

TIES: IL MODELLO DI TRAFFICO IN SITUAZIONI DI EMERGENZA SVILUPPATO PER IL SISTEMA HARIA-2

Roberto Bovalini, Marino Mazzini

Università di Pisa, Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Nucleare e della Produzione

Via Diotisalvi, n.2 , 56126 Pisa, Italia

Tel. 050836655 - Fax 050836665 - e-mail bovalini@ing.unipi.it

Tel. 050836658 - Fax 050836665 - e-mail m.mazzini@ing.unipi.it

SOMMARIO

Dopo una introduzione in cui viene brevemente descritta la metodologia HARIA-2, un sistema sviluppato per l'analisi e la pianificazione di emergenze in seguito ad incidenti in impianti industriali ad alto rischio, l'attenzione è focalizzata sugli aspetti relativi alla modellistica per pianificare l'evacuazione della popolazione e/o l'intervento delle squadre di soccorso. Questo aspetto, che nel codice è parte essenziale del Modulo Scenari Dinamici, coinvolge la necessità di simulare con un apposito modello il transitorio di traffico sulla rete stradale. Oltre alla conoscenza della rete stradale disponibile nelle zone situate intorno ad impianti ad alto rischio è necessario anche conoscere la distribuzione della popolazione ed i principali parametri che influenzano il suo comportamento (guidato, autonomo, random o statico). Poiché la distribuzione della popolazione è una delle variabili principali da fornire come ingresso al modello di traffico che simula l'evacuazione, solo una sua buona rappresentazione permetterà di avere dei risultati sufficientemente attendibili.

Il cuore del Modulo Scenari Dinamici è TIES, il modello di traffico, basato sull'analogia idrodinamica e sul modello di Greenshield, che permette di determinare la densità e il flusso veicolare in ogni punto dello stradario, in funzione del tempo. La parte più interessante è la determinazione delle condizioni al contorno: la rete stradale e le sue caratteristiche, la semaforizzazione degli incroci, la temporizzazione degli eventi. Su tale modello si sofferma l'attenzione nell'articolo, con esempi di applicazione che mostrano come il sistema possa essere di aiuto alla pianificazione delle emergenze. Questa parte del sistema informatico è applicabile anche ad emergenze di origine naturale (inondazioni, esplosioni vulcaniche), quando la fenomenologia consente di intervenire con un tempo di preavviso sufficientemente lungo.

1. INTRODUZIONE

Il progetto HARIA-2 ha come obiettivo la realizzazione di un sistema per la pianificazione delle emergenze a seguito di incidenti industriali. La metodologia è stata tradotta in un sistema informatico, il cui elemento portante è un software per l'analisi della sequenza incidentale e la sua contestualizzazione nel territorio, mediante tecniche GIS, comprendente la simulazione del comportamento della popolazione e dell'efficienza della rete stradale locale [1], [2], [3], [4].

Per la realizzazione del software già nel corso del 1997-98 furono elaborate apposite specifiche tecniche, più volte riviste durante l'avanzamento dei lavori per le nuove esigenze che sono andate delineandosi. I colloqui intercorsi tra Gruppo di ricerca, amministratori di enti locali e tecnici del Corpo Nazionale Vigili del Fuoco, hanno inoltre evidenziato l'esigenza di un sistema semplice da gestire e di un software da utilizzare anche per l'informazione della popolazione.

La struttura definitiva del codice può essere schematizzata come mostrato in Fig. 1, che evidenzia le principali basi di dati inserite nel sistema, la modellistica che ne costituisce l'asse portante ed il visualizzatore, per la contestualizzazione dei risultati sul territorio interessato dall'emergenza.

Dal punto di vista informatico, l'applicazione HARIA-2 gestisce l'esecuzione delle altre 6 applicazioni evidenziate. Le prime 5 applicazioni gestiscono i dati relativi agli stabilimenti, alle sostanze, al territorio, alle risorse disponibili per la gestione dell'emergenza e alle situazioni incidentali ipotizzate, mentre l'ultima consente la visualizzazione dei risultati su GIS. Le linee spesse indicano il flusso delle informazioni tra applicazioni, gestite tramite DLL e DDE. Le applicazioni possono essere eseguite anche in modo indipendente le une dalle altre (ovviamente in tal caso il sistema di comunicazione DDE non sarà possibile).

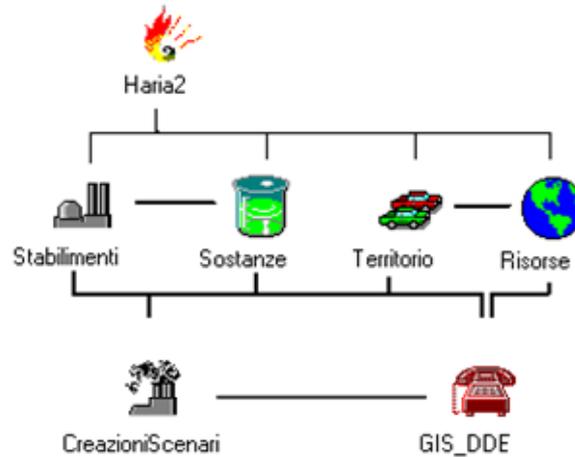


Figura 1. Schema del sistema informatico HARIA 2

2. STRUTTURA DEL SISTEMA

2.1 I DataBase Sostanze, Stabilimenti, Territorio, Risorse e Vulnerabilità

Queste basi di dati permettono di archiviare e di fornire ai Moduli Scenari Statici e Dinamici tutti i parametri di cui essi necessitano per il loro corretto funzionamento. Esse sono in realtà più complesse di semplici basi di dati, dato che consentono non solamente l'archiviazione dei dati, ma anche la loro elaborazione e la realizzazione di nuove ipotesi incidentali.

In particolare il DataBase Sostanze fornisce tutte le caratteristiche relative alla sostanza rilasciata nell'incidente e le PROBIT dei relativi modelli di vulnerabilità, il DataBase Stabilimenti consente di localizzare lo stabilimento, l'impianto ed il componente, il cui malfunzionamento o rottura è la causa del rilascio di tale sostanza nell'atmosfera, nonché di stabilire la modalità di rilascio. I DataBase Territorio, Risorse e Vulnerabilità forniscono i dati relativi alla conformazione geografica del territorio (orografia, stradario, ...) e alla distribuzione della popolazione, nonché alla eventuale presenza, nell'area interessata, di strutture particolarmente vulnerabili (scuole, ospedali, ecc.) e, nelle immediate vicinanze all'area interessata, di strutture sfruttabili come rifugio.

2.2 Modulo Scenari Statici

Questo Modulo è costituito dai modelli di calcolo che, a partire dalle caratteristiche dei componenti descritte nei DataBase precedentemente accennati, integrate da dati di input variabili in funzione dello scenario incidentale da analizzare, forniscono i valori delle grandezze fisiche (come termine di sorgente, concentrazione, irraggiamento e sovrappressione) che caratterizzano la sequenza incidentale.

Per il calcolo della dispersione atmosferica sono inoltre necessarie almeno le seguenti informazioni:

- modello orografico del territorio
- direzione e velocità del vento al suolo, in una o più stazioni meteorologiche
- categoria di stabilità atmosferica
- altezza dello strato di miscelamento

La direzione e la velocità del vento possono essere inserite dall'utente in un numero di punti variabile tra 1 e 10, corrispondenti o meno alla localizzazione delle stazioni meteorologiche locali, così come archiviata nel Database Risorse

La risoluzione spaziale di calcolo predefinita è di 50 metri per incendi ed esplosioni e 100 metri per la concentrazione di sostanza tossica.

Le variabili di output archiviate nel Database Scenari Incidentali sono, come già detto, i valori di irraggiamento, sovrappressione o concentrazione di sostanza tossica. Per il calcolo delle conseguenze, i valori di sovrappressione e irraggiamento sono considerati istantanei, mentre quelli di concentrazione sono aggiornati ogni 60 secondi simulati, sino ad un totale di 120 aggiornamenti (2 ore totali).

Il Modulo Scenari Statici fornisce, come dato sintetico di output, il numero di decessi e feriti all'interno di ogni singola area urbana definita nel DB Territorio, nell'ipotesi che la popolazione si trovi all'esterno delle abitazioni e non si sposti affatto.

Come già accennato, una volta calcolato, lo scenario statico può essere archiviato nel DataBase Stabilimenti.

3. IL MODULO SCENARI DINAMICI

3.1 Generalità

Il Modulo Scenari Dinamici ha il compito di determinare le conseguenze (danno) che subisce la popolazione esposta ad una determinata sequenza incidentale, tenendo conto dell'applicazione di un predefinito piano di emergenza o di soccorso alla popolazione colpita [5], [6], [7]. Queste conseguenze dipendono dalla assunzione delle sostanze tossiche sviluppatesi nell'atmosfera o dall'esposizione a radiazione termica o ad onde d'urto, secondo i modelli di vulnerabilità (PROBIT) inseriti nel sistema. Il danno è funzione della popolazione presente e della dose (integrale della concentrazione sull'intervallo di tempo in cui essa rimane esposta) ricevuta dalle persone.

In realtà, nella maggior parte delle sequenze incidentali ipotizzabili gli effetti si applicano in tempi così brevi che è possibile solo pianificare adeguatamente il soccorso alla popolazione colpita. Solo nel caso di rilascio di sostanze tossiche il piano di emergenza può mitigare notevolmente le conseguenze, con l'attuazione di misure quali il controllo degli accessi, il rifugio di emergenza e, se le circostanze consentono tempi di intervento abbastanza lunghi, l'evacuazione della popolazione. Il seguito della trattazione è pertanto centrato su scenari con rilascio di sostanze tossiche.

Per minimizzare il danno subito dalla popolazione è quindi necessario minimizzare sia il numero delle persone esposte alla sostanza tossica, sia il periodo di tempo di esposizione attraverso la predisposizione di un piano di emergenza adeguato. Una estesa e corretta informazione alla popolazione situata nelle vicinanze di un impianto ad alto rischio è uno dei mezzi più semplici ed efficaci con cui le autorità predisposte possono rendere minima l'esposizione ad una sostanza tossica. Nel caso in cui sia prevista l'evacuazione della popolazione è necessario che questa avvenga con percorsi e modalità tali da rendere minima la dose assorbita.

Nel sistema HARIA-2 il Modulo Scenari Dinamici aiuta il gestore delle emergenze a scegliere le misure di emergenza, incluso l'eventuale piano di evacuazione, per minimizzare la dose assorbita dalla popolazione.

A questo scopo il Modulo è costituito dai seguenti modelli:

1. Modello del comportamento della popolazione
2. Modello di traffico TIES (Traffic In Emergency Situations)
3. Modello di calcolo della dose alla popolazione

Il Modello comportamento della popolazione permette di definire la distribuzione effettiva della popolazione interessata all'emergenza in seguito al verificarsi di un evento incidentale ed il comportamento dei vari gruppi di persone (*guidato, autonomo, random o statico*) [8]. Ogni individuo della popolazione distribuita viene caratterizzato in base a 5 parametri: **autonomia di movimento, classe sociale (scolarità), fascia oraria in cui si ha l'incidente, informazione preventiva ed informazione in emergenza**, individuando in tal modo il suo comportamento. Ad esempio, fra le persone distribuite sul territorio, gli individui impossibilitati fisicamente al movimento avranno necessariamente un comportamento statico; le persone presenti in centri di vulnerabilità controllati (scuole, ospedali, ecc.) avranno un comportamento guidato; e così via. Applicando questo procedimento ad ogni distribuzione di popolazione presente nel database popolazione è possibile creare un nuovo database, in cui la popolazione presente viene suddivisa anche in base al comportamento che probabilmente assumerà nell'evenienza di una situazione incidentale. Tale database è uno degli input essenziali per TIES, che ha il compito di individuare la distribuzione spazio-temporale della popolazione durante l'emergenza (inclusa la fase di evacuazione). Tale distribuzione, insieme a quella della concentrazione della sostanza tossica (determinata in precedenza dal Modulo Scenari Statici) fornisce i dati essenziali per il calcolo della dose assorbita dalla popolazione ad ogni passo temporale e quindi la valutazione delle conseguenze in funzione del tempo.

3.2 Modello di traffico TIES

Il modello TIES implementato in HARIA-2 permette una valutazione degli spostamenti della popolazione presente all'interno della zona di pericolo, tenendo conto del comportamento che probabilmente avranno i vari gruppi. Ad esempio, nel caso in cui il piano di emergenza preveda l'evacuazione della zona di pericolo, il modulo dovrebbe essere in grado di valutare in quanto tempo

la popolazione che assume un comportamento guidato riesce ad uscire dalla suddetta zona seguendo una via di fuga prestabilita, come si sposterà e che mete raggiungerà la popolazione che terrà un comportamento autonomo, e come si aggirerà quella presa dal panico.

Attualmente il modulo è in grado di simulare solamente un comportamento guidato e quindi prevede il caso in cui la evacuazione della popolazione avvenga con la presenza di personale delle forze dell'ordine, adibito a far sì che tutta la popolazione che si riversa sulle strade sia costretta a seguire percorsi obbligati; tale condizione è tra l'altro quella normalmente prevista dal pianificatore dell'emergenza.

Un altro modo di utilizzazione di TIES è quello di usarlo per individuare il percorso migliore per l'invio degli eventuali mezzi di soccorso.

Il modello TIES attualmente integrato nel sistema HARIA-2 è basato sull'analogia fluido-dinamica continua, con la correlazione di Greenshields fra velocità e densità dei veicoli [5]. Per poter fornire i risultati richiesti, necessita di una serie di dati che attualmente devono essere determinati da procedure esterne, peraltro implementate sotto ArcView®.

Tali dati sono:

1. la rete stradale che verrà percorsa,
2. i parametri caratterizzanti le strade che compongono la rete,
3. la distribuzione della popolazione lungo il percorso,
4. gli istanti in cui i vari gruppi di popolazione si immettono nella rete stradale,
5. il traffico preesistente nella rete stradale considerata.

Il primo passo che deve essere fatto è la definizione dell'area a rischio o area di pericolo (in genere l'area compresa fra i contorni delle zone corrispondenti ai limiti di dose IDLH e DL50). Tale zona viene suddivisa in celle di dimensioni congrue con quelle utilizzate nel calcolo della dispersione atmosferica della sostanza nociva rilasciata nell'incidente. In genere questa area può essere suddivisa dall'utilizzatore del sistema in due settori, uno sopravvento ed uno sottovento rispetto alla sorgente di rilascio, ma nulla vieta che si definisca un maggior numero di settori (ad es. suddividendo quello sottovento in due separati dalla semiretta uscente dall'origine del rilascio con direzione e verso quelli del vento). Come accennato, la rete stradale interna alla zona di pericolo è generata mediante una apposita procedura direttamente sotto ArcView®, definendo per ciascun settore la strada principale di evacuazione, quelle primarie di collegamento alla precedente, quelle secondarie (collegate alle primarie), ecc. (Fig. 2).

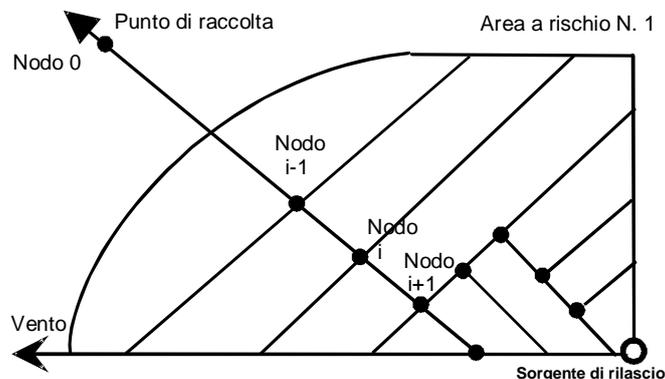


Figura 2. Schema di rete stradale in HARIA 2

La rete (in previsione di attuare un piano di evacuazione predefinito) è, quindi, del tipo ad albero, con un unico senso di marcia per ogni strada, ma è possibile simulare strade a doppio senso di marcia duplicando la strada ed i suoi nodi terminali. L'albero ha la radice (Nodo 0 ovvero punto di raccolta) nella zona sicura e ad ogni istante ha soltanto una serie di rami percorribili; gli altri rami, connessi al precedente da incroci a 3 o 4 vie, sono chiusi all'estremità e consentono in ciascun passo temporale ingressi, ma non uscite. Quando scatta un semaforo, l'albero di evacuazione viene modificato e lo stesso succede quando una diramazione è completamente svuotata. I vari rami del grafo stradale sono associati alle celle con cui è descritto il territorio, suddividendoli in tratti di egual lunghezza x , ciascuno associato alla cella che lo contiene. Le immissioni dei mezzi di trasporto avvengono in tali

tratti x , secondo quanto specificato dall'utente attraverso i relativi "generation rates" (numero di mezzi che si immettono e ritardo iniziale rispetto al segnale di inizio di evacuazione). Ciò è fatto sulla base dei risultati dell'applicazione del modello di comportamento della popolazione, inglobando in un unico gruppo le persone presenti nella cella a comportamento guidato, autonomo o random, in base all'ipotesi di completo controllo degli accessi. Il gruppo con comportamento statico non ha invece alcuna reazione e rimane sempre nella sua posizione. Agli incroci è inizialmente definito il programma di semaforizzazione normalmente in vigore, che può cambiare nel corso della simulazione, in base alle previsioni del piano di emergenza man mano che i vari nodi vengono presidiati.

La rete di traffico viene inizializzata sulla situazione di equilibrio corrispondente al momento in cui viene dato l'allarme (cioè per la stagione, il giorno della settimana e l'ora oggetto della simulazione). Al momento dell'allarme, con un ritardo predefinito viene attuato il controllo degli accessi, viene interdetto l'ingresso nella zona e la rete continua ad operare normalmente, senza alcun ulteriore accesso dall'esterno e con flussi interni in ingresso (generation rates) corrispondenti alle frazioni di popolazione a comportamento autonomo o random. Quindi, via via che le squadre di emergenza assumono il controllo dei semafori (nodi) e viene attuata l'evacuazione secondo il modello guidato.

Al termine del calcolo il modello restituisce, per ogni passo temporale, la distribuzione della popolazione in ogni cella.

3.3 Modello di dose alla popolazione

Oltre al controllo degli accessi e delle uscite, HARIA 2 consente la simulazione di altre due misure di emergenza, il rifugio di emergenza e l'evacuazione.

Se si attua la prima di tali misure, si assume che, come già accennato, sulla rete stradale si riversi la popolazione a comportamento autonomo o random, mentre ai gruppi di popolazione a comportamento guidato si applica la riduzione dell'esposizione corrispondente al rifugio di emergenza.

In caso di evacuazione, le squadre di soccorso prendono progressivamente il controllo di tutti i nodi della rete, tutta la popolazione in movimento è costretta ad assumere il comportamento guidato ed il modello di traffico calcola ad ogni istante (passi temporali di 1 s) la posizione della popolazione sul territorio, con la procedura delineata al punto precedente.

Una volta note le distribuzioni spazio-temporali sia della popolazione che della sostanza tossica emessa nell'atmosfera durante la sequenza incidentale (Modulo Scenari Statici), è facile calcolare la dose integrata assunta da tutta la popolazione presente nell'area a rischio, sommando ad ogni passo temporale tutti i prodotti della concentrazione per il numero di persone presenti in ciascuna cella, per tutte le celle in cui è suddivisa l'area a rischio. Una piccola complicazione deriva dall'applicazione dei modelli di vulnerabilità assunti per le varie sostanze tossiche; essi infatti prevedono che le conseguenze siano funzione della concentrazione elevata in generale ad un esponente maggiore di 1, per cui è tale grandezza che deve essere moltiplicata per il numero di persone presenti nella singola cella. Ad ogni modo, è possibile calcolare l'evoluzione delle conseguenze dell'incidente in funzione del tempo, tenendo conto del comportamento della popolazione. I risultati ottenuti possono essere comparati con quelli che si otterrebbero con le altre misure (controllo degli accessi e rifugio di emergenza), permettendo alle Autorità di scegliere fra le opzioni disponibili.

4. ESEMPIO APPLICATIVO DEL MODELLO

Come esempio di applicazione del Modulo Scenari Dinamici, si è considerato il caso della città di Milazzo, nella cui zona industriale sono presenti un'importante raffineria ed una centrale termoelettrica ENEL, con depositi di GPL ed altri prodotti petroliferi. Per tale sito si avevano a disposizione dati sufficienti per l'applicazione del sistema informatico [9].

E' stato ipotizzato che tutta la popolazione della città di Milazzo debba essere evacuata, per avere un esempio completo, anche se attualmente nessun scenario incidentale immaginabile richiede l'evacuazione della città di Milazzo. Le figure 3 e 4 mostrano la mappa della città, con evidenziata la rete stradale, e lo schema preso in considerazione nel modello di evacuazione di HARIA-2.

Supponendo, secondo dati disponibili per simili siti industriali, che il 60% della popolazione assuma un comportamento statico, il 24% un comportamento guidato, il 15% un comportamento random e l'1% un comportamento autonomo, se la popolazione da evacuare è costituita da circa diciottomila persone, il 40% di questa si riverserà sulle strade con i propri mezzi di locomozione. Supponendo un indice di affollamento pari a 3 persone per auto, avremo così circa duemilaquattrocento auto che si

riverseranno sulla rete stradale considerata dal piano di evacuazione.



Figura 3. Milazzo con, evidenziata, la rete stradale

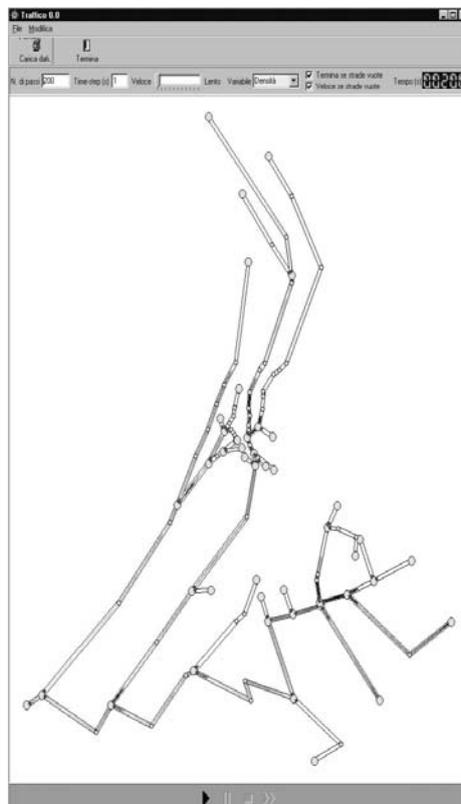


Figura 4. Rete stradale usata dal Codice HARIA-2

Il modello, tenendo conto dei limiti di velocità (nel caso in esame sono stati assunti i limiti di 50 Km/h

per le strade urbane e di 90 Km/h per quelle extraurbane), può calcolare la posizione della popolazione ad ogni passo temporale. Il territorio è stato suddiviso in celle di 100x100 m e in ciascuna cella la concentrazione della sostanza tossica viene considerata uniforme e uguale a quella calcolata nel Modello Scenari Statici al centro della cella. Integrando tale concentrazione (eventualmente elevata ad un esponente n, in accordo con il modello di vulnerabilità assunto per la sostanza tossica rilasciata) sull'intera area e per tutto il tempo in cui avviene il rilascio è possibile calcolare le conseguenze dell'incidente nel caso si attui tale misura di emergenza.

Sembra opportuno menzionare che il codice HARIA-2, con le assunzioni sopra dette e con la rete stradale riportata nello schema di Fig. 4, stima che l'evacuazione della popolazione a comportamento non statico avvenga in circa 75 minuti a partire dal tempo in cui tutti i nodi stradali, visibili nello schema siano sotto il controllo delle squadre di emergenza. Con opportune modifiche della rete stradale, ad esempio cercando di convogliare il traffico automobilistico maggiormente lungo la litoranea ad ovest (strada a doppia carreggiata e con limite di velocità di 90 Km/h) si ottiene una riduzione del tempo di evacuazione di circa una ventina di minuti.

Appare evidente come il modello permetta di scegliere non solo la rete stradale attraverso la quale è possibile ottenere una evacuazione più celere, ma anche quella attraverso la quale sia ridotto al minimo il danno subito dalla popolazione.

5. CONCLUSIONI

Anche se la ricerca HARIA 2 non può dirsi ancora conclusa, importanti risultati sono stati ottenuti con applicazioni significative, come l'analisi del disastro di Mexico City [10] e parzialmente alla pianificazione dell'emergenza per l'area industriale di Milazzo [11].

La modellistica adottata e implementata in HARIA-2 descrive con un certo grado di dettaglio i fenomeni fisici di interesse [4], [6] e permette una esecuzione abbastanza automatica del codice, imponendo di conseguenza poche scelte all'utente; quest'ultima condizione garantisce un'elevata confrontabilità di risultati ottenuti da operatori diversi, in diverse situazioni. Restano, comunque, da implementare nel codice alcune procedure che ne semplificherebbero l'uso ad utenti meno esperti. In particolare è prevista e in fieri una sua ottimizzazione con l'uso di GIS come ArcView® [3], [9].

In conclusione, HARIA-2 considera sia gli aspetti fisici che quelli sociologici di emergenze dovute ad incidenti industriali e pertanto costituisce un buon punto di partenza per la loro pianificazione e la loro analisi; anzi è in realtà uno strumento assolutamente originale per trattare tali problematiche.

Di particolare interesse è il modello di traffico in transitorio TIES, che può essere applicato anche a situazioni di emergenza di origine naturale (ad es. esplosioni vulcaniche), se i fenomeni in gioco comportano un tempo di preavviso sufficientemente lungo.

Deve, comunque, essere sottolineato come il codice HARIA-2 non sia ancora pienamente convalidato, mancando una sua esaustiva applicazione a casi reali. Questo può essere ottenuto solo con l'attiva partecipazione delle Autorità territoriali competenti nella pianificazione dell'emergenza, per ottenere i dati che sono necessari al codice per la simulazione (ad es., condizioni di traffico e distribuzioni effettive della popolazione in ogni periodo dell'anno).

RINGRAZIAMENTI

Gli autori ringraziano tutti coloro che hanno contribuito alla realizzazione del progetto e in particolare M. Barlettani, F. Bellezza, M. Binda, S. Contini, G. Giardina, S. Gabbrielli, A. Morano, L. Pellizzoni, M. Petea, M. Scarselli, G. Sica, D. Ungaro, F. Verri, G. Volta, J. Wuertz, F. Zani.

Il lavoro è stato finanziato dal CNR con la sponsorizzazione del Dipartimento della Protezione Civile.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Mazzini M., Contini S., Volta G.: HARIA-2. a Computer Supported Approach to Emergency Planning, Analysis and Response. J Risk Decision and Policy, Vol 7, p. 131, 2001.
- [2] Mazzini M. An Informatic System for Planning and Analysis of Technological Emergencies. Workshop: "Risk Management – Defining the Needs for the Future", Vol. 1, Ascona (CH), 2002.
- [3] Bellezza F., Christou D., Contini S., Kirchsteiger C.: The Use of Geographic Information System in Major Accident Risk Assessment and Management. Journal of Hazardous Materials 78, 223-245, 2000.

- [4] Bovalini R., Mazzini M., Petea M, De Varti A.: Developments in HARIA-2 Research Project: a Computer Supported Approach to Emergency Planning, Analysis and Response. Conference PSAM 6, San Juan di Portorico, 2002.
- [5] M. Barlettani, M. Mazzini, M. Scarselli: “HARIA-2: una metodologia per la pianificazione e l’analisi di emergenze tecnologiche. Sviluppo di un modello matematico per la simulazione del piano di evacuazione”. Atti della Conferenza *VGR’2K*, Pisa (Italy),2000.
- [6] Bovalini R., De Varti A., Mazzini M., Petea M.: HARIA-2: una metodologia per l’analisi e la pianificazione delle emergenze tecnologiche. Sviluppo della modellistica per la simulazione degli scenari incidentali. Atti della Conferenza *VGR2K2*, Pisa (Italy), 2002.
- [7] Bovalini R., De Varti A , Mazzini M.: The Simulation of Emergency Dynamic Scenarios by the Informatic System HARIA-2, a Tool for Planning and Analysis of Technological Emergencies. Conference ESREL 2003, Maastricht (NL), 2003
- [8] Pelizzoni L., Ungano D.: HARIA-2. Rapporto al CNR sulla terza fase della ricerca. Università di Trieste, marzo 2000.
- [9] Bellezza F., Binda M., Contini S., Giardina G.: Il sistema prototipo HARIA-GIS per la pianificazione delle emergenze. Conferenza *VGR’2K*, Pisa (Italy), 2000.
- [10] Bovalini R., Gabbrielli S., Mazzini M., Petea M.: HARIA-2: una metodologia per l’analisi e la pianificazione delle emergenze tecnologiche. Validazione del sistema informatico in base all’analisi dell’incidente di Città del Mexico. Conferenza *VGR’2K*, Pisa (Italy), 2000.
- [11] Cambria D.: Metodologie per la Valutazione del Rischio d’Area in Siti Industriali. Tesi di dottorato di ricerca in Sicurezza Nucleare ed Industriale. Università di Pisa, 2006