

**Laboratorio Mobile**  
**Campagna di Misura Inquinamento Atmosferico**  
**Comune di Veduggio con Colzano**  
**Via Piave**

**04/11/2008 – 01/12/2008**

---



Agenzia Regionale  
per la Protezione dell'Ambiente  
della Lombardia

## **Campagna di Misura Inquinamento Atmosferico**

**Comune di Veduggio con Colzano**

**Via Piave**

MONZA,

### **Gestione e Manutenzione Tecnica del Laboratorio Mobile**

p.i. Valter Meda

### **Relatore**

p.i. Davide Paladini

### **Il Responsabile dell'U. O. Sistemi Ambientali**

dott. geol. Madela Torretta

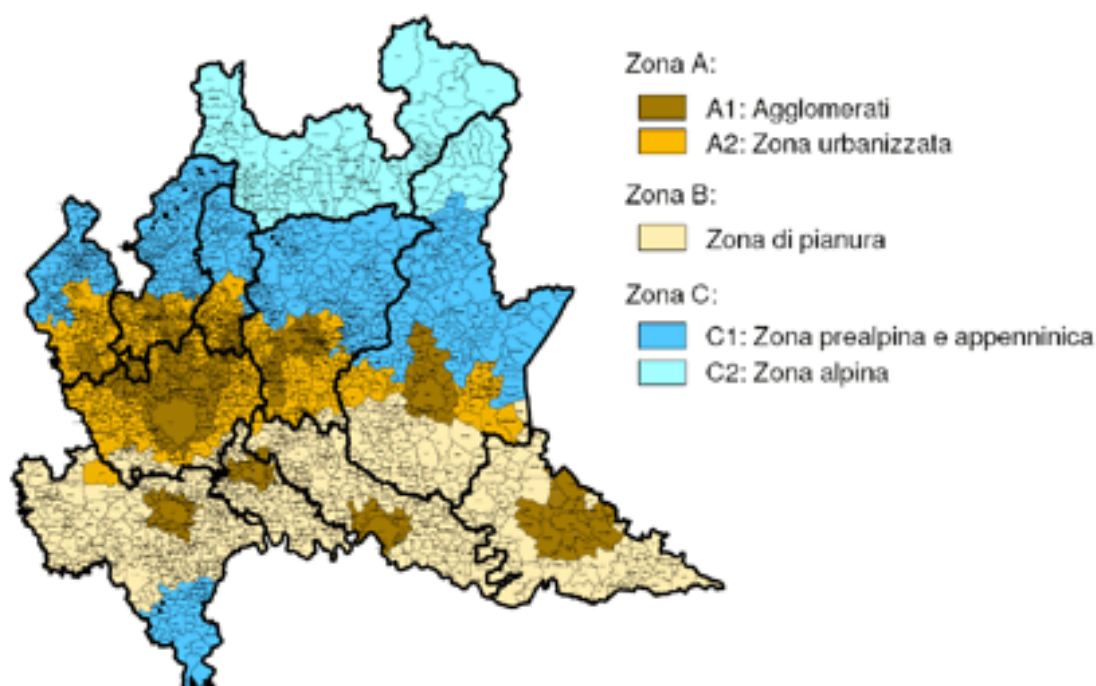
## Premessa

La misura della qualità dell'aria è utile per garantire la tutela della salute della popolazione e la protezione degli ecosistemi.

La legislazione italiana, costruita sulla base della cosiddetta direttiva europea madre (Direttiva 96/62/CE recepita dal D.Lgs. 351/99), definisce che le Regioni sono l'autorità competente in questo campo, e prevede la suddivisione del territorio in zone e agglomerati sui quali valutare il rispetto dei valori obiettivo e dei valori limite.

La Regione Lombardia con la d.G.R 2 agosto 2007, n.5290 ha modificato la precedente zonizzazione distinguendo il territorio in:

- ZONA A: agglomerati urbani (A1) e zona urbanizzata (A2)
- ZONA B: zona di pianura
- ZONA C: area prealpina e appenninica (C1) e zona alpina (C2)



Nelle zone e negli agglomerati la valutazione della qualità dell'aria deve essere condotta in modo integrato, mediante le stazioni fisse ma anche i mezzi mobili, le campagne con campionatori passivi, i modelli matematici di dispersione le stime obiettive, quali quelle fornite dall'inventario comunale delle emissioni INEMAR

## Introduzione

Il Laboratorio Mobile è stato posizionato in via Piave, all'interno di un piccolo parcheggio; il sito di misura rispetta i criteri di rappresentatività indicati per il posizionamento delle cabine fisse di rilevamento (Allegato VIII del D.M. 60/02).

La strumentazione montata sul furgone permette il rilevamento dei seguenti inquinanti:

- Ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>);
- Monossido di carbonio (CO);
- Ozono (O<sub>3</sub>);
- Particolato fine (PM10);

Tale strumentazione è del tutto simile a quella presente nelle stazioni fisse della Rete di Rilevamento della Qualità dell'Aria permettendo così un confronto diretto delle misure rilevate nel sito di misura con i dati raccolti dalle centraline della rete fissa di monitoraggio.

L'apparecchiatura in dotazione risponde alle caratteristiche previste dalla normativa vigente (D.P.C.M. 28/3/83, D.P.R. 24/5/88, D.M. 60/02).

Anche per le altezze delle sonde di prelievo sono fornite indicazioni nazionali e regionali:

- il monossido di carbonio viene prelevato a 1.6 m dal suolo (altezza uomo) e a non più di 5 metri dal ciglio della strada;
- la sonda per il prelievo di NO<sub>x</sub> e O<sub>3</sub> è posta a tra 1.5 e 4 m di quota;
- i sensori meteorologici sono posizionati all'altezza di circa 8 m dal suolo.

Nel periodo oggetto d'indagine (04.11 – 01.12 2008), in ottemperanza al d.G.R. n. 7635 del 11 luglio 2008, dal lunedì al venerdì (escluse giornate infrasettimanali festive) dalle ore 07.30 alle ore 19.30 è stato attuato nella "Zona A1":

- il blocco dei veicoli "Euro 0" a benzina e diesel e dei veicoli "Euro 1" diesel;
- Il divieto di utilizzo di biomassa legnosa in apparecchi per il riscaldamento domestico degli edifici, nel caso siano presenti altri impianti per riscaldamento alimentati con altri combustibili ammessi, ai sensi dell'articolo 11, comma 1, lettera b), della l.r. 24/2006.

## Normativa

Per i principali inquinanti atmosferici, al fine di salvaguardare la salute e l'ambiente, la normativa stabilisce limiti di concentrazione, a lungo e a breve termine, a cui attenersi.

Per quanto riguarda i limiti a lungo termine, viene fatto riferimento agli standard di qualità e ai valori limite di protezione della salute umana, della vegetazione e degli ecosistemi (D.P.C.M. 28/3/83 – D.P.R. 24/5/88 – D.M. 25/11/94 – D.M. 16/5/96 – D.M. 2/4/02) allo scopo di prevenire esposizioni croniche; per gestire episodi d'inquinamento acuto vengono invece utilizzate le soglie di attenzione e allarme (D.M. 16/5/69 – D.M. 2/4/02 - D.L. 21/5/04).

E' importante sottolineare che il D.M. 60 del 2/4/02 ha introdotto, oltre ad una serie di valori limite, anche le date alle quali tali valori devono essere raggiunti; esso prevede inoltre un percorso nel tempo che porta ad un graduale raggiungimento dei limiti, stabilendo un margine di tolleranza che si riduce negli anni. Nella tabella seguente tra parentesi sono indicati i margini di tolleranza validi per l'anno 2008.

**Nota: tra parentesi sono indicati i margini di tolleranza validi per l'anno 2008.**

Biossido di Zolfo	Valore Limite ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Periodo di mediazione	Legislazione
Valore limite protezione salute umana (da non superare più di 24 volte per anno civile)	<b>350</b>	1 h	D.M. 60 2/4/02
Valore limite protezione salute umana (da non superare più di 3 volte per anno civile)	<b>125</b>	24 h	D.M. 60 2/4/02
Valore limite protezione ecosistemi	<b>20</b>	Anno civile e inverno (1 ott – 31 mar)	D.M. 60 2/4/02
Soglia di allarme	<b>500</b>	1 h (rilevati su 3 ore consecutive)	D.M. 60 2/4/02

Biossido di Azoto	Valore Limite ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Periodo di mediazione	Legislazione
Standard di qualità (98° percentile rilevato durante l'anno civile)	<b>200</b>	1 h	D.P.R. 24/5/88
Valore limite protezione salute umana (da non superare più di 18 volte per anno civile)	<b>200 (+20)</b>	1 h	D.M. 60 2/4/02
Valore limite protezione salute umana	<b>40 (+4)</b>	Anno civile	D.M. 60 2/4/02
Soglia di allarme	<b>400</b>	1 h (rilevati su 3 ore consecutive)	D.M. 60 2/4/02

Ossidi di Azoto	Valore Limite ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Periodo di mediazione	Legislazione
Valore limite protezione vegetazione	<b>30</b>	Anno civile	D.M. 60 2/4/02

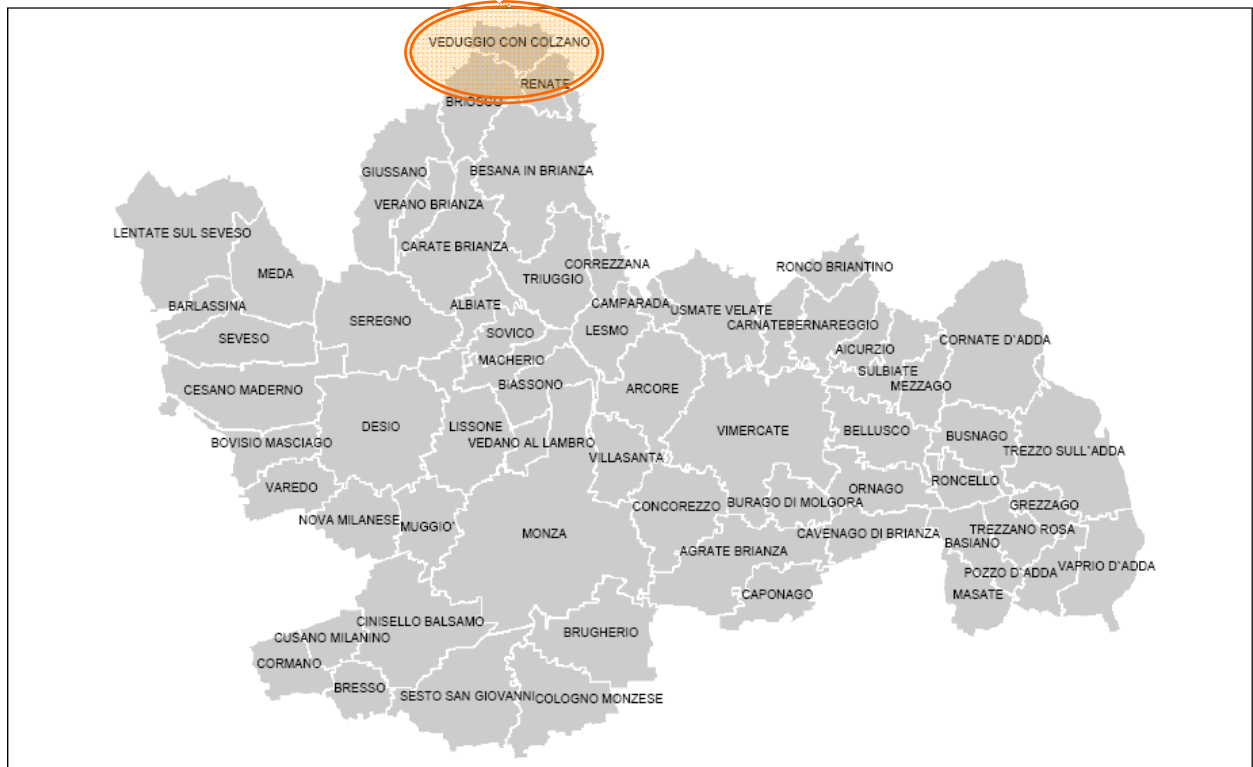
Monossido di Carbonio	Valore Limite (mg/m <sup>3</sup> )	Periodo di mediazione	Legislazione
Standard di qualità	<b>40</b>	1 h	D.P.C.M. 28/3/83
Standard di qualità	<b>10</b>	8 h	D.P.C.M. 28/3/83
Valore limite protezione salute umana	<b>10</b>	8 h	D.M. 60 2/4/02
Soglia di attenzione	<b>10</b>	8 h	D.G.R. 28/10/02

Ozono	Valore Limite (µg/m <sup>3</sup> )	Periodo di mediazione	Legislazione
Valore bersaglio per la protezione della salute umana	<b>120</b>	8 h	D.L. 21/5/04
Valore bersaglio per la protezione della vegetazione	<b>18000</b>	AOT40 (mag – lug) su 5 anni	D.L. 21/5/04
Soglia di informazione	<b>180</b>	1 h	D.L. 21/5/04
Soglia di allarme	<b>240</b>	1 h	D.L. 21/5/04

Particolato Fine PM10	Valore Obiettivo (µg/m <sup>3</sup> )	Periodo di mediazione	Legislazione
Valore limite protezione salute umana (da non superare più di 35 volte per anno civile)	<b>50</b>	24 h	D.M. 2/4/02
Valore limite protezione salute umana	<b>40</b>	Anno civile	D.M. 2/4/02

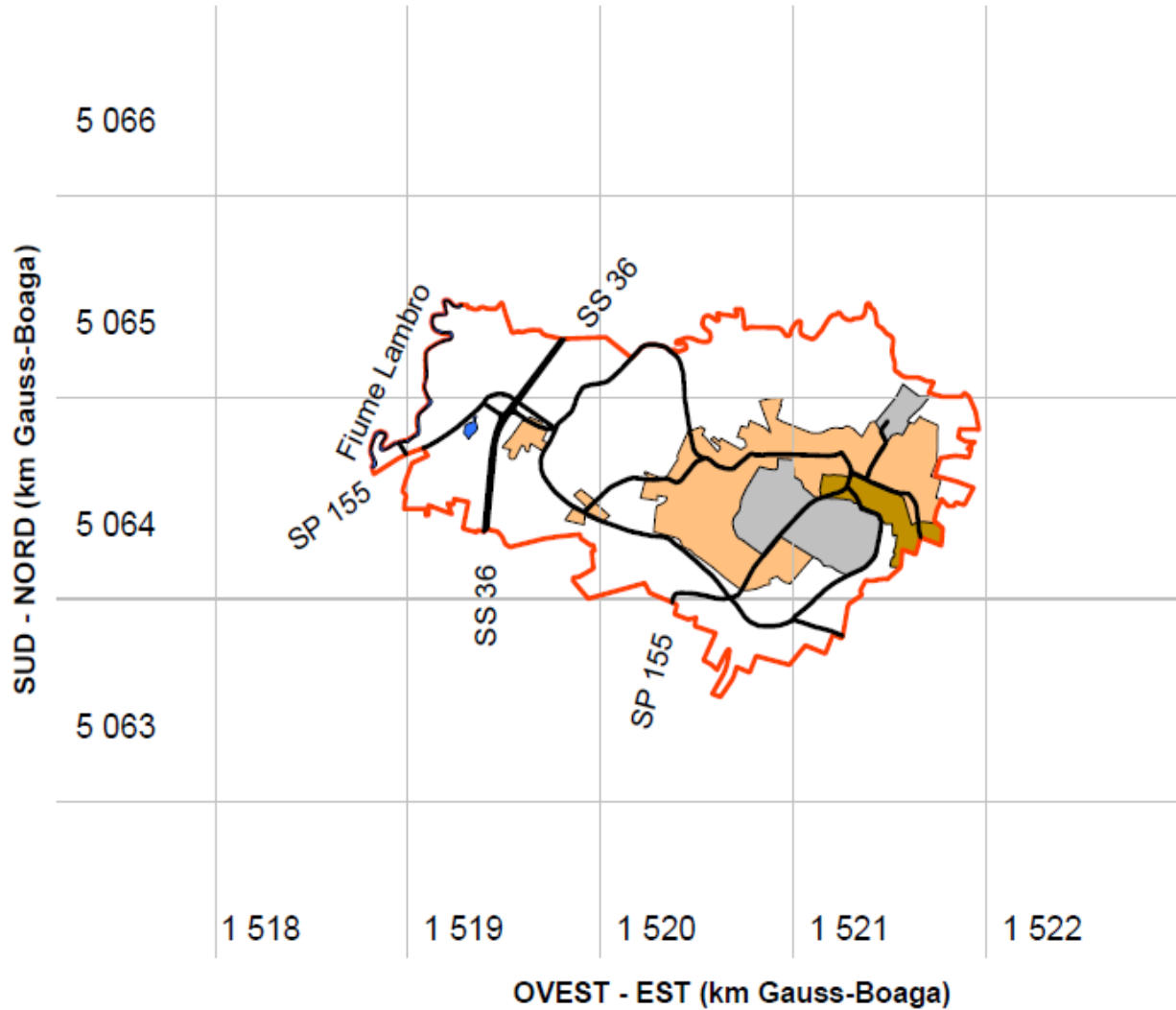
IPA	Valore Obiettivo (ng/m <sup>3</sup> )	Periodo di mediazione	Legislazione
B[a]P	Valore limite protezione salute umana e per l'ambiente <b>1</b>	Anno civile	D.L. 152 03/08/07
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Il valore obiettivo è riferito al tenore totale dell'inquinante presente nella frazione PM10 del materiale particolato, calcolato come media sull'anno civile.</li> <li>- La media annuale calcolata deve essere espressa con una cifra decimale.</li> <li>- Il valore obiettivo di intende superato anche se pari a quello indicato nella tabella, ma seguito da qualsiasi cifra decimale diversa da zero</li> </ul>		

**Sito di Misura**



<b>Periodo di misura</b>	04 novembre – 1 dicembre 2008
<b>Sito di misura:</b>	Via Piave
<b>Assi stradali statali e provinciali:</b>	SS 36 Milano – Lecco SP 155 Carate - Veduggio
<b>Assi stradali comunali</b>	Viale Repubblica Via Verdi – Via Vittorio Veneto Via Volta Via Piave Via Roma Via San Marco – Via Foscolo – Via Mazzini

### Mappa dei principali assi viari cittadini



- area residenziale
- area mista (*residenziale e produttiva*)
- area produttiva
- parchi e giardini
- aree idriche naturali e artificiali

## Il Territorio Comunale di Veduggio con Colzano

Il territorio comunale di Veduggio con Colzano ricade sia nel tratto collinare brianzolo che nei confini del Parco della Valle del Lambro; geograficamente rappresenta il comune più a nord della Provincia di Milano confinando a nord est con la Provincia di Como e a nord ovest con la provincia di Lecco. In particolare Veduggio con Colzano confina a nord con Nibionno, a est con Cassago Brianza e Renate, a sud con Briosco e ad est con Inverigo.

La popolazione conta circa **4448** abitanti distribuiti su una superficie di circa **3.49 Km<sup>2</sup>** e dista circa 35 Km dal capoluogo in direzione Nord Est.

Le maggiori attività produttive presenti sul territorio comunale riguardano la fabbricazione e la lavorazione di prodotti in metallo e di articoli in materie plastiche, lavorazioni legate in parte alla produzione di mobili.

## Caratterizzazione del sito di misura

Nel presente lavoro si discutono i risultati relativi alla campagna di misura dell'inquinamento atmosferico condotta in periodo autunnale con il laboratorio mobile tra **il 4 novembre ed il 1 dicembre 2008**, nel comune di Veduggio con Colzano. Lo scenario analizzato è illustrato in figura 1. Scopo della campagna di misura è la raccolta di una base di dati atta a caratterizzare la qualità dell'aria in periodo invernale in corrispondenza di via Piave.



**Figura 1: punto di posizionamento del Laboratorio mobile nel Comune di Veduggio con Colzano**

Il tratto viario di via Piave è costituito da strada a due corsie, una per ogni senso di marcia, che garantisce il collegamento tra il centro cittadino e viale Repubblica lungo la direttrice nord est - sud ovest. Viale Repubblica, unitamente a Via Verdi e Via Volta rappresenta una piccola circonvallazione del Comune di Veduggio con Colzano, assicurando il collegamento con l'importante arteria stradale statale Milano – Lecco.

Il traffico veicolare presente lungo via Piave è sia di attraversamento che locale, in particolare nei giorni feriali è significativo il passaggio di autoveicoli pesanti.

## Principali sorgenti emmissive

Per la stima delle principali sorgenti emmissive all'interno del territorio comunale di Veduggio con Colzano è stato utilizzato l'inventario regionale INEMAR<sup>1</sup> (Inventario Emissioni Aria), nella sua versione più recente, **riferita all'anno 2005**.

Nell'ambito di tale inventario la suddivisione delle sorgenti avviene per attività emmissive: la classificazione utilizzata fa riferimento ai macrosettori relativi all'inventario delle emissioni in atmosfera dell'Agenzia Europea per l'Ambiente CORINAIR (Cordination Information Air).

- Combustione non industriale
- Combustione nell'industria
- Processi produttivi
- Estrazione e distribuzione combustibili
- Uso di solventi
- Trasporto su strada
- Altre sorgenti mobili
- Agricoltura
- Altre sorgenti e assorbimenti

Per ciascun macrosettore vengono presi in considerazione diversi inquinanti: sia quelli che fanno riferimento alla salute, sia quelli per i quali è posta particolare attenzione in quanto considerati gas ad effetto serra:

- Ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>)
- Composti organici volatili (COV)
- Precursori dell'Ozono (prec\_Oz)
- Monossido di carbonio (CO)
- Polveri totali sospese (PTS)
- polveri con diametro inferiore ai 10 µm (PM10) e inferiore a 2.5 (PM2.5)

I dati INEMAR sono stati elaborati al fine di definire i contributi delle singole sorgenti all'inquinamento atmosferico all'interno del Comune di Veduggio con Colzano.

In **allegato 1** vengono forniti i contributi all'inquinamento atmosferico dei singoli combustibili per macrosettore; in **allegato 2** invece vengono evidenziati i contributi delle singole sorgenti, riportando per un confronto anche i dati riferiti all'intera Provincia di Milano.

Dall'analisi degli allegati emerge che le principali fonti di inquinamento nel comune di Veduggio con Colzano sono dovute al traffico veicolare ed agli impianti di riscaldamento.

Si può infatti osservare come il traffico contribuisca per il 71.1% alla formazione degli ossidi di azoto e per il 77.2% a quella del monossido di carbonio; per quanto riguarda il PM10 e al PM2.5 tale sorgente contribuisce rispettivamente per il 59.4% e il 55.9%.

La combustione non industriale incide sulla qualità dell'aria, contribuendo per il 56.7% all'emissione di biossido di zolfo, per il 7% all'emissione in atmosfera di ossidi di azoto, per il 15% al monossido di carbonio, per il 12.4% al formazione di PM10 e per il 13.8% alla formazione di PM2.5.

Non trascurabili sono le emissioni di COV (70.9%) dovute all'uso di solventi.

<sup>1</sup> Maggiori informazioni e una descrizione più dettagliata in merito all'inventario regionale sono disponibili sul sito web: <http://www.ambiente.regione.lombardia.it/inemar/inemarhome.htm>.

**Allegato 1**

<b>Combustione non industriale</b>									
Combustibile	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	COV	CO	PM10	PTS	PM2.5	PREC. O <sub>3</sub>	
GPL	0.00	0.33	0.01	0.07	0.00	0.00	0.00	0.43	
metano	0.04	4.37	0.44	2.19	0.02	0.02	0.02	6.02	
gasolio	1.10	0.55	0.03	0.22	0.05	0.05	0.05	0.73	
kerosene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
olio combustibile	0.07	0.07	0.00	0.01	0.01	0.02	0.01	0.09	
legna e similari	0.04	0.20	4.15	16.18	0.80	0.83	0.77	6.19	
<b>Totale</b>	<b>1.25</b>	<b>5.53</b>	<b>4.64</b>	<b>18.66</b>	<b>0.89</b>	<b>0.92</b>	<b>0.85</b>	<b>13.45</b>	
<b>Processi produttivi</b>									
Combustibile	SO <sub>2</sub>	NOX	COV	CO	PM10	PTS	PM2.5	PREC. O <sub>3</sub>	
senza comb.	0.00	0.00	8.71	0.00	0.00	0.00	0.00	8.71	
<b>Totale</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>8.71</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>8.71</b>	
<b>Estrazione e distribuzione combustibili</b>									
Combustibile	SO <sub>2</sub>	NOX	COV	CO	PM10	PTS	PM2.5	PREC. O <sub>3</sub>	
senza comb.	0.00	0.00	10.06	0.00	0.00	0.00	0.00	10.50	
<b>Totale</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>10.06</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>10.50</b>	
<b>Uso di solventi</b>									
Combustibile	SO <sub>2</sub>	NOX	COV	CO	PM10	PTS	PM2.5	PREC. O <sub>3</sub>	
senza comb.	0.00	0.00	133.54	0.00	0.06	0.07	0.02	133.54	
<b>Totale</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>133.54</b>	<b>0.00</b>	<b>0.06</b>	<b>0.07</b>	<b>0.02</b>	<b>133.54</b>	
<b>Agricoltura</b>									
Combustibile	SO <sub>2</sub>	NOX	COV	CO	PM10	PTS	PM2.5	PREC. O <sub>3</sub>	
senza comb.	0.00	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21	
<b>Totale</b>	<b>0.00</b>	<b>0.17</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.21</b>	
<b>Combustione nell'industriale</b>									
Combustibile	SO <sub>2</sub>	NOX	COV	CO	PM10	PTS	PM2.5	PREC. O <sub>3</sub>	
metano	0.00	3.29	0.08	0.66	0.01	0.01	0.01	4.17	
gasolio	0.43	3.60	0.24	0.96	0.38	0.40	0.36	4.74	
olio combust	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
legna e similari	0.00	0.03	0.22	2.77	0.04	0.06	0.03	0.56	
<b>Totale</b>	<b>0.46</b>	<b>6.92</b>	<b>0.55</b>	<b>4.39</b>	<b>0.43</b>	<b>0.47</b>	<b>0.40</b>	<b>9.47</b>	
<b>Trasporto su strada</b>									
Combustibile	SO <sub>2</sub>	NOX	COV	CO	PM10	PTS	PM2.5	PREC. O <sub>3</sub>	
GPL	0.00	0.82	0.39	2.36	0.00	0.00	0.00	1.65	
diesel	0.22	47.50	2.65	10.97	2.23	2.27	2.23	61.81	
metano	0.00	0.05	0.02	0.27	0.00	0.00	0.00	0.11	
senza comb.	0.00	0.00	0.00	0.00	1.70	2.62	0.93	0.00	
benzina verde	0.13	7.50	23.23	82.49	0.31	0.31	0.31	41.47	
<b>Totale</b>	<b>0.35</b>	<b>55.88</b>	<b>26.28</b>	<b>96.08</b>	<b>4.24</b>	<b>5.20</b>	<b>3.47</b>	<b>105.05</b>	
<b>Altre sorgenti mobili e macchinari</b>									
Combustibile	SO <sub>2</sub>	NOX	COV	CO	PM10	PTS	PM2.5	PREC. O <sub>3</sub>	
diesel	0.15	10.09	1.49	4.28	1.30	1.42	1.23	14.27	
benzina verde	0.00	0.00	0.31	0.62	0.00	0.00	0.00	0.38	
<b>Totale</b>	<b>0.15</b>	<b>10.09</b>	<b>1.80</b>	<b>4.91</b>	<b>1.30</b>	<b>1.42</b>	<b>1.23</b>	<b>14.65</b>	
<b>Altre sorgenti e assorbimenti</b>									
Combustibile	SO <sub>2</sub>	NOX	COV	CO	PM10	PTS	PM2.5	PREC. O <sub>3</sub>	
senza comb.	0.00	0.00	2.69	0.35	0.22	0.22	0.22	2.72	
<b>Totale</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>2.69</b>	<b>0.35</b>	<b>0.22</b>	<b>0.22</b>	<b>0.22</b>	<b>2.72</b>	

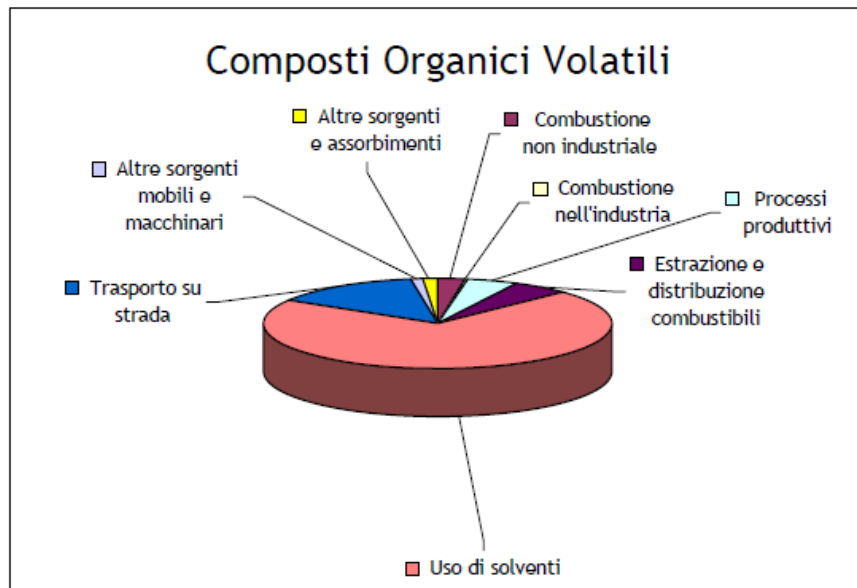
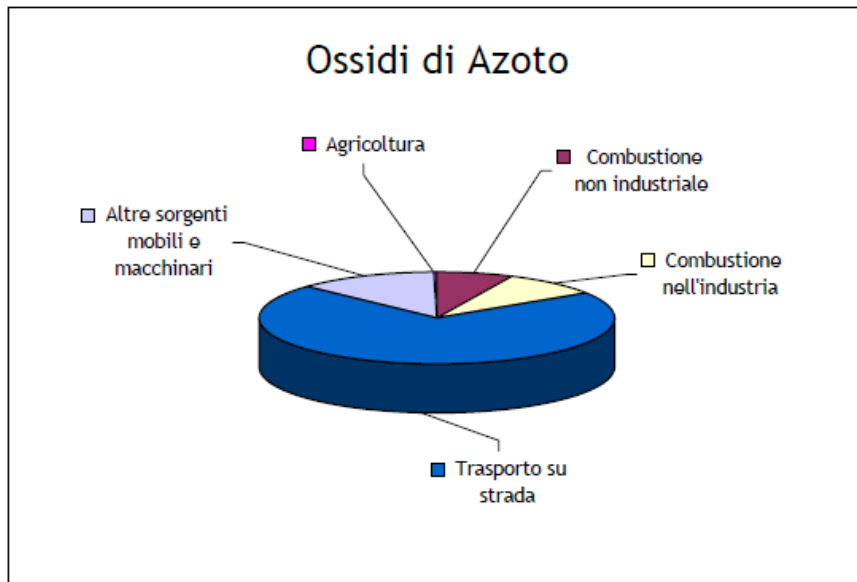
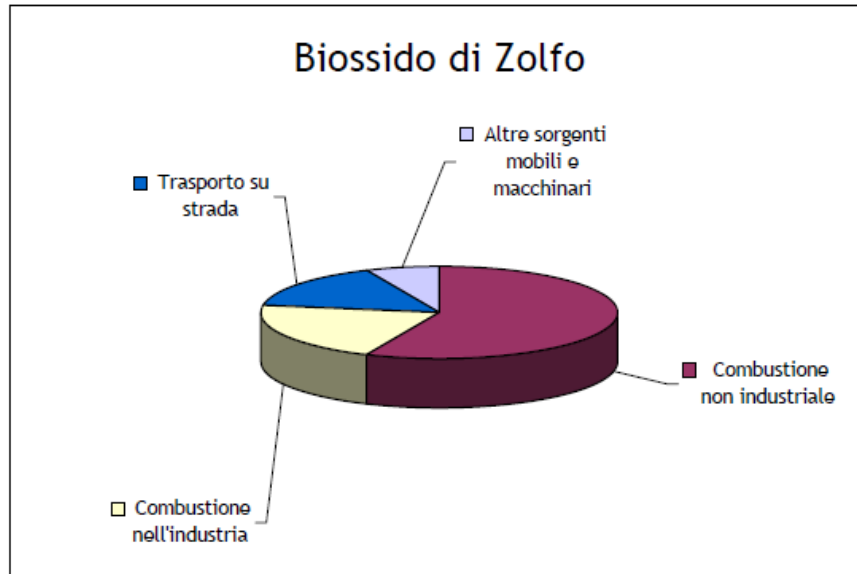
**Allegato 2**

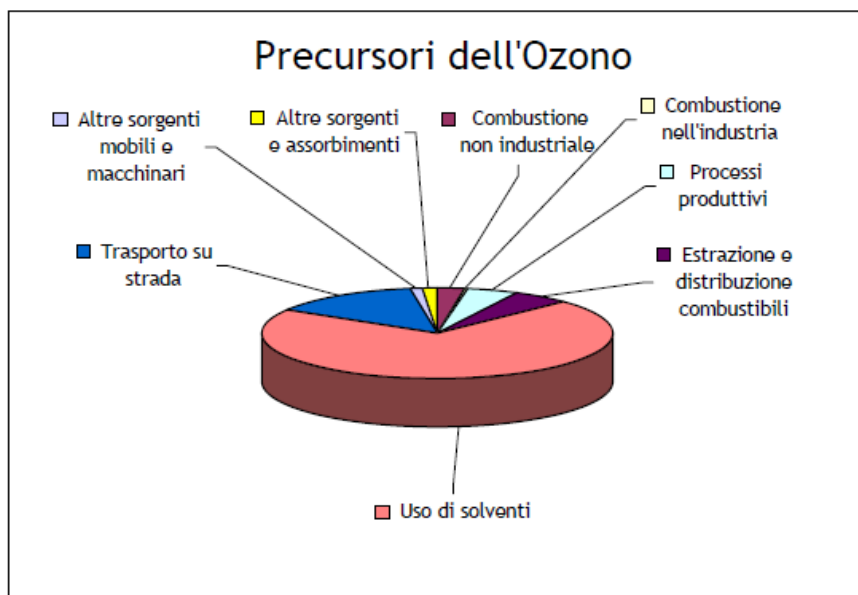
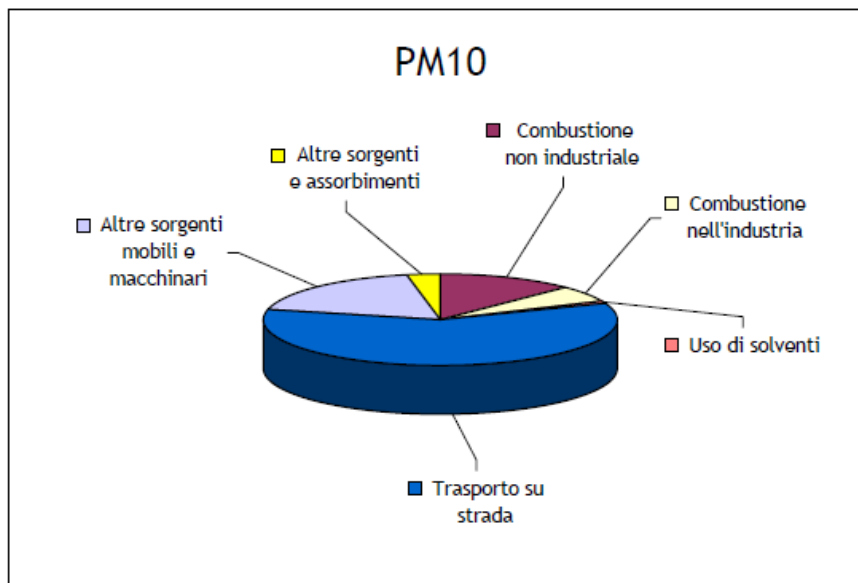
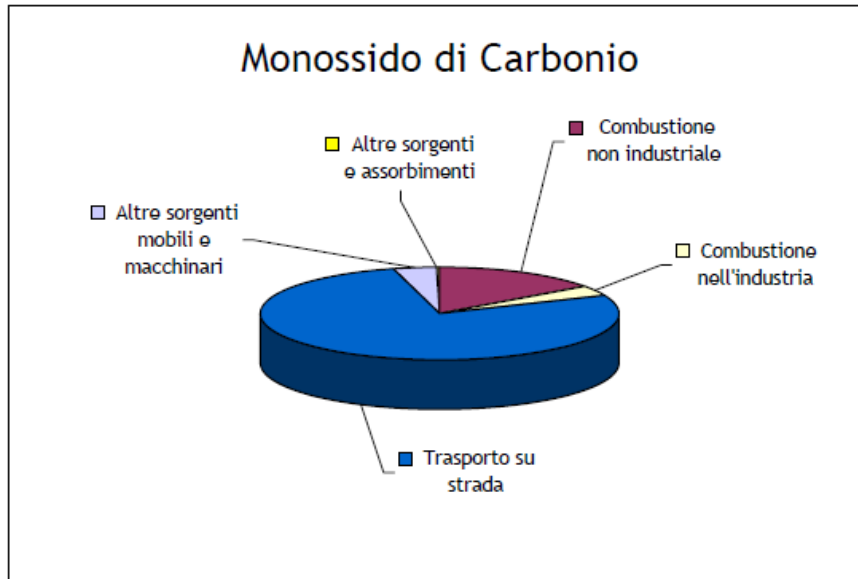
**COMUNE DI VEDUGGIO CON COLZANO**

DESCRIZIONE MACROSETTORE	SO <sub>2</sub> t/anno	NOx t/anno	COV t/anno	CO t/anno	PM10 t/anno	PM2.5 t/anno	PREC. O <sub>3</sub> t/anno
Produzione energia e trasformazione combustibili	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Combustione non industriale</b>	<b>1.25</b>	<b>5.53</b>	<b>4.64</b>	<b>18.66</b>	<b>0.89</b>	<b>0.85</b>	<b>13.45</b>
Combustione nell'industria	0.46	6.92	0.55	4.39	0.43	0.40	9.47
Processi produttivi	0.00	0.00	8.71	0.00	0.00	0.00	8.71
Estrazione e distribuzione combustibili	0.00	0.00	10.06	0.00	0.00	0.00	10.50
Uso di solventi	0.00	0.00	133.54	0.00	0.06	0.02	133.54
<b>Trasporto su strada</b>	<b>0.35</b>	<b>55.88</b>	<b>26.28</b>	<b>96.08</b>	<b>4.24</b>	<b>3.47</b>	<b>105.05</b>
Altre sorgenti mobili e macchinari	0.15	10.09	1.80	4.91	1.30	1.23	14.65
Treatmento e smaltimento rifiuti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Agricoltura	0.00	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21
Altre sorgenti e assorbimenti	0.00	0.00	2.69	0.35	0.22	0.22	2.72
<b>TOTALE</b>	<b>2.20</b>	<b>78.59</b>	<b>188.26</b>	<b>124.39</b>	<b>7.14</b>	<b>6.20</b>	<b>298.30</b>

**PROVINCIA DI MILANO**

DESCRIZIONE MACROSETTORE	SO <sub>2</sub> t/anno	NOx t/anno	COV t/anno	CO t/anno	PM10 t/anno	PM2.5 t/anno	PREC. O <sub>3</sub> t/anno
Produzione energia e trasformazione combustibili	1550.58	3056.97	193.53	477.64	39.17	27.82	3977.97
<b>Combustione non industriale</b>	<b>1927.94</b>	<b>6722.81</b>	<b>3225.55</b>	<b>13213.69</b>	<b>627.28</b>	<b>607.17</b>	<b>12895.03</b>
Combustione nell'industria	1467.01	6652.30	1166.62	5034.90	306.26	246.47	9845.43
Processi produttivi	0.04	61.39	7989.43	254.24	61.09	16.26	8092.30
Estrazione e distribuzione combustibili	0.00	0.00	4491.52	0.00	0.00	0.00	4991.53
Uso di solventi	0.23	17.23	78349.94	0.00	249.89	88.54	78370.96
<b>Trasporto su strada</b>	<b>188.92</b>	<b>30198.48</b>	<b>23459.72</b>	<b>75088.86</b>	<b>2385.73</b>	<b>2003.87</b>	<b>68576.04</b>
Altre sorgenti mobili e macchinari	146.23	4597.51	1238.54	3339.98	529.67	519.83	7215.18
Treatmento e smaltimento rifiuti	27.51	839.30	12.79	510.12	6.22	6.22	1295.33
Agricoltura	0.00	245.68	182.83	3614.85	208.15	165.50	1085.66
Altre sorgenti e assorbimenti	0.34	1.49	622.06	355.99	201.51	201.26	663.16
<b>TOTALE</b>	<b>5308.80</b>	<b>52393.15</b>	<b>120932.55</b>	<b>101890.26</b>	<b>4614.96</b>	<b>3882.95</b>	<b>197008.59</b>





## Fattori meteorologici

I livelli di concentrazione degli inquinanti atmosferici in un sito dipendono, come è evidente, dalla quantità e dalle modalità di emissione degli inquinanti stessi nell'area, ma la situazione meteorologica influisce sia sulle condizioni di dispersione e di accumulo degli inquinanti, sia sulla formazione di alcune sostanze nell'atmosfera stessa.

E' pertanto importante che i livelli di concentrazione osservati, soprattutto durante una campagna di breve durata, siano valutati alla luce delle condizioni meteorologiche verificatesi nel periodo del monitoraggio.

Le caratteristiche diffuse dell'atmosfera fanno sì che le polveri e gli inquinanti in generale risentono fortemente della meteorologia del momento. I maggiori processi atmosferici che condizionano l'inquinamento sono:

- ✓ sistemi sinottici: tipi di masse d'aria, passaggi frontali, presenza di strutture cicloniche o anticicloniche che favoriscono il ricambio o la stagnazione dell'aria alla mesoscala (300 Km);
- ✓ l'intensità e la direzione del vento che determinano trasporto e diffusione degli inquinanti;
- ✓ precipitazioni e nebbie che agiscono sul dilavamento degli inquinanti, le prime, e sulla rimozione umida, le seconde;
- ✓ l'altezza dello strato di rimescolamento che indica l'altezza del "contenitore" aria nel quale vengono dispersi i vari inquinanti emessi dalla superficie;
- ✓ la temperatura che è un indicatore dei processi turbolenti in prossimità della superficie.

Vedremo di seguito in dettaglio come tali elementi siano correlati con l'andamento dell'inquinamento atmosferico nel sito di misura.

## Andamento stagionale e caratteristiche dello strato rimescolato

Lo strato di rimescolamento è influenzato da processi sinottici e alla mesoscala che producono moti verticali e avvezioni orizzontali ove si diffondono tutti gli inquinanti e particolarmente le polveri che possono essere viste come un buon indicatore dello stato di inquinamento.

I processi che influenzano il rimescolamento sono: la turbolenza meccanica determinata dal vento negli strati più vicini alla superficie e la turbolenza termica risultato del trasferimento di calore dalla superficie o del raffreddamento radiativo di strati d'aria più elevati dell'atmosfera.

L'altezza di rimescolamento o mixing height risente della struttura verticale dell'atmosfera che presenta variazioni nelle 24 ore (ciclo giorno-notte) e stagionali (stagione calda-fredda).

Tale altezza agisce come parete mobile di un contenitore: in corrispondenza di basse altezze del mixing layer, polveri ed altri inquinanti hanno così a disposizione un volume più piccolo per la loro dispersione e ciò favorisce di conseguenza un aumento della loro concentrazione.

## **Situazione meteorologica nel periodo di misura rilevata dalla stazione meteo della rete provinciale**

La campagna di monitoraggio nel comune di Veduggio con Colzano ha interessato il mese di novembre. Le condizioni meteorologiche nel periodo di misura sono state contraddistinte da un clima variabile in cui sono state osservate abbondanti precipitazioni anche a carattere nevoso sia in pianura che in alta quota.

La presenza di una saccatura stazionaria localizzata sulla penisola Iberica durante la prima settimana del mese di novembre ha favorito la presenza di correnti umide provenienti da sud che hanno dato vita alla formazione di nuvole con conseguenti precipitazioni diffuse e persistenti su tutto il territorio lombardo. L'afflusso di aria più mite e stazionaria in quota proveniente dalla zona occidentale dell'Europa, che ha avuto origine nel fine settimana ed è proseguita nei giorni successivi, ha garantito un graduale dissolvimento di tali fenomeni garantendo un clima decisamente più stazionario. La presenza costante di queste correnti, sebbene di scarsa entità, ha garantito una ventilazione costante in tutto territorio lombardo.

Per quanto riguarda le temperature sono state osservate scarse escursioni termiche diurne; i valori minimi si sono attestati tra i 6 e 9 °C invece le massime tra 16 e 19°C, in linea con i valori medi stagionali.

La parte centrale del mese di novembre è stata influenzata da un'area di alta pressione durante la quale si è rafforzata la stabilità atmosferica con conseguente formazione di nebbia su tutta la pianura Padana. Il transito di due perturbazioni nord atlantiche, intervallate da deboli correnti nord occidentali, ha causato un calo delle temperature, forte vento e deboli precipitazioni piovose.

Il calo delle temperature è proseguito anche nella parte finale del mese; in tale contesto le precipitazioni, inizialmente a carattere piovoso, sono passate successivamente a carattere nevoso; il giorno 24 in pianura sono caduti i primi fiocchi di neve.

Tra i giorni 28 e 30 di novembre un'ampia circolazione depressionaria sul continente europeo e sul Mediterraneo ha favorito, sulla tutta la Lombardia, il passaggio di tre nuove perturbazioni: la prima venerdì 28, con nevicate moderate, anche su parte della pianura; la seconda, tra la sera di sabato 29 e la mattina di domenica 30, associata a precipitazioni piovose e la terza, dalla sera di domenica fino alla mattinata successiva, con neve abbondante in montagna.

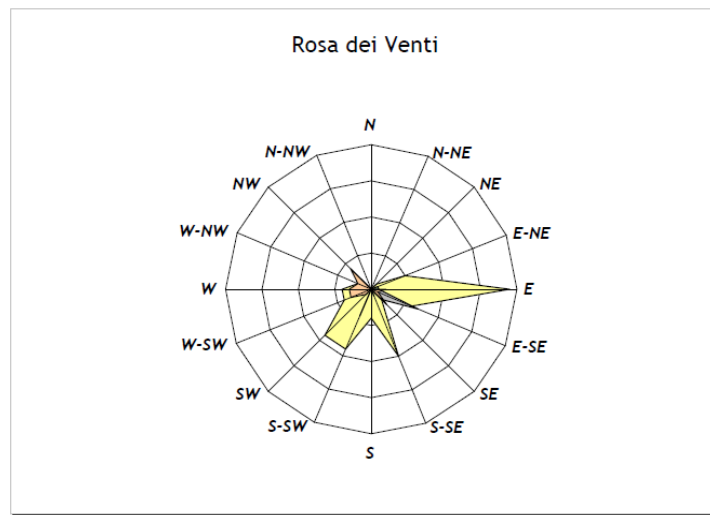
Nell'andamento meteorologico del periodo sono da segnalare i due fenomeni ventosi che hanno interessato lunedì 17 ed i giorni tra venerdì 21 e sabato 22 dovuti alla presenza di Foehn sulle Prealpi e nelle zone di pianura ad esse adiacenti; in particolare in quest'ultimo temperatura hanno fatto registrare valori superiori alle medie stagionali e l'intensità dei venti è stata significativa (valore massimo orario, in pianura, pari a 10 m/s).

## **Situazione meteorologica nel periodo di misura rilevata dalla stazione meteo del Laboratorio Mobile**

I livelli di concentrazione degli inquinanti osservati, sono stati valutati anche alla luce delle condizioni meteorologiche registrate nel periodo del monitoraggio dalla stazione meteo del Laboratorio Mobile; va però sottolineato come le condizioni meteorologiche riscontrate dal siano ancor più strettamente legate al sito di misura e non estendibili alla zona circostante.

Dal punto di vista meteorologico il vento ha notoriamente un effetto di diluizione e le precipitazioni di dilavamento nei confronti degli inquinanti atmosferici; la loro presenza è quindi determinante nella gestione degli episodi di concentrazioni acute. Il loro andamento è

quasi sempre anticorrelato con la concentrazione delle particelle (di qualsiasi grandezza siano). Ai fini valutativi è importante capire quali siano stati i settori maggiormente interessati da fenomeni ventosi e quale sia stata la classe di vento interessata durante la campagna di misura. Analizzando il grafico della rosa dei venti è possibile osservare come i settori maggiormente interessati da fenomeni ventosi siano stati quelli compresi tra SW e S-SE ed il settore E.



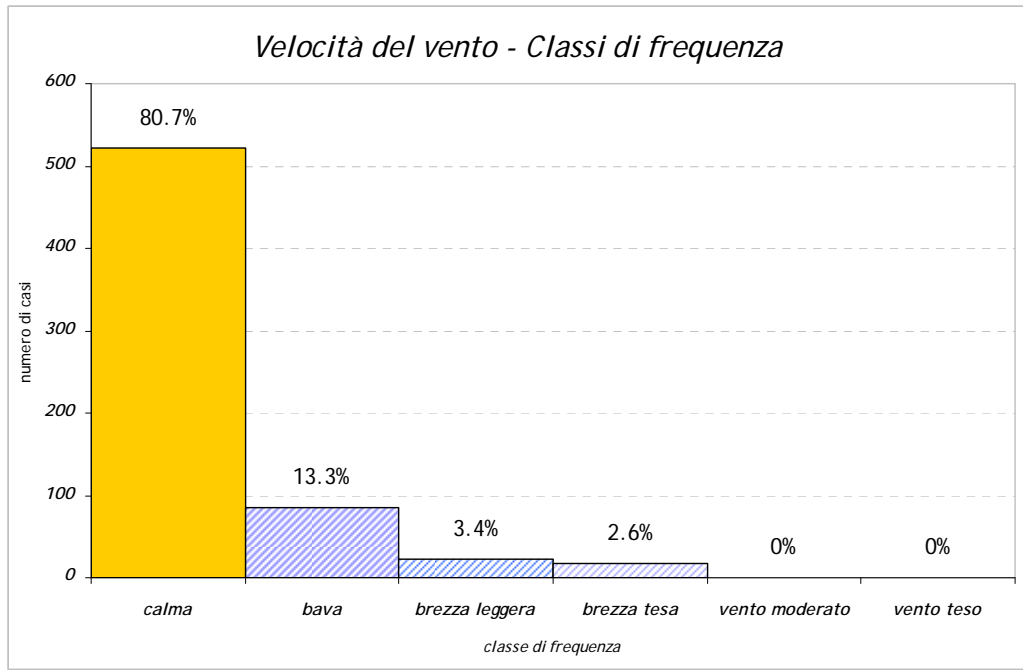
	0.2 <VV<1	1 <VV<1.5	1.5 <VV<2	2 <VV<3	VV > 3
N	0	0	0	0	0
N-NE	0	0	0	0	0
NE	1	0	0	0	0
E-NE	5	1	0	0	0
E	19	1	1	1	2
E-SE	6	2	4	7	1
SE	2	0	1	2	3
S-SE	10	1	0	0	0
S	4	0	0	0	0
S-SW	9	4	0	0	0
SW	9	0	0	0	1
W-SW	4	0	0	1	3
W	4	1	0	0	3
W-NW	2	1	0	1	2
NW	0	0	0	2	4
N-NW	0	0	0	0	0

VV = Velocità del Vento (m/s)

Numero totale di casi 647  
Percentuale di casi di calma 81%

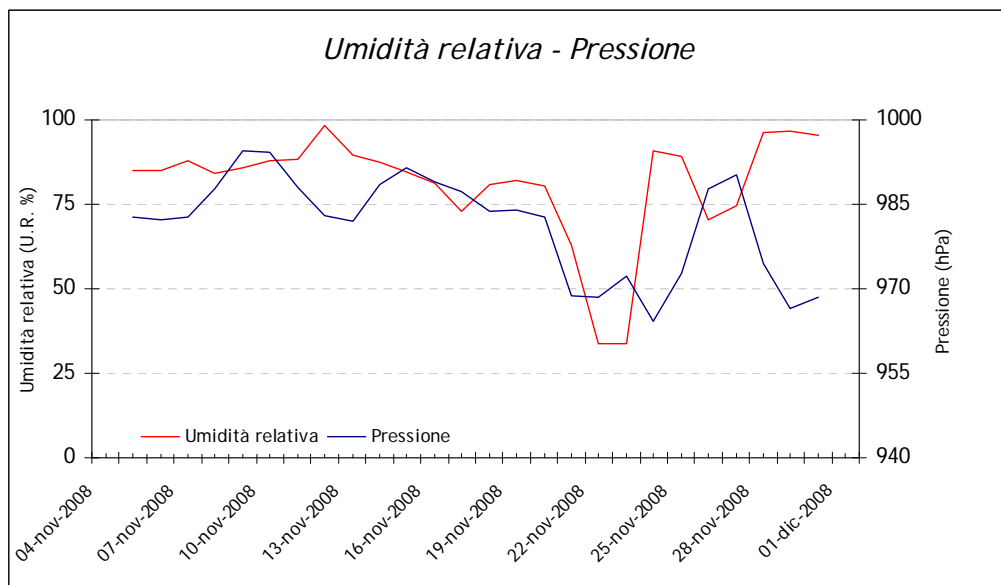
Dall'analisi in frequenza dei dati registrati con la stazione meteo del Laboratorio Mobile è possibile osservare come nel periodo di osservazione nel sito di misura l'attività anemologica sia stata scarsa (81% dei casi di calma di vento).

	Classi di vento (m/s)	Freq. (n. di casi)	%
Calma	0.2	522	80.7%
Bava	1.5	86	13.3%
Brezza leggera	3.3	22	3.4%
Brezza tesa	5.4	17	2.6%
Vento moderato	7.9	0	0.0%
Vento teso	10.7	0	0.0%



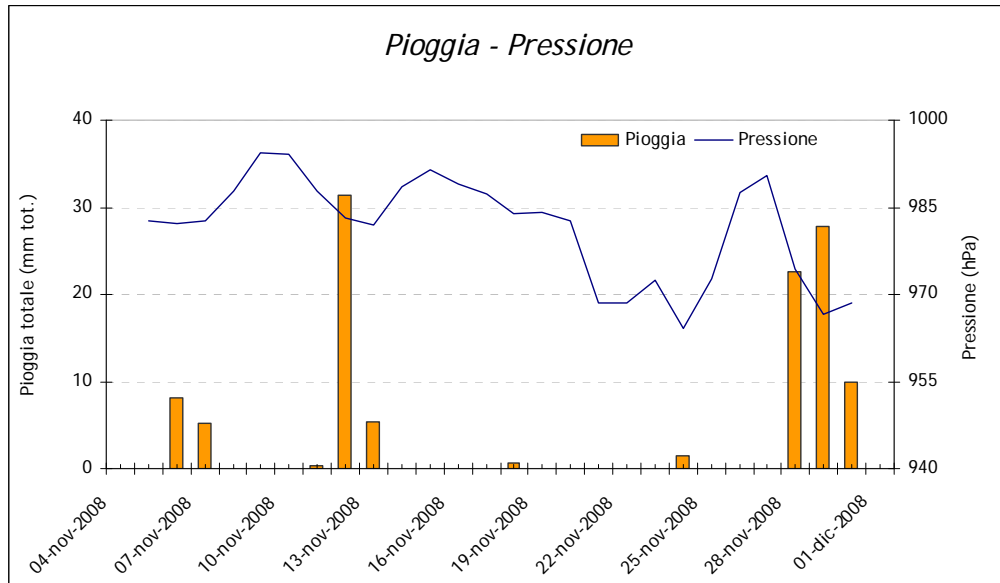
In linea con quanto osservato dalla rete meteorologica regionale l'episodio più significati sono stati registrati tra i giorni 21 e 22 novembre; il valore massimo giornaliero è stato di 2.4 m/s il giorno 22, invece il valore massimo orario è stato di 4.57 m/s il giorno 21 alle ore 22.00. (direzione E) I casi di calma di vento ( $0 < VV < 0.3$ ) sono stati il 80.7% del totale ed i casi di bava di vento ( $0.3 < VV < 1.5$  m/s) e di brezza leggera ( $1.5 < VV < 3.3$ ) sono stati registrati per il 16.7%.

L'umidità relativa ha fatto registrare in via Piave un valore medio pari all'81.6%; il valore massimo orario (100%) è stato misurato il giorno 30 novembre tra le ore 04.00 e le ore 09.00 del mattino. Il valore massimo giornaliero (98.4%) è stato riscontrato il giorno 8 novembre in concomitanza dell'evento piovoso più significativo del periodo oggetto di indagine.



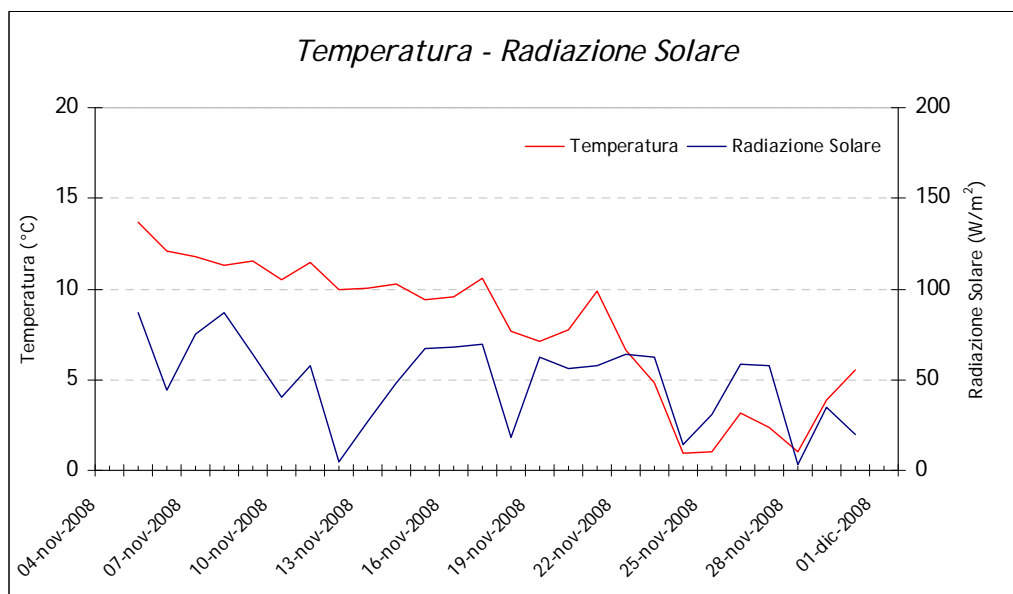
L'andamento barico nel periodo ha presentato una variabilità media di 37.5 hPa (tra 958.5 e 995.8 hPa) con un valore medio del periodo di 981.1 hPa; il valore minimo e massimo orari riscontrati sono stati rispettivamente di 958.5 hPa il 1 dicembre e di 995.8 hPa il 10 novembre.

Nel periodo di misura sono state registrate 9 giornate piovose; in totale sono stati misurati 234.5 mm di pioggia caduti. Il periodo maggiormente interessato dalle precipitazioni è stato compreso tra i giorni 28 novembre e 01 dicembre in cui sono caduti 96 mm (41% rispetto al periodo osservato). Il valore massimo (31.4 mm) è stato misurato il giorno 12 novembre; tale evento, iniziato nella tarda serata dell'11, è continuato in modo incessante durante tutta la giornata.



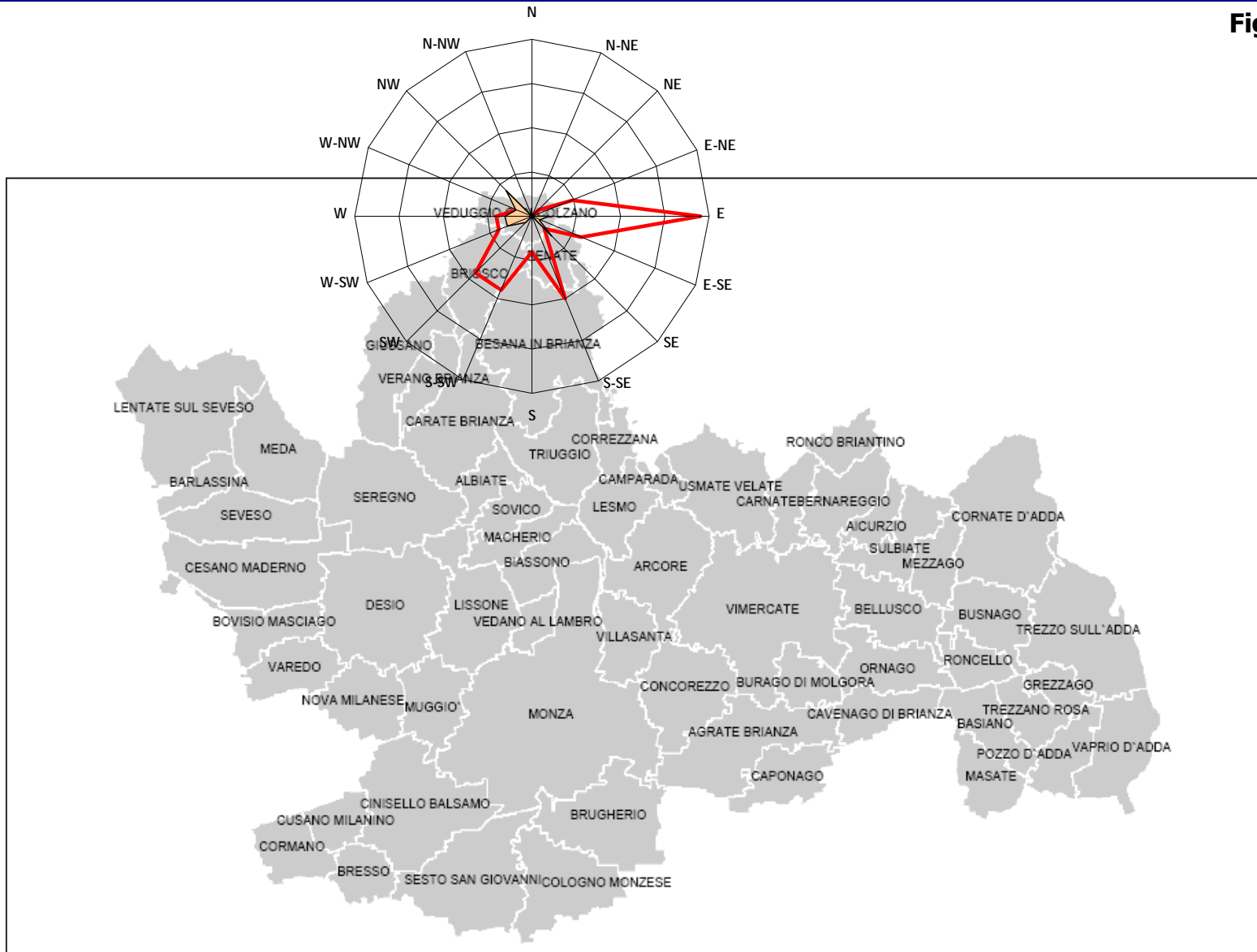
L'andamento della temperatura nel periodo di osservazione in via Piave a Veduggio con Colzano è stata in linea con quanto è stato misurato dalla stazioni di riferimento; i valori sono stati miti nella prima parte del mese di novembre con diminuzione graduale nella parte del mese fino a raggiungere i valori minimi nei giorni finali del mese in concomitanza con i fenomeni a carattere nevoso.

Nel complesso il valore medio osservato è stato pari di 7.9.



Per quanto riguarda la radiazione solare il valore medio registrato ad Veduggio con Colzano è stato di 46.2 W/m<sup>2</sup>.

Figura 2



## Inquinanti atmosferici monitorati con laboratorio mobile

I principali inquinanti che si trovano nell'aria possono essere divisi schematicamente in due gruppi: *inquinanti primari* ed *inquinanti secondari*. I primi vengono emessi nell'atmosfera direttamente da sorgenti di emissione antropogeniche o naturali, mentre gli altri si formano in atmosfera in seguito a reazioni chimiche che coinvolgono altre specie, primarie o secondarie.

Gli **ossidi di azoto (NO e NO<sub>2</sub>)** vengono emessi direttamente in atmosfera a seguito di tutti processi di combustione ad alta temperatura (impianti di riscaldamento, motori dei veicoli, combustioni industriali, centrali di potenza, ecc.), per ossidazione dell'azoto atmosferico e, solo in piccola parte, per l'ossidazione dei composti dell'azoto contenuti nei combustibili utilizzati.

Nel caso del traffico autoveicolare, le quantità più elevate di questi inquinanti si rilevano quando i veicoli sono a regime di marcia sostenuta e in fase di accelerazione, poiché la produzione di NO<sub>x</sub> aumenta all'aumentare del rapporto aria/combustibile, cioè quando è maggiore la disponibilità di ossigeno per la combustione.

Al momento dell'emissione gran parte degli ossidi di azoto è in forma di NO, con un rapporto NO/NO<sub>2</sub> decisamente a favore del primo. Si stima che il contenuto di NO<sub>2</sub> nelle emissioni sia tra il 5 e il 10% del totale degli ossidi di azoto.

Il monossido di azoto non è soggetto a normativa, in quanto, alle concentrazioni tipiche misurate in aria ambiente, non provoca effetti dannosi sulla salute e sull'ambiente. Se ne misurano comunque i livelli in quanto, attraverso la sua ossidazione in NO<sub>2</sub> e la sua partecipazione ad altri processi fotochimici, contribuisce alla produzione di O<sub>3</sub> troposferico.

Il **monossido di carbonio (CO)** ha origine da processi di combustione incompleta di composti contenenti carbonio. E' un gas la cui origine, soprattutto nelle aree urbane, è da ricondursi prevalentemente al traffico autoveicolare, soprattutto ai veicoli a benzina, in particolare quando sono in fase di decelerazione e di traffico congestionato. Le sue concentrazioni pertanto sono strettamente legate ai flussi di traffico in prossimità della zona in cui avviene il prelievo e gli andamenti giornalieri rispecchiano quelli del traffico, raggiungendo i massimi valori in concomitanza delle ore di punta a inizio e fine giornata, soprattutto nei giorni feriali. Durante le ore centrali della giornata i valori tendono poi a calare, grazie anche ad una migliore capacità dispersiva dell'atmosfera.

L'**ozono (O<sub>3</sub>)** è un inquinante secondario, che non ha sorgenti emissive dirette di rilievo. La sua formazione avviene in seguito a reazioni chimiche in atmosfera tra i suoi precursori (soprattutto ossidi di azoto e composti organici volatili), reazioni che avvengono in presenza di alte temperature e forte irraggiamento solare e che causano la formazione di un insieme di diversi composti, tra i quali, oltre all'ozono, si trovano nitrati e solfati (costituenti del particolato fine), perossiacetilnitrato (PAN), acido nitrico e altro ancora, che nell'insieme costituiscono il tipico inquinamento estivo detto smog fotochimica. A differenza degli inquinati primari, le cui concentrazioni dipendono direttamente dalle quantità emesse delle sorgenti presenti nell'area, la formazione di ozono è quindi più complessa. Le concentrazioni di ozono raggiungono i valori più elevati nelle ore pomeridiane delle giornate estive soleggiate. Inoltre, dato che l'ozono si forma durante il trasporto delle masse d'aria contenenti i suoi precursori, emessi soprattutto nelle aree urbane, le concentrazioni più alte si osservano soprattutto nelle zone extraurbane sottovento rispetto ai centri urbani principali.

La chimica dell'ozono ha come punto di partenza la presenza di ossidi di azoto, che vengono emessi in grande quantità nelle aree urbane. Sotto l'effetto della radiazione solare (rappresentata di seguito con  $h\nu$ ), la formazione di ozono avviene in conseguenza della fotolisi del biossido di azoto:  $\text{NO}_2 + h\nu \rightarrow \text{NO} + \text{O}^*$ .

L'ossigeno atomico  $O^*$ , reagisce rapidamente con l'ossigeno molecolare dell'aria, in presenza di una terza molecola che non entra nella relazione vera e propria ma assorbe l'eccesso di energia vibrazionale e pertanto stabilizza la molecola di ozono che si è formata:  $O^* + O_2 + M \rightarrow O_3 + M$ . Una volta generato l'ozono reagisce con l'NO e rigenera  $NO_2$ :  $NO + O_3 \rightarrow NO_2 + O_2$

Le tre reazioni descritte formano un ciclo chiuso che da solo non sarebbe sufficiente a causare gli alti livelli di ozono che possono essere misurati in condizioni favorevoli alla formazione di smog fotochimico. La presenza di altri inquinanti, quali ad esempio gli idrocarburi, fornisce una diversa via di ossidazione del monossido di azoto, che provoca una produzione di  $NO_2$  senza consumare  $O_3$ , di fatto spostando l'equilibrio del ciclo visto sopra e consentendo l'accumulo di  $O_3$ .

Il **particolato fine (PM10)** è un inquinante la cui misura è stata introdotta a partire dal 1998; esso è costituito da particelle con diametro aerodinamico inferiore a  $10 \mu m$ , in grado quindi di penetrare nelle prime vie respiratorie (naso, faringe, laringe). Le particelle di polvere presenti in aria possono avere origine primaria, cioè emesse direttamente in atmosfera da processi naturali o antropici, o secondaria, cioè formate in atmosfera a seguito di reazioni chimiche e di origine prevalentemente umana. Nei centri urbanizzati le fonti dovute ad attività umane sono da ricondursi al trasporto, al riscaldamento e a processi di combustione per la produzione di energia.

### Andamento inquinanti nel periodo di misura

Esaminando gli indicatori proposti dalla normativa, appare subito evidente che la scala temporale adeguata per una valutazione della qualità dell'aria è generalmente quella annuale. Una campagna di misura condotta per un periodo più breve può essere utile in un'ottica di approccio preliminare alla caratterizzazione dei livelli di immissione nel luogo soggetto all'indagine, in rapporto alle informazioni provenienti dal resto della Rete di Rilevamento della Qualità dell'Aria. Gli inquinanti considerati nello studio sono quelli usualmente monitorati nelle aree urbane: monossido di carbonio (CO), ossidi di azoto (NO,  $NO_2$ ), ozono ( $O_3$ ) e polveri sottili (PM10).

La strumentazione presente sul Laboratorio mobile ha permesso il monitoraggio a cadenza oraria degli inquinanti gassosi (NO,  $NO_2$ , CO,  $O_3$ ); per quanto riguarda il PM10, la misura ha permesso di avere un valore medio giornaliero.

I dati sono stati raccolti alla migliore risoluzione temporale permessa dagli strumenti. Ove i dati fossero disponibili su base oraria, si è provveduto a calcolare le medie giornaliere a condizione che fosse presente almeno il 75% dei dati per ogni giorno.

Come descritto nel capitolo Normativa (vedi Tab. pag. 4 - 5), il D.M. 60 del 02.04.02 stabilisce, per  $NO_2$ , CO e PM10 i valori limite per la protezione della salute umana e i margini di tolleranza che si riducono progressivamente negli anni. Per gli inquinanti monitorati tale margine di tolleranza è attualmente nullo ad eccezione di quello relativo al biossido di azoto.

I livelli di concentrazione degli inquinanti elencati sono stati pertanto di seguito confrontati con i rispettivi limiti a "regime", cioè con margini di tolleranza zero, anche per quanto riguarda il biossido di azoto, adottando così le condizioni più cautelative anche per questo inquinante.

Per "giorno tipo" o "giorno medio" si intende l'andamento delle concentrazioni medie orarie mediate su tutti i giorni feriali (o su tutti i giorni pre-festivi o festivi) del periodo in questione.

I giorni feriali, pre-festivi e festivi sono stati considerati separatamente nel calcolo del giorno tipo per mettere in evidenza le eventuali diverse caratteristiche emissive, legate al traffico o alle attività produttive.

Le caratteristiche del sito di misura poi e le condizioni meteorologiche sono elementi essenziali per l'interpretazione dei dati. La **concentrazione degli inquinanti in atmosfera**, soprattutto in ambiente urbano, è infatti **influenzata da diversi fattori legati alla meteorologia**.

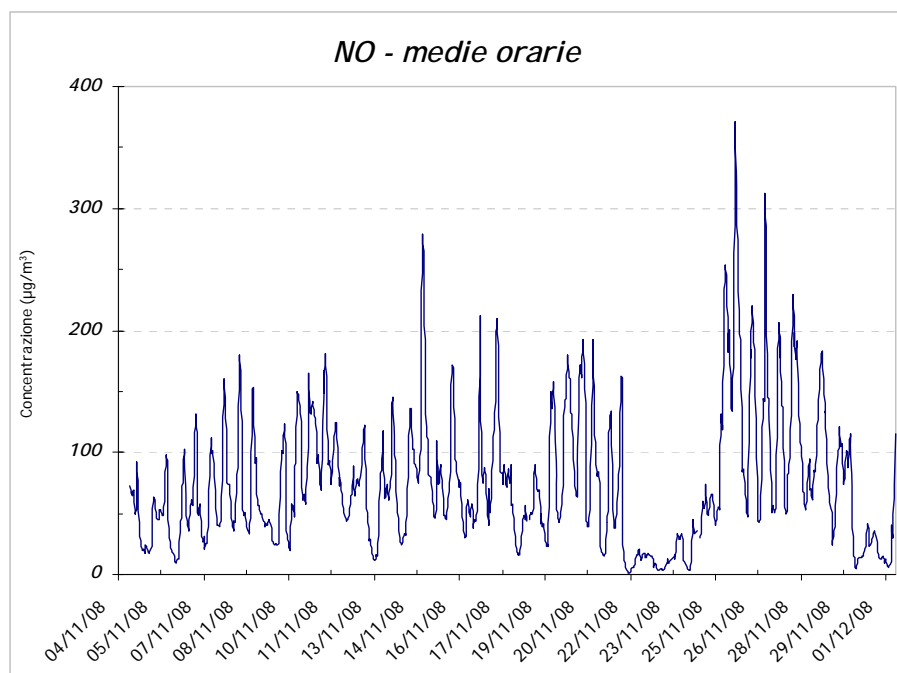
In generale le condizioni meteorologiche presenti nel periodo oggetto dell'indagine hanno contribuito a mantenere la qualità dell'aria su livelli accettabili; **durante il periodo di misura sono state riscontrate concentrazioni superiori ai limiti solo per quanto riguarda il PM10; tutti gli altri inquinanti monitorati presentano valori ampiamente inferiori ai limiti normativi vigenti.**

Nei paragrafi seguenti vengono riportati i risultati dell'analisi degli andamenti temporali degli inquinanti ricavati durante il periodo di misura nel comune di Veduggio al Lambro

**NO**

Il monossido di azoto non è soggetto a normativa, in quanto, alle concentrazioni tipiche misurate in aria ambiente, non provoca effetti dannosi sulla salute e sull'ambiente. Se ne misurano comunque i livelli in quanto oltre a fornire importanti informazioni per la caratterizzazione del sito, dà origine per ossidazione al NO<sub>2</sub> e, attraverso altri processi fotochimici, contribuisce alla produzione di O<sub>3</sub> troposferico.

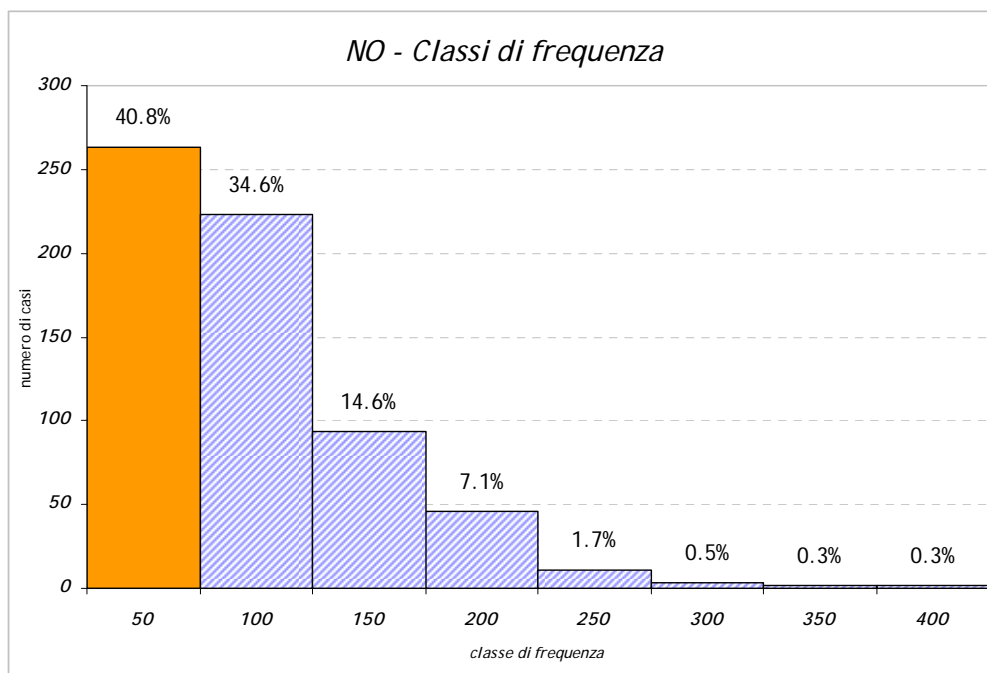
I valori delle concentrazioni orarie del NO hanno fatto registrare nel periodo di misura un valore medio di 74 µg/m<sup>3</sup> ed un valore massimo di concentrazione oraria pari a 371 µg/m<sup>3</sup>, martedì 25 novembre alle ore 11.00.



Nella sottostante tabella sono state riportate le frequenze con le quali le concentrazioni di NO sono state osservate nel sito di misura. L'analisi di frequenza, con intervalli di 50 µg/m<sup>3</sup>, mette in risalto come il 90.5% dei valori misurati a Veduggio con Colzano siano compresi

nell'intervallo  $1 \div 150 \mu\text{g}^3$ , con frequenza più alta nella classe  $1 \div 50 \mu\text{g}^3$  (40.8%).

Classe	Frequenza	%	Classe	Frequenza	%
50	263	40.8%	250	11	1.7%
100	223	34.6%	300	3	0.5%
150	94	14.6%	350	2	0.3%
200	46	7.1%	400	2	0.3%



Sebbene il NO sia un inquinante caratteristico del sito di prelievo e poco soggetto a fenomeni di trasporto, dall'analisi statistica dei dati si evidenzia una discreta correlazione<sup>2</sup> con i valori misurati dalle vicine centraline urbane da traffico in particolare con le stazioni di Carate Brianza (R=0.76) e Meda (R=0.79).

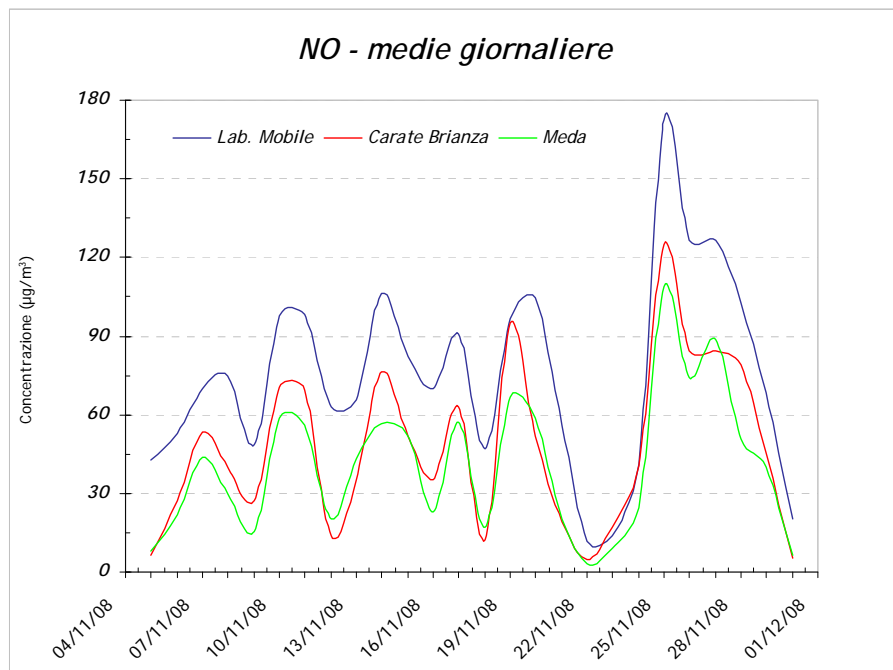
	Lab. Mobile	MI-Pascal	Monza	Carate Brianza	Meda	Limbrate	Vimercate	MI-Senato	Villasanta	Mariano Comense	Nibionno
Lab. Mobile	1.00										
MI-Pascal	0.56	1.00									
Monza	0.66	0.75	1.00								
Carate Brianza	0.76	0.43	0.65	1.00							
Meda	0.79	0.52	0.74	0.85	1.00						
Limbrate	0.64	0.59	0.89	0.67	0.77	1.00					
Vimercate	0.73	0.55	0.76	0.83	0.85	0.72	1.00				
MI-Senato	0.50	0.70	0.62	0.43	0.53	0.61	0.53	1.00			
Villasanta	0.73	0.66	0.87	0.76	0.84	0.86	0.86	0.59	1.00		
Mariano Comense	0.73	0.51	0.72	0.81	0.92	0.75	0.83	0.53	0.84	1.00	
Nibionno	0.63	0.50	0.63	0.58	0.71	0.64	0.66	0.54	0.71	0.66	1.00

Nel grafico successivo sono riportati gli andamenti delle medie giornaliere riscontrate nel

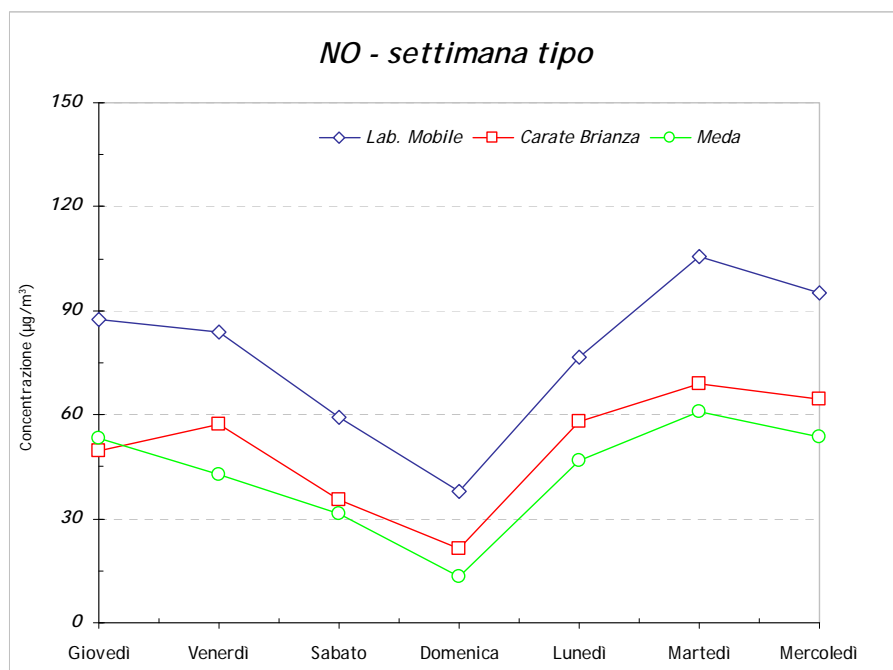
<sup>2</sup> Il coefficiente di correlazione di Pearson (R) misura il grado di correlazione lineare tra due variabili x e y calcolando il rapporto tra la loro covarianza ed il prodotto delle rispettive deviazioni standard (0<R<1, più R si avvicina a 1 più i valori sono correlati):

$$R = \frac{\text{cov}(x, y)}{\sqrt{\text{var}(x) \times \text{var}(y)}}$$

sito di Veduggio con Colzano e nelle stazioni maggiormente correlate; pur mantenendo un andamento temporale analogo i valori osservati in via Piave sono state costantemente superiori a quelli misurati nelle altre due siti della rete di rilevamento regionale.



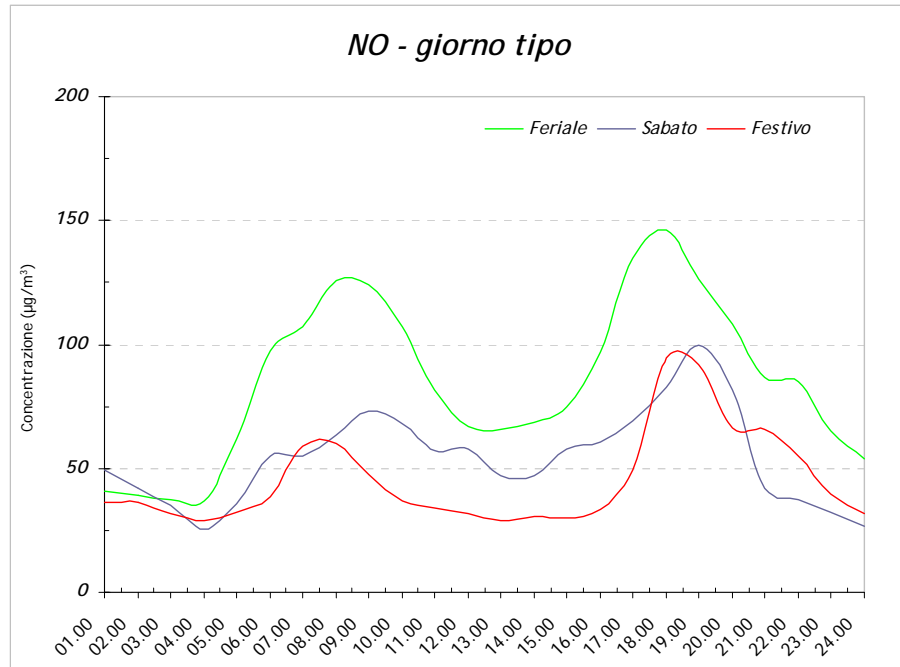
La scala settimanale è l'unica scala temporale dove l'effetto della meteorologia (altro principale fattore che influenza le concentrazioni degli inquinanti) non ha alcuna influenza. Per questo motivo è stata ottenuta, partendo dalle concentrazioni medie giornaliere, la settimana tipo, riferita ai valori misurati nel sito oggetto di indagine e a quelli misurati a Carate Brianza e Meda.



Tale rappresentazione mette in evidenza la stretta dipendenza di questo inquinante con il traffico veicolare; osservando il grafico si osserva che le concentrazioni minime coincidono con i giorni del fine settimana (sabato e domenica) durante i quali il traffico veicolare è minore. Nei giorni lavorativi (lunedì – venerdì) in cui i flussi di traffico aumentano si osserva

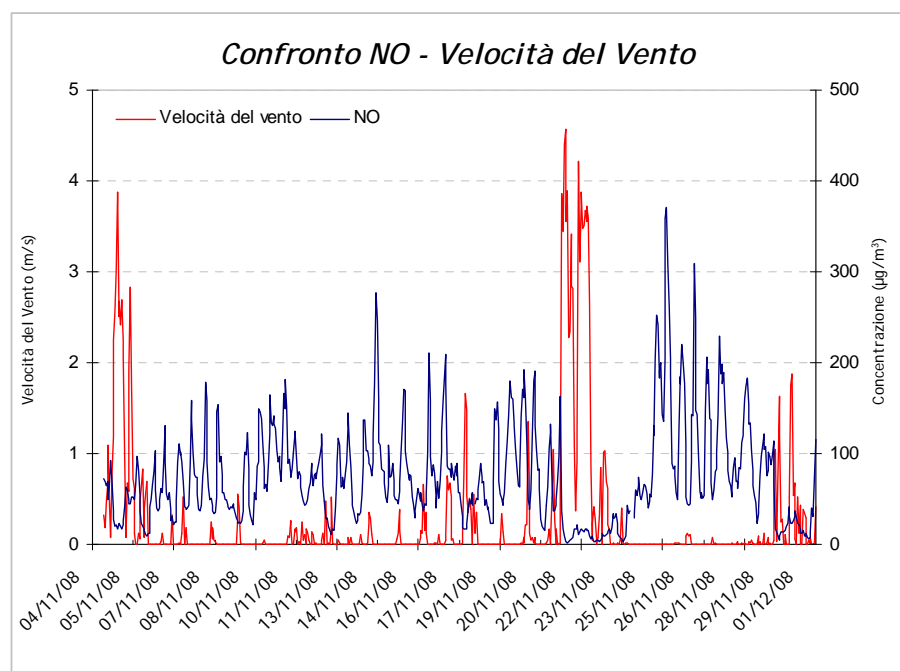
anche un incremento delle concentrazioni.

Il *grafico del giorno tipo* permette di acquisire una serie di conoscenze sui flussi di traffico caratteristici dell'area di indagine: i picchi di concentrazione sono localizzati nelle fasce orarie mattutine e serali in cui il traffico veicolare è maggiormente sostenuto; in particolare per il giorno tipo feriale si presentano nella tra le ore 06.00 alle ore 10.00 del mattino e dalle 17.00 alle 21.00 della sera.



Anche il giorno tipo del sabato e festivo presentano un andamento temporale analogo a quello feriale sebbene i picchi di concentrazione siano traslati di qualche ora e i valori siano maggiormente contenuti.

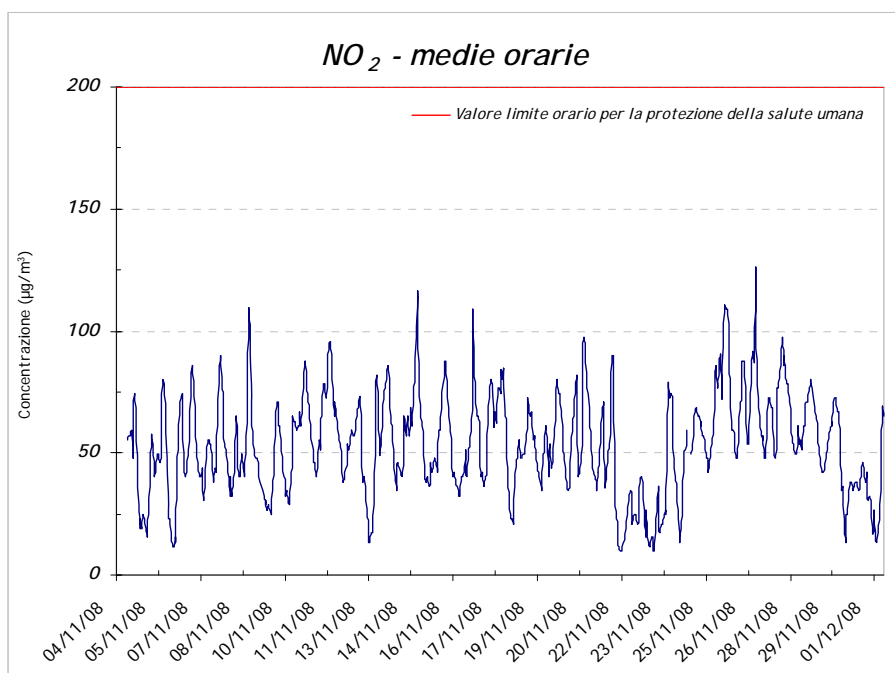
Dal confronto delle concentrazioni di NO e della velocità del vento si nota come l'accumulo in atmosfera di questo inquinante sia fortemente influenzata da condizioni di stabilità atmosferica; i picchi di concentrazione di NO coincide una scarsa attività ventosa.



## NO<sub>2</sub>

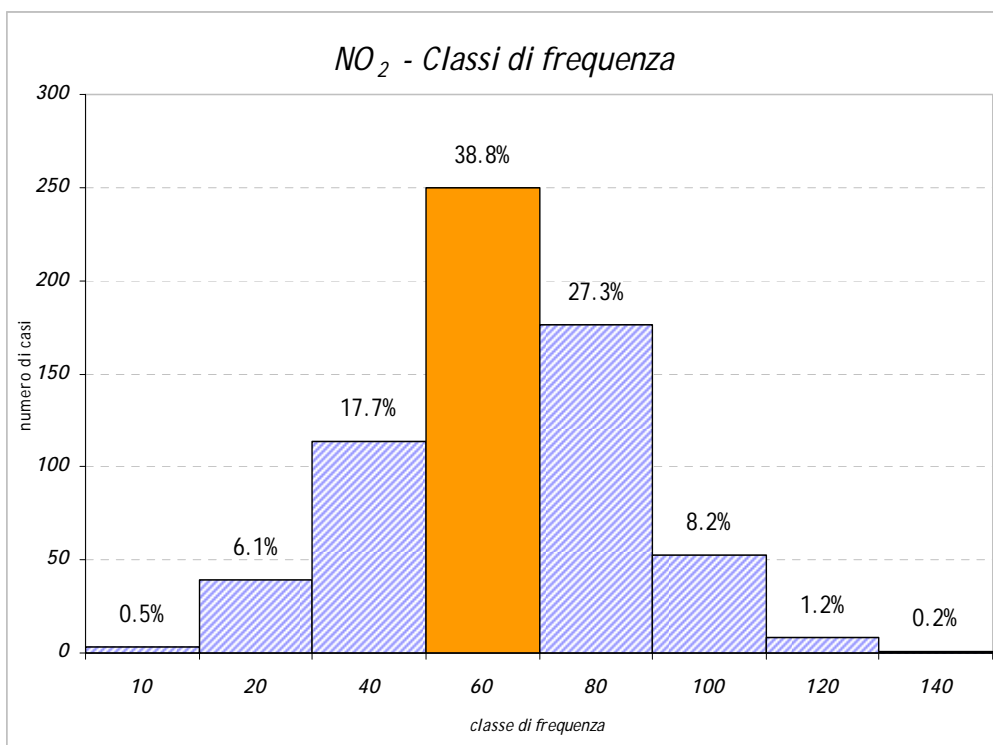
La concentrazione in aria di NO<sub>2</sub>, oltre ad essere funzione della componente meteorologica, dipende dalla velocità di emissione di NO, dalla velocità di trasformazione di NO in NO<sub>2</sub> e dalla velocità di conversione di NO<sub>2</sub> in altre specie ossidate (nitrati).

Durante la campagna di misura a Veduggio con Colzano non è stato registrato nessun superamento per il NO<sub>2</sub>; la concentrazione media sul periodo del **biossido di azoto** si è attestata intorno al valore di **53 µg/m<sup>3</sup>**, in questo periodo le concentrazioni sono risultate abbondantemente inferiori alla soglia di attenzione, fissata per questo inquinante a 200 µg/m<sup>3</sup>; il valore più alto misurato è stato di **126 µg/m<sup>3</sup>** mercoledì 26 novembre alle ore 19.00.



Come per l'NO anche per questo inquinante è stata effettuata l'analisi di frequenza utilizzando come ampiezza un intervallo pari a 10 µg/m<sup>3</sup>. Dalla tabella qui di seguito riportata si osserva come i valori misurati nel sito ricadano per la maggior parte nella fascia compresa tra 21 e 80 µg/m<sup>3</sup> (corrispondente al 83.9% dei dati) con maggior frequenza nella classe 60 µg/m<sup>3</sup> (38.8%).

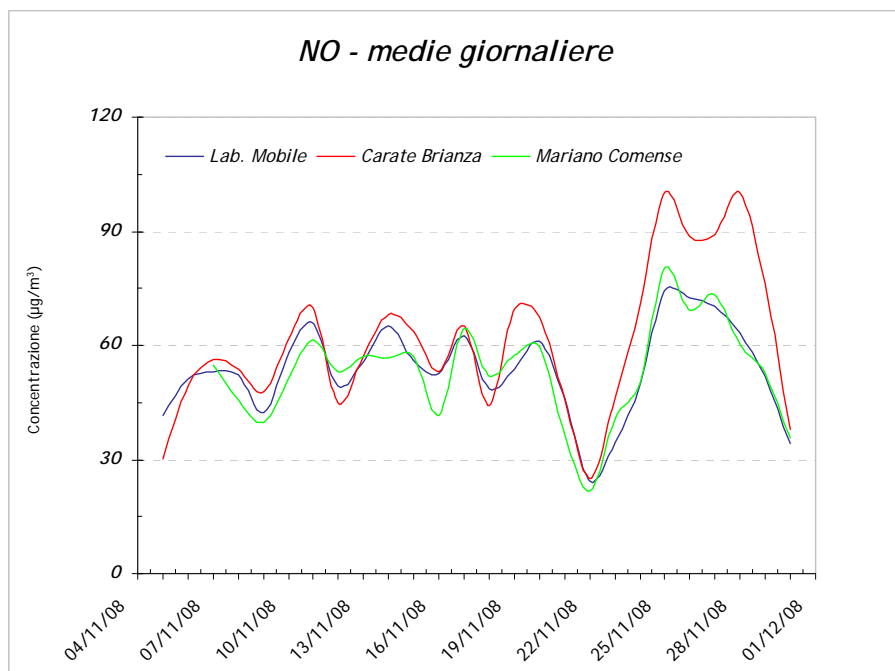
Classe	Frequenza	%	Classe	Frequenza	%
10	3	0.5%	80	176	27.3%
20	39	6.1%	100	53	8.2%
40	114	17.7%	120	8	1.2%
<b>60</b>	<b>250</b>	<b>38.8%</b>	140	1	0.2%



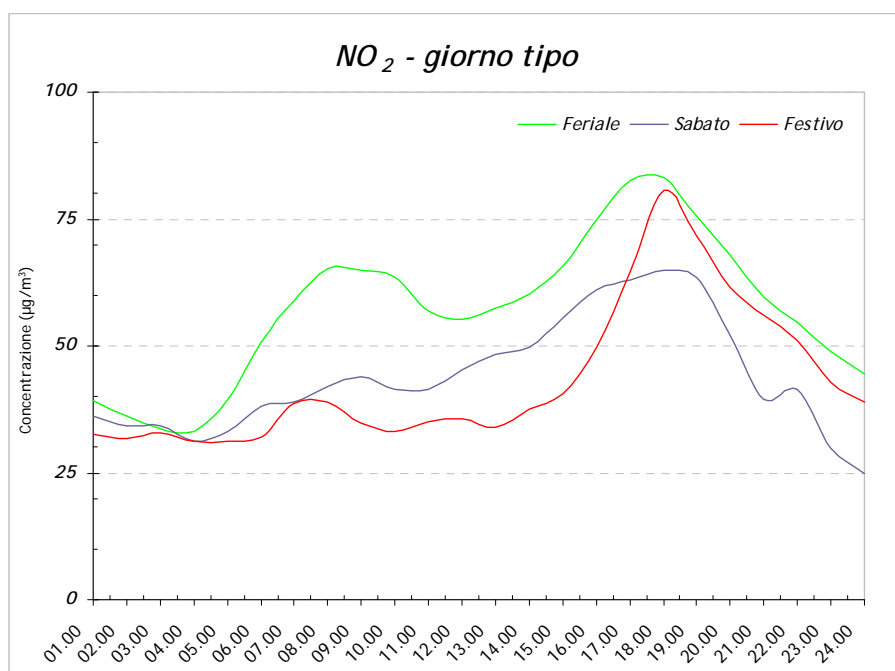
A differenza del NO, le cui concentrazioni dipendono direttamente dalle quantità emesse dalle sorgenti presenti nell'area, la formazione di NO<sub>2</sub> è più complessa, essendo un inquinante secondario infatti non dipende direttamente dalla presenza della sorgente traffico ma, se sono presenti i suoi precursori esso continua a formarsi. Il calcolo della correlazione di Pearson, fatta eccezione per le due stazioni cittadine di Milano (via Pascal e via Senato), evidenzia una buona correlazione con le centraline della rete regionale prese a riferimento, indice del fatto che la diffusione di tale inquinante è indipendente dal traffico veicolare.

Le centraline con valori di correlazione più alti sono quelle di Carate Brianza e Mariano Comense (R=0.80). Si riporta di seguito la tabella di correlazione e il grafico dell'andamento delle concentrazioni medie giornaliere riscontrate sia nel sito di misura a Veduggio con Colzano che nella stazioni maggiormente correlate.

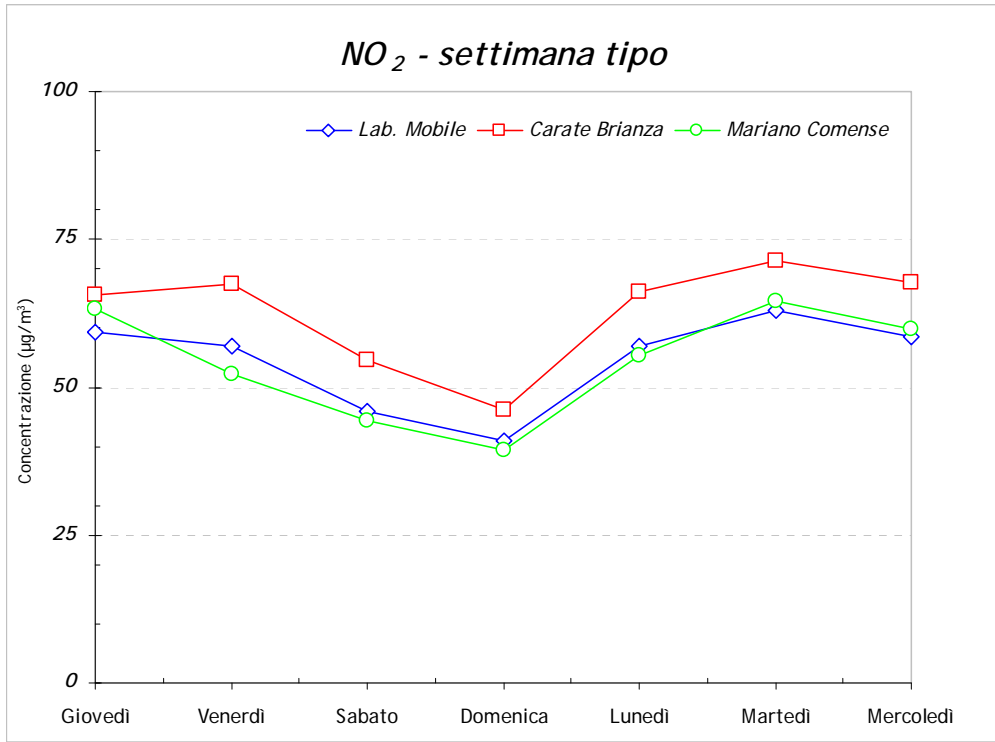
	Lab. Mobile	MI-Pascal	Monza	Carate Brianza	Meda	Limbiate	Vimercate	MI-Senato	Villasanta	Mariano Comense	Nibionno
Lab. Mobile	1.00										
MI-Pascal	0.63	1.00									
Monza	0.74	0.74	1.00								
Carate Brianza	<b>0.80</b>	0.68	0.85	1.00							
Meda	0.76	0.60	0.81	0.84	1.00						
Limbiate	0.77	0.61	0.86	0.83	0.85	1.00					
Vimercate	0.75	0.69	0.90	0.86	0.84	0.79	1.00				
MI-Senato	0.54	0.67	0.66	0.68	0.66	0.63	0.65	1.00			
Villasanta	0.79	0.60	0.87	0.82	0.79	0.87	0.83	0.65	1.00		
Mariano Comense	<b>0.80</b>	0.64	0.82	0.83	0.81	0.82	0.82	0.59	0.84	1.00	
Nibionno	0.78	0.65	0.80	0.81	0.79	0.81	0.82	0.59	0.78	0.82	1.00



Dal grafico del giorno tipo si evidenzia come durante i giorni feriali vi siano dei picchi di concentrazione tra le 06.00 e le 10.00 del mattino e tra le 16.00 e le 20.00. Per quanto riguarda i giorni tipo del sabato e festivo le concentrazioni sono distribuite uniformemente durante la giornata per poi aumentare significativamente nelle ore serali; tale aumento è essenzialmente dovuto al traffico di rientro dal fine settimana.

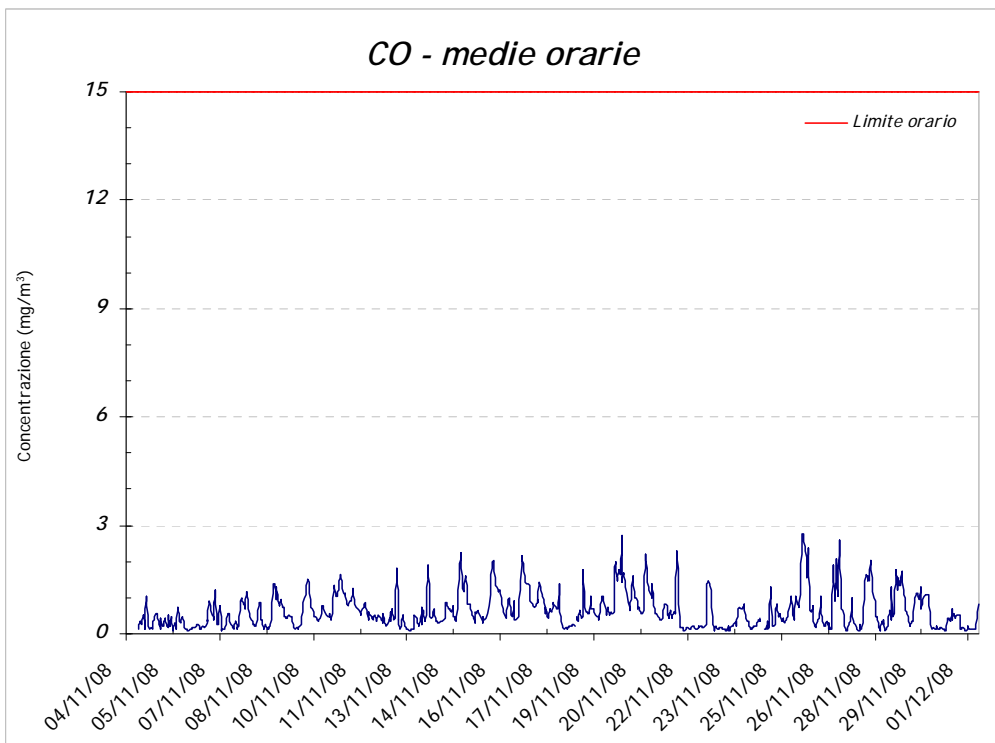


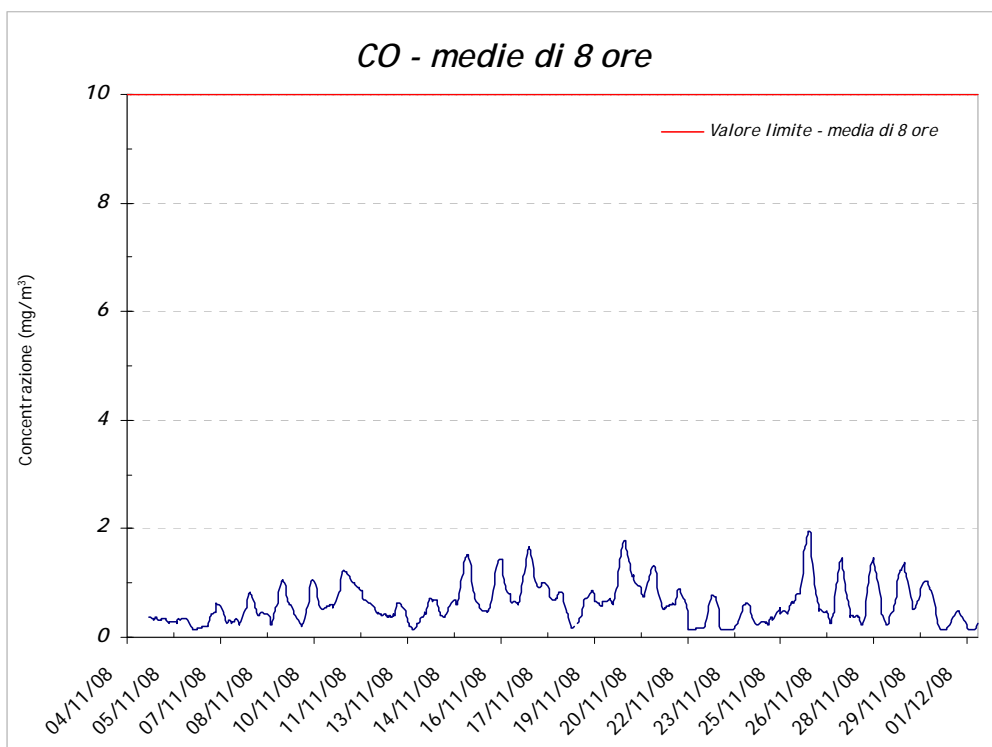
Come per il NO anche per il NO<sub>2</sub> il grafico della settimana tipo mostra una lieve flessione delle concentrazioni in corrispondenza del fine settimana, periodo durante il quale vi è una diminuzione dei flussi di traffico veicolare.



## CO

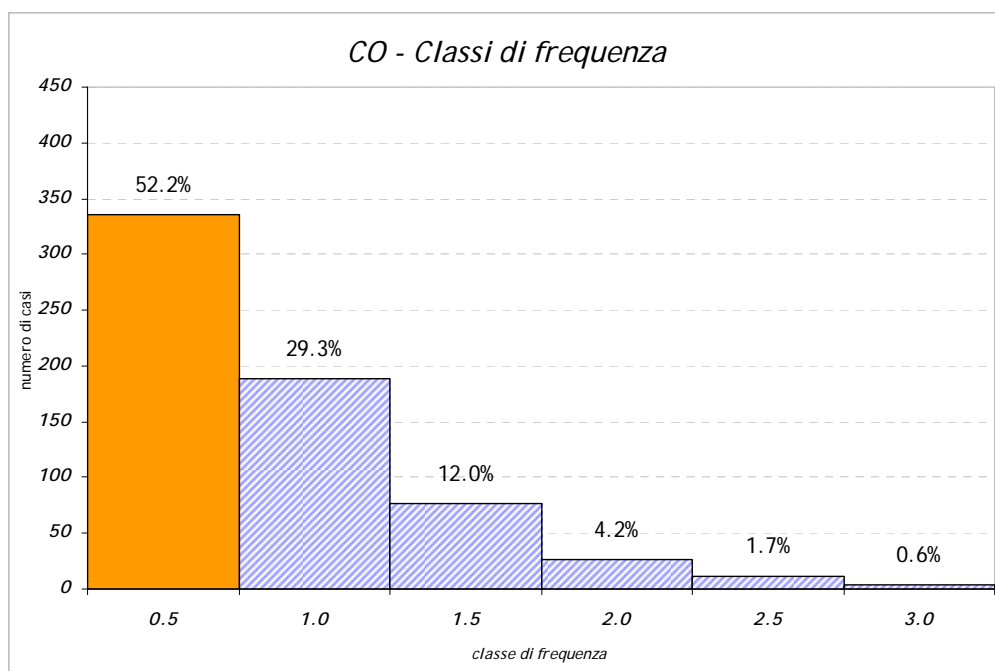
L'accumulo di **monossido di carbonio** è favorito soprattutto nelle aree urbane, quando i veicoli sono in fase di decelerazione ed in presenza di traffico congestionato. I valori di CO misurati durante la campagna di misura sono risultati abbondantemente inferiori ai limiti di legge sia per quanto riguarda la media oraria che per quella di 8 ore.





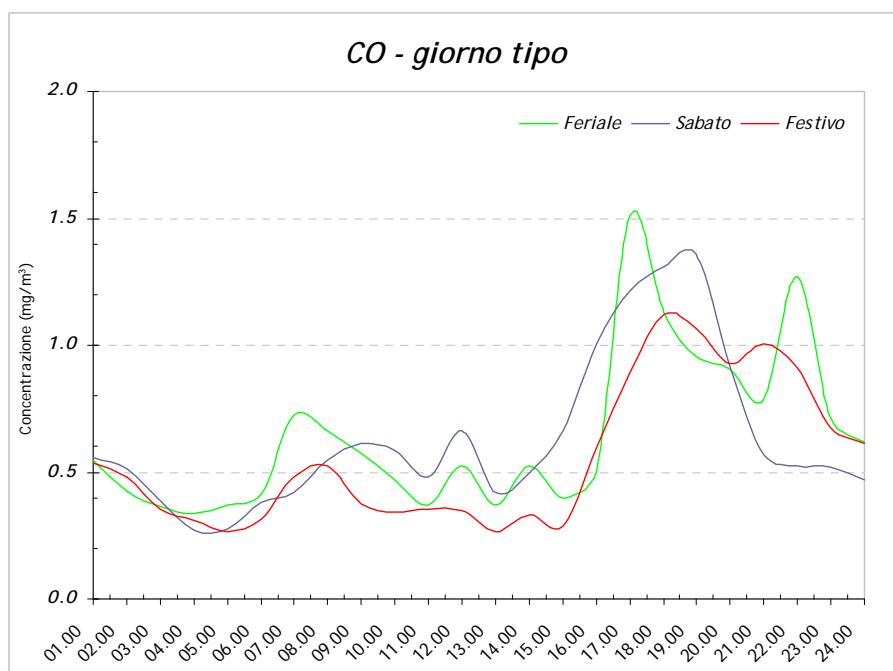
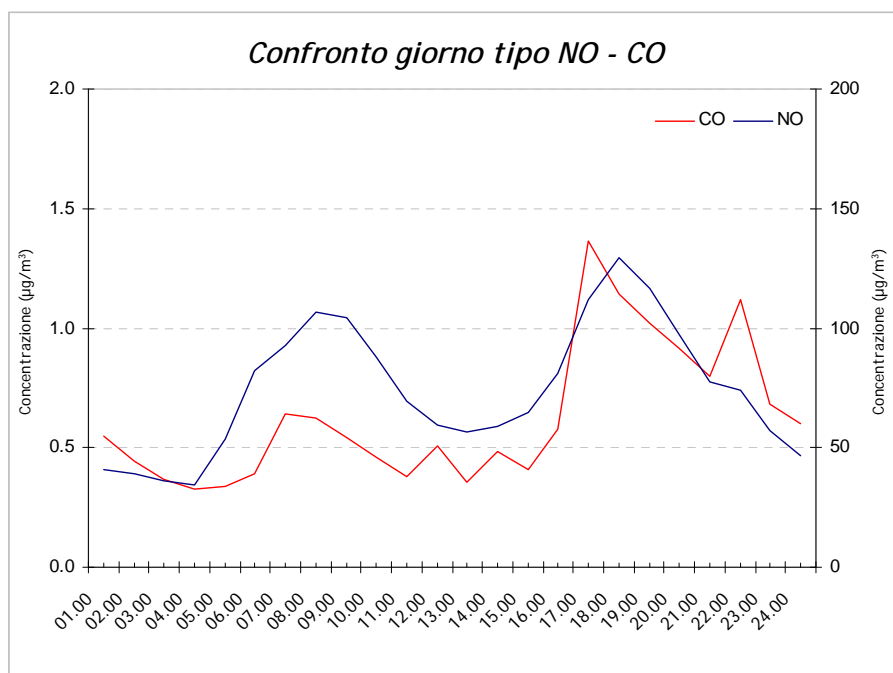
Il valore medio sul periodo è stato di **0.6 mg/m<sup>3</sup>**. Sia la concentrazione massima oraria (**2.9 mg/m<sup>3</sup>** alle ore 18.00) che il valore massimo mediato sulle 8 ore (**1.9 mg/m<sup>3</sup>** tra le ore 22.00 e le 24.00).

Dall'analisi in frequenza effettuata per il set di valori misurati nel comune di Veduggio con Colzano, con classe 0.5 mg/m<sup>3</sup>, si evidenzia come le concentrazioni misurate siano state estremamente contenute, infatti ben il 93.5 % dei valori è compreso tra 0.1 e 1.5 mg/m<sup>3</sup> con una percentuale più alta nell'intervallo 0.1 – 0.5 mg/m<sup>3</sup>.



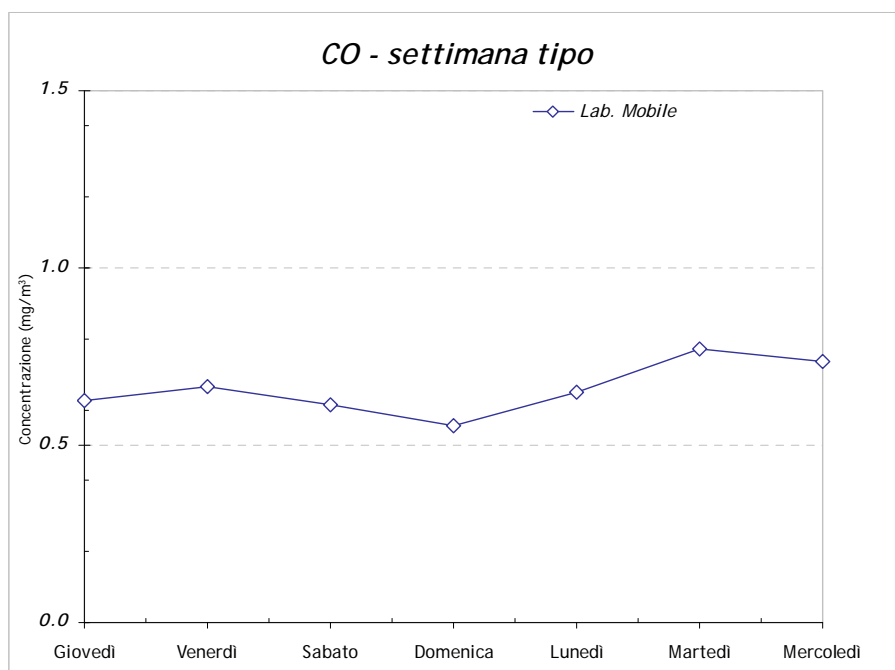
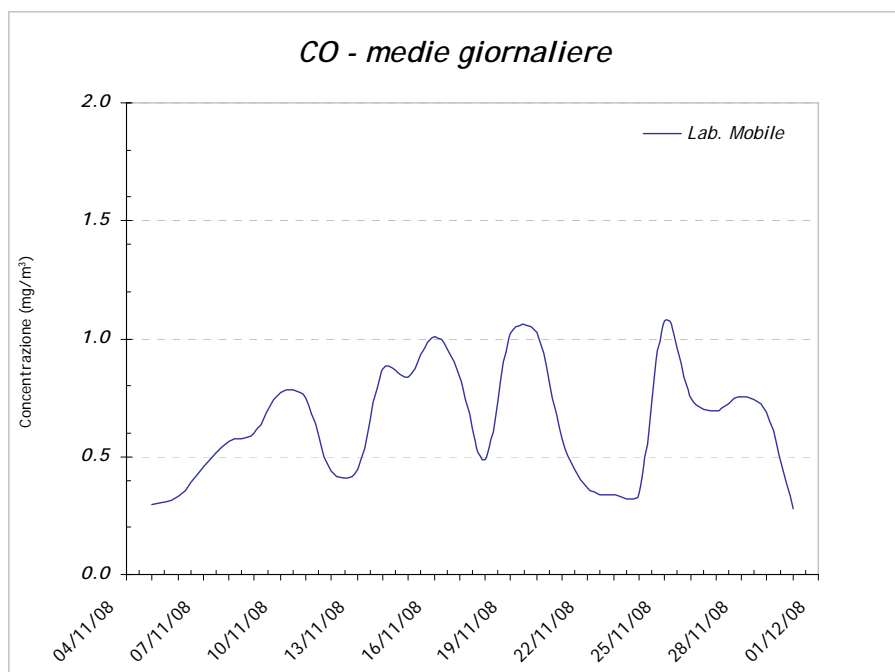
Classe	Frequenza	%	Classe	Frequenza	%
0.5	336	52.2%	2	27	4.2%
1	189	29.3%	2.5	11	1.7%
1.5	77	12.0%	3	4	0.6%

Come per il NO, anche le concentrazioni di CO dipendono direttamente dal traffico veicolare presente nel sito di misura; nel grafico precedente, in cui sono riportati gli andamenti del giorno tipo di NO e CO, i picchi di concentrazione si presentino negli intervalli temporali in cui il traffico veicolare è maggiormente sostenuto; questo si osserva anche nel giorno tipo.



I valori misurati a Veduggio con Colzano non presentano una buona correlazione con le centraline fisse prese a riferimento, questo per la peculiarità del CO di essere un inquinante di

tipo locale caratteristico del sito di prelievo. Si riportano gli andamenti delle concentrazioni medie giornaliere e delle concentrazioni medie settimanali riscontrate.

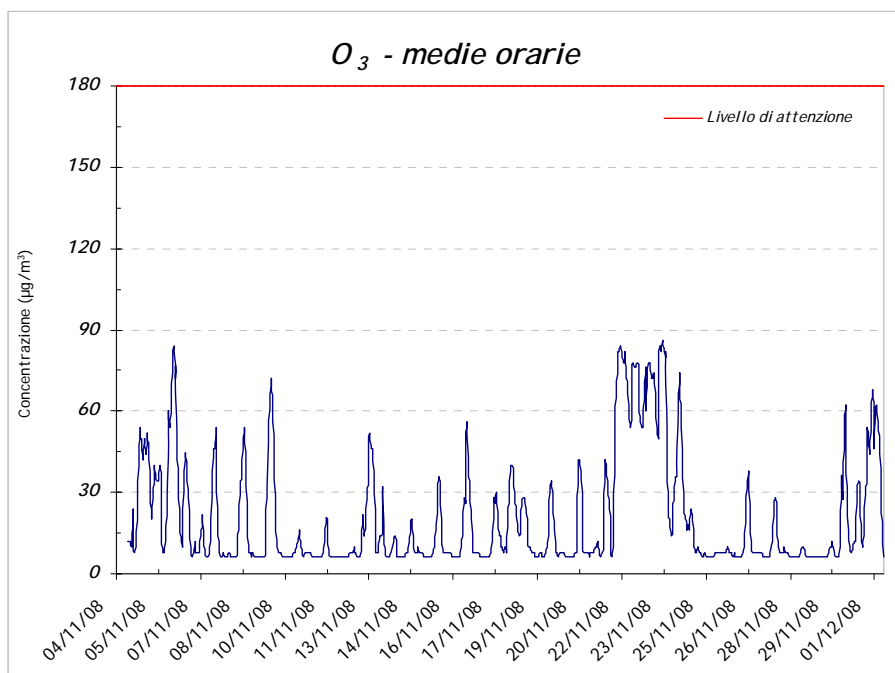


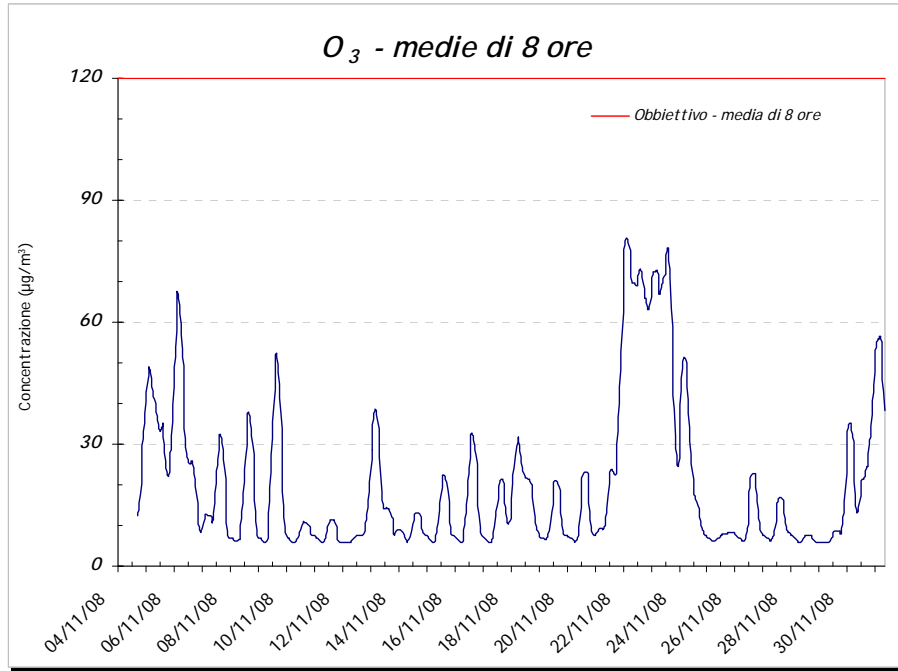
Analizzando quest'ultimo grafico si nota come le concentrazioni di CO siano uniformi durante la settimana con una lieve flessione domenica.

L'ozono troposferico è un inquinante secondario la cui origine è strettamente legata alla presenza di valori elevati di radiazione solare. Le concentrazioni maggiori in aria ambiente si osservano nelle stagioni calde invece nel periodo autunno-inverno si mantengono abbondantemente inferiori ai livelli di attenzione, fissato per questo inquinante 180 µg/m<sup>3</sup>. Nell'ultimo decennio le concentrazioni di questo inquinante hanno mostrato un trend in crescita, anche nei mesi invernali.

La campagna di misura si è svolta in un periodo dell'anno in cui la formazione di questo inquinante non è favorita dalle condizioni meteorologiche; i valori più alti sono stati osservati in corrispondenza delle ore di maggiore insolazione durante le giornate serene. **Durante la campagna di misura non sono stati osservati ne superamenti della soglia di attenzione oraria ne del valore bersaglio per la protezione della salute umana**

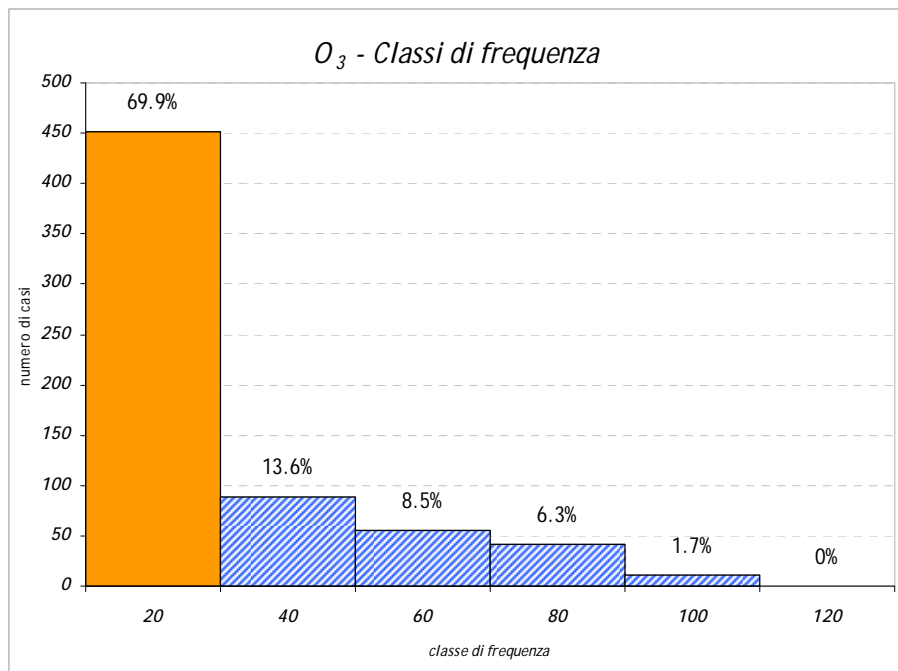
Nel corso delle misure effettuate in via Piave nel comune di Veduggio con Colzano il valore medio riscontrato è stato di **20 µg/m<sup>3</sup>**. Il valore massimo orario è stato di **86 µg/m<sup>3</sup>**, il giorno 23 novembre alle ore 12.00, il valore massimo della media di 8 ore è stato **81 µg/m<sup>3</sup>** il giorno 22 novembre alle ore 04.00.





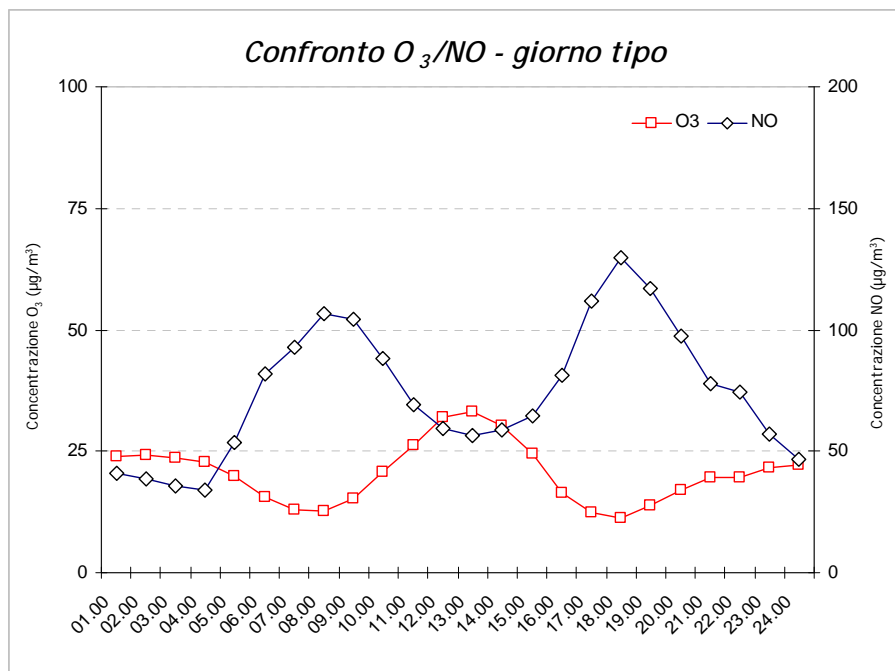
L'analisi in frequenza effettuata per questo inquinante mostra ulteriormente come il periodo in cui sono state condotte le misure non sia quello tipico alla formazione di questo inquinante; ben il 83.5% dei valori risultano compresi tra 1 e 40 µg/m<sup>3</sup>.

Classe	Frequenza	%	Classe	Frequenza	%
20	452	69.9%	80	41	6.3%
40	88	13.6%	100	11	1.7%
60	55	8.5%	120	0	0.0%



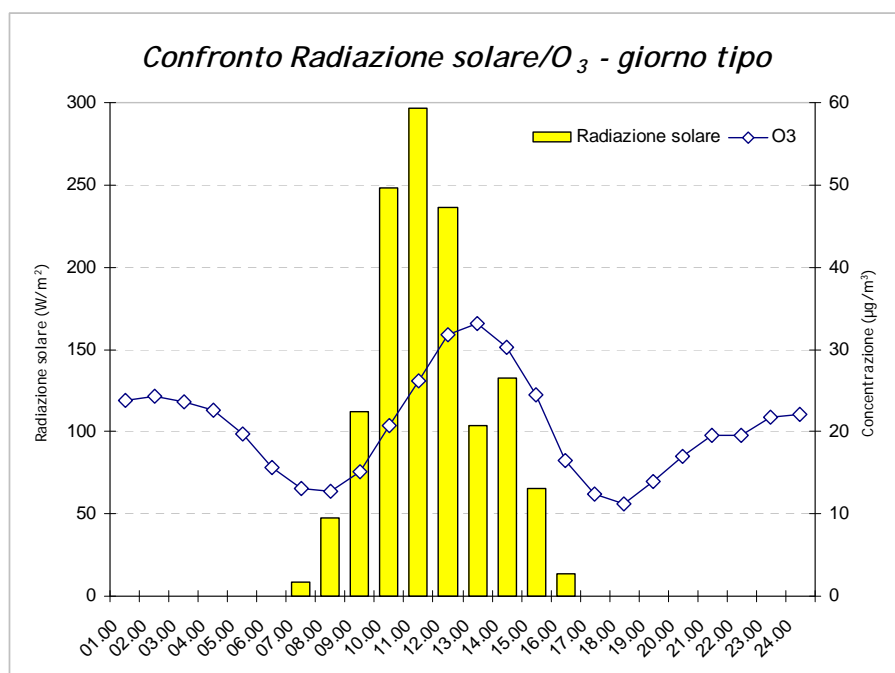
L'andamento di questo inquinante risulta differente da quello degli inquinanti primari, infatti l'ozono non ha sorgenti emissive dirette di rilievo e la sua formazione nella troposfera è correlata al ciclo diurno solare: il trend giornaliero dell'ozono è caratterizzato sia dalle reazioni chimiche che avvengono con il NO sia dalla presenza della radiazione solare.

Il grafico successivo mette in evidenza la dinamica delle reazioni fitochimiche che coinvolgono l'O<sub>3</sub> con NO; a valori elevati di NO, tipici di emissioni da traffico veicolare nella fascia oraria 06.00-11.00 e 17.00-21.00, corrispondono basse concentrazioni di O<sub>3</sub> e viceversa.



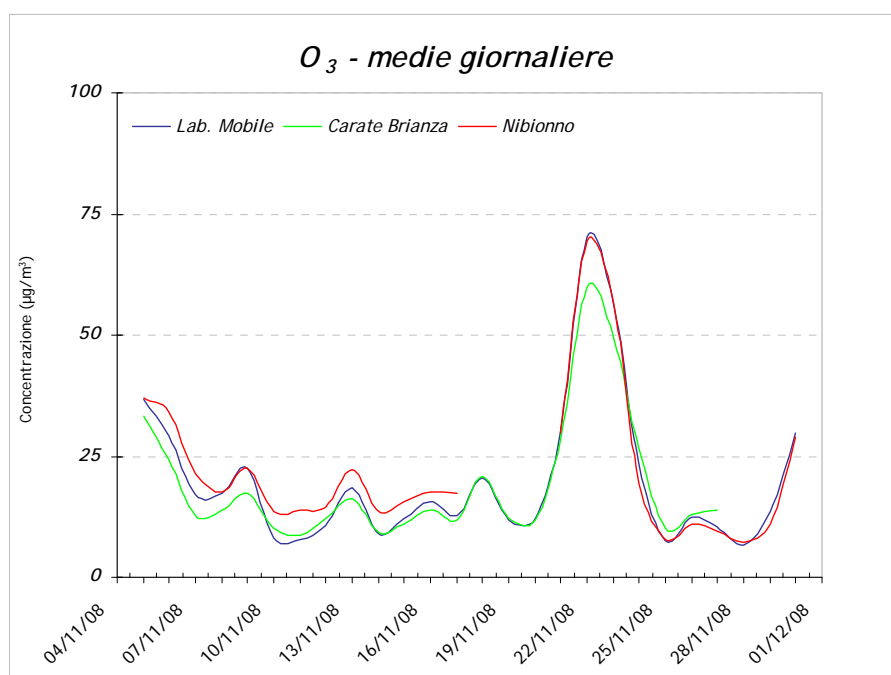
Il confronto tra le concentrazioni medie giornaliere di ozono e i valori medi giornalieri della radiazione solare permette di osservare la relazione di dipendenza tra queste due matrici.

Il massimo della concentrazione di O<sub>3</sub> viene osservata alcune ore dopo ai valori massimi di insolazione e nelle prime ore della mattina durante in cui le emissioni di NO risultano scarse.



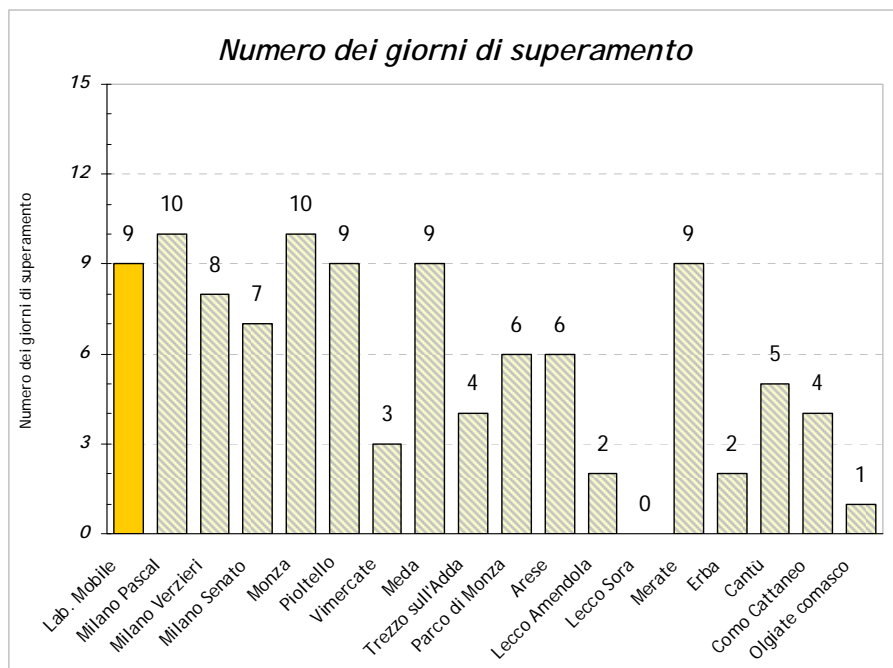
La matrice di Pearson, calcolata sull'intero set di dati orari, ha messo in evidenza una ottima corrispondenza con le postazioni della rete lombarda prese a riferimento; nello specifico le stazioni di Carate Brianza e Nibionno sono quelle che presentano valori maggiormente correlati.

	Lab. mobile	Mi-Pascal	Monza	Carate Brianza	Meda	Limbiate	Vimercate	Nibionno
Lab. Mobile	1.00							
Mi-Pascal	0.83	1.00						
Monza	0.82	0.86	1.00					
Carate Brianza	<b>0.90</b>	0.85	0.89	1.00				
Meda	0.76	0.75	0.76	0.87	1.00			
Limbiate	0.88	0.88	0.91	0.92	0.81	1.00		
Vimercate	0.77	0.71	0.79	0.88	0.84	0.79	1.00	
Nibionno	<b>0.90</b>	0.80	0.86	0.91	0.81	0.91	0.79	1.00



## PM10

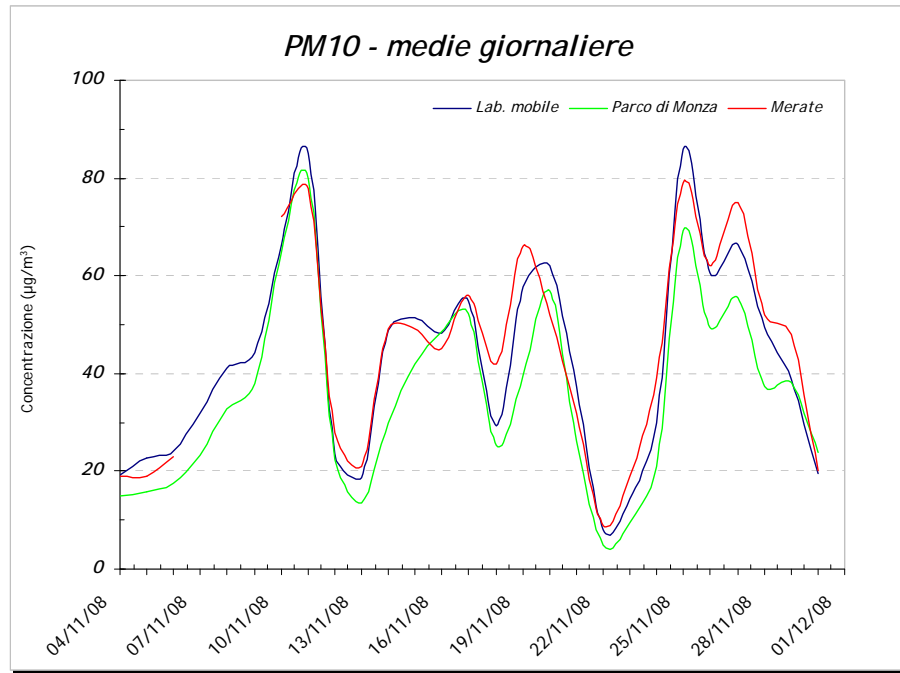
I dati delle concentrazioni giornaliere di PM10 hanno fatto registrare nel periodo oggetto delle misure un valore medio di 42 µg/m<sup>3</sup> ed un valore massimo giornaliero di 86 µg/m<sup>3</sup> martedì 25 novembre. Durante il periodo di misura sono stati osservati 9 superamenti della soglia di attenzione.



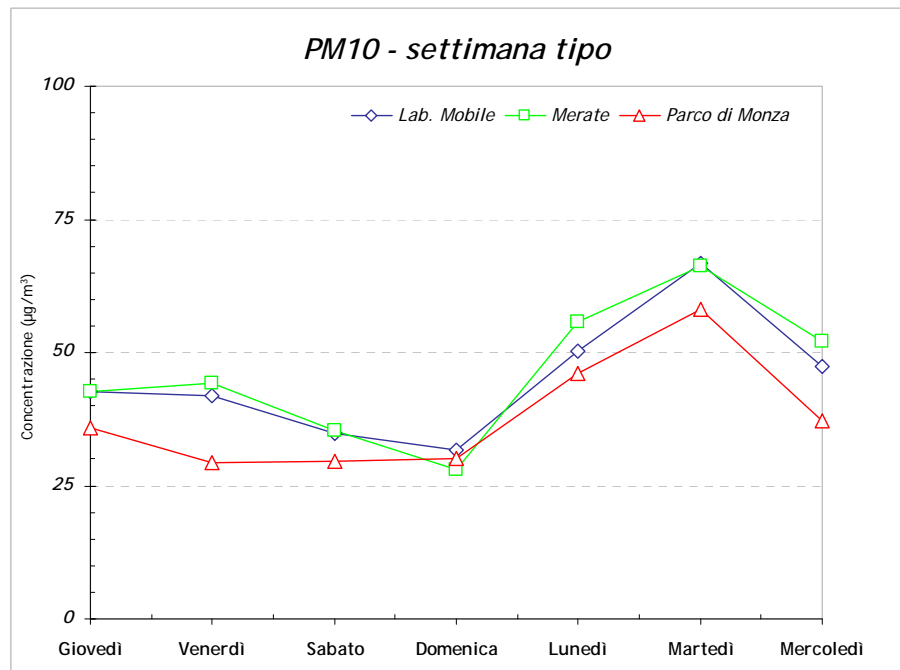
Una caratteristica importante del PM10 è quella di essere un inquinante di tipo ubiquitario presentando cioè andamenti delle concentrazioni analoghe in diverse località del Bacino Padano.

A conferma di questo i valori misurati a Veduggio con Colzano mettono in evidenza una ottima correlazione con tutte le centraline regionali prese a riferimento, in particolare con quella fissa all'interno del parco di Monza e con quella cittadina di Merate.

	Lab. Mobile	MI Pascal	MI Verzieri	MI Senato	Monza	Pioltello	Vimercate	Meda	Trezzo sull'Adda	Parco di Monza	Arese	Lecco Amendola
Lab. Mobile	1.000											
MI Pascal	0.862	1.000										
MI Verzieri	0.920	0.936	1.000									
MI Senato	0.860	0.900	0.877	1.000								
Monza	0.957	0.893	0.942	0.875	1.000							
Pioltello	0.932	0.962	0.968	0.929	0.943	1.000						
Vimercate	0.953	0.804	0.877	0.817	0.938	0.881	1.000					
Meda	0.922	0.857	0.872	0.800	0.895	0.897	0.917	1.000				
Trezzo sull'Adda	0.835	0.671	0.804	0.663	0.845	0.763	0.879	0.707	1.000			
Parco di Monza	<b>0.965</b>	0.885	0.962	0.882	0.984	0.942	0.931	0.878	0.884	1.000		
Arese	0.932	0.910	0.919	0.864	0.921	0.936	0.908	0.964	0.711	0.907	1.000	
Lecco Amendola	0.904	0.795	0.846	0.770	0.844	0.867	0.890	0.902	0.793	0.849	0.910	1.000
Lecco Sora	0.786	0.587	0.762	0.530	0.809	0.674	0.755	0.651	0.847	0.820	0.667	0.705
Merate	<b>0.965</b>	0.815	0.896	0.784	0.928	0.892	0.945	0.918	0.820	0.927	0.919	0.913
Erba	0.922	0.719	0.817	0.739	0.889	0.802	0.898	0.835	0.890	0.903	0.822	0.859
Cantù	0.928	0.789	0.880	0.711	0.904	0.857	0.884	0.876	0.785	0.912	0.878	0.885
Como Cattaneo	0.926	0.824	0.848	0.813	0.870	0.885	0.901	0.928	0.737	0.855	0.945	0.948



La buona correlazione tra la postazione fissa e mobile è ulteriormente evidenziata nel grafico degli andamenti settimanali del PM10. Anche per il PM10 si osservano valori di concentrazioni più alti durante i giorni feriali della settimana.



## Idrocarburi Policiclici Aromatici (I.P.A.)

La determinazione degli IPA, in concomitanza alle misure di PM10 durante la campagna di misura condotta nel comune di Veduggio con Colzano lungo la via Piave, è servita per cercare di verificare quale sorgente antropica incida maggiormente sulla qualità dell'aria del Comune.

In accordo con l'Amministrazione comunale è stata svolta la determinazione di 14 IPA estratti da 8 campioni di PM10 raccolti nel sito di via Piave.

Il campionamento per la misura degli IPA in atmosfera è stato eseguito secondo quanto previsto dal D.Lgs 152/07 e D.M. 25 Novembre 1994 con prelievi giornalieri di particolato: la metodica analitica per la determinazione dei vari Idrocarburi Policiclici Aromatici nei campioni prelevati è stata standardizzata nel 2005<sup>3</sup>.

La normativa sopra indicata prevede un obiettivo di qualità pari a 1 ng/m<sup>3</sup> su base annua delle concentrazioni di IPA facendo riferimento alla concentrazioni di benzo(a)pirene.

Esaminando l'indicatore proposto dalla normativa e vista la forte stagionalità di questa classe di inquinanti, appare evidente che la scala temporale adeguata per una valutazione è generalmente quella annuale. Una campagna di misura condotta per un periodo più breve può essere utile in un'ottica di approccio preliminare alla caratterizzazione dei livelli di immissione nel luogo oggetto dell'indagine.

### La formazione degli IPA

La concentrazione di IPA nell'ambiente dipende da molteplici fattori come il tipo di sorgente e la sua vicinanza al punto di prelievo, le condizioni meteorologiche, come direzione e velocità del vento, temperatura e precipitazioni. Esiste poi un'ampia letteratura sulle emissioni di IPA dalle varie sorgenti antropiche.

Ultimamente gli studi si sono concentrati nel tentativo di determinarne il profilo chimico di queste emissioni al fine di poter utilizzare gli IPA come traccianti delle molteplici sorgenti antropiche.

Risulta comunque complesso stimare con precisione i differenti rapporti di emissione, a causa dei numerosi parametri che influenzano la formazione e l'accumulo di queste sostanze.

In ambito urbano le principali sorgenti sono dovute alle emissioni veicolari e al riscaldamento domestico e ciò che influisce maggiormente sulla quantità di IPA emessi da questi due tipi di sorgenti sono sia le condizioni in cui avviene la combustione (temperatura, umidità e disponibilità di ossigeno) sia il tipo di combustibile usato (Standley and Simoneit - 1987).

Nel caso dei veicoli il parametro più importante che incide sulla variabilità della quota emissiva di IPA è la temperatura del motore. Per gli autoveicoli alimentati a benzina i dati di letteratura (Combet et al. - 1993) parlano di emissioni di IPA venti volte superiori durante la partenza a freddo piuttosto che durante la marcia con motore caldo. Per gli autoveicoli con motore diesel è stato verificato il medesimo comportamento ma con emissioni in proporzioni minori. L'anno di fabbricazione del veicolo poi, la velocità media e l'uso di marmitte catalitiche influenzano in maniera significativa l'emissione di IPA in ambiente (Schauer et al., 1993 - Paurterel et al., 1996).

<sup>3</sup> Cfr. Appendice I per il metodo di analisi.

Anche la composizione delle benzine influisce sulla formazione di IPA in atmosfera (Marr. et al., 1998). Per quanto riguarda i veicoli diesel sembra invece contribuire maggiormente la composizione dell'olio motore (Shaker et al. – 2002).

Le emissioni dei veicoli a benzina sono caratterizzate principalmente da IPA con elevato peso molecolare come il B[ghi]P, il I[123cd]P ed il COR4, rispetto ai gas di scarico dei motori diesel. Questo fatto sembra legato alle temperature operative del motore (Rogge et al. – 1993). Le emissioni di veicoli diesel invece si distinguono da quelle dei veicoli a benzina per l'elevata concentrazione di B[b]F, B[k]F e CHR5 (Li Kamens – 1993).

Infine il profilo chimico degli IPA dovuti alla combustione di biomasse mostra un'emissione importante di B[b]F, B[k]F e CHR, anche se in quantità minori rispetto ai veicoli diesel.

Di questi tre IPA quello che risulta presente in concentrazione maggiore durante la combustione di biomasse è il CHR. In caso di molteplici sorgenti risulta comunque difficile sulla base dei soli IPA distinguere il profilo chimico dovuto alla combustione di biomasse da quello dei veicoli diesel. In questi casi risulta utile studiare la correlazione con altri traccianti, per stimare l'impatto delle molteplici sorgenti antropiche.

### Caratteristiche chimico fisiche degli IPA oggetto di studio

Gli IPA si possono trovare in natura sia in fase solida che di vapore in relazione alla temperatura ed alla pressione di vapore ambientale. Generalmente, ad una temperatura di 25°, IPA costituiti da tre anelli benzenici (quali fenantrene e antracene) si trovano primariamente in fase di vapore, IPA a 4-5 anelli (come pirene e fluorantene) si distribuiscono tra le due fasi, mentre IPA da 6 anelli in su (come ad esempio il benzo[a]pirene) si trovano quasi esclusivamente in fase solida (Yamasaki et al., 1982). La pressione di vapore degli IPA varia di un ordine di grandezza per ogni cambio di temperatura pari a 15°. Questo implica che ad elevate temperature, caratteristiche dei periodi estivi, anche IPA pesanti quali il benzo[a]pirene si possono trovare in fase di vapore, mentre alle basse temperature invernali gran parte degli IPA leggeri volatili si cristallizzano passando allo stato solido. Gli IPA presenti in atmosfera tendono a legarsi al particolato atmosferico con diametro inferiore ai 3 µm (Lane, 1989). In assenza di deposizioni umide queste particelle possono rimanere sospese in atmosfera per parecchi giorni (dalle 100 h ai 40 giorni; Eswea & Corn, 1971) e presentano pattern di distribuzione e deposizione molto estesi.

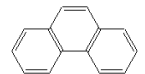
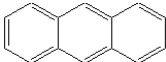
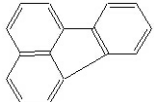
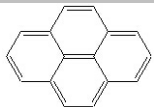
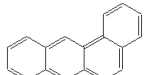
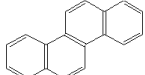
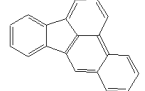
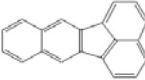
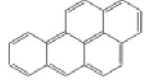
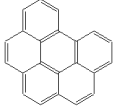
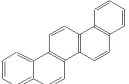
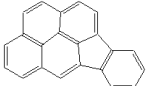


Gli IPA sono estremamente sensibili alla luce ed assorbono sia negli UVa che negli UVb, subendo due tipologie di reazioni fotochimiche: fotosensibilizzazione e fotodegradazione. Nella prima si formano radicali liberi (ad esempio superossidi), ovvero sostanze chimicamente molto reattive e pericolose per la salute umana, nella seconda gli IPA subiscono profonde mutazioni strutturali dando origine a composti di degradazione la cui tossicità è in fase di studio.

I primi 4 IPA della tabella qui di seguito proposta si trovano principalmente in fase vapore, la frazione in fase particolata ( $\leq 5\%^6$ ) varia con la temperatura e con le caratteristiche chimico fisiche del particolato presente in atmosfera. Per tale motivo non è possibile stimarne la concentrazione totale presente a partire dalla sola concentrazione misurata in fase particolata. Gli altri 9 IPA invece tendono ad essere presenti in atmosfera in fase particolata.

<sup>4</sup> Coronene

<sup>5</sup> Crisene

<sup>6</sup> Park et al., 2001.

<b>Tabella 1</b>	<b>SIGLA</b>	<b>IARC<sup>7</sup></b>	<b>N. DI ANELLI</b>	<b>PESO MOLECOLARE</b>	<b>STRUTTURA</b>
<i>IPA IN FASE GASSOSA</i>					
<b>FENANTRENE</b>	PhA	3	3	178.24	
<b>ANTRACENE</b>	Ant	3	3	178.24	
<b>FLUORANTENE</b>	Flu	3	4	202.26	
<b>PIRENE</b>	Pyr	3	4	202.26	
<i>IPA IN FASE PARTICOLATO</i>					
<b>BENZO(a)ANTRACENE</b>	BaA	2A	4	228.30	
<b>CRISENE</b>	Chr	3	4	228.30	
<b>BENZO(b)FLUORANTENE</b>	BbF	2B	5	252.32	
<b>BENZO(k)FLUORANTENE</b>	BkF	2B	5	252.32	
<b>BENZO(a)PIRENE</b>	BaP	2A	5	252.32	
<b>BENZO(ghi)PERILENE</b>	BgP	3	6	276.34	
<b>DIBENZO(a,h)ANTRACENE</b>	dBA	2A	5	278.35	
<b>INDENO(123cd)PIRENE</b>	IP	2B	6	276.34	
<b>BENZO(e)PIRENE</b>	BeP	3	5	252.32	
<b>CORONENE</b>	COR	3	7	300.35	

<sup>7</sup> **Gruppo 1:** cancerogeno per l'uomo – **gruppo 2A:** probabile cancerogeno per l'uomo – **gruppo 2B:** possibile cancerogeno per l'uomo – **gruppo 3:** non classificabile come cancerogeno per l'uomo – **gruppo 4:** probabilmente non cancerogeno per l'uomo.

## Raccolta ed analisi dei campioni

Le procedure di raccolta ed analisi dei campioni è descritta in dettaglio in appendice I.

In breve: il particolato PM10, dal quale, con processi di laboratorio sono stati estratti gli IPA, è stato raccolto con un campionatore a basso volume (Qa=16.67 l/min), su filtri in borosilicato. La durata del campionamento è stata di 24 h (inizio 00.00 am).

Dopo la raccolta i filtri sono stati conservati, fino all'analisi, in camera climatizzata a 20°C e Ur del 50%, chiusi in pellicola di alluminio. Sui campioni di PM10 raccolti nei siti, è stata svolta la determinazione di 14 IPA (vedi tabella 1). L'estrazione degli analiti dal filtro è avvenuta mediante bagno ad ultrasuoni con acetonitrile e successiva analisi in HPLC.

## Risultati e discussione

Si riportano di seguito il periodo di prelievo dei campioni e le relative concentrazioni di IPA riscontrate:

TABELLA 2			
Comune	stagione	periodo	n. campioni
Veduggio con Colzano	autunno	18.11 – 27.11 2008	10

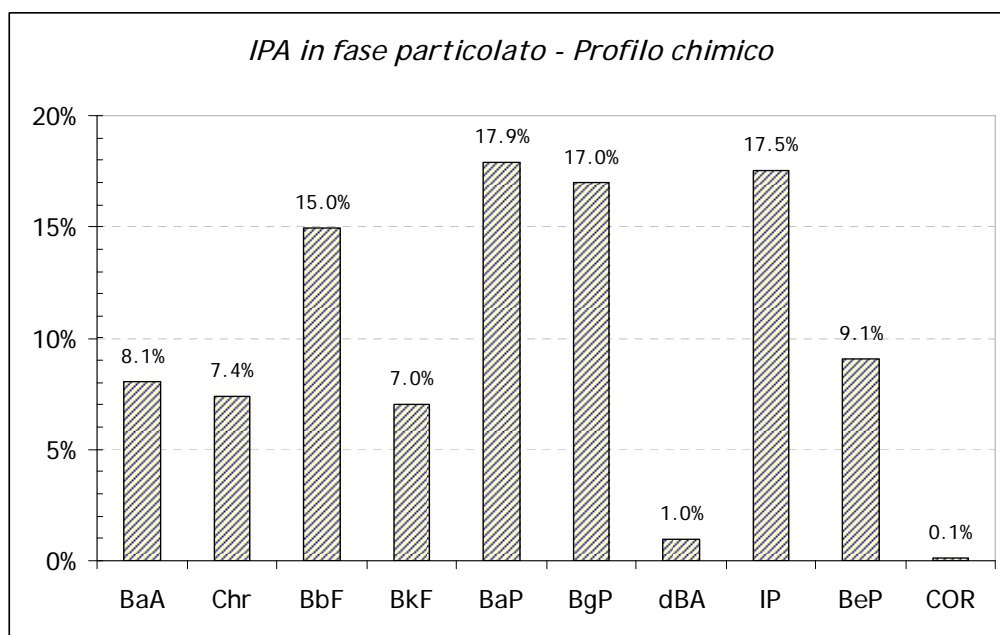
I.P.A.	Classe I.A.R.C.	18/11/2008	19/11/2008	20/11/2008	21/11/2008	22/11/2008	23/11/2008	24/11/2008	25/11/2008	26/11/2008	27/11/2008	VALORE MEDIO
FENANTRENE		0.23	0.52	0.56	0.20	0.06	0.42	0.42	1.71	0.18	0.75	0.51
ANTRACENE		<0.007	0.06	0.05	<0.007	<0.007	0.01	0.06	0.13	0.1	<0.007	0.05
FLUORANTENE		0.19	0.21	0.34	0.08	0.08	0.13	0.46	1.88	1.69	0.48	0.55
PIRENE		0.27	0.58	0.35	0.02	0.42	0.21	0.33	1.30	0.75	0.85	0.51
BENZO(a)ANTRACENE	2A	1.01	2.26	2.61	0.75	0.12	0.64	2.20	9.47	4.14	3.95	2.72
CRISENE		0.94	2.09	2.53	0.63	0.08	0.58	2.19	8.69	3.76	3.38	2.49
BENZO(b)FLUORANTENE	2B	2.12	5.21	6.48	1.62	0.42	1.64	4.59	13.04	7.64	7.56	5.03
BENZO(k)FLUORANTENE	2B	1.13	2.38	3.22	0.72	0.18	0.74	2.19	6.54	2.91	3.58	2.36
BENZO(a)PIRENE	2A	1.71	4.85	6.35	1.28	0.28	1.91	6.09	19.86	8.73	9.04	6.01
BENZO(ghi)PERILENE		2.38	5.81	8.33	1.62	0.85	1.55	5.22	14.87	8.74	7.74	5.71
DIBENZO(a,h)ANTRACENE	2A	0.19	0.27	0.41	0.11	0.02	0.12	0.31	1.23	0.16	0.49	0.33
INDENO(123cd)PIRENE	2B	1.64	4.84	6.52	1.87	0.99	1.40	5.30	17.88	8.32	10.13	5.89
BENZO(e)PIRENE		1.23	2.80	3.77	0.86	0.19	0.93	2.36	8.12	5.09	5.22	3.06
CORONENE		<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	---

\* In rosso sono rappresentate le concentrazioni inferiori alla soglia di rilevabilità del metodo analitico

## Profilo chimico degli IPA

In figura 1 ed in tabella 3 viene riportato il profilo chimico medio degli IPA durante il periodo di campionamento, inteso come rapporto dei singoli IPA presenti in fase particolata con  $\Sigma^8$ .

<sup>8</sup> Con  $\Sigma$  si intende il valore degli IPA totali. Con  $\Sigma'$  si intende il valore degli IPA totali senza considerare il fenantrene l'antracene il fluorantene ed il pirene in quanto questi sono presenti in atmosfera in fase particolata ed in fase gassosa. Poiché la ripartizione in fase particolata e gassosa di questi IPA ha una forte dipendenza dalla temperatura, si potrebbero generare grosse incertezze nel rapporto con gli IPA totali, in quanto fortemente legati alle condizioni atmosferiche e non alle sorgenti di emissione (ad es. a T=20°C  $C_{particolata}/C_{gas} = 0.36\%$  e  $5.6\%$  per FLU e PYR rispettivamente - Seinfeld and Pandis, 1998).



**Figura 1**

<b>Tabella 3</b>	<i>BaA</i>	<i>Chr</i>	<i>BbF</i>	<i>BkF</i>	<i>BaP</i>	<i>BgP</i>	<i>dBA</i>	<i>IP</i>	<i>BeP</i>	<i>Cor</i>
profilo medio - $V_1/\Sigma'$	8.1%	7.4%	15.0%	7.0%	17.9%	17.0%	1.0%	17.5%	9.1%	0.1%

*Concentrazione totale media*

E' stata innanzitutto valutata la concentrazione totale degli IPA ( $\Sigma$  e  $\Sigma'$ ) intesa come somma delle singole concentrazioni dei 14 IPA estratti dai filtri PM10 raccolti durante la campagna di misura.

E' quindi stato stimato il rapporto  $\Sigma/\Sigma'$ , per valutare quanto gli IPA con 3-5 anelli, principalmente in fase gassosa, incidano sul totale. Si è poi valutato il rapporto  $\Sigma/PM_{10}$  indicativo dell'impatto degli IPA sulla composizione dell'aerosol.

I risultati relativi al periodo di prelievo per T, PM10,  $\Sigma$ ,  $\Sigma'$ ,  $\Sigma/\Sigma'$  e  $\Sigma/PM_{10}$ , sono riassunti in tabella 4:

<b>Tabella 4</b>	<b>AUTUNNO</b>
	<b>V<sub>1</sub></b>
<b>n. campioni</b>	8
<b>T (°C)</b>	5.1 (valore medio)
<b><math>\Sigma</math> (ng/m<sup>3</sup>)</b>	352.48
<b><math>\Sigma'</math> (ng/m<sup>3</sup>)</b>	336.31
<b><math>\Sigma/\Sigma'</math></b>	1.048
<b>PM10 (µg/m<sup>3</sup>)</b>	45 (valore medio)
<b><math>\Sigma/PM_{10}</math> (%)</b>	0.08%

Dal rapporto  $\Sigma/\Sigma'$ , si evidenzia la maggior quantità di IPA raccolta si presenti in fase particolata, questo dovuto anche alle condizioni climatiche del periodo di misura.

Se si osserva poi la percentuale ottenuta dal rapporto  $\frac{\Sigma}{PM10}$  si ha che solo lo 0.08% del particolato PM10 raccolto è dovuto alla componente IPA.

#### Il Rapporto diagnostico

Per cercare di determinare quanto incidano nel sito di prelievo le varie sorgenti che concorrono alla formazione degli IPA, sono state fatte ulteriori considerazioni attraverso il rapporto diagnostico DR (diagnostic ratio) inteso come rapporto tra IPA considerati marker di particolari sorgenti antropiche.

La letteratura più recente<sup>9</sup> però ha mostrato qualche perplessità nell'utilizzo di tale metodo. Si ritiene infatti che questi composti siano sottoposti, una volta emessi in atmosfera, a processi più o meno elevati di foto - ossidazione con conseguente alterazione del parametro DR.

Le diverse proprietà chimico-fisiche dei diversi IPA poi possono ulteriormente modificare questi rapporti (Simò et al., 1997).

Tale approccio deve pertanto essere utilizzato con cautela.

In tabella 5 vengono riportati i valori dei tre rapporti di 5 IPA considerati traccianti del traffico e della combustione di biomasse con il valore degli IPA totali:

Tabella 5	AUTUNNO
	V <sub>1</sub>
n. campioni	8
T (°C)	5.1
$\Sigma$ (ng/m <sup>3</sup> )	352.48
$\Sigma'$ (ng/m <sup>3</sup> )	336.31
PM10 (µg/m <sup>3</sup> ) (valore medio)	45
(B[b]F+B[k]F)/ $\Sigma'$	<b>0.22</b>
CHR/ $\Sigma'$	<b>0.07</b>
B[ghi]P+COR/ $\Sigma'$	<b>0.17</b>

Il primo di questi rapporti è indicativo dell'impatto emissivo dei veicoli alimentati a gasolio, con qualche implicazione legata alla combustione di biomasse. Nel secondo rapporto viene utilizzato il crisene che è emesso in gran quantità dalla combustione di biomasse anche se mostra emissioni significative anche da veicoli diesel. Il terzo di questi rapporti mette invece in evidenza il contributo agli IPA totali dei veicoli a benzina.

Dai valori ottenuti dai rapporti diagnostici risulterebbe che a incidere in misura maggiore come sorgente emissiva sia la componente traffico rispetto alle altre fonti emissive ed in particolare risulterebbero più marcate, anche se di poco, le emissioni dai veicoli diesel, rispetto ai veicoli alimentati a benzina.

Per cercare di ottenere ulteriori informazioni sulle sorgenti emissive che maggiormente influenzano la qualità dell'aria nel sito di prelievo sono stati analizzati ulteriori rapporti, riportati in tabella 6 e 7:

Tabella 6	AUTUNNO
	V <sub>1</sub>
FEN/FEN+ANT	0.91

9 Assemo O. Barakat: "Pahs petroleum markers in the atmospheric environment of Alexandria City, Egypt" – Water, Air and soil Pollution 139: 289-310 - 2002

Questo rapporto evidenzia la presenza di petrolio e dei suoi derivati (Barakat, dati non pubblicati) nonché le emissioni dei gas di scarico (Rogge et al., 1993b)., anche se non è possibile una corretta valutazione in quanto questo DR è svolto su IPA con caratteristiche volatili.

Tabella 7	AUTUNNO
	V <sub>1</sub>
I(123cd)P/I(123cd)P+B(gli)P	0.51
Flu/Flu+Pyr	0.52
B(a)A/B(a)A+Chr	0.52

In tabella 7 sono stati ricavati gli indici qui di seguito riportati<sup>10</sup>:

1. **[IcdP]/[IcdP] + [BgliP]** secondo i dati di letteratura questo rapporto è di:
  - 0.18 per le emissioni da benzine<sup>11</sup>
  - 0.37 ÷ 0.70 per le emissioni di diesel
  - 0.56 per le emissioni dovute alla combustione del carbone<sup>12</sup>
  - 0.62 per le emissioni dovute alla combustione di legna<sup>13</sup>
2. **[Flu]/[Flu] + [Pyr]** secondo i dati di letteratura questo rapporto è di:
  - 0.44 per le emissioni da veicoli a benzina con marmitta catalitica<sup>14</sup>
  - 0.37 per le emissioni diesel degli autocarri
  - 0.60 ÷ 0.70 per le emissioni dovute a motori diesel<sup>15</sup>
  - 0.40 per le emissioni dovute ai motori benzina
3. **[BaA]/[BaA] + [Chr]** secondo i dati di letteratura questo rapporto è generalmente utilizzato per valutare il contributo delle emissioni veicolari<sup>16</sup>:
  - 0.50 per le emissioni da industrie ed autocarri
  - 0.37 ÷ 0.70 per le emissioni dai motori diesel
  - 0.43 per le emissioni dai motori benzina
  - 0.16 per le emissioni di petrolio grezzo durante la combustione<sup>17</sup>

Alla luce dei valori ottenuti dai rapporti diagnostici risulta che nel sito oggetto dell'indagine vi è una prevalenza di emissioni da motori diesel, in particolare da automezzi pesanti. L'analisi di questi rapporti non evidenzia la presenza significativa di oli combustibili.

Tali conclusioni sembrano compatibili con l'aspettativa che la sorgente maggiore di IPA in ambito urbano sia dovuta alla componente traffico.

#### *Evoluzione temporale degli IPA e correlazione con i marker da traffico*

Per poter confermare la componente traffico come elemento dominante la qualità dell'aria nel sito di studio, rispetto ad altre sorgenti, è risultato utile verificare se il data set degli IPA presentasse una qualche correlazione con il PM10 e con alcuni "marker" del traffico veicolare come CO, NO ed NO<sub>2</sub>; infatti questi gas, pur non essendo una causa diretta della

<sup>10</sup> Cotham and Bidleman, 1995; Lohmann ed al., 2000

<sup>11</sup> Kavouras et al., 1999; Pio et al., 2001; Alveas et al. 2001.

<sup>12</sup> Pio et al., 2001.

<sup>13</sup> Gogou et al., 1996.

<sup>14</sup> Rogge et al., 1993.

<sup>15</sup> Kavouras et al., 2001.

<sup>16</sup> E.g. Gogou et al., 1996.

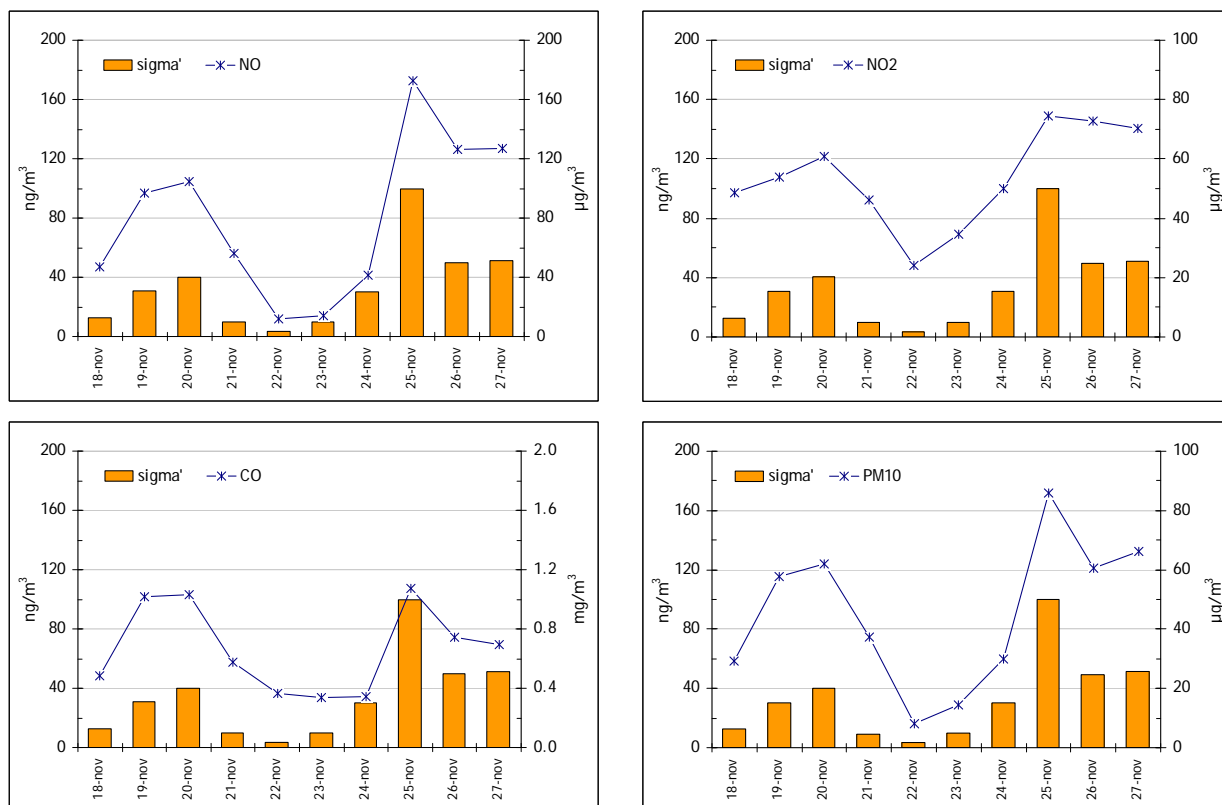
<sup>17</sup> Sicre et al., 1987

formazione del particolato, sono, in generale, dei buoni indicatori di inquinamento antropico da traffico e per questo motivo, in alcuni casi, possono essere considerati buoni descrittori dell'andamento del particolato atmosferico per un determinato sito.

Si riportano in tabella 8 i valori medi delle grandezze sopra menzionate relative ai periodi di riferimento a Veduggio con Colzano, unitamente ad alcuni dati meteo.

<b>Tabella 8</b>	$\Sigma$ (ng/m <sup>3</sup> )	$\Sigma'$ (ng/m <sup>3</sup> )	PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	NO ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	NO <sub>2</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	CO (mg/m <sup>3</sup> )	VV (m/s)	T (°C)	Pioggia (mm Tot.)
	35.2	33.6	45	80	54	0.7	0.4	5.1	2.0

Si riportano nei grafici sottostanti gli andamenti degli inquinanti con i valori di  $\Sigma'$ .



**Figura 2**

Esaminando i trend sopra riportati, si rileva un andamento simile tra marker del traffico ed IPA pesanti ( $\Sigma'$ ), come sottolineato dalla matrice di Pearson qui sotto proposta.

	PM10	NO	NO <sub>2</sub>	CO	$\Sigma$	$\Sigma'$
PM10	1.00					
NO	0.99	1.00				
NO <sub>2</sub>	0.94	0.94	1.00			
CO	0.89	0.85	0.72	1.00		
$\Sigma$	0.89	0.92	0.85	0.71	1.00	
$\Sigma'$	0.89	0.92	0.86	0.71	1.00	1.00

Osservando la matrice di Pearson si può notare come risulta importante la vicinanza della sorgente traffico al punto di prelievo con ottime correlazioni tra marker da traffico e IPA totali ( $R_{\text{NO}} = 0.92$  -  $R_{\text{NO}_2} = 0.85$ ;  $R_{\text{CO}} = 0.71$ ).

Buona è risultata anche la correlazione tra IPA totali e PM10 ( $R_{PM10} = 0.89$ ). Vi è da sottolineare però che una alta correlazione tra IPA totali e PM10, risultata piuttosto insolita; gli IPA infatti sono principalmente associati al aerosol submicrometrico (Venkataraman and Friedlander, 1994; Schnelle-Kreis et al., 2000), il cui taglio dimensionale rappresenta solo una piccola frazione del bilancio di massa del PM10.

Essendo gli IPA composti antropogenici primari, tale discreta correlazione sembrerebbe indicare che le concentrazioni di PM10 nel sito di prelievo abbiano un'implicazione dovuta anche ad aerosol di origine naturale di risollevarmento.

#### Potere carcinogenico equivalente degli IPA in fase particolata

Il potere carcinogenico equivalente del B(a)P (BaPE) è un indice proposto<sup>18</sup> per parametrizzare la carcinogenicità degli IPA nel materiale particolato in atmosfera. Il BaPE viene utilizzato al posto del BaP per dimostrare la cancerogenicità degli IPA in quanto quest'ultimo viene facilmente decomposto dalla luce solare e dagli agenti ossidanti presenti in atmosfera<sup>19</sup>. Le specie equivalenti del B(a)P includono B(a)A, B(b)F, B(k)F, D(ah)A, B(a)P e I(cd)P ed il BaPE è definito dall'equazione [1]:

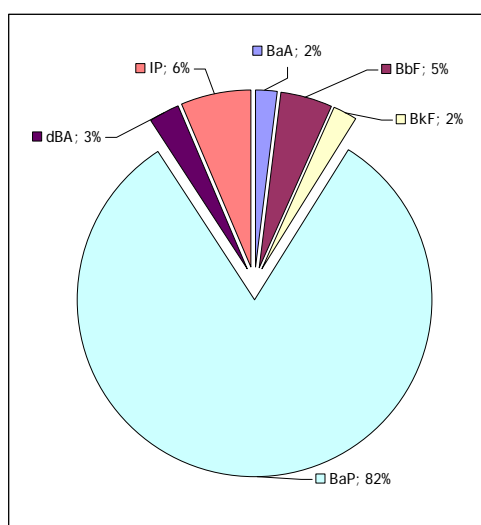
$$BaPE = 0.06[BaA] + 0.07[BbF] + 0.07[BkF] + [BaP] + 0.6[DahA] + 0.08[IcdP] \quad [1]$$

Dove il coefficiente davanti ad ogni termine rappresenta la tossicità degli IPA in relazione al BaP. Viene qui di seguito applicato tale indice per valutare la carcinogenicità degli IPA in fase particolata nei periodi di osservazione.

Specie equivalente (SE)	conc. $\pm$ SD (ng/m <sup>3</sup> )
SE(BaA)	1.36 $\pm$ 2.74
SE(BbF)	3.52 $\pm$ 3.84
SE(BkF)	1.65 $\pm$ 1.87
SE(BaP)	60.10 $\pm$ 5.78
SE(DahA)	1.99 $\pm$ 0.35
SE(IcdP)	4.71 $\pm$ 5.25
<b>BaPE</b>	<b>73.33</b>

Si osserva come il BaPE incida per il 22% rispetto al valore totale degli IPA ( $\Sigma'$ ).

Nel grafico di seguito riportato sono indicati i contributi delle differenti specie equivalenti al BaPE riscontrate nella campagna di misura.

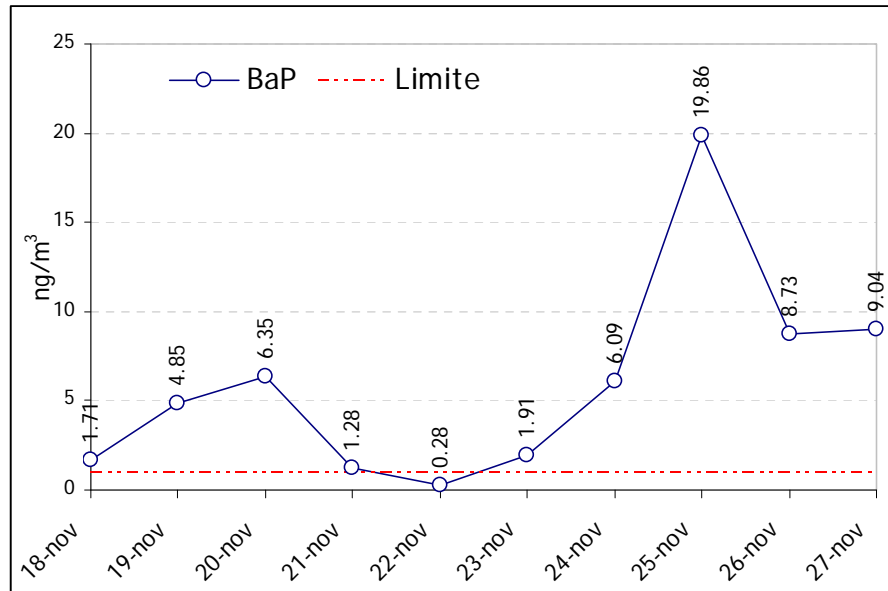


<sup>18</sup> Yassaa et al., 2001.

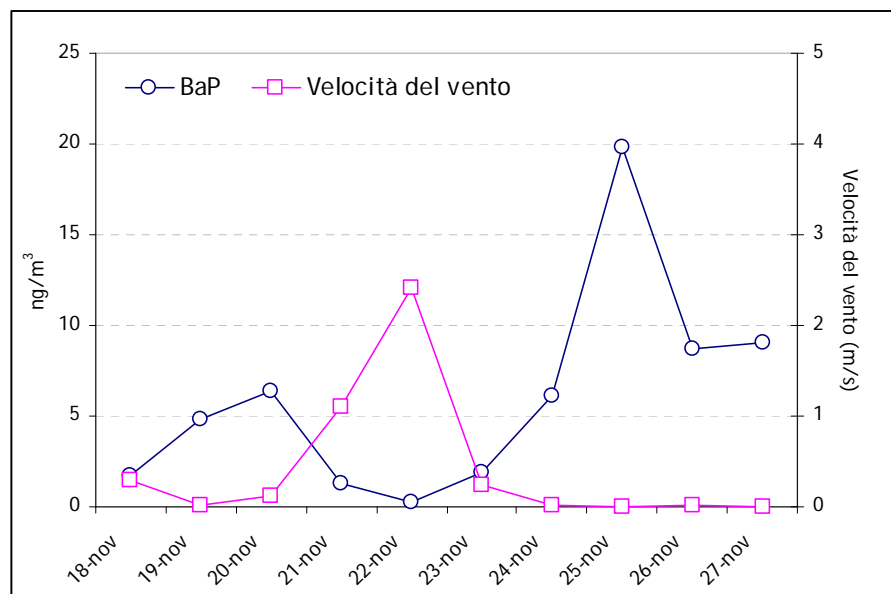
<sup>19</sup> Yassaa et al., 2001.

## Il Benzo[a]pirene

La normativa prende a riferimento come marker degli IPA il benzo(a)pirene. Sebbene non sia possibile ricavare la media mobile annua per la scarsità di dati si osserva come nelle misurazioni effettuate le concentrazioni riscontrate siano state abbondantemente superiori al limite indicato dalla normativa vigente; fa eccezione solo sabato 22 novembre in concomitanza di un episodio ventoso significativo.



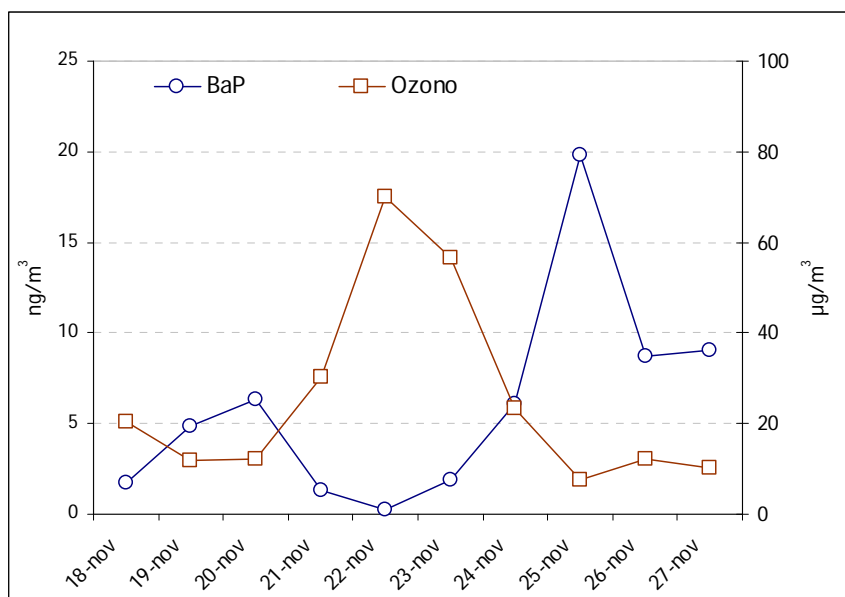
Nel grafico successivo sono stati riportati gli andamenti delle concentrazioni di BaP e della velocità media giornaliera del vento; si osserva come i valori minimi di concentrazioni si presentano nei giorni in cui vi è stata condizione di maggiore aereazione dell'aria.



Dai dati di letteratura risulta che gli IPA con alto peso molecolare, come il benzo(a)pirene, presentano una variabilità in particolar modo con la temperatura e la radiazione solare (Halsall e coll.). Gli IPA infatti tendono a reagire anche con l'ozono,

inquinante fotochimico, come ampiamente documentato in letteratura<sup>20</sup>, con diversi possibili meccanismi.

Confrontando le concentrazioni di BaP sia con le concentrazioni medie giornaliere di ozono riscontrate in via Piave a Veduggio con Colzano si evidenzia tale tendenza.



<sup>20</sup> Cfr. Rindone B., Beltrame P., De Cesaris A.L.. "Il benzene ed altri composti aromatici: monitoraggio e rischi per l'uomo" - pag. 62.

## Conclusioni

Il comune di Veduggio con Colzano ai sensi della D.G.R. 5290/07 è classificato in termini di qualità dell'aria come ricadente in zona A2, ovvero in un'area caratterizzata da alta densità abitativa, elevate attività industriali, alta densità di traffico, condizioni meteorologiche avverse alla dispersione degli inquinanti e conseguentemente con concentrazioni più elevate di PM10.

Attraverso il monitoraggio effettuato nel invernale (04/11/2008 – 01/12/2008), è stata svolta una indagine atta a caratterizzare la qualità dell'aria del comune, valutando i livelli ambientali dell'inquinamento atmosferico raccolti lungo via Piave, un'importante asse stradale comunale a due corsie (una per senso di marcia). Durante tutte le giornate, in particolare quelle feriali, tale tratto stradale è interessato dal passaggio di traffico sia leggero che pesante di tipo locale e di attraversamento.

L'adesione poi dell'Amministrazione comunale al "Progetto IPA", promosso dal Dipartimento ARPA di Monza e Brianza, a seguito dell'emanazione del D.L. 152/07 (pubblicato sulla G.U. n. 194/L del 13/09/2007), ha permesso sia di ottenere una base importante di dati su questa classe di microinquinanti risultati, se presenti in concentrazioni elevate, ad alto rischio sanitario e classificati dalla IARC come cancerogeni per l'uomo, sia di indagare quale sorgente incida maggiormente sulla qualità dell'aria del Comune, partendo dai dati di letteratura che individuano come principali sorgenti in ambito urbano le emissioni veicolari ed il riscaldamento domestico.

Analizzando i dati raccolti durante la campagna di misura è possibile osservare come le condizioni meteorologiche (molti episodi piovosi anche a carattere nevoso e alcuni episodi di forte vento) abbiano favorito la dispersione degli inquinanti nell'atmosfera. Eloquentemente è il fatto che non sono state misurate violazioni della soglia di attenzione per il biossido di azoto (NO<sub>2</sub>), monossido di carbonio (CO); solo per quanta riguarda le concentrazioni di particolato fine (PM10) sono state osservate delle criticità (9 superamenti dei limiti normativi) in linea con quanto osservato nello stesso periodo dalle centraline regionali.

Dallo studio svolto sugli IPA è stato innanzitutto possibile osservare il forte impatto dato dalle sorgenti locali sulla contaminazione atmosferica; nel periodo preso in esame (18 – 27 novembre) solo nella giornata del 22 non è stato superato il limite normativo.

Lo studio di alcuni rapporti diagnostici ha permesso di indagare la capacità degli IPA di discriminare le differenti sorgenti emissive, anche se il risultato deve essere considerato con cautela. Il DR dei risultati evidenzierebbe che a incidere in misura maggiore come sorgente emissiva sia la componente traffico sia veicolare che pesante ed in particolare risulterebbero più marcate le emissioni dai veicoli diesel rispetto ai veicoli alimentati a benzina.

Attraverso la determinazione da CO e degli NO<sub>x</sub> è stato possibile acquisire una serie di conoscenze sui flussi di traffico caratteristici dell'area di indagine: i picchi di concentrazione si presentano in corrispondenza delle ore di punta mattutine e serali; in particolare per il giorno tipo feriale i valori più alti si presentano nella fascia oraria che va dalle ore 06.00 alle ore 10.00 del mattino e dalle 16.00 alle 20.00 della sera. Il traffico veicolare risulta per queste sostanze il mezzo emissivo principale; evidente infatti come vi sia un calo dei valori nelle ore in cui vi è un minor passaggio di veicoli.

### Centraline rete provinciale di riferimento

Comune	Ret e	Tipo zona	Tipo stazione	Quota s.l.m.	Periodo di misura
		Dec. 2001/752/CE	Dec. 2001/752/CE		
<b>Veduggio con Colzano Via Piave</b>	PUB	URBANA	TRAFFICO	302	<b>04.11-01.12 2008</b>
<b>Monza</b>	PUB	URBANA	FONDO	160	Centralina Fissa
<b>Carate Brianza</b>	PUB	URBANA	FONDO	236	Centralina Fissa
<b>Meda</b>	PUB	URBANA	FONDO	243	Centralina fissa
<b>Parco di Monza</b>	PUB	URBANA	FONDO	180	Centralina fissa
<b>Villasanta</b>	PUB	URBANA	TRAFFICO	182	Centralina Fissa
<b>Vimercate</b>	PUB	URBANA	FONDO	206	Centralina Fissa
<b>Trezzo sull'Adda</b>	PRIV	SUBURBANA	FONDO	178	Centralina Fissa
<b>Milano Pascal</b>	PUB	URBANA	TRAFFICO	125	Centralina Fissa
<b>Milano Senato</b>	PUB	URBANA	TRAFFICO	119	Centralina Fissa
<b>Milano Verzieri</b>	PUB	URBANA	TRAFFICO	122	Centralina Fissa
<b>Arese</b>	PUB	URBANA	FONDO	160	Centralina Fissa
<b>Pioltello</b>	PUB	URBANA	FONDO	122	Centralina Fissa
<b>Como Cattaneo</b>	PUB	URBANA	TRAFFICO	205	Centralina Fissa
<b>Cantù</b>	PUB	SUBURBANA	FONDO	320	Centralina Fissa
<b>Erba</b>	PUB	URBANA	FONDO	290	Centralina Fissa
<b>Mariano Comense</b>	PUB	URBANA	TRAFFICO	250	Centralina Fissa
<b>Olgiate Comasca</b>	PUB	URBANA	TRAFFICO	403	Centralina Fissa
<b>Lecco Amendola</b>	PUB	URBANA	TRAFFICO	214	Centralina Fissa
<b>Lecco Sora</b>	PUB	SUBURBANA	FONDO	214	Centralina Fissa
<b>Merate</b>	PUB	URBANA	TRAFFICO	292	Centralina Fissa
<b>Nibionno</b>	PUB	SUBURBANA	TRAFFICO	310	Centralina Fissa

**rete:** PUB = pubblica, PRIV = privata

**tipo zona Decisione 2001/752/CE:**

- **URBANA:** centro urbano di consistenza rilevante per le emissioni atmosferiche, con più di 3000-5000 abitanti
- **SUBURBANA:** periferia di una città o area urbanizzata residenziale posta fuori dall'area urbana principale
- **RURALE:** all'esterno di una città, ad una distanza di almeno 3 km; un piccolo centro urbano con meno di 3000-5000 abitanti è da ritenersi tale
- **NON NOTA:** sconosciuta o altro

**tipo stazione Decisione 2001/752/CE:**

- **TRAFFICO:** se la fonte principale di inquinamento è costituita dal traffico (se si trova all'interno di Zone a Traffico Limitato, è indicato tra parentesi ZTL)
- **INDUSTRIALE:** se la fonte principale di inquinamento è costituita dall'industria
- **FONDO:** misura il livello di inquinamento determinato dall'insieme delle sorgenti di emissione non localizzate nelle immediate vicinanze della stazione; può essere localizzata indifferentemente in area urbana, suburbana o rurale
- **NON NOTA:** sconosciuta o altro

<b>Biossido di azoto NO<sub>2</sub></b>	<b>Rendimento %</b>	<b>Media (µg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Dev. St.</b>	<b>Massima Media oraria (µg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Nr. Giorni di superamento del livello di attenzione</b>	
<b>Veduggio con Colzano Via Piave</b>	<b>99.5</b>	<b>53</b>	<b>21</b>	<b>126</b>	<b>0</b>	
<b>Milano Pascal</b>	<b>99.4</b>	<b>59</b>	<b>24</b>	<b>151</b>	<b>0</b>	
<b>Milano Senato</b>	<b>90.6</b>	<b>69</b>	<b>24</b>	<b>151</b>	<b>0</b>	
<b>Monza</b>	<b>94.6</b>	<b>49</b>	<b>19</b>	<b>106</b>	<b>0</b>	
<b>Carate Brianza</b>	<b>100</b>	<b>60</b>	<b>28</b>	<b>156</b>	<b>0</b>	
<b>Meda</b>	<b>99.4</b>	<b>61</b>	<b>31</b>	<b>147</b>	<b>0</b>	
<b>Vimercate</b>	<b>99.4</b>	<b>54</b>	<b>22</b>	<b>119</b>	<b>0</b>	
<b>Villasanta</b>	<b>98.6</b>	<b>54</b>	<b>21</b>	<b>111</b>	<b>0</b>	
<b>Mariano Comense</b>	<b>95.7</b>	<b>52</b>	<b>27</b>	<b>155</b>	<b>0</b>	
<b>Nibionno</b>	<b>100</b>	<b>40</b>	<b>20</b>	<b>178</b>	<b>0</b>	

<b>Monossido di carbonio CO</b>	<b>Rendimen to %</b>	<b>Media (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Dev. St.</b>	<b>Massima media oraria (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Nr. Giorni di superamento del livello di attenzione</b>		<b>Massima media di 8 ore (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Nr. Giorni di superamento del livello di attenzione</b>	
<b>Veduggio con Colzano Via Piave</b>	<b>99.5</b>	<b>0.6</b>	<b>0.5</b>	<b>2.8</b>	<b>0</b>		<b>1.9</b>	<b>0</b>	
<b>Milano Senato</b>	<b>100</b>	<b>1.0</b>	<b>0.5</b>	<b>4.1</b>	<b>0</b>		<b>2.5</b>	<b>0</b>	
<b>Monza</b>	<b>98.1</b>	<b>0.9</b>	<b>0.6</b>	<b>3.2</b>	<b>0</b>		<b>2.2</b>	<b>0</b>	
<b>Carate Brianza</b>	<b>99.8</b>	<b>1.4</b>	<b>0.6</b>	<b>4.8</b>	<b>0</b>		<b>2.8</b>	<b>0</b>	
<b>Meda</b>	<b>99.7</b>	<b>1.4</b>	<b>0.7</b>	<b>4.6</b>	<b>0</b>		<b>3.4</b>	<b>0</b>	
<b>Limbiate</b>	<b>99.8</b>	<b>1.5</b>	<b>0.7</b>	<b>4.5</b>	<b>0</b>		<b>3.2</b>	<b>0</b>	
<b>Vimercate</b>	<b>99.5</b>	<b>1.5</b>	<b>0.7</b>	<b>5.3</b>	<b>0</b>		<b>3.0</b>	<b>0</b>	
<b>Villasanta</b>	<b>100</b>	<b>1.5</b>	<b>0.5</b>	<b>3.5</b>	<b>0</b>		<b>2.9</b>	<b>0</b>	
<b>Mariano Comense</b>	<b>95.8</b>	<b>1.6</b>	<b>0.7</b>	<b>4.6</b>	<b>0</b>		<b>3.3</b>	<b>0</b>	

Ozono O <sub>3</sub>	Rendimento %	Media (mg/m <sup>3</sup> )	Dev. St.	Massima media oraria (µg/m <sup>3</sup> )	Nr. Giorni di superamento del livello di attenzione		Massima media di 8 ore (µg/m <sup>3</sup> )	Nr. Giorni di superamento del livello di attenzione	
Veduggio con Colzano Via Piave	100	20	21	86	0		81	0	
Milano Pascal	92.7	11	14	66	0		56	0	
Monza	98.1	9	13	66	0		56	0	
Carate Brianza	87.4	19	17	78	0		74	0	
Meda	99.7	22	17	75	0		70	0	
Limbiate	99.8	15	15	69	0		65	0	
Vimercate	99.5	23	15	85	0		73	0	
Nibionno	90.7	23	19	81	0		78	0	

Particolato fine PM10	Rendimento %	Media ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Dev. St.	Massima Media giornaliera ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Nr. Giorni di superamento del livello di attenzione
Veduggio con Colzano Via Piave	100	42	21	86	9 10-11.11.2008 15.11.2008 17.11.2008 19-20.11.2008 25-27.11.2008
Milano Pascal	96.3	51	25	101	10 9-11.11.2008 15-17.11.2008 20.11.2008 25-26.11.2008 29.11.2008
Milano Verzieri	92.6	41	19	72	8 10-11.11.2008 16-17.11.2008 20.11.2008 25-27.11.2008
Milano Senato	92.6	40	18	73	7 10-11.11.2008 16.11.2008 20.11.2008 25-27.11.2008
Monza	100	45	24	91	10 10-11.11.2008 15-17.11.2008 19-20.11.2008 25-27.11.2008
Parco di Monza	100	35	19	80	6 10-11.11.2008 17.11.2008 20.11.2008 25.11.2008 27.11.2008
Pioltello	100	38	20	71	9 10-11.11.2008 15-17.11.2008 20.11.2008 25-27.11.2008
Vimercate	100	31	15	65	3 10-11.11.2008 25.11.2008
Meda	100	40	22	100	9 10-11.11.2008 15.11.2008 17.11.2008 19-20.11.2008 25-27.11.2008
Trezzo sull'Adda	85.2	37	18	91	4 10-11.11.2008 25.11.2008 29.11.2008
Arese	100	33	19	78	6 10-11.11.2008 17.11.2008 25-27.11.2008
Lecco Amendola	100	26	14	54	2 11.11.2008 25.11.2008
Lecco Sora	100	21	10	48	0

<b>Particolato fine PM10</b>	<b>Rendimento %</b>	<b>Media (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>Dev. St.</b>	<b>Massima Media giornaliera (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>Nr. Giorni di superamento del livello di attenzione</b>	
<b>Merate</b>	<b>88.9</b>	<b>44</b>	<b>21</b>	<b>79</b>	<b>9</b>	<b>10-11.11.2008 17.11.2008 19-20.11.2008 25-28.11.2008</b>
<b>Como Cattaneo</b>	<b>100</b>	<b>37</b>	<b>18</b>	<b>76</b>	<b>4</b>	<b>11.11.2008 25-27.11.2008</b>
<b>Erba</b>	<b>100</b>	<b>26</b>	<b>12</b>	<b>56</b>	<b>2</b>	<b>11.11.2008 25.11.2008</b>
<b>Cantù</b>	<b>92.6</b>	<b>36</b>	<b>19</b>	<b>78</b>	<b>5</b>	<b>11.11.2008 20.11.2008 25-27.11.2008</b>

## Bibliografia

**Atkinson, R., Carter, W. P. L., Plum, C. N., Winer, A. M., Pitts, J. N.** 1984. Kinetics of gas-phase reactions of NO<sub>3</sub> radicals with a series of aromatics at 296±2K, *Int. J. Chem. Kinetics*, 16, 886.

**Becker, K-H., Cox, A., LeBras, G., Lesclaux, R., Moortgat, K., Sidebottom, W., Zellner, R.** 1992. Reaction of OH radical. EUROTRAC, Annual Report, 9.

**Bierbaum, U. M., Filley, J., DePuy, C. H.** 1994. Kinetic Isotope Effect in Gas-Phase induced elimination reactions. *American Chemical Society*, 107, 2818.

**Cassoni F., Bocchi C. ARPA Emilia Romagna.** "Monitoraggio della mutagenicità del particolato atmosferico urbano: Rete Regionale dell'Emilia Romagna – Aggiornamento anno 2004.

**Cecinato, A., Ciccioli, P., Brancaleoni, E., Frattoni, M.** 1993. Ruolo dei VOC nella formazione di ozono. Atti della giornata di studio inquinamento chimico e fotochimico in aree della Lombardia, Saronno 14 ottobre 1993.

**CISE** 1996. Disaggregazione spaziale, temporale e dei composti organici volatili del censimento delle emissioni CORINAIR 1990. Applicazione alla Regione Lombardia.

**Chow JC.** Measurement methods to determine compliance with ambient air quality standards for suspended particles. *J Air Waste Manage Assoc* 1995;45:320-82.

**D. lgs. Minambiente e Minsalute n. 25 novembre 1994.**

**DM n° 60 del 2/4/2002** "Recepimento della Direttiva 99/30/CE del Consiglio del 22 aprile 1999 concernente i valori limite di qualità dell'aria ambiente per il biossido di zolfo, il biossido di azoto, gli ossidi di azoto, le particelle e il piombo e della Direttiva 2000/69/CE relativa ai valori limite di qualità dell'aria ambiente per il benzene e il monossido di carbonio.

**Elias, G., Siniscalco, F.** 1972. L'inquinamento dell'aria: sorgenti, effetti e difese. Peg. **ENEA** 1995. CORINAIR project; air pollution emission inventory in Italy for the year 1990. Final report. ENEA, Dip. Ambiente, Roma.

**Gaudioso, et al. ,** 1991. Le emissioni di composti organici volatili in Italia. *IA Ingegneria Ambientale*, vol. XX, n. 5, 244-251.

**Gualdi R., Lanzani G. e Cazzuli O. (2003)** – "Razionalizzazione del monitoraggio della qualità dell'aria". ARPA Lombardia.

**Harrison, R. M., Smith, D. J. T., Luhana, L.** 1996. Source apportionment of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons collected from an urban location in Birmingham, UK. *Env. Sci. Tec.*, 30, 825-832.

**Marconi A, Menichini E, Ziemacki G, Cattani G, Stacchini G.** Misure di materiale particolato PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub> nell'atmosfera di Roma. *Ann Ist Super Sanità* 2000;36(3):285-9.

**Meylan, W. M., Howard, P. H.** 1993. Computer estimation of the atmospheric gas-phase reaction rate of organic compounds with hydroxyl radicals and ozone. *Chemosphere*, 26, n. 12, 2293.

**Mitchell, D. N., Wayne, R. P., Allen, P. J., Harrison, R. P., Twin, R. J.** 1980. Kinetics and photochemistry of NO<sub>3</sub>. *J.C.S. Faraday II*, 785.

**Norma ISO 9359 (edizione 1989)** "Air qualità. Stratified sampling method for assessment of ambient air qualità".

**Norma UNI EN ISO 9001 (2000)** "Sistemi di gestione della qualità - Requisiti".

**Norma UNI EN ISO 14001 (1996)** "Sistemi di gestione ambientale - Requisiti e guida per l'uso".

**Penning, T. M., Ohnishi, S. T., Harvey R. G.** 1996; Generation of reactive oxygen species during the enzymatic oxidation of PAH trans-dihydrodiols catalyzed by dihydrodiol dehydrogenase. *Chem. Res.*

**Progetto SINA – Area di Epidemiologia Ambientale ARPA Emilia Romagna.** "Analisi statistiche a supporto del monitoraggio della qualità dell'aria in Emilia Romagna".

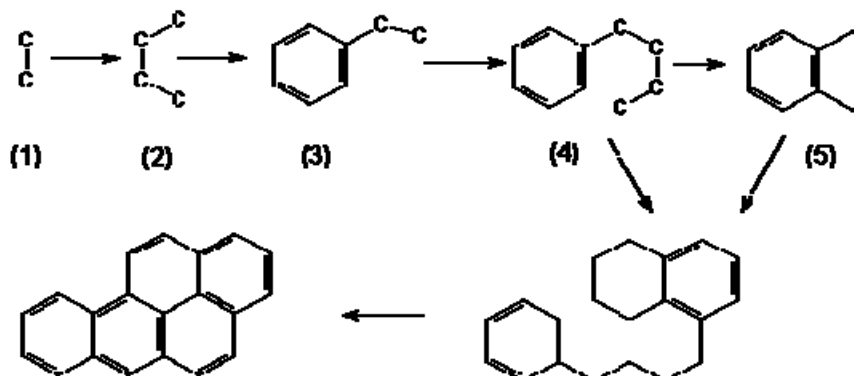
**Ziemacki G, Viviano G, Merli F.** Heavy metals: sources and environmental presence. *Ann Ist Super Sanità* 1989;25(3): 531-6.

# **APPENDICE I**

## **GLI I.P.A.**

## Meccanismo di formazione

Il meccanismo di formazione degli IPA non è completamente chiarito; si pensa che avvenga in due stadi: pirolisi e piro-sintesi. Ad alte temperature i composti organici sono parzialmente trasformati in molecole più piccole e instabili (cracking pirolitico: frammentazione in numerose parti delle molecole del combustibile a contatto con il fuoco). Questi frammenti, principalmente radicali, si ricombinano per formare molecole più grandi e stabili quali gli idrocarburi aromatici policiclici (pirosintesi).



La reazione di ripolimerizzazione avviene soprattutto in condizioni di carenza di ossigeno; in genere la velocità di formazione degli IPA aumenta con il diminuire del rapporto ossigeno/combustibile: i frammenti spesso perdono qualche atomo di idrogeno, che genera acqua dopo essersi combinato con l'ossigeno durante le varie fasi della reazione: i frammenti ricchi di carbonio si combinano in modo tale da formare gli idrocarburi aromatici policiclici, che rappresentano le molecole più stabili, con un rapporto C/H elevato.

## Caratteristiche chimico-fisico

Gli **idrocarburi policiclici aromatici (IPA)** sono un'ampia classe di inquinanti ambientali che presentano un elevato peso molecolare ed una particolare stabilità chimica.

La molecola di questi inquinanti è formata da due o più anelli benzenici, saldati in modo da avere in comune due o più atomi di carbonio.

Gli IPA si dividono in:

- **IPA leggeri:** costituiti da 2 o 3 anelli
- **IPA pesanti:** costituiti da 4 o più anelli

Gli IPA contenenti 4 anelli o un numero inferiore in genere rimangono in forma gassosa quando vengono immessi in atmosfera. Dopo aver stazionato meno di 24 ore nell'aria esterna, di solito, vengono degradati in seguito ad una sequenza di reazioni.

Gli IPA con più di 4 anelli benzenici non permangono a lungo nell'atmosfera come molecole gassose. A causa della loro bassa tensione di vapore, queste sostanze tendono rapidamente a condensarsi e a venire adsorbite alla superficie delle particelle di fuliggine e di cenere.

Anche gli IPA con 2 - 4 anelli aderiscono a tali particelle nel periodo invernale, dato che la loro tensione di vapore si riduce bruscamente con l'abbassarsi della temperatura.

Le superfici delle particelle di fuliggine infatti per le loro caratteristiche chimiche risultano degli ottimi adsorbenti delle molecole gassose.

Gli IPA sono:

- scarsamente solubili in acqua
- fortemente lipofili
- facilmente solubili in solventi polari
- scarsamente volatili (tranne i componenti a più basso peso molecolare)
- ampiamente diffusi in varie matrici a causa della loro bassa reattività

### Sorgenti di IPA nell'Ambiente

Gli IPA presenti nell'ambiente provengono da numerose fonti.

La più importante fonte di emissione degli IPA è quella dei motori a combustione interna, alimentati da benzina e da gasolio, in particolare si ha:

- impianto di riscaldamento emissioni veicoli a benzina: l'IPA più abbondante è il CicloPenta-(cd)Pirene (la sua concentrazione risulta 10 volte maggiore rispetto al Benzo(a)Pirene);
- emissioni veicolo diesel: sono caratterizzate dalla presenza di Benzo-Nafto-Tiofene, che si forma nel processo di combustione tra le molecole organiche e lo zolfo presente nel combustibile;

Altri fonti di emissione sono rappresentate da:

- impianti di riscaldamento alimentato a olio combustibile (in questo caso oltre ad emettere il Benzo-Nafto-Tiofene viene rilasciata una elevata quantità di Benzo(a)Antracene e Crisene);
- centrali termoelettriche;
- raffinerie;
- impianti di bitumazione;
- incenerimento dei rifiuti;
- fumo esalato dalla combustione di legno e di carbone e da altri processi di combustione in cui il carbonio del combustibile non viene completamente convertito in CO e CO<sub>2</sub>.

Sebbene gli IPA rappresentino solo circa lo 0.1% del particolato atmosferico, la loro presenza come inquinanti dell'aria rimane comunque un problema e molti di essi si rivelano cancerogeni, almeno sugli animali da esperimento.

Tra gli IPA a presumibile azione cancerogena per l'uomo vengono indicati il benzo[a]antracene, il benzo[k]fluorantene, benzo[b]fluorantene, il benzo[j]fluorantene, il benzo[a]pirene, il dibenzo[a,h]antracene, l'indeno[1,2,3-cd]pirene.

Si riporta qui di seguito la tabella dell' International Agency for Research on Cancer (IARC) nella quale viene riportata la classe di rischio per singolo composto:

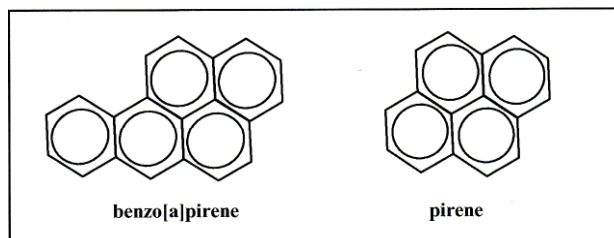
COMPOSTO	CLASSE IARC
Benzo(a)Antracene	2 A
Benzo(k)Fluorantene	2 B
Benzo(b)Fluorantene	2 B
Benzo(j)Fluorantene	2 B
Benzo(a)Pirene	2 A
Di Benzo (ah)Antracene	2 A
Indeno(1,2,3 -cd)Pirene	2 B

Legenda:

- Classe 2 A: probabile cancerogeno
- Classe 2 B: possibile cancerogeno

La determinazione del benzo[a]pirene (BP) viene considerata rappresentativa dei 7 IPA "probabili/possibili" cancerogeni e questa sostanza viene quindi assunta come "marker" dell'esposizione a IPA.

Il **benzo(a)pirene (BaP)** è un derivato del pirene, che contiene 5 anelli benzenici condensati



Il **B(a)P** è un comune sottoprodotto della combustione incompleta dei combustibili fossili, della materia organica e del legname; esso è risultato un potente cancerogeno negli animali da esperimento e un **probabile cancerogeno per l'uomo**.

### Il principio di cancerogenesi negli IPA

Gli IPA non sono di per sé agenti cancerogeni, ma solo alcuni derivati in cui essi vengono convertiti dall'organismo nel tentativo di renderli idrosolubili.

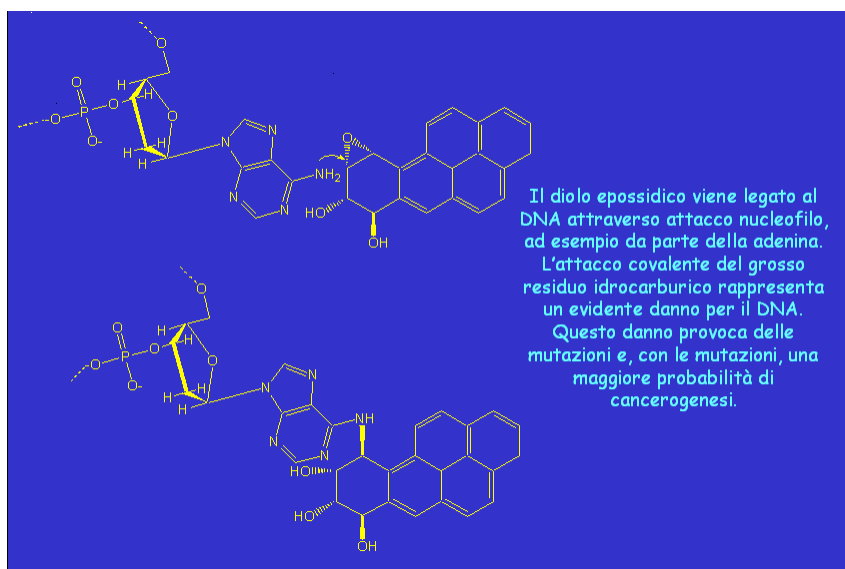
Il meccanismo con cui questi composti agiscono come cancerogeni è ancora poco chiaro e diverse teorie sono state formulate a proposito. La più conosciuta è quella della "bay region", che riguarda, tra altri composti, il benzo[a]pirene, uno degli IPA con maggiore potenziale cancerogeno.

Questa teoria si basa sul metabolismo del benzo[a]pirene ad opera degli enzimi ossidativi a formare, da prima un epossido e poi un diolo epossido.

In accordo con questa teoria, il diolo epossido formato deve possedere la funzione epossidica su un atomo di carbonio della baia e i due gruppi idrossilici che costituiscono il diolo preferenzialmente collocati nella regione pre-baia.

Il diolo epossido del benzo[a]pirene è un mutagene e viene ritenuto il responsabile della attività cancerogena di questo IPA. Il meccanismo con cui agirebbe è quello che passa attraverso la formazione di addotti.

Si riporta qui di seguito il metabolismo del benzo[a]pirene e la formazione del diolo epossido:



## Addotti degli IPA al DNA e alle proteine

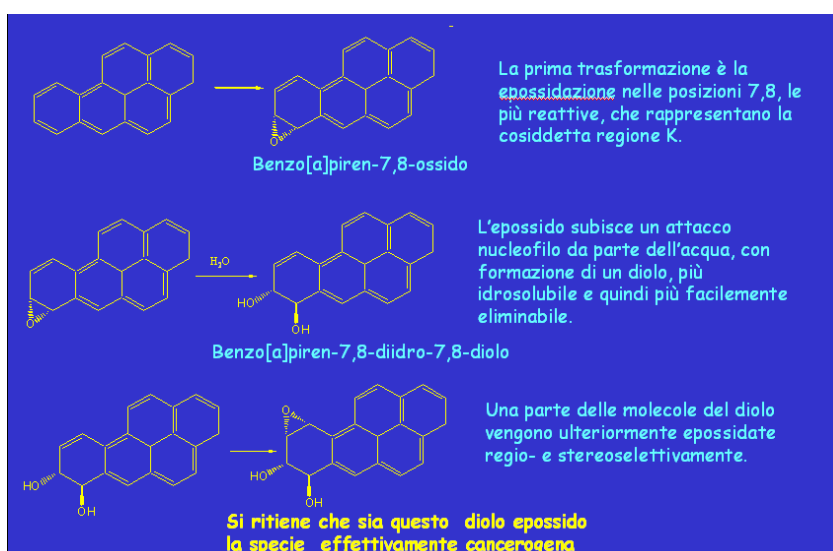
Gli addotti sono il risultato di una reazione di addizione tra molecole molto reattive, generalmente elettrofile, ottenute da trasformazioni metaboliche ossidative degli xenobiotici e gruppi nucleofili presenti sul DNA e/o proteine. I dioli epossidi degli IPA, ad esempio quello derivato dal benzo[a]pirene, sono in grado di reagire con le macromolecole cellulari e dare gli addotti al DNA e alle proteine. Gli addotti al DNA, qualora non riparati, possono iniziare il processo di cancerogenesi attraverso la formazione di mutazioni. Su questa base alcuni ricercatori hanno suggerito che gli addotti al DNA possano essere utilizzati per la valutazione del rischio cancerogeno e che la loro quantificazione possa riflettere la dose biologicamente efficace.

Gli addotti al DNA vengono generalmente determinati nei globuli bianchi, in particolare nei linfociti, che hanno un tempo di vita medio di circa 15 giorni. Nel caso delle proteine, in particolare albumina ed emoglobina, il tempo di vita medio è circa di 24 e 120 giorni, rispettivamente. Per questa ragione gli addotti possono essere considerati indicatori biologici di esposizione cumulativa.

Gli addotti tra IPA e proteine sono stati indagati fino ad ora in maniera molto superficiale, mentre numerosi studi sono stati condotti sugli addotti al DNA.

I metodi a disposizione per la valutazione degli addotti al DNA degli IPA sono di 3 tipi:

- **Immunologici.** Questi metodi sono basati sulla reazione antigene-anticorpo, sono generalmente poco sensibili (1-4 addotti/108 basi), e la possibilità di reazioni incrociate dell'anticorpo verso altri antigeni ne limita la specificità e rende problematica la determinazione quantitativa.
- **Marcatura** con atomi radioattivi. Questi metodi utilizzano la tecnica della post marcatura con  $^{32}\text{P}$  del nucleotide modificato (addotto), sono molto sensibili (1 addotto/1010 basi) e richiedono piccole quantità di campione ( $\mu\text{g}$ ). La maggiore limitazione di questa tecnica è la scarsa specificità.
- **Cromatografici** accoppiati con rivelatore a fluorescenza. In questo caso si sfrutta la fluorescenza specifica di alcuni IPA, come il benzo[a]pirene e i suoi metaboliti, che sono i composti generalmente determinati utilizzando questo metodo. La tecnica è specifica, anche se non applicabile a tutti gli IPA. La sensibilità del metodo è limitata a 1 addotto/107 basi.



I risultati ottenuti determinando gli addotti con ciascuno di questi metodi sono scarsamente correlati, questo significa, che, soprattutto alle basse esposizioni, le tecniche

misurano composti differenti. Va inoltre specificato che queste tecniche, che richiedono l'estrazione del DNA, la sua purificazione e, talvolta, la sua marcatura con atomi radioattivi, sono complesse e richiedono tempi lunghi ed una notevole esperienza per essere eseguite. Inoltre la standardizzazione dei metodi, il controllo di qualità intra- e inter-laboratoriale sono spesso lacunosi. Per queste ragioni queste tecniche non possono essere considerate di routine.

### Campionamento dell'aria per l'analisi degli IPA

I prelievi di aria per l'analisi degli IPA sono stati effettuati tramite un campionatore di polveri PM10 con metodo gravimetrico, costituito da un modulo sequenziale Sentinel PM per la sostituzione automatica dei filtri (fig. 1) e dotato di testa di prelievo, per il taglio delle particelle a 10 µm, di tipo EPA (americana - fig.2) omologata e dimensionata per operare con un flusso di 1 m<sup>3</sup>/h.

La testa di prelievo tramite il raccordo per la connessione al sistema di campionamento, è collegata ad una pompa che aspirando l'aria fa in modo che il particolato atmosferico impatti sulla membrana all'interno della testa e vi aderisca. L'attività della pompa è regolata da una centralina che, grazie all'azione di una valvola di by-pass assicura una porta d'aria in ingresso costante.

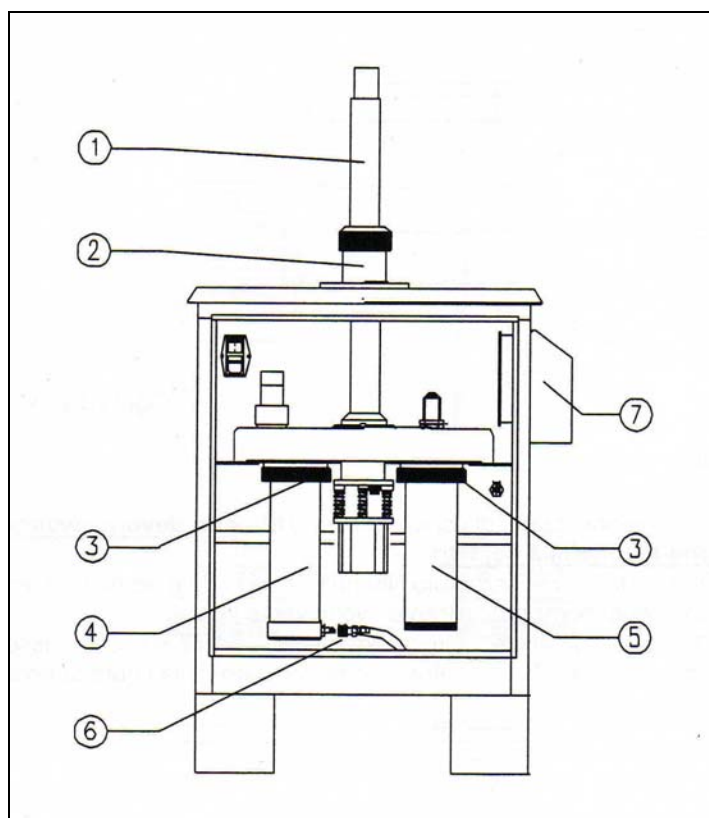


Figura 1

1. tubo di aspirazione
2. gruppo di scorrimento
3. ghiera filettate di serraggio caricatori filtri
4. caricatore filtri puliti
5. serbatoio filtri esposti
6. connessione pneumatica per carico filtri
7. carter uscita aria ventilazione interna

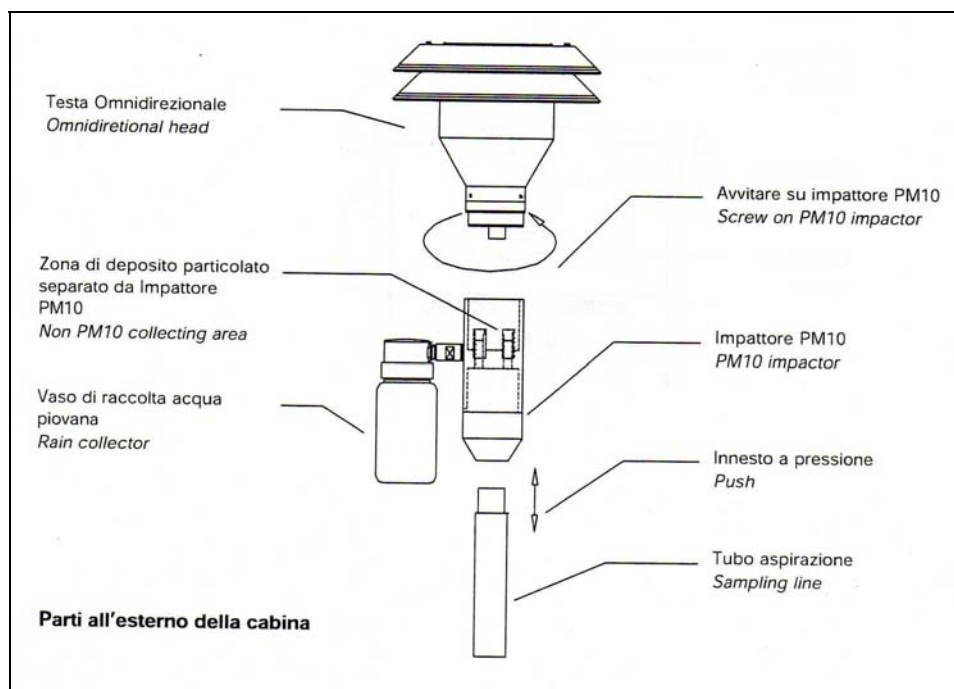


Figura 2

Durante la campagna di misura delle polveri è stato impostato un flusso di campionamento pari a:  **$Q_a = 16.67 \text{ l/min.}$**

Per la raccolta del PM10 sono stati utilizzati filtri in **borosilicato**, tra i più adatti, secondo i dati di letteratura, per l'analisi degli IPA.

Ogni singolo campione è rimasto in misura per un periodo di **24 ore**.

Al termine delle 24 ore di campionamento la pompa interrompe l'aspirazione, il pistone si solleva, il sequenziatore ruota orizzontalmente, spostando il filtro appena utilizzato e posizionando quello nuovo, il pistone si riabbassa chiudendo ermeticamente il filtro e la pompa riprende ad aspirare. Questo ciclo si ripete giornalmente.

### Metodo di riferimento per la determinazione di IPA in Aria

Questo metodo permette la determinazione degli idrocarburi policiclici aromatici presenti nel particolato atmosferico:

Il metodo è applicabile in ambienti esterni, a concentrazione di singoli IPA [ **$C_{IPA}$** ] >  **$0.001 \text{ ng/m}^3$**

Tramite un campionatore a basso volume viene raccolta, per aspirazione, una quantità nota di materiale particolato atmosferico su appositi filtri privi di leganti organici.

Il prelievo deve cominciare nelle prime ore del mattino e la durata del campionamento deve essere di 24 ore.

Il metodo messo a punto permette la determinazione degli idrocarburi policiclici aromatici (IPA) presenti nel particolato atmosferico.

Esso consiste nell'estrazione degli analiti dal filtro mediante bagno ad ultrasuoni con acetonitrile. L'estratto viene poi analizzato in HPLC