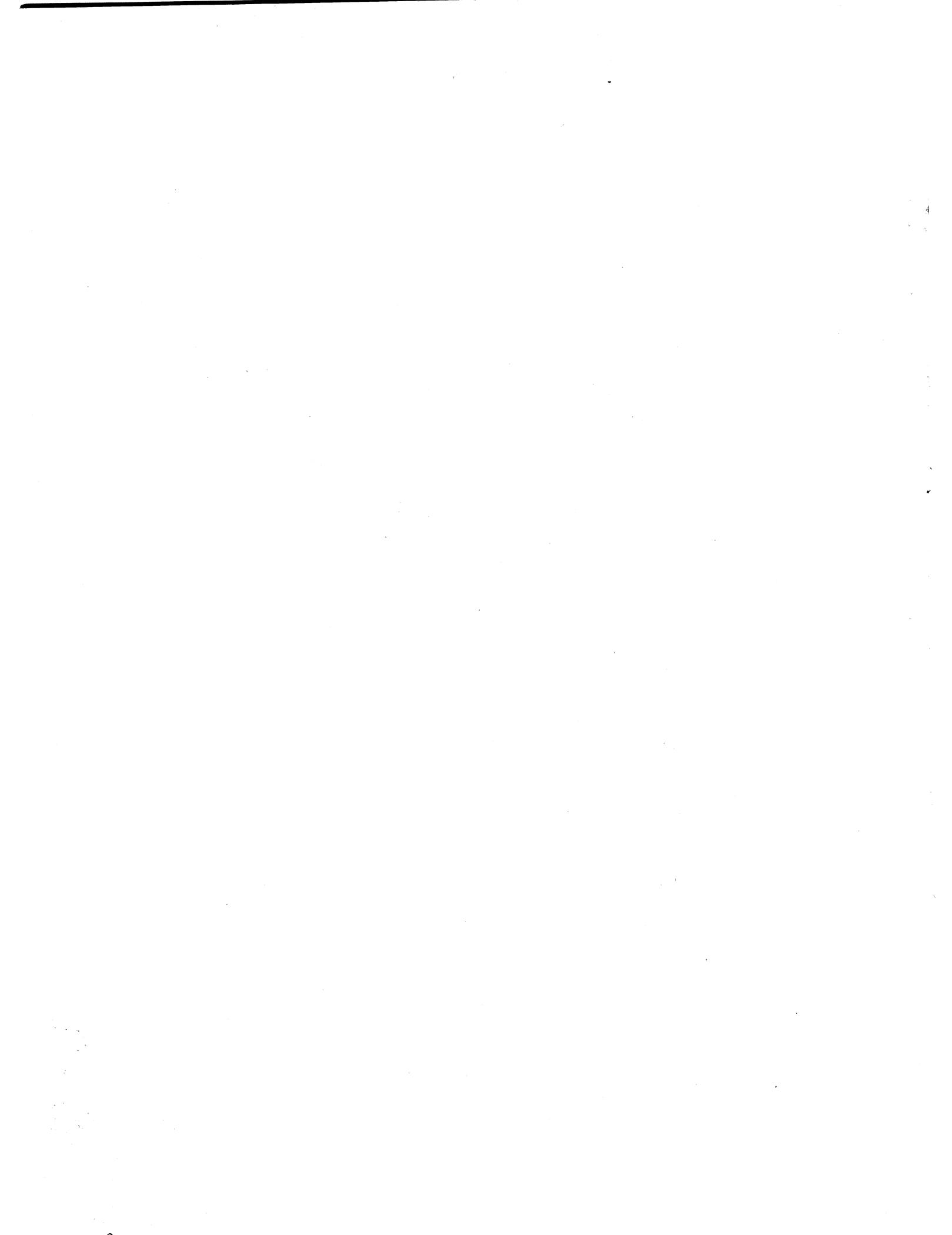


Validità della applicazione di un modello gaussiano di tipo climatologico nell'area veneziana

di P. Zannetti
E. Runca



Validità della applicazione di un modello gaussiano di tipo climatologico nell'area veneziana

di P. Zannetti
E. Runca

This study tests the possibility of describing the dispersion of atmospheric pollutants, in a complex coastal zone such as the Venetian Area, by means of a Gaussian type diffusion model. The model is based on the assumption that the pollutant has a Gaussian distribution along the vertical and is uniformly distributed crosswind in each sector of the wind-rose. Since data about the emissions of the area-sources were unknown, the model has been applied only to simulate the concentration field due to the SO₂—emissions of the industrial point-sources. Using meteorological data recorded on an hourly-basis and the above mentioned emission data, SO₂ monthly average concentrations were computed for the non-heating season in order to assume the contribution of commercial and domestic sources as negligible. The results were compared with the concentration values recorded at ten stations of the ISS-ENI-Tecneco network during the period May-September 1973. In this comparison a correlation coefficient equal to 0.847 was obtained. The general agreement between the model results and the measured data showed the validity of the applied technique for simulating long-term average concentrations in the Venetian area and its applicability for land planning purposes in order to improve the air quality level.

Lo studio della diffusione di un effluente gassoso rilasciato nella atmosfera è stato oggetto di intensa ricerca negli ultimi anni a causa del verificarsi in zone urbane ed industriali di alti livelli di inquinamento con conseguente deterioramento dell'ambiente e con danno alla salute dell'uomo.

L'obiettivo fondamentale di tale studio è la formulazione di un modello che metta in relazione la quantità di inquinante emessa, le condizioni meteorologiche e le caratteristiche locali dell'ambiente dove l'inquinante si disperde, con la concentrazione che dello stesso inquinante emesso si determina nell'atmosfera. La diluizione di un inquinante è conseguenza dell'azione di trasporto del vento e dell'azione di mescolamento esercitata dallo stato di turbolenza dell'atmosfera. La non ancora completa comprensione del fenomeno della turbolenza, ed in genere dei fenomeni fisici che governano la dinamica della bassa atmosfera, impedi-

sce la formulazione rigorosa di un modello atto a descrivere i fenomeni di diffusione che avvengono nella atmosfera.

Ciò determina la necessità di valutare la diluizione di un inquinante nell'atmosfera con modelli semiempirici. Tra questi il più noto in letteratura si basa sulla formulazione che il Sutton (1932, 1947) aveva proposto estendendo i concetti statistici sviluppati dal Taylor (1935) ed è noto come «Gaussian plume model» (Pasquill 1962).

Tale formulazione è stata usata da diversi autori (Pooler 1961, Turner 1964, Shieh 1971, Calder 1971, Martin 1971, etc.) come base per la realizzazione di modelli per la simulazione del campo di concentrazione in zone urbane ed industriali.

Questi modelli possono essere divisi in due categorie: quelli che simulano il campo di concentrazione medio orario o giornaliero (Turner 1964, Shieh 1971) e quelli che simulano il campo di concentrazione medio mensile (Pooler 1961) e stagionale (Calder 1971, Martin 1971).

I modelli di diffusione di quest'ulti-

mo tipo si dicono climatologici dato che mettono in risalto l'influenza del clima locale sul livello medio a lungo termine di qualità dell'aria.

In questo articolo si discute l'applicazione di un modello gaussiano di tipo climatologico per la simulazione nell'area Veneziana del campo di concentrazione medio mensile e stagionale causato dalle emissioni di anidride solforosa di origine industriale.

Formulazione del modello matematico

La realizzazione di un modello di diffusione per la simulazione del campo di concentrazione determinato in una certa area dalle quantità di anidride solforosa rilasciate nell'atmosfera richiede la conoscenza dei dati relativi alle emissioni, ai parametri meteorologici ed alla geografia locale; è necessaria inoltre una relazione matematica che, in funzione dei dati precedenti, valuti la diluizione dell'inquinante emesso.

Nel caso che la rosa dei venti non venga suddivisa in un numero trop-

po grande di settori è realistica l'ipotesi che l'effluente gassoso prodotto da una singola ciminiera si distribuisca solamente nel settore della rosa dei venti opposto a quello di provenienza del vento.

Essendo obiettivo del modello il calcolo delle concentrazioni medie su un arco di tempo mensile e stagionale si può ritenere che la distribuzione della direzione del vento all'interno di ogni settore della rosa dei venti sia uniforme.

Dalle ipotesi soprastanti consegue che, mediando la concentrazione su lunghi archi di tempo, questa può essere considerata uniforme lungo la direzione trasversale ad ogni settore della rosa dei venti.

Ricordiamo inoltre che la formulazione di tipo gaussiano comporta le seguenti assunzioni:

a - la distribuzione verticale della concentrazione è gaussiana con de-

viazione standard S_z ;

b - il terreno è completamente riflettente;

c - la diffusione verso l'alto non è impedita;

d - i parametri geografici e meteorologici presentano carattere di uniformità nell'area in esame;

e - si considera nulla la reattività chimica dell'anidride solforosa;

f - la concentrazione calcolata va riferita ad un intervallo di tempo entro il quale i parametri presenti nell'equazione rimangono costanti;

g - l'intervallo di tempo scelto deve essere tale da poter considerare il fenomeno come prossimo allo stazionario. In tal modo il flusso uscente attraverso la generica sezione trasversale ad ogni settore della rosa dei venti deve essere uguale alla quantità emessa.

Sotto tali ipotesi la formula di lavoro usata è la seguente:

$$C(R) = \sum_{P=1}^M \left(\frac{Q(P) \cdot N}{2^{1/2} \cdot \pi^{3/2} \cdot S_z(J, D_{P,R}) \cdot U \cdot D_{P,R}} \exp \left[- \frac{H^2(P)}{2 \cdot S_z^2(J, D_{P,R})} \right] \right)$$

Si assume che il valore di concentrazione valutato da tale formula sia una stima di quello medio orario. I simboli usati hanno il significato che segue:

$C(R)$: concentrazione media oraria di SO_2 nel punto R provocata dalle M emissioni presenti (kg/m^3);

$Q(P)$: portata di emissione di SO_2 della sorgente P ($P = 1, \dots, M$) (kg/sec);

N : numero di settori in cui è stata divisa la rosa dei venti;

J : classe di stabilità secondo il criterio del Pasquill;

$D_{P,R}$: proiezione sulla direzione del vento della distanza tra i punti P ed R (m);

$S_z(J, D_{P,R})$: deviazione standard verticale con stabilità J alla distanza $D_{P,R}$; valutata secondo le curve di Gifford (Slade 1968) (m);

U : velocità del vento (m/sec);

$H(P)$: altezza efficace della sorgente P (m).

Naturalmente dalla sommatoria

$\sum_{P=1}^M$ andranno esclusi quei termini corrispondenti a sorgenti P per le quali il punto R sia esterno al settore opposto a quello di provenienza del vento.

L'altezza efficace $H(P)$ della sorgente P è data dalla

$$H(P) = h_p + \Delta h$$

dove

h_p altezza effettiva della sorgente P
 Δh sovrainnalzamento (plume rise)
 Per Δh è stata scelta la formula sperimentale del CONCAWE:

$$\Delta h = 0,047 \frac{Q_h^{0,58}}{U^{0,70}}$$

dove Q_h (flusso di calore) è:

$$Q_h = c_p \cdot Q_v \cdot (T_g - T_a)$$

dove

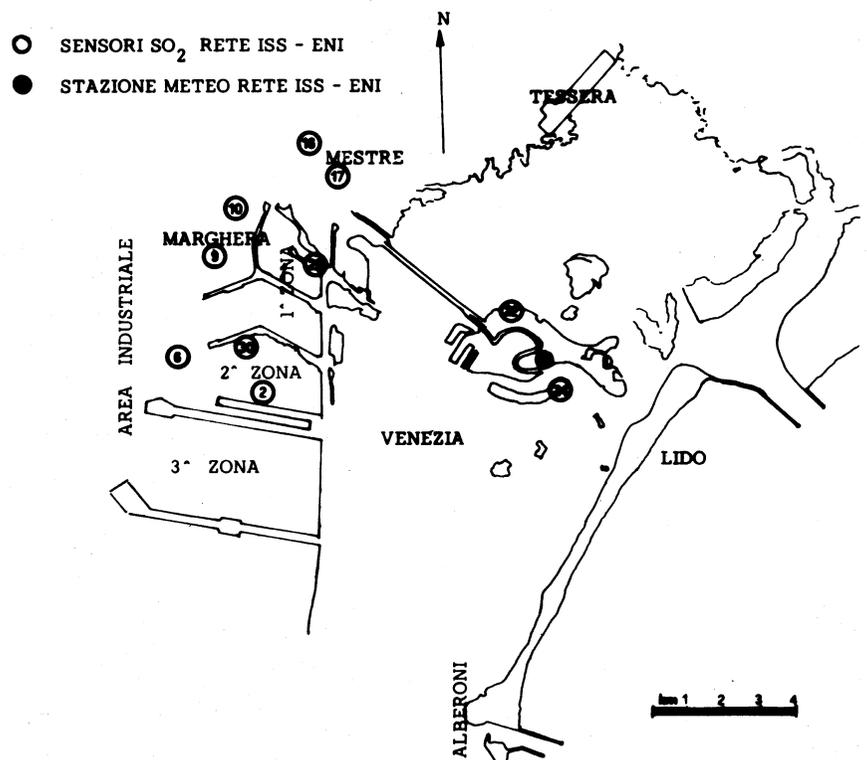
c_p : calore specifico a pressione costante dei fumi ($cal/m^3 \cdot ^\circ C$)

Q_v : portata volumetrica dell'emissione totale (Nm^3/sec)

T_g : temperatura dei gas ($^\circ C$)

T_a : temperatura ambiente ($^\circ C$)

Figura 1 - Area veneziana. E' evidenziata la rete dell'Istituto Superiore di Sanità - ENI (Tecneco).



Per il calcolo della velocità del vento all'altezza $H(P)$ dell'emissione P , si sono usate le formule:

$$U = U_m \cdot \left[\frac{H(P)}{H_m} \right]^{0,50}$$

in condizioni stabili

$$U = U_m \cdot \left[\frac{H(P)}{H_m} \right]^{0,25}$$

in condizioni neutrale e instabili

dove U_m è la velocità del vento (m/sec) misurata all'altezza H_m dal suolo (m).

Ritenendo di poter descrivere il fenomeno come una successione di stati stazionari, con la formulazione sopra illustrata si sono valutate le medie mensili e stagionali come medie delle medie orarie stimate. I risultati così ottenuti sono stati confrontati con le misure di SO_2 nella zona: tale confronto ha fornito indicazioni positive come vedremo in seguito.

Geografia locale

La zona oggetto di studio è l'area Veneziana; in essa si individuano due centri urbani (Mestre - Marghera e Venezia) ed una zona industriale situata ad Ovest rispetto al centro storico e separata da esso da una striscia di laguna di circa 5 km (figura 1).

In tale area la presenza di tre tipi differenti di superficie (mare, terra, laguna) e di isole di calore generate dai centri urbani ed industriali produce fenomeni meteorologici locali che si sovrappongono alla situazione meteorologica generale (Estoque 1961, Bornstein 1972). La circolazione locale delle masse d'aria può essere descritta solo in prima approssimazione con un « Gaussian Plume Model ». Va osservato però che la formulazione climatologica proposta, mediando il fenomeno su un lungo arco di tempo, rende possibile una riduzione del disturbo causato dai fenomeni locali.

Dati relativi alle emissioni

L'applicazione del modello proposto è stata limitata al calcolo del campo di concentrazione dovuto alle emissioni di anidride solforosa di origine industriale.

Una stima del valore medio di tali emissioni è stata ottenuta dalle de-

nunce presentate dalle industrie alla Regione Veneta in conformità al DPR del 15.4.71 n. 322. Osserviamo che, essendo noti solo i valori medi delle emissioni di anidride solforosa, il modello di diffusione doveva essere necessariamente orientato al calcolo di concentrazioni medie a lungo termine.

Dati meteorologici

I dati meteorologici usati sono quelli misurati nella stazione meteo installata a Venezia dall'ENI (Tecneco) per conto dell'Istituto Superiore di Sanità. In tale stazione vengono eseguite le registrazioni orarie dei parametri vento, temperatura, pressione, umidità, pioggia ed è registrato anche lo stato di copertura del cielo. Ciò ha permesso di classificare la turbolenza atmosferica secondo le categorie proposte dal Pasquill. La direzione del vento viene registrata secondo le otto direzioni principali della rosa dei venti, con una incertezza quindi di $\pm 22^\circ 30'$. Tale indeterminazione obbliga a valutare il valore di concentrazione su archi di tempo tali che la distribuzione della direzione del vento all'interno di ogni settore della rosa dei venti

possa considerarsi uniforme, in accordo quindi con le ipotesi assunte nella formulazione gaussiana di tipo climatologico.

Dati di concentrazione

I dati di concentrazione di anidride solforosa usati per il test del modello si riferiscono al periodo Maggio-Settembre 1973 e corrispondono a quelli registrati nelle dieci stazioni della rete installata dall'ENI (Tecneco) per conto dell'Istituto Superiore di Sanità (figura 1).

I valori di concentrazione registrati dai sensori vengono trasmessi ad un elaboratore elettronico centrale che provvede alla stampa dei valori di concentrazione medi orari, alla segnalazione degli allarmi in corrispondenza ai superamenti del limite sulla mezz'ora fissato dalla legge italiana (0,30 ppm), ed alla stampa di un riepilogo giornaliero con medie e statistiche.

Utilizzando i dati forniti dalle dieci stazioni sono state estratte le medie (misurate) mensili e quelle relative all'intero periodo maggio-settembre per controllare la validità del modello proposto.

Anticipiamo che durante tale con-

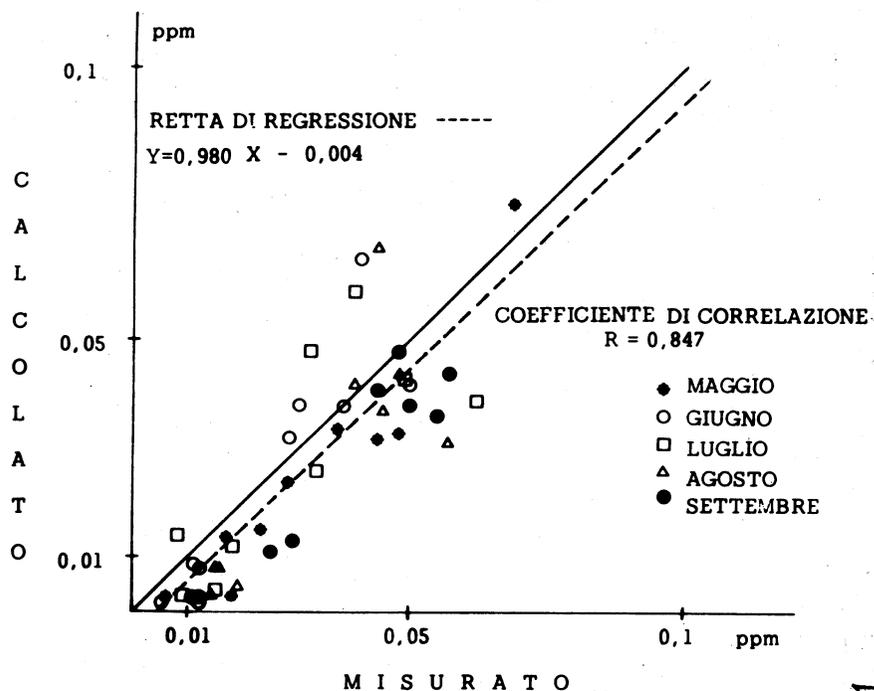
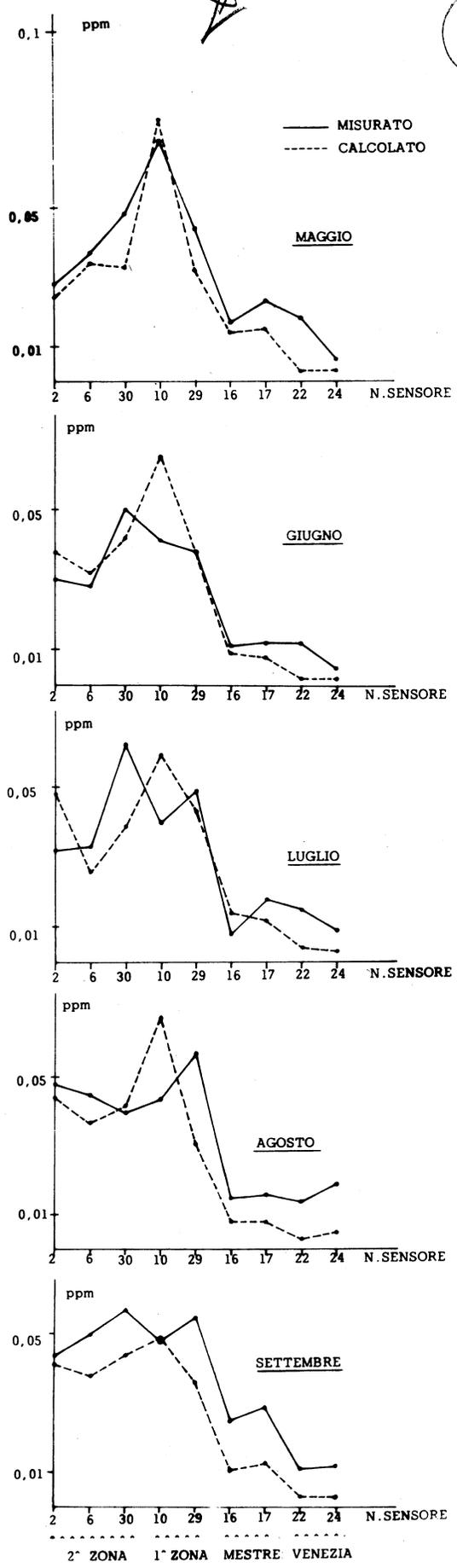


Figura 2 - Confronto tra i valori medi mensili di concentrazione di SO_2 misurati (linea continua) e calcolati (linea tratteggiata) durante il periodo maggio-settembre 1973.

Fig. 2

Figura 3 - Retta di regressione (tratteggiata) relativa ai valori di concentrazione di SO₂ medi mensili misurati e calcolati durante il periodo maggio-settembre 1973.



fronto il comportamento della stazione n. 9 (vedi figura 1) è risultato non descrivibile dal modello (sistematica sovrastima rispetto ai dati misurati).

Una analisi di tale fatto ha portato alla conclusione che la stazione n. 9 risente di fenomeni locali che il modello non considera. Si può tentare di dare una giustificazione pensando che, pur essendo rimasto grosso modo inalterato il quantitativo medio di anidride solforosa emessa, la distribuzione geografica dei punti di emissione sia mutata dal 1971 al 1973.

Sulla base delle precedenti considerazioni la stazione n. 9 è stata esclusa dal confronto con i risultati calcolati dal modello proposto.

Confronto tra i valori di concentrazione misurati e calcolati

Come già detto in precedenza il modello considera solo le emissioni industriali. Pertanto affinché abbia un senso il confronto tra valori di concentrazione misurati e quelli calcolati si devono considerare solo i mesi relativi al periodo in cui le emissioni di anidride solforosa dovute al riscaldamento degli ambienti siano assenti o perlomeno trascurabili (maggio-settembre).

A tale proposito con il nostro modello sono stati calcolati i valori di concentrazione medi mensili nei punti corrispondenti alle 10 postazioni dei sensori della rete dell'Istituto Superiore di Sanità - ENI (Tecneco). Il confronto tra i dati misurati e quelli calcolati è illustrato nella figura 2 relativamente al periodo maggio-settembre 1973 (stazione n. 9 esclusa).

I grafici indicano per ogni mese un accordo quantitativo considerevole specie se rapportato alla scarsità dei dati di input ed ai risultati conseguiti dai modelli analoghi presenti in letteratura. Ancora più rilevante è il risultato sul piano dell'accordo qualitativo come appare dalla figura 3 e come più chiaramente è espresso dalla valutazione della retta di regressione e del coefficiente di correlazione. Questi sono stati ottenuti analizzando le concentrazioni medie

mensili misurate nelle nove stazioni considerate e le corrispondenti concentrazioni medie mensili calcolate dal modello (periodo maggio-settembre 1973). Il risultato ottenuto per il coefficiente di correlazione è 0,847 (figura 3).

Confrontando infine le medie estese all'intero periodo maggio-settembre, si ottiene il risultato illustrato nella figura 4 dove si verifica un lieve miglioramento rispetto ai confronti della figura 3 confermando quindi la validità della procedura proposta.

I disaccordi tra i valori simulati dal modello e quelli misurati sono conseguenza della scarsità dei dati input di emissione e meteorologici, e dei limiti del modello espressi dalle assunzioni sotto le quali il modello stesso risulta valido.

A queste si deve aggiungere che:

- la formula usata per il calcolo del sovrainnalzamento dei fumi può non essere la più appropriata alle caratteristiche del fenomeno nell'area Veneziana;
- la valutazione di S₂ mediante le curve di Gifford è inaccurata a causa della diversità tra l'ambiente Veneziano e quello per cui le curve sono state originariamente tracciate;
- il modello utilizza una formulazione che è tanto più inaccurata quanto più i venti sono deboli.

Infine occorre ricordare che sono state considerate solo le emissioni industriali; ora se è vero che durante il periodo maggio-settembre il riscaldamento è nullo, è anche vero che le attività commerciali e sociali (alberghi, ospedali, inceneritori, etc.) contribuiscono alla emissione di anidride solforosa.

Queste emissioni non sono state incluse nel modello e, per quanto generalmente trascurabili rispetto alle emissioni di origine industriale, possono acquistare un'importanza notevole in conseguenza di una eventuale loro vicinanza ai sensori della rete di misura di SO₂.

Conclusioni

I risultati presentati hanno messo in evidenza che è possibile con un modello gaussiano di tipo climatologico valutare nell'area Veneziana il campo di concentrazione medio mensile e stagionale causato dalle emissioni di origine industriale. Includendo in tale modello le emissioni dovute al riscaldamento ed alle attività urba-

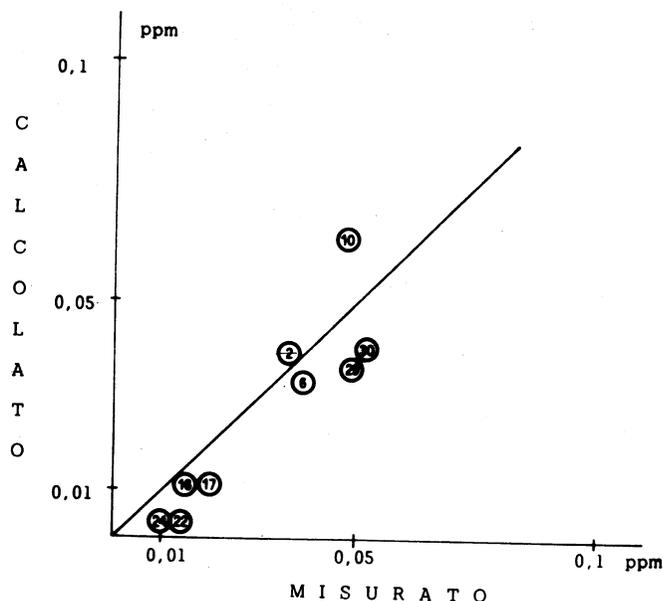
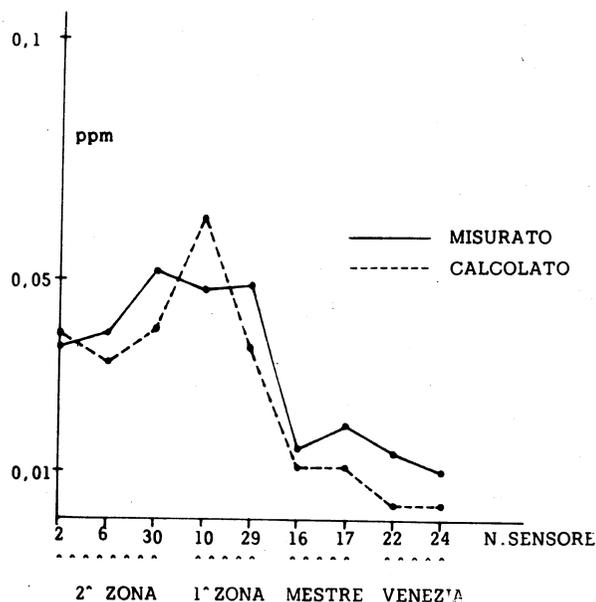


Figura 4 - Confronto tra i valori di concentrazione di SO₂ medi misurati e calcolati sull'intero periodo da maggio a settembre 1973.

ne in generale e superando alcuni dei limiti della metodologia proposta si potrà quindi realizzare uno strumento in grado di:

- descrivere la distribuzione del campo di concentrazione medio mensile e stagionale nell'area Veneziana;
- valutare gli effetti che sul campo di concentrazione possono essere causati da un cambiamento della distribuzione geografica delle emissioni o delle quantità emesse;
- fornire una base di valutazione per il posizionamento delle stazioni di rilevamento.

Conseguentemente un modello come quello descritto può essere utilizzato negli studi di pianificazione dell'area Veneziana.

(*) Dal gennaio 1974 le stazioni della rete ISS-ENI (Tecneco) che misurano anidride solforosa sono state portate a ventiquattro.

Ringraziamenti

Ringraziamo l'Istituto Superiore di Sanità e l'ENI (Tecneco) che hanno reso disponibili i dati relativi alla loro rete di misure meteo e di SO₂; ringraziamo la Regione Veneta per i dati relativi alle emissioni di origine industriale.

Un particolare ringraziamento infine ai ricercatori della Tecneco di Venezia per il proficuo scambio di informazioni e suggerimenti.

Bibliografia

- American society of mechanical engineers: *Recommended guide for the prediction of the dispersion of airborne effluents* - New York.
- Bornstein, R.D.: *Two dimensional, non-steady numerical simulations of nighttime flows of a stable planetary boundary layer over a rough warm city* - Ph. D. Thesis, Department of Meteorology & Oceanography, New York University - Available from University Microfilm Inc., 1972.
- 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.
- Détrie, J.P.: *La Pollution Atmosphérique* - Dunod, 1969.
- Estoque, M.A.: *A theoretical investigation of the sea breeze* - Quart. J.R. Meteor. Soc., 87, 136-146, 1961.
- 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.
- Gifford, F.A.: *Atmospheric diffusion in a Urban area* - II IRPA Conference, Brighton, England, 1970.
- Luna, R.E. e Church, H.W.: *A comparison of turbulence intensity and stability ratio measurements to Pasquill turbulence types* - Conference on Air Pollution Meteorology, Raleigh, North Carolina, 1971.
- Martin, D.O.: *An urban diffusion model for estimating long term average values of air quality* - Journal of Air Pollution Control Association, gennaio, 1971.
- Munn, R.E.: *Descriptive micrometeorology* - Academic Press, 1966.
- Pasquill, F.: *Atmospheric diffusion* - D. Van Nostrand, 1962.
- Pooler, F.: *A prediction model of mean urban pollution for use with standard*

wind roses - Internat. J. Air and Water Pollution, 4, 199-211, 1961.

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.

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.

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.

Slade, D.H. (editore): *Meteorology and atomic energy* - U.S. Atomic Energy Commission, Division of technical information, 1968.

Stern, A.C. (editore): *Air Pollution* - Academic Press vol. 1, 1968.

Sutton, O.G.: *A theory of eddy diffusion in the atmosphere* - Proc. Roy. Soc. 135 (A), 142, 1932.

Sutton, O.G.: *The problem of diffusion in the lower atmosphere* - Quart. J. Roy. Met. Soc. 73 (317-318), 257-381, 1947.

Taylor, G.L.: *Statistical theory of turbulence*, Parts I-IV - Proc. Roy. Soc. 151 (A), 421-478, 1935.

Turner, D.B.: *A diffusion model for an urban area* - Journal of Applied Meteorology, 3, 1964.

Zannetti, P. e Runca, E.: *Meteorologia ed inquinamento nell'area Veneziana* - Atti del Convegno « Sep-Pollution '74 », Editrice Fiera di Padova, 1974.

Zannetti, P. e Runca, E. (in stampa): *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.

