

# SVILUPPO DELLA NUOVA MODELLISTICA PER LA SIMULAZIONE DI INCIDENTI INDUSTRIALI, INSERITA NEL SOFTWARE HARIA-2, VERSIONE 3.0

R. Bovalini\* M. Mazzini\* A. Morano\* A. De Varti^

\* Università di Pisa, Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Nucleare e della Produzione, via Diotallevi 2,  
56126 Pisa

^ THEMAS s.r.l, via Rustichello da Pisa, 56125 Pisa

[marino.mazzini@ing.unipi.it](mailto:marino.mazzini@ing.unipi.it)

## SOMMARIO

Lo scopo della modellistica di simulazione degli incidenti, che possono interessare impianti ad elevato rischio, è di valutare le conseguenze sulla popolazione, al fine di preparare in anticipo i soccorsi e la popolazione stessa, perché l'impatto del sinistro sia ridotto per quanto possibile.

Il sistema informatico **HARIA-2** intende fornire un valido supporto ai responsabili della pianificazione delle emergenze tecnologiche: ricopre un'ampia casistica di incidenti con dispersione delle sostanze rilasciate, che, in base alla loro natura e alle condizioni meteorologiche e geografiche del territorio interessato, possono dare luogo a molteplici scenari. Nel presente lavoro l'attenzione è focalizzata su tale modellistica, semplice (ma non elementari), in grado di fornire risultati capaci di prevedere l'evoluzione spazio-temporale della grandezza d'interesse (concentrazione d'inquinante o flusso energetico)

## INTRODUZIONE

La presenza di installazioni industriali a rischio rilevante sul territorio nazionale è vincolata a severe disposizioni normative, che impongono, in relazione alla pericolosità potenziale delle sostanze prodotte, trasformate o stoccate al loro interno, il rispetto di distanze ritenute di sicurezza dai più importanti centri di vulnerabilità (centri densamente popolati, importanti vie di comunicazione, scali aerei, marittimi o ferroviari, altre installazioni industriali pericolose...)[1]. D'altronde, specie in Italia, la superficie a disposizione per l'insediamento di tali impianti è piuttosto limitata; risulta inevitabile, come accade spesso nella pratica ingegneristica, effettuare scelte che siano frutto di compromessi tra esigenze anche contrapposte. Inoltre in passato non sempre si è operato in questa maniera, per cui si hanno numerosi casi di "convivenza" sullo stesso territorio di installazioni industriali pericolose e centri di vulnerabilità anche molto importanti.

Il rispetto di distanze di sicurezza, in grado di mitigare gli effetti dannosi di possibili incidenti almeno sulla popolazione, non è l'unico modo per limitare il rischio; anzi, l'attuale normativa sta centrando sempre più l'attenzione verso le due fasi anteriori della sicurezza industriale: la prevenzione e la protezione dagli incidenti.

La prima fase consiste nel ridurre la probabilità di accadimento di incidenti, migliorando la scelta dei materiali, dei prodotti, delle tecnologie e delle risorse umane ad ogni livello temporale della gestione dell'impianto (progettazione, localizzazione, realizzazione, esercizio, manutenzione,...), mediante l'adozione di una efficace politica della qualità.

La seconda consiste nel predisporre adeguati accorgimenti, che limitino al minimo l'incidenza sulla popolazione delle attività pericolose svolte nell'impianto, in stretta relazione tra di loro:

- a. la realizzazione di vere e proprie barriere fisiche, ad elevato contenimento di materia ed energia e di altri sistemi, che riducano il rilascio delle sostanze pericolose al di fuori dell'impianto;
- b. un'efficace opera di pianificazione dei soccorsi in emergenza, che trae origine dalla valutazione delle sequenze incidentali a più elevato rischio, e che implica anche l'informazione al pubblico sul comportamento ottimale da assumere, a seconda del tipo di incidente e dei gruppi di popolazione coinvolti.

## 1. HARIA-2: UNO STRUMENTO PER LA PIANIFICAZIONE DELLE EMERGENZE TECNOLOGICHE.

È in seno a quest'ultima fase della sicurezza industriale che si innesta il sistema informatico **HARIA-2**. Si tratta di un software integrato, nato con l'intenzione di stimare gli effetti sulla popolazione di incidenti, che possono interessare installazioni industriali ad alto rischio, per le quali è previsto l'obbligo di predisporre un piano d'emergenza esterna. Attraverso la simulazione degli incidenti più probabili è possibile individuare

in anticipo i centri di vulnerabilità più esposti ed ottimizzare l'intervento dei mezzi di soccorso: in tali fasi, infatti, specie a seguito del rilascio di sostanze tossiche, il fattore tempo è fondamentale per limitare gli effetti dannosi dell'incidente e il guadagno di istanti preziosi è possibile mediante un'accurata pianificazione degli interventi di soccorso.

**HARIA-2** è un software di sicura utilità in questi e nei prossimi anni, visto il crescente impegno verso i temi della sicurezza industriale e della protezione ambientale. È utilizzabile a diversi livelli, dai responsabili della sicurezza delle installazioni pericolose, dei soccorsi (VVF, forze dell'ordine, Protezione Civile,...) e dagli Organi che si occupano di protezione dell'ambiente (Agenzie Regionali e Nazionale per la Protezione Ambientale).

Questo software è arrivato all'attuale versione 3.0 [2] per fasi di affinamento e completamento successive, che hanno interessato in particolare l'ampliamento degli scenari rappresentati e l'adozione di codici di calcolo più evoluti, in grado cioè di fornire risultati più attendibili. Non è stato nemmeno trascurato il miglioramento dell'interfaccia grafica e la progressiva facilitazione nell'inserimento dei dati di input (dati necessari per l'esecuzione dei modelli) e nella lettura di quelli di output (stime fornite dai modelli stessi).

In base ai risultati presentati al VGR2K (Congresso sulla Valutazione e Gestione del Rischio), svoltosi a Pisa nell'ottobre 2000 [3], sono stati implementati principalmente nuovi modelli di simulazione dei fenomeni dispersivi di sostanze aeriformi (modelli **Display-1** e **P6**), nonché del campo cinetico in territori ad orografia complessa (processore meteorologico **WINDS**); questa fase della ricerca è oggetto del presente lavoro. È stato anche completata la modellistica per la valutazione del Termine Sorgente e sono stati implementati nuovi modelli per una più realistica simulazione di incendi ed esplosioni (modelli **ISIS**), utili per trattare situazioni con effetto domino.

### 1.1 Struttura del software HARIA-2.

L'attuale versione di **HARIA-2** consente lo studio della dinamica sia fisica che sociale di un'emergenza tecnologica, con contestualizzazione dei dati e dei risultati nel territorio, mediante un opportuno software di georeferenziazione e di visualizzazione.

La prima parte dell'analisi è effettuata dal modulo **Creazione Scenari Statici**: esso comprende l'analisi dell'emissione della sostanza pericolosa all'interno dello stabilimento ("Termine Sorgente"), prosegue con la valutazione della sua dispersione al di fuori dell'impianto, compatibilmente con la natura della sostanza rilasciata (leggera o pesante), l'orografia e il campo di vento locali, per finire con la valutazione delle conseguenze del rilascio sulla popolazione presente nell'area interessata. Questa analisi è estesa ad ogni scenario incidentale ritenuto plausibile e ha lo scopo di individuare i gruppi di popolazione maggiormente esposti all'emergenza (fig. 1).

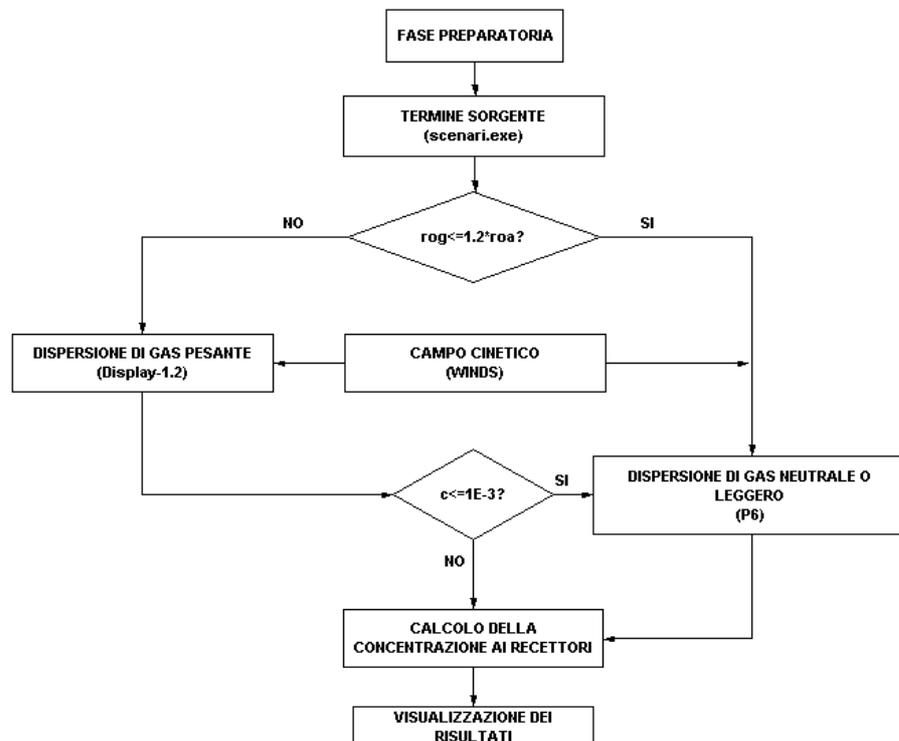
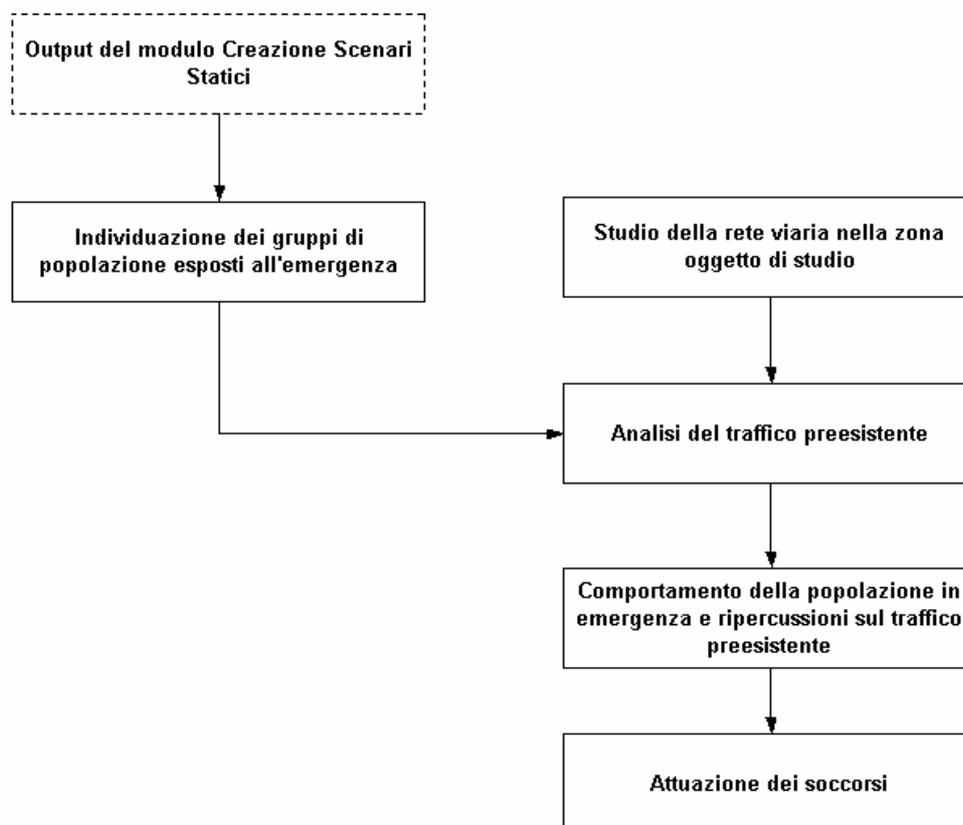


Figura 1: Dinamica fisica dell'emergenza tecnologica trattata dal modulo Creazione Scenari Statici.

Dopo questa prima fase inizia la pianificazione dei soccorsi, che comprende l'analisi della rete viaria nella zona d'interesse, del traffico preesistente e del comportamento della popolazione ad incidente avvenuto, analisi effettuata dal **Modulo Traffico**, per scegliere in modo efficiente l'ordine spaziale e temporale con cui eseguire le operazioni di soccorso o sgombero (fig. 2).

Il progetto ha, pertanto, richiesto la stretta collaborazione di diversi gruppi di ricerca e un sinergismo tra competenze fisiche e ingegneristiche e quelle di indirizzo sociologico, per realizzare una modellistica coerente e realistica.



**Figura 2: Dinamica sociale dell'emergenza tecnologica trattata da Haria-2.**

### 1.2: Fase preparatoria e Termine Sorgente.

La prima fase nell'uso del codice **HARIA-2** è quella di preparare, mediante opportune scelte dell'utente, i file dati d'ingresso e di visualizzazione dei risultati dei moduli successivi, denominati "tematismi": questi sono immagini dalle medesime dimensioni e proporzioni, quindi sovrapponibili a mo' di layer, che, se attivati, mostrano elementi diversi presenti nel territorio in esame. Quelli strettamente necessari sono i seguenti:

- > Raster;
- > Orografia;
- > Densità abitativa;
- > Centri di vulnerabilità;
- > Stabilimenti, impianti e componenti.

Dopo aver opportunamente inserito i dati relativi allo scenario incidentale da simulare, viene mandato in esecuzione il file **scenari.exe**, che valuta la portata di sostanza fuoriuscita, a seconda della tipologia di rilascio. Come è evidente dalla fig. 3, gli scenari incidentali, che seguono la rottura o fessurazione di un contenitore o tubazione, presi in considerazione dal software **HARIA-2**, sono di tre tipologie:

1. Fuoriuscita di gas, raggiungimento dei limiti di infiammabilità, presenza di sorgente di ignizione, incendio, rilascio di energia sotto forma di irraggiamento;
2. Rilascio di energia per esplosione sotto forma di onde di pressione;
3. Fuoriuscita di gas o miscela bifase non infiammabile o a concentrazioni che non rientrano nel "range" di infiammabilità, dispersione nell'ambiente esterno, in base alla conformazione

orografica e al campo cinetico del territorio e raggiungimento dei bersagli e dei centri di vulnerabilità. Se il gas rilasciato assume valori della densità  $\rho_g$  prossimi a quella dell'aria  $\rho_a$ , lo si può assimilare, dal punto di vista del suo comportamento ai fini della dispersione, ad un gas neutrale, dalle caratteristiche dinamiche del tutto simili all'aria; come condizione di "pesantezza" del gas rilasciato, si può imporre che  $\rho_g \geq 1.2 \cdot \rho_a$ , assumendo  $\rho_a$  pari a  $1.2 \text{ kg/m}^3$  a  $20^\circ \text{C}$  e pressione atmosferica.

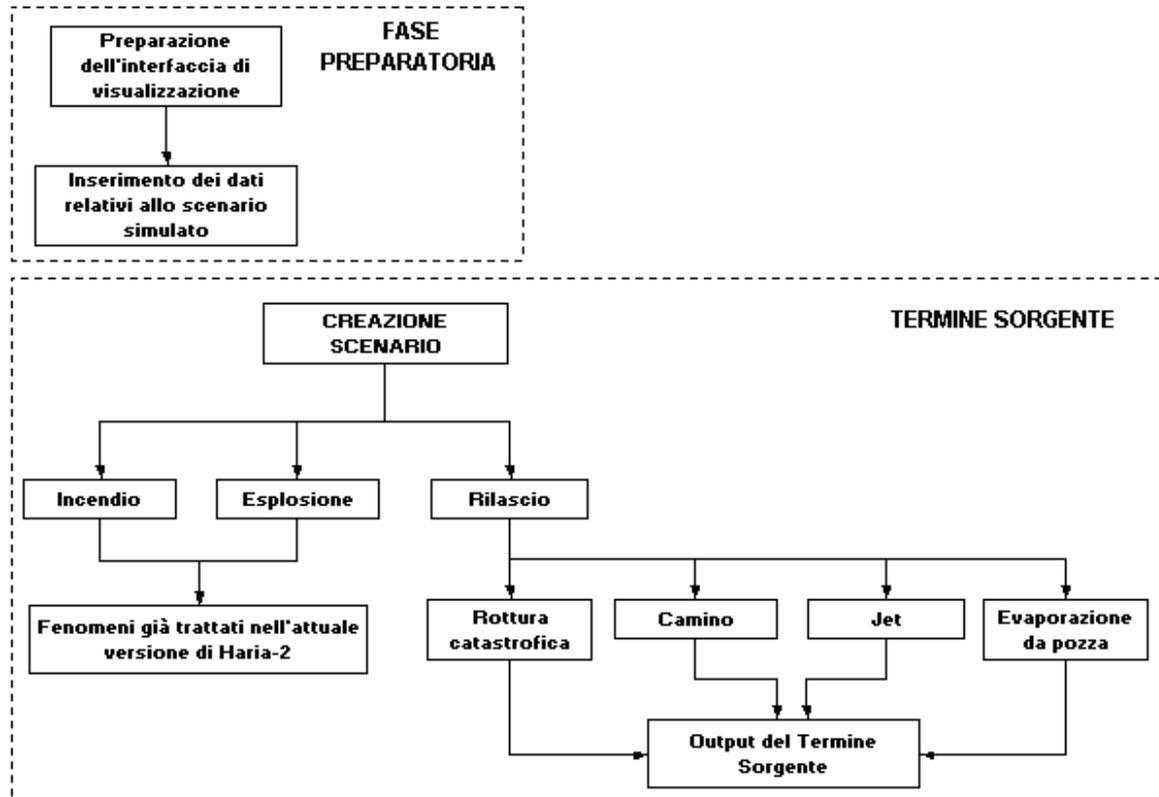


Figura 3: Le fasi di preparazione dell'input e di esecuzione del Termine Sorgente.

### 1.3: L'esecuzione del processore meteorologico.

Il processore meteorologico implementato in **HARIA-2** è il modello **WINDS**, facente parte del pacchetto software **SAFE\_AIR** [7, 8, 9, 10, 11]. La sua esecuzione parte dopo la fase preparatoria iniziale in modo indipendente dal Termine Sorgente e fornisce due file di input: **winds.xxx**, utilizzato dal codice di dispersione neutrale, e **winoro.txt**, utilizzato dal codice di dispersione pesante (fig. 4).

Il modello **WINDS** permette la simulazione di un campo di vento tridimensionale su scala orizzontale 2-200 km, su territorio ad orografia complessa[12].

**WINDS** fa parte della famiglia dei modelli diagnostici "mass-consistent"; costruisce il campo di vento in due passi successivi: inizialmente è elaborata una prima approssimazione, successivamente perfezionata per eliminare le divergenze.

I dati di input, in relazione alle condizioni di vento, possono essere forniti sia come rilevazione dell'intensità e della direzione del vento a livello del suolo, sia sotto forma di profilo verticale locale, anche derivante da modelli meteorologici a larga scala.

Il codice utilizza un sistema di coordinate conformi ("conformal coordinates"), che si adattano alla forma del terreno, consentendo così condizioni al contorno semplificate e migliore risoluzione di calcolo. L'esecuzione del modello prevede che siano fornite le informazioni inerenti l'orografia e la rugosità del territorio e la condizione di stabilità atmosferica.

Il modello **WINDS**, che ha sostituito la subroutine **WEST**, integrata nel codice **AVACTA**, ha mostrato migliori capacità di implementazione, generando un campo cinetico congruente anche per velocità del vento assai modeste (intorno a 0.1 m/s) e stimando effetti di canalizzazione derivanti anche da piccoli dislivelli orografici.

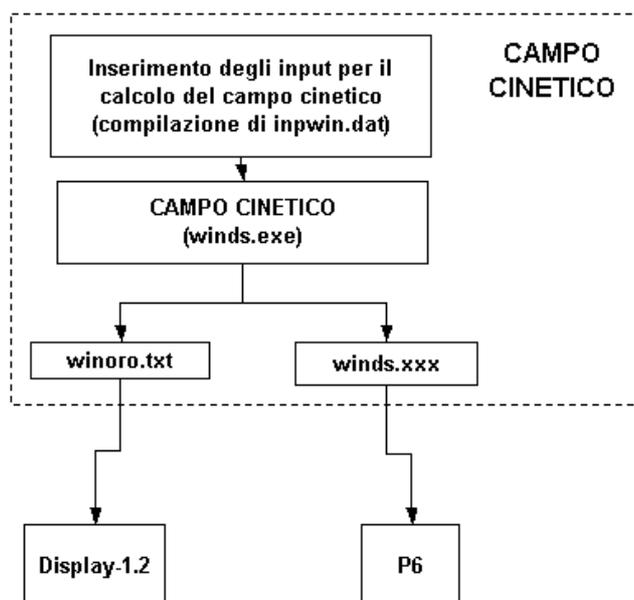


Figura 4: Fasi dell'esecuzione del processore meteorologico WINDS

## 2. DESCRIZIONE DEI MODELLI IMPLEMENTATI.

Le conseguenze di ognuna delle tipologie di scenari incidentali sopraindicati sono valutate da uno specifico codice di calcolo: i modelli per incendi ed esplosioni, messi a punto dal Centro di Ricerca JRC di Ispra (Va) [13], e i modelli di dispersione atmosferica, per gas pesanti (**Display-1.2** [4, 5, 6], ad opera dell'ing. Jørgen Würtz, del medesimo Centro di Ricerca), e gas leggeri-neutrali (**P6**, sviluppato presso il Dipartimento di Fisica dell'Università di Genova) [11].

La scelta, l'ottimizzazione e il collegamento di questi modelli sono stati guidati dall'esigenza di rappresentare dinamicamente gli eventi, cioè di fornire una rappresentazione capace di prevedere l'evoluzione spazio-temporale della concentrazione di un inquinante o di un flusso energetico, in particolari condizioni emissive e meteorologiche, anche variabili nel tempo. I modelli sono stati scelti, ovviamente, in base alla loro capacità di fornire una rappresentazione dei fenomeni abbastanza realistica, ossia tale che le differenze tra la stessa e la realtà appartenessero ad un determinato intorno, sufficientemente piccolo (minore di quello corrispondente all'incertezza con cui è possibile stimare il Termine Sorgente). Infatti, dal punto di vista pratico, una rappresentazione eccessivamente conservativa, teoricamente più semplice, non è in genere realistica, e questo può comportare errori rilevanti in sede di pianificazione dell'emergenza; l'adozione di opportuni margini di sicurezza, per compensare l'incertezza correlata alla complessa dinamica degli eventi considerati, è effettuata scegliendo le variabili di input in condizioni ragionevolmente sfavorevoli.

### 2.1 I modelli per incendi ed esplosioni.

I modelli per incendi ed esplosioni sono stati implementati con successo in **HARIA-2** nel recente passato, ad opera dell'ing. Petea e del dott. Gabbrilli; essendo parte integrante del modulo **Creazione Scenari Statici**, essi sono stati descritti diffusamente nella tesi di laurea, collegata a questo documento [14], sotto gli aspetti teorici generali.

I fenomeni considerati, trattati ognuno da un modello differente, sono:

1. "Jet fire": getto di sostanza infiammabile che fuoriesce ad alta velocità e trova immediatamente una sorgente di ignizione esterna; le possibili conseguenze del "jet-fire" sono dovute al calore irraggiato direttamente e a quello trasmesso per convezione e conduzione a strutture eventualmente investite dalla fiamma, con la possibilità di innescare "effetti domino". Il modello che tratta questo fenomeno (**I1**), permette di definire la distribuzione della radiazione termica ( $\text{kW/m}^2$ ) intorno alla fiamma, in relazione alla definizione di pochi dati di input (caratteristiche geometriche, potenza emissiva, dipendente dalla natura di sostanza infiammabile, fattore di vista e trasmissività atmosferica).
2. "Pool fire": incendio di pozze di liquido infiammabile, che si verifica quando, a seguito di un rilascio di sostanza in fase liquida o bifase su terreno o su acqua, la miscela formatasi dall'evaporazione del liquido è innescata da una sorgente esterna di sufficiente energia; questo tipo di situazione incidentale è il più frequente nell'industria petrolchimica. Le conseguenze derivanti

- dalla radiazione termica emessa sono dipendenti dalla composizione del combustibile, dalle dimensioni e dalla durata dell'incendio, e dalla distanza del bersaglio dalla fiamma. I modelli per "pool fire" si distinguono a seconda che sia presente un confinamento, che limiti l'allargamento della pozza (modello **I9**) o meno (modelli **I10**, **I11**).
3. "UVCE" (esplosioni non confinate di nubi di vapore). L'UVCE è generata da un rilascio di vapori infiammabili in atmosfera, che con l'aria dà origine ad una miscela esplosiva: in queste condizioni, e in presenza di una sorgente di innesco, si genera una deflagrazione se la miscela raggiunge concentrazioni interne all'intervallo di infiammabilità. Il modello che tratta il fenomeno (**E3**) valuta due grandezze caratteristiche dell'onda d'urto generata: il picco di sovrappressione massima, cui è proporzionale l'entità dei danni alle strutture o alle persone investite, e la durata della fase positiva.
  4. Esplosioni fisiche: avvengono quando in un serbatoio, o in ogni caso in un ambiente chiuso, si raggiungono sovrappressioni interne superiori al limite di rottura; il modello applicato a tal proposito (**E6**) si basa sull'equivalenza tra l'energia disponibile al momento dell'esplosione e quella di una massa equivalente di TNT, fornendo la sovrappressione dell'onda d'urto che si è generata, alla distanza desiderata.
  5. Esplosioni "BLEVE": definisce la rottura catastrofica di un contenitore di gas liquefatto per pressione, a seguito del surriscaldamento del liquido ad opera di una sorgente termica esterna; il modello adottato (**E9**) valuta la sovrappressione relativa all'onda d'urto, supposta emisferica, e permette il calcolo della durata della fase positiva del fenomeno.

## 2.2 Il modello di dispersione per gas pesanti.

Ogni nube di gas pesante, spesso non molto tempo dopo l'inizio del rilascio, dopo una prima fase di abbattimento al suolo ("slumping gravitazionale"), comincia ad inglobare aria dalla frontiera, fenomeno dipendente dalle condizioni di instabilità atmosferica, con conseguente riduzione della propria densità e concentrazione. Il comportamento della nube diventa sempre più simile a quello di una nube neutrale, per cui deve essere prevista la possibilità di cambiare il modo di trattare la sua dinamica.

Il modello **Display-1.2** elabora la traiettoria della nube, in relazione al vettore della velocità del vento incontrato, come una spezzata, il cui inizio è nel punto di rilascio e la cui dimensione e numero di suddivisioni sono specificate in input. La dimensione di ciascuna suddivisione (detta  $dx$ , indicando con  $x$  la direzione del vento), per ottenere risultati più attendibili, non è costante ma crescente esponenzialmente dal punto di rilascio; la nube è schematizzata come una serie di parallelepipedi di dimensioni  $dx \times b \times h$  ( $b$  rappresenta l'ampiezza trasversale e  $h$  l'altezza dal suolo), delle quali le ultime due variano nel tempo (in realtà le funzioni  $h$  e  $b$  presentano delle "code" gaussiane alla frontiera). Le caratteristiche fisiche (densità, temperatura, concentrazione,...) sono ritenute uniformi all'interno di ciascun parallelepipedo.

Il codice **Display-1** non è articolato in modo da prevedere un'orografia territoriale complessa; il modello è in grado di considerare solo la presenza di ostacoli posti a  $90^\circ$  rispetto la direzione della nube (barriere, edifici). Si potrebbe pensare quindi di considerare una struttura "a terrazze" dell'orografia, ma ciò comporterebbe un'eccessiva diluizione del gas, con conseguente sottostima delle concentrazioni, e un appesantimento dei tempi di calcolo inaccettabile.

## 2.3 Il modello di dispersione per gas neutrali/leggeri.

Il modello **P6** simula la dispersione di inquinanti leggeri o neutrali su scala locale e regionale, sia nella dinamica della nube (variazione della posizione e dell'ampiezza nel tempo), che nella valutazione della concentrazione ai punti recettori. Per le ragioni che saranno chiarite più avanti, l'uso del codice è stato limitato alla valutazione della dinamica della nube, riservando il calcolo delle concentrazioni ad una procedura "ad hoc" esterna al codice ed elaborata in questa sede.

Il rilascio in atmosfera è schematizzato come una sequenza di elementi (detti "puff", elementi ellissoidali, adatti a simulare l'emissione in condizioni di bassa velocità del vento, e "plume segment", elementi troncoconici allungati, adatti a rappresentare la nube in condizioni di trasporto) connessi tra loro, il cui sviluppo è funzione delle condizioni meteorologiche, anche variabili nel tempo e nello spazio, caratterizzanti la traiettoria di dispersione.

La dinamica di ciascuno di questi elementi è costituita da due fasi successive:

- generazione alla sorgente e valutazione del "plume rise";
- trasporto e diffusione per effetto delle turbolenze atmosferiche.

Il codice **P6** è stato principalmente ideato per emissioni da sorgenti puntiformi, ma sono stati ottenuti risultati attendibili anche per sorgenti areali e volumetriche; inoltre, permette di simulare la presenza contemporanea di più punti di rilascio (fino ad un massimo di 10).

## 2.4 La procedura di transizione da nube pesante a nube neutrale.

Il modello di dispersione pesante **Display-1** non prevede l'eventualità della transizione pesante-neutrale e continua a trattare la nube con le medesime equazioni anche a transizione compiuta; da qui la necessità di una procedura che trasferisca al codice **P6** le porzioni di nubi pesanti che hanno raggiunto le condizioni di neutralità, ovvero una densità prossima a quella dell'aria.

Affermare che la densità del gas debba essere prossima a quella dell'aria equivale ad affermare che la concentrazione volumetrica del gas  $c$  ( $c=V_g/(V_g+V_a)$ ) sia sufficientemente piccola; dopo il primo time step di calcolo, il controllo è eseguito sulla concentrazione volumetrica, anziché sulla densità, imponendo che sia trattata come neutrale la parte di nube a  $c < 10^{-3}$  (si veda ancora fig. 1).

Questa procedura si articola in 4 fasi successive:

1. Scomposizione dei box di Display-1: ad ogni time step di **Display-1** (120 s) e per ogni parallelepipedo avente massa  $\geq 0.1$  kg che diventa neutrale, è necessario scomporlo in box più piccoli, pressoché a pianta quadrata; questi diventano altrettanti sorgenti volumetriche, date in input a **P6**, dopo averli trasformati in semi-ellissoidi. L'esigenza di tale scomposizione nasce dal fatto che l'approssimazione di un intero box di **Display-1**, spesso di forma piuttosto allungata e schiacciata, con un solo ellissoide sarebbe eccessivamente grossolana; inoltre la suddivisione in box più piccoli permette di meglio considerare l'eventuale fenomeno di "splitting" della nube quando incontra un'asperità orografica;
2. Calcolo delle coordinate dei centri delle suddivisioni;
3. Trasformazione in semi-ellissoidi: si tratta di semi-ellissoidi a pianta circolare di raggio  $2 \cdot \sigma_h$  e altezza  $2 \cdot \sigma_z$ ; i parametri  $\sigma_h$  e  $\sigma_z$  si calcolano tramite una procedura che minimizza le differenze tra le sezioni di base e verticale delle suddivisioni del box e dei semi-ellissoidi che li approssimano, ferma restando la conservazione della massa contenuta;
4. Sottrazione della massa dall'output di Display-1: questa parte della procedura sottrae dall'output di **Display-1**, al time step  $i$ , la massa fornita come sorgente per **P6**, tenendo conto anche della eventuale deposizione gravitazionale subita dalla stessa massa in questo intervallo temporale. Questa procedura è necessaria per il rispetto della conservazione della massa: l'output di **Display-1**, al time step  $i$ , infatti, ha "memoria" di una parte della massa che è presente al time step  $(i-1)$  (la restante si deposita al suolo tra i due time step).

## 2.5 La procedura di calcolo della concentrazione ai recettori.

Il codice di dispersione neutrale **P6** stima, come detto, anche la concentrazione ai recettori; esso, tuttavia, nasce come modello previsionale su una scala temporale medio-lunga, dell'ordine, cioè, di diverse ore; al minimo l'attuale versione di **P6** fornisce concentrazioni medie su 1 ora. I fenomeni dispersivi trattati dal software **HARIA-2**, invece, si svolgono a più breve termine, tant'è che la durata massima di simulazione attualmente prevista è 2 ore; i rilasci alla sorgente, a meno di emissioni continue da camini, si concludono quasi sempre nell'arco di pochi minuti; una media oraria sulle concentrazioni non sarebbe, pertanto, indicativa: fortemente sottostimante agli istanti immediatamente successivi ai primi e sovrastimante dopo qualche decina di minuti.

Ferma restando la provata affidabilità del codice, si è trovata la soluzione di utilizzare **P6** per la stima della dinamica degli elementi (diffusione nel dominio di calcolo e variazione delle loro dimensioni), per la quale non sono previsti limiti di tempo, e di realizzare una procedura apposita per il calcolo della concentrazione ai recettori, che adotta lo stesso approccio metodologico del codice di dispersione neutrale, calcolando, però, le concentrazioni a intervalli temporali, più brevi, definiti dall'utente.

Ad ogni time step di calcolo  $i$  diverso dal primo, sono presenti, in generale, gli output dei due codici di dispersione implementati; si tratta, a questo punto, di risalire da questi dati a quelli relativi alle concentrazioni ai recettori.

La posizione dei recettori, disposti secondo una griglia rettangolare sul dominio di calcolo è definita nel file di output di **P6**, come pure la posizione e le dimensioni caratteristiche degli elementi in cui è stata suddivisa la porzione neutrale della nube; nota la massa contenuta in ciascun elemento, applicando l'equazione che esprime la soluzione generale dell'equazione della dispersione di un gas neutrale, è possibile conoscere la concentrazione massiva ai recettori, dovuta alla frazione neutrale della nube.

Alla concentrazione stimata secondo tale modalità, si somma quella derivante dalla frazione pesante, i cui dati vanno estrapolati dall'output di **Display-1**; in tal caso, visto che il codice ipotizza una concentrazione uniforme all'interno di un box e nulla all'esterno, la concentrazione ad un recettore per effetto della frazione pesante è pari a quella del box di appartenenza; se il recettore è esterno a qualunque box, la concentrazione per effetto della frazione pesante è nulla. È necessario, pertanto, verificare se e quali recettori rientrano in uno dei box, in cui è stata suddivisa la frazione pesante della nube.

### 3. UN ESEMPIO DI VERIFICA DEL FUNZIONAMENTO DELLE PROCEDURE IMPLEMENTATE.

In questo capitolo si riporta un esempio di applicazione, per verificare la funzionalità della nuova catena di modelli, in fase di messa a punto, peraltro non completamente rispondente alle indicazioni date nei capitoli precedenti.

L'area sottoposta a studio è quella attorno al comune di Rosignano Marittimo e della sua frazione più popolosa Rosignano Solvay, centro in cui si coesistono attività industriali potenzialmente pericolose e centri di vulnerabilità importanti (i centri abitati, l'autostrada A14, la SS n°1 Aurelia, la linea ferroviaria tirrenica).

*Campo cinetico*: in questo esempio si è fatto calcolare il campo cinetico sulla base di un vento prevalente uniforme, di modulo 3 m/s e direzione 200°N, c.s. E (fig. 5).

*Sorgente*: si ipotizza un rilascio istantaneo di cloro gassoso, le cui caratteristiche fisico-chimiche di interesse sono riportate in tab. 1, a seguito della rottura catastrofica di un contenitore sferico, le cui caratteristiche dimensionali sono riportate in tab. 2, press'a poco al centro del dominio; le caratteristiche emissive principali della sorgente sono riportate in tab. 3; per maggior chiarezza sulla geometria del componente si veda anche la fig. 6.

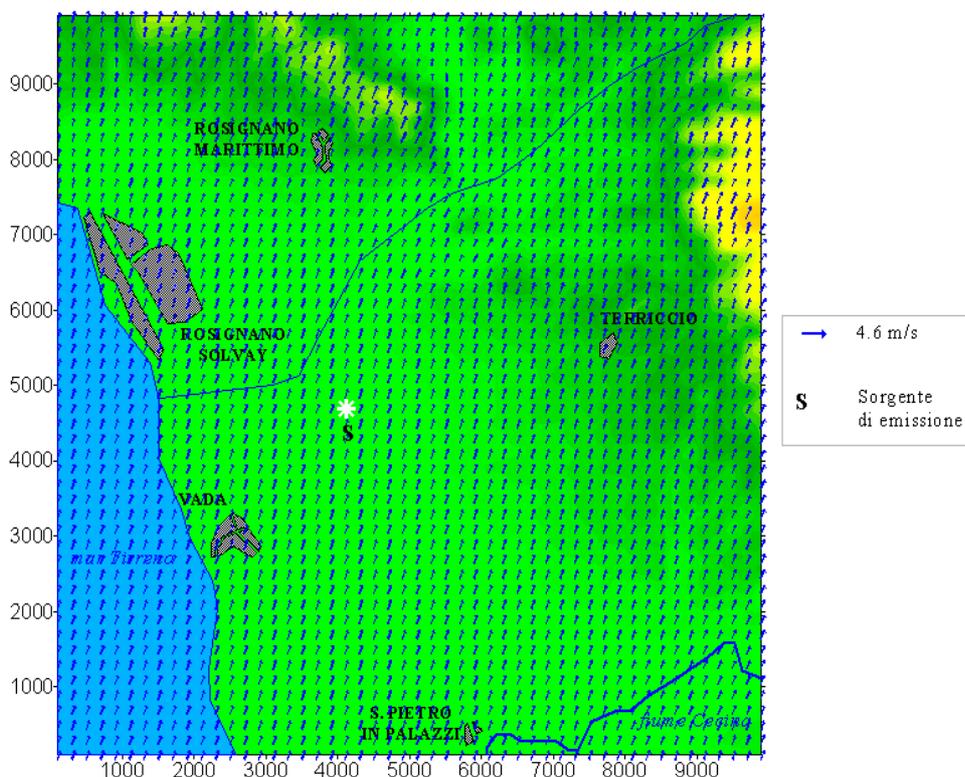


Figura 5: Campo cinetico calcolato in base ad un vento prevalente di intensità e direzione date in un punto del dominio di calcolo.

Nome sostanza	Formula bruta	Peso molecolare (kg/kmole)	Punto di ebollizione (K)	Densità del gas STP (kg/m <sup>3</sup> )	Densità del liquido (kg/m <sup>3</sup> )	cp (kJ/kg·K)	Hv (kJ/kg)
Cloro	Cl <sub>2</sub>	71	238.5	2.94	1560	0.48	287.2

Tabella 1: Principali caratteristiche fisico-chimiche della sostanza rilasciata.

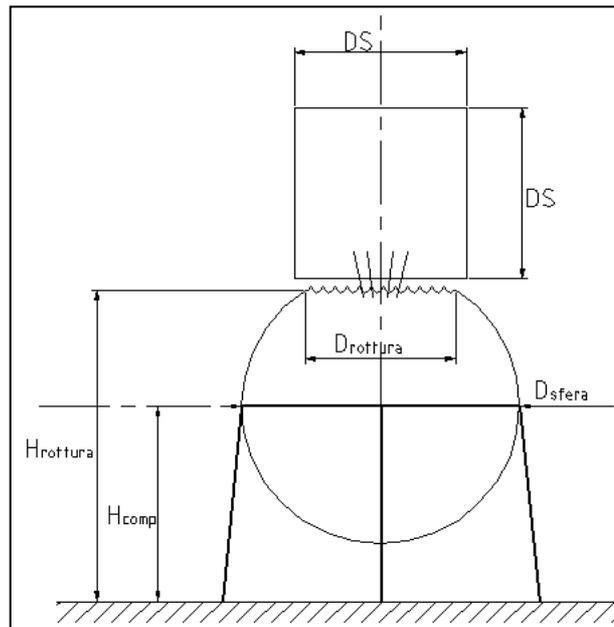
volume interno (m <sup>3</sup> )	diametro (m)	altezza da terra della sez.mediana (m)	riempimento %	Massa totale di Cl <sub>2</sub> stoccata (kg)
5	2.12	3	64	5000

**Tabella 2: Principali caratteristiche dimensionali del contenitore.**

coordinata x (m)	coordinata y (m)	diametro rottura (m)	Altezza da terra della sup.di rilascio (m)	Massa vaporizzata istantaneamente (kg)	Titolo del gas all'uscita	DS (m)	Durata del rilascio (s)
4100	4700	1	3.93	1000	0.1	3.28	5

**Tabella 3: Principali caratteristiche della sorgente.**

*Dinamica della nube:* la sostanza rilasciata ha densità pari a 7.2 kg/m<sup>3</sup>, per cui parte il codice **Display-1**. In fig. 7 è riportata l'evoluzione della nube al time step 5 (600 s, in cui l'intera nube passa alla condizione di neutralità); è stato evidenziato il contenuto in massa delle diverse porzioni di nube con gradazioni differenti di rosso. In fig. 8, infine, è riportata la stima della concentrazione media oraria ai recettori, posti ad un'altezza relativa al suolo di 2 m, espressa in µg/m<sup>3</sup>,



**Figura 6: Rappresentazione schematica del recipiente che subisce rottura**

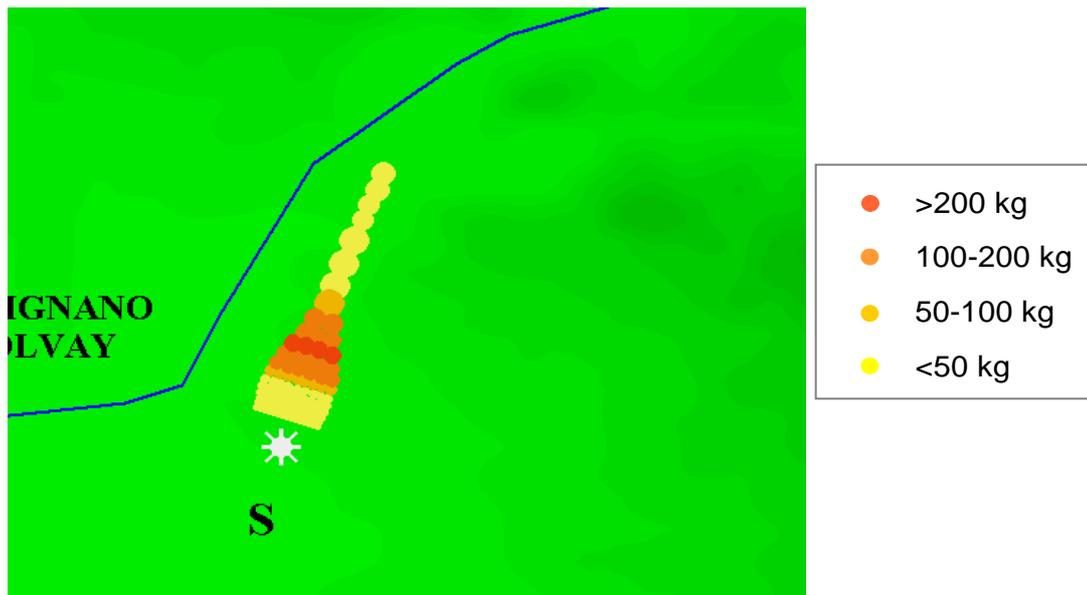


Figura 7: L'evoluzione della nube a 600 s dall'inizio del rilascio (time step 5)

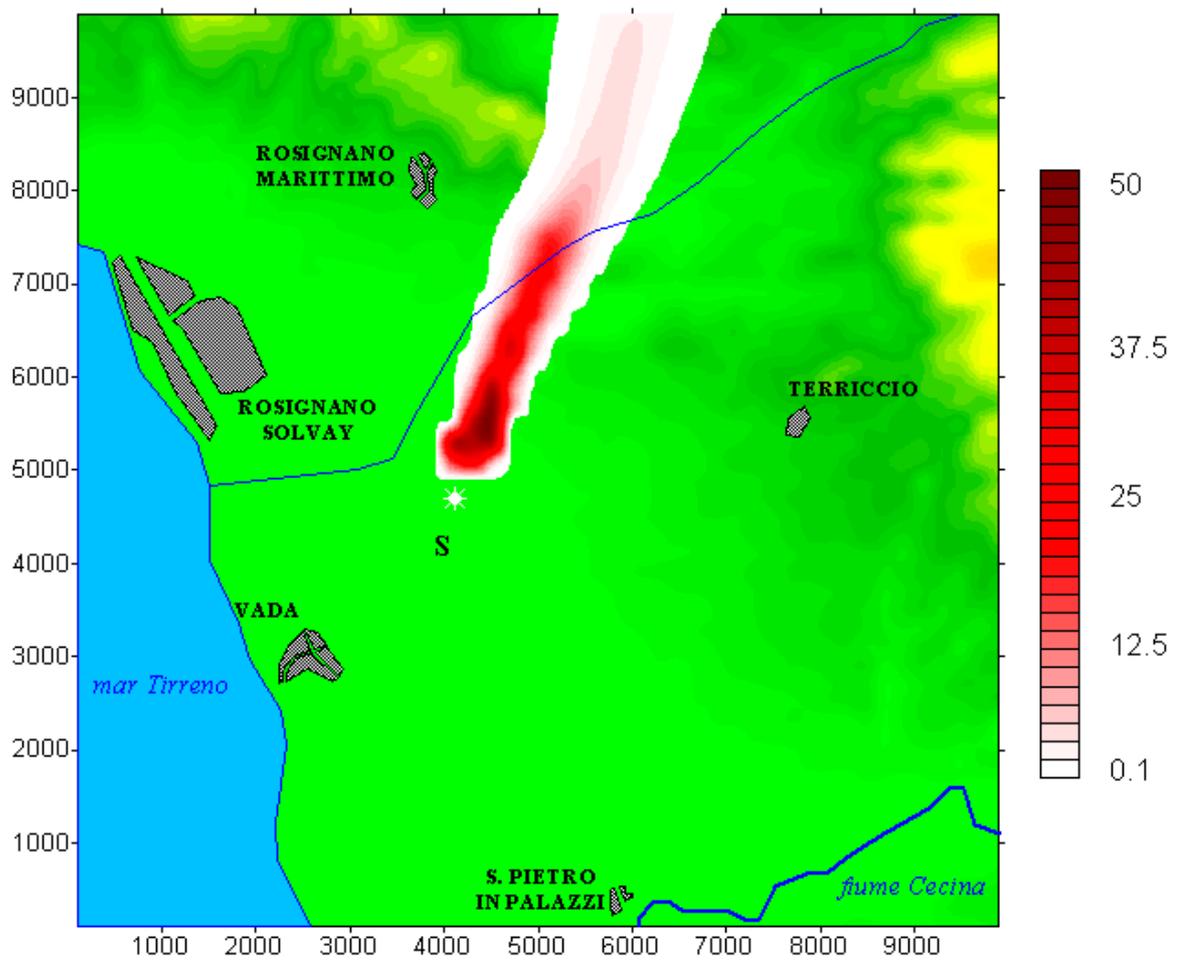


Figura 8: Stima della concentrazione media nella prima ora di simulazione

## CONCLUSIONI

Il sistema informatico **HARIA-2** è in continua evoluzione, per soddisfare sempre meglio due obiettivi fondamentali, che i suoi ideatori si sono sempre posti:

- a. rappresentazione abbastanza realistica della dinamica degli incidenti industriali;
- b. possibilità di far utilizzare il software anche ad utenti non molto avvezzi a trattare con codici di calcolo per la simulazione di incidenti industriali.

In questo momento il software è efficiente nel fornire un valido supporto per la pianificazione delle emergenze; tuttavia, alcune parti potrebbero essere ampliate o migliorate.

Con riferimento particolare all'implementazione dei nuovi modelli di dispersione, i prossimi impegni del gruppo di ricerca sono di affinare la procedura di passaggio dalla condizione di pesantezza a quella di neutralità e di migliorare la stima delle concentrazioni, considerando una serie di fattori di riduzione della massa, a seguito di fenomeni chimici e fisici, ivi compreso il decadimento radioattivo. Si renderà così **HARIA-2** capace di simulare la diffusione di nubi radioattive; in questo caso, tuttavia, sarà necessario adattare il Termine Sorgente a questa nuova possibilità e costruire una procedura che sostituisca al calcolo della concentrazione massiva quello dell'irraggiamento o della dose.

L'ultimo miglioramento è quello di rendere più semplice la fase di inserimento dei dati di input. Già molto è stato fatto a tal proposito, mediante l'utilizzo dei "database", dai quali sono estratti automaticamente tutti i dati necessari all'esecuzione del codice, relativi alle sostanze, agli impianti, agli scenari e al territorio coinvolti nella simulazione; un passo in avanti può essere fatto in relazione alla modalità con cui vengono richiesti altri dati di input all'utente, prevedendo delle finestre di dialogo più esplicative, e in merito alla visualizzazione dei risultati, mediante l'implementazione di una più accattivante interfaccia grafica.

## RINGRAZIAMENTI

Il presente lavoro è stato possibile grazie al finanziamento del Gruppo Nazionale per la Difesa dai Rischi Chimici, Industriali ed Ecologici. Gli autori desiderano ringraziare tutti i partecipanti alla ricerca Haria-2, che, oltre a portare avanti il lavoro su temi specifici, hanno contribuito a definire gli obiettivi, le caratteristiche e la struttura del sistema integrato.

Un particolare riconoscimento è dovuto al dott. ing. Michelangelo Petea, che ha contribuito all'impostazione dell'attività di ricerca descritta nel presente lavoro.

## ELENCO DEI SIMBOLI

- $b$ : dimensione della nube ortogonale alla direzione  $x$  [m];  
 $c$ : concentrazione volumetrica dell'inquinante gassoso [ $m^3/m^3$ ];  
 $c_p$ : calore specifico a pressione costante [kJ/kg\*K];  
 $dx$ : suddivisione del dominio di Display-1 lungo la direzione sottovento  $x$  [m];  
 $h$ : altezza da terra della nube [m];  
 $H_v$ : calore latente di vaporizzazione [kJ/kg];  
 $V_a$ : volume occupato dall'aria [ $m^3$ ];  
 $V_g$ : volume occupato dall'inquinante gassoso [ $m^3$ ];  
 $x$ : coordinata sottovento in Display-1 [m];  
 $\rho_a$ : densità dell'aria [ $kg/m^3$ ];  
 $\rho_g$ : densità dell'inquinante gassoso [ $kg/m^3$ ];  
 $\sigma_h$ : standard deviation della dimensione orizzontale della nube [m];  
 $\sigma_z$ : standard deviation della dimensione verticale della nube [m];

## BIBLIOGRAFIA

- [1] *D.Lgs 356/99*, di recepimento in Italia della direttiva 96/82/EC "Severo II";
- [2] M. Petea, S. Gabbrielli, A. De Varti: "*HARIA-2 v. 3.0: Guida Utente*", Pisa, marzo 2003;
- [3] M. Petea, R. Bovalini, S. Gabbrielli, M. Mazzini: "*HARIA-2 una metodologia per l'analisi e la pianificazione delle emergenze tecnologiche. Validazione sull'incidente di Mexico City*", Atti VGR2K, Pisa, ottobre 2000;

- [4] J. Würtz: “*A transient one-dimensional shallow layer model for dispersion of denser-than-air gases in obstructed terrain under non-isothermal conditions*”, EUR 15343 EN, 1993;
- [5] J. Würtz: “*HARIA-2 project: improvements in Display-1 dense gas dispersion model: description of version 1.1*”, Joint Research Center (JRC), Ispra (Va), ottobre 1999;
- [6] NT THEMAS 306-A (01): “*Modello Display-1.2: evoluzione del codice e caratteristiche di implementazione nel sistema HARIA-2*”, Pisa, maggio 2001;
- [7] E. Canepa, C.F. Ratto: “*A model evaluation of a new version of AVACTA II, using field and laboratory data on flat and complex terrain*”, P. Zannetti Editor, Environmental Modelling (Volume 3), Computational Mechanics Publications, Southampton, UK, 1996;
- [8] E. Canepa, C.F. Ratto, E. Georgieva, A. Mazzino: “*Comparison between the results of a new version of the AVACTA II atmospheric diffusion model and tracer experiments*”, Nuovo Cimento, Vol. 20 C, N.3, pp. 461-473, maggio 1997;
- [9] E. Canepa, C.F. Ratto, F. Modesti: “*A model evaluation of the dispersion code SAFE-AIR with field and laboratory data on flat and complex terrain*”, In Conference Proceeding of 9th AIFB Congress, ICTP Trieste, 2-6 settembre 1996;
- [10] E. Canepa, C.F. Ratto, F. Modesti: “*New improvements recently introduced in the dispersion code SAFE-AIR*”, In Conference Proceeding of 2nd european & African Conference on Wind Engineering, Vol. 1, pp. 421-428, Ed. G. Solari, Genova, 22-26 giugno 1997;
- [11] E. Canepa, C.F. Ratto, P. Zannetti: “*P6-User’s Guide, release 1.2*”, Dipartimento di Fisica, Università di Genova, marzo 1999;
- [12] E. Georgieva: “*WINDS release 3.2: User’s Guide*”, Dipartimento di Fisica, Università di Genova, luglio 1999;
- [13] NT THEMAS 304 (01): “*Analisi dei modelli di trasmissione forniti dal JRC. Caratteristiche di implementazione nel codice HARIA-2*”, Pisa, aprile 2001;
- [14] A. Morano: “*HARIA-2: Una metodologia per l’analisi e la pianificazione delle emergenze tecnologiche. Sviluppo della nuova modellistica per la simulazione degli incidenti*”, Pisa, luglio 2003;