

COMOTOX: UNO STRUMENTO DI SIMULAZIONE RAPIDA PER LA STIMA DELL'EVOLUZIONE DI NUBI TOSSICHE COME SUPPORTO NELL'ATTUAZIONE DEI PIANI DI EMERGENZA ESTERNA

Baldacci, S.1, Mossa Verre, M.2, Marotta, F.1 e Andreis, F.3

1 U.O. Impatti e Tecnologie dei Sistemi Produttivi, ARPAT Dipartimento Provinciale di Pisa, Via Vittorio Veneto 27, Pisa, 56127, Italia

2 Responsabile Dipartimento, ARPAT Dipartimento Provinciale di Pisa, Via Vittorio Veneto 27, Pisa, 56127, Italia

3 U.O. Prevenzione e Controlli Ambientali Integrati, ARPAT Dipartimento Provinciale di Livorno, Via Marradi 114, Livorno, 57100, Italia

SOMMARIO

Le attività di pianificazione dell'emergenza esterna per gli stabilimenti a rischio di incidente rilevante rivestono un'importanza fondamentale per la mitigazione delle conseguenze degli incidenti. In particolare, soprattutto in caso di rilasci di sostanze tossiche, in considerazione della dinamica estremamente veloce del fenomeno, la pianificazione può risultare ancora più efficace se gli operatori sia pubblici che privati possono disporre di strumenti di gestione dell'emergenza che risultino semplici e veloci oltre che affidabili. L'articolo propone una metodologia per la costruzione di sistemi informatizzati che permettano, con i soli dati normalmente riportati nella comunicazione dello stato di emergenza da parte dell'Azienda ed in tempi brevissimi, di fornire alle Autorità coinvolte e alla stessa Azienda informazioni sull'evoluzione 4D della nube tossica indicandone dimensioni e concentrazione in funzione del tempo e probabilità di morte. I dati risultanti sono visualizzati su mappa satellitare. La struttura logica che conduce alla predisposizione di tale strumento è costituita dai seguenti passaggi: per prima cosa vengono selezionati alcuni incidenti dal RdS dello Stabilimento per il quale si intende sviluppare il tool privilegiando quelli verificati ed approvati dal C.T.R. ma non escludendo incidenti di maggiore magnitudo e minore frequenza; di essi vengono registrate tutte le particolarità relative al modello sorgente e ne vengono ipotizzati i limiti di confidenza dei principali parametri (ad esempio la direzione del rilascio). Successivamente si procede, dopo aver attentamente settato i parametri di calcolo del modello prescelto (UDM utilizzato dal Phast della DNV Technica), ad una serie di simulazioni al variare dei principali parametri citati che governano il modello sorgente e la successiva diffusione. I risultati delle simulazioni (dimensioni della nube nel tempo, dosi assorbite, probabilità di morte in funzione della distanza e del tempo) vengono utilizzati per addestrare una rete neurale unita ad un modello fuzzy non lineare e ad un modello semiempirico costruito con le tecniche Principal Component Analysis/Partial Least Squares (PCA/PLS) le cui componenti sono state selezionate tra quelle suggerite dal Teorema di Buckingham. In parallelo viene condotta anche una fase di validazione che consiste nell'applicare la procedura vista sopra ad una certa numero di set di dati sperimentali tratti dal "Review of Accidents involving chlorine" del Joint Research Centre dove sono riportati anche i risultati delle simulazioni condotte con i modelli STOER ed HEGADAS e dalle prove sperimentali di Lyme Bay. L'utilizzo di CFD permetterà di completare la validazione. Operativamente è uno stimatore delle condizioni meteorologiche basato sulle poche indicazioni fornite dall'utente a stabilire in tempo reale la coppia meteo (categoria di stabilità Pasquill-Gifford e velocità del vento). Con le stesse informazioni il programma è in grado di fornire tutte le indicazioni necessarie sullo sviluppo della nube in tempo reale ai Gestori dell'emergenza permettendo anche di decidere la disposizione delle Forze dell'Ordine in campo confermando o meno quanto previsto in fase di stesura del PEE. E' prevista la calibrazione del programma che impiegherà informazioni sul meteo locale, l'orografia e la presenza di ostacoli. Ciò permetterà di ottenere uno strumento sito-specifico migliorandone l'attendibilità e la precisione dei risultati. Di tale software è stato sviluppato un prototipo per il caso di rilasci di cloro dallo stabilimento Solvay in provincia di Livorno i cui risultati sono stati validati con dati sperimentali; esso sarà inserito nel prossimo aggiornamento del PEE, in fase di redazione. Strumenti analoghi potranno essere sviluppati per gli altri Stabilimenti a Rischio di incidente rilevante a partire dal prototipo presentato.

Si auspica inoltre che il metodo possa essere utilizzato anche per estendere l'applicabilità del futuro Modello Unificato, che il Dipartimento della Protezione Civile ha intenzione di sviluppare a partire dal Metodo Speditivo e dal Metodo Shortcut, alle fasi di gestione dell'emergenza. Per i dettagli si rimanda all'articolo a

firma dei componenti del tavolo di confronto tra i due metodi di cui fanno parte gli scriventi “*Confronto tra il Metodo Speditivo contenuto nelle Linee Guida per la redazione dei Piani di emergenza esterna di cui al DPCM 25 febbraio 2005 e il Metodo Shortcut (MESH) sviluppato da ARPAT per conto di APAT*” presentato in questo stesso convegno.

1.0 INTRODUZIONE

1.1 Il PEE e la gestione concreta dell'emergenza nel caso di rilascio di un gas/vapore tossico

Nel corso degli ultimi anni le Prefetture d'Italia si sono attivate per realizzare i Piani di Emergenza Esterna come previsto per gli Stabilimenti che ricadono nei disposti dell'art.6 e dell'art.8 del D.Lgs.334/99 e s.m.i..

Alcune volte, specialmente nel passato, non è stato possibile utilizzare le risultanze dell'istruttoria del Rapporto di Sicurezza (RdS) conclusa dal Comitato Tecnico Regionale (C.T.R.) e neppure è stato possibile far ricorso in tutto od in part alla scheda di cui all'All.V del citato D.Lgs. perché spesso le distanze di danno e le frequenze di accadimento, oltre a non essere validate dagli organi competenti, sono, ad ogni nuova edizione, sempre meno cautelative.

Per questo motivo in alcune occasioni e soprattutto in caso di assenza di dati validati dal C.T.R. e per gli artt.6 il Tavolo di Lavoro Tecnico della Prefettura ha utilizzato il Metodo Speditivo (MS) o il Metodo Shortcut (MESH) per ricavare distanze di danno conservative, confrontandole laddove possibile con quelle proposte dal Gestore, da prendere a riferimento per la redazione del PEE.

Fondamentale è quindi la fase di screening dei Top Event (TE) nei RdS o nelle Analisi dei Rischi per gli artt.6 ex D.Lgs.334/99 e s.m.e.i. e la eventuale successiva verifica secondo i criteri sopra citati.

Altra questione che riveste la massima importanza deriva dall'osservazione, sia sperimentale che di simulazione, che i fenomeni di dispersione di vapori di sostanze tossiche sono di breve durata (raggiungendo nei casi più ostinati un'ora). Da ciò deriva la necessità che venga messo a disposizione uno strumento informatico che dia risposte immediate.

In questo articolo viene presentato il COMOTOX (COntingency MOdel for TOXic gas dispersion) un tool che permette di ottenere in modo estremamente rapido una previsione del transitorio di una nube di gas tossico nelle condizioni atmosferiche campionate in tempo reale e di visualizzare i risultati in termini di concentrazioni (IDLH, ERPG1-2-3, LC50, user defined, etc.) e di letalità su una foto satellitare.

2.0 IL CASO DEL CLORO: LO STABILIMENTO DI ROSIGNANO SOLVAY

Solvay è un gruppo internazionale che opera anche in Italia. Uno degli stabilimenti italiani è situato in provincia di Livorno, a Rosignano Solvay. Uno dei prodotti dello stabilimento è cloro liquefatto per compressione ottenuto per elettrolisi della salamoia.

2.1 Pericolosità del cloro

Il cloro è un gas corrosivo giallo-verde con un odore caratteristico a temperature e pressione ambiente tipiche alla nostra latitudine. Un individuo può riconoscere l'odore ad una concentrazione pari a 1 mg/m^3 in aria (1 ppm è circa 3 mg/m^3). A concentrazioni superiori a 15 mg/m^3 , il cloro è irritante per gli occhi e per il tratto respiratorio superiore.

- L'esposizione a concentrazioni superiori a $90\text{--}150 \text{ mg/m}^3$ per un certo periodo di tempo può portare a gravi danni all'apparato respiratorio.
- Concentrazioni di cloro superiori a 1200 mg/m^3 sono immediatamente pericolose per la vita.

2.2 La rete di monitoraggio della qualità dell'aria ARPAT e Solvay

La qualità dell'aria nel Comune di Rosignano M.mo viene controllata attraverso una rete di monitoraggio costituita da quattro centraline (stazioni), che rilevano le concentrazioni di sostanze inquinanti ed in un caso anche i parametri meteorologici.

Di particolare interesse per lo studio proposto nel presente lavoro è la centralina di Via Veneto, che oltre ad essere situata proprio nei pressi dello stabilimento Solvay è in grado di rilevare anche i dati meteo.

Nella tabella seguente è riportato l'elenco degli inquinanti monitorati nella suddetta centralina e i parametri meteo rilevati.

Tabella 1. Centralina di Via Veneto.

Stazione	Inquinanti	Dati meteo
Via Veneto	Ossidi di azoto (NO, NO ₂ , NO _x) Biossido di zolfo (SO ₂) Particolato (PM ₁₀)	Settore di provenienza Velocità del vento (m/s)

La gestione operativa della rete pubblica e la raccolta, la validazione, l'elaborazione e la restituzione dei dati sono affidate al Centro Operativo Provinciale (COP), gestito da ARPAT. I dati orari possono essere consultati presso il Dipartimento ARPAT di Livorno mentre i dati istantanei possono essere rilevati direttamente all'interno della centralina.

La centralina di Via Veneto è localizzata come rappresentato nella cartina riportata di seguito.



Figura 1. Ubicazione delle centraline di monitoraggio

All'interno dello stabilimento Solvay, infine, è installata una centralina di rilevamento di dati meteo di proprietà della società stessa.

Tale centralina è in grado di fornire in tempo reale i parametri meteo riassunti di seguito.

Tabella 2. Centralina Solvay.

Stazione	Dati meteo
Centralina Solvay	Settore di provenienza Velocità del vento (m/s) Temperatura (°C) Umidità (%) Radiazione solare (W/m2) Pressione (mbar)

3.0 IL RICORSO ALL'UTILIZZO DEL SOFTWARE DNV TECHNICA

3.1 Motivi per cui non si utilizzano i CFD

Chi scrive è fermamente convinto che si debba andare verso un utilizzo più esteso e consapevole dei modelli che risolvono le equazioni complete di Navier-Stokes conosciuti come CFD (Computational Fluid Dynamics).

Nel caso specifico, però, non sono stati utilizzati tali software (SW) per i motivi elencati di seguito:

- Orografia praticamente planare (una pendenza leggera porta dal mare alle propaggini della collina dove è situato il paese di Rosignano Marittimo);
- Non sono presenti ostacoli nelle immediate vicinanze del punto di rilascio fatta debita eccezione per le strutture degli impianti. Una successiva zona franca priva di costruzioni in tre delle quattro direzioni cardinali non presenta l'interazione nube-costruzione che sarebbe utile modellare con un CFD;
- L'unico elemento dell'orografia degno di nota è la depressione dell'alveo del torrente Fine che però percorre in direzione da Est a Ovest serpeggiando la zona a sud dello stabilimento priva di abitazioni e non può creare flussi preferenziali in direzione dell'abitato Vada;
- L'impostazione logica di quanto presentato non cambierebbe qualora si utilizzassero i risultati di un CFD.

4.0 DATI CHE POSSONO RAGIONEVOLMENTE ESSERE FORNITI DALL'AZIENDA IN EMERGENZA

4.1 Esempio di scheda da inviare alle Autorità in caso d'emergenza

Generalmente, nonostante le esercitazioni e la migliore programmazione e pianificazione dell'emergenza nel momento in cui si realizza una perdita di contenimento non si è in grado di stimare correttamente l'entità della perdita e molte altre variabili che sarebbero importanti per ottenere dal modello utilizzato il risultato il più possibile vicino alla realtà.

Lo strumento che proponiamo è progettato per fornire risultati attendibili con i dati che plausibilmente il Gestore dello Stabilimento in cui è avvenuto il rilascio è in grado di trasmettere con la comunicazione dell'allarme:

Gli unici dati che occorrono per ottenere i risultati dal tool proposto sono:

- Ora del giorno in cui è avvenuto il rilascio;
- Coppia Tempo di rilascio/diametro equivalente della rottura;

- Classe di velocità del vento al suolo:
 - Calma – vento debole (1-2 m/s)
 - Vento debole (2-3 m/s)
 - Vento medio (3-5 m/s)
 - Vento forte (5-6 m/s)
 - Vento fortissimo (>6m/s)
- Classe di Radiazione solare diurna /copertura nuvolosa:
 - Se lo sversamento avviene di giorno:
 - Assenza di nubi/cielo completamente sereno (Radiazione solare diurna forte)
 - Nubi sparse cielo parzialmente nuvoloso (Radiazione solare diurna moderata)
 - Nubi fitte/coperto (Radiazione solare diurna debole)
 - Se lo sversamento avviene di notte segnalare la copertura nuvolosa notturna (nubi basse):
 - Cielo coperto da nubi per più di metà
 - Cielo coperto da nubi per meno di metà

Si noti, come evidenziato nel seguito, che la maggior parte di questi elementi possono essere ricavati direttamente dalle centraline meteo di ARPAT e Solvay.

5.0 ELENCO DEI TOP EVENT ESTRATTI DAL RDS

5.1 Rilascio istantaneo, quasi-istantaneo e continuo

Particolare attenzione deve essere dedicata alla scelta dei top event da simulare con il Phast. In particolare i TE prescelti dovranno essere opportunamente variati in modo da rispondere adeguatamente anche qualora lo sversamento fosse di entità diversa rispetto a quello ipotizzato.

Il TE preso in considerazione per lo sviluppo del prototipo del tool proposto è la perdita di cloro liquefatto per compressione nella sezione Cloro-Soda.

Il caso è tratto dalla relazione finale di istruttoria del RdS eseguito dal C.T.R. della Toscana nel 2006 in cui uno dei TE prevede di evacuare 540kg di cloro.

Per motivi di riservatezza sono qui riportati dati di un TE di finzione di 1000kg di cloro.

Il TE principe presenta una temperatura è pari a 15°C, la pressione pari a 5 barg, la perdita da un foro di 50mm per un tempo sufficiente per evacuare 540kg di cloro.

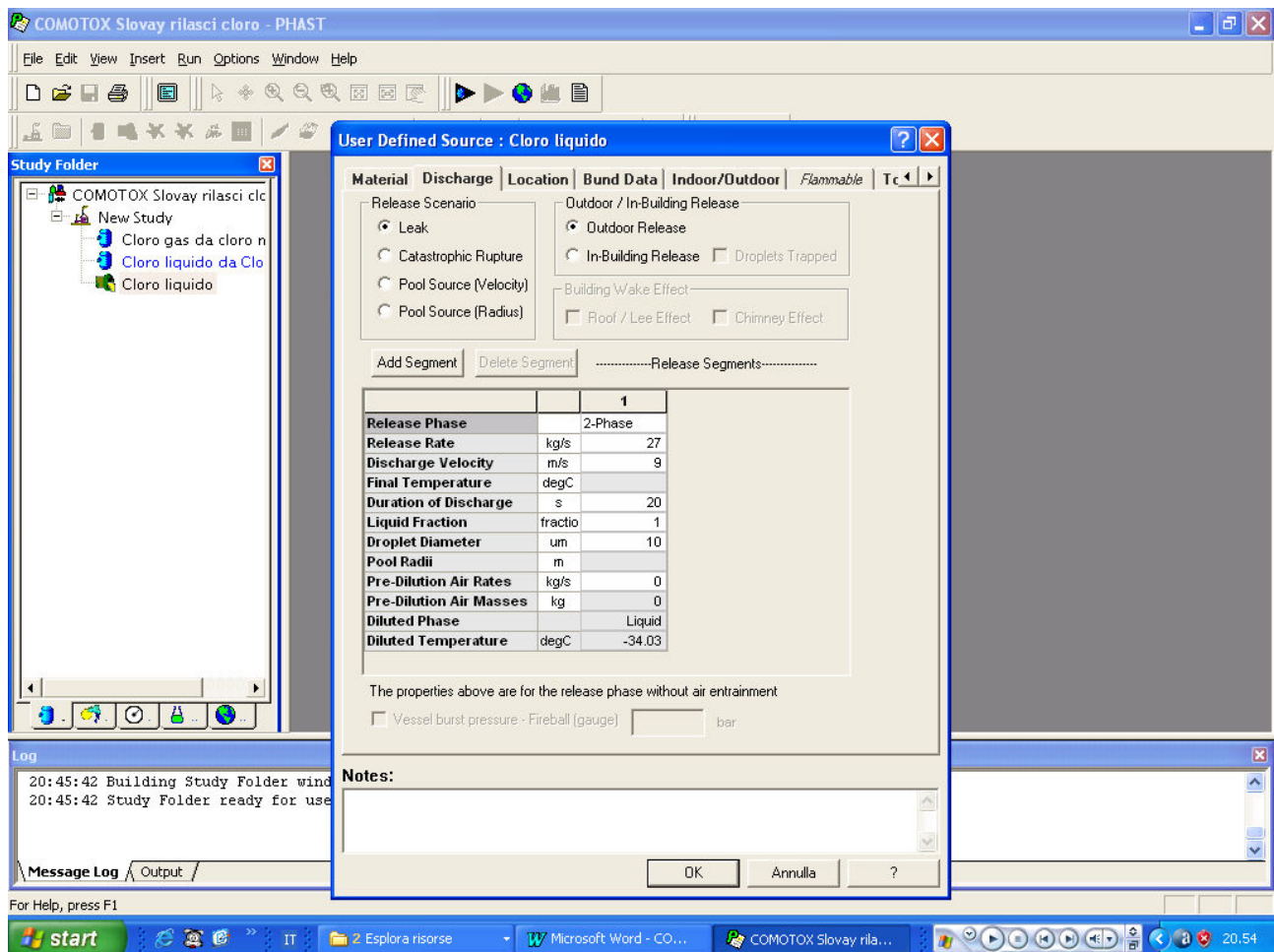


Figura 1. Impostazioni Phast per la simulazione del TE rilascio di 540kg di cloro

Si noti che l'applicazione del DM 20.10.1998 porta a tempi brevi di rilascio permessi dalla chiusura automatizzata delle valvole di cut-off.

6.0 SVILUPPO DEL COMOTOX

6.1 Preprocessor

E' la parte iniziale del processo di calcolo. E' costituito dalla METEO INFERENTIAL NETWORK cioè una sezione di calcolo che stima:

- la categoria di stabilità di Pasquill-Gifford da velocità del vento, sbandieramento, copertura del cielo, giorno/notte, giorno dell'anno, latitudine (fissata), ora del giorno;
- la velocità del vento.

6.2 Processor

Come descritto in precedenza il massiccio utilizzo del SW Phast della DNV Technica per la valutazione delle conseguenze che espone i risultati del transitorio permette di ottenere una serie di dati "sperimentali" che successivamente sono stati utilizzati per la costruzione di un modello che possa rispondere adeguatamente a tutti i casi reali (almeno in un intorno ragionevole dei TE considerati).

Gli output che interessano per lo sviluppo del nostro modello e disponibili nel Phast sono:

- concentrazione del C/L in funzione del tempo e della distanza;
- vista dall'alto della nube (footprint $f(t)$);
- vista laterale della nube (sideview $f(t)$);
- sezione trasversale della nube ($f(x,t)$);
- letalità $f(x,y,N)$, fissata la quota bersaglio (generalmente $z=1.5m$).

Sono stati utilizzati PLS e filtri di Kalman per generare un modello “onnisciente” dinamico a partire da tutti questi dati “pseudo-sperimentali”.

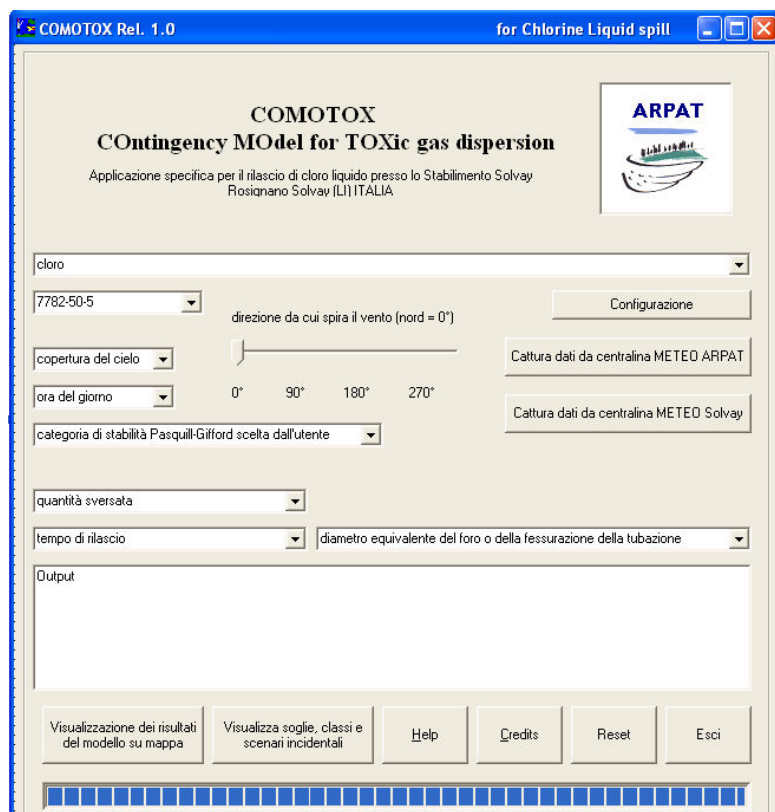


Figura 2. Il software COMOTOX

La bontà dei risultati è assicurata solo se il modello della DNV Technica certifica le sue performance mediante una validazione con dati sperimentali di campo e se il modello sviluppato in questa sede risponde adeguatamente ai risultati del Phast. Nel seguito è riportato un confronto con i dati sperimentali.

6.3 Postprocessor

Questa sezione propone tre modi di gestire i risultati:

- GRAPHICS (ad es. concentrazioni in funzione del tempo su mappe satellitari);
- OUTPUTS (a video);
- REPORTS (su file).



Figura 3. Transitorio di una nube di cloro da Coro-soda in F2, con averaging time=600s, height=1.5m, dopo circa 1200 s dall'inizio del rilascio. Si notano due piccole nubi del flash iniziale e l'instaurarsi del plume del quasi-stazionario che il fenomeno di maggiore persistenza e pericolosità. I cerchi rappresentano l'involuppo delle distanze di danno al variare della direzione del vento.

In particolare si possono visualizzare:

- Tempi di passaggio delle nubi fissato un punto (per ogni punto);
- Distanze di sicuro effetto e di danno dinamiche;
- Traiettoria della nube (C/L) tenendo conto del meandering (con diversi AVG TIME);
- Probabilità di morte (mappe dinamiche);
- T2e=Tempo alla fine del fenomeno (in un certo quartiere e/o in assoluto);
- 4D della nube su satellite;
- punto di transizione H2P Heavy To Passive.

In aggiunta sono disponibili due interessanti funzioni:

- Funzione “salto di vento” (utile per fenomeni di lunga durata);
- Funzione “calcolo ad libitum” che permette di ripetere il calcolo dopo aver variato un qualsiasi input (categoria di stabilità, velocità del vento, direzione etc.).

Riassumendo:

- sono fissate orografia flat, rugosità del terreno, altri parametri atmosferici (range di velocità del vento), condizione di detenzione del cloro (T,P), valori di IDLH e LC50 (ERPG1-2-3);
- si fanno variare: la quantità rilasciata (o alternativamente la coppia t/fi), Tamb, direzione di rilascio, categoria di stabilità e velocità del vento.

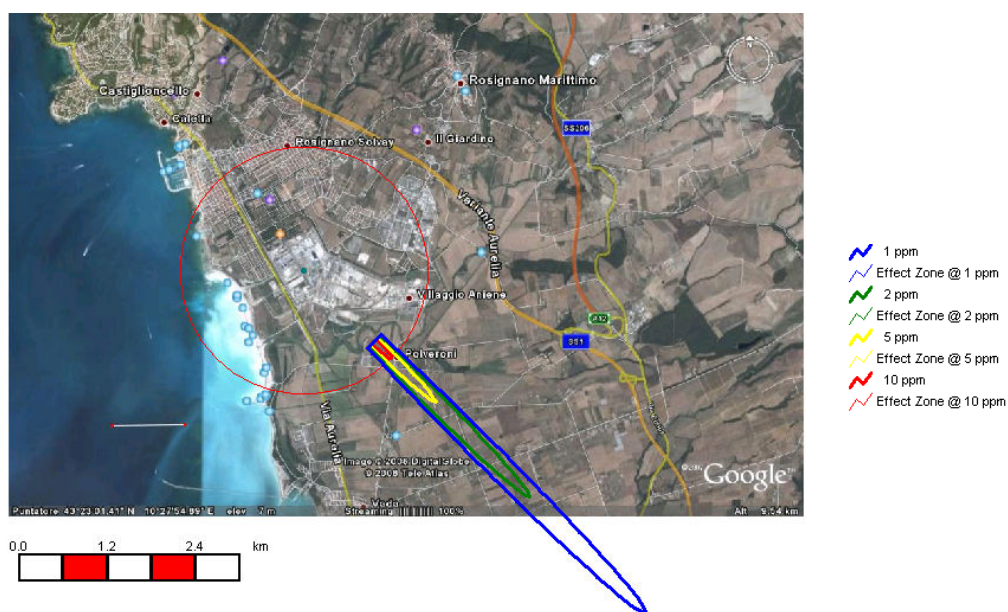


Figura 4. Transitorio di una nube di cloro da Coro-soda in F2, con averaging time=600s, height=1.5m, dopo circa 4600 s dall'inizio del rilascio. Il fenomeno di quasi-stazionario sta terminando.

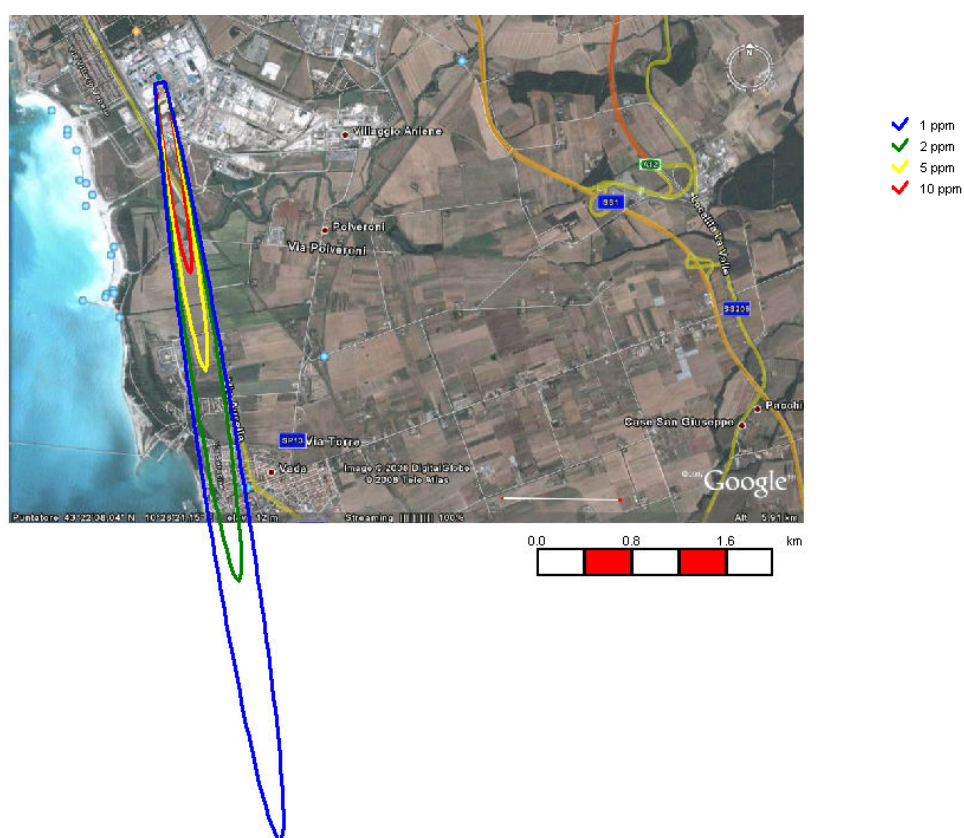


Figura 5. Transitorio di una nube di cloro da Coro-soda in F2, con averaging time=600s, height=1.5m, dopo circa 3700 s dall'inizio del rilascio nel caso di direzione del vento sfavorevole per l'insediamento di Vada (LI).



Figura 6. Mappa di letalità per un rilascio di cloro liquido da Cloro-Soda in F2, con averaging time=600s, height=1.5m.

7.0 CONFRONTO TRA I RISULTATI SPERIMENTALI, DEL PHAST 6.54 E DEL COMOTOX

7.1 Confronto tra i risultati del Phast e quelli sperimentali

Non è possibile riportare un confronto tra i risultati del Phast e quelli sperimentali in quanto la validazione del modello è stata fatta con SO₂, propano, NH₃, CO₂, LNG (metano), HF, Freon 12 ma non con cloro.

7.2 Confronto tra i risultati del COMOTOX e quelli sperimentali

Riportiamo il confronto tra i risultati del COMOTOX e quelli sperimentali degli esperimenti di Lyme Bay.

L'accordo tra i valori di concentrazione calcolati e quelli misurati in campo nella nube di cloro quasi tutti in diffusione passiva (visto che nessun dato sperimentale esiste fino a 400m di distanza dalla sorgente) è significativo.

In particolare unendo le diagonali dei rettangoli di confidenza al 95% la correlazione è veramente significativa ($r = 0.90$).

Tabella 4. Source data and environmental conditions during the Lyme Bay experiments

Case	Substance	Rate (kgs ⁻¹)	Tank temperature (K)	Wind speed (m/s)	Class	Air temperature (K)	Relative humidity (%)
Lyme Bay V	Cl ₂	11.50	-	4.10	B	284.0	77.0

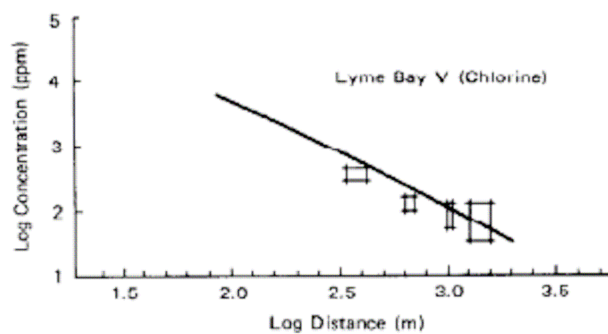


Figura 6. Confronto tra i risultati del COMOTOX alla “central line” della nube di cloro e il corrispondente dato sperimentale (Lyme Bay V).

7.3 Confronto tra i risultati del COMOTOX e quelli del Metodo Shortcut (MESH)

Riportiamo i seguito il confronto tra i risultati del COMOTOX e quelli proposti dal Metodo Shortcut. Anche in questo caso i risultati nel caso F2 appaiono molto simili (4200m per concentrazione pari all’IDLH nel caso del MESH e circa 3000m per il COMOTOX).

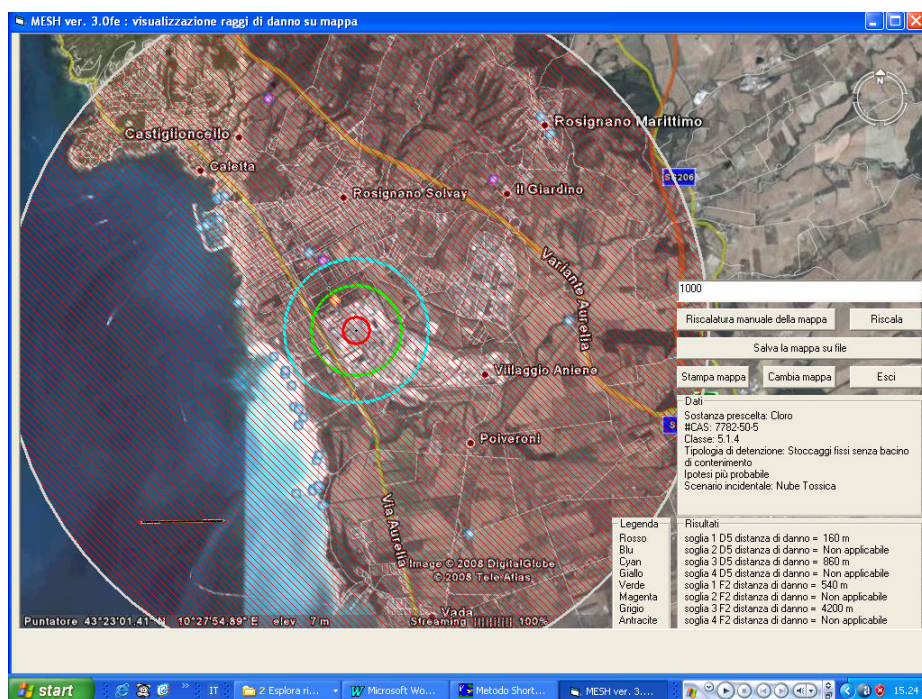


Figura 7. Distanze di danno in D5/F2 per un rilascio di cloro da tubazione collegata a serbatoio senza bacino di contenimento in ipotesi più probabile e con quantità stoccata compresa tra 0 e 40t

Tabella 3. Output del Metodo Shortcut per il caso descritto in fig.7.

MESH
ver. 2.0.b
MEtodo SHortcut per la valutazione delle conseguenze di incidenti rilevanti
ARPAT - Agenzia regionale per la protezione ambientale della Toscana
Via N.Porpora, 22
50145 Firenze
Tel. 055/32061
Fax 055/3206324
meshtech@arpat.toscana.it

Sostanza prescelta: Cloro
#CAS = 7782-50-5
Classe:
Tipologia di detenzione: Stoccaggi fissi senza bacino di contenimento
Ipotesi più probabile
Range di quantità [t]: 0 - 40
Diametro condotta [in]: Non applicabile

Scenario incidentale: Nube Tossica

SOGLIA	METEO	CLASSE	DISTANZA DI DANNO
1	D5	5.1.4	160 m
2	D5		Non applicabile
3	D5	5.1.4	860 m
4	D5		Non applicabile
1	F2	5.1.4	540 m
2	F2		Non applicabile
3	F2	5.1.4	4200 m
4	F2		Non applicabile

Si rimanda al Manuale Utente e agli help in linea
per informazioni riguardanti le ipotesi incidentali, le soglie e
le coppie categoria di stabilità atmosferica/velocità del vento.

8.0 CONCLUSIONI

E' stato presentato un modello dinamico semplificato per la gestione delle emergenze dovute alla diffusione di gas tossici in atmosfera.

COMOTOX è dotato di uno stimatore delle condizioni meteorologiche basato sulle sole indicazioni fornite dall'utente che permette di stabilire in tempo reale la coppia meteo (categoria di stabilità Pasquill-Gifford e velocità del vento). Con le stesse informazioni il programma è in grado di fornire ai Gestori dell'emergenza tutte le indicazioni sullo sviluppo della nube in tempo reale permettendo anche di decidere la disposizione delle Forze dell'Ordine in campo, confermando o meno quanto previsto in fase di stesura del PEE.

Di tale software è stato sviluppato un prototipo per il caso di rilasci di cloro dallo stabilimento Solvay in provincia di Livorno i cui risultati sono stati validati con dati sperimentali; esso sarà inserito nel prossimo aggiornamento del PEE, in fase di redazione.

I risultati concordano bene con i dati sperimentali di Lyme Bay.

Strumenti analoghi potranno essere sviluppati per gli altri Stabilimenti a Rischio di incidente rilevante a partire dal prototipo presentato.

Si auspica inoltre che il metodo possa essere utilizzato anche per estendere l'applicabilità del futuro Modello Unificato, che il Dipartimento della Protezione Civile ha intenzione di sviluppare a partire dal Metodo Speditivo e dal Metodo Shortcut, alle fasi di gestione dell'emergenza.