

P. ZANNETTI - E. RUNCA
Centro Ricerca IBM - Venezia

STUDIO DELL'INQUINAMENTO ATMOSFERICO NELL'AREA VENEZIA
NA MEDIANTE L'USO DI UN MODELLO DI DIFFUSIONE GAUSSIANO

SOMMARIO

E' presentata una sintesi dei risultati conseguenti ad una analisi statistica dei dati raccolti da tre stazioni meteorologiche nell'area Veneziana relativamente al periodo 1951-1971. Ciò ha permesso di evidenziare le principali caratteristiche della meteorologia locale.

Vengono esposti i problemi connessi ad un censimento delle emissioni industriali e la procedura, definita congiuntamente alla Regione Veneta, a dotata per realizzare tale censimento. Utilizzando i dati di concentrazione di SO_2 misurati nelle stazioni della rete dell'Istituto Superiore di Sanità - ENI (Tecneco) sono state tratte alcune conclusioni relative al livello d'inquinamento nella zona Veneziana ed alle direzioni di provenienza dell'inquinante.

I risultati di tale analisi indicano che i limiti fissati dalla legge italiana sono superati sia a Venezia che nella zona industriale e che quest'ultima è la maggiore responsabile dell'inquinamento da SO_2 .

Utilizzando i dati di un precedente censimento delle emissioni industriali di SO_2 si è applicato un modello di diffusione di tipo gaussiano al fine di simulare il campo di concentrazione generato dalle sole emissioni di origine industriale.

Il confronto tra le concentrazioni previste dal modello e quelle reali misurate dalle stazioni della rete ISS-ENI (Tecneco) ha fornito risultati incoraggianti specie per quanto riguarda la valutazione delle concentrazioni medie a lungo termine.

1. INTRODUZIONE

L'area oggetto del nostro studio è l'area Veneziana; in tale area si individuano due centri urbani (Mestre-Marghera e Venezia) ed una zona industriale situata ad Ovest del centro storico e separata da esso da una striscia di laguna di circa 5 km. (vedi Fig. 1).

Si incontrano tre tipi differenti di superficie: mare, terra e laguna; questa disomogeneità produce fenomeni meteorologici locali che si sovrappongono alla situazione meteorologica generale.

Lo studio del fenomeno dell'inquinamento atmosferico richiede la conoscenza di tre tipi di dati;

- dati relativi alle emissioni;
- dati meteorologici;
- dati di concentrazione.

Per quanto riguarda le emissioni nell'area in esame, sono attualmente note le emissioni medie di SO_2 di origine industriale secondo quanto denunciato dalle industrie alla Regione Veneta in conformità al D.P.R. del 15.4.1971 n. 322.

I dati meteorologici in nostro possesso sono quelli registrati nelle stazioni di S. Niccolò (triorari, 1951-61), Ospedale al Mare (orari, 1961-71), Tessera (triorari, 1961-1971) e nella stazione meteo della rete ISS-ENI (Tecneco) (orari, 1973). (vedi Fig. 1).

I dati di concentrazione utilizzati nel nostro lavoro sono quelli registrati dalla rete ISS-ENI (Tecneco). Tale rete è formata attualmente da 24 sensori di SO_2 con trasmissione diretta dei dati ad un elaboratore centrale. Nel 1973 hanno funzionato 10 di questi sensori.

Tutti i dati sopra citati sono stati memorizzati su nastro magnetico ed elaborati con il computer IBM 360/44 del Centro Ricerca IBM di Venezia.

2. METEOROLOGIA

Rimandando l'eventuale interessato ad altre nostre pubblicazioni sull'argomento (vedi Bibliografia), ci limiteremo ad alcune considerazioni riassuntive.

Dalle rose dei venti analizzate (esempio in Fig. 2) si può dedurre che il settore prevalente di provenienza del vento è quello da Nord ad Est e che tali rose dei venti presentano una graduale rotazione mensile. In tal modo nel periodo estivo diventa prevalente il settore da Est a Sud mentre nel periodo invernale si ha un aumento della frequenza dei venti spiranti dalla zona industriale verso Venezia. Il vento è generalmente medio-debole con forti percentuali di calma.

Il tracciamento delle rose dei venti orarie (Fig 3) indica, nei mesi estivi, una rotazione in senso orario della direzione del vento, indice questo di un effetto di brezza.

Altre analisi sui dati di pressione, umidità, temperatura e visibilità hanno evidenziato i cicli stagionali di tali parametri.

Lo studio della stabilità atmosferica, applicando il criterio del Pasquill, fornisce i seguenti risultati per la zona in esame:

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

Indicativo è il rapporto tra stabilità atmosferica e direzione di provenienza del vento; a tal riguardo sono utili particolari rose dei venti (rose di stabilità: es. in Fig. 4) nelle quali, per ogni direzione, è possibile individuare le diverse percentuali di stabilità, neutralità ed instabilità verificate con vento proveniente da quella direzione stessa.

3. ORGANIZZAZIONE DEL CENSIMENTO DELLE EMISSIONI INDUSTRIALI.

In collaborazione con la Regione Veneta è stato eseguito un lungo ed impegnativo studio al fine di risolvere il problema di un censimento organico e facilmente meccanizzabile delle emissioni di origine industriale. L'attività congiunta ha portato alla definizione di una procedura che, con la collaborazione dell'industria, permette di rappresentare tutte le informazioni richieste dalla legislazione recente e, in particolare, facilita l'archiviazione e l'elaborazione dei dati dal momento che questi sono registrati su

uno speciale modulo leggibile automaticamente tramite lettore ottico (vedi Fig. 5). La Regione Veneta ha recentemente resa operativa questa procedura che rappresenta la prima applicazione del genere in questo campo; il censimento è ora in fase avanzata di realizzazione e si attende, entro il Gennaio '75, una conoscenza completa delle emissioni di origine industriale della provincia di Venezia.

4. RETE ISS-ENI (TECNECO) E QUALITA' DELL'ARIA ⁽⁺⁾

In Fig. 6 viene rappresentata la rete ISS-ENI (Tecneco) che ha fornito i dati meteo e di concentrazione di SO_2 oggetto della nostra analisi. ⁽⁺⁺⁾

Un giudizio sommario sulla qualità dell'aria nella zona può essere tratto dalla Fig. 7 nella quale, mese per mese e stazione per stazione, è riportato il numero dei superamenti degli standard di legge (sulla mezz'ora e sull'intera giornata).

Tali risultati indicano come il fenomeno dell'inquinamento atmosferico da SO_2 sia generalmente costante nell'arco dell'anno, solo che nel periodo estivo esso presenta carattere di minore persistenza essendo praticamente inesistenti i superamenti medi giornalieri di 0.15 ppm.

Ciò è conforme con il fatto che la maggiore instabilità atmosferica, caratteristica del periodo estivo, riduce al minimo la possibilità di persistenza di eventuali livelli di punta. Da notare infine il basso inquinamento di Venezia (stazioni 22 e 24) rispetto al resto del territorio.

5. ANALISI DI PROVENIENZA DELL'INQUINANTE.

L'esame congiunto delle concentrazioni orarie di SO_2 e delle direzioni orarie di provenienza del vento permette di evidenziare, per ogni stazione di misura, quali sono le direzioni che provocano maggior inquinamento in

(+) ISS sta per Istituto Superiore di Sanità.

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

un dato punto. A tal fine le rose di concentrazione, relative a tutto il '73 e disegnate nelle Figg. 8-13 per diverse stazioni, danno un'idea delle direzioni di provenienza del vento che producono maggiore inquinamento ed individuano la zona industriale nel suo complesso come principale causa di tale fenomeno.

La stessa analisi di provenienza tramite tracciamento delle rose di concentrazione è stata ripetuta elaborando i dati relativi al solo periodo invernale durante il quale, come noto, alle emissioni di origine industriale si sovrappongono le emissioni dovute al riscaldamento degli ambienti. Dalle Figg. 14-19 si vede che la situazione generale non presenta mutamenti sostanziali anche se le stazioni 9 (Marghera) e 16 (Mestre) sembrano particolarmente risentire di questa modifica stagionale.

Una analisi identica alle precedenti, ma relativa ai soli valori di punta di SO_2 nel '73, ha fornito risultati sostanzialmente identici a quelli sopra presentati.

6. MODELLO GAUSSIANO E SUA APPLICAZIONE.

L'analisi precedente indica una chiara dipendenza tra posizione di emissione dell'inquinante, direzione di provenienza del vento e concentrazione misurata. Ciò ci autorizza a simulare il campo di concentrazione medio di SO_2 mediante l'uso di un modello di tipo gaussiano.

Concordemente alla metodologia seguita da molti autori si assume che la diffusione nell'atmosfera dell'inquinante rilasciato sia descrivibile dalla sperimentata equazione di diffusione di Sutton espressa in forma gaussiana. Accettando l'ipotesi che l'effluente gassoso si distribuisca solamente nel settore della rosa dei venti opposto a quello di provenienza del vento e che questa distribuzione sia uniforme lungo la direzione trasversale al settore interessato, la formula di lavoro usata è la seguente:

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

dove

C (R)	concentrazione media oraria nel punto R provocata dalle M emissioni in gioco (kg/m^3);
Q (P)	portata di emissione della sorgente P ($P=1, \dots, M$) (kg/sec);
N	numero dei settori in cui è stata divisa la rosa dei venti;
J	classe di stabilità secondo il criterio di 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 $D_{P,R}$ (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
h 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:

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

dove c_p calore specifico a pressione costante dei fumi ($\text{kcal}/\text{m}^3 \text{ } ^\circ\text{C}$)
 Q_v portata volumetrica dell'emissione totale (Nm^3/sec)
 T_g temperatura dei gas ($^\circ\text{C}$)
 T_a temperatura ambiente ($^\circ\text{C}$)

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

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

$$U = U_m \cdot \left[\frac{H(P)}{H_m} \right]^{0,25} \quad \text{in condizioni neutrale o instabile}$$

dove

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

Il modello sopra illustrato è stato da noi applicato utilizzando i dati relativi alle emissioni industriali di SO_2 in nostro possesso ed i dati meteo registrati nella stazione meteorologica della rete ISS-ENI (Tecneco).

In tal modo si sono calcolate le concentrazioni medie orarie di SO_2 nei 10 punti in cui sono situate le 10 stazioni di misura della rete ISS-ENI (Tecneco) che hanno funzionato nel 1973 rendendo possibile il confronto misurato-calcolato, essenziale per il test del modello.

Prima di analizzare i risultati ottenuti è bene evidenziare i limiti della formulazione usata ed i difetti connessi ai dati usati come input al modello.

La formulazione applicata assume il terreno completamente riflettente e non considera il decadimento dell'inquinante. Il vento è considerato costante in ogni punto e non si tiene conto di alcuna inversione termica. Infine il modello usa una formulazione che è priva di significato nei casi di calma (per $U \rightarrow 0$, $C(R) \rightarrow \infty$) e con venti molto deboli.

Va aggiunto che la formula usata per il calcolo di Δh può non essere la più appropriata alle caratteristiche del fenomeno nell'area Veneziana.

I dati utilizzati nel modello costituiscono un archivio di una certa consistenza; ciò non toglie che presentino numerose lacune: i dati di emissione, come già accennato, sono solo quelli medi di origine industriale, e non si conosce la loro variazione temporale; il vento è misurato ad una altezza notevolmente inferiore all'altezza media di emissione e la rosa dei venti è divisa in solo 8 settori; i coefficienti di diffusione S_z usati sono quelli reperibili in letteratura: meglio sarebbe poter disporre di dati frutto di u-

na sufficientemente valida e completa campagna di misura nell'area in esame.

7. RISULTATI DEL MODELLO ⁽⁺⁾

L'algoritmo illustrato viene generalmente usato per il calcolo di concentrazioni medie a lungo termine (modello climatologico). Noi presentiamo diverse simulazioni del campo di concentrazione medio giornaliero, mensile, stagionale dovuto alle sole emissioni di origine industriale.

Nelle Figg. 20-22 sono riportati alcuni esempi di valori medi giornalieri calcolati confrontati con i valori misurati. Si può notare un sostanziale accordo qualitativo. La differenza tra dati misurati e calcolati è spiegata dai limiti del modello e dalla inadeguatezza dei dati input secondo quanto discusso nel paragrafo precedente.

Nelle Figg. 23-26 è presentato il confronto tra i valori medi mensili calcolati dal modello e quelli registrati nelle 10 stazioni in esame.

La Fig. 27 infine riporta un confronto tra dati misurati e calcolati ottenuto estendendo il periodo di media all'arco di tempo Aprile-Ottobre '73. Dall'esame dei risultati presentati si può considerare valida l'applicazione di una versione climatologica della formula gaussiana, pur in una zona complessa come quella Veneziana, per il calcolo di concentrazioni medie a lungo termine.

E' nostra intenzione migliorare ulteriormente questo modello sia cercando di superare alcuni dei limiti della attuale formulazione sia utilizzando dati input più accurati; ciò allo scopo di realizzare uno strumento che possa essere impiegato validamente nella pianificazione delle attività industriali in tale area.

(+) In riferimento all'analogo lavoro presentato al SEP-POLLUTION di Padova (vedi Bibliografia) i diversi e migliori risultati ora ottenuti sono dovuti all'introduzione nel modello della formula per il Δh e all'uso degli esatti valori di S_z tratti dalle curve di Gifford in luogo dei valori tratti da formule approssimate.

RINGRAZIAMENTI

Ringraziamo il Servizio Climatologico dell'Aeronautica che ha fornito i dati delle stazioni di Niccolò e Tesserà; l'Istituto Bioclimatologico dello Ospedale al Mare che ha fornito i dati della relativa stazione; l'Istituto Superiore di Sanità e l'ENI (Tecneco) che hanno reso disponibili i dati rilevati dalla loro rete di misure meteo e di SO_2 ; la Regione Veneta per i dati relativi alle emissioni di origine industriale.

Un particolare ringraziamento infine per l'opera dell'Ing. Falanga della Tecneco che ha contribuito alla definizione teorica di alcune analisi svolte.

BIBLIOGRAFIA

- 1) Aeronautica Militare Italiana - Frequenze e medie delle osservazioni e seguite nel Ventennio 1946-1965 - Stazione meteorologica di Venezia Lido e Venezia Tesserà - 1970.
- 2) American society of mechanical engineers - New York - Recommended guide for the prediction of the dispersion of airborne effluents.
- 3) 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.
- 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 - Ente Nazionale Idrocarburi 1974.
- 6) GIFFORD F.A. e HANNA S.R. - Urban air pollution modelling - Air resources atmospheric turbulence and diffusion laboratory Oak Ridge - Tennessee.
- 7) GIORDANI SOIKA A. - 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.
- 8) LUNA R.E. e CHUCH H.W. - 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.
- 9) MARTIN D.O. - An urban diffusion model for estimating long term average values of air quality - Journal of Air Pollution Control Association - Gennaio 1971.
- 10) MUNN R.E. - Descriptive micrometeorology - Academic Press 1966.

- 11) PASQUILL F. - Atmospheric Diffusion - D. Van Nostrand 1961.
- 12) RUNCA E. e ZANNETTI P. - Una indagine preliminare sul problema dell'inquinamento atmosferico nell'area Veneziana - IBM Centro Ricerca Venezia - Giugno 1973.
- 13) 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.
- 14) 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.
- 15) STERN A.C. - Air pollution - Vol. 1 - Academic Press 1968.
- 16) TURNER D.B. - A diffusion model for an urban area - Journal of Applied Meteorology - 3 - 1964.
- 17) 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 - Padova 1974.
- 18) ZANNETTI P. e RUNCA E. - Meteorologia ed inquinamento nell'area Veneziana - Atti del Convegno "Sep. Pollution '74", Padova (in stampa).

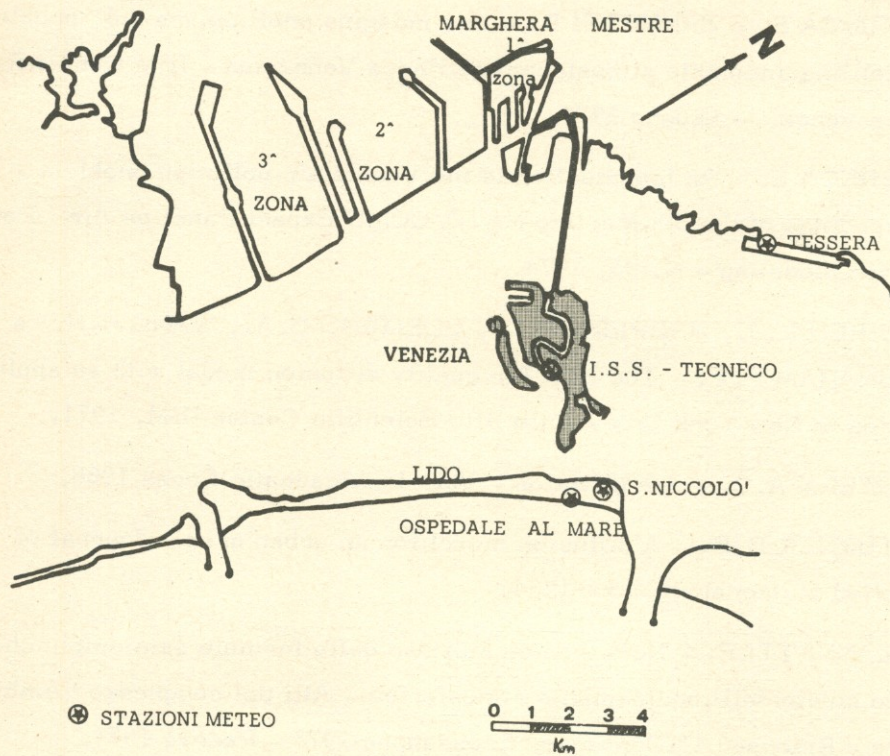


Fig. 1 - Area Veneziana e stazioni meteo analizzate

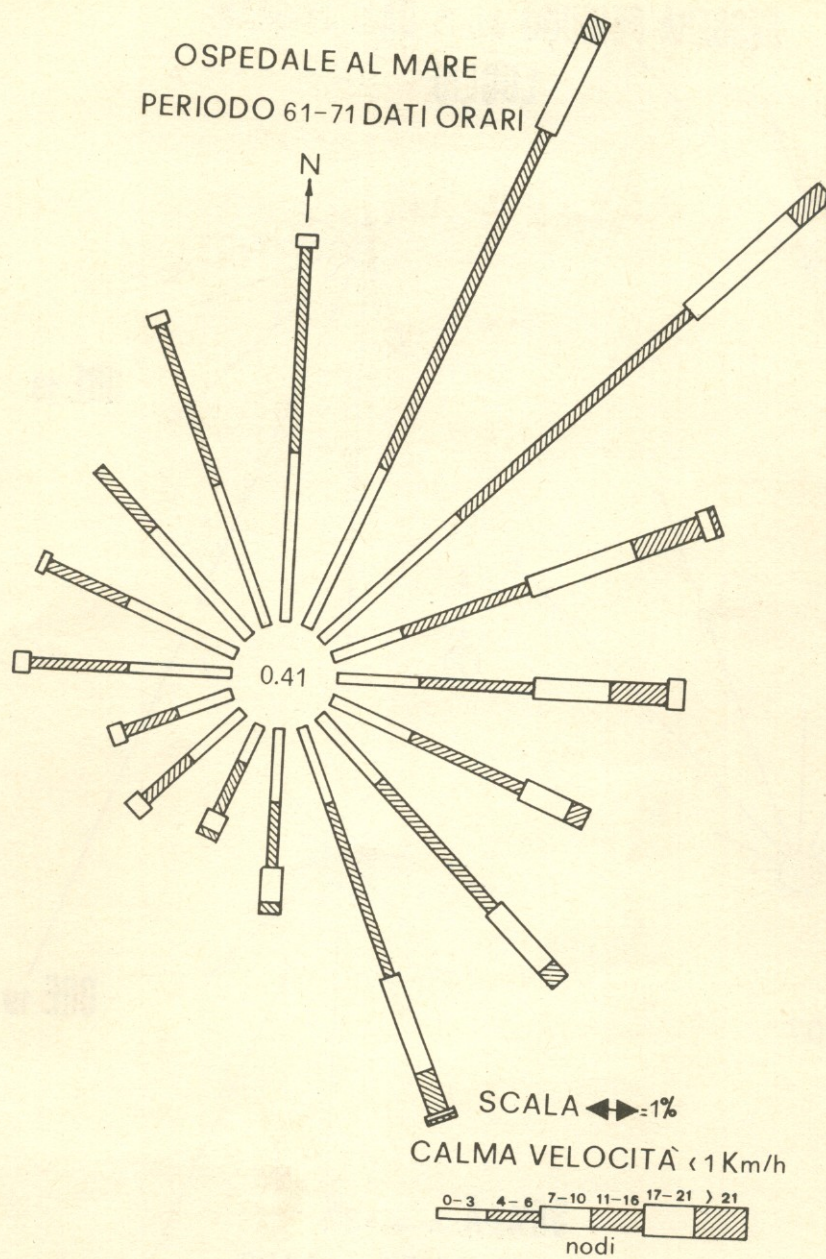


Fig. 2 - Rosa dei venti

TESSERA PERIODO 61-71 DATI TRIORARI
LUGLIO

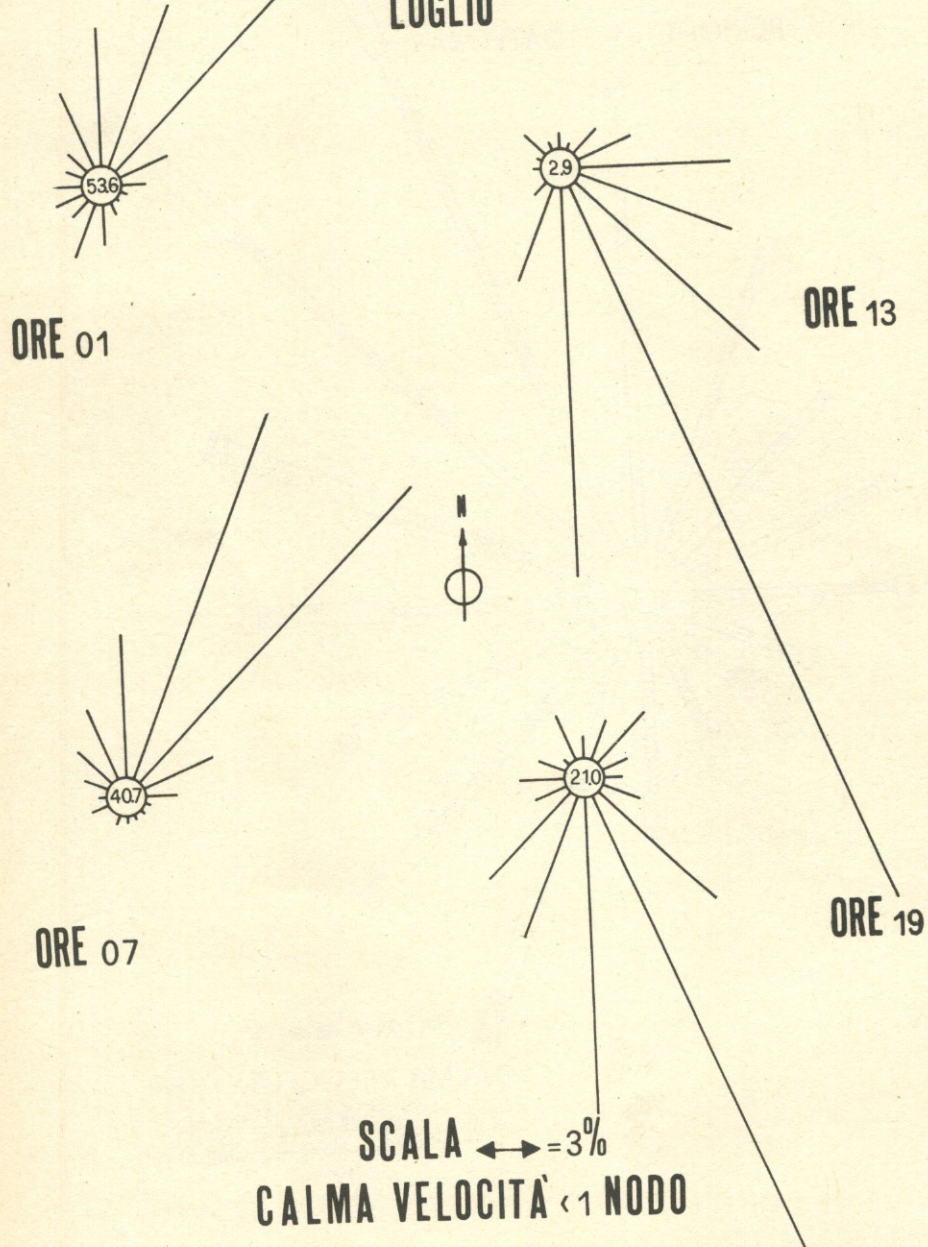


Fig. 3 - Effetto di brezza

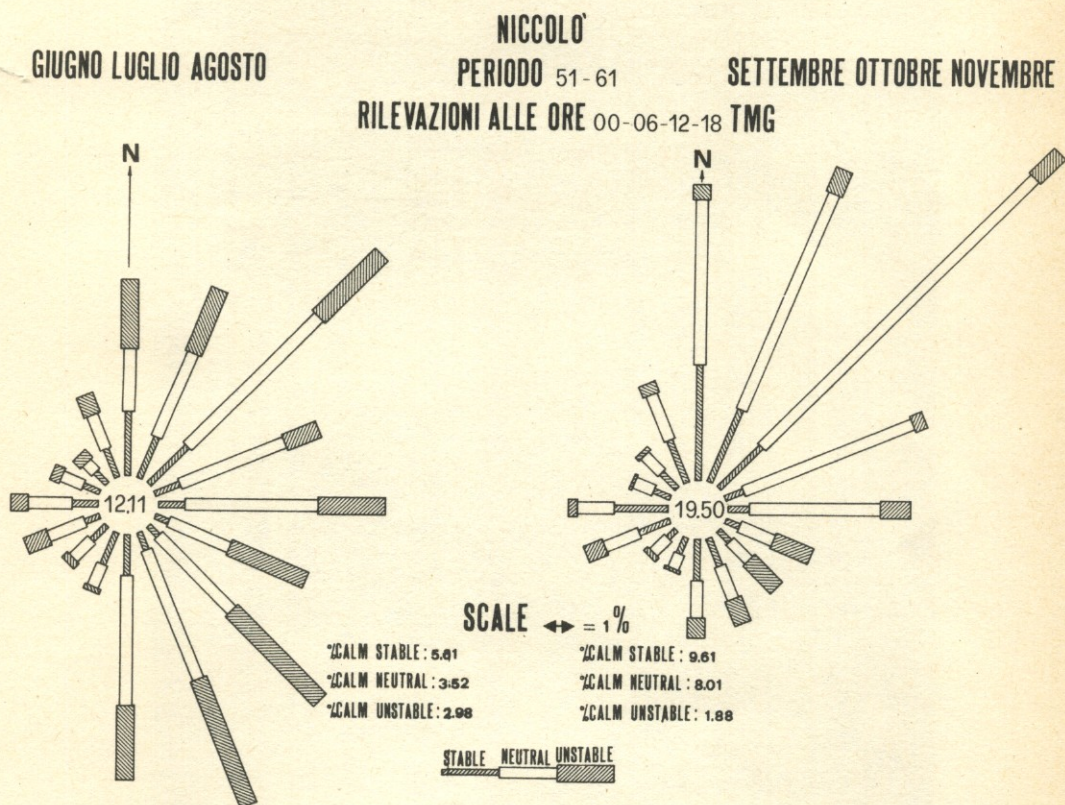


Fig. 4 - Rose di stabilità

Fig.5 - Modulo per il censimento delle emissioni di origine industriale:
il modulo è leggibile automaticamente tramite lettore ottico

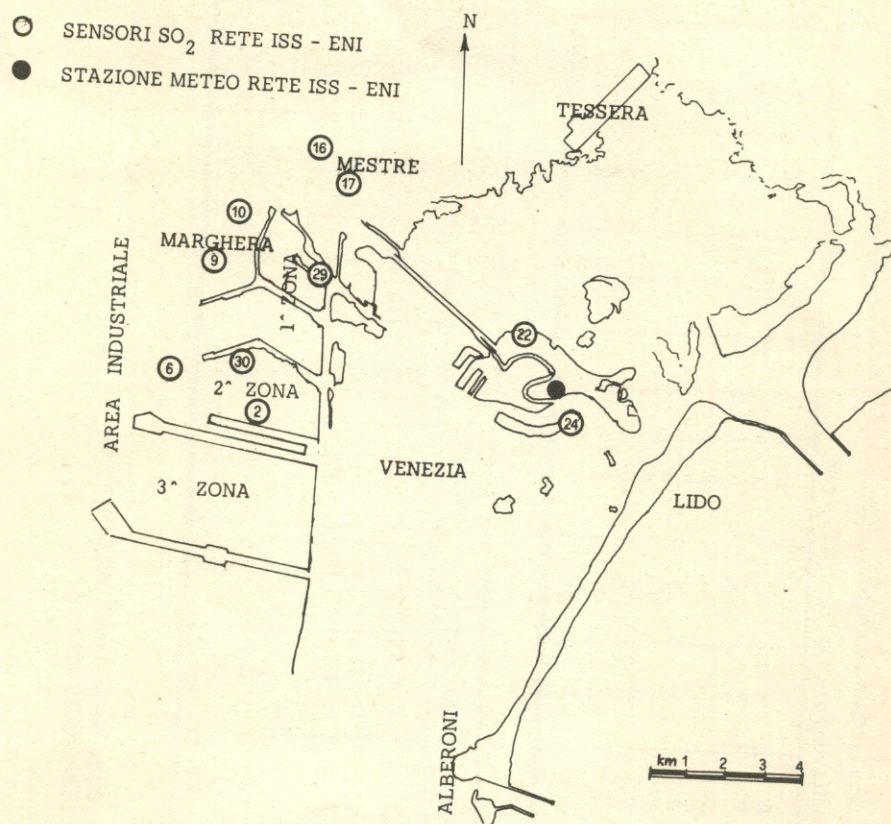


Fig. 6 - Rete dell'Istituto Superiore di Sanità - ENI (Tecneco)

Sensor	Feb. 73	Mar. 73	Apr. 73	May 73	Jun. 73	Jul. 73	Aug. 73	Sep. 73	Oct. 73	Nov. 73	Dec. 73	Jan. 74
SO ₂ - Daily average concentrations greater than 0.15 p p m												
2	2	0	0	0	0	0	0	0	2	1	4	1
6	3	0	1	0	0	0	0	0	2	0	1	2
9	0	8	2	2	1	0	0	0	0	0	0	1
10	3	4	1	0	0	0	0	0	0	0	4	1
16	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	3	7
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0	1	1	0	0	0	1	0	2	4	8	2
30	4	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	6

SO ₂ - 30 minutes average concentrations greater than 0.30 p p m												
2	15	9	3	2	1	6	5	8	12	13	32	12
6	11	22	12	2	2	9	9	2	0	0	10	4
9	7	81	49	66	18	13	22	12	20	4	6	9
10	17	34	22	34	3	6	10	13	2	4	4	10
16	9	9	19	2	1	0	1	3	1	18	4	22
17	3	2	21	3	0	2	2	8	2	5	0	17
22	1	1	3	0	0	2	0	1	2	19	5	27
24	0	1	0	0	0	0	0	0	0	4	4	2
29	11	31	31	17	2	12	16	7	40	63	48	10
30	20	22	34	8	18	35	12	11	21	3	0	1

Fig. 7 - Superamenti degli standard di legge nel periodo Febbraio 73/
Gennaio 74 rilevati dalla rete ISS-ENI (Tecneco)

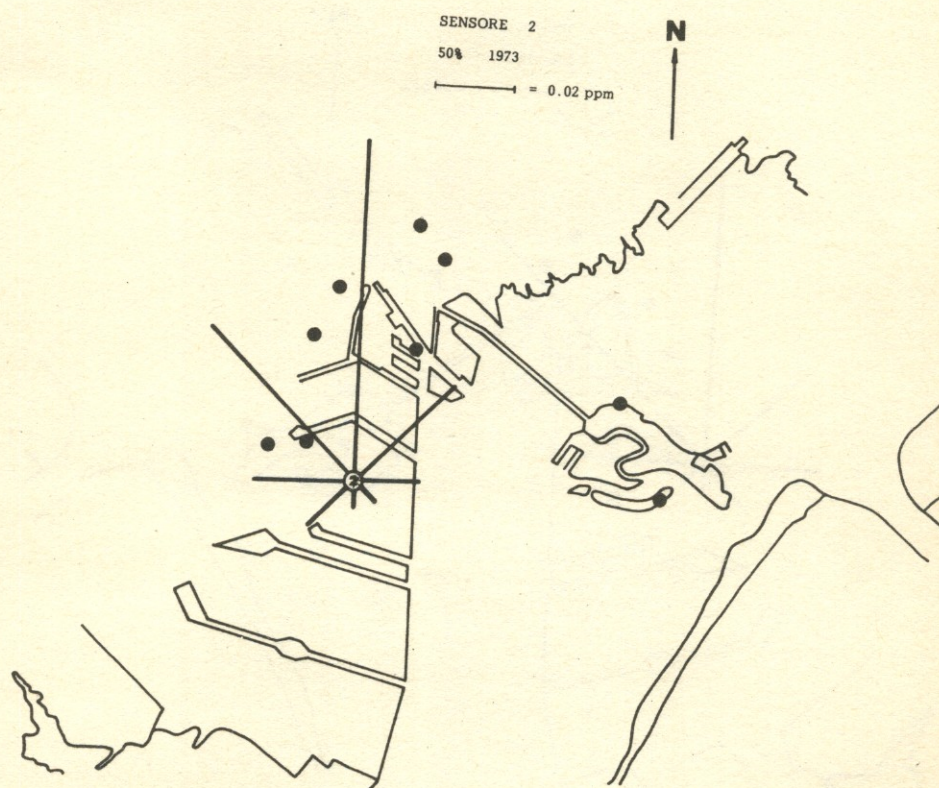


Fig.8 - Rosa di concentrazione (sensore 2).
 Esempio di interpretazione : sull'intero periodo Febbraio 73/
 /Gennaio 74 le concentrazioni orarie di SO_2 misurate dal sen-
 sore 2, in concomitanza con vento proveniente da Nord, han-
 no superato, nel 50% dei casi, il valore di 0.09 ppm.

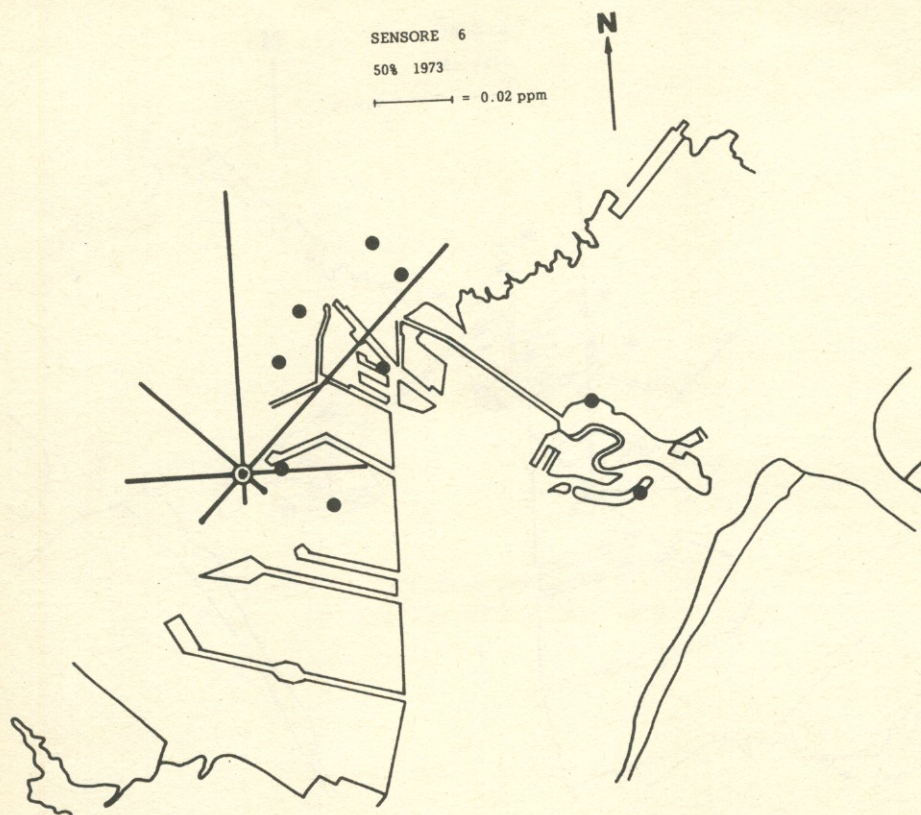


Fig.9 - Rosa di concentrazione (sensore 6)

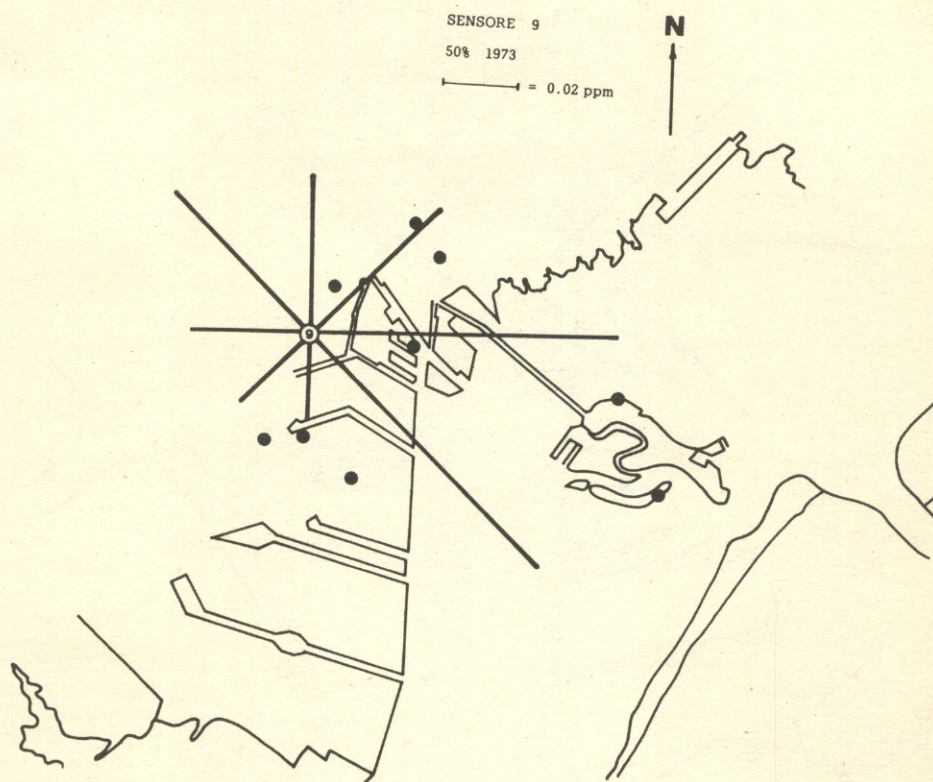


Fig.10 - Rosa di concentrazione (sensore 9)

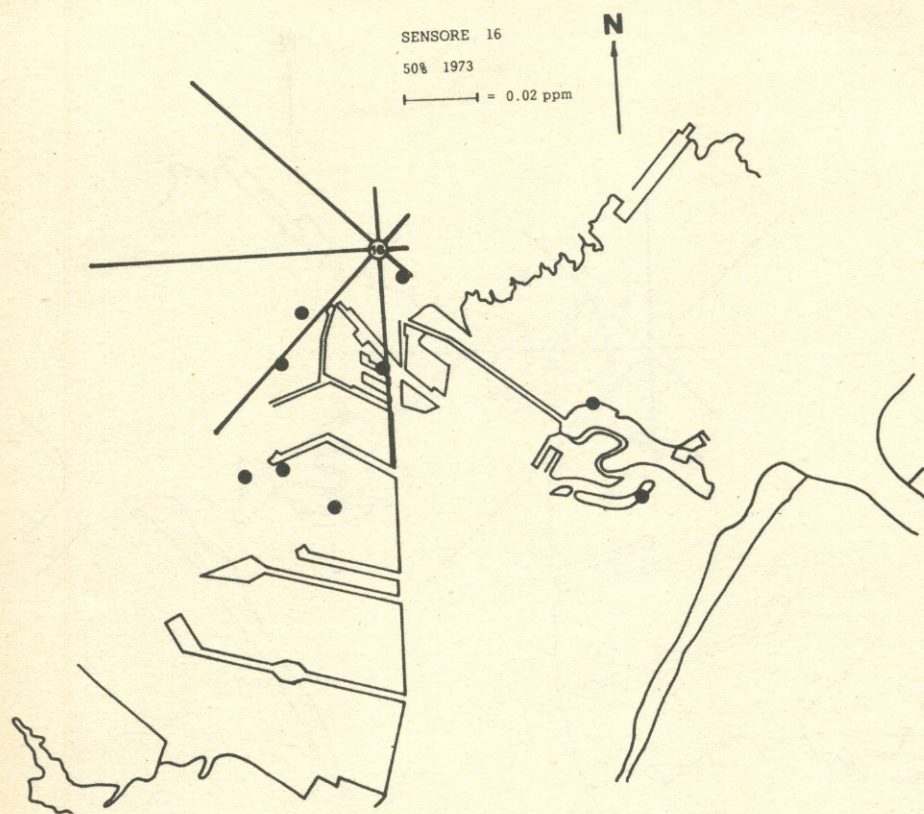


Fig.11 - Rosa di concentrazione (sensore 16)

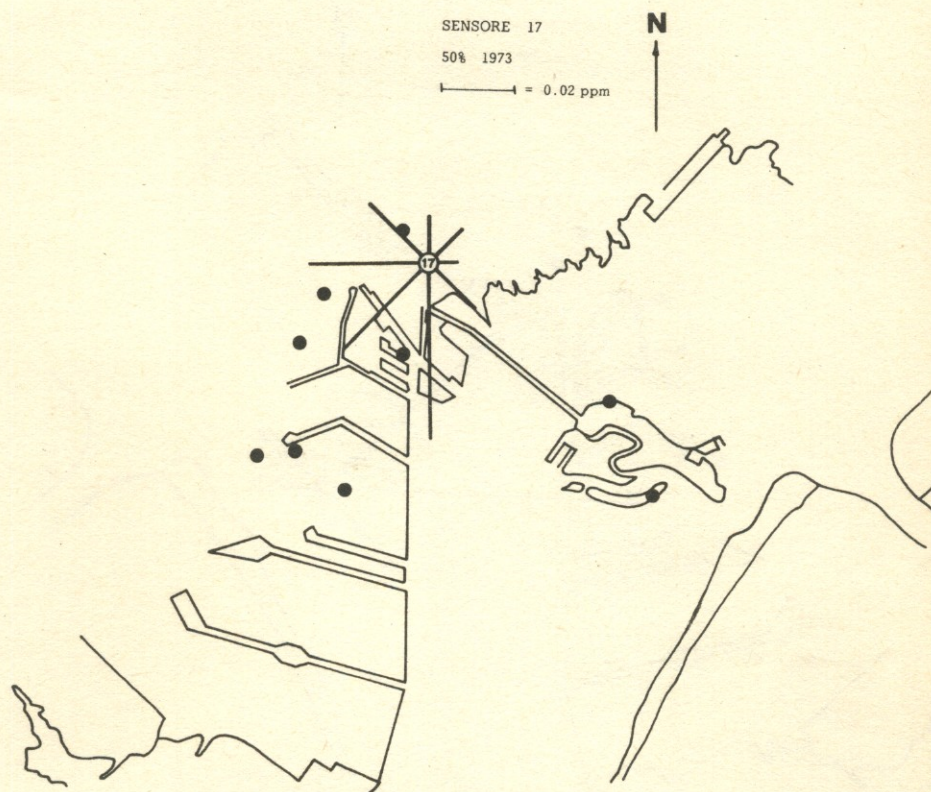


Fig. 12 - Rosa di concentrazione (sensore 17)

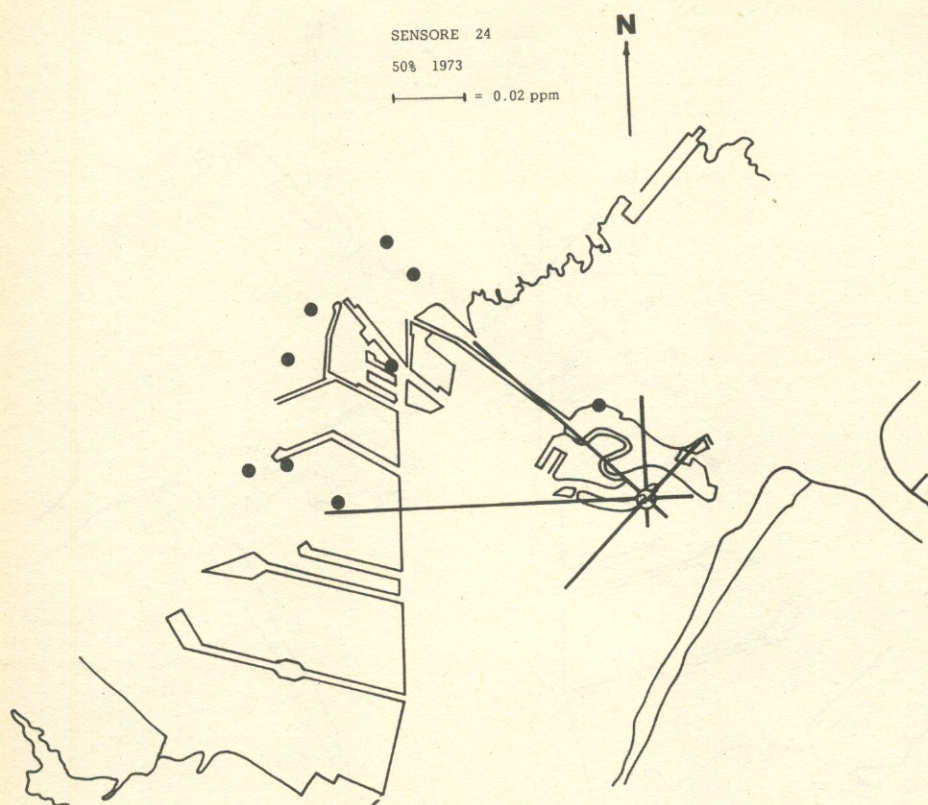


Fig.13 - Rosa di concentrazione (sensore 24)

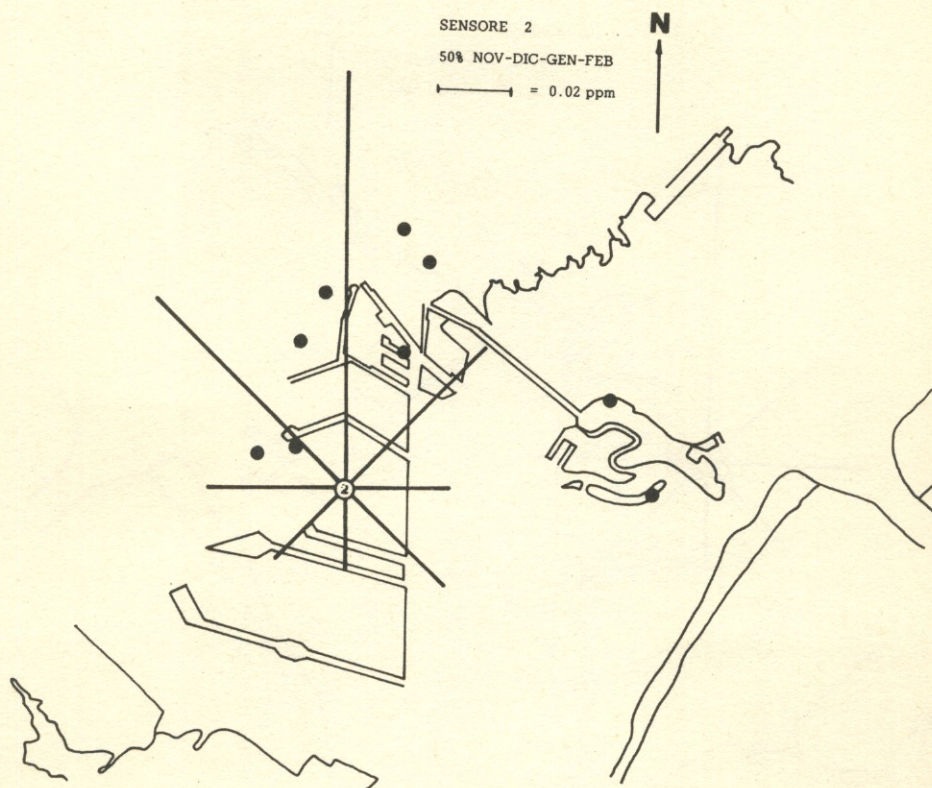


Fig.14 - Rosa di concentrazione (sensore 2).
Analoga alle precedenti ma relativa ai soli mesi Novembre/Febbraio

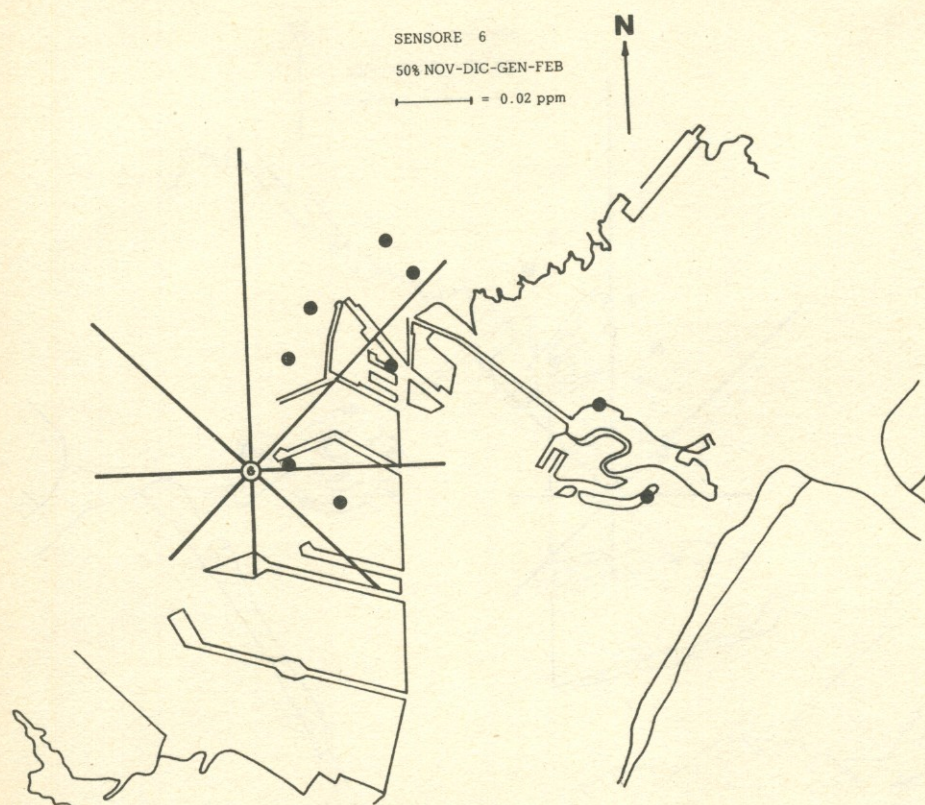


Fig.15 - Rosa di concentrazione (sensore 6)

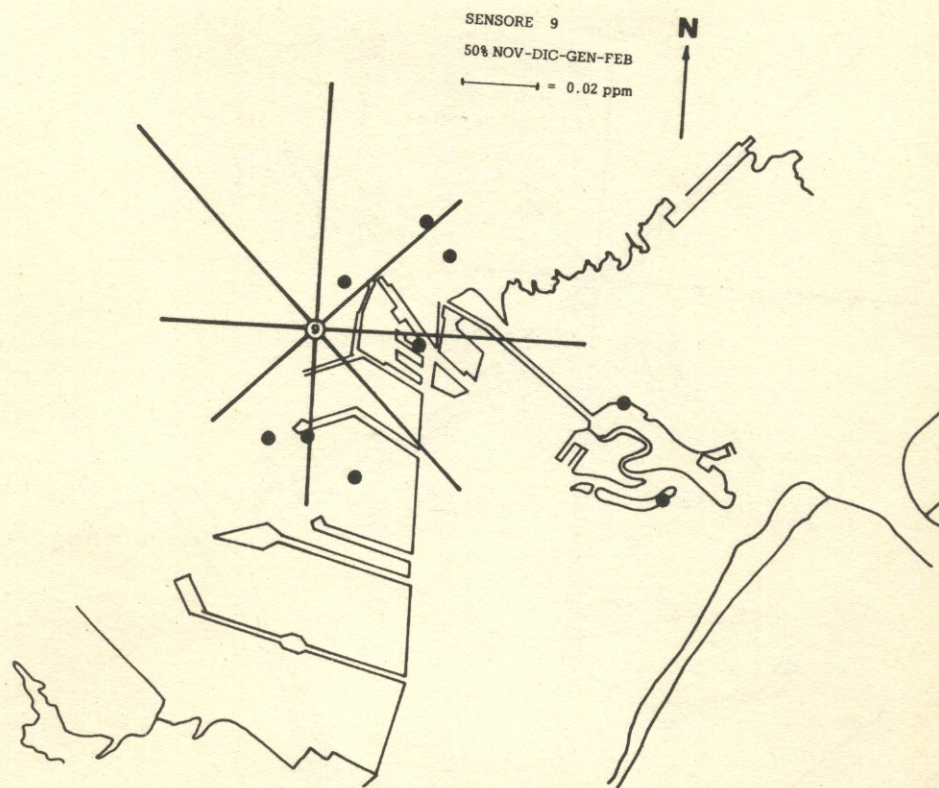


Fig. 16 - Rosa di concentrazione (sensore 9)

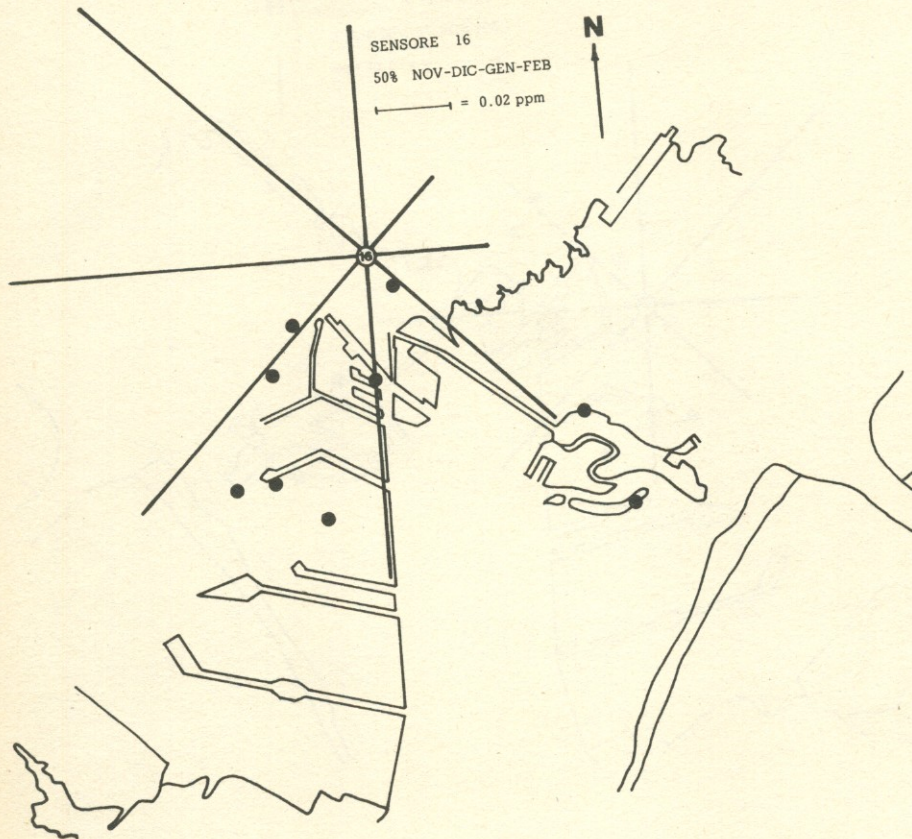


Fig.17 - Rosa di concentrazione (sensore 16)

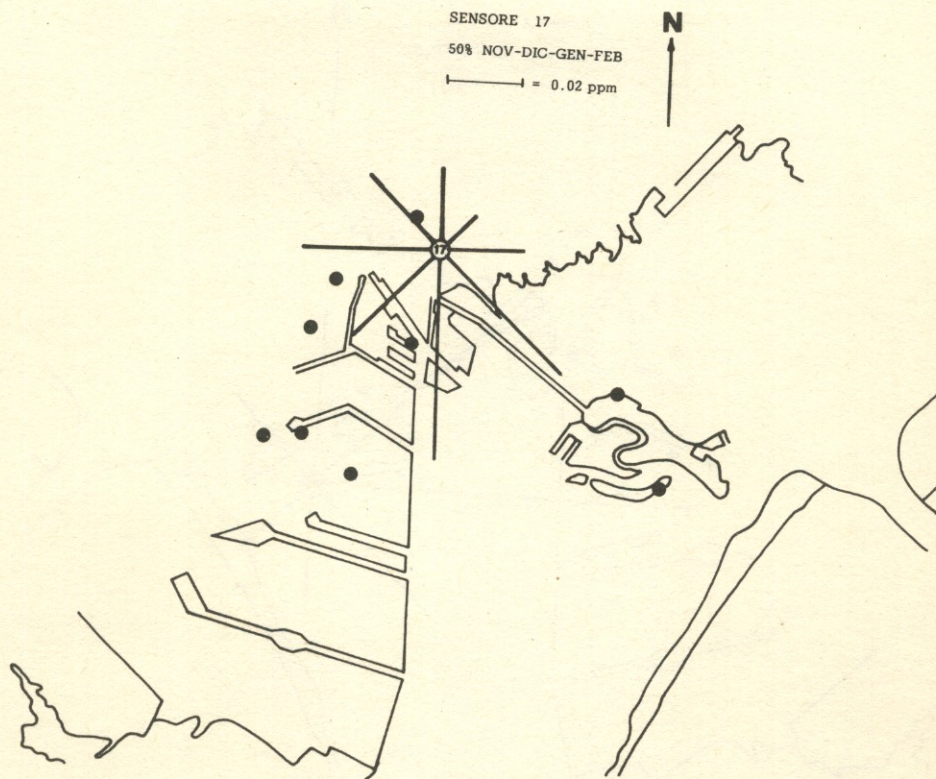


Fig. 18 - Rosa di concentrazione (sensore 17)

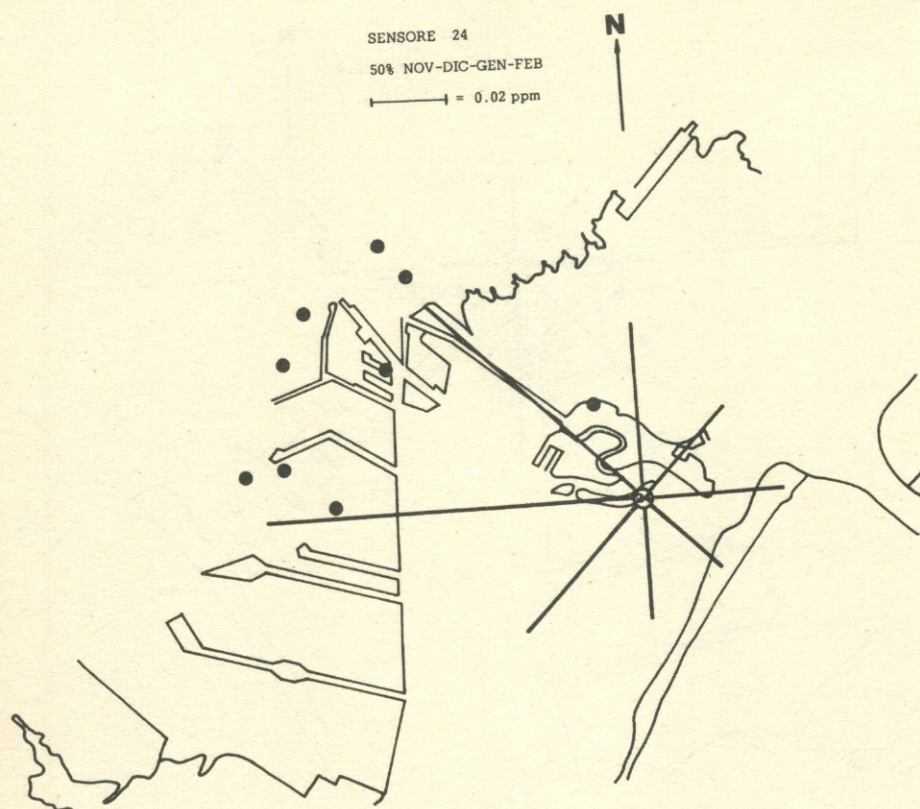


Fig.19 - Rosa di concentrazione (sensore 24)

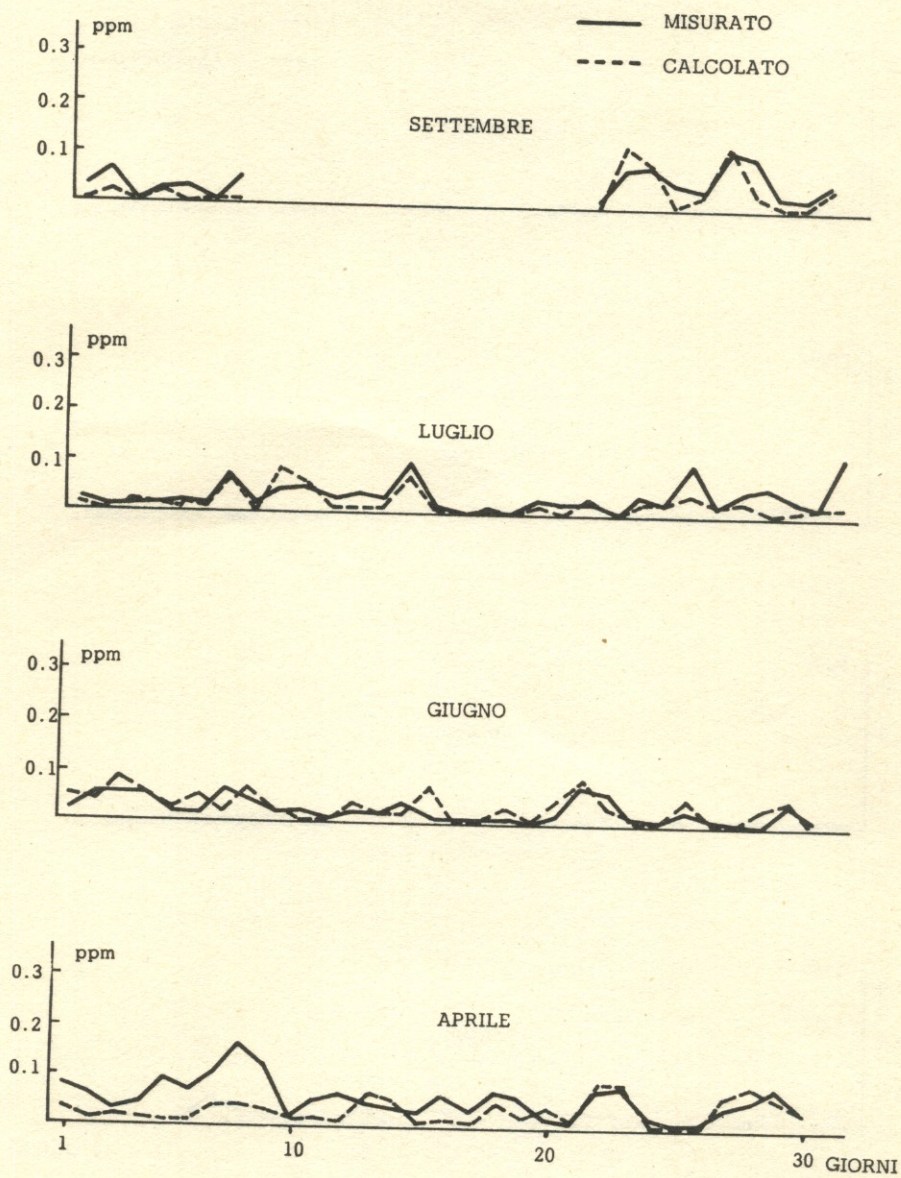
SENSORE 6 - CONCENTRAZIONI MEDIE GIORNALIERE DI SO_2 (1973)

Fig.20 - Sensore 6. Confronti misurato - calcolato (medie giornaliere)

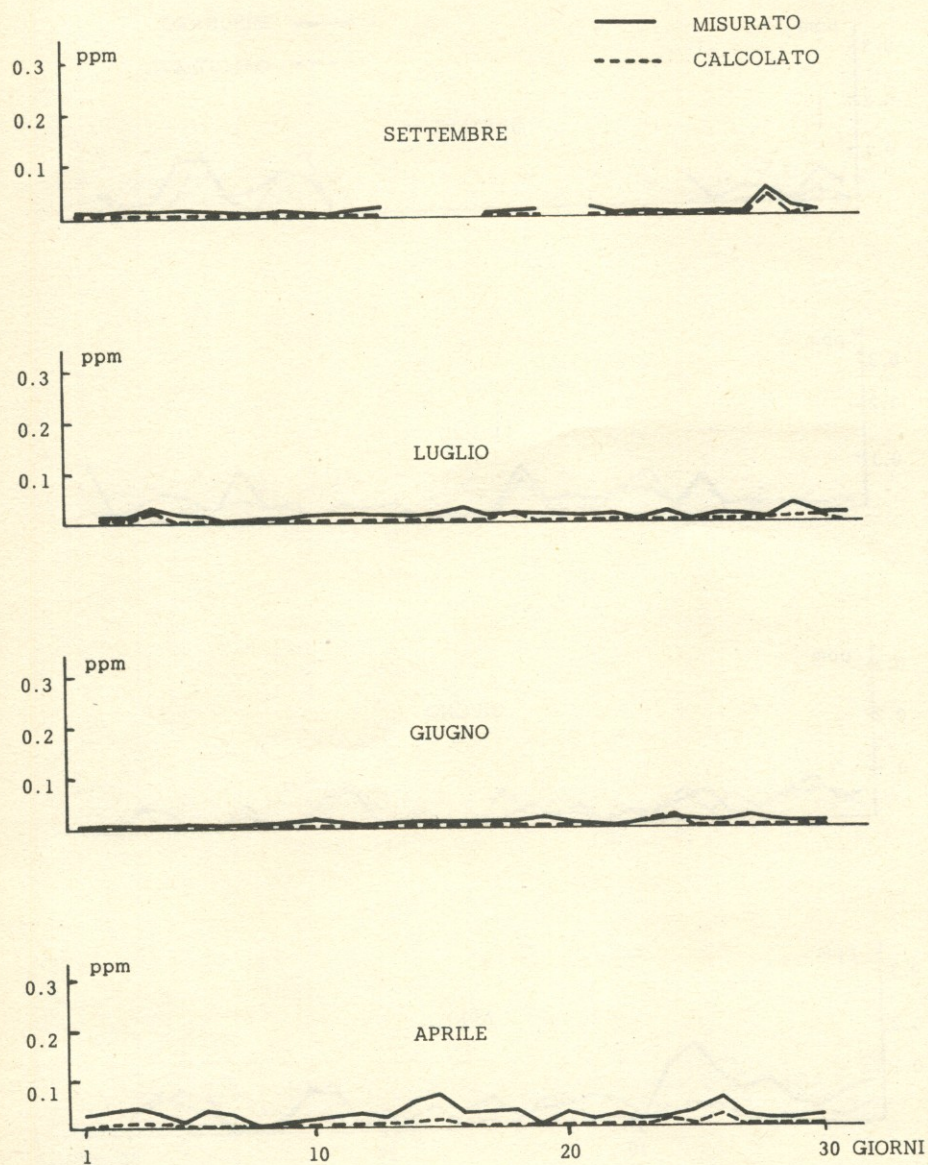
SENSORE 22 - CONCENTRAZIONI MEDIE GIORNALIERE DI SO_2 (1973)

Fig. 21 - Sensore 22. Confronti misurato - calcolato (medie giornaliere)

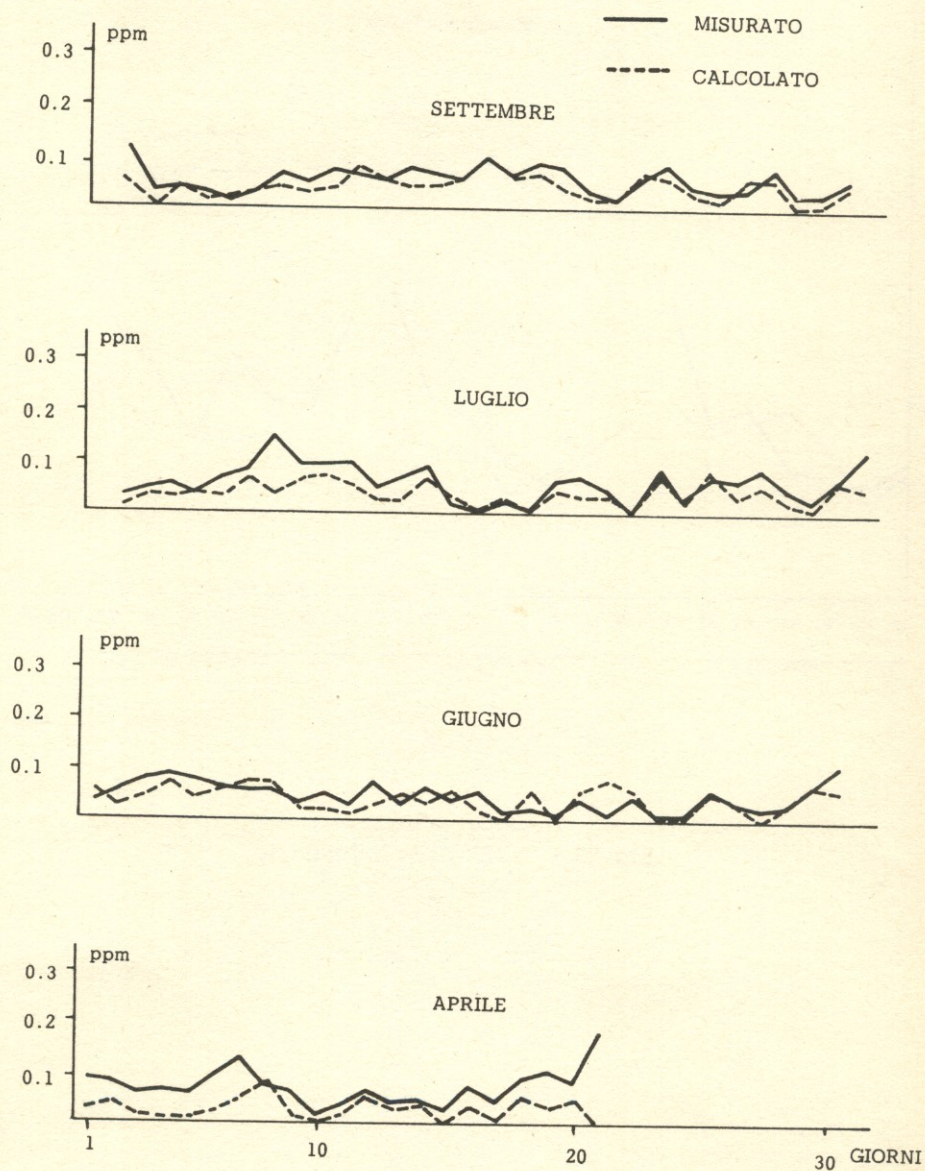
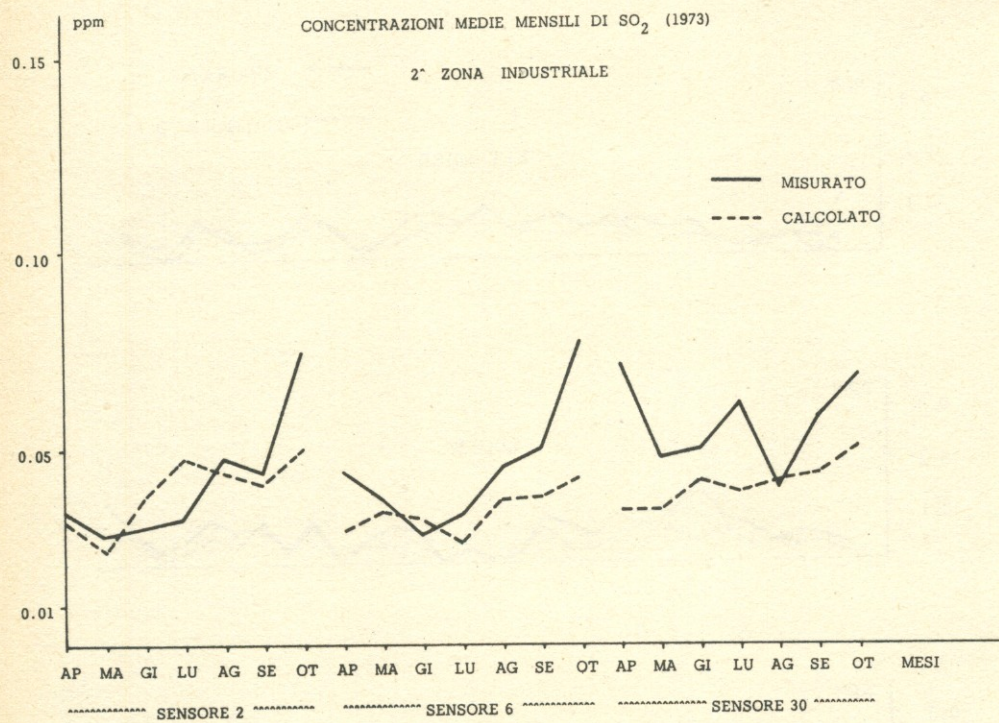
SENSORE 30 - CONCENTRAZIONI MEDIE GIORNALIERE DI SO_2 (1973)

Fig.22 - Sensore 30. Confronti misurato - calcolato (medie giornaliere)

Fig.23 - 2^a Zona Industriale.

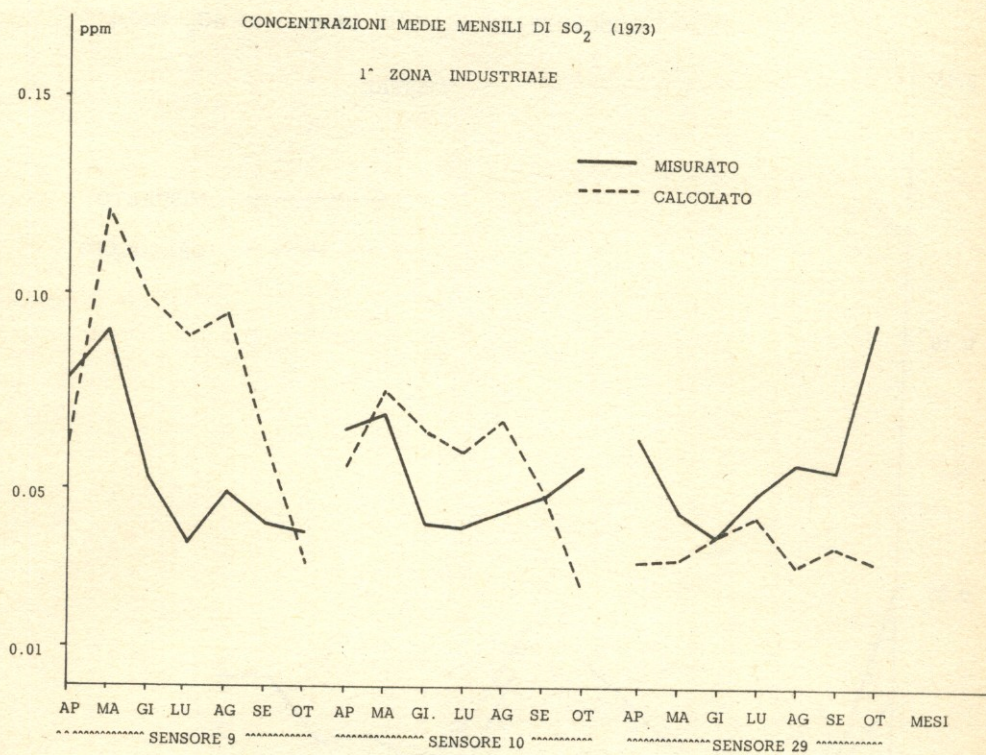


Fig.24 - 1° Zona Industriale. Confronti misurato - calcolato (medie mensili)

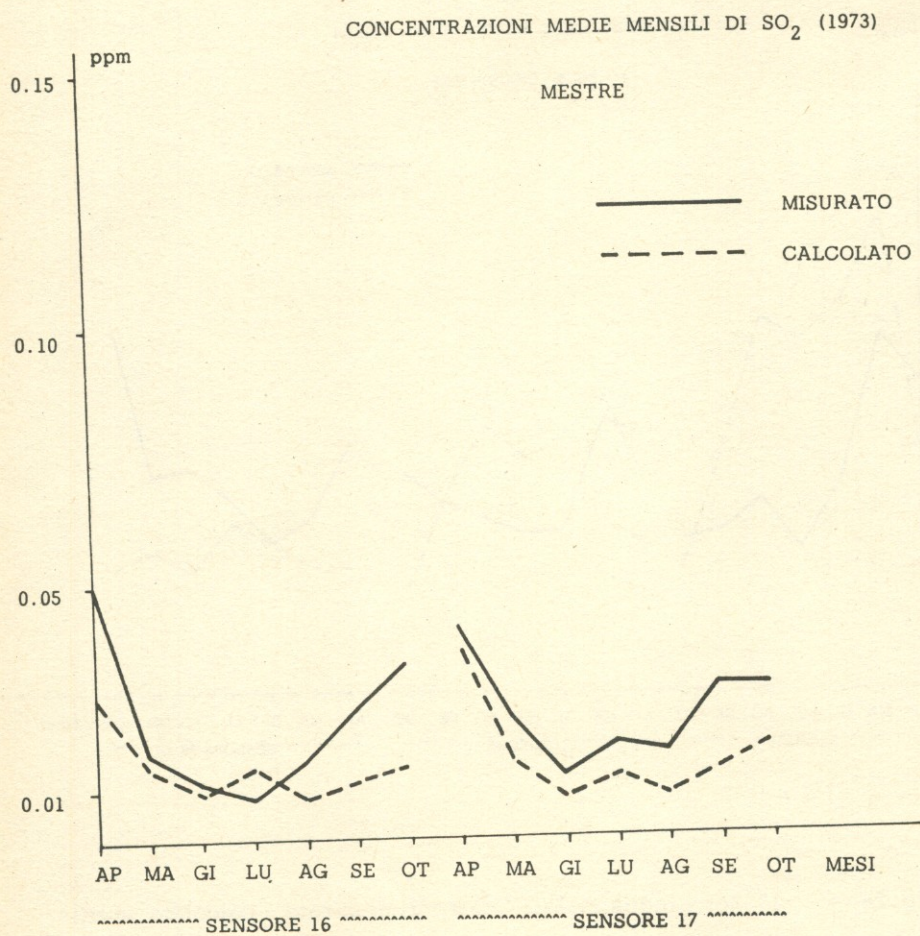


Fig.25 - Mestre. Confronti misurato - calcolato (medie mensili)

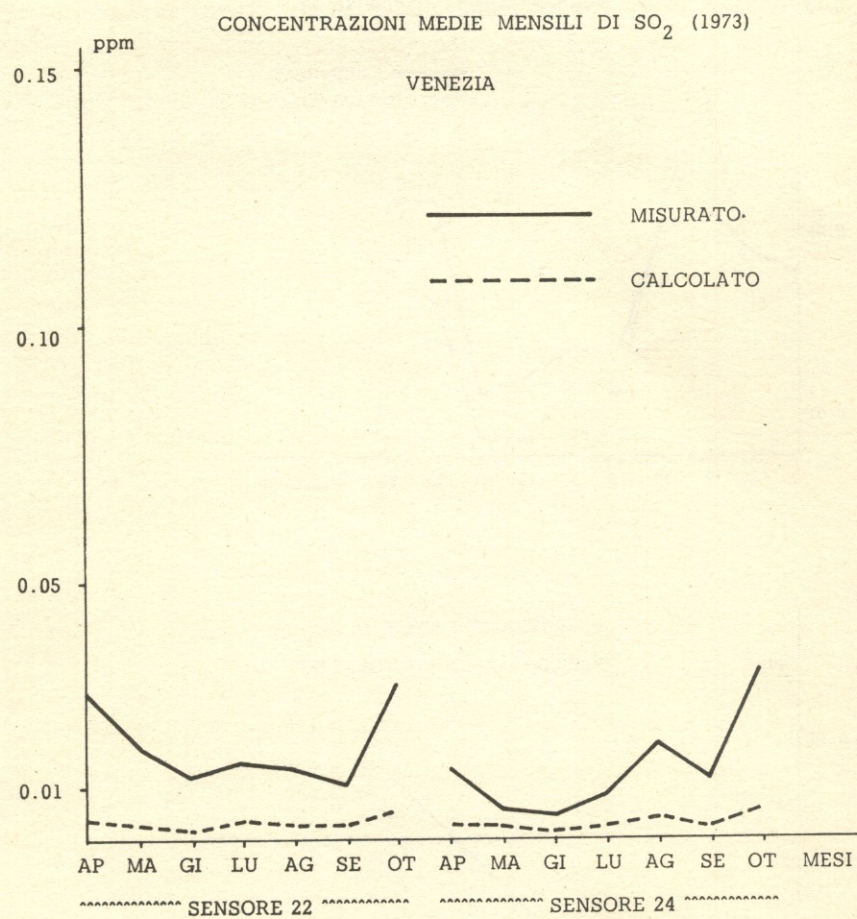


Fig.26 - Venezia. Confronti misurato - calcolato (medie mensili)

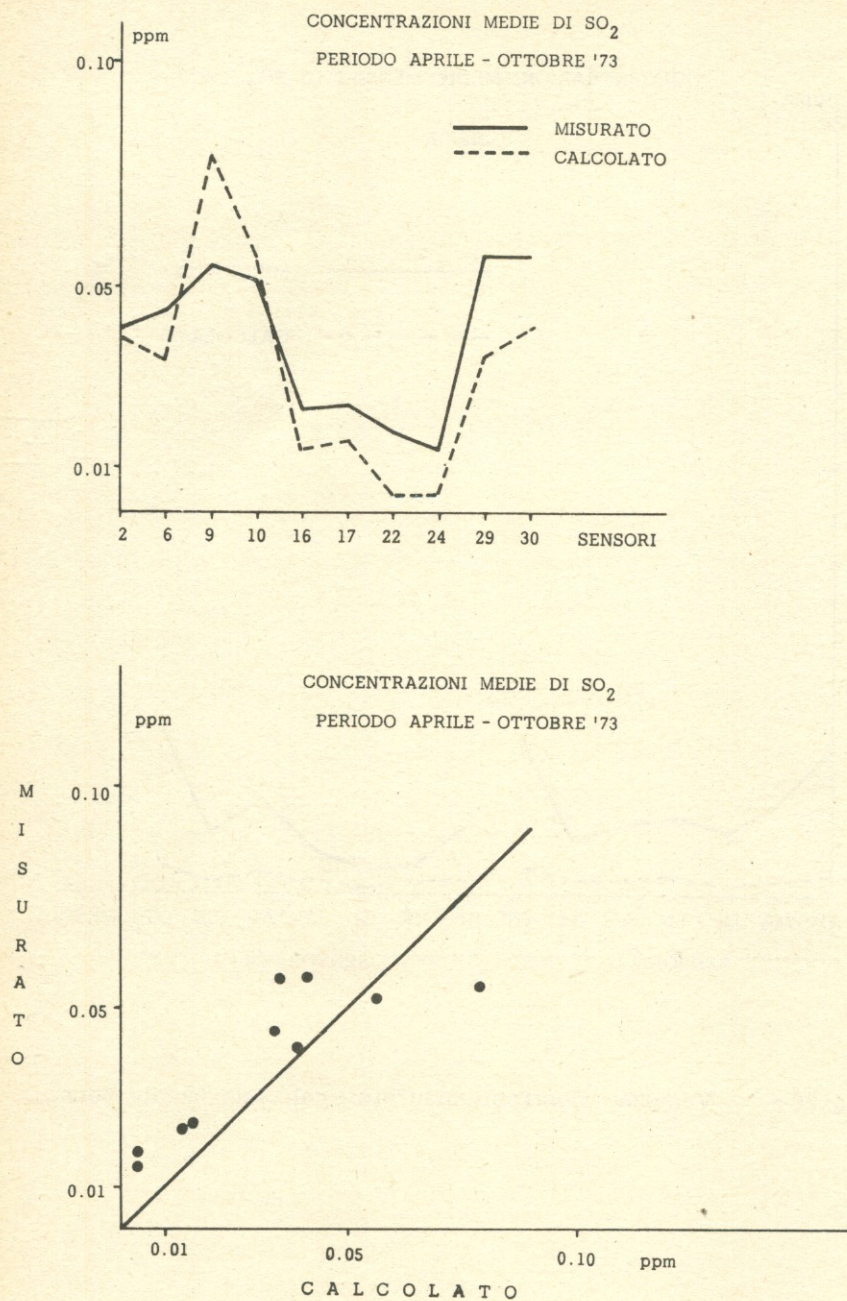


Fig.27 - Confronti misurato - calcolato (medie sul periodo Aprile/Ottobre 73)