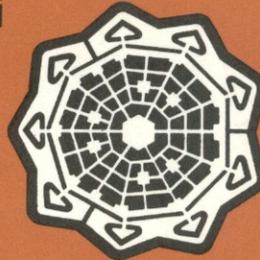


P-1

sep/pollution 74

5^a mostra internazionale dei
servizi pubblici
e delle tecniche
ed attrezzature
contro gli inquinamenti



padova • quartiere della fiera • 18-22 giugno 1974

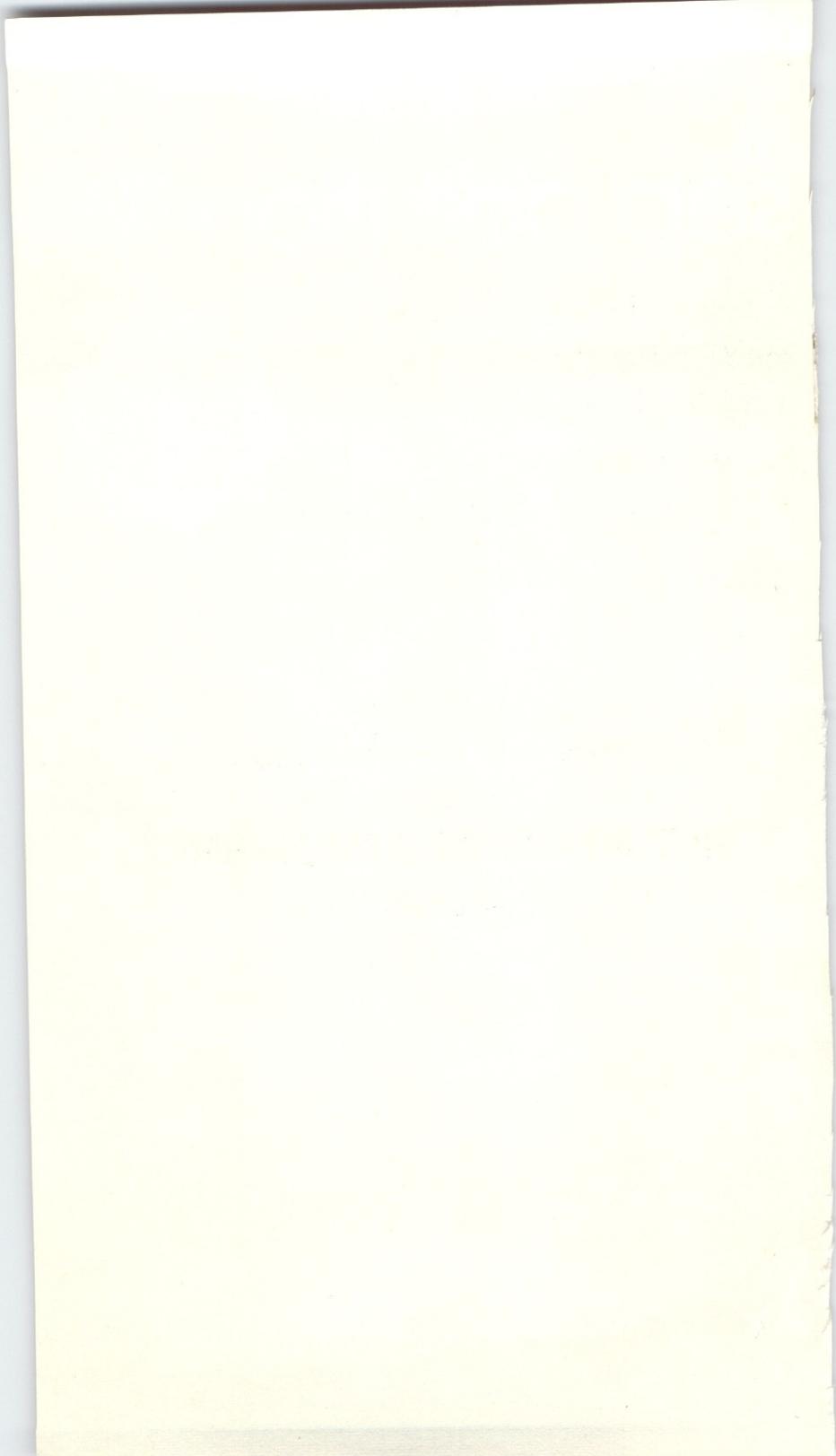
*Estratto dalla Giornata di Studio
sugli*

INQUINAMENTI ATMOSFERICI

19 giugno



EDITRICE FIERA DI PADOVA



METEOROLOGIA ED INQUINAMENTO NELL'AREA VENEZIANA

Dr. PAOLO ZANNETTI

Ing. ELIODORO RUNCA

Centro di ricerca IBM, Venezia

1. INTRODUZIONE

L'indagine delle condizioni d'inquinamento atmosferico di una particolare area deve svolgersi tenendo conto delle caratteristiche geografiche, climatiche e meteorologiche locali.

L'area oggetto del nostro studio è l'area veneziana dove il problema dell'inquinamento atmosferico acquista un particolare rilievo per l'effetto di deterioramento che sostanze contaminanti possono provocare al patrimonio artistico di Venezia.

La posizione geografica di Venezia è illustrata in fig. 1. In tale

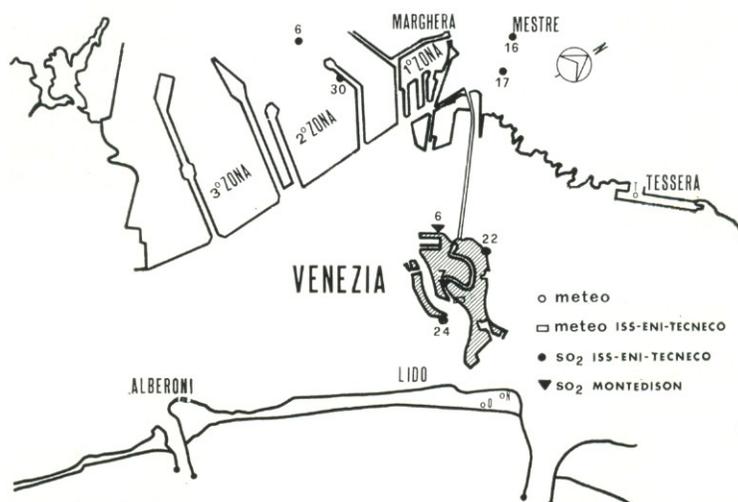


Fig. 1. — Area Veneziana. Sono evidenziati i punti corrispondenti a stazioni di misura i cui dati sono stati oggetto di analisi.

area si individuano due centri urbani (Mestre-Marghera e Venezia) ed una zona industriale situata ad Ovest dal centro storico e separata da questo da una striscia di laguna di circa 5 Km.

Caratteristica rimarchevole di questa zona è la presenza di tre tipi differenti di superfici: mare, terra, laguna: questa disomogeneità produce fenomeni meteorologici locali che si sovrappongono alla situazione meteorologica generale.

La descrizione della qualità dell'aria nell'area oggetto d'indagine dev'essere preceduta da una completa analisi della micrometeorologia locale; questo approccio al problema è nella linea di lavoro seguita dai gruppi di ricerca che conducono studi sulla modellizzazione del fenomeno dell'inquinamento atmosferico.

Utilizzando i dati meteorologici registrati in tre stazioni si è cercato di svolgere un'analisi sufficientemente completa della micrometeorologia locale. La mancanza di alcune rilevazioni non ha permesso di approfondire alcuni aspetti del fenomeno legati tipicamente alla diffusione degli inquinanti. Ad esempio si è identificato un effetto di brezza dall'analisi delle registrazioni al suolo, ma non si è potuto descrivere la struttura verticale di tale fenomeno mancando misure verticali dei parametri meteorologici.

Pertanto la determinazione dei parametri che caratterizzano la stabilità atmosferica è stata fatta con metodi standard la cui applicabilità in Venezia richiede un ulteriore approfondimento teorico e sperimentale.

Il capitolo 3 sviluppa le analisi meteorologiche effettuate e confronta l'andamento di alcuni parametri meteorologici con i livelli medi mensili d'inquinamento di SO_2 .

Il capitolo 4 presenta due tipi di applicazione dell'ipotesi di diffusione gaussiana per la simulazione del campo di concentrazione.

Pur essendo i dati in nostro possesso non del tutto soddisfacenti (e ci riferiamo non solo ai dati meteorologici, ma anche alla stima delle emissioni di SO_2) si è simulato l'andamento delle concentrazioni medie giornaliere di SO_2 applicando l'ipotesi di diffusione gaussiana.

Il confronto con i dati reali di SO_2 misurati dalle stazioni della rete I.S.S.-ENI presenta limitati punti di accordo con i dati forniti dal modello.

2. METEOROLOGIA

2.1. Regime dei venti

Sono stati analizzati i dati meteorologici relativi a tre stazioni nell'area in esame e precisamente (vedi fig. 1):

— Stazione Niccolo' (Lido) - periodo 1-1-51/28-2-61; dati triorari; altezza di misura 25 m.;

— Stazione Tessera - periodo 1-3-61/31-12-71; dati triorari; altezza di misura 12 m.;

— Stazione Ospedale al Mare (Lido) - periodo 1-1-61/31-12-71; dati orari; altezza di misura 25 m.

Data la similarità dei risultati ottenuti riportiamo a titolo esemplificativo le rose dei venti relative alla stazione di Tessera per i mesi di gennaio, aprile, luglio e ottobre.

L'indagine permette di fare le seguenti considerazioni:

- il settore di direzione prevalente è quello da Nord a Est;
- la configurazione della rosa mensile dei venti si modifica con gradualità passando dal periodo invernale a quello estivo;
- la frequenza dei venti nel settore da Est a Sud (settore dei venti spiranti dal mare verso Venezia e terraferma) è debole nei mesi invernali e consistente nei mesi estivi;
- la frequenza dei venti nel settore da WSW a NNW (settore dei venti spiranti dalla zona industriale verso Venezia) è superiore alla media nei mesi invernali, ed inferiore nei mesi estivi;
- l'intensità del vento è generalmente medio debole con una discreta percentuale di situazioni di calma.

2.2 Effetto di brezza

Filtrando dalle misure anemologiche i soli dati relativi alle ore sinottiche locali 01-07-13-19 con velocità del vento inferiore a 10 Km/h, si è potuto evidenziare l'effetto di brezza nella zona in esame; tale effetto è chiaramente visibile nelle figg. 6 e 7 relative ai mesi di aprile (51/60) e di luglio (51/60).

2.3 Stabilità atmosferica

Applicando il criterio di Pasquill ai dati in nostro possesso si è potuto classificare la stabilità atmosferica nella zona in esame.

Considerando 4 dati giornalieri per il ventennio 51/71, si ha all'incirca questa distribuzione percentuale:

- atmosfera stabile 30%;
- atmosfera neutrale 50%;
- atmosfera instabile 20%.

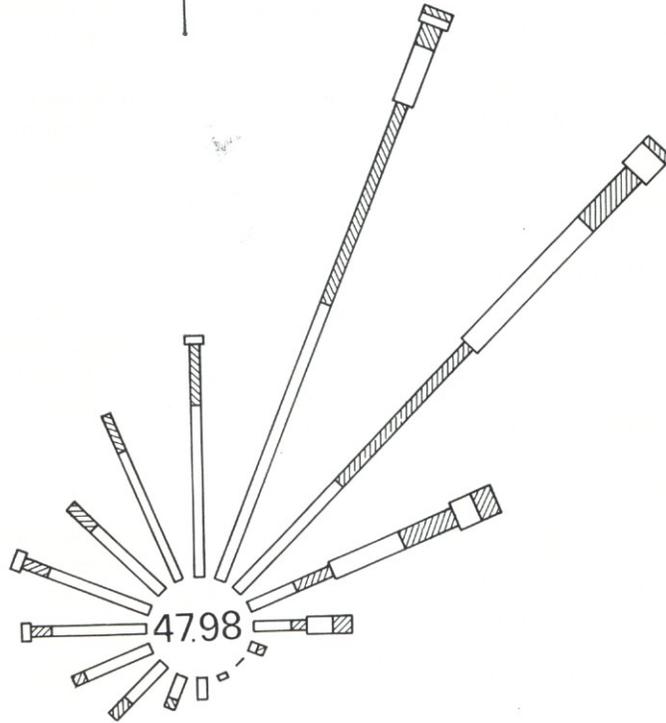
Più interessante è invece disegnare delle particolari rose dei venti dove, in corrispondenza ad ogni direzione, vengono evidenziate le diverse percentuali di stabilità, neutralità ed instabilità atmosferica. Nelle figg. 8 e 9 sono appunto disegnate queste rose di stabilità relativamente alle quattro stagioni (periodo 61/71).

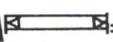
A conclusione di questa indagine meteorologica si può dire che durante i mesi invernali si presenta un'accentuazione di quei fattori comunemente noti come determinanti per l'accumulo ed il ristagno degli inquinanti nell'atmosfera, e precisamente:

- venti più deboli;
- condizioni di maggiore stabilità atmosferica;
- valori più alti di pressione.

GENNAIO

N



SCALA  = 2%

CALMA VELOCITÀ < 1 NODO

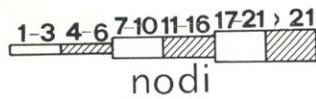
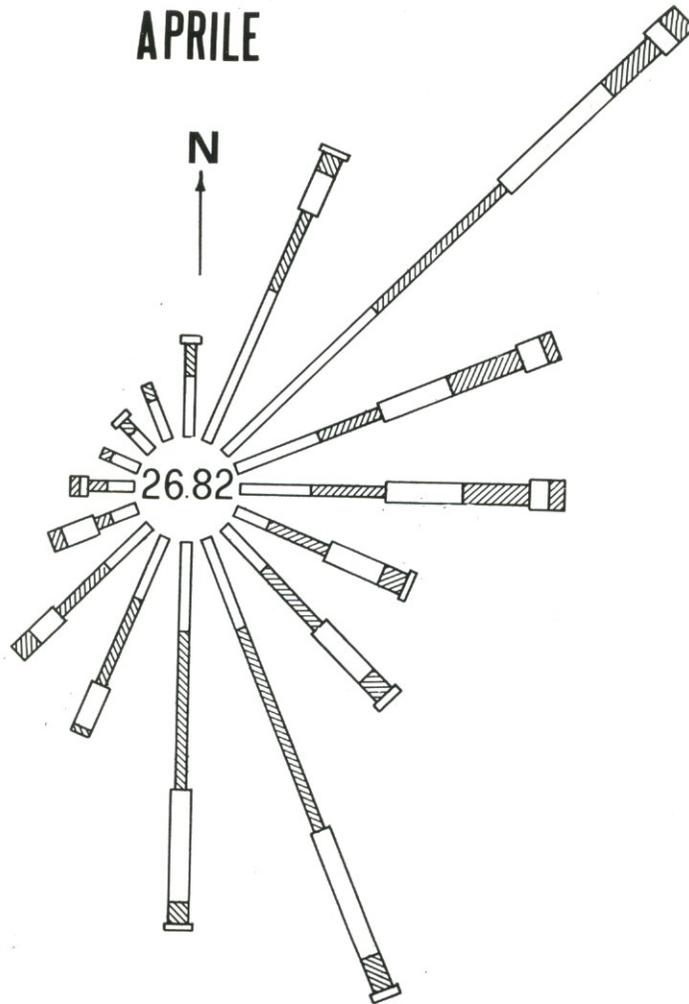


Fig. 2. — Rosa dei venti: Gennaio 62/71.

APRILE



SCALA  = 2%

CALMA VELOCITA' < 1 NODO

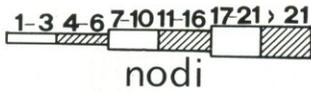
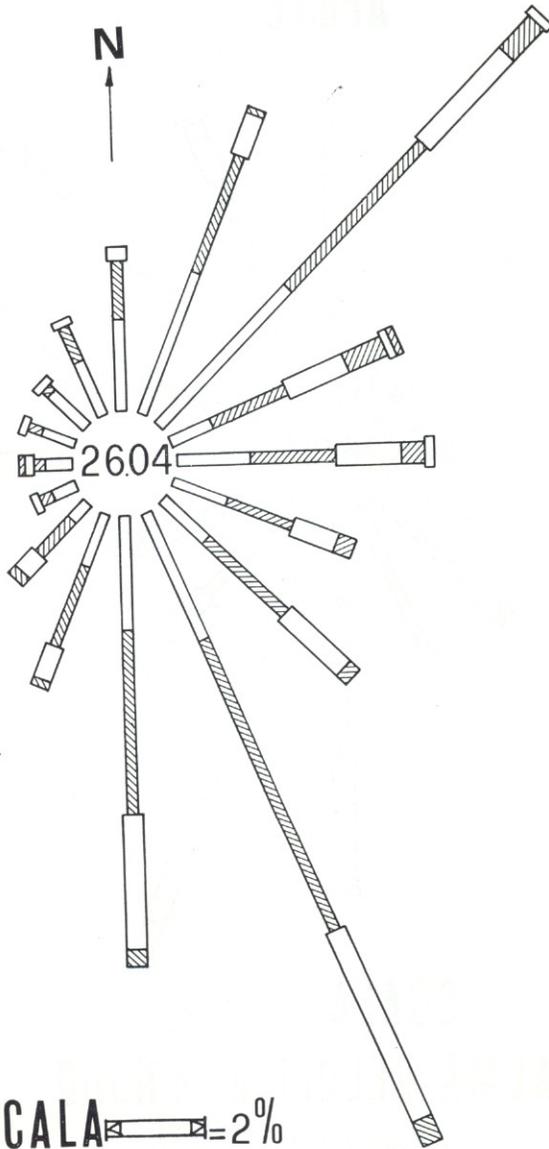
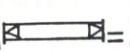


Fig. 3. — Rosa dei venti: aprile 61/71.

LUGLIO

N



SCALA  = 2%

CALMA VELOCITA' < 1 NODO

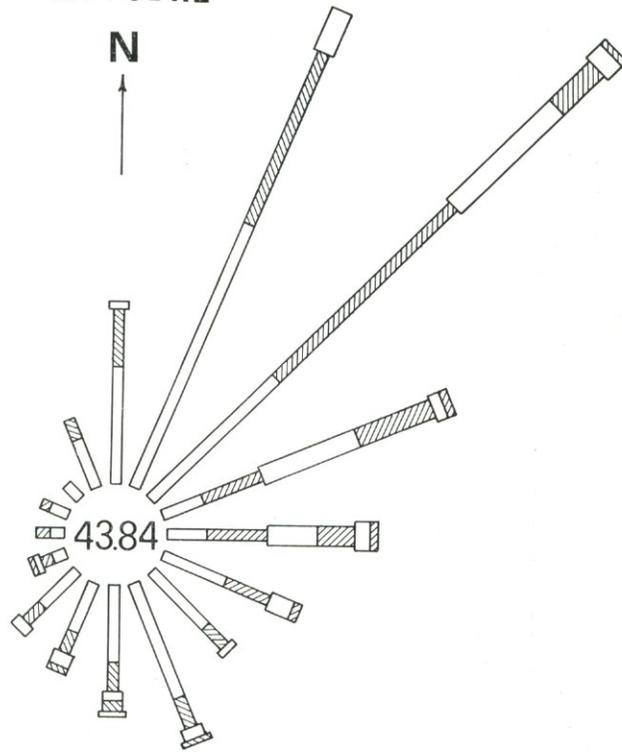
1-3 4-6 7-10 11-16 17-21 > 21

nodi

Fig. 4. — Rosa dei venti: luglio 61/71.

OTTOBRE

N



SCALA  = 2%

CALMA VELOCITA' < 1 NODO



Rosa dei venti: ottobre 61/71.

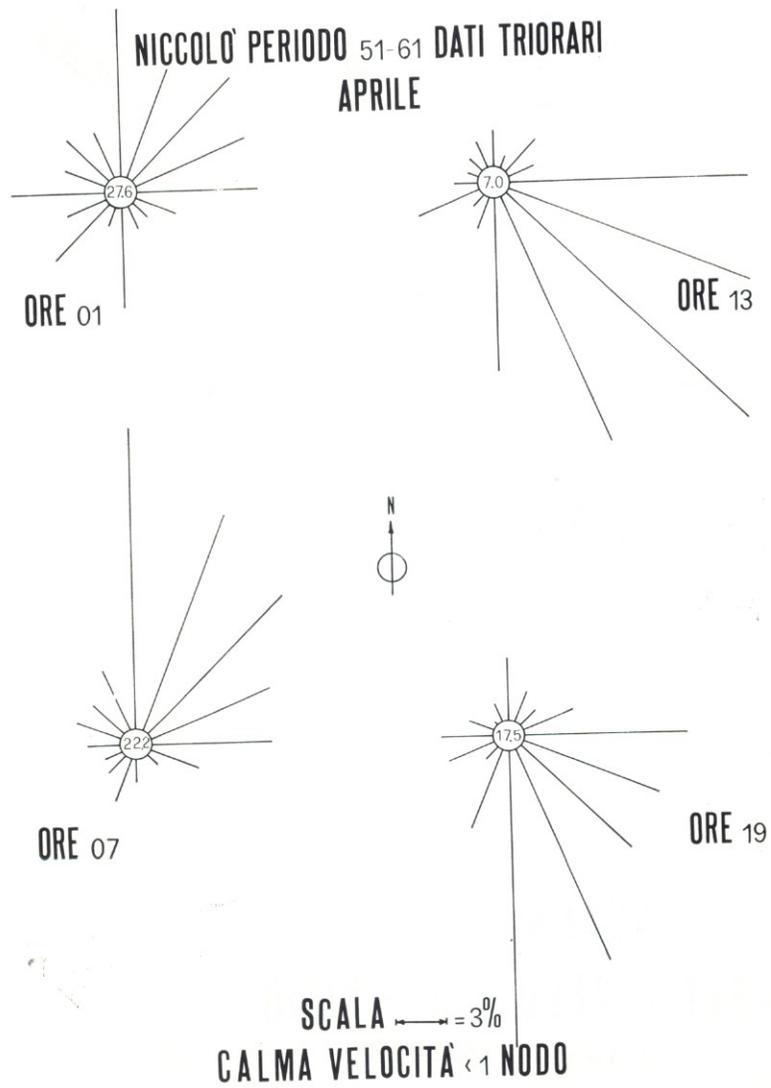


Fig. 6. — Effetto di brezza. Analisi dei venti con velocità inferiore a 10 km/h: aprile 51/61.

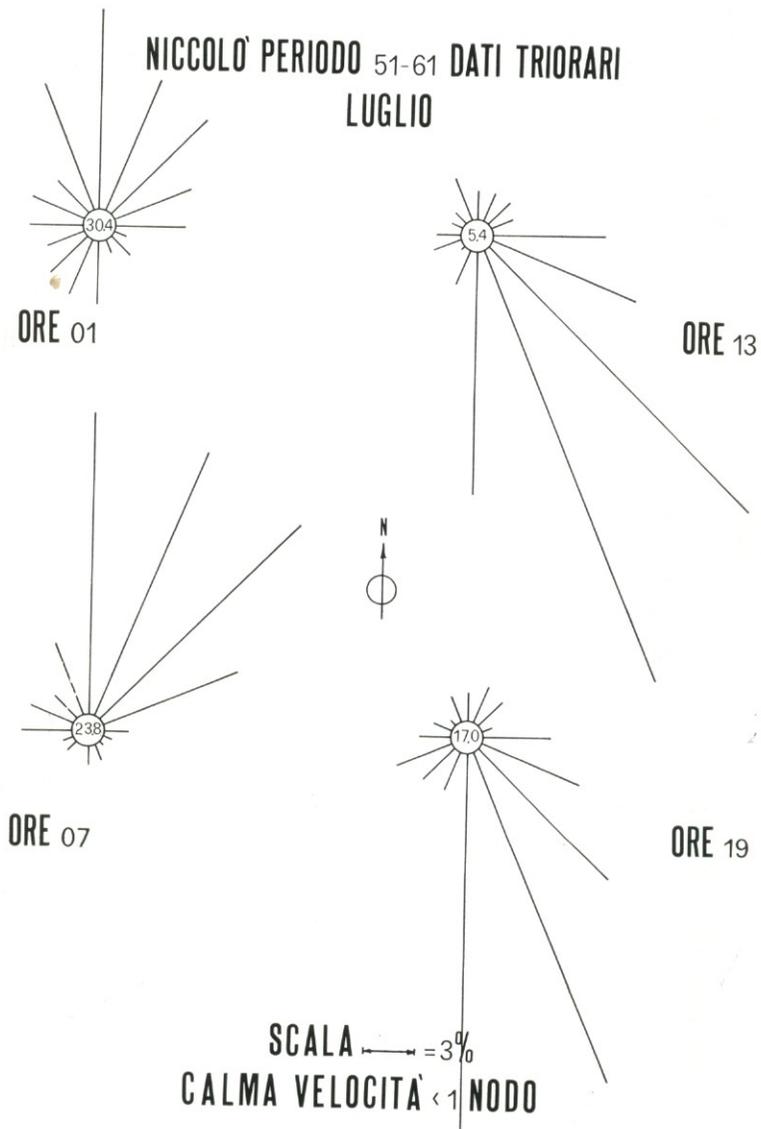


Fig. 7. — Effetto di brezza. Analisi dei venti con velocità inferiore a 10 km/h:
luglio 51/61.

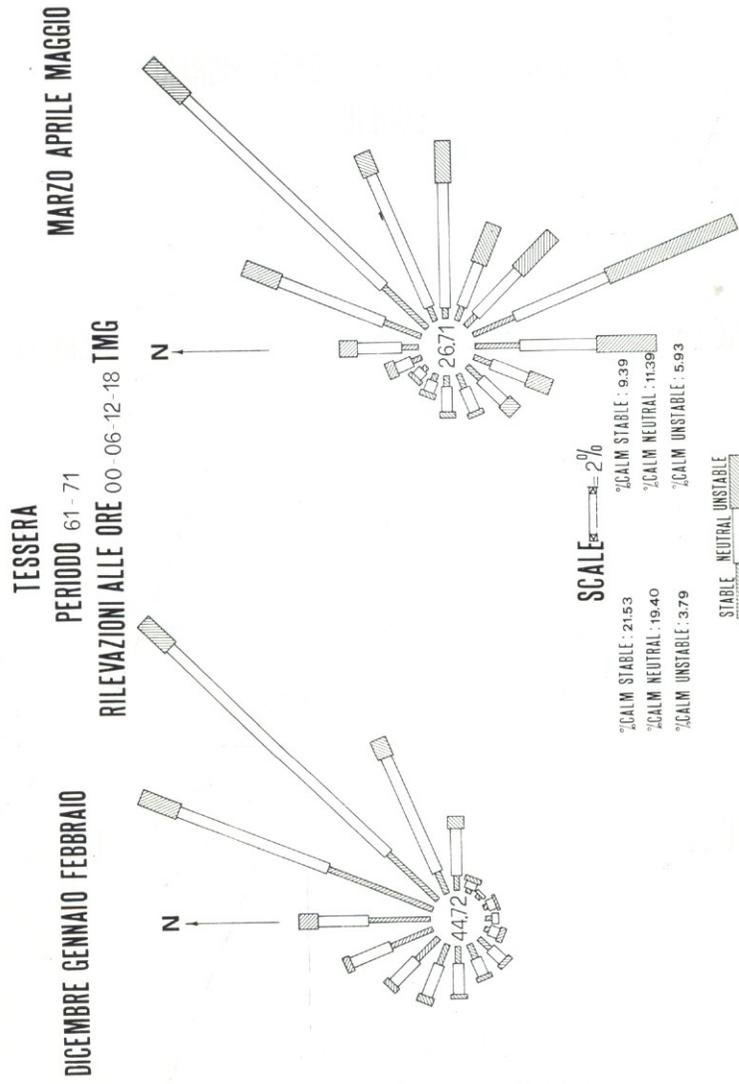


Fig. 8. — Rose di stabilità: Inverno-Primavera 61/71.

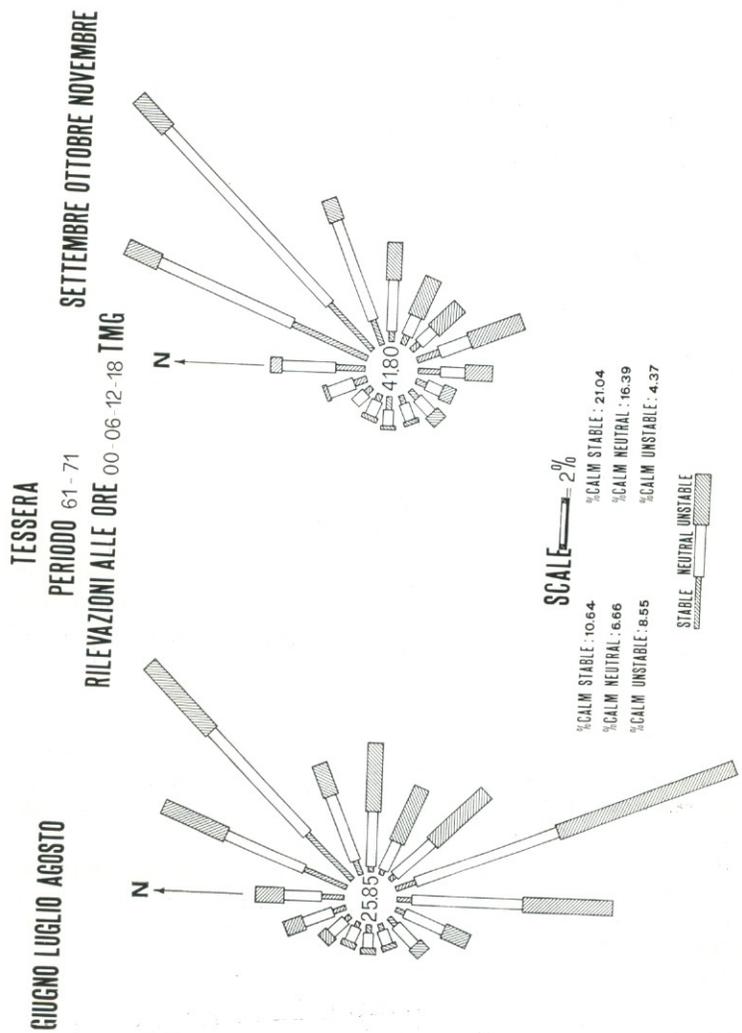


Fig. 9. — Rose di stabilità: Estate-Autunno 61/71.

2.4 Confronto tra parametri meteorologici e livelli d'inquinamento

È stato fatto un confronto grafico tra i valori medi mensili di SO₂ registrati da due stazioni della rete Montedison poste in Venezia (vedi fig. 1) ed i seguenti parametri meteorologici:

- pressione media mensile;
- numero di osservazioni mensili di casi di nebbia.

Le figg. 10 e 11 evidenziano che nei periodi invernali si ha un aumento del valore medio di pressione, dei casi di nebbia e della concentrazione media mensile di SO₂.

3. APPLICAZIONE DELL'IPOTESI GAUSSIANA DI DIFFUSIONE

Il tipo di dati in nostro possesso non permette la realizzazione di un modello di diffusione per la simulazione a breve termine del campo di concentrazione. La nostra attenzione si è quindi rivolta verso applicazioni dell'ipotesi gaussiana di diffusione atte alla simulazione di concentrazioni medie a lungo termine.

A tal fine presentiamo:

— un esempio di applicazione per il calcolo delle concentrazioni medie stagionali dovute ad una sorgente puntiforme con emissione costante;

— una simulazione preliminare delle concentrazioni medie giornaliere utilizzando un censimento approssimativo delle emissioni industriali di SO₂ ed i dati meteo rilevati dalla rete I.S.S. - ENI - TECNECO.

3.1 Modello climatologico per una singola sorgente

Il calcolo si basa sull'ipotesi che sia trascurabile la dispersione trasversale del pennacchio di fumo (« narrow plume hypothesis »), e che la direzione del vento si distribuisca uniformemente entro ogni settore in cui è stata divisa la rosa dei venti.

Accettando che la diffusione nell'atmosfera dell'inquinante rilasciato sia descrivibile dalla sperimentata equazione di diffusione di Sutton espressa in forma gaussiana, la formula di lavoro per una sorgente puntiforme può essere scritta nel seguente modo:

$$\frac{\bar{C}(X, K)}{Q} = \sum_{i,j} \left(\frac{W(i, j, K) \cdot N}{2^{1/2} \cdot \pi^{3/2} \cdot S_z(j) \cdot U(i) \cdot X} \cdot \exp \left[-\frac{H^2}{2 \cdot S_z^2(j)} \right] \right) \quad (1)$$

dove:

$\bar{C}(X, K)$ concentrazione al suolo a distanza X nel settore opposto al K^{mo};

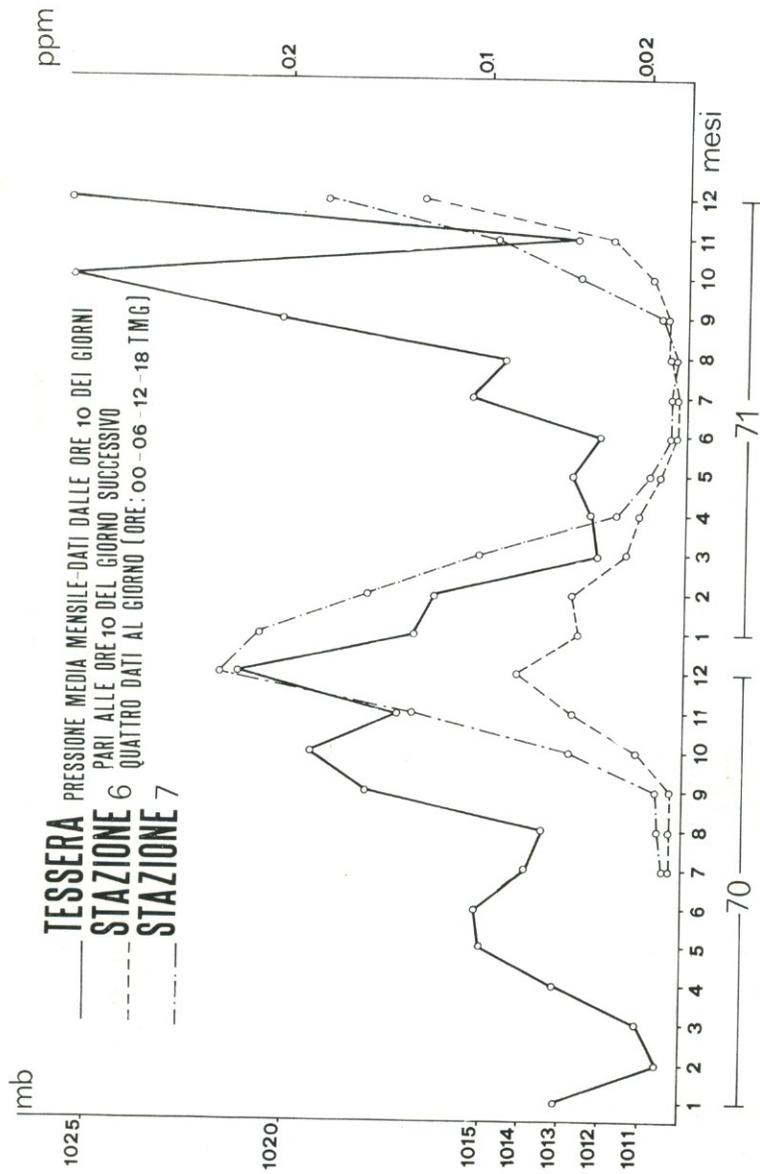


Fig. 10. — Confronto pressione - SO₂ (medie mensili).

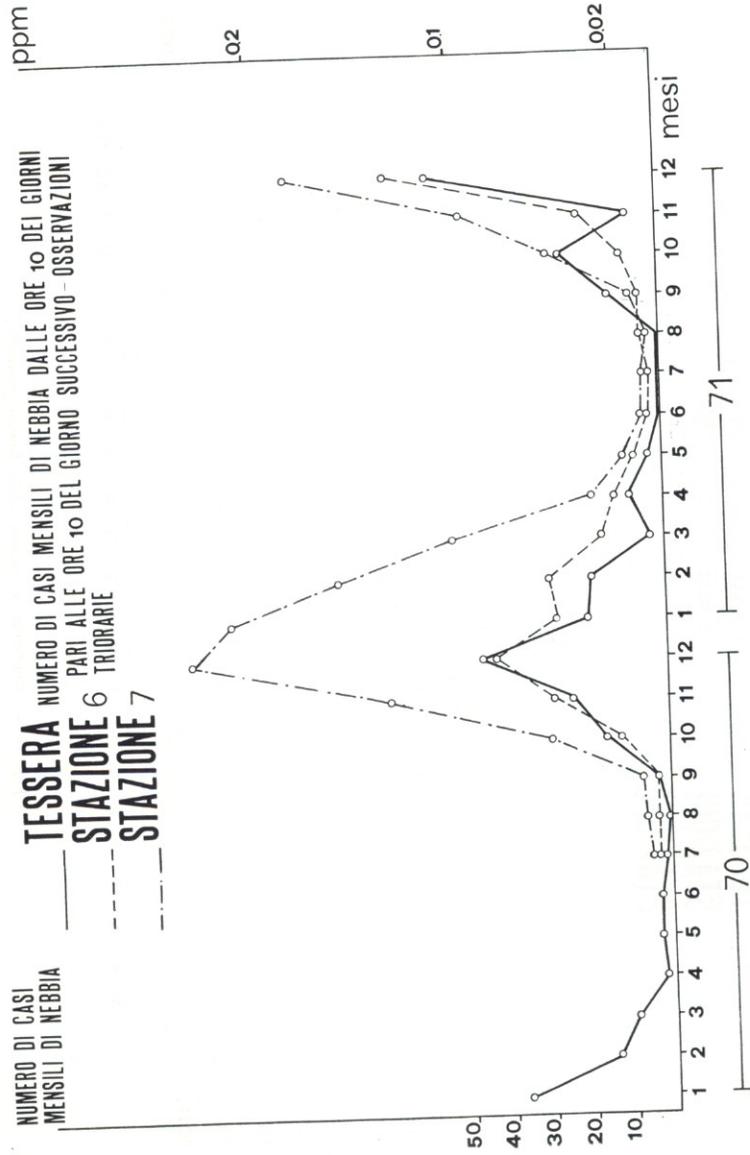


Fig. 11. — Confronto nebbia - SO₂ (medie mensili).

Q	portata dalla sorgente;
W(I, J, K)	frequenza normalizzata con cui il vento soffia dal settore K ^{mo} con stabilità J e velocità di classe I;
N	numero di settori;
S _v (J)	deviazione standard verticale con stabilità J;
U(I)	velocità del vento della classe I;
H	altezza efficace di rilascio dei fumi.

Un'applicazione, essenzialmente a titolo esemplificativo, di questa metodologia è illustrata nelle figg. 12 e 13 utilizzando i dati meteorologici della stazione di Nicolò.

Le isoconcentrazioni stagionali così calcolate non possono dare indicazioni molto attendibili dal momento che:

- il vento non è stato misurato in prossimità dell'altezza media di rilascio degli inquinanti;
- la formula di lavoro non è valida nelle situazioni di calma;
- la formula di lavoro non tiene conto dell'eventuale inversione termica;
- i coefficienti S_v(J) sono quelli usati da Gifford. Una campagna sperimentale dovrebbe fornire indicazioni sulla loro validità e comunque suggerire valori più indicativi per la zona in esame;
- l'altezza efficace H è funzione della sola stabilità atmosferica.

Nonostante ciò si può mettere in evidenza, in accordo con la fisica del fenomeno, che:

- il cammino di dispersione di un inquinante subisce una rotazione dall'inverno all'estate;
- i massimi di concentrazione nel periodo estivo si avvicinano alla sorgente di emissione (atmosfera più instabile);
- i massimi di concentrazione nel periodo invernale si allontanano dalla sorgente di emissione (atmosfera più stabile);
- l'aumento di H riduce la concentrazione al suolo ed allontana i massimi dalla sorgente.

3.2 Modello gaussiano per sorgenti multiple

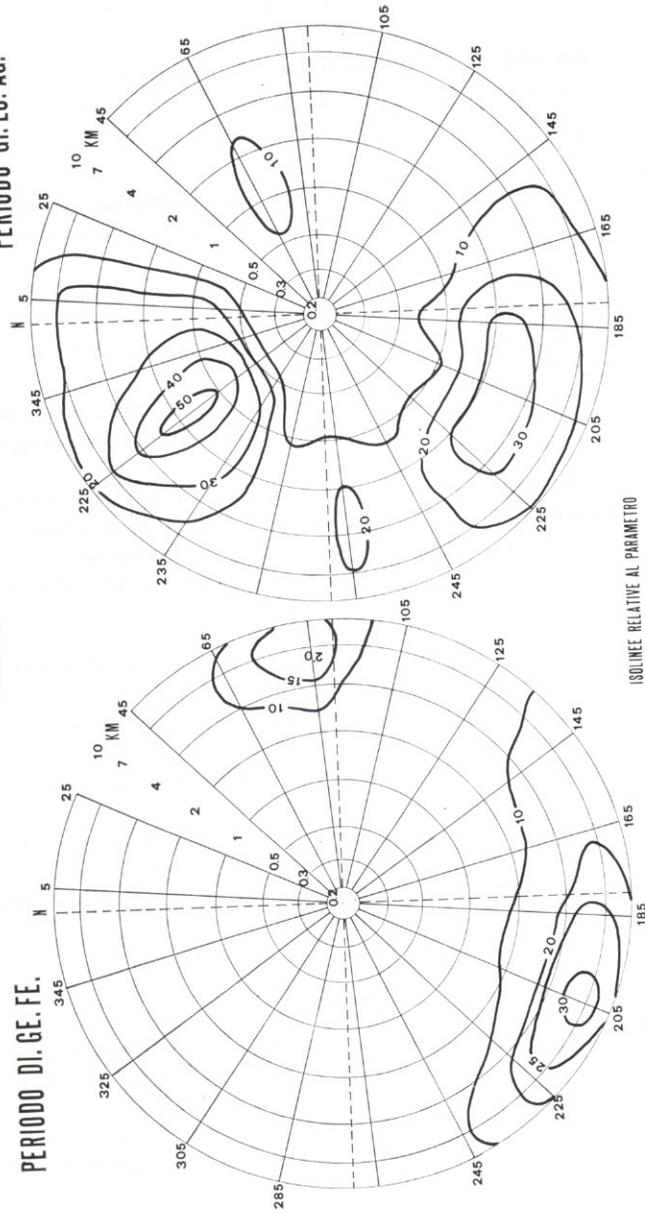
Gli stessi concetti esposti nel paragrafo precedente possono essere utilizzati per la simulazione del campo di concentrazione media giornaliera. Date M sorgenti di emissione (X (P), Y (P), Z (P)) con P=1 ..., M, la concentrazione media oraria in un generico punto recettore R di coordinate (X (R), Y (R), 0) è stata da noi calcolata tramite la:

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

NICCOLÒ 51-61

PERIODO GI. LU. AG.

PERIODO DI. GE. FE.



ISOLINEE RELATIVE AL PARAMETRO

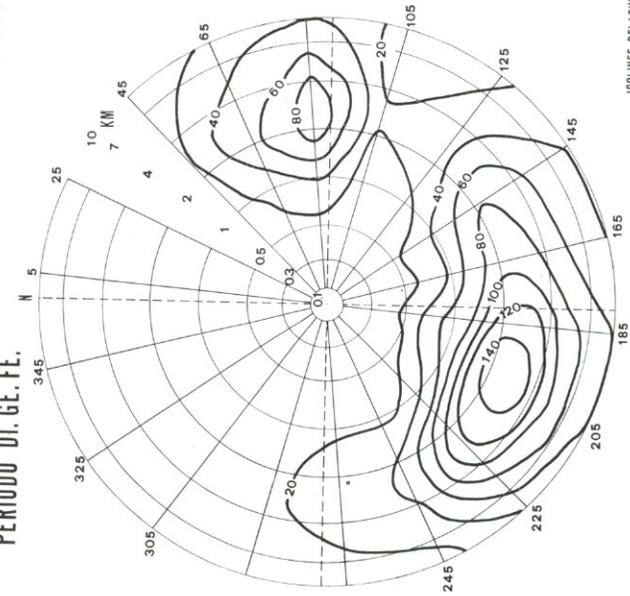
$$\frac{C(X,K)}{Q} \cdot 10^6$$

CON H=150m (IN CONDIZIONI STABILI)

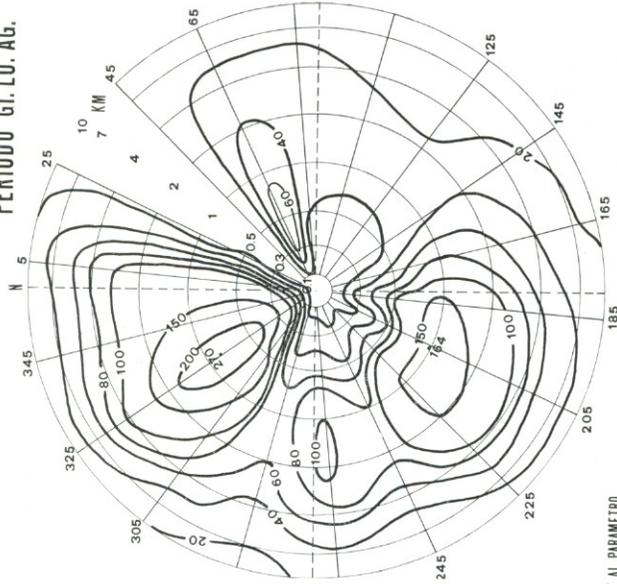
Fig. 12. — Isoconcentrazioni invernali ed estive (51/61) con H=150 m. (in condizioni stabili).

NICCOLÒ 51-61

PERIODO DI. GE. FE.



PERIODO GI. LU. AG.



ISOLINEE RELATIVE AL PARAMETRO

$$\frac{C(X,K)}{Q} \cdot 10^3$$

CON $H=75m$ (IN CONDIZIONI STABILI)

Fig. 13. — Isoconcentrazioni invernali ed estive (51/61) con $H=75 m$. (in condizioni stabili).

dove:

- C(R) concentrazione media oraria nel punto R;
Q(P) portata di emissione della sorgente P;
N numero di settori;
 $S_z(J)$ deviazione standard verticale con stabilità J;
U velocità del vento;
 $D_{P,R}$ proiezione sulla direzione del vento della distanza tra i punti P ed R;
H(P) altezza efficace della sorgente P.

Nella sommatoria a secondo membro dell'equazione (2) vanno annullati quegli elementi che corrispondono ad un punto R fuori dal settore di $\frac{2\pi}{N}$ sottovento alla sorgente P.

La (2) serve di base per il calcolo della concentrazione media giornaliera $\bar{C}(R)$.

Applicando la (2) si è così realizzato un modello matematico di simulazione ed il relativo programma per l'elaboratore elettronico.

Utilizzando i dati in nostro possesso relativi alle emissioni di SO_2 nella zona industriale si sono potuti confrontare i risultati calcolati dal modello con i valori di SO_2 misurati in 6 stazioni (vedi fig. 1) della rete dell'Istituto Superiore di Sanità ENI - TECNECO. I grafici riportano anche i valori massimi e minimi orari di concentrazione misurati giornalmente.

I risultati di tale confronto sono esposti nelle figg. 14-31; questi grafici rappresentano una parte dei risultati forniti dal modello con 74 emissioni puntiformi di SO_2 e 10 punti di calcolo della concentrazione media giornaliera; usando l'elaboratore elettronico del Centro Ricerca IBM di Venezia (un 360/44 con memoria centrale di 256 K che lavora sotto OS/MFT) il tempo necessario per la simulazione di un giorno è 2'30".

Prima di analizzare i grafici va precisato che i risultati sono stati ottenuti con un modello ancora in fase di taratura; ci si aspetta quindi risultati migliori dopo che sarà stata fatta una sufficiente sperimentazione del modello.

Dal confronto misurato-calcolato emergono le seguenti considerazioni:

- il modello simula sufficientemente bene le condizioni di basso livello d'inquinamento;
- il modello tende ad amplificare le condizioni di medio-alto livello d'inquinamento;
- l'accordo migliore fra i dati calcolati ed i dati misurati si verifica nelle stazioni più lontane dalla zona industriale.

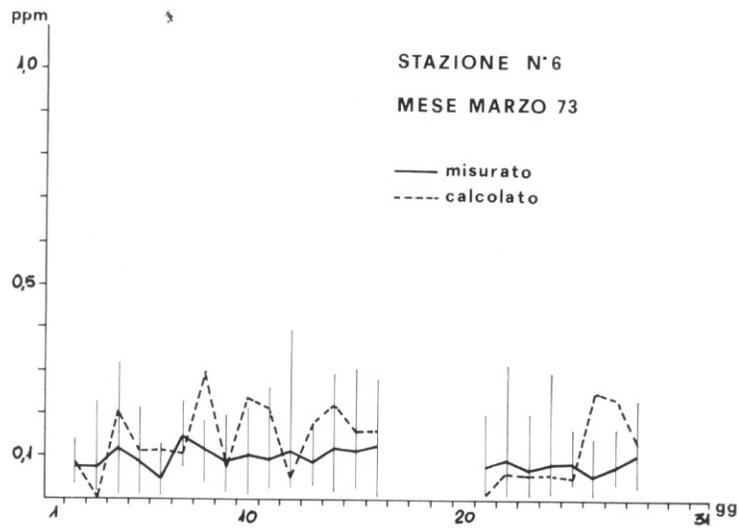


Fig. 14. — Simulazione della stazione n. 6: marzo 1973.

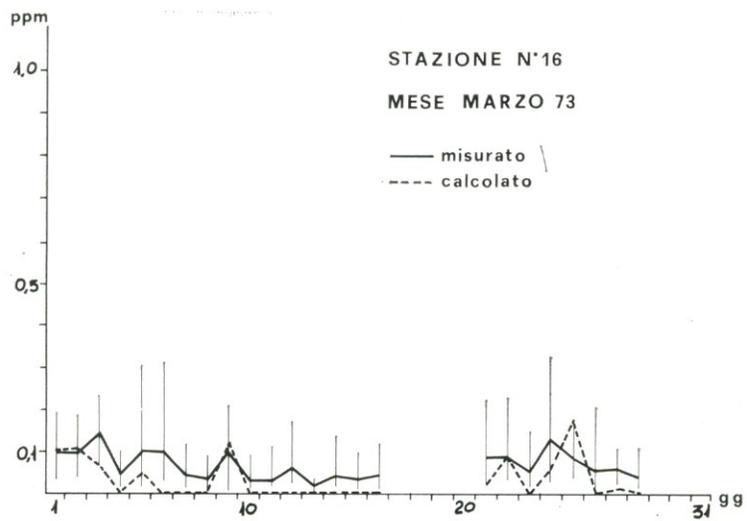


Fig. 15. — Simulazione della stazione n. 16: marzo 1973.

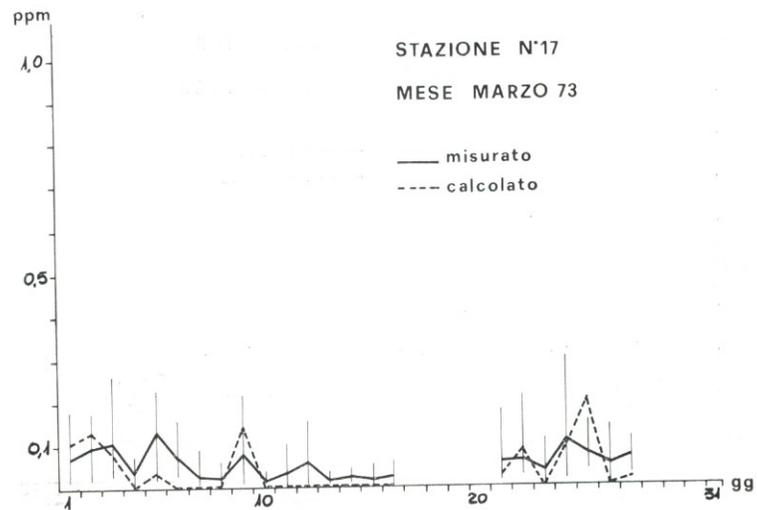


Fig. 16. — Simulazione della stazione n. 17: marzo 1973.

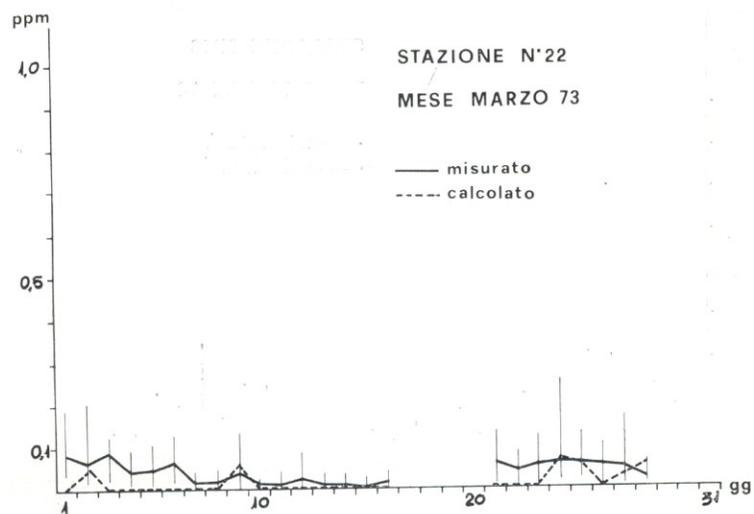


Fig. 17. — Simulazione della stazione n. 22: marzo 1973.

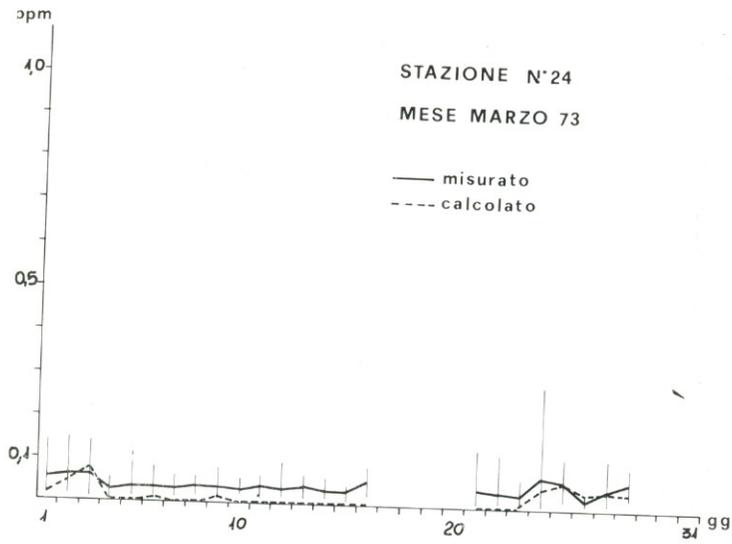


Fig. 18. — Simulazione della stazione n. 24: marzo 1973.

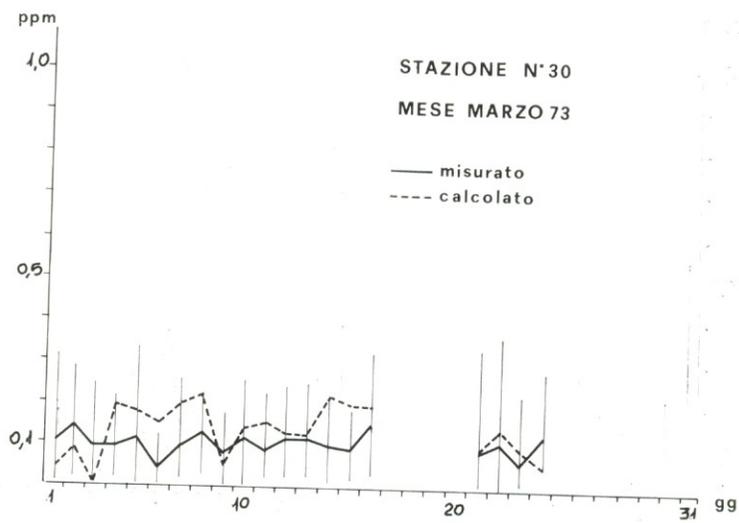


Fig. 19. — Simulazione della stazione n. 30: marzo 1973.

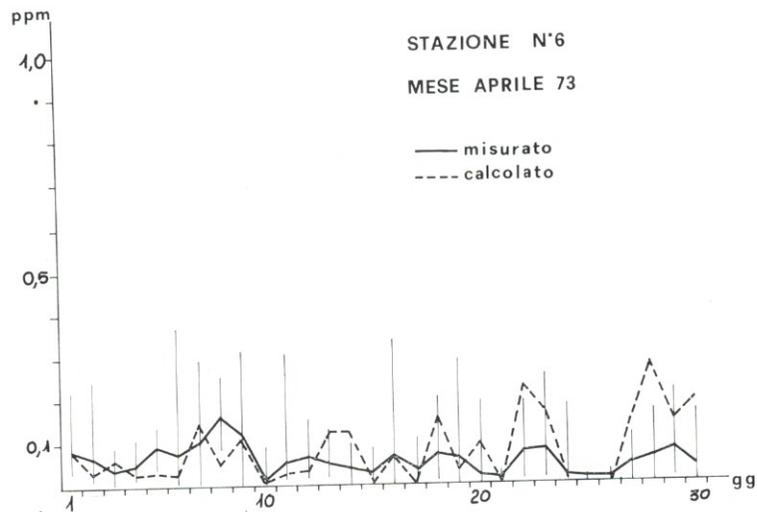


Fig. 20. — Simulazione della stazione n. 6: aprile 1973.

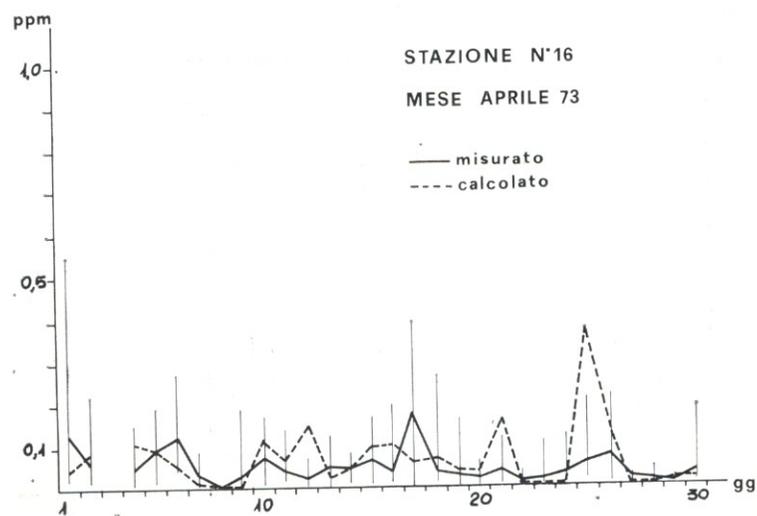


Fig. 21. — Simulazione della stazione n. 16: aprile 1973.

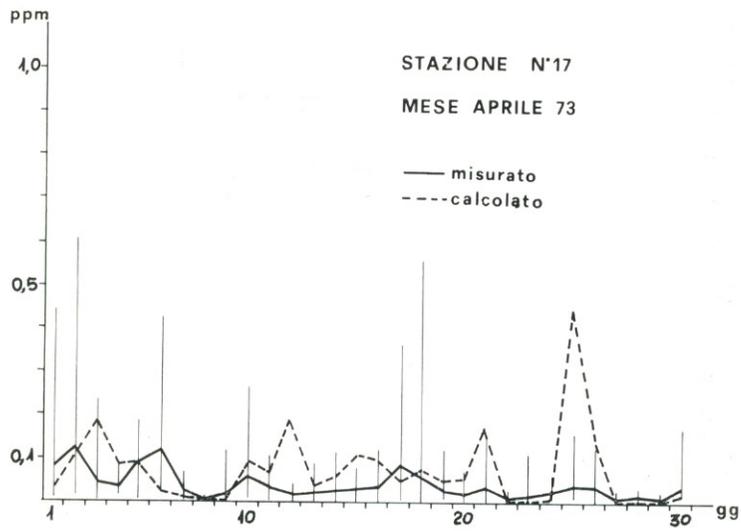


Fig. 22. — Simulazione della stazione n. 17: aprile 1973.

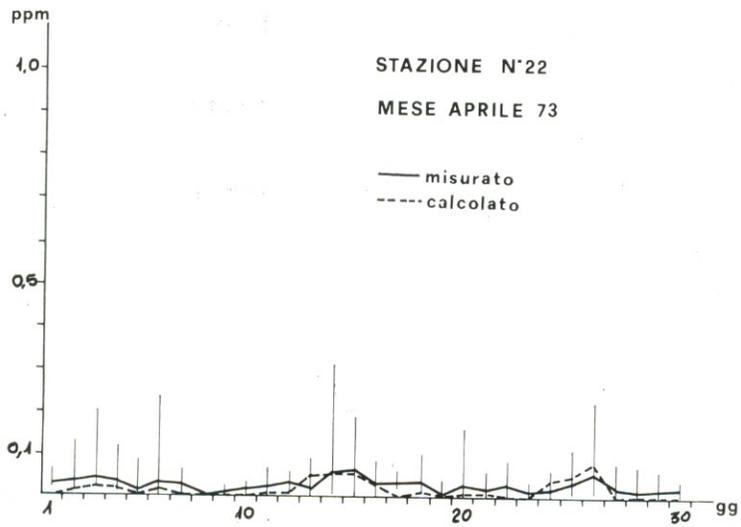


Fig. 23. — Simulazione della stazione n. 22: aprile 1973.

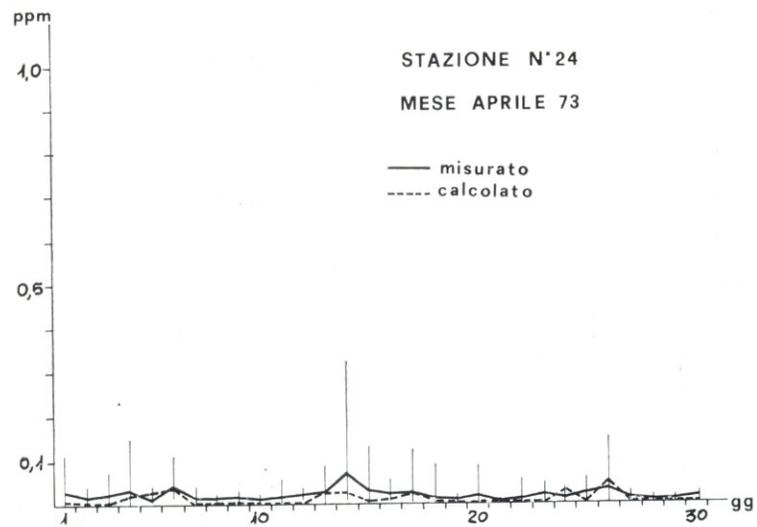


Fig. 24. — Simulazione della stazione n. 24: aprile 1973.

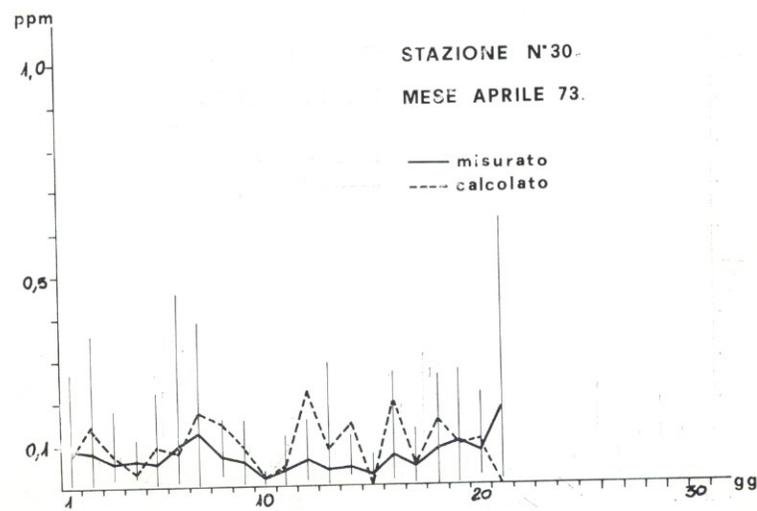


Fig. 25. — Simulazione della stazione n. 30: aprile 1973.



Fig. 26 — Simulazione della stazione n. 6: maggio 1973.

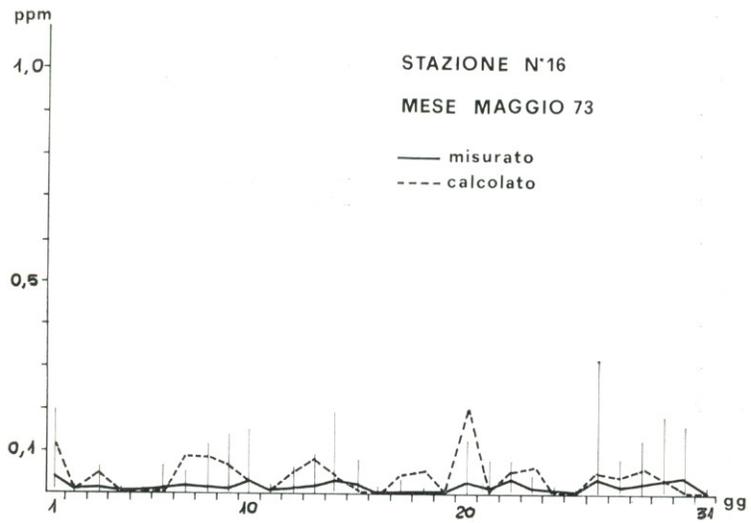


Fig. 27. — Simulazione della stazione n. 16: maggio 1973.

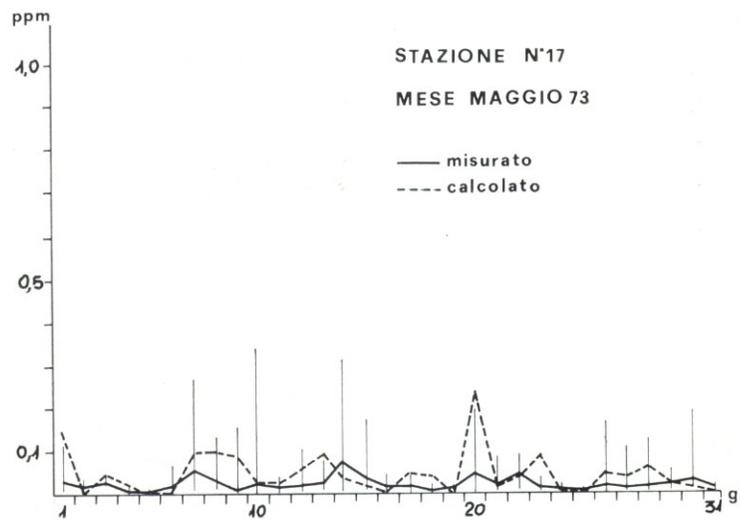


Fig. 28. — Simulazione della stazione n. 17: maggio 1973.

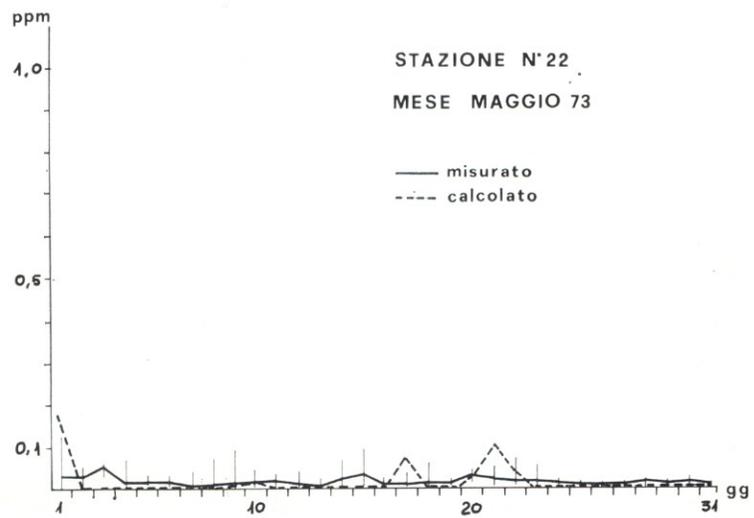


Fig. 29. — Simulazione della stazione n. 22: maggio 1973.

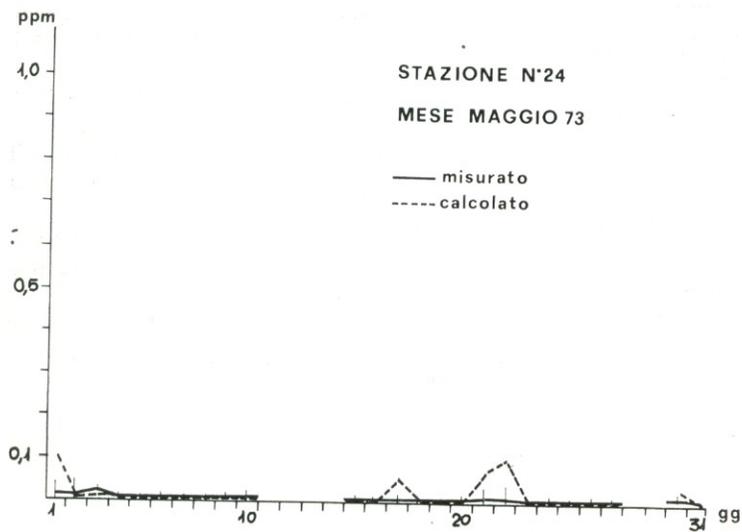


Fig. 30. — Simulazione della stazione n. 24: maggio 1973.

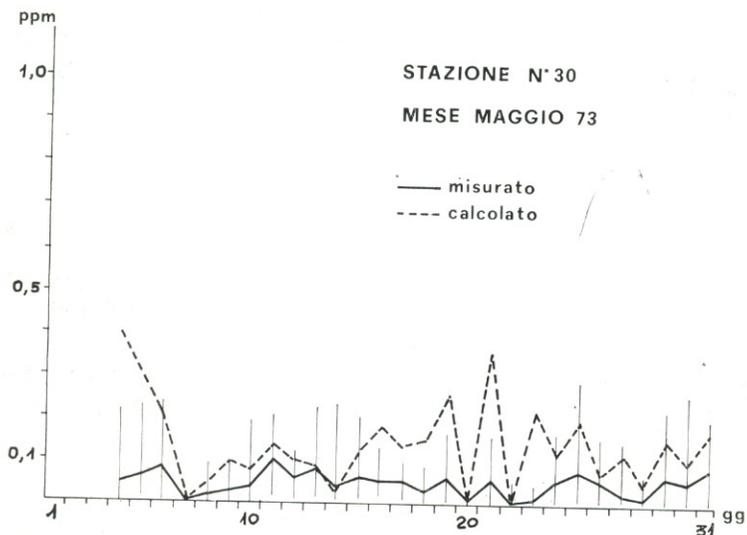


Fig. 31. — Simulazione della stazione n. 30: maggio 1973.

4. PROSPETTIVE FUTURE

Gli incoraggianti risultati ottenuti con un modello gaussiano di prima approssimazione invitano ad un approfondimento del problema in modo da affinare il modello o, quantomeno, di identificare ed isolare i casi di mancato funzionamento.

Una volta completata l'esperienza di studio del modello gaussiano nell'area veneziana ed una volta determinati i limiti di questo approccio si potrà procedere allo studio dell'effetto che le disomogeneità di superficie, di cui si è fatto cenno nell'introduzione, producono sulle modalità di dispersione di un inquinante.

Questo tipo di studio richiederà l'integrazione numerica delle equazioni che regolano il fenomeno e sarà comunque condizionato dalla realizzazione di adatte campagne di misure meteorologiche.

Resta infine da non dimenticare che l'applicazione realistica di un qualunque modello di diffusione è condizionata da una precisa conoscenza delle emissioni; al momento queste sono note, nell'area veneziana, solo in prima approssimazione, mancando, in particolare, una stima della loro variabilità temporale.

RINGRAZIAMENTI

Ringraziamo il Servizio Climatologico dell'Aeronautica che ha fornito i dati delle stazioni di Niccolò e Tesserà; l'Istituto Bioclimatologico dell'Ospedale al Mare che ha fornito i dati della relativa stazione; la Montedison che ha fornito i dati delle sue stazioni di SO₂; l'Istituto Superiore di Sanità e l'ENI-TECNECO che hanno reso disponibili i dati rilevati dalla loro rete di misure meteo e di SO₂; la Regione Veneta per i dati relativi alle emissioni di origine industriale; i ricercatori della TECNECO per il continuo e proficuo scambio d'informazioni.

BIBLIOGRAFIA

- Aeronautica Militare Italiana: « Frequenze e medie delle osservazioni eseguite nel ventennio 1946-1965 ». Stazione meteorologica di Venezia Lido e Venezia Tesserà, 1970.
- American society of mechanical engineers: « Recommended guide for the prediction of the dispersion of airborne effluents ».
- K. L. Calder: « A climatological model for multiple source urban air pollution ». NATO Committee on the challenges of Modern Society, Air pollution n. 5, 1971.
- F. A. Gifford e S. R. Hanna: « Urban air pollution modelling ». Air resources atmospheric turbulence and diffusion laboratory Oak Ridge, Tennessee.

- A. Giordani Soika: « Alcuni particolari aspetti del clima del Lido di Venezia e programmi di ricerca dell'Istituto di Bioclimatologia dell'Ospedale al Mare ». Archivio Ospedale al Mare, 1962.
- A. Giordani Soika e D. Meneghini: « Di alcune modificazioni del clima di Venezia nell'ultimo trentennio; ripercussioni sul fenomeno dell'acqua alta ». 1970.
- R. E. Luna e H. W. Church: « A comparison of turbulence intensity and stability ratio measurements to Pasquill turbulence types ». Conference on Air Pollution Meteorology, Raleigh, North Carolina, april 5-9-1971.
- D.O. Martin: « An urban diffusion model for estimating long term average values of air quality ». Journal of Air Pollution Control Association, gennaio 1971.
- R. E. Munn: « Descriptive micrometeorology ». Academic Press, 1966.
- F. Pasquill: « Atmospheric diffusion ». D. Van Nostrand, 1962.
- E. Runca e P. Zannetti: « Una indagine preliminare sul problema dell'inquinamento atmosferico nell'area veneziana ». IBM Centro Ricerca Venezia, giugno 1973.
- L. J. Shieh, P. K. Halpern, B. A. Clemens, H. H. Wang e F. F. Abraham: « The IBM air quality diffusion model with an application to New York City ». Palo Alto Scientific Center IBM, 1971.
- A. C. Stern: « Air pollution ». Academic Press, vol. 1, 1968.
- D. B. Turner: « A diffusion model for an urban area ». Journal of Applied Meteorology, 3, 1964.

