

HARIA-2: UNA METODOLOGIA PER LA PIANIFICAZIONE E L'ANALISI DI EMERGENZE TECNOLOGICHE. VALIDAZIONE DEL MODULO CREAZIONE SCENARI STATICI.



L. PROIETTI., R. BOVALINI, M. MAZZINI

*Università degli Studi di Pisa, Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Nucleare e della Produzione
Via Diotisalvi, 2 - 56126 - PISA*

SOMMARIO

La validazione del modulo "Creazione Scenari Statici" del sistema HARIA 2 rappresenta un passo fondamentale per il raggiungimento degli obiettivi di progetto.

I modelli di dispersione ambientale delle sostanze tossiche o infiammabili sono stati provati con la base di dati sperimentali messa a disposizione dal CCR di Ispra, relativa a tre serie di esperimenti di dispersione di una nube pesante.

Il lavoro ha portato a considerazioni di una certa rilevanza sul modello Display-1 implementato nel sistema HARIA 2 e sul suo impiego. Nell'utilizzo di tale modello dovranno essere adottate soluzioni differenti, a seconda della tipologia della sostanza coinvolta nell'incidente. Per le sostanze infiammabili per cui è importante studiare l'evoluzione della nube fino a valori di concentrazione maggiori dell'1% in volume. Display-1 nella versione standard (con $C_{entr}=0.05$) mostra buoni risultati. Per le sostanze tossiche è necessario arrivare alla transizione da nube pesante a nube neutra ed è consigliabile fissare il parametro C_{entr} del modello di inglobamento dell'aria al valore 0.01. E' possibile ottenere in tal modo risultati sovrastimanti i valori reali vicino alla sorgente, ma comunque conservativi; a distanze maggiori, con concentrazioni prossime a 0,1%, i risultati sono più vicini alla realtà.

Infine, per quanto riguarda la transizione pesante/neutra occorrerà utilizzare anche in HARIA-2 i criteri generalmente utilizzati in bibliografia, che fanno avvenire tale transizione quando la differenza di densità della nube raggiunge l'1‰ rispetto a quella dell'aria circostante o quando il numero di Richardson raggiunge il valore unitario: il precedente criterio basato sul valore della velocità trasversale della nube non sempre è in grado di prevedere tale transizione in maniera corretta.

1. INTRODUZIONE

La validazione del modulo "Creazione Scenari Statici" del sistema HARIA 2 rappresenta un passo fondamentale per la verifica del raggiungimento degli obiettivi di progetto. La prima fase della validazione ha riguardato la funzionalità e la bontà dei risultati ottenuti con i modelli di dispersione ambientale delle sostanze tossiche o infiammabili. Per la validazione del modulo è stata usata la base di dati sperimentali messa a disposizione dal CCR di Ispra, relativa a tre serie di esperimenti di dispersione ambientale di gas o miscele bifase. Il primo esperimento ha interessato il rilascio continuo di gas propano liquefatto per pressione in presenza di un ostacolo, il secondo il rilascio istantaneo di una miscela di Freon e azoto e il terzo un rilascio continuo di ammoniaca liquefatta. A causa del comportamento delle tre sostanze coinvolte negli esperimenti, che è stato quello tipico di una nube pesante (per l'ammoniaca il carattere di pesantezza è dato dalla presenza nella miscela di aerosol liquido), oggetto della validazione è stato in realtà il modello specifico di dispersione di una nube pesante, implementato in Haria-2 e denominato Display-1 [1].

2. RILASCIO CONTINUO DI PROPANO IN PRESENZA DI OSTACOLO

2.1 Caratteristiche degli esperimenti

Gli esperimenti esaminati, denominati EECC55 e EECC57, fanno parte di una serie realizzata tra la fine del 1990 e l'inizio del 1991 dal Laboratorio Nazionale RISO, in Danimarca a Roskilde, e dalla TÜV in Germania, con rilascio continuo di gas propano liquefatto per pressione [2]. Gli esperimenti si sono svolti in condizioni non isoterme su terreno pianeggiante, simulando un rilascio a jet (esperimento denominato EECC55) ed un rilascio con quantità di moto alla sorgente trascurabile (rilascio libero - esperimento denominato EECC57). Il flusso di gas era ostacolato da un muro posto sul campo di prova a 48 metri dalla sorgente, perpendicolarmente alla direzione del vento (Fig. 1); tale muro era dotato di un sistema di rimozione,

azionato 3 minuti prima della fine dell'esperimento. Due torri di rilevamento, poste una a 38 metri dalla sorgente (10 metri davanti al muro) e l'altra a 63 metri (15 metri dietro il muro - Fig.1), hanno permesso di misurare in continuo il profilo verticale del vento, temperatura e concentrazione a 2, 4, e 6 metri di altezza. La concentrazione di propano a livello del suolo è stata rilevata da circa 20 sensori catalitici, con sensibilità corrispondente ad una frazione volumetrica dello 0.1%.

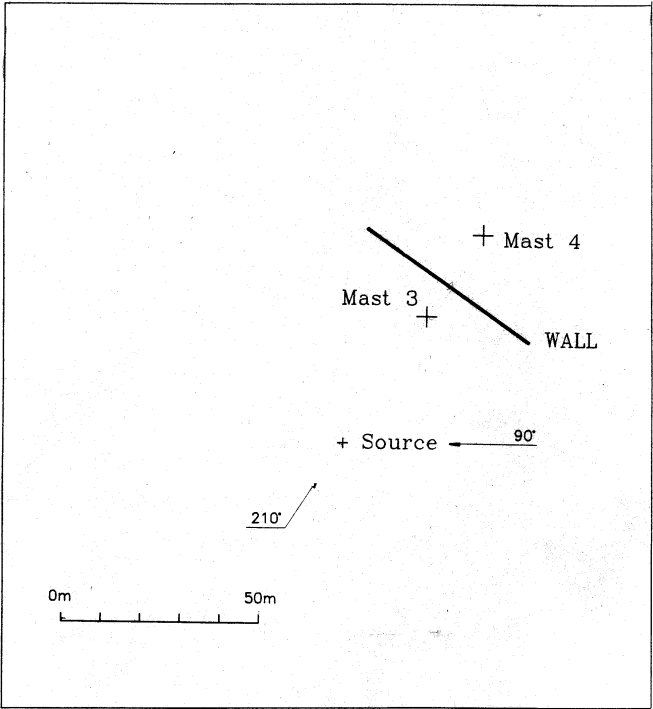


Figura 1. Schema degli esperimenti EECC55 e EECC57

Il propano, rilasciato da una tubazione con diametro del foro di 15.5 mm, vaporizza parzialmente con un rapido flash in conseguenza della riduzione di pressione. Poiché il peso molecolare del propano (44 g/mol) è nettamente maggiore di quello dell'aria (29 g/mol) ed inoltre la nube ha inglobato goccioline di liquido; il rilascio ha dato origine ad una nube pesante, di forma bassa e larga; per questo motivo l'altezza del muro è stata fissata a 2 metri. Le caratteristiche salienti dei due esperimenti sono sintetizzate nella Tab.1.

Nome	Rateo (Kg/s)	Durata totale del rilascio (s)	Tempo a cui l'ostacolo è rimosso (s)	Direzione vento	Velocità vento (m/s)	Quantità di moto del getto (N)
EECC55	3	360	180	198°	2.6	210
EECC57	2	480	300	220°	2.6	0

Tabella 1. Caratteristiche salienti dei due esperimenti eseguiti in Germania

2.2 Risultati ottenuti

Nel caso del rilascio libero (esperimento EECC57), Display-1 prevede abbastanza bene l'andamento delle concentrazioni sia nella posizione davanti all'ostacolo e dentro la nube (Fig. 2), che nella posizione dietro l'ostacolo e dentro la nube (Fig. 3); è simulato correttamente anche l'aumento della concentrazione che si verifica sperimentalmente quando il muro viene rimosso, a circa 300 secondi dall'istante iniziale. Invece, per posizioni ai bordi della nube, il modello da una larghezza della nube minore del caso sperimentale (Fig. 4).

Per quanto concerne il rilascio jet (esperimento EECC55), i risultati sono evidenziati nelle figure 5 e 6, che mostrano con tutta evidenza che il modello originale sottostima i risultati sperimentali. Per migliorare la simulazione sono state eseguite prove di sensibilità, facendo variare il coefficiente di entrata dell'aria nella nube C_{entr} . Normalmente questo coefficiente è fissato ad un valore di 0.05 (in base ai risultati di esperimenti effettuati in condizioni strettamente neutrali). Nelle figure 5 e 6 sono evidenziati anche i risultati ottenuti per valori di tale coefficiente di 0.03 e 0.01, che ovviamente migliorano i dati iniziali, anche se permane la sottostima dei dati sperimentali dietro l'ostacolo, una volta che questo è stato rimosso.

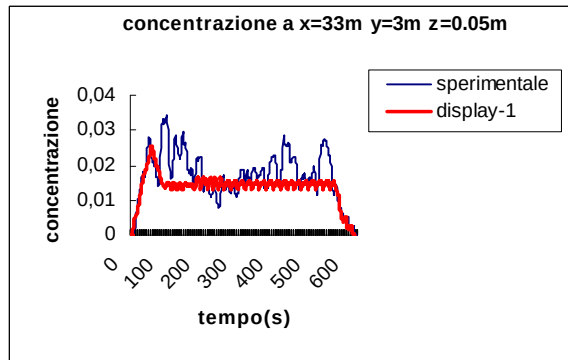


Figura 2. Concentrazione davanti all'ostacolo e dentro la nube nella prova EECC57

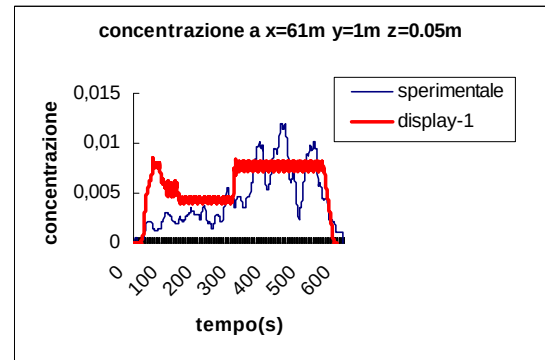


Figura 3. Concentrazione dietro l'ostacolo e dentro la nube nella prova EECC57

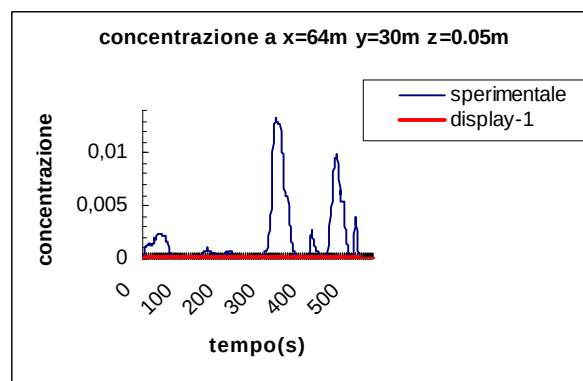


Figura 4. Concentrazione ai bordi della nube nella prova EECC57

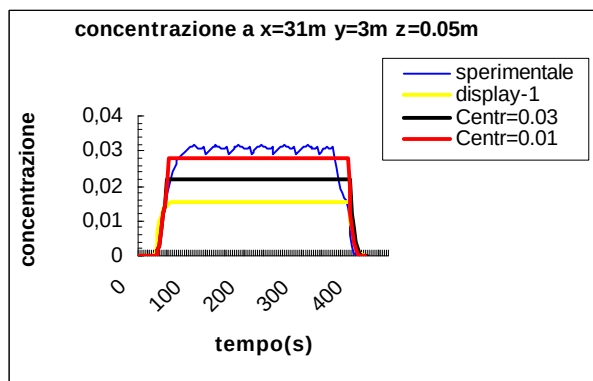


Figura 5. Concentrazione davanti l'ostacolo nella prova ECC55 (jet)

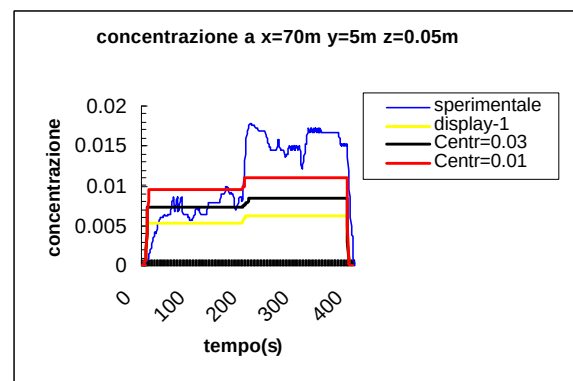


Figura 6. Concentrazione dietro l'ostacolo nella prova EECC55 (jet)

3. RILASCIO ISTANTANEO DI UNA MISCELA DI FREON E AZOTO

3.1 Caratteristiche dell'esperimento

La ricerca, anch'essa commissionata dalla C.E.E., è stato realizzata nel 1982 nella penisola inglese di Thorney Island, a sud di Londra, sul canale della Manica /3/.

L'esperimento qui analizzato è il numero 8 [3], avente per oggetto lo studio della dispersione di un rilascio istantaneo di gas pesante, in condizioni isoterme su un terreno ad orografia completamente pianeggiante. Dovendo simulare il rilascio istantaneo di una nube di notevoli dimensioni, lo studio delle modalità di rilascio è stato particolarmente accurato con la progettazione di un apposito contenitore in pvc, dotato di un

sistema di rilascio dall'alto; il contenitore in pvc è di forma cilindrica, quasi equilatera (Fig. 7), con diametro ed altezza di circa 14 metri. L'involucro è riempito fino ad ottenere una quantità di miscela di circa 2000 m³ di Freon e Azoto, avente una densità relativa di 1,6 e quindi una densità assoluta di circa 2 kg/ m³.



Figura 7. Forma iniziale della nube negli esperimenti di Thorney Island

La nube è stato rilevata da un totale di 72 sensori, localizzati su 19 torrette, poste su un grigliato che va da 35 metri fino a 500 metri in direzione sottovento, con misure eseguite a diverse altezze, comprese tra 0.4 m e 6.4 m. (Fig. 8).

L'esperimento si è svolto con vento di 2.4 m/s e direzione media a -15.8° rispetto alla direzione Nord, in categoria di stabilità atmosferica neutra (classe D). Le caratteristiche salienti dell'esperimento sono sintetizzate nella Tab. 2.

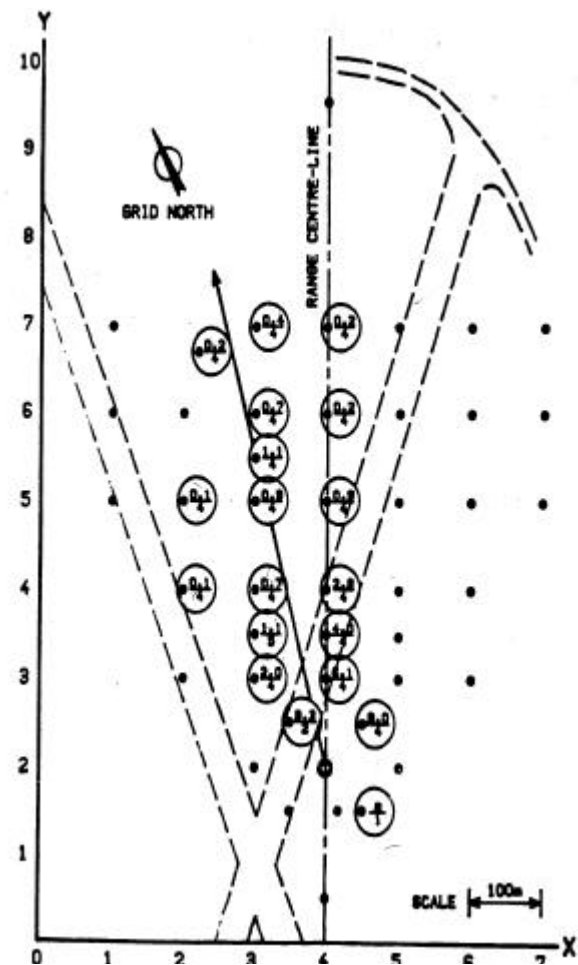


Figura 8. Pianta della stazione sperimentale di Thorney Island

Densità relativa	Volume nube (m ³)	Velocità del vento (m/s)	Direzione del vento	Classe di stabilità atmosferica
1.63	2000	2.4	-15.8	D

Tabella 2. Caratteristiche dell'esperimento di Thorney Island

3.2 Risultati ottenuti con il modello Display-1

Nell'analisi dell'esperimento n. 8 di Thorney Island si è cercato di approfondire la problematica della scelta di C_{entr} e della transizione della nube pesante in una nube neutra. In HARIA-2 si era previsto di fare avvenire tale transizione quando la velocità della nube in direzione trasversale raggiunge il valore di 0.05 m/s. Il modello Display-1 fornisce esplicitamente in output il valore della velocità trasversale della nube, in funzione della distanza dalla sorgente di emissione.

I risultati ottenuti con la versione standard del modello mostrano sull'asse della nube, a livello del suolo vicino alla sorgente, un buon accordo con i dati sperimentali (Fig. 9): dopo il picco iniziale Display-1 prevede correttamente l'andamento decrescente della concentrazione della nube in funzione del tempo. A distanze maggiori dal punto di emissione (Figure 10 e 11), la versione standard di Display-1 (con parametro C_{entr}=0.05) sottostima i dati sperimentali di concentrazione; con valori di C_{entr}=0.01, si ottengono risultati migliori, ma che comunque sottostimano la realtà alle distanze considerate, mentre ovviamente si ha una sovrastima alle brevi distanze (Fig. 9).

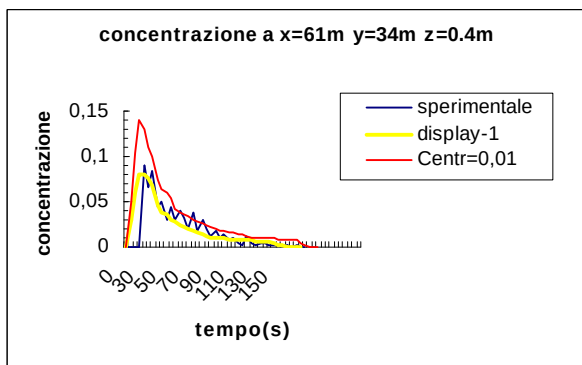


Figura 9. Concentrazione sull'asse della nube nell'esperimento Thorney Island n. 8 vicino alla sorgente

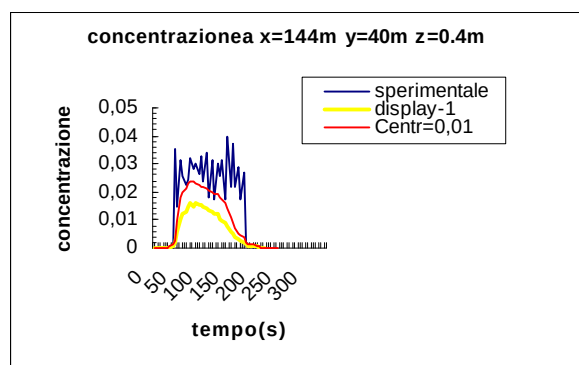


Figura 10. Concentrazione sull'asse della nube nell'esperimento Thorney Island n. 8, a distanza intermedia dalla sorgente

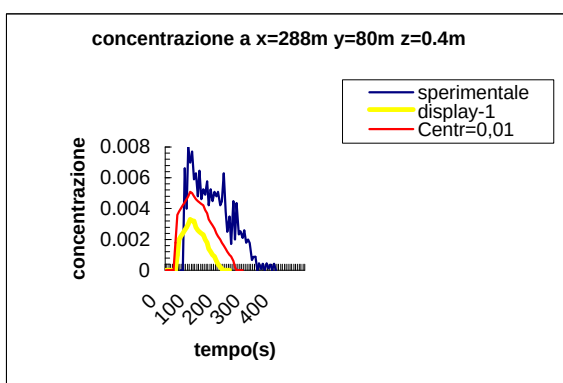


Figura 11. Concentrazione sull'asse della nube nell'esperimento Thorney Island n. 8, lontano dalla sorgente

Per quanto riguarda il profilo della nube, nelle figure 12 - 14 sono riportati gli andamenti della concentrazione, della velocità trasversale, dell'altezza e della larghezza della nube, in funzione della distanza sottovento (sorgente posizionata a $x=200, y=0$), per tre time step differenti (a 50, 100, 150 s dall'istante iniziale).

Il modello mostra un tipico profilo della nube ad "uovo" con dimensione massima alle distanze sottovento corrispondenti a valori di concentrazione massima. L'altezza massima della nube invece si trova a distanze più grandi.

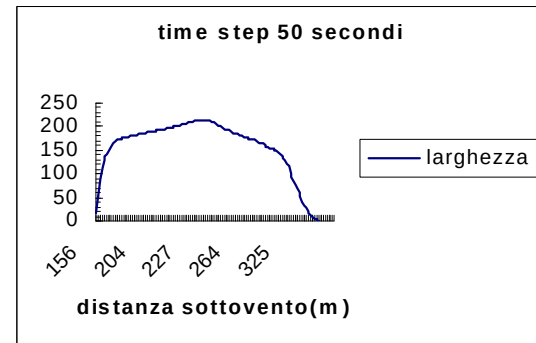
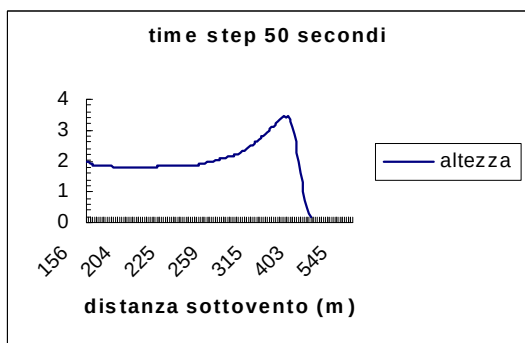
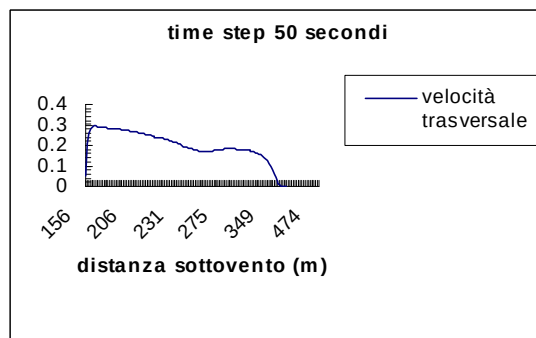
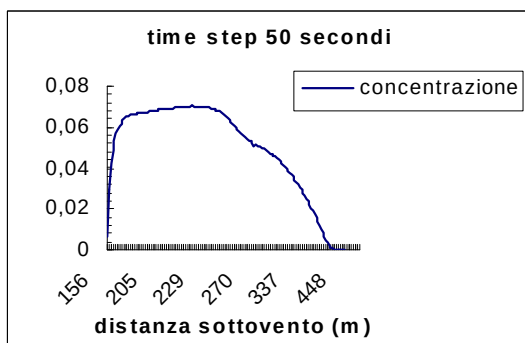


Figura 12. Caratteristiche della nube nell'esperimento Thorney Island n. 8, restituite da Display-1 a 50 s dall'inizio del rilascio

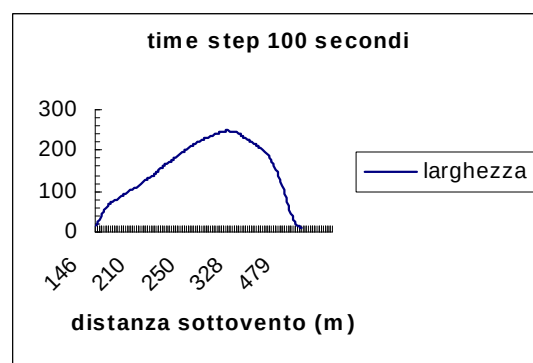
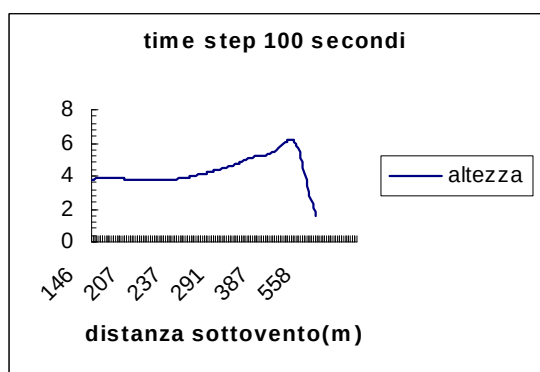
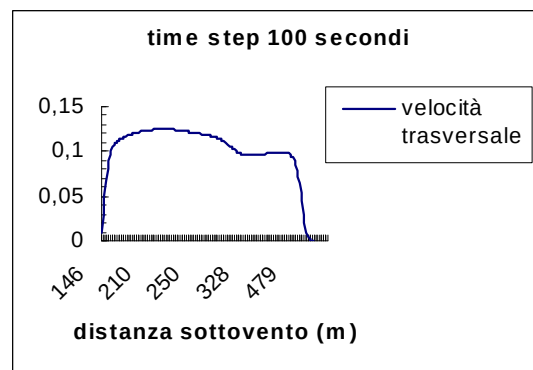
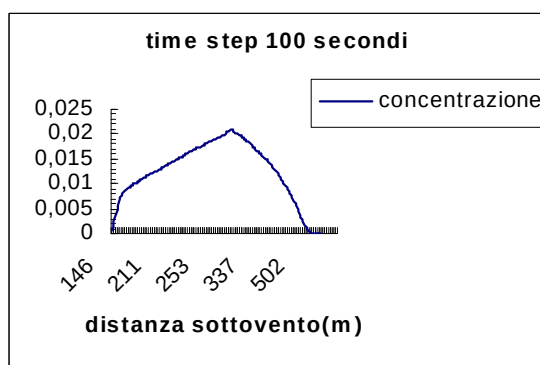


Figura 13. Caratteristiche della nube nell'esperimento Thorney Island n. 8, restituite da Display-1 a 100 s dall'inizio del rilascio

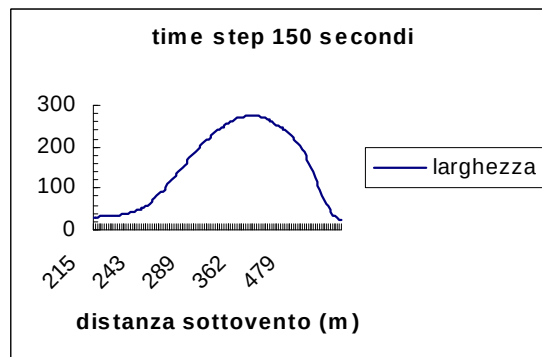
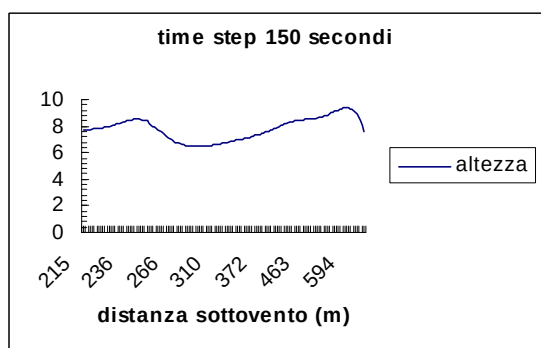
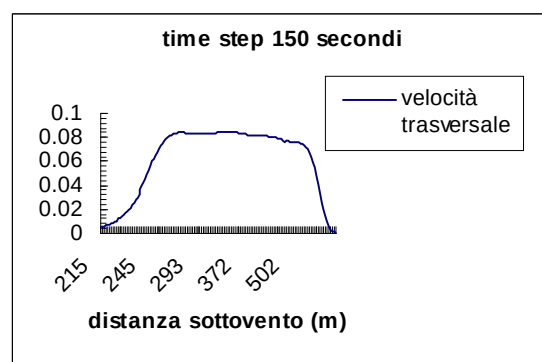
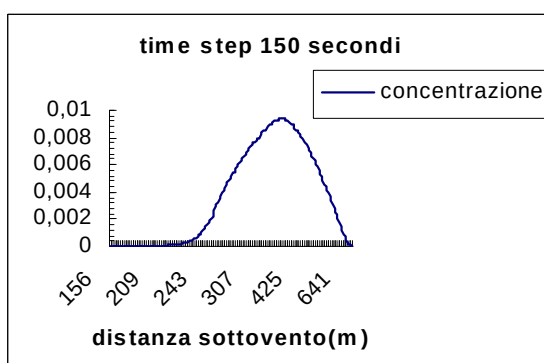


Figura 14. Caratteristiche della nube nell'esperimento Thorney Island n. 8, restituita da Display- 1 a 150 s dall'inizio del rilascio

La nube si allarga e si alza, time step dopo time step, raggiungendo a 150 s un'altezza di circa 8 m ed una larghezza massima di 250 m; a tale istante, alla distanza sottovento corrispondente al valore di concentrazione massima (circa 1%) è possibile notare una velocità trasversale della nube ancora alta, di quasi 0.10 m/s.

Nelle successive Figure 15 e 16 sono rappresentati gli andamenti della concentrazione e della velocità trasversale della nube a 300 e 400 s dall'istante iniziale. Si può notare che la velocità trasversale della nube è di circa 0.05 m/s in corrispondenza di valori di concentrazione massima di 0.1%; in questo caso il criterio adottato in HARIA-2 per la transizione da nube pesante in nube neutra è sostanzialmente confermato.

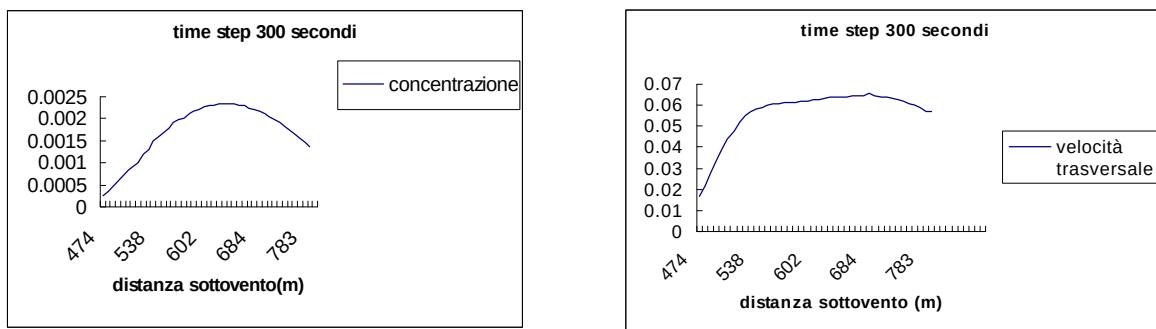


Figura 15. Caratteristiche della nube nell'esperimento Thorney Island n. 8, a 300 s dall'inizio del rilascio

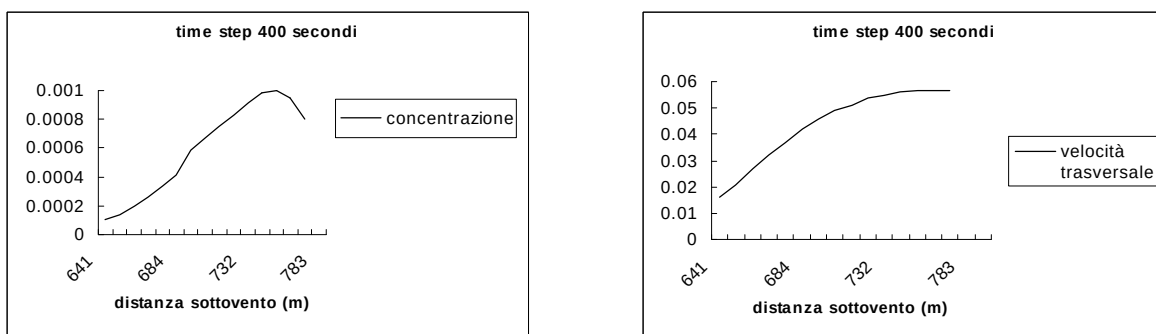


Figura 16. Caratteristiche della nube nell'esperimento Thorney Island n. 8, a 400 s dall'inizio del rilascio

4. RILASCIO CONTINUO DI AMMONIACA PRESSURIZZATA

4.1 Caratteristiche dell'esperimento

La ricerca, commissionata dal Ministero dell'Industria USA, è stata realizzata tra l'agosto e il settembre del 1983 nella pianura di Frenchman (deserto del Nevada), nel sito del Dipartimento dell'Energia [4]. L'esperimento n°4 fa parte di una serie di 4 prove aventi per oggetto il rilascio continuo di ammoniaca pressurizzata. L'ammoniaca è stata rilasciata ad una altezza dal suolo di 0.79 m su terreno interamente pianeggiante, con un forte getto orizzontale, avente quantità di moto di 1.4 MPa.

Per ottenere un rateo costante di emissione, l'ammoniaca liquida contenuta in due grosse cisterne era pressurizzata con azoto e spillata attraverso un foro di diametro di circa 9 cm. Al momento dell'esperimento le condizioni meteo erano caratterizzate da una classe di stabilità atmosferica E (stabile), con direzione del vento di 229° (ruotato di 4° in senso orario rispetto alla linea dell'asse dell'array della strumentazione); altri dati sull'esperimento sono sintetizzati nella Tab. 3.

Quantità Rilasciata (m ³)	Durata del rilascio (s)	Rateo (Kg/s)	Velocità del vento (m/s)	Direzione reale del vento	Classe stabilità atmosferica
60	381	108	4.5	229°	E

Tabella 3. Caratteristiche dell'esperimento di rilascio di NH₃ nel deserto del Nevada.

I dati di concentrazione sono stati acquisiti tramite due torrette di rilevamento, poste una a 100 metri e l'altra a 800 metri dal punto di emissione (Fig. 17). Sulle torrette, disposte simmetricamente rispetto alla direzione ideale del vento (225°), i sensori catalitici rilevavano la concentrazione a diverse altezze a partire da 1 m fino a 8.4 m.

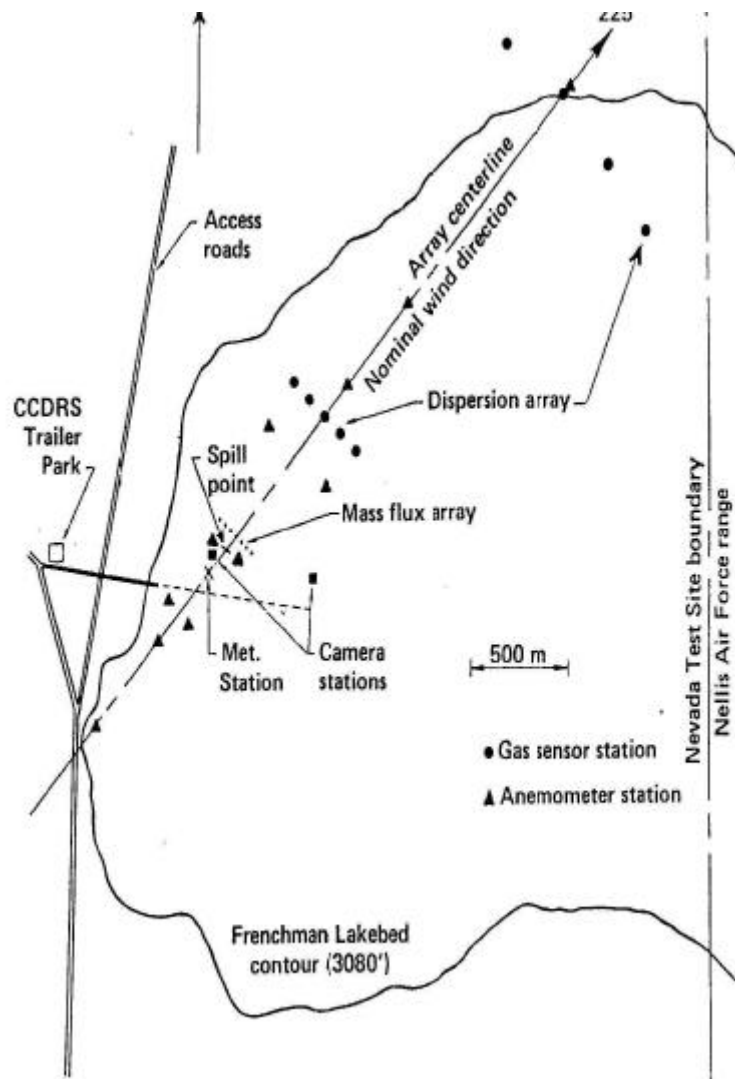


Figura 17. Pianta della stazione di prova nel deserto del Nevada

4.2 Risultati ottenuti

L'esperimento esaminato riguarda la dispersione di una nube formata da una miscela bifase di ammoniaca. L'ammoniaca a condizioni ambiente ha una densità di 0.745 kg/m^3 , ma le modalità di emissione hanno portato alla formazione di una miscela bifase con una percentuale di liquido di oltre l'80%; anche considerando che sperimentalmente è stato rilevato che circa il 30% della massa rilasciata si è depositata al suolo, formando una pozza, la nube che si è formata ha certamente avuto nella sua dispersione un comportamento tipico da nube pesante. I risultati ottenuti con il modello Display-1 in versione standard sono analoghi qualitativamente a quelli degli esperimenti esaminati in precedenza. A distanze vicine al punto di emissione (Fig. 18), il modello stima correttamente i valori di concentrazione. Lontano dal punto di emissione (Fig. 19) il modello (nella versione standard con $C_{entr}=0.05$) sottostima i valori di concentrazione; con il valore di $C_{entr}=0.01$ si ottengono risultati migliori ma comunque ancora sottostimanti la realtà, mentre ovviamente si sovrastima la concentrazione in prossimità della sorgente (Fig. 18).

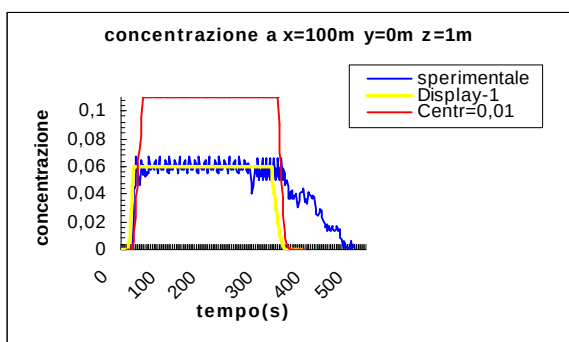


Figura 18. Concentrazione di NH_3 a livello del suolo vicino alla sorgente

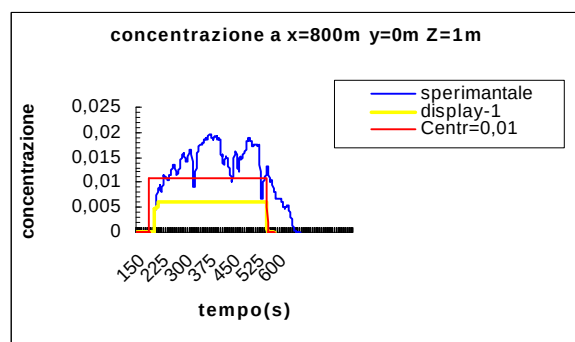


Figura 19. Concentrazione di NH_3 a livello del suolo lontano dalla sorgente

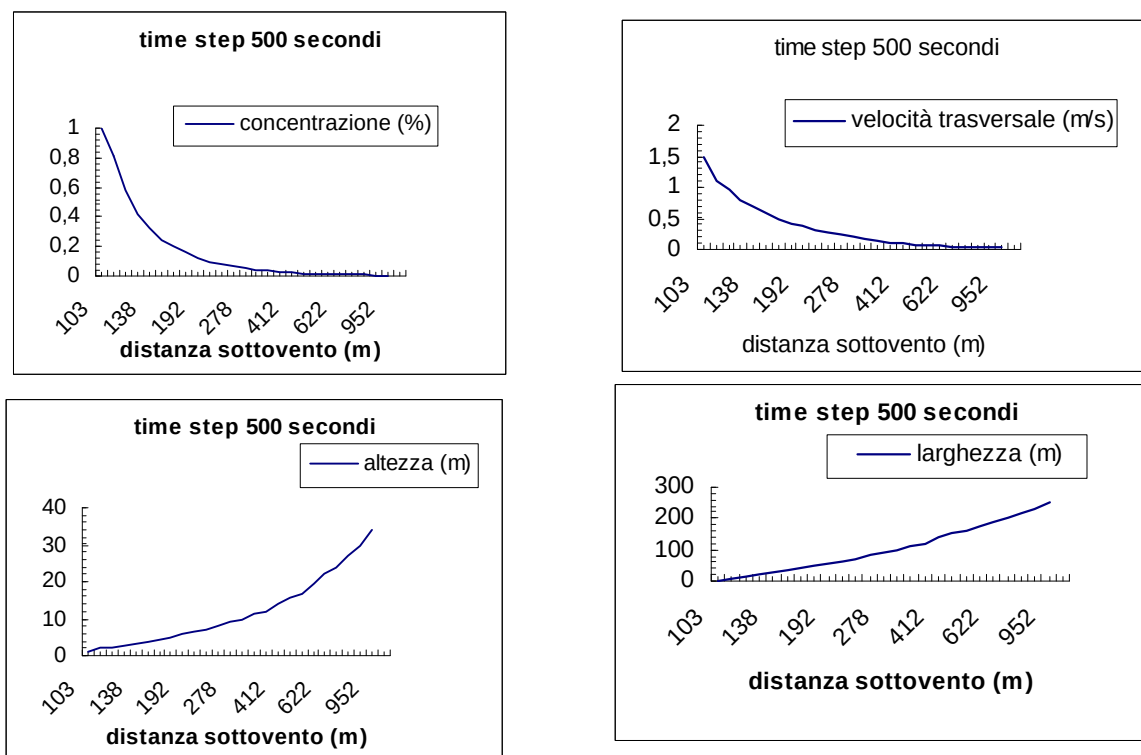


Figura 20. Caratteristiche della nube nell'esperimento del deserto del Nevada, a 500 s dall'inizio del rilascio

5. CONCLUSIONI

Il lavoro di validazione del modulo Creazione Scenari Statico del sistema HARIA-2 ha portato a considerazioni di una certa rilevanza sulla modellistica del sistema e sul suo impiego. In particolare nell'utilizzo del modello Display-1 si dovranno adottare soluzioni differenti, a seconda della tipologia della sostanza coinvolta nell'incidente. Per le sostanze infiammabili è importante studiare l'evoluzione della nube fino a valori di concentrazione entro i limiti di infiammabilità, in tutti i casi corrispondenti a frazioni volumetriche maggiori dell'1%. Tali condizioni si verificano vicino alla sorgente, dove Display-1 nella versione standard con $C_{entr}=0.05$ (consigliato dall'autore) mostra buoni risultati. Per le sostanze tossiche, si deve in generale studiare l'evoluzione della nube fino a valori di concentrazione di qualche decina di p.p.m. o meno; è pertanto necessario arrivare al momento della transizione della nube da pesante in nube neutra, a seguito di inglobamento di aria e riscaldamento. In questo caso occorre avere valori di concentrazione affidabili al momento della transizione, da utilizzare per la successiva fase neutra di dispersione; si raccomanda di fissare il parametro C_{entr} del modello di inglobamento dell'aria al valore 0.01 (molto minore rispetto al valore standard 0.05). Si otterranno in tal modo risultati sovrastimanti i valori reali vicino alla sorgente; essi sono comunque conservativi e ben sopra la soglia di pericolo per la popolazione (IDHL). Invece, a distanze maggiori, con concentrazioni prossime a 0,1% i risultati saranno più vicini alla realtà.

Infine, per quanto riguarda la transizione pesante/neutra occorrerà utilizzare anche in HARIA-2 i criteri generalmente utilizzati in bibliografia, che fanno avvenire tale transizione quando la differenza di densità della nube raggiunge l'1‰ rispetto a quella dell'aria circostante o quando il numero di Richardson raggiunge il valore unitario: il precedente criterio basato sul valore della velocità trasversale della nube non sempre è in grado di prevedere tale transizione in maniera corretta.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Wüertz J., "A Transient One-Dimensional Shallow Layer Model for Dispersion of Denser-Than-Air Gases in Obstructed Terrains Under Non-isothermal Conditions". Commission of the European Communities, JRC Ispra, EUR 15343 EN, 1993.
- [2] Nielsen M., "Preliminary Treatment of Meteorological Data from Project BA Dense Gas Experiments". Riso National Laboratory, Riso-M-2882, 1990.

- [3] McQuaid J., Roebuck B., "Large Scale Field Trials on Dense Vapour Dispersion". Safety Engineering Laboratory, Sheffield, 1985.
- [4] Goldwire H.C., Johnson G.W., Morris L.K., "Desert Tortoise Series Data Report". Lawrence Livermore National Laboratory, 1985.