
Item ID Number 02387

Author Certesi, S.

Corporate Author

Report/Article Title Distribuzione e Deposizione Atmosferica di Aerosols in
Caso di Incidenti con Dispersioni di Prodotti Tossici

Journal/Book Title

Year 1984

Month/Day April 13

Color

Number of Images 14

Description Notes

VARESE ECOLOGIA

Associazione per la difesa dell'ambiente

**Via Giacomo Puccini, 4 - Tel. (0332) 286.090
21100 VARESE**

CONVEGNO SUL TEMA

ENERGIA E AMBIENTE

**organizzato con la collaborazione della
Delegazione Lombarda della Società Italiana
di Merceologia**

VARESE, VILLA PONTI

**Centro Congressi della Camera di Commercio
di Varese**

13 - 14 APRILE 1984

DISTRIBUZIONE E DEPOSIZIONE ATMOSFERICA DI AEROSOLS IN CASO DI INCIDENTI CON DISPERSIONI DI PRODOTTI TOSSICI.

S. Cerlesi (*)

G. Belli (**)

S. Ratti (***)

(*) Silvia Cerlesi, dell'Ufficio Speciale di Seveso (Regione Lombardia) e Dipartimento di Fisica Nucleare e Teorica dell'Università di Pavia.

(**) Giuseppe Belli, dell'Istituto Tecnico Industriale Statale-Pavia e Dipartimento di Fisica Nucleare e Teorica dell'Università di Pavia.

(***) Sergio Ratti, del Dipartimento di Fisica Nucleare e Teorica dell'Università di Pavia.

1. Introduzione.

I numerosi processi industriali distribuiti (non sempre in modo ottimale) nel territorio, possono in talune situazioni provocare fenomeni di inquinamento sia di carattere endemico che, (fortunatamente di rado) catastrofico.

E' evidente l'esigenza di mantenere sotto controllo la situazione ambientale per evidenziare i fenomeni di inquinamento di tipo strisciante o nascosto.

E' inoltre necessario un piano di intervento sempre attivo per i casi di incidente rilevante.

Questa relazione riguarda soprattutto quest'ultimo aspetto e si articola in due fasi:

- 1) una descrizione di come si è affrontato il problema nell'emergenza di Seveso;
- 2) quali metodologie si sono approntate per affrontare il problema del controllo ambientale e in particolare come si è arrivati alla parametrizzazione di una funzione analitica descrittiva dell'andamento del contaminante (TCDD: TetraCloroDibenzo-p-Diossina) depositato al suolo.

Il lavoro si svolge nell'ambito di una convenzione tra l'Ufficio Speciale di Seveso (Regione Lombardia) e il Dipartimento di Fisica Nucleare e Teorica (Università di Pavia).

2. Caso Seveso.

Come è noto, nel 1976 nel territorio di Seveso si è manifestato un drammatico incidente con dispersione di inquinante nell'ambiente. E' esplosa la valvola di sicurezza di un reattore chimico dell'Icmesa e una notevole quantità di sostanze tossiche è stata espulsa nell'atmosfera. Al momento dell'evento le condizioni meteorologiche (successivamente ricostruite solo in parte) erano caratterizzate da un vento con direzione sud-est.

Questo fatto più la naturale microturbolenza dell'atmosfera ha provocato la ricaduta dei prodotti chimici nocivi su una vasta area inizialmente non conosciuta.

I primi interventi sono stati di carattere conoscitivo: si è dovuto delimitare l'area interessata al fenomeno inquinante e valutare l'entità dello stesso; questo al fine di definire le procedure protezionistiche e stabilire gli interventi precauzionali nei confronti della popolazione.

Mediante un'analisi di prima approssimazione su campioni di terreno, l'area interessata venne suddivisa in zone a diversi livelli di contaminazione (fig. 1):

Zona A: alto inquinamento minore di $20000 \mu\text{g}/\text{m}^2$

Zona B: medio inquinamento minore di $50 \mu\text{g}/\text{m}^2$

Zona R: basso inquinamento minore di $5 \mu\text{g}/\text{m}^2$.

Le informazioni di base provengono dalle analisi chimiche di prelievi di terreno (carotaggi). L'analisi chimica assegna a ciascun carotaggio un valore di inquinamento espresso in microgrammi per m^2 . In un carotaggio si esaminano circa 500 gr. di terreno, ottenuti da un campione cilindrico di dimensioni: 3.5 cm di raggio e 7 cm di profondità.

L'area interessata al campionamento è:

$$\text{Zona A} = 87.3 \text{ ha} = 8.73 \cdot 10^5 \text{ m}^2$$

$$\text{Zone B+R} = 1699 \text{ ha} = 1.7 \cdot 10^7 \text{ m}^2$$

Durante la mappatura 1976/77 sono stati effettuati 431 carotaggi in zona A al centro di una ipotetica grigliatura di 50 x 50 m e 718 carotaggi nelle zone B+R secondo una grigliatura di 150 x 150 m.

Quindi l'area totale analizzata durante la mappatura 1976/77 è:

Zona A = 2.87 m^2 cioè il rapporto tra area analizzata e area interessata è $3.29 \cdot 10^{-6}$ e per le

Zone B+R = 4.78 m^2 cioè il rapporto tra area analizzata e area interessata è $2.81 \cdot 10^{-7}$.

Relativamente alla mappatura 1976/77 disponiamo quindi di una campionatura che rappresenta solo tre parti su un milione dell'area interessata (zona A) o, addirittura tre parti su dieci milioni dell'area interessata (zone B+R).

D'altronde aumentare indiscriminatamente il numero di carotaggi sarebbe risultato improponibile per due evidenti ragioni: l'impossibilità tecnica di analizzare un enorme numero di campioni in tempo utile e l'altra ragione è il costo relativo ad ogni singola analisi.

E' evidente quindi la difficoltà statistica (del resto comune a tutti i problemi di questo genere) di descrivere l'andamento della concentrazione del contaminante.

Da questo nasce l'esigenza di costruire una metodologia che consenta di descrivere l'andamento del contaminante in modo che:

- sia possibile interpolare in ogni punto della regione interessata la stima del livello di inquinamento
- sia possibile risalire alla struttura del contaminante subito dopo l'incidente.

E' stato necessario definire allora un algoritmo che permetta di collegare in una relazione di causa-effetto i valori misurati in un certo numero di luoghi con la funzione di distribuzione del contaminante di cui si cerca la descrizione.

La procedura matematica da noi utilizzata è di tipo fenomenologico. Trascuria-

mo cioè la ricerca delle motivazioni fisiche, chimiche e meteorologiche che hanno caratterizzato l'evento e ci interessiamo invece della descrizione qualitativa e quantitativa dei dati a disposizione.

Si sono utilizzati dei metodi matematici che permettono di arricchire il campione statistico con delle pseudomisure senza però distruggere la struttura originaria dell'informazione.

E successivamente con dei procedimenti matematici siamo stati in grado di ottenere la valutazione dei parametri di una funzione non nota ma di cui è noto il valore in un numero finito di punti, in questo caso, i punti della mappatura.

In particolare si è descritta la distribuzione della densità del contaminante in zona A utilizzando il Metodo di Interpolazione Pesata di SHEPARD e i polinomi di CHEBYCEV per approssimare la funzione rappresentativa del fenomeno (Ref. 1).

3. Caratteristiche dei dati.

E' necessario tener presente le condizioni al contorno che governano questi fenomeni di propagazione aerobica prima di affrontare la trattazione matematica.

Una di queste condizioni al contorno è il meccanismo di ricaduta delle particelle di TCDD al suolo (Ref. 2).

Al tempo $T=0$ è fuoriuscita la nube avente contenuto A prima che si depositasse al suolo; negli intervalli di tempo successivi Δt_i sono cadute delle gocce che in matematica si chiamano K_i quindi nella nube è rimasto $(A - K_i)$ contaminante, poi questo $(A - K_i)$ ha creato altri K_i fino all'istante in cui la nube si è completamente depositata al suolo.

La statistica ci dice che se questi K_i fossero linearmente indipendenti la variabile $x = \sum K_i$ sarebbe distribuita come una gaussiana.

Ma i K_i non sono indipendenti in quanto ciascun K_i è proporzionale al contenuto totale di TCDD della nuvola locale (che decresce al crescere del tempo t) all'istante t_i , cosicchè:

$$k_i \propto (A - \alpha x_i)$$

dove x_i è la quantità totale di TCDD nel campione al tempo t_i ,

A è una costante (TCDD nella nuvola al tempo $t=0$) ed α è una costante di proporzionalità. Assumendo questa relazione lineare fra i valori k_i (quantità di diossina "caduta" per unità di tempo) e i valori x_i (quantità di diossina "contenuta" al tempo t_i), come passo intermedio della dipen-

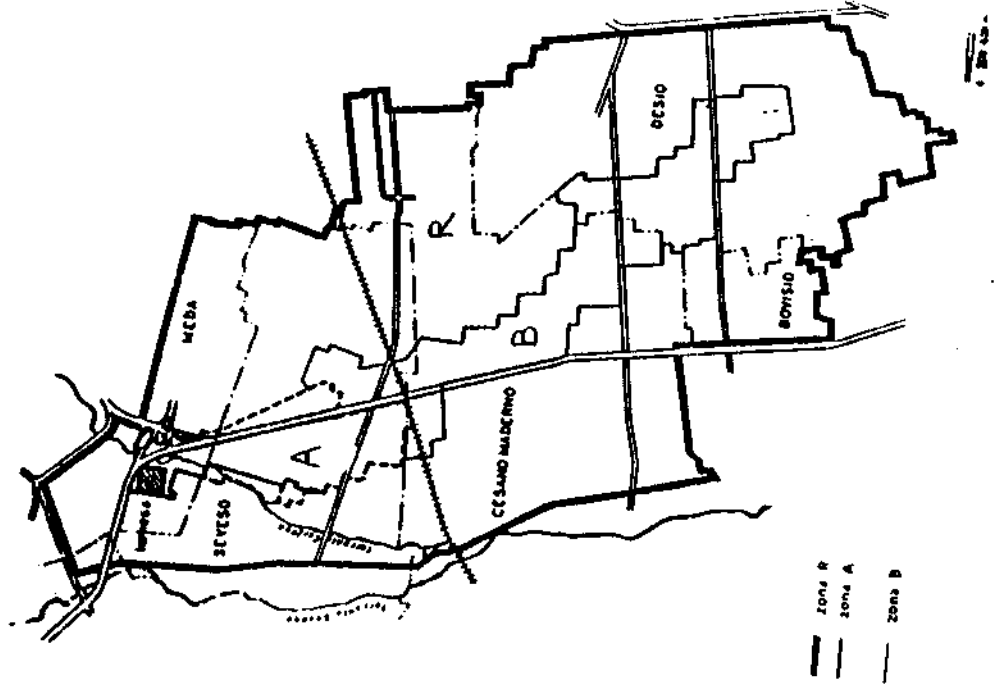


Figura 1 - Mappa delle zone contaminate.

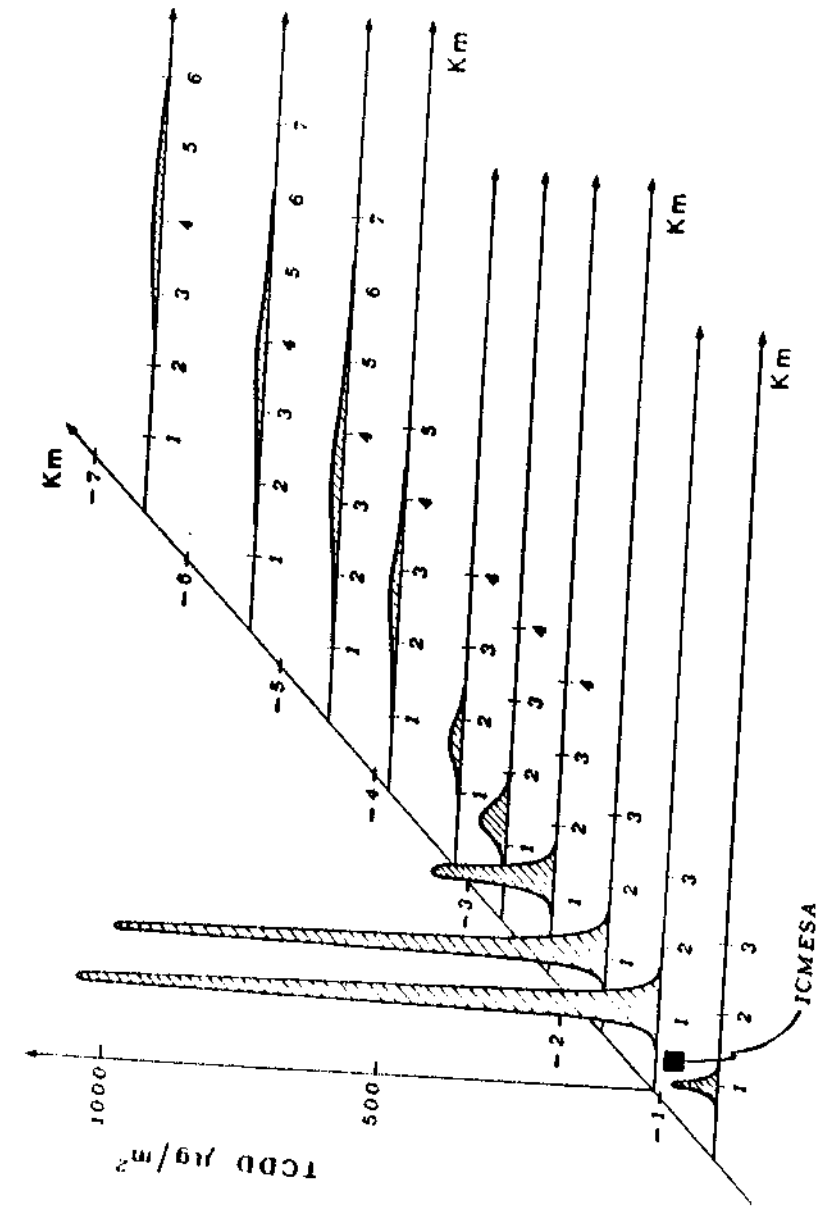


Figura 2 - Rappresentazione tridimensionale della densità di TCDD - Taglio sull'asse y.

denza lineare di k_j dal contenuto totale della nuvola, segue che x è una variabile distribuita in maniera LOGONORMALE ovvero sia è la variabile $y = \ln x$ che segue la distribuzione di Gauss(!) come conseguenza dell'estensione del Teorema del Limite Centrale (Ref. 3).

Quindi la variabile omogenea usata, come dato di partenza per l'elaborazione, è il logaritmo del valore della concentrazione di TCDD e non, il valore misurato della stessa.

Un altro dato importante è la conoscenza dell'andamento della LINEA DI MASSIMA CONTAMINAZIONE in quanto permette una corretta applicazione del metodo di Shepard ai nostri dati.

Uno dei nostri primi studi ha affrontato tale problema (Ref. 4).

Utilizzando i dati della mappatura 76/77 si sono effettuati dei tagli lungo l'asse X e lungo l'asse Y e come si può vedere dalla fig. 2 la contaminazione diminuisce all'aumentare della distanza dall'icmese e contemporaneamente aumenta la dispersione. Sui picchi (valori medi) di queste gaussiane abbiamo adagiato una curva del tipo (fig. 3):

$$Y = \alpha (1 - e^{-\beta x})Y + \delta$$

Abbiamo verificato l'andamento di tale linea utilizzando i prelievi della mappatura 1979 e i risultati confermano l'andamento precedente.

Il metodo per il controllo di qualità del modello è stato messo a punto nella zona "A" cioè la zona maggiormente inquinata, che ha un'estensione di circa 1 km per 2 km e nella quale i prelievi di terreno sono stati effettuati con una grigliatura di 50 m di lato come visualizzato in fig. 4 e fanno parte della mappatura del dicembre 1976.

4. Pseudomisure.

Il campione di dati di cui si dispone è insufficiente per poter applicare un metodo matematico in quanto sono necessari 50 punti per coefficiente per approssimare con successo la funzione matematica polinomiale.

Occorre quindi perseguire un arricchimento del campione di dati sperimentali generando opportune "pseudomisure" che essenzialmente conservino la struttura e le caratteristiche dell'insieme dei dati di partenza.

Il dominio (Zona A) in cui è definita la funzione sperimentale $D_j(x_j, y_j)$ ha una forma non geometrica in quanto delimitato da confini geografici, è perciò indispensabile circoscriverlo con un rettangolo che viene suddiviso in passi costanti

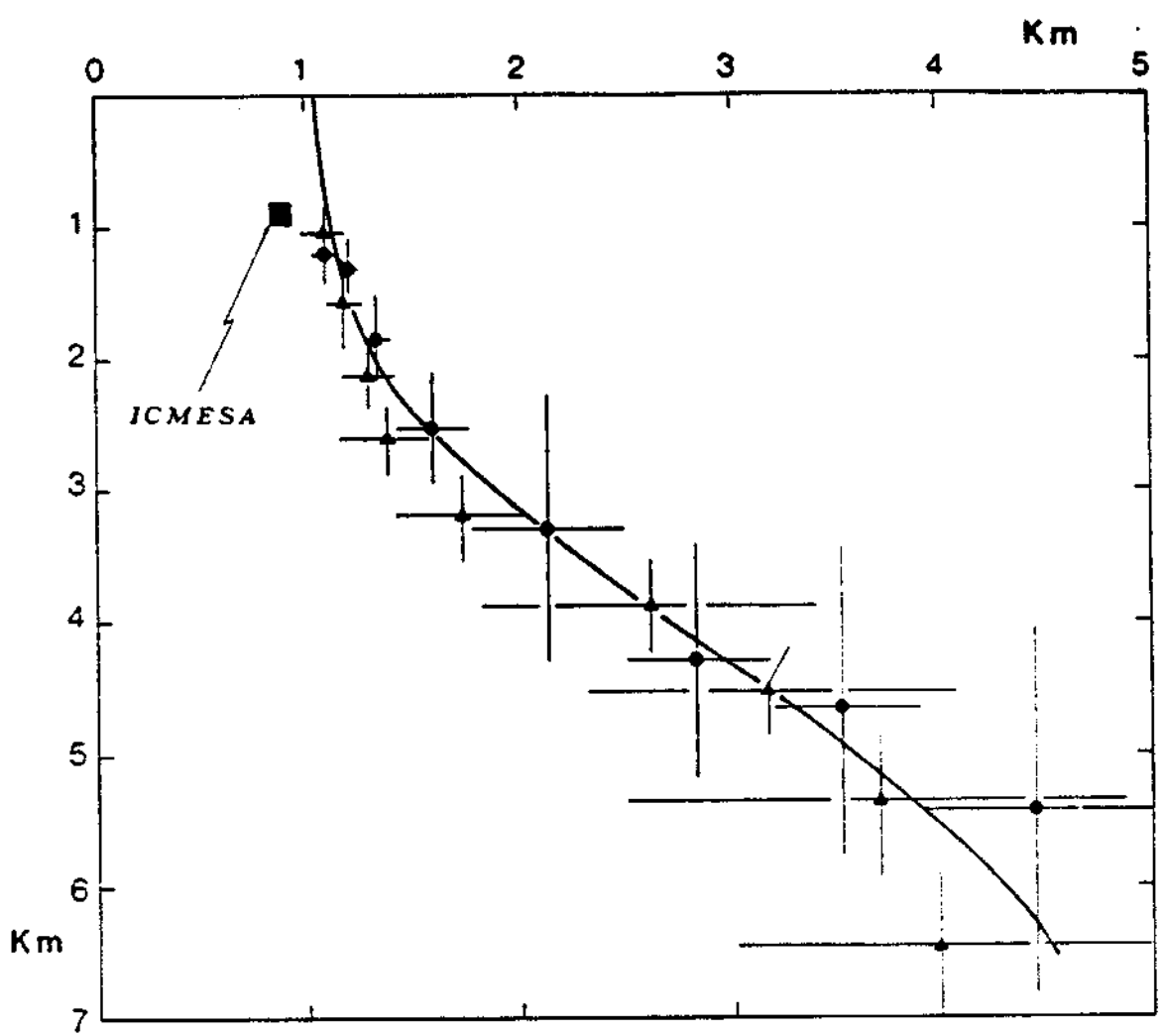


Figura 3 - Linea di massima concentrazione. I punti sono:

- tagli sull'asse x
- ▲ tagli sull'asse y

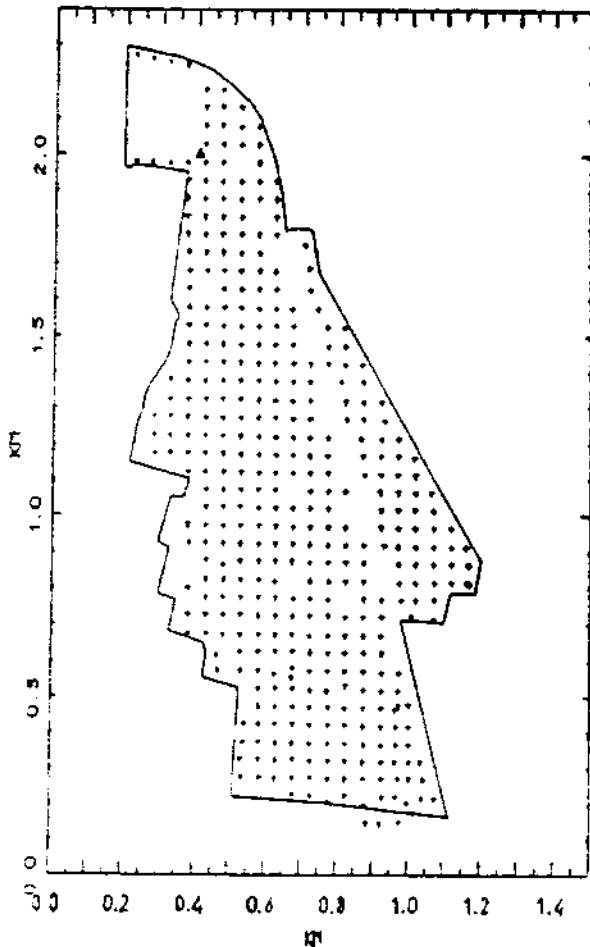


Figura 4 - Distribuzione dei punti di prelievo in zona A effettuati nel 1976.

sia in ascissa che in ordinata. I nodi di questa nuova grigliatura costituiscono i punti di riferimento nei quali è necessario valutare la nuova funzione $g(x, y)$. Abbiamo utilizzato un metodo di interpolazione pesata, detto metodo di SHEPARD (Ref. 5) applicando la formula, anzichè in forma globale, in forma locale. Sia nel piano un punto (x, y) , nuova coordinata della pseudomisura e sia r_i la distanza fra (x, y) e (x_i, y_i) per ogni $i = 1, 2, \dots, n$ misure originarie. La formula di interpolazione di Shepard è la seguente:

$$g(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^n D_i W(r_i)}{\sum_{i=1}^n W(r_i)} \quad \text{se } r_i \leq R$$

$$g(x, y) = 0 \quad \text{se } r_i > R$$

con $W(r_i)$ opportune funzioni peso.

La funzione $g(x, y)$ risulta dunque una media pesata delle osservazioni sperimentali D_i che appartengono al disco di raggio R variabile in funzione della distanza dall'icmesa e dalla linea di massima contaminazione.

5. Approssimazione tridimensionale.

I dati ottenuti con questo procedimento di interpolazione sono stati introdotti in un programma che consente di scegliere il numero di coefficienti che si desidera ottenere nell'espressione finale della funzione polinomiale.

Poichè lo scopo è quello di ottenere una superficie abbastanza accurata, e poichè il numero di punti è sufficiente è stato possibile richiedere un'espressione con 30 coefficienti; per motivi suggeriti dall'Analisi Numerica che facilitano la risoluzione del sistema di equazioni sono stati utilizzati i polinomi ortogonali di Chebyshev.

In questo lavoro abbiamo voluto eseguire una interpolazione "Oggettiva" senza l'eliminazione arbitraria di nessun punto e quindi, quelli presentati, sono i risultati ottenuti sfruttando la massima informazione statistica disponibile.

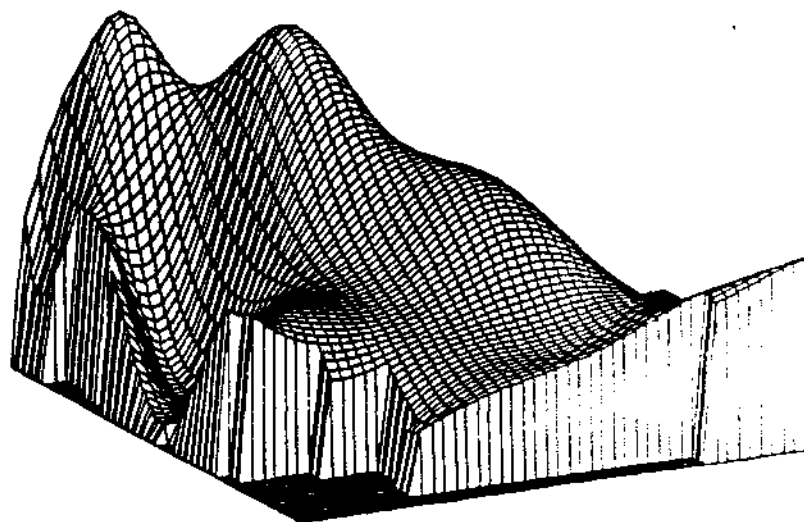


Figura 5 - Rappresentazione grafica della funzione matematica descrittiva dell'andamento della densità di TCDD in zona A. Angolo di rotazione, 30° .

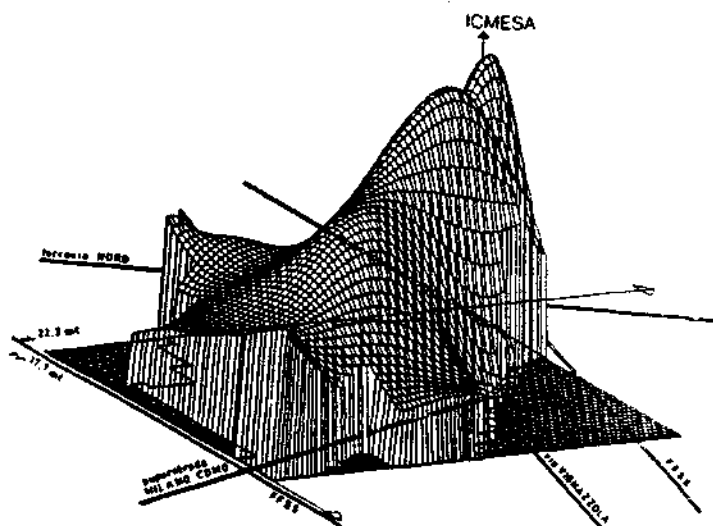


Figura 6 - Angolo di rotazione, 60° .

6. Risultati grafici dell'approssimazione.

Dopo aver ricavato l'espressione della funzione matematica della distribuzione di diossina, ci si è preoccupati della sua rappresentazione grafica che certamente può suggerire interessanti osservazioni sia sulla bontà dei procedimenti utilizzati sia sul fenomeno stesso della deposizione di TCDD sul terreno.

Nelle figure 5 e 6 sono riportati i grafici ottenuti rappresentando la funzione che approssima la superficie interpolante. Per una maggiore varietà di rappresentazione, è possibile ruotare l'intera figura di un angolo compreso fra -90° e 90° in modo da visualizzare l'andamento della funzione da differenti punti cardinali.

Soffermando l'attenzione sulla Fig. 5 che mostra una vista della funzione ruotata di 30° (in senso antiorario) rispetto alla direzione NORD-SUD si notano due picchi piuttosto pronunciati nelle immediate vicinanze dell'Icmesa; poi la funzione scende mantenendo, però, valori ancora abbastanza alti lungo la "Fascia di Massima Concentrazione".

I bordi della funzione non degradano lentamente, perchè lo studio è limitato alla Zona A che è la zona più inquinata, ma che rappresenta solo una parte del territorio investito dalla diossina.

Queste stesse caratteristiche si possono riscontrare anche nella figura 6 che mostra lo stesso modello ruotato di -60° troncato sui confini della Zona A.

E' importante sottolineare che i maggiori difetti si presentano proprio sui bordi della funzione. E' in questa zona infatti che si sono dovuti affrontare i problemi maggiori in quanto i punti a disposizione sono scarsi. E' interessante osservare a posteriori come il comportamento grafico della funzione proposta è consistente con l'andamento numerico dei dati sperimentali sulla superficie geografica considerata, nel senso che si notano avvallamenti e innalzamenti in zone corrispondenti. Il confronto è stato effettuato utilizzando le curve di isoconcentrazione (fig. 7) precedentemente calcolate (Ref. 4).

7. Conclusioni.

Naturalmente la conoscenza di questa funzione analitica ci dà delle possibilità di carattere previsionale. Per esempio, noto il percorso fatto da una persona nell'area studiata, posso calcolare l'area e calcolando l'area (che in matematica si chiama integrale) posso fornire il totale del contaminante a cui è venuta a contatto. E quindi dato qualunque percorso è facile calcolare l'integrale perchè è

nota la funzione analitica.

I procedimenti utilizzati nella parametrizzazione di una funzione analitica descrittiva dell'andamento della densità di contaminante su una zona geografica assegnata anche se mettono in evidenza le caratteristiche sia locali che globali dell'inquinante stesso (nel caso specifico della distribuzione di diossina) hanno carattere generale. In caso di analoghi disastri ecologici sarà possibile valutare, in un tempo estremamente breve e partendo da un set di misure abbastanza limitato, la distribuzione globale del fenomeno e quindi intervenire immediatamente con i mezzi appropriati.

Verificato il modello, con successo, nella sua applicabilità al caso delle alte contaminazioni ci stiamo ponendo il problema più delicato di adattarlo al caso delle basse contaminazioni.

Ma in questo caso i dati disponibili relativi al 1976/77 sono ancora più scarsi di quelli della Zona A.

Quindi sarebbe di estrema utilità la verifica di tale formula utilizzando tutti i dati disponibili provenienti dalle diverse campagne di prelievo. Infatti le campagne di prelievo sono continuate in modo pressochè ininterrotto dal 1976 ad oggi ed hanno fornito una notevole quantità di informazioni regolarmente codificate ed inserite nel campione di base (Data-Base).

L'insieme dei dati nella sua totalità non risulta, però, omogeneo in quanto:

- 1) è affetto da errori sistematici dovuti al miglioramento delle tecniche analitiche;
- 2) dipende in funzione del tempo, dall'andamento della TCDD in profondità.

Per raggiungere l'obiettivo della normalizzazione dei dati relativamente al primo aspetto, ovvero in modo da poterli considerare come provenienti dall'uso di una metodica analitica invariata nel tempo, si sta collaborando con il centro di Ispra (Joint Research Centre della Commissione delle Comunità Europee - Ispra) e l'Istituto Superiore di Sanità (I.S.S.) per normalizzare le differenti metodiche adottate negli anni.

Il secondo aspetto del problema della normalizzazione dei dati è risolvibile solo usando un maggior numero di curve di penetrazione di TCDD nel suolo a tempi diversi (Ref. 6). Pertanto è necessario disporre di un numero di prelievi in profondità distribuiti nel tempo.

Lo svolgimento di queste problematiche è molto importante per individuare le possibili correlazioni esistenti fra risultati frutto di metodiche diverse. Seveso è un caso unico per la sua estensione e quindi si presta per cercare di capire quali sono le informazioni che si possono trarre dalla lezione che questo incidente ci

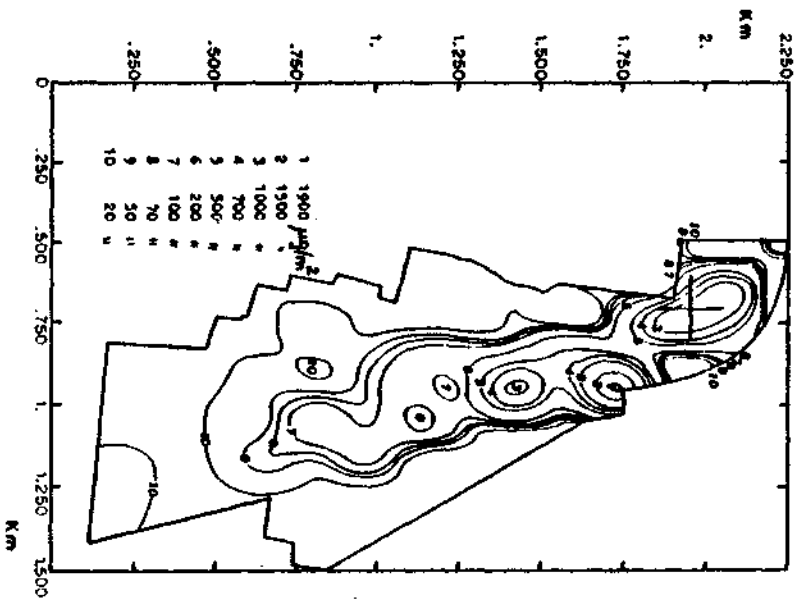


Figura 7 - Curve di isocentrotrazione del TCDD in zona A nel 1976.

ha impartito.

BIBLIOGRAFIA

- 1) G. Belli, S. Cerlesi, E. Milani, S. Ratti: "Statistical interpolation model for the description of ground pollution due to the TCDD produced in the 1976 chemical accident at Seveso in the heavily contaminated zone A". IFNUP/RL 14/83.
- 2) G. Belli, G. Bressi, S. Cerlesi, S.P. Ratti "The chemical accident at Seveso (Italy): statistical analysis in regions of low contamination". (CHEMOSPHERE 12, 517-521, 1983).
- 3) H. Cramer: *Mathematical Methods of Statistics*, Princeton University Press (1974) p. 213, p. 218.
- 4) G. Belli, G. Bressi, E. Calligarich, S. Cerlesi, S.P. Ratti: in "Chlorinated Dioxin & related compounds: impact on environment" (ed. O. Hutzinger et al. Pergamon Press, Oxford N. York) 1982 p. 155.
- 5) a - S.A. Gustafson, K.O. Kortanek, J.R. Sweigart: *J. Appl. Meteor.* 16, 1243 (1977).
b - W.R. Goodin, G.J. McRae, J.H. Seinfeld. *J. Appl. Meteor.* 18, 761 (1979).
c - H.R. Glahn. *J. Appl. Meteor.* 20, 88 (1980).
- 6) G. Belli, G. Bressi, E. Calligarich, S. Cerlesi, S. Ratti: in "Chlorinated Dioxin & related compounds: impact on environment" (Ed. O. Hutzinger et al. Pergamon Press, Oxford, New York 1982 p. 137).