

# **Stabilità atmosferica e livelli di SO<sub>2</sub> in Venezia**

## **Limiti del modello gaussiano**

*di P. Zannetti*



# Stabilità atmosferica e livelli di SO<sub>2</sub> in Venezia

## Limiti del modello gaussiano

di P. Zannetti

Il problema dell'inquinamento atmosferico riveste una particolare importanza nell'area veneziana: ciò è dovuto al fatto che in tale zona, oltre al problema della salute pubblica, esiste un notevole patrimonio artistico che si è dimostrato particolarmente vulnerabile all'attacco degli inquinanti gassosi presenti nell'atmosfera. Di qui la necessità di studi rivolti a conseguire una migliore conoscenza del fenomeno di trasporto e diffusione, attraverso il quale le sostanze emesse dalle diverse sorgenti vengono ad interessare l'uomo e l'ambiente circostante.

L'area geografica oggetto del presente studio è notevolmente complessa presentando una discontinuità terralaguna-mare che complica la meteorologia locale e rende quindi più complesso il meccanismo di propagazione di un inquinante.

Come riportato in precedenti pubblicazioni [11, 12, 21] l'approccio al problema si è sviluppato lungo due direzioni:

a - raccolta di serie storiche di dati e loro analisi

b - costruzione di modelli matematici di diffusione e test di questi tramite confronto con i dati reali.

Per quanto riguarda il primo punto va precisato che il lavoro di acquisizione dati è tuttora in fase di completamento; si può comunque affermare che, per quanto riguarda le misure al suolo, si è raccolta una notevole quantità di informazioni, che al momento risiedono su nastro magnetico e sono quindi direttamente accessibili tramite elaboratore elettronico. La parte più significativa del « data-base » raccolto è costituita dalle registrazioni delle misure meteorologiche e di SO<sub>2</sub> effettuate rispettivamente dalla rete [5] dell'Istituto Superiore di Sanità — ENI (Tecneco) e dalla rete dell'Ente Zona Industriale [23] (figura 1). Pochissime zone, oltre a quella di Venezia, possono vantare un così capillare e costante controllo al suolo dei livelli di SO<sub>2</sub>. La prima rete infatti fornisce le concentrazioni medie orarie (più gli eventuali allarmi sulle mezz'ore che superano gli standards di legge), la seconda fornisce le concentrazioni medie sulla mezz'ora; entrambe poi completano il controllo dell'ambiente con la misura continua dei principali parametri meteorologici. Tali reti sono nate essenzialmente come strumenti di controllo della qualità dell'aria; il nostro intervento ha comunque permesso l'archiviazione dei dati orari e semi-orari in forma compatibile con le esigenze della programmazione su elaboratore elettronico.

I risultati precedentemente ottenuti possono essere così

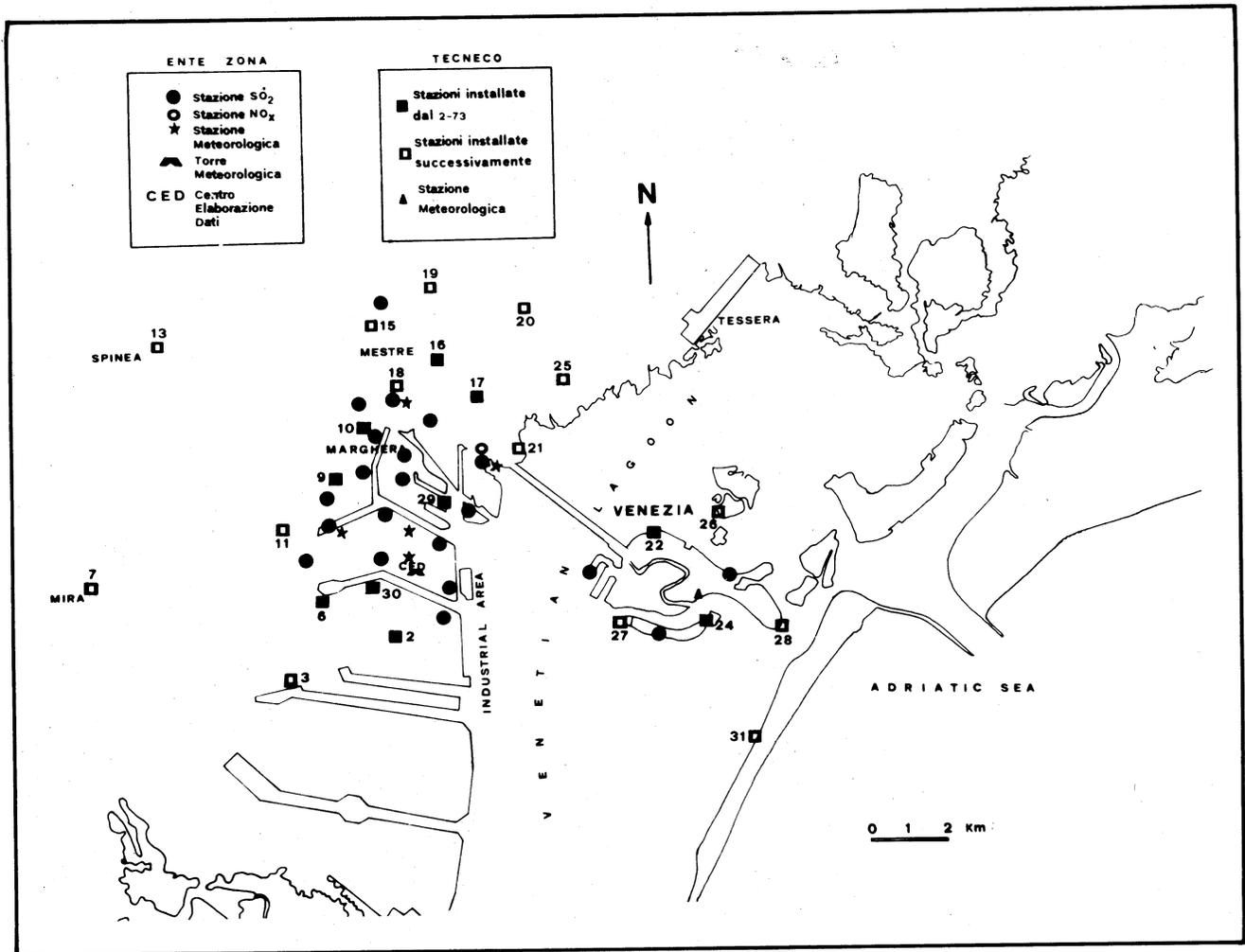
riassunti: un'analisi meteorologica dell'area in esame [11, 21] ha permesso di evidenziare l'andamento generale dei venti, il fenomeno di brezza, la stabilità atmosferica e le principali direzioni di trasporto dell'inquinamento dovuto a SO<sub>2</sub>; l'applicazione di un modello gaussiano di tipo climatologico per la simulazione del campo di concentrazione di SO<sub>2</sub> [21, 22] ha fornito risultati in buon accordo con i corrispondenti valori di concentrazione misurati al suolo. Il sopracitato modello è stato applicato utilizzando i soli dati delle emissioni industriali (censimento del 1972) relativamente al periodo maggio-settembre 1973 (il periodo invernale avrebbe implicato infatti la conoscenza delle emissioni di tipo domestico nelle zone Mestre-Marghera-Venezia).

Utilizzando i dati dell'ultimo censimento della popolazione italiana, avvenuto nel 1972, si sono ottenute preziose informazioni sulla distribuzione degli edifici e le caratteristiche dei loro impianti di riscaldamento. In tale modo si è potuto dividere la zona Venezia-Mestre-Marghera in 272 sezioni per ognuna delle quali è stato possibile calcolare l'emissione annua di SO<sub>2</sub> dovuta a riscaldamento. È stata così applicata la versione climatologica del modello gaussiano anche per la simulazione del periodo invernale [13]. Tale applicazione è stata sviluppata trascurando sia l'eventuale presenza di uno strato di inversione, sia il decadimento chimico dell'SO<sub>2</sub>.

Il modello è stato applicato utilizzando i dati meteorologici rilevati dalla rete dell'Istituto Superiore di Sanità — ENI (Tecneco) per il calcolo delle concentrazioni medie stagionali relative al periodo 1-3-73 - 28-2-75. Il calcolo è stato fatto nei dieci punti corrispondenti alle dieci stazioni della stessa rete che hanno misurato i livelli di SO<sub>2</sub> lungo l'intero periodo. Si è potuto così operare un confronto misurato-calcolato.

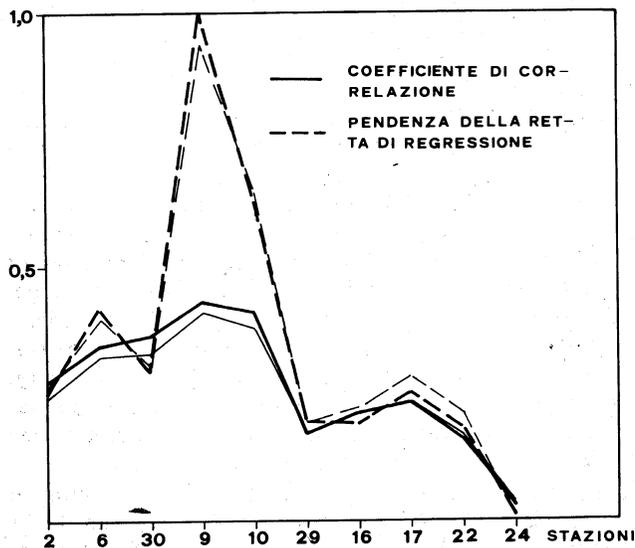
A questo proposito va evidenziato che l'analisi dei risultati del modello, unitamente ad altre analisi parallele, ha permesso di stimare nel 1974 una riduzione di circa il 15% rispetto al 1973 per quanto riguarda l'emissione totale di SO<sub>2</sub> dovuta alla zona industriale; tale confortante diminuzione ha provocato un proporzionale abbassamento dei livelli di inquinante nell'intera zona ed una diminuzione dei superamenti dei limiti di legge. Il confronto tra i valori misurati e calcolati dal modello è soddisfacente soprattutto per quanto riguarda le stazioni situate nelle zone urbane di Mestre e Marghera, mentre una maggiore discrepanza si verifica per le stazioni situate in aree che presentano discontinuità superficiali o forti emissioni termiche (isole di calore).

La già buona correlazione ottenuta tra valori misurati e valori calcolati è stata ulteriormente migliorata [14] attraverso una modifica « ragionata » dei criteri di iden-



1. Area veneziana e reti di misura installate.

2. Coefficiente di correlazione e pendenza della retta di regressione relativi ai valori orari misurati e calcolati per ogni stazione. Le linee più marcate corrispondono all'analisi dei soli casi di persistenza del vento (e così per tutte le figure successive).



tificazione della stabilità atmosferica nella zona in esame. Tale risultato ha confermato il ruolo significativo che gioca la stabilità atmosferica nei confronti del fenomeno fisico, ed ha evidenziato la necessità di promuovere campagne di misura atte alla definizione degli esatti coefficienti di diffusione nell'area in esame.

### Stabilità atmosferica e concentrazioni medie orarie

I buoni risultati forniti dal modello gaussiano per la simulazione delle medie stagionali hanno portato ad operare un'analisi più approfondita della formula base di tale metodologia. Particolare attenzione è stata rivolta alla « sensibilità » del modello alle variazioni della stabilità atmosferica, il cui comportamento non risultava molto coerente con la teoria del fenomeno.

Prima di analizzare i risultati di tale indagine va precisato che la formula gaussiana fornisce la concentrazione media oraria noti che siano i valori medi orari dei parametri meteorologici e la portata costante di emissione di inquinante. Alle approssimazioni della formula ed alle indeterminazioni sui dati necessari ad applicarla si aggiunge, nel nostro caso, una notevole incertezza della direzione del vento che è registrata con una indeterminazione di  $\pm 22^\circ 30''$ . Da qui l'impossibilità di utilizzare la formula gaussiana rigorosa contenente il termine relativo alla diffusione orizzontale in funzione della stabilità atmosferica: anche nel caso della simulazione del valore medio orario di concentrazione si è dovuto quindi assumere la uniforme distribuzione dell'inquinante entro il settore opposto a quello di provenienza del vento, ipotesi questa giustificata però soltanto nel caso di medie

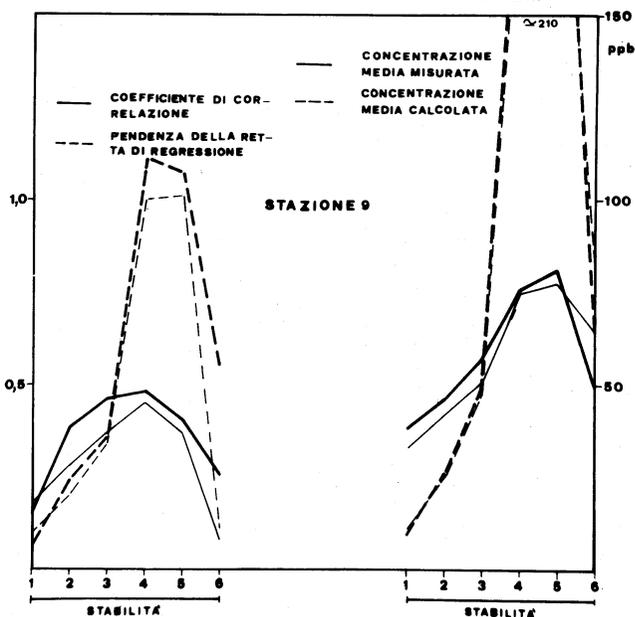
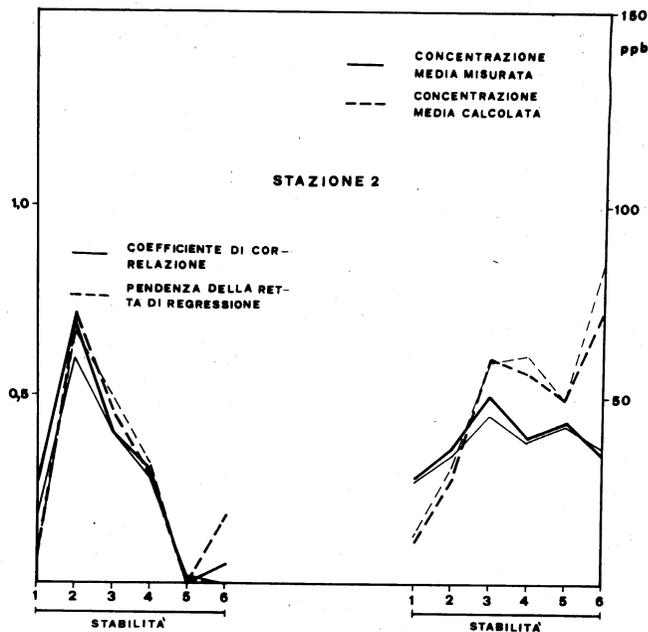
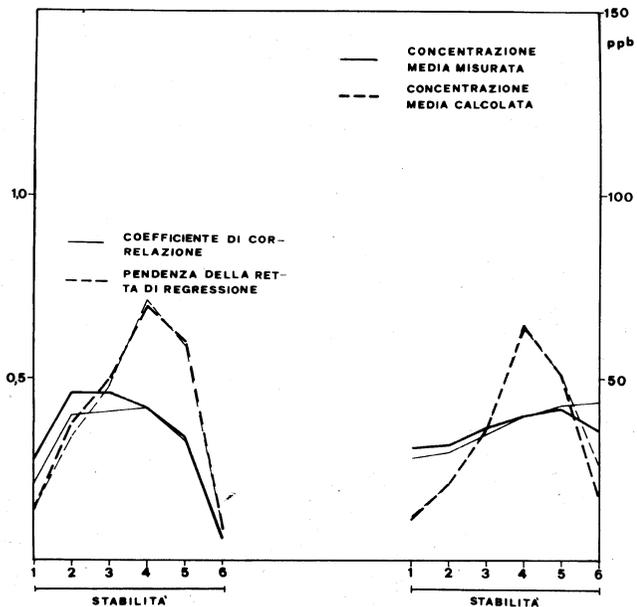
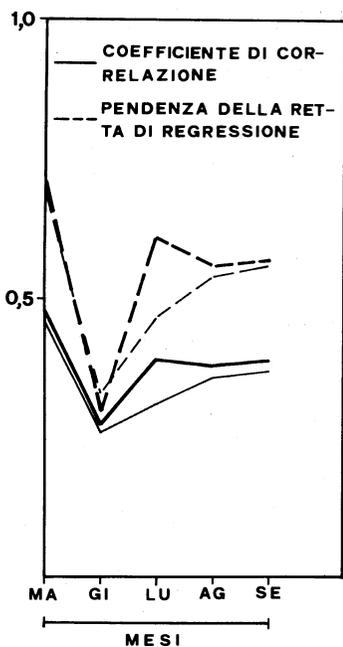
a lungo termine e che introduce quindi, nel presente caso, un'ulteriore indeterminazione. Tenendo presenti le riserve sopra esposte, si passa ora ad analizzare i risultati ottenuti. Per questa analisi si è scelto il periodo maggio/settembre 1973 in modo da ridurre al minimo l'incertezza sulle emissioni di SO<sub>2</sub> nell'area esaminata.

In figura 2 si può notare per ogni stazione l'andamento del coefficiente di correlazione e della pendenza della retta di regressione delle due serie di concentrazioni medie orarie misurate e calcolate dal modello gaussiano durante il periodo maggio/settembre 1973; nella stessa figura è mostrato il lieve guadagno che si ottiene filtrando i dati orari in modo da considerare solo i casi di persistenza della direzione del vento (cioè un dato orario viene considerato solo quando la direzione del vento di quell'ora è identica alla direzione dell'ora precedente): in definitiva si presentano comunque valori molto bassi di correlazione (massimo 0,43), e questi tendono a diminuire a mano a mano che si considerano stazioni più lontane dalle sorgenti di emissione.

Una seconda analisi è illustrata in figura 3 dove è dia-

3. Coefficiente di correlazione e pendenza della retta di regressione relativi ai valori orari misurati e calcolati in tutte le stazioni per ogni mese.

4. Coefficiente di correlazione e pendenza della retta di regressione relativi ai valori orari misurati e calcolati in tutte le stazioni per ogni classe di stabilità (1 = molto stabile, 6 = molto instabile). Concentrazioni medie misurate e calcolate per ogni classe di stabilità: valori mediati su tutte le stazioni.



5. Analoga alla figura 4 per le sole stazione 2 e 9.

grammato, mese per mese, l'andamento del coefficiente di correlazione delle due serie di concentrazioni orarie (misurate e calcolate) contenenti i dati relativi a tutte le stazioni. Anche in questo caso è visibile il lieve guadagno ottenuto filtrando i soli casi di persistenza del vento: il coefficiente di correlazione rimane comunque su valori piuttosto bassi (massimo 0,48).

In figura 4 invece abbiamo l'andamento complessivo, per il periodo maggio/settembre 1973 e per tutte le stazioni, del coefficiente di correlazione misurato-calcolato per ogni classe di stabilità; viene dato inoltre il valore medio di concentrazione delle due serie per ogni classe di stabilità. Tale figura permette di confermare il lieve miglioramento della correlazione nei casi di sola persistenza del vento: il coefficiente di correlazione rimane comunque su valori molto bassi (massimo 0,46). Va notato come i valori simulati dal modello gaussiano siano molto sensibili alla variazione della stabilità atmosferica, mentre invece i corrispondenti valori misurati mostrano una certa costanza; tale risultato conferma che tutta la definizione della stabilità atmosferica andrebbe

rivista in funzione di una applicazione particolare del modello nell'area veneziana.

L'analisi illustrata in figura 4 è stata ripetuta stazione per stazione: in figura 5 sono riportati due esempi relativi alle stazioni 2 e 9.

La stazione 2 mostra un discreto andamento del coefficiente di correlazione misurato-calcolato (0,70 in caso di persistenza della direzione del vento e con classe di stabilità 2); rimane comunque l'eccessiva sensibilità del modello al variare della stabilità atmosferica. La stazione 9 mostra, oltre a più bassi valori di correlazione (massimo 0,48), una fortissima sovrastima del modello in corrispondenza alle classi di stabilità 4 e 5; questo risultato evidenzia le particolari condizioni che producono la sistematica sovrastima del misurato rispetto al calcolato per questa stazione.

Un risultato conclusivo a questo proposito è stato ottenuto tramite un filtraggio dei dati di concentrazione orari in modo da considerare le sole coppie misurato-calcolato in corrispondenza a persistenza della direzione del vento dalla zona industriale verso la stazione in esame: in figura 6 abbiamo il confronto, per diverse stazioni, dei livelli medi misurati e calcolati, al variare della stabilità, secondo il criterio sopra esposto.

In tale modo, su cinque mesi di dati, si vengono ad analizzare pochi casi, ma molto significativi per il fenomeno fisico in esame. In risultati mostrano una enorme sovrastima del calcolato rispetto al misurato in corrispondenza alle classi di stabilità 3 e 4. L'andamento generale di tale confronto mostra una completa discordanza del modello rispetto al misurato ed evidenzia quindi i limiti di tale formulazione. Si può concludere quindi che, con i dati in nostro possesso e con la stima della stabilità atmosferica secondo il criterio di Pasquill, l'ipotesi gaussiana si dimostra valida per la sola simulazione delle medie a lungo termine: in tal modo infatti la sovrastima di

alcune condizioni meteorologiche è compensata da tutti quei casi in cui il modello fornisce concentrazione nulla nonostante la presenza di un « fondo » di SO<sub>2</sub> sui dati misurati; in tale visione « climatologica » i coefficienti di dispersione forniti in letteratura [1, 10, 17, 18] risultano soddisfacenti nell'applicazione pratica.

La figura 6 evidenzia inoltre la pericolosità nell'utilizzo della formula gaussiana « oraria » a scopi decisionali o, più in generale, per la pianificazione del territorio. Una indagine di questo tipo necessita infatti di un'analisi di tipo climatologico che tenga conto cioè del peso diverso di ogni componente meteorologica sul livello medio di inquinante.

I risultati ottenuti, se da una parte confermano riserve e perplessità già precedentemente esposte [20] a proposito di formule semiempiriche quali la formula gaussiana, d'altra parte autorizzano pure ad operare delle riserve sulle conclusioni che si possono trarre da lavori [9] che non tengono conto della sovrapposizione degli effetti operata dal modello « climatologico ».

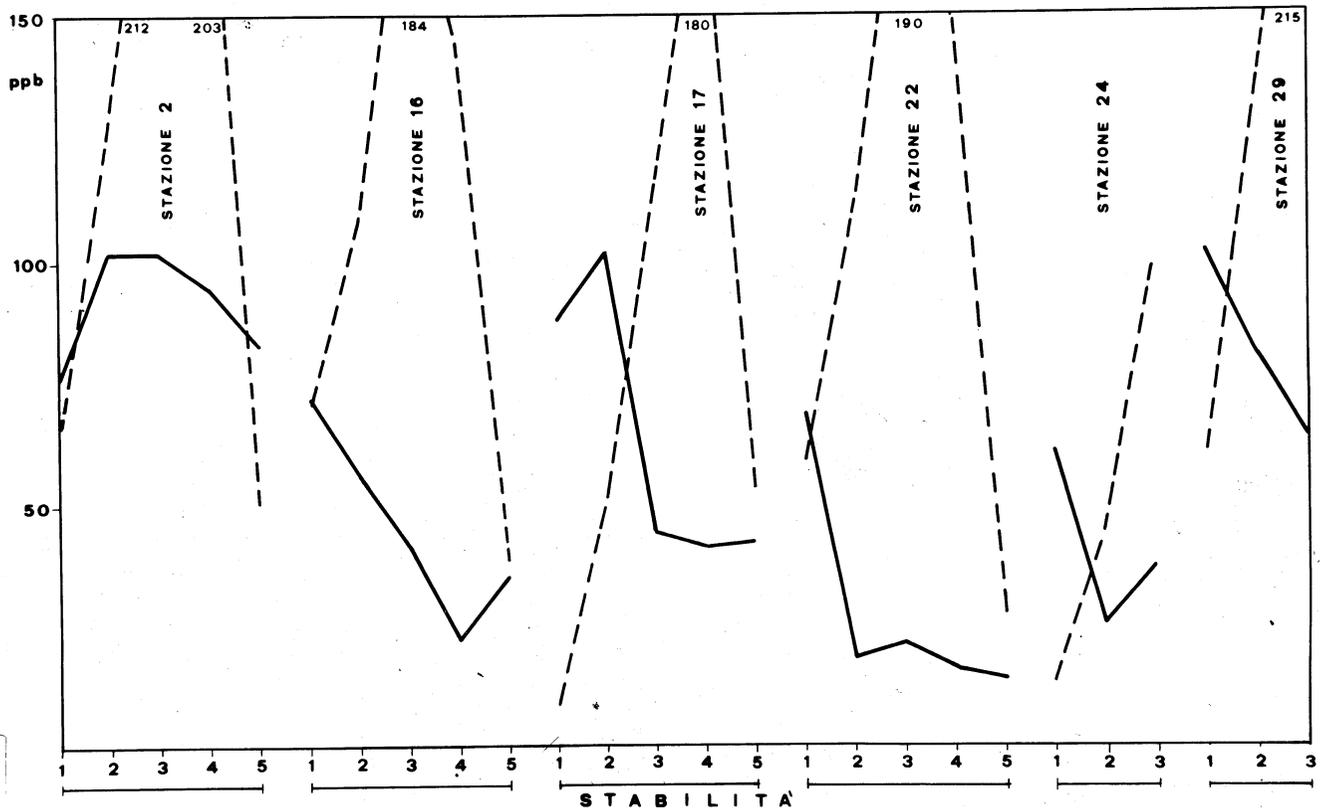
Non è corretto infatti prevedere il contributo ai livelli di inquinamento di una zona basandosi sulle condizioni meteorologiche più frequenti in quanto:

- 1 - spesso sono le condizioni meteorologiche meno frequenti che contribuiscono maggiormente alla crescita dei livelli medi di inquinamento (caso tipico di Venezia)
- 2 - non è sicura la stima dei coefficienti di diffusione in corrispondenza a precise situazioni meteorologiche.

#### Ringraziamenti

Si desidera ringraziare l'Istituto Superiore di Sanità, la Società Tecneco (ENI), la Regione Veneta, il COSES di Venezia, la Veneziana Gas e l'Ente Zona Industriale di Porto Marghera per la gentile collaborazione dimostrata

6. Concentrazioni medie misurate (linea continua) e calcolate (linea tratteggiata) in corrispondenza a persistenza di vento proveniente dalla zona industriale: confronto per diverse stazioni al variare della stabilità atmosferica.



durante la raccolta dati e la consulenza fornita.

Un particolare ringraziamento va poi al dott. S. Boscolo ed al sig. M. Fantini del Centro Scientifico IBM di Venezia che collaborano attivamente alla raccolta ed all'organizzazione dei dati.

## Bibliografia

- [1] American society of mechanical engineers (1966): Recommended guide for the prediction of the dispersion of airborne effluents. New York.
- [2] Calder K.L.: *A climatological model for multiple source urban air pollution* - Nato Committee on the Challenges of Modern Society, Air Pollution N° 5, 1971.
- [3] Camuffo D. e Fassina V.: *Stratificazione della bassa atmosfera e correlazione con la concentrazione di SO<sub>2</sub> in Venezia* - Atti del Convegno « Sep-Pollution '74 », Editore Fiera di Padova, 1974.
- [4] Detrie J.P.: *La pollution atmosphérique* - Dunod, 1969.
- [5] Falanga E., Preti P. e Rossi Brunotti E. M.: *La determinazione del numero delle stazioni di rilevamento* - Relazione PROT/COAM N° 255, Istituto Superiore di Sanità, 1974
- [6] Gifford F.A. e Hanna S.R.: *Urban air pollution modelling* - Paper ME-320, 2° International Clean Air Congress, Whashington, 1970.
- [7] Luna R.E. e Curch H.W.: *A comparison of turbulence intensity and stability ratio measurements to Pasquill turbulence types* - Conference on Air Pollution Meteorology, Raleigh, North Carolina, 1971.
- [8] Martin D.O.: *An urban diffusion model for estimating long term average values of air quality* - Journal of Air Pollution Control Association, gennaio, 1971.
- [9] Paratella A., Marani A., Gola E. e Evezù F.: *Incidenza di nuovi insediamenti industriali sull'inquinamento del centro storico veneziano* - « Ambiente e Risorse », 2° Convegno, Bressanone, 1974.
- [10] Pasquill F.: *Atmospheric diffusion* - D. van Nostrand, 1962.
- [11] Runca E. e Zannetti P.: *Una indagine preliminare sul problema dell'inquinamento atmosferico nell'area veneziana* - IBM Centro Ricerca Venezia, Rapporto Tecnico CRV007/513-3522, (1973).
- [12] Runca E.: *An introduction to the Venice air pollution problem* - Proceedings of the 5th Meeting NATO/CCMS Expert Panel on Air Pollution Modeling, N° 35, 1974.
- [13] Runca E., Melli P. e Zannetti P.: *Simulation of SO<sub>2</sub> dispersion in the Venetian area* - Proceedings of the 6th NATO/CCMS International Technical Meeting on Air Pollution Modeling. Battelle Institut E.V., Frankfurt/Main, 1975.
- [14] Runca E., Melli P., Zannetti P.: *An application of air pollution models to the Venetian area* - Seminar on air pollution modelling, Venice IBM S.C. novembre 1975, 1976.
- [15] Sabetta F., Cedenese A., Canuti V., Liberti A. e Piva R.: *Valutazione dell'inquinamento da biossido di zolfo nella regione Lazio. Emissione e modello diffusivo*. « Sep-Pollution '74 », Editrice Fiera di Padova, 1974.
- [16] Shieh L.J., Halpern P.K., Clemens B.A., Wang H.H. e Abraham F.F.: *The IBM air quality diffusion model with an application to New York City* - Palo Alto Scientific Center IBM, 1971.
- [17] Slade D.H.: *Meteorology and atomic energy* U.S. Atomic Energy Commission, Division of technical information, 1968.
- [18] Stern A.C.: *Air Pollution* - Academic Press vol. 1, 1968.
- [19] Turner D.B.: *A diffusion model for an urban area* - Journal of Applied Meteorology, 3, 1964.
- [20] Zannetti P.: *Nota tecnica sull'uso delle formule semiempiriche per lo studio dell'inquinamento atmosferico* - Atti del congresso « Ambiente e Risorse », 1° Convegno, Bressanone, 1973
- [21] Zannetti P. e Runca E.: *Studio dell'inquinamento atmosferico nell'area veneziana mediante l'uso di un modello di diffusione gaussiano* - Atti del congresso « Ambiente e Risorse », 2° convegno, Bressanone, 1974.
- [22] Zannetti P. e Runca E.: *Validità della applicazione di un modello gaussiano di tipo climatologico nell'area veneziana* - Inquinamento n. 5, anno XVII, Etas Kompass, 1975.
- [23] Zilio-Grandi F.: *Ricerche sulla qualità dell'aria nella zona di Porto Marghera, Mestre e Venezia* - Atti del convegno « Ambiente e Risorse », 2° convegno, Bressanone, 1974.

