

traffico nei tratti stradali limitrofi (deficienza non trascurabile data la fitta tessitura che caratterizza la rete stradale mestrina). I dati ottenuti, però, possono fornire una stima del fenomeno ed una loro analisi statistica può evidenziarne le componenti caratteristiche (periodicità, ciclicità, fluttuazioni, ecc.).

Dall'archivio di dati a disposizione si è estratto un sottoinsieme sul quale è stato sviluppato l'approfondimento statistico e modellistico.

L'arco temporale è stato ristretto all'anno solare 1995, per il quale erano disponibili una maggior quantità e varietà di informazioni (dati contemporanei da più stazioni su qualità dell'aria, meteorologia e traffico veicolare).

5.2. Statistiche descrittive

Le statistiche descrittive di base forniscono una prima indicazione sulla struttura dei dati a disposizione.

Nelle tabelle 5.5-5.8 sono riportate le principali statistiche descrittive (numero di *osservazioni valide*, *media* e *deviazione standard*, *mediana*, *valore minimo e massimo*, *skewness*¹⁰ e *kurtosis*¹¹) per i dati di qualità dell'aria, suddivisi in base alle stazioni di appartenenza.

¹⁰ la *skewness* misura il grado di simmetria della distribuzione dei valori: assume valore 0 se c'è simmetria (la massima simmetria è quella presentata dalla distribuzione *Normale* in cui moda, media e mediana coincidono), presenta valori < 0 con asimmetria negativa, cioè quando la moda è spostata verso i valori massimi della distribuzione ed è > 0 se la moda è spostata verso l'estremo inferiore della distribuzione (asimmetria positiva). La *skewness* è calcolata dalla formula:

$$Skewness = \frac{n \cdot \sum (x_i - \bar{x})^3}{[(n-1) \cdot (n-2) \cdot s^3]}$$

dove n è il numero di osservazioni valide e s la deviazione standard.

¹¹ La *kurtosis* misura la concentrazione o dispersione dei dati attorno ad un valore centrale: il valore 0 è tipico di una distribuzione *mesocurtica* come la *Normale*, con valori < 3 la distribuzione è detta *platicurtica* e presenta una forma appiattita con valori maggiormente concentrati nelle code, per *kurtosis* > 3 la distribuzione è *leptocurtica* con picco accentuato dato dalla concentrazione dei dati intorno ad un valore massimo. La *kurtosis* viene calcolata secondo la formula:

$$Kurtosis = \frac{[n \cdot (n+1) \cdot M^4 - 3M^2 \cdot M^2(n-1)]}{[(n-1) \cdot (n-2) \cdot (n-3) \cdot s^4]}$$

dove M^j è il j -esimo momento della distribuzione, $M^j = \sum (x_i - \bar{x})^j$

L'analisi è stata effettuata sui dati orari dell'intero arco annuale 1995 (ove disponibili) e sull'intero *set* di dati, comprendente variabili di qualità dell'aria, meteorologiche e riguardanti il traffico. Si puntualizza, però, che l'attenzione maggiore è stata rivolta al monossido di carbonio, agli ossidi di azoto ed all'ozono. CO ed NO vengono infatti utilizzati in qualità di inquinanti primari e quindi come indicatori della presenza e delle caratteristiche delle fonti di emissione (soprattutto il traffico), mentre O₃ ed NO₂ sono studiati come indicatori dello smog fotochimico, principale oggetto di approfondimento. Tutti gli altri inquinanti (NMHC, THC, PTS, SO₂), nonché le variabili meteorologiche vengono analizzati in relazione al contenuto informativo che può essere da loro ottenuto per la comprensione del fenomeno 'smog fotochimico'.

Tab.5.5. *Statistiche descrittive delle variabili registrate in via Da Verrazzano, anno 1995.*

<i>Variabile</i>	<i>oss. val.</i> ¹²	<i>Media</i>	<i>mediana</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>dev. Std.</i>	<i>Skew.</i>	<i>Kurt.</i>
CO (mg/m ³)	8164	2.58	2.0	0.0	17.3	2.10	1.9	5.3
NO (µg/m ³)	7854	117.8	62	0	1227	166.3	3.6	17.0
NO₂ (µg/m ³)	7884	57.9	54	2	1861	44.4	26.3	977
NO_x (µg/m ³)	7855	229.5	150	0	1881	258.4	3.3	14.6
PTS (µg/m ³)	6932	100.1	41	0	1925	231.1	0.4	32.6
O₃ (µg/m ³)	5781	28.9	23	0	797	28.3	6.4	122

Tab.5.6. *Statistiche descrittive delle variabili registrate in via Piave, anno 1995.*

<i>Variabile</i>	<i>oss. Val.</i>	<i>Media</i>	<i>mediana</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>dev. Std.</i>	<i>Skew.</i>	<i>Kurt.</i>
CO (mg/m ³)	8511	2.41	1.8	0.0	21.5	1.98	2.3	8.5
NO (µg/m ³)	8573	91.6	59	0	852	101.1	2.5	8.6
NO₂ (µg/m ³)	8566	61.4	59	0	617	25.8	1.9	26.1
NO_x (µg/m ³)	8563	201.9	153	0	1510	168.7	2.3	7.6
PTS (µg/m ³)	8602	57.1	57	0	206	33.0	0.7	1.6
O₃ (µg/m ³)	7668	24.3	15	0	850	26.7	5.3	120.6

Tab. 5.7. *Statistiche descrittive delle variabili registrate in Piazzetta Matter, anno 1995.*

¹² Il numero di osservazioni valide è da porre in confronto agli 8760 dati orari presenti in un anno.

<i>variabile</i>	<i>oss. Val.</i>	<i>media</i>	<i>mediana</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>dev. Std.</i>	<i>Skew.</i>	<i>Kurt.</i>
CO (mg/m ³)	3723	1.22	0.8	0.0	16.3	1.42	3.6	21.5
NO (µg/m ³)	8153	52.4	18	0	1228	84.9	3.8	24.9
NO₂ (µg/m ³)	8203	54.1	51	1	209	28.5	0.9	1.5
NO_x (µg/m ³)	8173	134.1	87	0	1948	145.9	3.3	18.7
PTS (µg/m ³)	6297	38.6	30	0	220	31.9	1.6	3.8
O₃ (µg/m ³)	7899	27.8	19	0	217	28.2	1.8	3.8
NMHC (µg/m ³)	6232	321.6	261	0	2485	215.8	2.4	10.1
SO₂ (µg/m ³)	7957	20.0	13	0	477	23.9	4.5	36.2

Tab. 5.8. *Statistiche descrittive delle variabili registrate in Parco Bissuola, anno 1995.*

<i>variabile</i>	<i>oss. Val.</i>	<i>media</i>	<i>mediana</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>dev. Std.</i>	<i>Skew.</i>	<i>Kurt.</i>
CO (mg/m ³)	7620	0.98	0.8	0.0	9.8	0.91	2.8	13.6
NO (µg/m ³)	6731	39.0	14	0	555	58.7	2.8	10.6
NO₂ (µg/m ³)	7187	42.8	41	0	164	22.1	0.9	1.4
NO_x (µg/m ³)	6701	103.1	69	0	1028	105.9	2.5	9.3
PTS (µg/m ³)	6603	49.4	39	0	343	39.9	1.5	2.9
O₃ (µg/m ³)	7495	33.7	21	0	200	32.3	1.6	2.2
NMHC (µg/m ³)	7497	220.5	174	0	1781	159.1	3.1	15.2
THC (µg/m ³)	2588	1304.3	1227	3	4948	516.9	1.9	12.1
SO₂ (µg/m ³)	6737	25.3	18	0	495	26.8	4.7	43.0

Le serie di dati di qualità dell'aria si caratterizzano innanzitutto per la variabilità del numero degli elementi che le costituiscono: anche all'interno della stessa stazione il numero di osservazioni valide di ogni parametro può presentare significative differenze. Da ciò scaturisce un problema di gestione dei dati mancanti che potrebbe indurre ad operare su un arco di tempo ridotto rispetto a quello annuale. D'altra parte le informazioni contenute in un intero anno solare possono permettere di cogliere dinamiche peculiari dei fenomeni di inquinamento atmosferico non altrimenti osservabili. Per questa ragione si è operato sull'intero periodo, adottando di volta in volta soluzioni mirate alle diverse esigenze.

Dalla lettura delle concentrazioni medie degli inquinanti, riportate nelle tabelle 5.5 - 5.8, si possono effettuare alcune considerazioni che riguardano la diversa tipologia dei siti di misura. Infatti:

- sia il **monossido di carbonio** che il **monossido di azoto** in via Da Verrazzano e in via Piave presentano un valore medio di concentrazione maggiore rispetto a quelli misurati in Piazzetta Matter e (ancor di più) in Parco Bissuola;
- la concentrazione media più elevata per l'**ozono** è registrata in Parco Bissuola.

Le osservazioni rispecchiano la tipologia dei siti: quelli di via Piave e di via Da Verrazzano sono direttamente interessati dal traffico veicolare a causa della loro posizione rispettivamente in prossimità e nel mezzo di strade a intensa circolazione. Si giustificano quindi le più elevate concentrazioni di monossido di carbonio e di azoto (inquinanti primari emessi dagli autoveicoli) riscontrate qui rispetto a quelle registrate nelle stazioni di Piazzetta Matter e di Parco Bissuola, che si trovano rispettivamente in zona pedonale e in area verde. Per il biossido di azoto, inquinante secondario, il quadro spaziale è un po' più complesso: il valore medio per Piazzetta Matter è solo di poco inferiore a quello registrato per via Da Verrazzano. In Parco Bissuola al più basso valore per la concentrazione media di CO e di NO₂ corrisponde il valore più alto per la concentrazione media di ozono. Ciò si deve al ruolo dell'NO, alla sua cospicua presenza nelle emissioni veicolari ed alla sua azione di abbattimento nei confronti dell'ozono (Pfeffer, 1994). Le concentrazioni massime di ozono sono infatti raggiunte non in aree ad intenso traffico in cui è dominante l'effetto di rimozione ad opera del monossido di azoto, bensì in aree suburbane come quella rappresentata dal Parco.

Per quanto riguarda gli *eventi acuti*, ovvero il superamento dei limiti di legge per le concentrazioni degli inquinanti che determinano situazioni *di attenzione* e *di allarme* (DM 15.04.94 e succ. mod.), una prima indicazione sul loro verificarsi può essere dedotta dal valore massimo di ogni serie temporale¹³. In particolare per gli inquinanti per i quali è previsto un valore limite di concentrazione oraria si osserva che:

- il valore massimo del **monossido di carbonio** eccede il *livello di attenzione* (15 mg/m³) in tutte le stazioni di rilevamento, esclusa quella in Parco Bissuola; il *livello di allarme* (30 mg/m³) non viene mai raggiunto;

¹³ Analisi più approfondite sulla frequenza degli *eventi acuti* verranno presentate più avanti.

- il valore massimo del **biossido di azoto** supera anch'esso il *livello di attenzione* ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$) in tutte le stazioni esclusa 'Parco Bissuola'; il *livello di allarme* ($400 \mu\text{g}/\text{m}^3$) è superato sia in via Da Verrazzano che in via Piave. Il valore di via Da Verrazzano, però, dà adito a qualche perplessità: si tratta di un valore estremamente elevato ($1861 \mu\text{g}/\text{m}^3$) che può far supporre qualche errore strumentale;
- l'**ozono** presenta un valore massimo al di sopra del *livello di attenzione* ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$) in tutte le stazioni; il *livello di allarme* ($360 \mu\text{g}/\text{m}^3$) è raggiunto e ampiamente superato sia in via Da Verrazzano che in via Piave.

L'analisi comparata dei valori di *skewness* e *kurtosis* permette poi di evidenziare comportamenti anomali di alcune variabili:

- il **biossido di azoto** presenta *kurtosis* inferiore al valore critico 3 sia in Piazzetta Matter che in Parco Bissuola, mentre nelle altre due stazioni ha valori ben al di sopra di tale soglia che separa le distribuzioni di tipo *platicurtico* da quelle *leptocurtico*; in via Da Verrazzano è addirittura calcolata una *kurtosis* pari a 977. Anche per i valori di *skewness* si segnala un comportamento anomalo della stazione di via Da Verrazzano: la *skewness* di 26.3 indica un'accentuata asimmetria positiva per l' NO_2 registrato in questa stazione che non trova riscontro nelle altre stazioni nelle quali i valori sono prossimi a zero;
- la *kurtosis* dell'**ozono** presenta valori molto elevati in via Piave e via Da Verrazzano (rispettivamente 122 e 121), mentre in Parco Bissuola e Piazzetta Matter i valori si posizionano nell'intorno del valore soglia 3. Questa differenziazione coincide con la diversa tipologia delle stazioni (direttamente interessate da emissioni veicolari, le prime, poste in zona suburbana e a traffico limitato rispettivamente la terza e la quarta) e sembra riflettere la dinamica di questo tipico inquinante secondario.

L'informazione fornita dalla lettura di questi indici statistici ha permesso alcune prime ipotesi interpretative che necessitano di più approfondite analisi per una loro conferma.

I **dati meteorologici** dell'Ente Zona si caratterizzano per completezza grazie al modesto numero di dati mancanti. Nella stazione 23 addirittura tutte le serie storiche registrate per l'anno 1995 raggiungono la totalità degli 8760 dati orari di un anno.

Dai dati di velocità e direzione del vento sono state costruite le ‘rose dei venti’ riportate nelle figure 5.2 e 5.3.

Fig. 5.2. Rosa dei venti ottenuta dai dati di direzione e velocità del vento registrati dalla stazione 5 dell’Ente Zona.

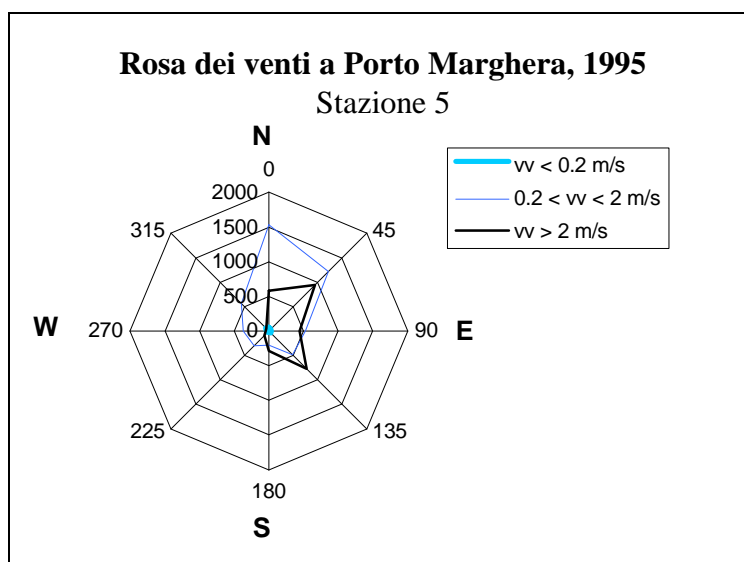
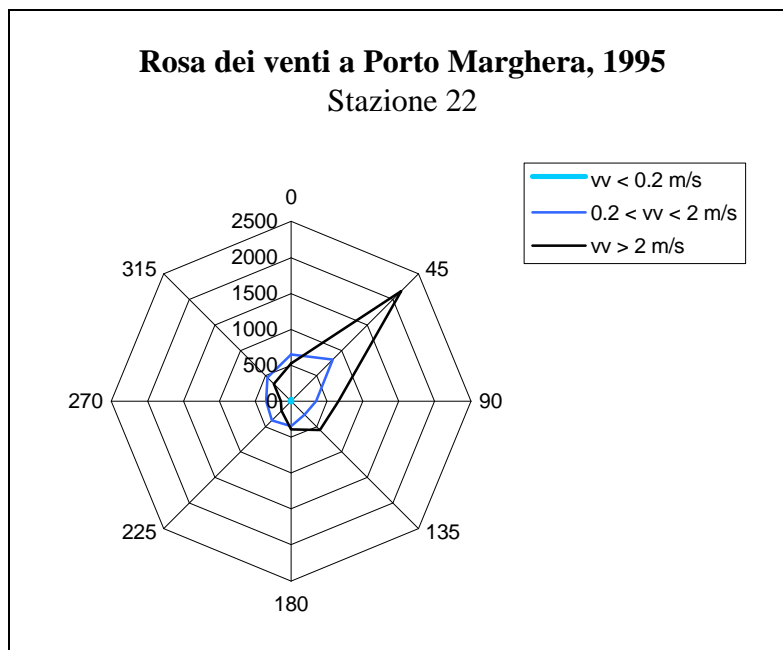


Fig. 5.3 Rosa dei venti ottenuta dai dati di direzione e velocità del vento registrati dalla stazione 22 dell’Ente Zona.



Per esigenze di sintesi è tralasciata la presentazione delle statistiche descrittive delle variabili meteorologiche.

I **dati sul traffico** in via Piave e via Da Verrazzano derivano da conteggi effettuati con periodo temporale di 10 minuti. Per una loro più agevole gestione e per poterli utilizzare parallelamente ai dati di qualità dell'aria, è stata realizzata un'aggregazione ottenendo anche per essi valori medi orari. In tabella 5.9 sono riportate le statistiche descrittive relative a 3 conteggi di traffico: uno per via Piave, limitato ai veicoli che attraversano il semaforo del quadrivio Carducci-Piave-Miranese in direzione Sud → Nord; due per via Da Verrazzano dove vengono rilevati separatamente i veicoli transitanti in direzione Ovest → Est che proseguono per via Fradeletto o che svoltano a sinistra entrando in via Garibaldi.

Tab. 5.9. *Statistiche descrittive dei flussi di traffico, aprile-dicembre 1995.*

	<i>variabile</i>	<i>oss. val.</i> ¹⁴	<i>media</i>	<i>mediana</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>dev. Std.</i>	<i>Skew.</i>	<i>Kurt.</i>
Via Piave	Veicoli/h	4527	58.5	68.8	2.0	99.2	26.7	-0.7	-0.9
	Velocità (km/h)	4527	36.1	41.0	2.0	80.2	18.5	-0.2	-1.3
Via Da Verraz.	Veicoli/h	3936	73.5	76.2	0.0	181.0	48.6	0.0	-1.3
	Velocità (Km/h)	4332	50.1	52.0	4.6	131.6	18.2	0.0	-0.2
	Veicoli/h	3936	48.7	55.6	0.0	137.5	28.7	-0.4	-1.1
	Velocità (Km/h)	4333	48.3	49.8	3.0	136.3	17.6	0.1	0.9

A completamento di questa prima parte di analisi descrittiva si presentano i diagrammi di *Box-Whisker* degli inquinanti. Questi grafici presentano in maniera sintetica ed immediatamente leggibile alcune statistiche relative alla distribuzione delle variabili¹⁵. In particolare, scegliendo di evidenziare i valori della mediana e del 1° e del 3° quartile ed

¹⁴Il numero di osservazioni valide è da porre in confronto ai 6480 dati orari del periodo di rilevamento: 6 Aprile '95 - 31 Dicembre '95.

¹⁵I diagrammi di *Box-Whisker* sono generalmente costituiti da tre componenti:

- (1) una linea che indica la tendenza centrale della distribuzione (la media o la mediana);
- (2) una 'scatola' (*box*) che raffigura la variabilità attorno a questa tendenza centrale (la deviazione standard, il 1° e 3° quartile, ecc.);
- (3) dei 'baffi' (*whiskers*) attorno alla scatola che individuano il *range* della variabile (il minimo e il massimo, l'intervallo di confidenza, o altre misure di variabilità).

affiancando le medesime variabili monitorate in siti differenti, questi grafici permettono da una parte il completamento dello studio sulla distribuzione di ogni singola serie storica (evidenziando soprattutto in quale *range* si verifica la maggior concentrazione dei dati), dall'altra un'agevole osservazione delle diverse caratteristiche dei siti di monitoraggio.

Fig. 5.4. Diagrammi di Box-Whisker dei valori medi orari di CO misurati nelle stazioni di V. Da Verrazzano e Piazzetta Matter.

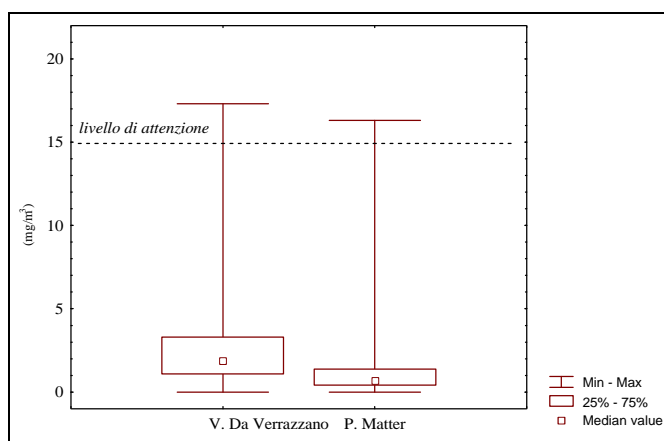


Fig. 5.5. Diagrammi di Box-Whisker dei valori medi orari di CO misurati nelle stazioni di V. Piave e Parco Bissuola.

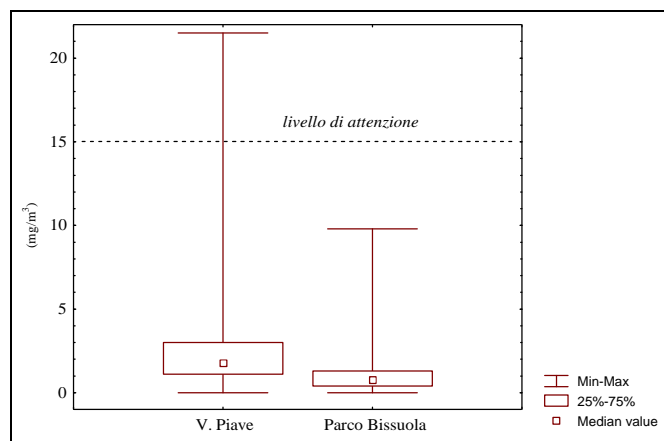


Fig. 5.6. Diagrammi di Box-Whisker dei valori medi orari di NO misurati nelle stazioni di V. Da Verrazzano e Piazzetta Matter.

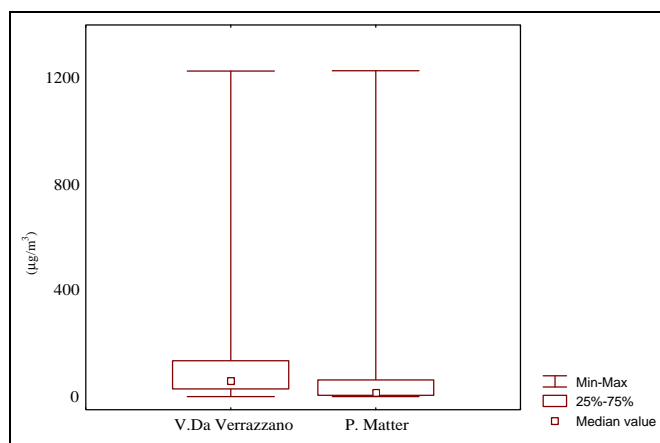


Fig. 5.7. Diagrammi di Box-Whisker dei valori medi orari di NO misurati nelle stazioni di V. Piave e Parco Bissuola.

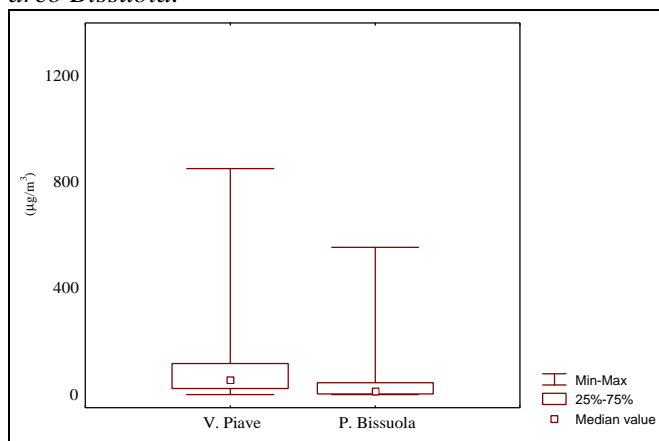


Fig. 5.8. Diagrammi di Box-Whisker dei valori medi orari di O_3 misurati nelle stazioni di V. Da Verrazzano e Piazzetta Matter.

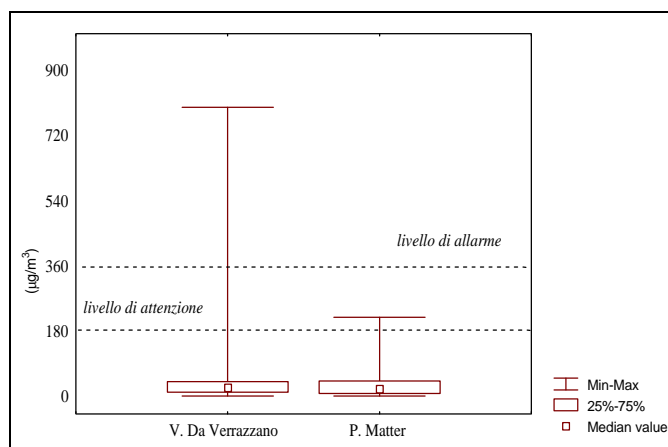


Fig. 5.9. Diagrammi di Box-Whisker dei valori medi orari di O_3 misurati nelle stazioni di V. Piave e Parco Bissuola.

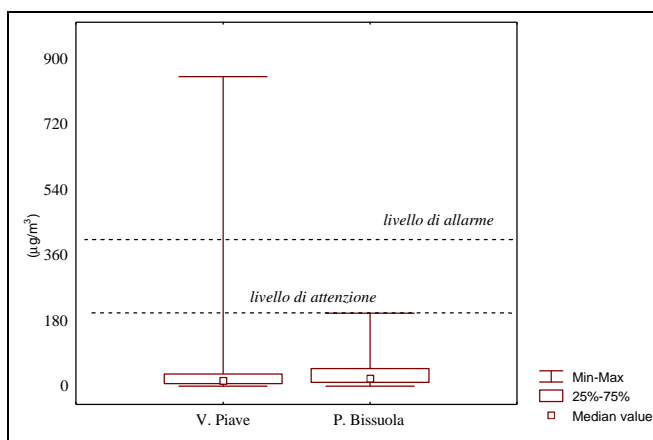


Fig. 5.10. Diagrammi di Box-Whisker dei valori medi orari di NO_2 misurati nelle stazioni di V. Da Verrazzano e Piazzetta Matter.

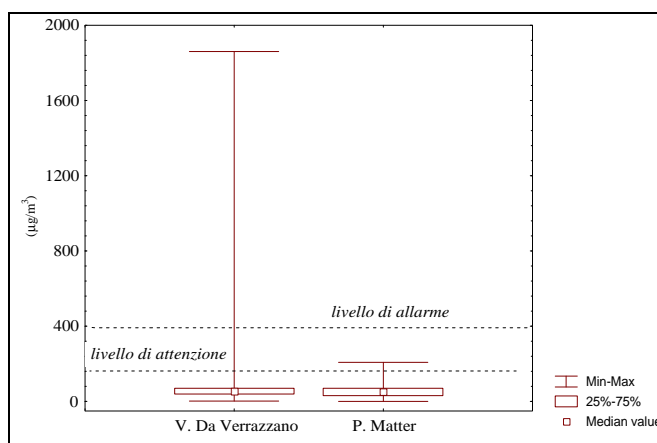
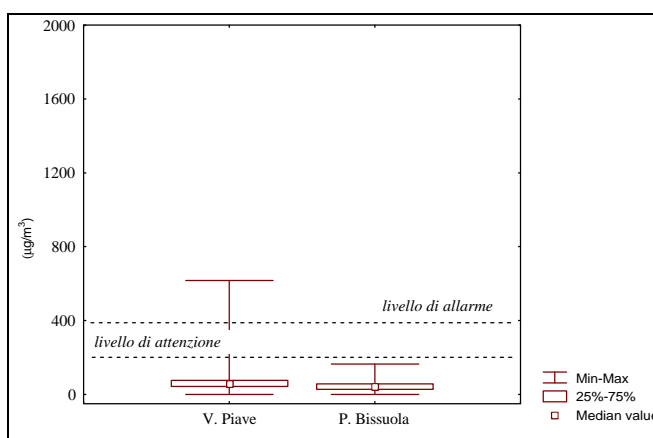


Fig. 5.11. Diagrammi di Box-Whisker dei valori medi orari di NO_2 misurati nelle stazioni di V. Piave e Parco Bissuola.



Il **monossido di carbonio** e quello **di azoto** hanno un comportamento spaziale simile (figg. 5.4-5.7): per entrambi i gas le due stazioni esposte maggiormente alle emissioni del traffico presentano distribuzioni spostate verso valori più elevati rispetto a quelle delle stazioni di Parco Bissuola e di Piazzetta Matter. L'**ozono** ha comportamento opposto: al di là dei valori massimi, sono le distribuzioni dei dati di Piazzetta Matter e di Parco Bissuola che si posizionano nell'intervallo di valori più elevato (figg. 5.8-5.9). Il **biossido di azoto**, infine, presenta un andamento spaziale più omogeneo in cui, sempre tralasciando i valori massimi, non risulta alcuna netta differenziazione tra le stazioni (figg. 5.10-5.11).

Una valutazione complessiva che scaturisce da questa analisi della distribuzione dei valori degli inquinanti è la limitata incidenza degli episodi *acuti*: le maggiori concentrazioni dei dati si posizionano per tutti gli inquinanti ed in tutti i siti ben al di sotto dei *limiti di attenzione e di allarme* stabiliti dalla legge.

5.3. Analisi dei dati stratificati per ore e per giorni

L'analisi dei dati, differenziata per ore del giorno e per giorni della settimana, permette di verificare l'esistenza nelle serie delle osservazioni di particolari andamenti legati a queste stratificazioni temporali.

In particolare l'esistenza di ciclicità giornaliera può essere ricondotta a due distinti fattori: da una parte a cause antropiche in grado di determinare il ripetersi di situazioni analoghe in corrispondenza di specifiche ore del giorno (si pensi ad esempio alle fluttuazioni del traffico), dall'altra all'influenza di variabili meteorologiche caratterizzate da periodicità giornaliera o infragiornaliera. Il primo tipo di effetto sarà maggiormente riscontrabile nell'andamento degli inquinanti primari, mentre il secondo nell'andamento degli inquinanti secondari (ad esempio, l'ozono la cui concentrazione dipende dalla presenza di radiazione solare).

Periodicità settimanali sono quasi esclusivamente riconducibili a fattori antropici, quali l'andamento del traffico ed i cicli di produzione industriale.