con la mitigazione indoor.

Per la valutazione del *rischio sociale* si è predisposto lo schema di figura 9. In questo caso la valutazione del rischio sociale procede attraverso:

1. curve F/N cumulative;
2. massimo valore di curve F/N tracciate per segmenti unitari dei tratti.

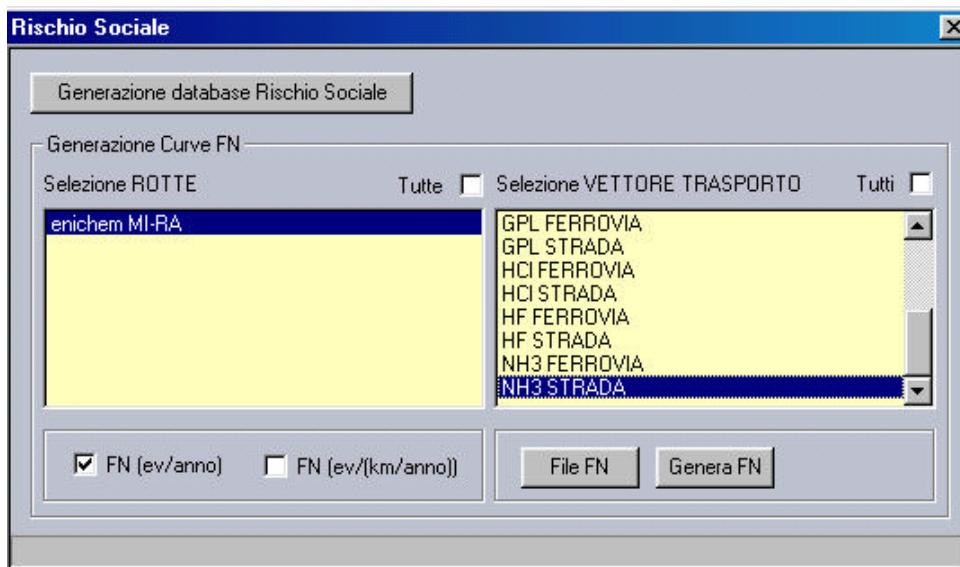


Figura 9

Anche in questo caso sono possibili valutazioni per rotte specifiche, e quindi aziende, e per ogni vettore di trasporto, e quindi anche per singola tipologia di trasporto o singola sostanza.

La visualizzazione dei risultati per i diversi casi in esame, sia per il calcolo del rischio sociale che locale, è possibile sia direttamente sia attraverso software esterni alimentati da file all'uopo predisposti.

## INTRODUZIONE AD UN CASO DI STUDIO: L'AREA URBANA DI MESSINA

La situazione dei trasporti di sostanze pericolose in Sicilia ed in particolare in prossimità di Messina è ampiamente tracciata in [5], ove si riportano i risultati della fase di censimento, della analisi dei rischi di alcuni vettori e della valutazione quantitativa del rischio sull'area; in questo contesto si intende semplicemente illustrare gli elementi che hanno portato alla predisposizione del *modello (o template)*, necessario per la valutazione dei rischi sull'area: l'intento è infatti quello di esemplificare le potenzialità del codice tramite un'applicazione reale ad un territorio; resta ai decisori il compito di utilizzare i numerosi risultati che possono essere prodotti per avviare una discussione tendente a ridurre il rischio presente, ove fosse necessario.

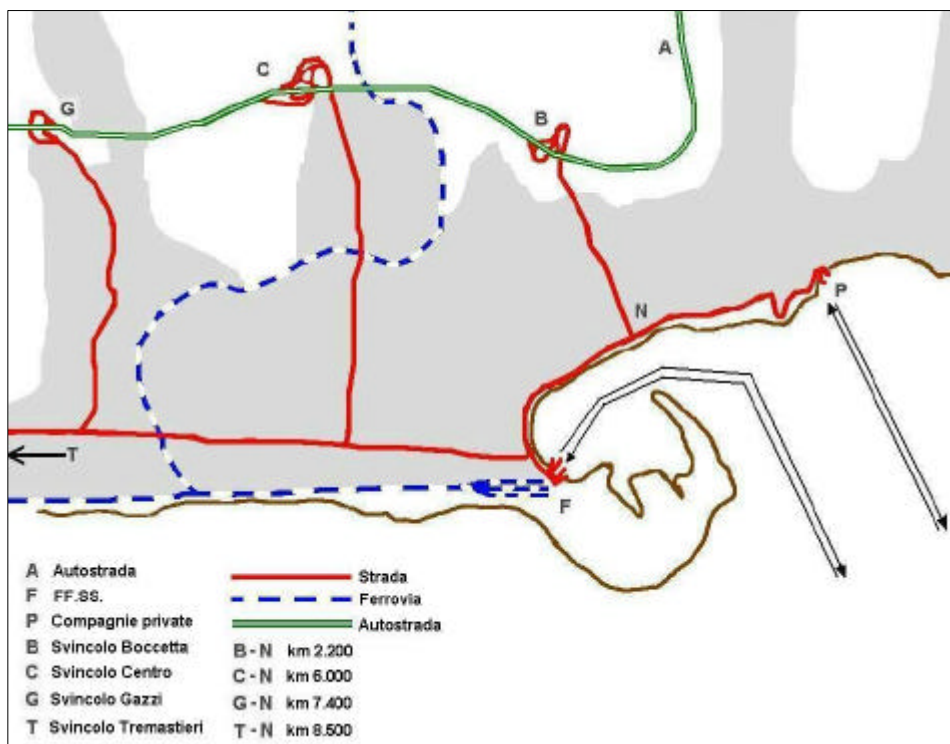
Dal censimento risulta il trasporto, sia su strada che su ferrovia, delle sostanze indicate in tabella 1, ove si evidenziano anche gli accorpamenti di sostanze effettuati ai fini del calcolo:

| SOSTANZE PRINCIPALI<br>TRASPORTATE | ACCORPAMENTO                                                                        |
|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Acrilonitrile                      | Acrilonitrile, Metanolo, Acetonitrile                                               |
| Acido cloridrico                   | Acido acetico, Acido cloridrico                                                     |
| Acido fluoridrico                  | Acido fluoridrico                                                                   |
| Ammoniaca                          | Ammoniaca                                                                           |
| Cloro                              | Cloro                                                                               |
| Combustibili liquidi               | Acetofenone, Benzina, Firemag 2900, Gasolio, Kerosene, Olio combustibile, Acetilene |
| GPL                                | Butano, Eptano, GPL, Propano                                                        |
| Ossido di etilene                  | Ossido di etilene, Percloro etilene, Ossido di propilene                            |

Tabella 1. Sostanze trasportate e accorpamenti ai fini della valutazione delle conseguenze

La mappa di fig. 10 mostra le caratteristiche della rete di trasporto, sulla quale si evidenziano strade ed autostrade ed alcune tratte ferroviarie.

**Figura 10.** Messina: direttrici principali del trasporto su strada, autostrada e ferrovia



La costruzione del *template* ha condotto alla definizione di:

- quattro accorpamenti stagionali (primavera-estate-giorno, primavera-estate-notte, autunno-inverno-giorno, autunno-inverno-notte) le cui caratteristiche agevolano l'inserimento della distribuzione dei flussi di veicoli consona al reale andamento annuo;
- tre accorpamenti meteorologici (B-3, D-5, F-2)
- otto sostanze caratteristiche (vedi anche fig.11) per le quali sono stati predisposti, attraverso un'analisi di rischio, i corrispondenti scenari incidentali, distinguendo tra trasporto stradale e ferroviario; di ciascun scenario è stata effettuata la valutazione delle conseguenze e costruiti i relativi file di vulnerabilità;
- una rosa dei venti caratterizzata da sedici direzioni principali.

Le valutazioni delle conseguenze fisiche di ogni specifico scenario, e le conseguenti mappe di probabilità di morte, sono state eseguite, per una temperatura media annua di 25 °C e per aree di tipologia urbana.

In Fig.12 si riporta la scheda caratteristica del trasporto di GPL su strada: si notano le probabilità condizionate di ciascuna classe di rottura, le tipologie incidentali considerate ed i relativi file contenenti le mappe di danno.

Il passo successivo, qui non illustrato, prevede la descrizione del caso di studio, sia per il territorio che per i flussi O/D, sulla base della quale si possono eseguire in tempi assai brevi i calcoli.

## CONCLUSIONI

E' stato presentato un codice di calcolo, il TRAT2, che esegue la valutazione quantitativa dei rischi di incidenti rilevanti connessi con il trasporto di sostanze pericolose e ne fornisce i risultati in termini delle misure di rischio individuale e sociale. In particolare è stata sinteticamente descritta la procedura di quantificazione per mostrarne il rigore metodologico e la generalità che la rendono applicabile a qualsivoglia tipologia di trasporto, via strada, ferrovia, nave.... . Lo strumento software che su di essa è stato costruito si presta ad un uso semplice sia per analisti di rischio, ovvero utenti esperti in grado di costruire proprie casistiche incidentali, sia per pianificatori e decisori pubblici, ovvero utenti interessati ad ottenere informazioni quali/quantitative di supporto a decisioni per la riduzione e la mitigazione dei rischi. La facilità d'uso è stata messa in evidenza anche dall'introduzione di alcuni elementi relativi al caso di studio dell'area

messinese. Lo strumento rappresentato dal codice TRAT2 verrà utilizzato come supporto del decisore per la localizzazione dei nuovi approdi per il traghettamento dello Stretto di Messina.

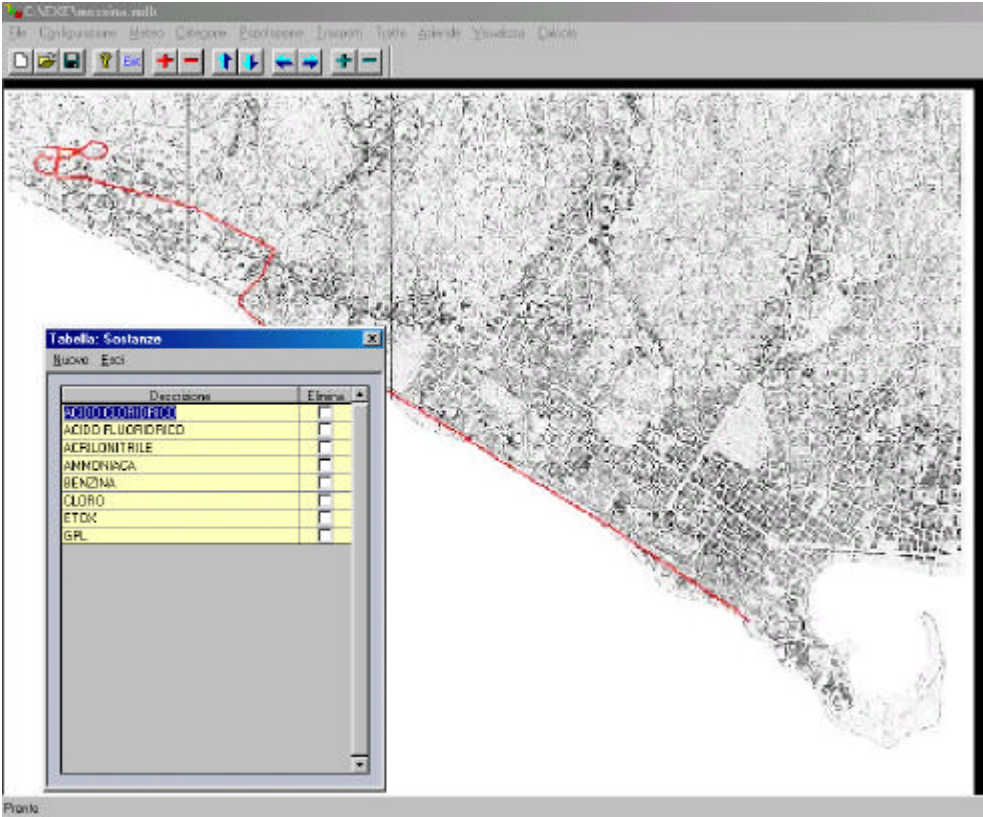


Figura 11. Sostanze principali trasportate

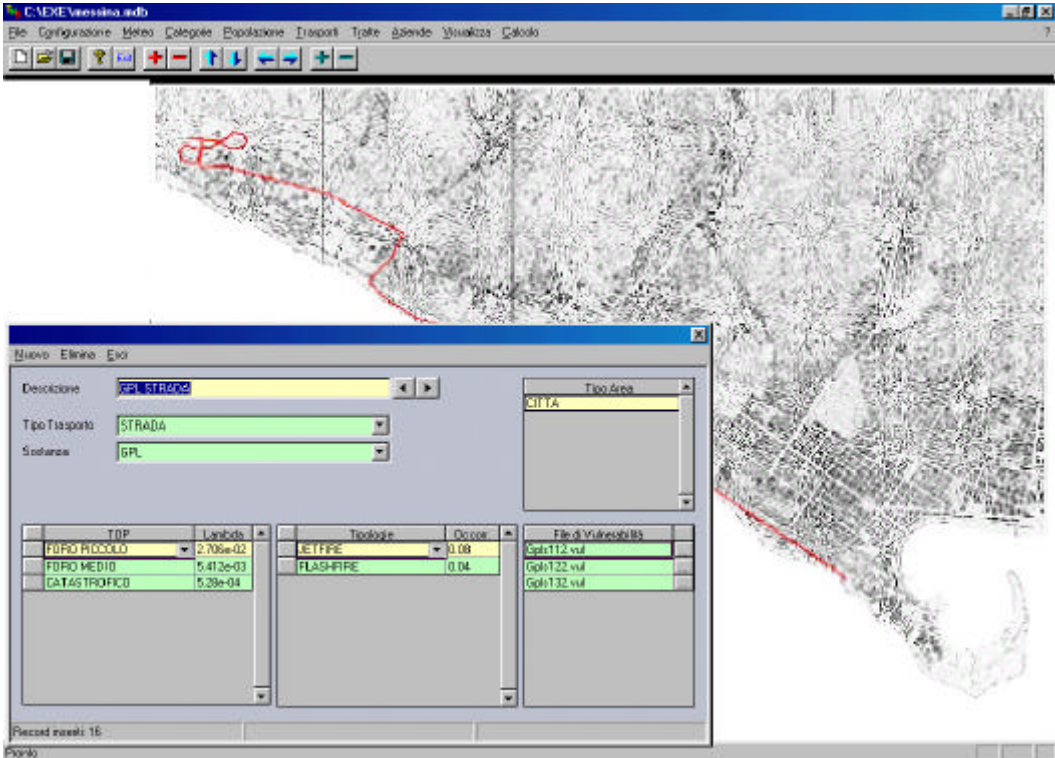


Figura 12. Scenari incidentali per un trasporto tipico.

## **RINGRAZIAMENTI**

Si ringrazia il GNDRICIE-CNR per il finanziamento della ricerca.

## **BIBLIOGRAFIA**

1. Vilchez, J.A., Sevilla, S., H. Montiel, H. & Casal, J., Historical analysis, of accidents in chemical plants and in the transportation of hazardous materials, *J. Loss Prev. Process Ind.*, 8(2), 87-96 (1995).
2. Advisory Committee on Dangerous Substances, Major Hazard Aspects of the Transport of Dangerous Substances, HSE, London, UK.P, (1991).
3. P. Leonelli, S. Bonvicini, G. Spadoni, New Detailed Numerical Procedures for Calculating Risk Measures in Hazardous Materials Transportation, *J. Loss Prev. Process Ind.*, 12 , 507-515 (1999).
4. Spadoni, G., P. Leonelli, P., Verlicchi, P., & Fiore, R, A numerical procedure for assessing risks from road transport of dangerous substances, *J. Loss Prev. Process Ind.*, 8(4), 245-251,(1995).
5. Maschio G. et al., Analisi del rischio nei trasporti di sostanze pericolose nell'area dello stretto di Messina, VGR 2000, Pisa, (2000).