

GESTIONE DELL'EMERGENZA NEL TRASPORTO DI SOSTANZE PERICOLOSE: IL SOFTWARE METRHAZ

Barbara Mazzarotta

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

RIASSUNTO

Elevati quantitativi di sostanze pericolose sono trasportate ogni anno per strada e ferrovia: in caso di incidente seguito da sversamento del prodotto si possono originare situazioni di pericolo. Chi si trova ad intervenire sul luogo dell'incidente deve spesso fronteggiare l'emergenza sulla base di informazioni assai incomplete riguardo la pericolosità della sostanza coinvolta, quali quelle desumibili dal pannello segnaletico. Infatti, le schede informative più complete sui prodotti, conservate sul mezzo, potrebbero non essere accessibili e comunque esse non contengono informazioni riguardo allo spettro di eventi che possono verificarsi a seguito della fuoriuscita del prodotto né sulle distanze che mettono al sicuro dal pericolo da essi derivante.

Il software METrHaz (Managing Emergency in Transportation Hazards), concepito per essere utilizzato nelle sale controllo che coordinano gli interventi delle squadre di emergenza o direttamente sul posto, consente di valutare in meno di 30 secondi (comprensivi della digitazione dei dati) la potenziale pericolosità dell'incidente, fornendo indicazioni utili alla salvaguardia del personale impegnato nel fronteggiare l'emergenza e facilitando le decisioni riguardo all'opportunità di evacuare le zone circostanti.

1. INTRODUZIONE

Il nostro Paese produce, importa, trasforma ed esporta una grande quantità di prodotti chimici di vario tipo, molti dei quali presentano caratteristiche di pericolosità. Il problema dei rischi legati all'immagazzinamento ed alle lavorazioni che coinvolgono sostanze pericolose è stato affrontato a livello legislativo attraverso l'emanazione di un certo numero di normative, di cui la più recente è la direttiva della Comunità Europea 96/82/EC, nota come "Seveso 2". Queste normative prevedono l'acquisizione di informazioni riguardo ai quantitativi ed alla tipologia dei prodotti trattati ed alle lavorazioni effettuate, nonché una valutazione dei rischi che individui i possibili eventi pericolosi e le modalità secondo cui si intende prevenirli e fronteggiarli. Un altro obbligo riguarda l'approntamento di piani di emergenza, resa possibile sia dalle informazioni di cui sopra, che consentono di valutare quale sia il tipo e l'entità dell'incidente che ci si può trovare a fronteggiare, sia dalla conoscenza delle forze di intervento disponibili, del numero dei residenti e della loro distribuzione sul territorio, delle condizioni meteorologiche e della viabilità per un'eventuale evacuazione.

La situazione cambia invece radicalmente non appena si passi a considerare la fase di trasporto delle sostanze pericolose, per la quale non è prevista alcuna normativa che imponga di effettuare analisi di sicurezza o di predisporre piani di emergenza. Le varie modalità di trasporto (stradale, ferroviario, marittimo, per condotta) presentano peculiarità piuttosto diverse, per quantitativi trasportati, ambiente in cui si svolge il trasporto, tipologia dei prodotti trasportati, ecc.: da ciò consegue una notevole differenziazione tra i possibili scenari incidentali, che richiedono diverse modalità di intervento. Inoltre, in un caso di trasporto, l'incidente si può verificare in ogni punto compreso tra quello di origine e quello di destinazione, ma sia la popolazione potenzialmente coinvolta che le forze disponibili per fronteggiare l'emergenza, le vie d'accesso, ecc., possono variare di molto da luogo a luogo, per cui non è pensabile di predisporre piani di emergenza che prevedano tutte le eventualità che si possono presentare nella pratica.

Limitando l'analisi al trasporto stradale e ferroviario, che sono i casi in cui un eventuale incidente ha maggiori probabilità di coinvolgere la popolazione, quando si verifica un incidente ad un veicolo che trasporta merci pericolose viene richiesto l'intervento dei Vigili del Fuoco che, una volta sul posto, devono valutare come affrontare l'emergenza. Nei casi più favorevoli è disponibile la scheda informativa del prodotto, che indica le precauzioni da usare ed i metodi di intervento suggeriti; ma se questo documento non è accessibile ci si trova a dover effettuare il primo intervento sulla base delle sole informazioni del pannello di identificazione. In entrambi i casi, comunque, chi affronta l'emergenza non è messo in grado di valutare né quale sia la gamma di eventi pericolosi (per esempio se per evaporazione di una pozza di un liquido infiammabile ci sia o meno rischio di esplosione) né tantomeno l'estensione delle possibili conseguenze se l'evento pericoloso si verifica (ad esempio, quale sia la fascia di rispetto per evitare rischi in caso di rilascio di una sostanza tossica). Infatti, anche se esistono programmi per valutare l'estensione delle zone in cui le conseguenze del rilascio di una sostanza pericolosa possono risultare fatali (tra cui il Sigem-Simma, utilizzato dai Vigili del Fuoco), la simulazione di questi eventi richiede personale addestrato e tempi più o meno lunghi, per cui poco si presta ad essere utilizzata per fronteggiare un'emergenza. D'altra parte, in caso di incidente, sembra essenziale la rapidità della risposta,

anche se la precisione dovesse risultare leggermente penalizzata: chi si trova ad intervenire in caso di rilascio e teme possa verificarsi un'esplosione necessita di informazioni immediate per valutare se questa eventualità sia possibile o meno e quale sia l'estensione della zona da evacuare, mentre è probabilmente disposto ad ammettere un cero margine di incertezza sull'esatta misura di quest'ultima.

Il software METrHaz è stato concepito per rispondere a questa specifica esigenza, in quanto fornisce risposte in meno di 30 secondi, è in grado di funzionare su qualunque PC e non richiede all'utilizzatore né particolari conoscenze informatiche né lo studio di manuali operativi. La metodologia utilizzata per lo sviluppo del software è basata sull'esecuzione preliminare di un gran numero di simulazioni per valutare le conseguenze dei possibili rilasci, i cui risultati sono quindi incorporati nella banca dati del programma, consentendo di ottenere la risposta in tempi brevissimi.

2. SICUREZZA NEL TRASPORTO STRADALE E FERROVIARIO DI SOSTANZE PERICOLOSE

2.1 Normativa

La normativa che riguarda l'effettuazione del trasporto di sostanze pericolose è stabilita a livello internazionale, dai regolamenti ADR [1], relativo al trasporto stradale, e RID [2], relativo al trasporto ferroviario, recepiti nelle normative nazionali, eventualmente integrati da altre norme, come, ad esempio, quelle previste dal Codice della Strada.

Le prescrizioni ADR e RID applicabili al trasporto di merci pericolose via strada e ferrovia riguardano:

- imballaggio ed etichettatura;
- materiali trasportati;
- maneggio delle merci;
- segnalazione dei veicoli carichi o parzialmente carichi;
- documenti di bordo;
- formazione ed informazione del conducente;
- circolazione, comportamento da tener in caso di incidente, stazionamento.

Le merci pericolose sono quindi suddivise in classi tra loro omogenee in base al tipo di pericolo presentato dalle sostanze, come mostra la Tabella 1.

Tabella 1. Classificazione delle sostanze pericolose secondo i regolamenti RID e ADR

Classe	Caratteristiche della sostanza
1	Materie e oggetti esplosivi
2	Gas compressi liquefatti o disciolti sotto pressione
3	Materie liquide infiammabili
4.1	Materie solide infiammabili
4.2	Materie solide soggette a combustione spontanea
4.3	Materie solide che a contatto con acqua sviluppano gas infiammabili
5.1	Materie comburenti
5.2	Perossidi organici
6.1	Materie tossiche
6.2	Materie ripugnanti o capaci di creare infezione
7	Materie radioattive
8	Materie corrosive
9	Materie con varie caratteristiche dannose

All'interno di ogni classe sono poi individuate ulteriori ripartizioni e vari gradi di pericolosità; inoltre le norme prevedono anche le compatibilità tra i diversi materiali trasportati.

Per quanto riguarda l'etichettatura, sono definite le etichette di pericolo che devono essere presenti sui mezzi in modo da consentire di identificare immediatamente la natura del pericolo per la sostanza trasportata.

2.2 Il sistema CEFIC delle schede di sicurezza per il trasporto

Per quanto riguarda il trasporto stradale, il Consiglio Europeo dell'Industria Chimica (CEFIC) ha predisposto delle schede di sicurezza per il trasporto [3-4], di cui un esemplare deve essere presente nella cabina guida del mezzo. Esse hanno lo scopo di fornire le informazioni essenziali in caso di intervento. In particolare queste

schede, riferite alla singola sostanza, a gruppi di sostanze o a carichi misti contengono informazioni riguardo:

- la natura del pericolo e le misure di sicurezza che vanno adottate per farvi fronte;
- le disposizioni da prendere e le precauzioni da adottare se le sostanze trasportate o quelle che da esse si possono sviluppare entrano in contatto con le persone;
- le misure da adottare o da evitare in caso di incendio;
- le misure da adottare in caso di deterioramento dell'imballaggio o di perdita del carico;
- informazioni riguardo al nome tecnico della materia ed alla sua classificazione ONU e ADR.

2.3 Servizio Emergenze Trasporti

Dal 1 febbraio 1998 è stato istituito il servizio Emergenze Trasporti (SET), disciplinato da un protocollo di intesa tra Dipartimento della Protezione Civile, Direzione Generale Protezione Civile e Servizio Antincendi del Ministero dell'Interno e Federchimica, con lo scopo di fornire collaborazione a Vigili del Fuoco e Protezione Civile in caso di incidenti stradali e ferroviari che coinvolgano prodotti chimici.

L'attività del SET prevede 3 livelli di intervento:

- livello 1: sono fornite informazioni sul prodotto e viene trasmessa la relativa scheda di sicurezza;
- livello 2: viene inviato un tecnico qualificato sul luogo dell'incidente;
- livello 3: viene attivata la squadra aziendale d'emergenza più vicina al luogo dell'incidente.

Il SET è in grado di operare 24 ore al giorno per tutto l'anno attraverso un Centro di Risposta Nazionale, sito a Porto Marghera, che opera su richiesta della Pubblica Autorità o degli altri Centri di Risposta Europei, con cui interagisce a livello internazionale. Il meccanismo di funzionamento prevede la richiesta da parte di Vigili del Fuoco o Protezione Civile, l'individuazione da parte del Centro di Risposta del Punto di Contatto Aziendale competente a fornire il livello di intervento richiesto e la sua comunicazione alle Pubbliche Autorità; al Punto di Contatto Aziendale vengono date informazioni su come collegarsi con la Pubblica Autorità.

Le informazioni contenute sulle schede di sicurezza, come stabilito da un recente decreto [5], riguardano i seguenti 16 punti:

1. elementi identificativi della sostanza o del preparato e della società/impresa;
2. composizione/informazione sugli ingredienti;
3. indicazione dei pericoli;
4. misure di pronto soccorso;
5. misure antincendio;
6. misure in caso di fuoriuscita accidentale
7. manipolazione e stoccaggio
8. controllo dell'esposizione/protezione individuale;
9. proprietà fisiche e chimiche;
10. stabilità e reattività;
11. informazioni tossicologiche;
12. informazioni ecologiche;
13. considerazione sullo smaltimento;
14. informazioni sul trasporto;
15. informazioni sulla regolamentazione;
16. altre informazioni (addestramento, raccomandazioni/restrizioni per l'uso, fonte dei dati, ecc.).

2.4 Conseguenze di incidenti nel trasporto di sostanze pericolose

Da quanto brevemente illustrato, risulta evidente che nella gestione di un'emergenza nel trasporto è possibile ottenere informazioni riguardo alla natura della pericolosità del prodotto (infiammabile, corrosivo, ecc.) come pure sulle precauzioni da adottare (per esempio se utilizzare o meno l'acqua in fase di spegnimento di un incendio) mentre mancano completamente informazioni riguardo a quali siano gli eventi pericolosi che si possono verificare (ad esempio una sostanza infiammabile può bruciare secondo varie modalità, oppure esplodere) e su quali siano le zone di sicurezza, carenza a cui deve sopperire l'esperienza degli operatori.

Lo spettro di eventi che possono verificarsi a valle di un incidente che coinvolga un veicolo stradale o ferroviario adibito al trasporto di sostanze pericolose dipende dalle caratteristiche della sostanza, dal suo stato fisico, dal quantitativo rilasciato, dalle condizioni meteorologiche, ecc. Una prima, e più favorevole, possibilità è che l'incidente non causi perdita di contenimento e che quindi l'emergenza cessi immediatamente, constatato che non c'è pericolo. Se invece si verifica una fuoriuscita del contenuto le conseguenze possono essere più o meno gravi dipendentemente dal quantitativo rilasciato e dalle condizioni ambientali. Ad esempio, ipotizzando che sia rilasciato un liquido infiammabile si può avere un ventaglio di eventi incidentali dipendentemente

dall'accensione immediata o ritardata della miscela aria-vapori. In caso di accensione immediata della perdita mentre fuoriesce dal contenitore si ha la formazione di un "dardo di fuoco" più pericoloso nel caso di recipiente pressurizzato, le cui conseguenze sono limitate ed il cui verificarsi risulta evidente alle squadre di emergenza. Se la perdita non trova immediatamente una fonte di accensione si forma una pozza di liquido: l'ignizione ritardata di quest'ultima origina un incendio da pozza, più pericoloso sia per l'estensione della zona a rischio che perché l'evento può verificarsi mentre le squadre di emergenza stanno lavorando. Potenzialmente più pericolosa ancora è l'evaporazione del prodotto dalla pozza, con formazione di una nube di vapori infiammabili: questa si disperde mescolandosi con l'aria e, se incontra una fonte di ignizione, dà luogo all'incendio della nube di vapori o ad un'esplosione (Unconfined Vapor Cloud Explosion: UVCE). La presenza della nube di vapori può non essere avvertita dal punto di vista visivo né olfattivo e l'estensione della zona interessata può essere notevole; la formazione della nube è ovviamente pericolosa, anche in assenza di ignizione, se la sostanza è tossica. In linea del tutto generale, le sostanze trasportate allo stato di gas liquefatti sono tra quelle che presentano una maggiore pericolosità, poiché tendono a vaporizzare molto rapidamente: inoltre, se il prodotto è infiammabile, viene rilasciato in modo pressoché istantaneo e trova una fonte di ignizione si può avere la formazione di una pericolosa "sfera di fuoco".

Non è possibile predire a priori quale sarà l'effettiva conseguenza del rilascio di una sostanza pericolosa, poiché non è prevedibile, ad esempio, la distribuzione delle fonti di accensione sul luogo dell'incidente: solo l'analisi dei dati storici consente di prevedere come si distribuiscono le relative probabilità. Per esempio, in linea di principio, l'esplosione di una nube di vapori ha probabilità assai inferiori di verificarsi rispetto ad un incendio della nube stessa; tuttavia, informazioni di questo tipo non sembrano direttamente utilizzabili nella gestione di un'emergenza, dato che è comunque possibile che l'esplosione possa verificarsi, posto che la nube contenga il necessario quantitativo di infiammabile. Per ogni prodotto considerato occorre quindi prendere in esame l'intero spettro dei possibili eventi incidentali, verificando se esistono le condizioni affinché essi si verifichino (ad esempio, se viene rilasciato un gas liquefatto la vaporizzazione del liquido può essere talmente rapida che non si ha formazione della pozza) ma prescindendo dalla probabilità di accadimento, in modo che chi gestisce l'emergenza conosca lo spettro completo di eventi che si può trovare a dover fronteggiare.

Per valutare l'estensione delle zone a rischio si utilizzano generalmente software specialistici, in grado di simulare sia le fasi di rilascio che quelle di dispersione nonché di valutare i campi tridimensionali di intensità di radiazione termica, sovrappressione e concentrazione e stabilire delle soglie di letalità. L'esecuzione di una simulazione richiede che siano note le proprietà chimico-fisiche del prodotto, le condizioni di trasporto, le dimensioni del contenitore e il quantitativo trasportato: occorre quindi fissare le modalità di rilascio, ossia la forma e la dimensione dell'apertura attraverso cui fuoriesce il prodotto, la durata del rilascio, nonché le condizioni ambientali che influenzano sia il rilascio che la dispersione. Questa seconda serie di informazioni è soggetta ad una notevole incertezza poiché non è prevedibile a priori; d'altra parte non è pensabile di effettuare l'intera analisi del caso nel momento in cui questo si verifica effettivamente e si rendono disponibili i valori dei parametri necessari, dato che l'esecuzione delle simulazioni, tenendo conto del ventaglio completo di eventi che possono seguire il rilascio, può richiedere anche qualche ora ad un analista esperto.

Dato che la tempestività dell'informazione è fondamentale per la gestione di un'emergenza si è ritenuto che una soluzione accettabile potesse essere quella di eseguire a priori l'analisi delle conseguenze riferita ad alcuni scenari di riferimento realistici e di renderne immediatamente accessibili i risultati ad un programma diverso, semplice e di rapida esecuzione, che possa essere utilizzato durante l'emergenza. I limiti di un tale approccio risiedono unicamente nel fatto di riferirsi a tipologie di incidente e condizioni ambientali predeterminate, che possono ovviamente non coincidere con quella effettiva: tuttavia, ciò comporta un'incertezza relativamente modesta nella valutazione delle distanze di sicurezza a cui si può ovviare molto semplicemente tramite l'applicazione di fattori di sicurezza.

Sulla base di questo approccio è stato quindi sviluppato il software METrHaz che verrà ora analizzato in maggior dettaglio.

3. SVILUPPO DEL SOFTWARE METRHAZ

3.1 Tipologia degli incidenti

Per predisporre i calcoli relativi alle possibili conseguenze del rilascio accidentale di sostanze pericolose durante il trasporto stradale o ferroviario si sono dovute anzitutto definire delle tipologie standard di contenitori, un grado di riempimento medio e modalità tipiche di rilascio.

Per quanto riguarda i contenitori si è assunto un volume utile di 35 m³ per i veicoli adibiti al trasporto stradale e di 70 m³ per quelli ferroviari, ipotizzando, in entrambi i casi, un grado di riempimento pari al 90%. Relativamente alle modalità di rilascio si è fatto riferimento al quantitativo di prodotto fuoriuscito, ipotizzando comunque che si verifichino incidenti di una certa gravità, in grado di causare una perdita consistente di

prodotto. In particolare, si sono scelti i valori di 15 e 30 m³ per il trasporto stradale, pari allo sversamento di circa la metà o di tutto il prodotto, e di 15, 30 e 60 m³ per quello ferroviario, pari allo sversamento di circa un quarto, la metà o l'intero prodotto trasportato. Il rilascio parziale di prodotto si verifica se l'apertura attraverso cui esso fuoriesce non è posta sul fondo o se esiste la possibilità di intervenire per interrompere la fuoriuscita. Per quanto riguarda le modalità di rilascio si è conservativamente assunto che esso sia molto rapido, ipotizzando che il prodotto fuoriesca da un foro circolare del diametro di 220 mm, posto nella parte inferiore del contenitore.

3.2 Condizioni ambientali

Si è stabilito preliminarmente di fissare un'unica condizione meteorologica di riferimento per l'effettuazione dei calcoli delle conseguenze dei rilasci, in modo da mantenere ragionevolmente contenuto lo sforzo di calcolo; d'altra parte le escursioni termiche medie sul territorio nazionale nelle varie stagioni sono sufficientemente limitate da giustificare l'utilizzo di una condizione media. Questa è stata individuata basandosi sui dati statistici disponibili [6] che coprono tutto il territorio nazionale per un periodo di 8 anni. I valori di temperatura media diurna e notturna, tasso di umidità e velocità del vento sono stati raggruppati su base stagionale e geografica pervenendo ai valori medi riportati in Tabella 1.

Tabella 1. Dati meteorologici utilizzati in METrHaz

Temperatura (°C)	15
Velocità del vento (m/s)	2.5
Umidità (%)	71
Classe di stabilità atmosferica	D

In Tabella 1 è anche riportata la classe di stabilità atmosferica, per la quale si è assunta la condizione di neutralità (classe D), in quanto sufficientemente conservativa ma non penalizzante.

3.3 Soglie di pericolosità

Nell'effettuazione dei calcoli relativi all'analisi delle conseguenze sono state fissate delle soglie di pericolosità che, in linea generale, corrispondono con quelle relative ad una probabilità di morte per il 50% degli individui esposti, con l'unica eccezione del rilascio di prodotti corrosivi, per i quali la soglia di pericolosità è stata fatta coincidere con il raggio della pozza formata dal prodotto. I valori di soglia sono stati fissati congruentemente con quelli suggeriti nella letteratura tecnica, ossia a 10 kW/m² per l'irraggiamento termico e circa 5000 Pa (0.7 psi) per la sovrappressione. Per quanto riguarda gli incendi delle nubi di vapori si è assunto che tutta la zona in cui la concentrazione dei vapori è superiore al limite inferiore di infiammabilità sia a rischio. In modo analogo si è proceduto per i rilasci di sostanza tossiche: in questo caso come concentrazione limite è stata assunta quella corrispondente al valore di tempo di esposizione più basso tra quelli riportati in letteratura [7]. Si ipotizza, infine che l'inalazione da parte del potenziale individuo esposto si abbia ad un'altezza di 1.5 m sul livello del terreno

3.4 Calcolo delle conseguenze

Per ogni tipologia di rilascio e modalità di trasporto definita in precedenza è stata quindi effettuata l'analisi delle conseguenze, andando ad esaminare tutti gli eventi incidentali che possono verificarsi in caso di fuoriuscita del prodotto. Tra questi è stato tralasciato il calcolo relativo al dardo di fuoco, sia perché il verificarsi di questo evento risulta immediatamente evidente a chi interviene sul luogo dell'incidente e non rappresenta quindi un pericolo incognito, sia perché la tipologia di questo evento incidentale fa sì che esso si espliciti lungo una direzione preferenziale e con un raggio di azione piuttosto modesto.

Per il calcolo delle conseguenze è stato utilizzato un software commerciale (ChemPlus della Arthur D. Little) di semplice utilizzo e basato su modelli fisici sufficientemente precisi. Nei casi in cui era possibile la dispersione di una nube di vapori essa è stata simulata sulla base della densità, maggiore o minore dell'aria, della nube stessa, tenendo conto del peso molecolare della sostanza e dell'eventuale possibilità di formazioni di aerosol, con trascinalamento di goccioline liquide che comportano un aumento di densità. Nell'effettuare le simulazioni, in presenza di tempi di evaporazione dalla pozza di liquido molto elevati, ottenuti per prodotti poco volatili, si è assunto che il quantitativo di prodotto che va a costituire la nube sia quello che si sviluppa nel corso dei primi 30

min, poiché sembra credibile che trascorso questo tempo le squadre di emergenza abbiano avuto la possibilità di intervenire sulla pozza di liquido per bloccarne o rallentarne l'evaporazione.

Per ogni sostanza e tipologia di rilascio si è verificato quali eventi incidentali possono effettivamente verificarsi, estraendo dai risultati le informazioni necessarie al software METrHaz. Per le diverse tipologie di eventi incidentali queste si possono riassumere come segue:

- incendio da pozza, sfera di fuoco, esplosione della nuvola di vapori e pozza di liquido corrosivo: raggio della zona a rischio;

- incendio di nube di vapori e nube tossica: estensione massima della nube nella direzione del vento ed in quella trasversale; distanza dall'origine a cui la nube raggiunge la sua massima dimensione trasversale; dimensione trasversale immediatamente a valle del punto di rilascio.

Sulla base di queste informazioni è possibile rappresentare in modo abbastanza realistico in forma grafica le zone in cui gli eventi incidentali risultano pericolosi; la maggior quantità di informazioni necessarie nel caso delle nubi di vapori è richiesta dal fatto che nubi di vapori più leggeri o più pesanti dell'aria si disperdono con modalità molto diverse, interessando aree di forma differente.

4. SOFTWARE METRHAZ

Il programma METrHaz è stato sviluppato in linguaggio QBASIC, che consente di creare anche versioni direttamente eseguibili del programma: ne consegue che l'utilizzatore non necessita di installare QBASIC sul proprio PC per poter usare METrHaz. Lo spazio occupato dal programma è di soli 75 kB, per cui esso entra ampiamente in un solo dischetto da 720 kB, non necessita di essere caricato su disco rigido, e può essere utilizzato anche su PC dotati di processori tecnologicamente sorpassati (come l'8086).

Particolare cura è stata posta nel semplificare al massimo l'utilizzo del programma, facendo comparire le istruzioni direttamente sullo schermo ed invitando a ripetere eventuali digitazioni errate. Avviato il programma l'operatore deve solo selezionare la sostanza tra quelle disponibili e scegliere l'entità del rilascio (o la gravità dell'incidente stradale o ferroviario) fra i valori suggeriti (vedi Figure 1-3). Ottenuti gli input il programma fornisce le informazioni utili alla gestione dell'emergenza attraverso 3 schermate successive, mostrate nelle Figure 4-6 per un caso di rilascio di acetato di vinile.

In particolare, la prima schermata, mostrata in Figura 4, riporta, per la sostanza in esame, lo stato fisico a cui si è assunto che venga effettuato il trasporto, le caratteristiche di pericolosità, ossia i valori del limite inferiore di infiammabilità (o l'indicazione che non è infiammabile), la concentrazione limite di tossicità (o l'indicazione che non presenta pericolo di tossicità immediata), l'eventuale indicazione della corrosività e il quantitativo di prodotto rilasciato, in termini di massa.

La seconda schermata, mostrata in Figura 5, riporta, in forma grafica e utilizzando colori diversi per i diversi eventi incidentali, l'estensione delle zone a rischio e la loro forma. Il programma aggiusta automaticamente la scala riportata sul grafico, in modo da mostrare sempre in modo evidente le distanze per gli eventi potenzialmente più rischiosi.

La terza schermata (opzionale, su richiesta dell'operatore) fornisce informazioni più dettagliate, riportando, come mostra la Figura 6, per ognuno degli eventi incidentali che possono verificarsi, l'esatta estensione delle zone a rischio ed il grado di rischio. Questo è stato fissato secondo una scala empirica di pericolosità che va dal livello C (pericolosità minore) a quello A (pericolosità maggiore), come mostrato in Tabella 2. I valori e le ampiezze delle classi sono stati fissati sulla base dei risultati dell'analisi delle conseguenze delle tre tipologie di sversamenti per i diversi prodotti esaminati.

Tabella 2. Classi di pericolosità utilizzate in METrHaz

Classe di pericolosità	A	B	C
Incendio da nube di vapori	> 200 m	100-200 m	<100 m
Incendio da pozza	> 200 m	50-100 m	< 100 m
Nube tossica	> 1000 m	200-1000 m	< 200 m
Sfera di fuoco	> 400 m	150-400 m	< 150 m
UVCE	> 400 m	150-400 m	< 150 m

L'ultima schermata, in uscita dal programma, ricorda i valori dei principali parametri utilizzati per i calcoli (tipologia di rilascio, soglie di pericolosità, condizioni meteorologiche).

L'intera sequenza di operazioni di avvio del programma, inserimento dei dati ed ottenimento dei risultati richiede circa 20 s; aggiungendo a questo tempo quello necessario ad avviare il computer i risultati sono comunque disponibili in meno di 1.5 min, ossia in tempi largamente compatibili con la gestione dell'emergenza.

Un limite pratico all'utilizzo del programma METrHaz è rappresentato dal numero e dalla tipologia dei prodotti per i quali sono state effettuate le analisi delle conseguenze e per cui, quindi, sono disponibili i risultati. Come già detto in precedenza una grande varietà di prodotti può essere trasportata per strada o ferrovia, ed ognuno di essi può incorrere in un incidente seguito da sversamento. La scelta delle sostanze da inserire nella banca dati di METrHaz è stata basata sull'esame delle schede di intervento dei Vigili del Fuoco, relative al periodo 1984-91: in tal modo si è ristretto il campo alle sostanze nel trasporto delle quali si sono effettivamente verificati incidenti. Tra queste sostanze ne sono state scartate alcune, di cui era riportato il nome commerciale ma per le quali non era possibile risalire all'esatta composizione chimica, ed altre, perché assimilabili a sostanze trattate, pervenendo infine all'elenco di 36 sostanze riportato in Tabella 3. Ne consegue che questo elenco, lungi dall'essere esaustivo di tutti i casi che si possono presentare nella pratica, è comunque altamente rappresentativo per quanto riguarda i prodotti più frequentemente coinvolti in incidenti.

Tabella 3. Sostanze presenti nella banca dati di METrHaz

Acetaldeide	Anidride solforosa	GPL (propano)
Acetato di etile	Benzene	Idrazina
Acetato di metile	Benzina (n-ottano)	Idrogeno
Acetato di vinile	Bromo	Kerosene (dodecano)
Acetone	Bromuro di metile	Metilacrilato
Acetonitrile	Cicloesano	Ossido di etilene
Acido cianidrico	Cloro	Paraffina (n-decano)
Acido nitrico fumante	Cloruro di metile	Stirene
Acido solforico fumante	Cloruro di vinile	Tetraidrofurano
Alcool etilico	Diclorometano	Toluene
Alcool metilico	Etilmercaptano	Tricloroetano
Ammoniaca (anidra)	Gasolio (cetano)	Xilene

5. ESEMPI DI APPLICAZIONE DEL SOFTWARE METRHAZ

Il programma METrHaz fornisce indicazioni riguardo agli eventi che si possono verificare a valle del rilascio di una sostanza pericolosa ipotizzando certe modalità di rilascio e assumendo delle condizioni meteorologiche medie. I casi reali di rilascio possono quindi presentarsi diversi da quelli previsti da METrHaz, sia per quanto riguarda le modalità di rilascio che per le condizioni meteorologiche.

Verranno ora forniti alcuni esempi di applicazione di METrHaz a casi di incidenti marcatamente differenti da quelli previsti dal software, in modo da fornire delle indicazioni riguardo all'attendibilità dei risultati ottenibili e degli eventuali fattori di sicurezza da assumere in particolari situazioni meteo-climatiche.

5.1 Rilascio di alcool etilico

Si ipotizza che sia richiesto di effettuare un intervento per un incidente occorso ad una autocisterna adibita al trasporto di alcool etilico: l'incidente sembra piuttosto grave e si stima che possa essersi verificato il completo sversamento del prodotto (30 m³). L'alcool etilico è un composto infiammabile, non tossico ed il software METrHaz, fornisce le seguenti indicazioni riguardo ai possibili eventi pericolosi originati dal rilascio:

- incendio da pozza, con un raggio di pericolosità di 74 m;
- incendio della nube di vapori, con pericolo fino ad una distanza di 12 m;
- esplosione della nube di vapori, con pericolo entro un raggio di 158 m.

La simulazione con METrHaz prescinde però dalle effettive condizioni climatiche. Se l'incidente si verificasse in una notte invernale, con una temperatura ambiente di 0°C, la simulazione rigorosa delle conseguenze del caso specifico darebbe i seguenti risultati:

- incendio da pozza, con un raggio di pericolosità di 78 m;
- incendio della nube di vapori, con pericolo fino ad una distanza di 1 m;
- esplosione della nube di vapori, con pericolo entro un raggio di 129 m.

Si avrebbe quindi, in sostanza, una previsione largamente conservativa di METrHaz, con l'eccezione di una leggera sottostima della pericolosità dell'incendio da pozza, (74 m contro 78 m).

Se, viceversa, l'incidente si verificasse in una giornata estiva, con temperatura di 30°C, il calcolo delle conseguenze porterebbe alle seguenti stime:

- incendio da pozza, con un raggio di pericolosità di 70 m;

- incendio della nube di vapori, con pericolo fino ad una distanza di 16 m;
- esplosione della nube di vapori, con pericolo entro un raggio di 211 m.

A temperatura superiore rispetto a quella di riferimento utilizzata in METrHaz (15°C) si ha, come presumibile, un maggiore tasso di evaporazione e quindi distanze pericolose maggiori sia per l'incendio che, soprattutto, per l'esplosione della nube. Quest'ultima viene sottostimata da METrHaz del 25% circa, valore alto, ma sicuramente accettabile nell'ambito di una prima valutazione della necessità di creare zone di rispetto.

5.2 Rilascio di Bromo

Si ipotizza che sia richiesto un intervento per un incidente occorso ad una ferrocisterna per il trasporto di bromo (composto tossico): l'incidente appare non gravissimo, con sversamento solo parziale del prodotto. Il caso viene quindi simulato con METrHaz assumendo che si sversino 15 m³ di prodotto e si ottiene una nube tossica che si estende sottovento per circa 150 m.

Il calcolo della dispersione di una nube di vapore è però influenzato notevolmente sia dalla velocità del vento che dalle condizioni di stabilità atmosferica e ciò vale in particolar modo per il bromo, il cui peso molecolare (pari a circa 160) è molto superiore a quella dell'aria. Il caso reale potrebbe quindi presentarsi diverso da quello previsto con METrHaz sia per una diversa velocità del vento che per una diversa classe di stabilità rispetto a quelle ipotizzate (velocità del vento 3 m/s e classe atmosferica D, ossia atmosfera neutra).

Simulando i casi specifici si nota che al diminuire della velocità del vento la dispersione peggiora, per cui la nube tossica raggiunge una distanza maggiore, pari a 241 m in caso di calma di vento (velocità 1 m/s), mentre questo valore si riduce a 120 m se il vento aumenta a 5 m/s. L'informazione fornita da METrHaz sembra quindi sufficientemente attendibile, dato che il valore di default è inferiore di meno del 40 % di quello riferito al caso particolare di composto particolarmente pesante e ventilazione quasi assente.

L'influenza della classe di stabilità è riportata nella Tabella 4: si nota come la scelta di effettuare i calcoli ipotizzando un'atmosfera neutra rappresenti un compromesso accettabile tra i casi di atmosfera instabile (A-C) e di atmosfera stabile (E-F) che danno luogo a valori rispettivamente più bassi e più alti. L'unico valore che si scosta significativamente da quello previsto da METrHaz è quello con corrispondente alla classe di stabilità atmosferica F, che risulta pari a 326 m, ossia più del doppio di quanto ipotizzato. Va tuttavia tenuto presente che la probabilità di avere una classe di atmosfera molto stabile (F) è piuttosto bassa e che il composto esaminato rappresenta certamente un caso limite in quanto a difficoltà di dispersione.

Tabella 4. Distanze raggiunte dalla nube tossica di bromo per varie classi di stabilità atmosferica

Classe di stabilità atmosferica	Distanza raggiunta dalla nube (m)
A	106
B	119
C	132
D	150
E	191
F	326

5.3 Rilascio di ossido di etilene

Un ultimo caso che si desidera presentare è quello, descritto in dettaglio altrove [8], in cui si prende in esame una cisterna per il trasporto stradale di ossido di etilene, ipotizzando le seguenti modalità di sversamento: foro del diametro di 15 mm; tempo di rilascio pari a 15 min. Nel lavoro citato i calcoli delle conseguenze sono stati effettuati utilizzando un diverso software (Trace 8 della SAFER) e, temperatura di 13.2°C, umidità del 75.4%, velocità del vento 4.5 m/s, classe di stabilità atmosferica D.

Per quanto riguarda la simulazione con METrHaz dello stesso caso si è ipotizzato che si abbia il rilascio parziale del contenuto dell'autocisterna. E' tuttavia immediatamente evidente che le due schematizzazioni (quella del lavoro citato e quella di METrHaz) siano ben differenti, in quanto è diverso sia il quantitativo di prodotto sversato che le modalità con cui avviene lo sversamento stesso, date le diverse ipotesi sulle dimensioni dei fori da cui fuoriesce il prodotto.

I risultati ottenuti nei due casi sono confrontati in Tabella 5: nonostante le differenze sensibili tra le due situazioni ipotizzate non si notano differenze sostanziali nelle previsioni degli eventi incidentali, con l'esclusione della UVCE che è prevista da METrHaz mentre viene ritenuta non realistica con l'altra simulazione, dato il minor quantitativo di prodotto rilasciato.

Tabella 5. Distanze a rischio per il rilascio parziale di ossido di etilene

Evento incidentale	Previsione di METrHaz	Rif. [8]
Incendio della nube di vapori	13 m	1 m
Incendio da pozza	58 m	24 m
Nube tossica	24 m	33 m
UVCE	521 m	-

L'accordo peggiora quando si ipotizza che abbia luogo, con le stesse condizioni meteorologiche sopra riportata, un rilascio catastrofico, simulato da METrHaz ipotizzando lo sversamento di 30 m³ di prodotto, come mostra la Tabella 6. In questo caso si nota come la dispersione nel caso reale sia meno efficace di quella prevista da METrHaz: tuttavia l'evento maggiormente pericoloso (l'UVCE), ossia quello sulla base del quale vanno fissate le restrizioni all'accesso è previsto correttamente.

Tabella 6. Distanze a rischio per il rilascio catastrofico di ossido di etilene

Evento incidentale	Previsione di METrHaz	Rif.[8]
Incendio della nube di vapori	15 m	146 m
Incendio da pozza	58 m	50 m
Nube tossica	28 m	266 m
UVCE	656 m	643 m

CONCLUSIONI

Il software METrHaz si presenta come uno strumento utile per coadiuvare chi si trova ad affrontare un'emergenza per un incidente occorso durante il trasporto stradale o ferroviario di sostanze pericolose. La rapidità di risposta e la facilità d'uso costituiscono il suo principale punto di forza, e le indicazioni che se ne ottengono sono utili per valutare sia quali eventi incidentali sono possibili in caso di sversamento sia la prevedibile estensione della zona a rischio. Quest'ultima è però sensibile a variazioni nelle modalità di rilascio e nelle condizioni atmosferiche: l'esperienza di chi gestisce l'emergenza potrà suggerire quali fattori di sicurezza adottare per applicare questi valori al caso reale di emergenza. In linea di principio i valori ottenuti possono essere incrementati del 30% in caso di temperatura ambientale elevata, e fino al 100% in caso di atmosfera particolarmente stabile ed aria stagnante.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Department of Transport; *European Agreement Concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road (ADR)*, HM Stationery Office, London, 1993.
- [2] Department of Transport, *Regulation Concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Rail (RID)*, HM Stationery Office, London, 1993.
- [3] CEFIC per il trasporto su strada di merci pericolose, *Schede per singole sostanze*, EPC, Roma, 1997.
- [4] CEFIC per il trasporto su strada di merci pericolose, *Schede di gruppo e per carichi misti*, EPC, Roma, 1997.
- [5] Decreto Ministero della Sanità 4 aprile 1997, *G.U. Serie Generale*, n.169 del 22.7.1997
- [6] ISTAT, *Statistiche Meteorologiche anni 1984-1991*, Annuario n.25, Roma, 1994.
- [7] N. Irving Sax, *Dangerous Properties of Materials*, 6-th Ed., Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1986.
- [8] R. Bubbico, S. Di Cave and B. Mazzarotta, *J.Loss Prev. Proc. Ind.*, **11**, pp49-54, (1998).

Figura 1. Avvio del programma METrHaz

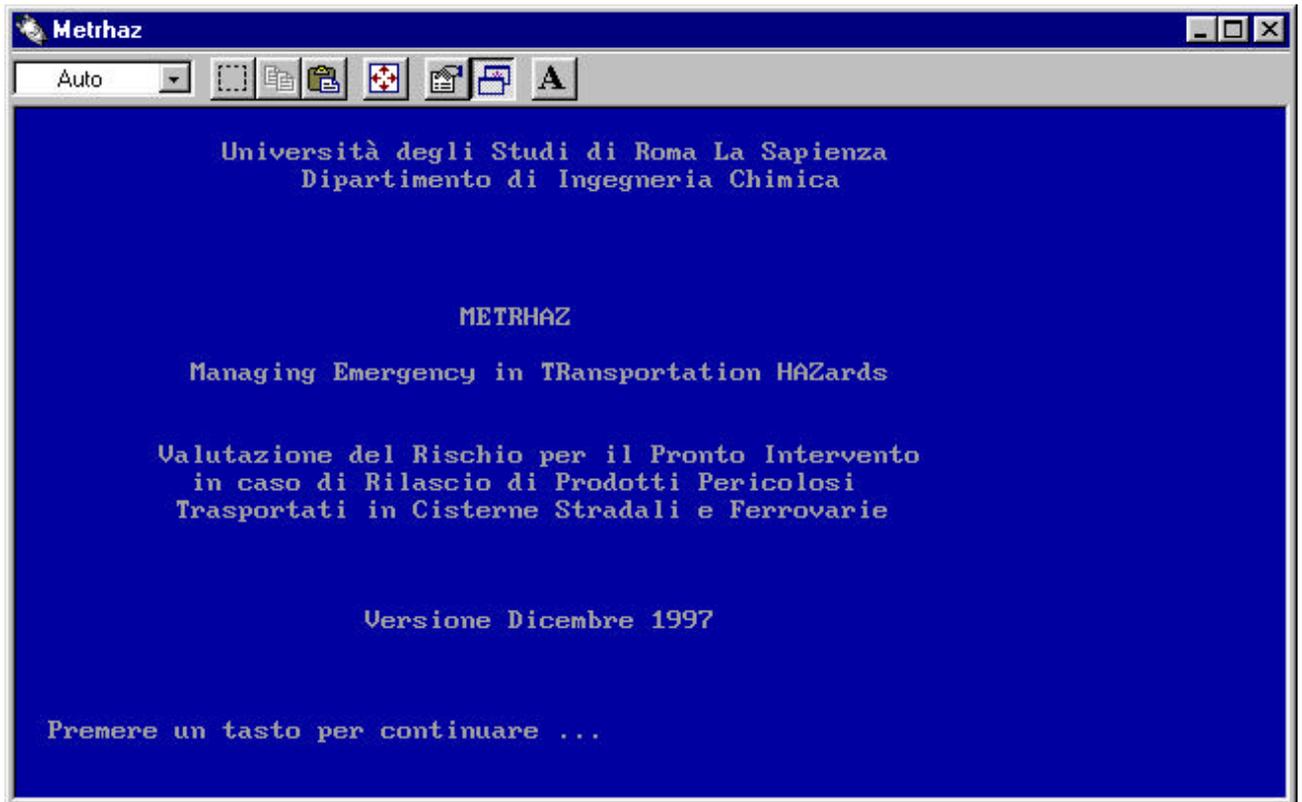


Figura 2. Scelta della sostanza



Figura 3. Scelta della modalità di incidente

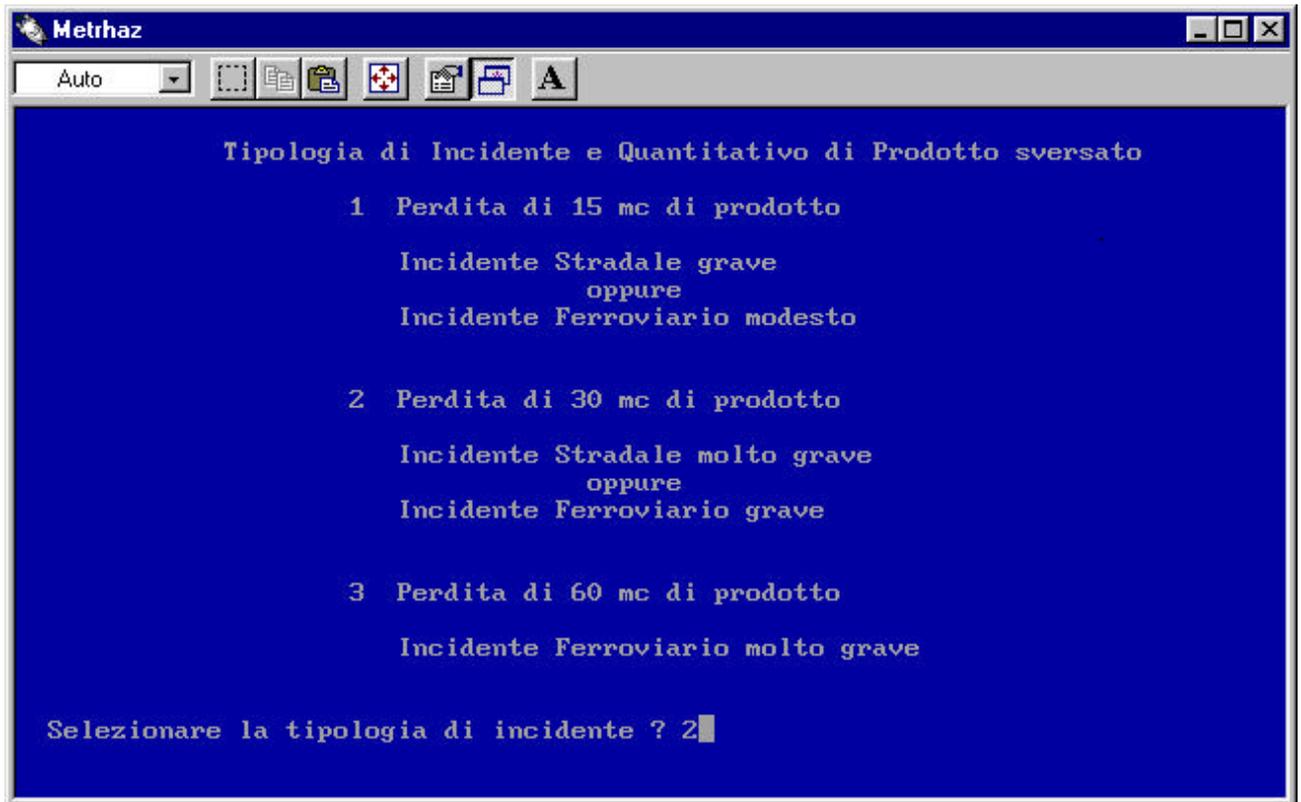


Figura 4. Informazioni sulla sostanza e sul rilascio

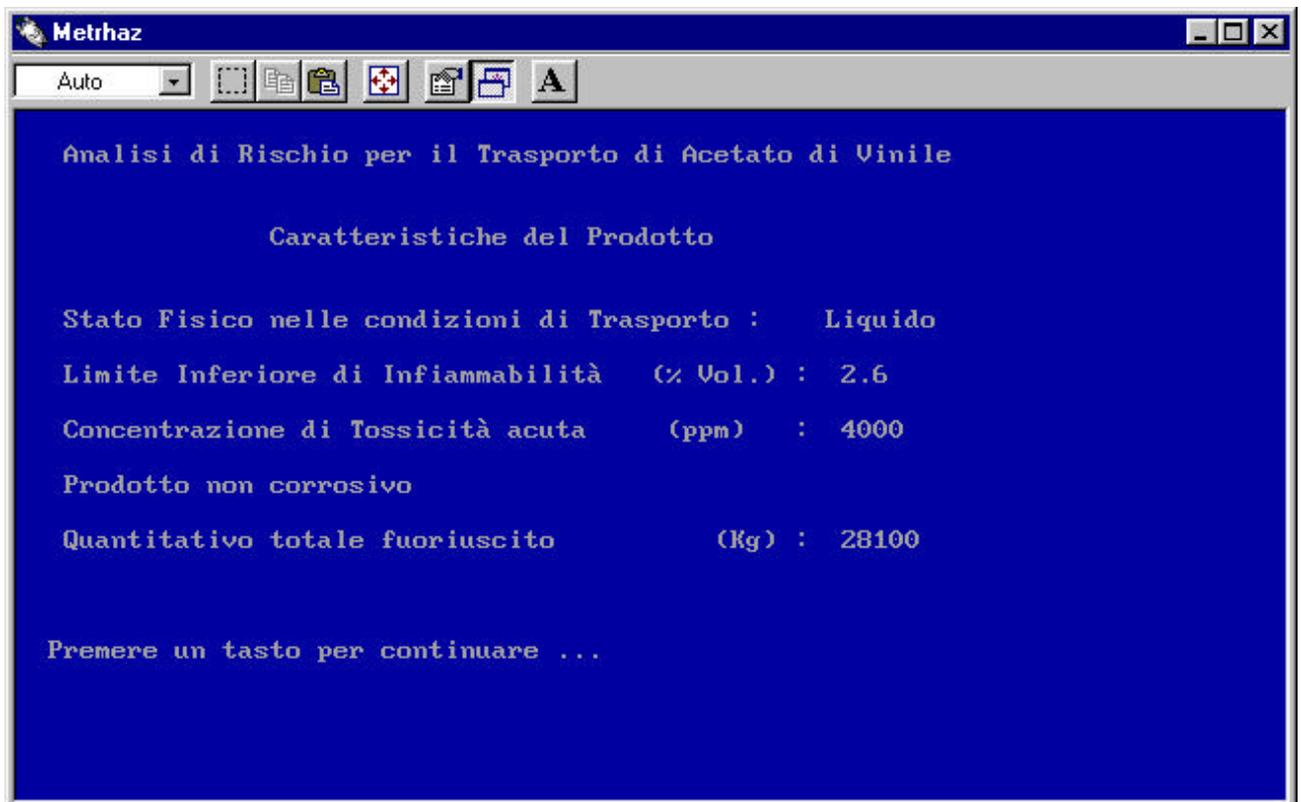


Figura 5. Informazioni grafiche sulle possibili conseguenze del rilascio

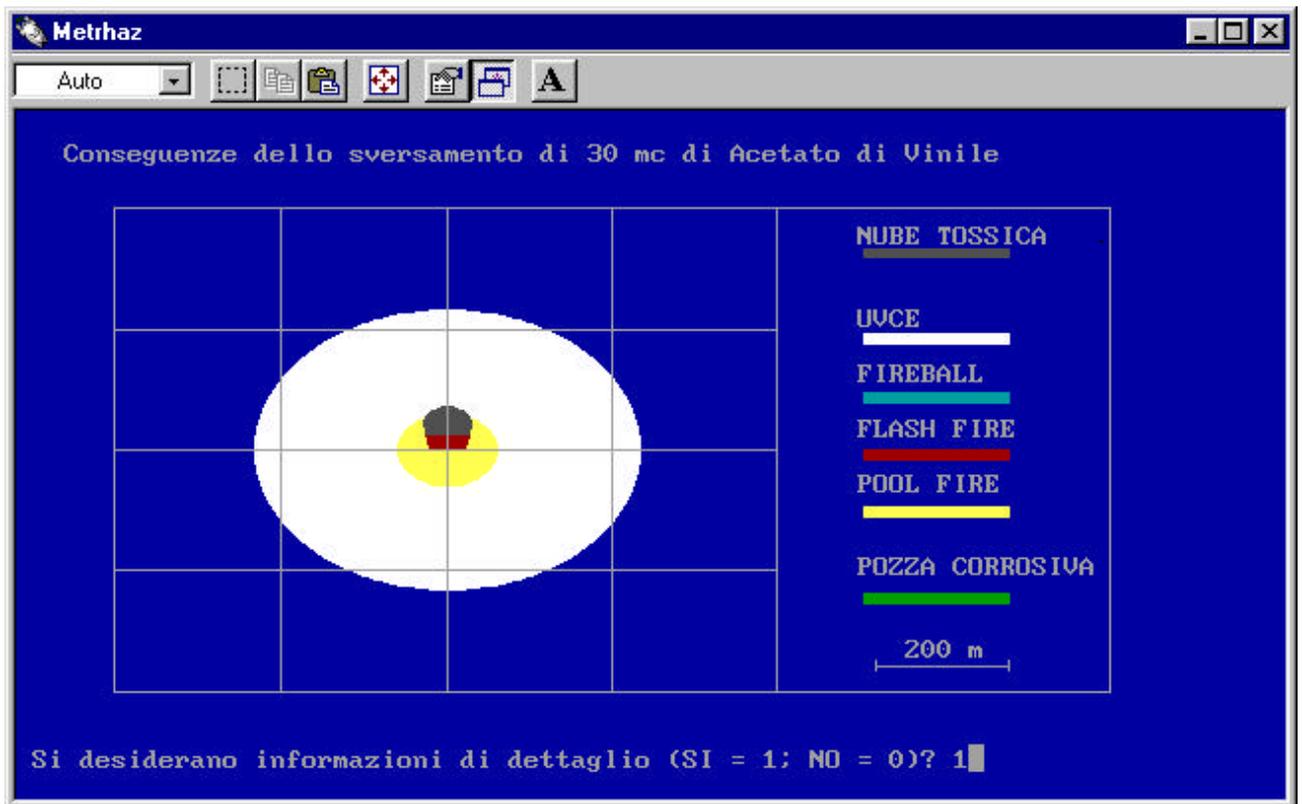


Figura 6. Informazioni di dettaglio sulle possibili conseguenze del rilascio

