

In tutti i diagrammi proposti è possibile osservare una componente stagionale: il monossido di carbonio ed il biossido di azoto presentano valori più elevati nei mesi invernali, mentre l'ozono raggiunge concentrazioni maggiori in estate.

Un'analisi più puntuale sulla stagionalità degli inquinanti è presentata in tabella 5.11 attraverso il rapporto tra la concentrazione media invernale e quella estiva.

Tab. 5.11. *Rapporto tra le concentrazioni medie invernali ed estive.*

	<i>Via Piave</i>	<i>Via Da Verrazzano</i>	<i>P.tta Matter</i>	<i>Parco Bissuola</i>
CO	2.3	2.2	2.0	1.5
O₃	0.3	0.6	0.2	0.2
NO₂	1.3	1.2	1.5	1.1
NO	3.3	2.1	6.5	5.1
NMHC	---	---	1.3	1.2
TH	---	---	---	1.0

La tabella 5.11 consente di effettuare confronti con altri studi. In particolare, a Londra, in prossimità di una strada ad intensa circolazione sono stati calcolati i seguenti rapporti stagionali: 1.6 per CO, 0.5 per O₃, 1.1 per NO₂, 2.4 per NO e un rapporto variabile tra 1.8 e 1.9 per una serie differenziata di idrocarburi (Derwent *et al.*, 1995). I valori calcolati nelle stazioni di Mestre risultano leggermente maggiori (o minori nel caso dell'ozono), indicando dunque una componente stagionale più accentuata. Altrove (Conland *et al.*, 1994) per il biossido d'azoto viene individuato un comportamento stagionale diversificato a seconda delle caratteristiche rurali o urbane dell'area in cui si effettua il monitoraggio: valori maggiori in inverno, come si verifica in tutte e quattro i siti di misura di Mestre, sarebbero caratteristici di aree urbane. L'ipotesi è in parte confermata anche dai dati del biossido d'azoto rilevati per Mestre in cui si osserva una componente stagionale che si attenua nel passaggio dalle stazioni di città (via Piave e via Da Verrazzano) a quella situata nell'area verde del Parco.

5.6. L'analisi di Fourier

L'analisi di Fourier si basa sulla decomposizione (sotto opportune ipotesi) della serie originaria dei dati in una somma di funzioni periodiche di diversa frequenza:

$$Y_t = \sum_{k=0}^{[n/2]} (a_k \cos \mathbf{w}_k t + b_k \sin \mathbf{w}_k t), \quad \text{con } t = 1, 2, \dots, n$$

dove Y_t è l'osservazione al tempo t , e dove w_k , a_k e b_k sono rispettivamente le *frequenze* e *coefficienti di Fourier*¹⁹.

Una sequenza di dati numerici è dunque rappresentabile in termini delle sue frequenze, ossia è scomponibile nella somma di opportune funzioni periodiche riferite a tutte le possibili ciclicità che tale serie può assumere.

L'analisi spettrale permette di determinare quali siano le frequenze più importanti o caratteristiche. Il *periodogramma*, che viene calcolato attraverso la relazione:

$$I(\mathbf{w}_k) = \begin{cases} na_0^2, & k = 0 \\ \frac{n}{2}(a_k^2 + b_k^2), & k = 1, \dots, \frac{(n-1)}{2} \\ na_{n/2}^2, & k = \frac{n}{2} \end{cases} \quad \text{quando } n \text{ è pari}$$

misura infatti l'intensità della frequenza k -esima ($f_k = k/n$) all'interno della serie di valori e quindi l'importanza che assume ogni singolo periodo p_k ($p_k = n/k$) della serie.

Questo metodo di analisi richiede che non vi siano dati mancanti nella serie temporale a cui viene applicato. Prima di sottoporre le serie alla trasformazione spettrale i dati mancanti sono stati sostituiti dai valori ottenuti interpolando linearmente i punti adiacenti, metodo generalmente ritenuto idoneo a mantenere invariata la struttura della serie storica originaria.

I *periodogrammi* delle singole specie inquinanti mostrano andamenti molto simili in tutte le stazioni di misura. A scopo esemplificativo nelle figure 5.29- 5.32 sono riportati i periodogrammi relativi ai dati della stazione di Via Piave.

Fig. 5.29. *Analisi spettrale: monossido di carbonio misurato in via Piave.*

¹⁹ $w_k = 2 \pi k/n$, con $k = 0, 1, 2, \dots, [n/2]$,

$$a_k = \begin{cases} \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n Y_t \cos w_k t & k = 0, k = \frac{n}{2} \\ \frac{2}{n} \sum_{t=1}^n Y_t \cos w_k t & k = 1, 2, \dots, \left[\frac{n-1}{2} \right] \end{cases} \quad \text{se } n \text{ è pari}$$

$$b_k = \frac{2}{n} \sum_{t=1}^n Y_t \sin w_k t, \quad k = 1, 2, \dots, \left[\frac{n-1}{2} \right].$$

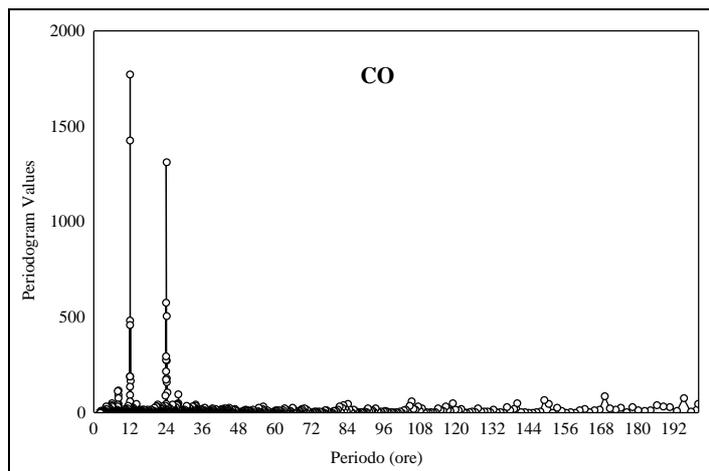


Fig. 5.30. Analisi spettrale: monossido di azoto misurato in via Piave.

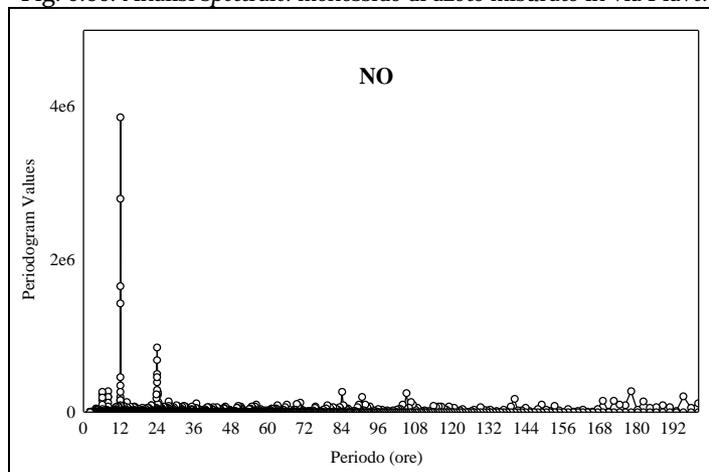


Fig. 5.31. Analisi spettrale: biossido di azoto misurato in via Piave.

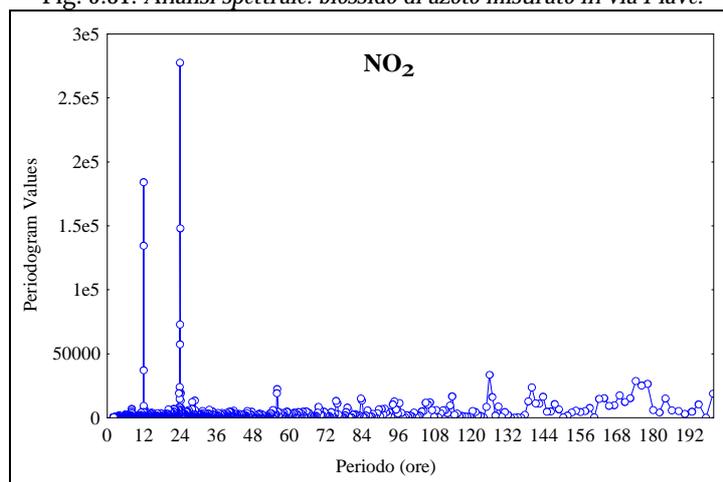


Fig. 5.32. Analisi spettrale: ozono misurato in via Piave

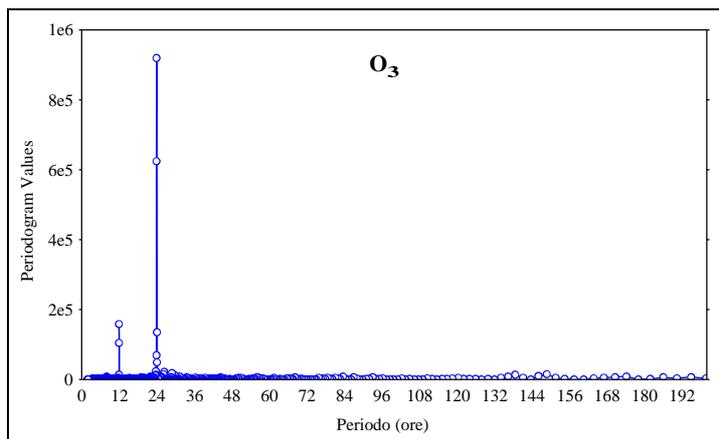


Fig. 5.33. Spettro anomalo: biossido d'azoto di via Da Verrazzano.

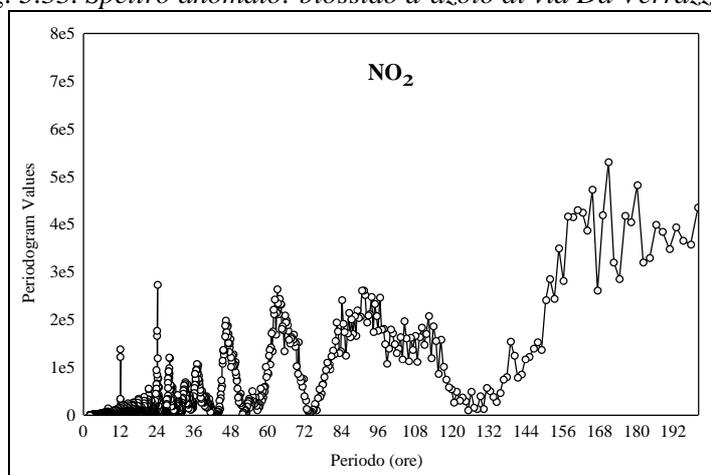


Fig. 5.34. Spettro anomalo: ozono di via Da Verrazzano.

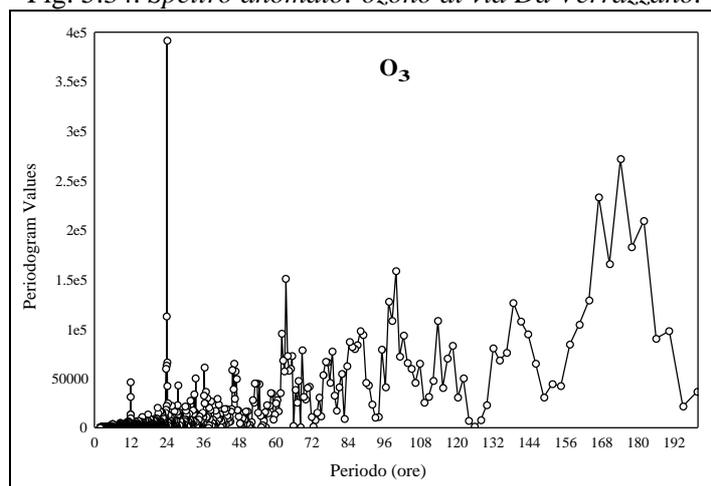
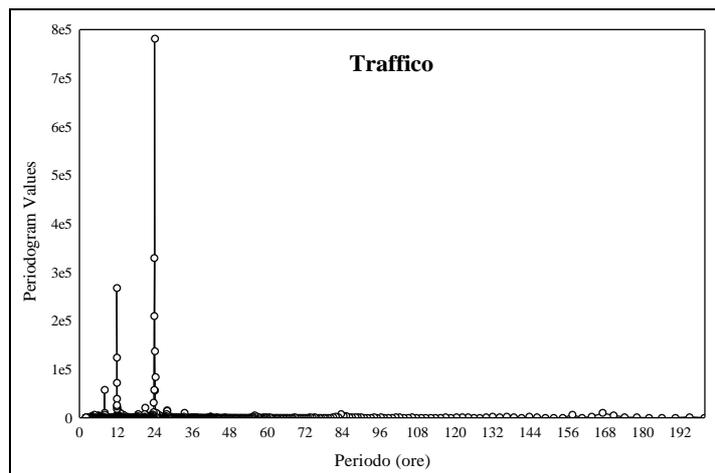


Fig. 5.35. Analisi spettrale: variabile traffico misurato in via Piave.



Si osservano per tutti gli inquinanti periodicità a 12 e 24 ore, mentre non è evidente alcun picco in corrispondenza del periodo settimanale di 168 ore (figg. 5.29-5.32).

Le figure 5.33 e 5.34 ritraggono gli spettri del biossido di azoto e dell'ozono di via Da Verrazzano: l'anomala forma di questi due periodogrammi conferma le perplessità già evidenziate dalle precedenti analisi statistiche sulla qualità dei dati di queste due serie storiche.

L'ultimo periodogramma proposto è quello relativo ai flussi veicolari registrati in via Piave (fig. 5.35): anche per questa variabile sono evidenti due marcate periodicità a 12 e 24 ed una appena accennata a 8 ore, mentre non si osserva alcun effetto settimanale.

5.7. Analisi degli eventi acuti

Gli eventi legati al superamento delle concentrazioni indicate dalla vigente normativa come soglia per individuare *stati di attenzione* e *di allarme* (DM 15.04.94 e successive modifiche per l'aggiornamento dei limiti) meritano un approfondimento. L'analisi è stata effettuata limitatamente ai tre inquinanti, CO, NO₂ e O₃, per i quali il *livelli di attenzione* e *di allarme* sono stabiliti in termini di concentrazione media oraria²⁰.

La tabella 5.12 indica, per ogni stazione, il numero di volte in cui è avvenuto il superamento dei due valori soglia stabiliti per ogni inquinante.

²⁰ Per SO₂ e PTS i limiti sono invece riferiti alle concentrazioni medie giornaliere.

Tab. 5.12. Numero di eventi acuti registrati durante l'anno 1995.

	CO (mg/m ³)		NO ₂ (µg/m ³)		O ₃ (µg/m ³)	
	15	30	200	400	180	360
Via Da Verrazzano	4	0	7	5	12	4
Via Piave	10	0	2	1	1	1
P.tta Matter	0	0	3	0	7	0
Parco Bissuola	3	0	0	0	8	0

Non tutti i superamenti corrispondono, però, a *stati di attenzione e di allarme* in quanto le quattro stazioni, a seconda della loro tipologia, concorrono²¹ diversamente alla determinazione di tali *stati*, come puntualizzato nella tabella 5.13.

Tab. 5.13. Parametri per la determinazione degli stati di attenzione e di allarme nelle stazioni di rilevamento del Comune.

Stazioni di Mestre	tipo	inquinanti
Parco Bissuola	A	CO, NO ₂ , O ₃
Piazzetta Matter	B	NO ₂
Via da Verrazzano	C	CO
Via Piave	C	CO

Attraverso un'analisi di dettaglio di ogni singolo 'evento acuto' si è evidenziato il ruolo determinante della meteorologia.

L'effetto esercitato dalla singola variabile meteorologica non è sempre univoco, bensì può variare a seconda dell'inquinante. Infatti alte concentrazioni di monossido di carbonio e di biossido d'azoto sono associate a bassi valori della **velocità del vento** e a valori del **gradiente termico verticale** corrispondenti a condizioni atmosferiche stabili o tutt'al più neutre, mentre per l'ozono queste stesse condizioni caratterizzano proprio gli episodi in cui si registrano concentrazioni inferiori.

Anche la **pressione atmosferica** si associa diversamente agli episodi acuti dell'ozono rispetto a quelli del monossido di carbonio e del biossido d'azoto: alte pressioni accompagnano concentrazioni elevate per questi ultimi due inquinanti mentre per l'ozono i picchi più alti si verificano in condizioni di bassa pressione.

²¹ Si ricorda che le quattro stazioni del Comune sono solo una parte della rete di rilevamento per la qualità dell'aria di Mestre; per la determinazione degli *stati di attenzione e di allarme* è dunque necessario accertare l'eventuale superamento dei limiti anche nelle altre 4 stazioni della Provincia, secondo le modalità specificate dal DM 15.04.94 per ogni diverso inquinante.

Per l'ozono i valori al di sopra del limite di legge sono associati, come prevedibile, ad alti valori della **radiazione solare globale** e si verificano per lo più nelle prime ore del pomeriggio. Per il monossido di carbonio e il biossido d'azoto sono le ore serali, invece, quelle in cui solitamente si verificano gli episodi acuti.

Per tutti gli inquinanti, infine, il superamento dei limiti di legge avviene sempre in assenza di **precipitazioni**.

- Anche l'analisi degli eventi acuti mette dunque in risalto il particolare comportamento dell'ozono. La manifestazione di valori massimi in concomitanza di situazioni meteorologiche di leggera instabilità sono note in letteratura (Fortezza *et al.*, 1993; Cattani *et al.*, 1995) dove sono attribuite all'influenza di fenomeni di trasporto a piccola scala (brezze di mare/terra, di monte/valle, celle di brezza con dimensioni tipiche da 10 a 50 Km). Il rimescolamento ed i movimenti determinano infatti il coinvolgimento in una stessa massa d'aria inquinata di precursori provenienti da sorgenti di emissione distribuite anche in aree di notevoli dimensioni²². Inoltre il trasporto da parte del vento allontana i precursori proprio dalle zone più inquinate dove l'ozono che viene prodotto è subito abbattuto dalle grandi quantità di NO emesse da sorgenti veicolari e da processi di combustione. Le massime concentrazioni di ozono sono quindi rilevate in aree suburbane, sottovento agli agglomerati urbani e in condizioni di instabilità in cui diviene importante anche la struttura della distribuzione verticale dell'inquinante. La ricerca in questo campo si sta infatti sempre più orientando ad approfondire la conoscenza della distribuzione verticale dell'ozono all'interno della bassa troposfera, dopo che alcune campagne di misura hanno mostrato che i massimi di concentrazione vengono raggiunti non a livello del suolo bensì in quota.

²² Proprio perché è stato indicato che il fenomeno dello smog fotochimico si manifesta nel bacino padano adriatico su una scala spaziale che coinvolge l'intera area, l'ARPA (Agenzia Regionale per la Protezione e l'Ambiente) dell'Emilia Romagna ha promosso un progetto di coordinamento delle attività di misura delle reti di monitoraggio, denominato MOTAP '96 (Monitoraggio Ozono Troposferico nell'Area Padana).