



Laboratorio Mobile
Campagna di Misura Inquinamento Atmosferico
Comune di Muggiò
Viale della Repubblica

03/07/2007 – 31/07/2007



Agenzia Regionale
per la Protezione dell'Ambiente
della Lombardia

Campagna di Misura Inquinamento Atmosferico

Comune di Muggiò

Viale della Repubblica

MONZA, 22/10/2007

Gestione e Manutenzione Tecnica del Laboratorio Mobile

p.i. Davide Paladini

p.i. Valter Meda

Il Responsabile del Procedimento

dott. Raffaella Marigo

Il Responsabile dell'U. O. Sistemi Ambientali

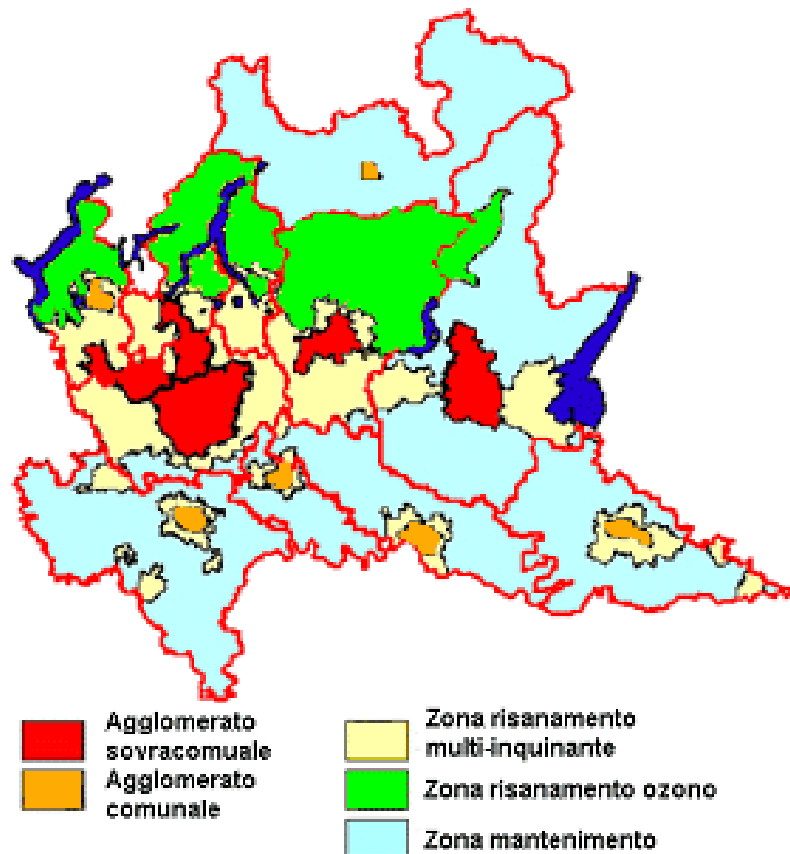
dott. geol. Madela Torretta

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 provvedimenti successivi ha zonizzato il territorio in zone ed agglomerati:



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, come nella precedente campagna invernale, in via della Repubblica, rispettando 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_x);
- Monossido di carbonio (CO);
- Ozono (O₃);
- 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_x e O₃ è posta a tra 1.5 e 4 m di quota;
- i sensori meteorologici sono posizionati all'altezza di circa 8 m dal suolo.

Durante la campagna di misura oltre all'analisi dei classici inquinanti dovuti al traffico veicolare sono state valutate, attraverso analisi di laboratorio delle frazioni fine del materiale particolato aerodisperso (PM10), raccolto durante la campagna di misura, anche le concentrazioni degli Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA).

I seguenti dati verranno confrontati con quelli misurati durante la campagna di misura invernale svolta nel periodo 15/01/2007 – 15/02/2007.

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 fornisce 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 2006.

Nota: tra parentesi sono indicati i margini di tolleranza validi per l'anno 2006.

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)	350	1 h	D.M. 2/4/02
Valore limite protezione salute umana (da non superare più di 3 volte per anno civile)	125	24 h	D.M. 2/4/02
Valore limite protezione ecosistemi	20	Anno civile e inverno (1 ott – 31 mar)	D.M. 2/4/02
Soglia di allarme	500	1 h (rilevati su 3 ore consecutive)	D.M. 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)	200	1 h	D.P.R. 24/5/88
Valore limite protezione salute umana (da non superare più di 18 volte per anno civile)	200 (+30)	1 h	D.M. 2/4/02
Valore limite protezione salute umana	40 (+6)	Anno civile	D.M. 2/4/02
Soglia di allarme	400	1 h (rilevati su 3 ore consecutive)	D.M. 2/4/02

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

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

Ozono	Valore Limite ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Periodo di mediazione	Legislazione
Valore bersaglio per la protezione della salute umana	120		8 h	D.L. 21/5/04
Valore bersaglio per la protezione della vegetazione	18000		AOT40 (mag – lug) su 5 anni	D.L. 21/5/04
Soglia di informazione	180		1 h	D.L. 21/5/04
Soglia di allarme	240		1 h	D.L. 21/5/04

Particolato Fine PM10	Valore Obiettivo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Periodo di mediazione	Legislazione
Valore limite protezione salute umana (da non superare più di 35 volte per anno civile)	50		24 h	D.M. 2/4/02
Valore limite protezione salute umana	40		Anno civile	D.M. 2/4/02

Piombo	Valore limite (ng/m^3)	Periodo di mediazione	Data entro la quale il limite deve essere raggiunto	Legislazione
Valore limite annuale per la protezione della salute umana	500	Anno civile	01/01/2005	D.M. 60/2002

E' uscita inoltre la Direttiva 2004/107/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 15 dicembre 2004 che regola i valori limite, oltre che per gli IPA, anche per i metalli: Cadmio, Arsenico, Mercurio e Nichel.

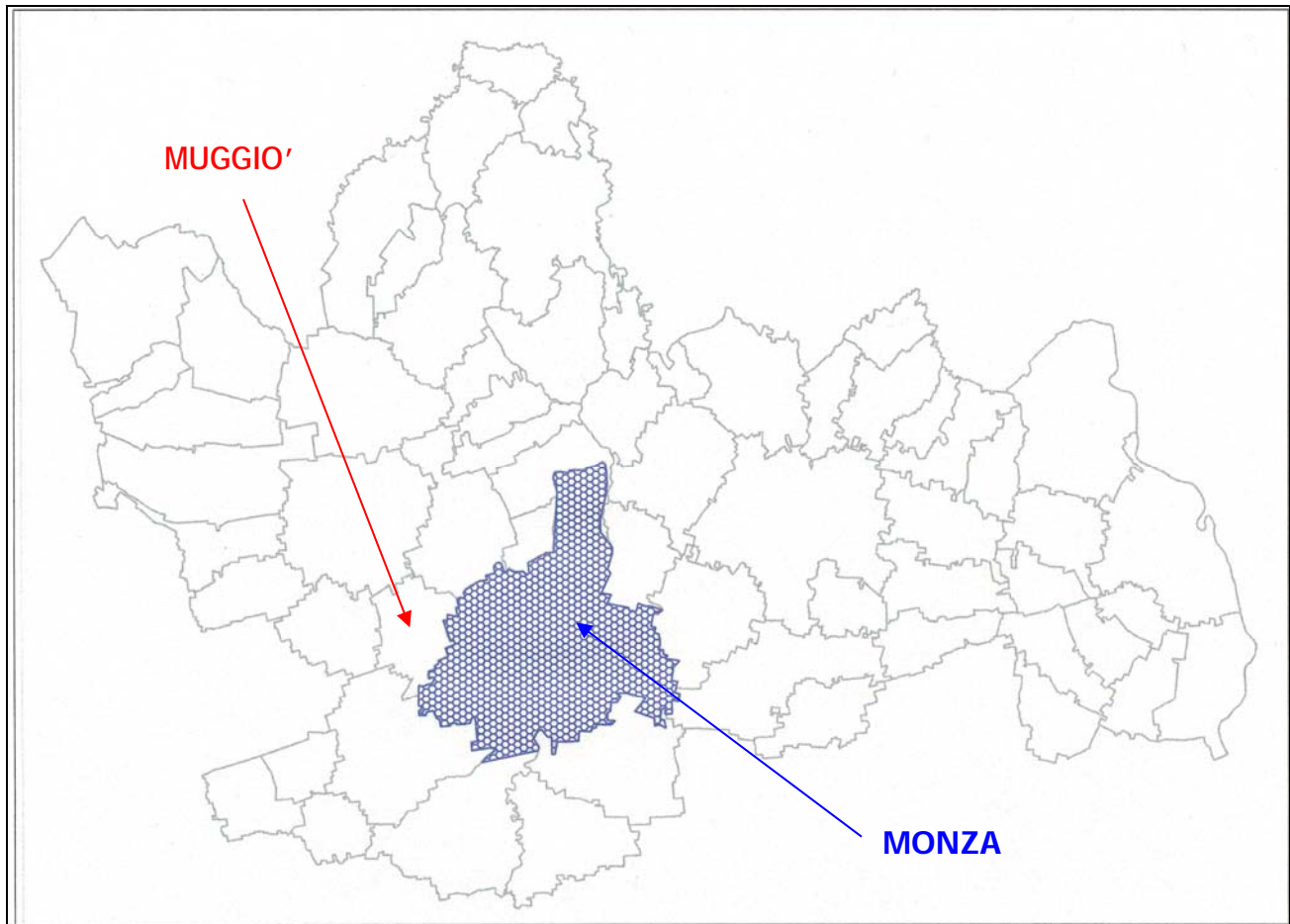
Va però precisato che tale Direttiva non è, allo stato attuale, ancora stata recepita dall'Italia.

Idrocarburi non metanici	Valore Obiettivo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Periodo di mediazione	Legislazione
Totali	Valore obiettivo	200	3 h consecutive*	D.P.C.M. 28/3/83
Benzene	Valore obiettivo	5 (+3)	Anno civile	D.M. 2/4/02
Benzo(a)pirene	Valore obiettivo	0.001	Anno civile	D.M. 25/11/94

Gli obiettivi di qualità su base annua delle concentrazioni di IPA fanno riferimento alle concentrazioni di benzo(a)pirene (D.M. 25/11/94)

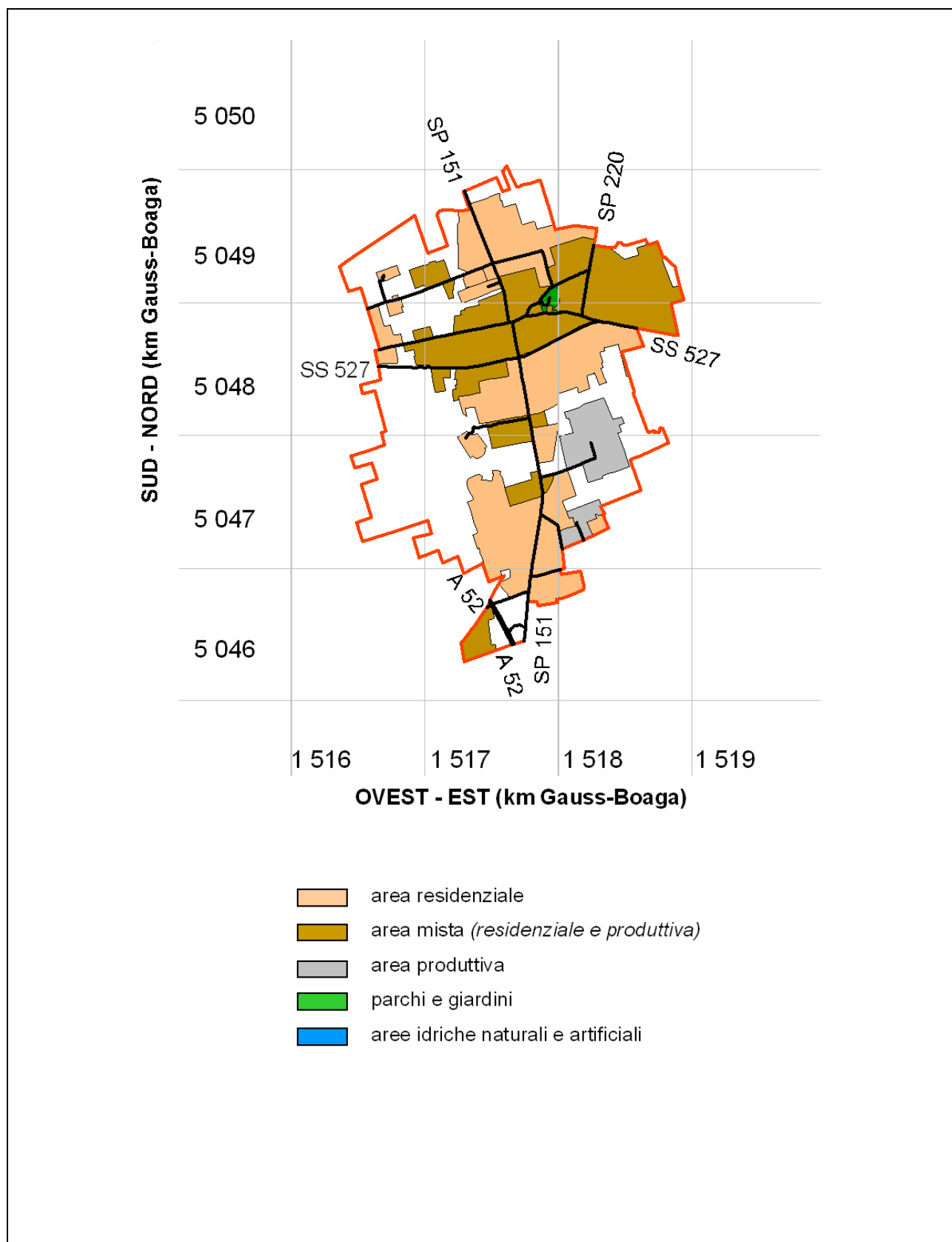
* Da adottarsi soltanto nelle zone e nei periodi dell'anno nei quali si siano verificati superamenti significativi dello standard dell'aria per l'ozono

Sito di Misura



Periodo di misura	03 – 31 luglio 2007
Sito di misura:	Via della Repubblica
Assi stradali provinciali:	A 52 (tangenziale Nord) S.S. n. 527 (Bustese) S.P. n. 151 (Cinisello – Desio) S.P. n. 220 (Lissono - Muggiò)
Assi stradali comunali	Via Libertà – Via Europa Via Garibaldi – Via Diaz Via XXV Aprile Via Italia Via Monte Grappa – Via Edison

Mappa dei principali assi viari cittadini



Il Territorio Comunale di Muggiò

Il Comune di Muggiò è un centro abitato della provincia di Milano che occupa una superficie di 5.58 Km² con una popolazione di 22.514 abitanti¹ pari a circa 4035 ab/Km².

Il Comune confina a Nord con Desio, a Nord Est con Monza, a Sud con Cinisello Balsamo a Ovest con Nova Milanese.

Caratterizzazione del sito di misura

Nel presente lavoro si discutono i risultati relativi alla campagna di misura dell'inquinamento atmosferico condotta in periodo estivo con Laboratorio mobile tra il **03 - 31 luglio 2007**, nel comune di Muggiò lungo Viale Repubblica.

Scopo della campagna di misura, unitamente a quella condotta nel periodo invernale (15.01.2007 – 15.02.2007), è la caratterizzazione della qualità dell'aria lungo tale tratto viario del territorio comunale di Muggiò, misurando la qualità dell'aria in un sito di traffico urbano.

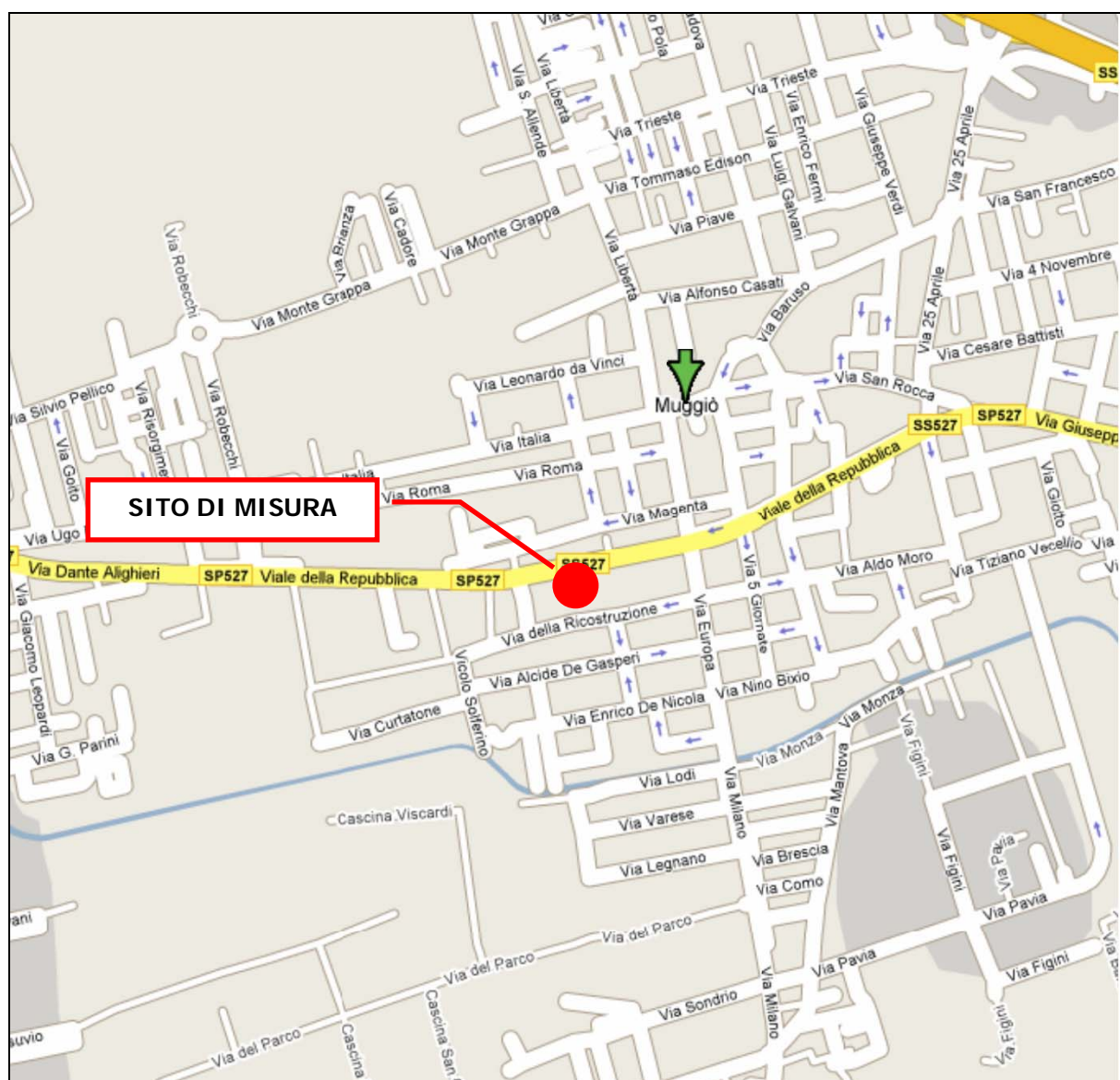


Figura 1: punto di posizionamento del Laboratorio mobile nel Comune di Muggiò

¹ Dati ISTAT al 31/12/2006

Lo scenario analizzato è illustrato in figura 1.



La postazione di misura si trova a ridosso di viale Repubblica, uno dei principali tratti viari cittadini posto lungo la direttrice Est - Ovest che, confluendo nella SP527, permette il collegamento della città di Muggiò con i comuni a Est e ad Ovest della regione.

Il punto di misura insiste su un tratto viario a due corsie (una per senso di marcia) interessato da volumi di traffico di tipo locale e di attraversamento, sia leggero che pesante.

A circa 500 m dalla postazione di misura, lungo viale Repubblica è presente un semaforo che, a causa del numeroso passaggio di autovetture, in particolare nella fascia mattutina e serale, genera traffico congestionato.

Principali sorgenti emissive

Per la stima delle principali sorgenti emissive all'interno del territorio comunale di Muggiò è stato utilizzato l'inventario regionale INEMAR (Inventario Emissioni Aria), nella sua versione più recente, **referita all'anno 2003**.

Nell'ambito di tale inventario la suddivisione delle sorgenti avviene per attività emissive: 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_x)
- 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)

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>.

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

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.

Come è possibile osservare dagli allegati le principali fonti di inquinamento nel comune di Muggiò sono Il traffico veicolare e gli impianti di riscaldamento .

Data infatti l'alta densità abitativa e il passaggio di assi viari comunali ed intercomunali trafficati, i carichi emissivi da traffico di PM10, PM2.5, NO_x e CO risultano significativi in tutto il territorio comunale, incidendo rispettivamente per il, 48% 45% 51% e 77% del totale.

La combustione non industriale incide in modo preponderante sulla qualità dell'aria, contribuendo con il 32% all'emissione in atmosfera di PM10, il 33% a quella di PM2.5 ed il 18% di CO; per quanto riguarda le emissioni di NO_x queste influiscono con il 20%.

Combustione non industriale								
Combustibile	SO ₂	NO _x	COV	CO	PM10	PTS	PM2.5	PREC. O ₃
GPL	0.00	0.66	0.03	0.13	0.00	0.00	0.00	0.84
metano	0.26	26.50	2.65	13.25	0.11	0.11	0.11	36.46
gasolio	15.14	7.57	0.45	3.03	0.76	0.76	0.76	10.04
kerosene	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
olio combustibile	0.80	0.80	0.05	0.09	0.18	0.21	0.14	1.04
legna e similari	0.32	1.78	29.80	128.71	5.80	6.05	5.60	46.24
Totale	16.54	37.32	32.98	145.22	6.84	7.12	6.61	94.63

Processi produttivi								
Combustibile	SO ₂	NO _x	COV	CO	PM10	PTS	PM2.5	PREC. O ₃
senza comb.	0.00	0.00	47.41	0.00	0.00	0.00	0.00	47.41
Totale	0.00	0.00	47.41	0.00	0.00	0.00	0.00	47.41

Estrazione e distribuzione combustibili								
Combustibile	SO ₂	NO _x	COV	CO	PM10	PTS	PM2.5	PREC. O ₃
senza comb.	0.00	0.00	14.69	0.00	0.00	0.00	0.00	17.40
Totale	0.00	0.00	14.69	0.00	0.00	0.00	0.00	17.40

Uso di solventi								
Combustibile	SO ₂	NO _x	COV	CO	PM10	PTS	PM2.5	PREC. O ₃
senza comb.	0.00	0.00	331.40	0.00	0.00	0.00	0.00	331.40
Totale	0.00	0.00	331.40	0.00	0.00	0.00	0.00	331.40

Agricoltura								
Combustibile	SO ₂	NO _x	COV	CO	PM10	PTS	PM2.5	PREC. O ₃
senza comb.	0.00	0.23	0.01	0.00	0.02	0.05	0.01	0.38
Totale	0.00	0.23	0.01	0.00	0.02	0.05	0.01	0.38

Combustione nell'industriale								
Combustibile	SO ₂	NO _x	COV	CO	PM10	PTS	PM2.5	PREC. O ₃
metano	0.00	30.41	0.76	6.08	0.06	0.06	0.06	38.54
gasolio	0.88	7.34	0.49	1.97	0.78	0.82	0.74	9.67
olio combust	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
legna e similari	0.03	0.20	1.54	19.19	0.27	0.38	0.21	3.90
Totale	0.94	37.97	2.79	27.24	1.11	1.27	1.02	52.12

Trasporto su strada								
Combustibile	SO ₂	NO _x	COV	CO	PM10	PTS	PM2.5	PREC. O ₃
GPL	0.00	2.29	1.85	7.66	0.00	0.00	0.00	5.49
diesel	2.28	75.34	6.56	24.63	4.58	4.70	4.58	101.20
metano	0.00	0.12	0.09	0.54	0.00	0.00	0.00	0.29
senza comb.	0.00	0.00	0.00	0.00	2.71	4.03	1.45	0.00
benzina verde	0.86	21.56	137.68	425.90	1.66	1.66	1.66	210.91
Totale	3.14	99.31	146.18	458.73	8.94	10.39	7.68	317.89

Altre sorgenti e assorbimenti								
Combustibile	SO ₂	NO _x	COV	CO	PM10	PTS	PM2.5	PREC. O ₃
senza comb.	0.00	0.00	0.26	1.91	1.12	1.12	1.12	0.47
Totale	0.00	0.00	0.26	1.91	1.12	1.12	1.12	0.47

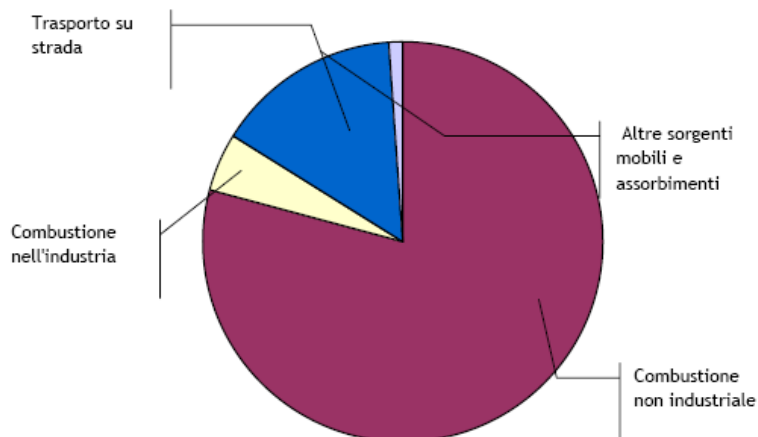
COMUNE DI MUGGIO'

DESCRIZIONE MACROSETTORE	SO ₂ t/anno	NO _x t/anno	COV t/anno	CO t/anno	PM10 t/anno	PM2.5 t/anno	PREC. O ₃ t/anno
Produzione energia e trasformazione combustibili	---	---	---	---	---	---	---
Combustione non industriale	16.54	37.32	32.98	145.22	6.84	6.61	94.63
Combustione nell'industria	0.94	37.97	2.79	27.24	1.11	1.02	52.12
Processi produttivi	---	---	47.41	---	---	---	47.41
Estrazione e distribuzione combustibili	---	---	14.69	---	---	---	17.40
Uso di solventi	---	---	331.40	---	---	---	331.40
Trasporto su strada	3.14	99.31	146.18	458.73	8.94	7.68	317.89
Altre sorgenti mobili e macchinari	0.24	16.50	3.78	9.87	2.13	2.12	24.99
Trattamento e smaltimento rifiuti	---	---	---	---	---	---	---
Agricoltura	---	0.23	0.01	---	0.02	0.01	0.38
Altre sorgenti e assorbimenti	---	---	0.26	1.91	1.12	1.12	0.47
TOTALE	9.77	232.03	183.17	528.82	25.37	22.25	525.40

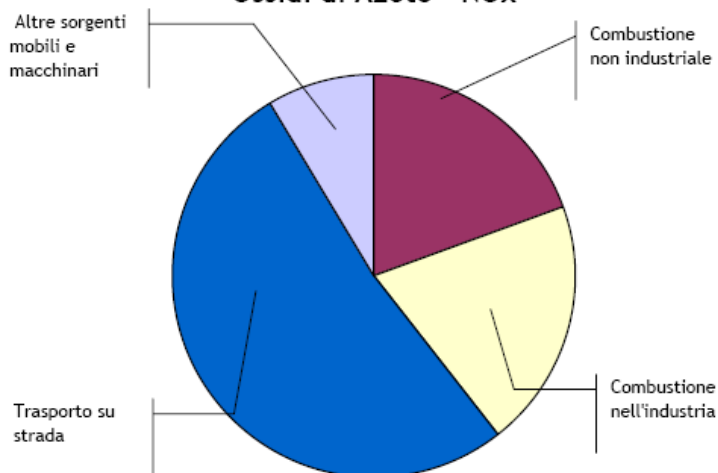
PROVINCIA DI MILANO

DESCRIZIONE MACROSETTORE	SO ₂ t/anno	NO _x t/anno	COV t/anno	CO t/anno	PM10 t/anno	PM2.5 t/anno	PREC. O ₃ t/anno
Produzione energia e trasformazione combustibili	3363.27	4239.19	209.60	1775.69	60.46	42.09	5579.67
Combustione non industriale	2282.51	6771.36	8065.94	34368.42	1590.64	1537.54	20142.06
Combustione nell'industria	1631.28	7523.19	1236.93	5255.88	368.80	289.08	11004.05
Processi produttivi	0.04	60.58	8232.76	258.78	57.91	16.93	8335.13
Estrazione e distribuzione combustibili	--	--	4462.62	--	--	--	4949.90
Uso di solventi	--	16.65	63239.57	0.74	200.21	71.07	63259.96
Trasporto su strada	1017.48	34237.30	28676.45	100280.08	2556.27	2169.56	81493.56
Altre sorgenti mobili e macchinari	127.01	4456.73	1193.79	3264.28	522.40	512.96	6990.35
Trattamento e smaltimento rifiuti	22.50	674.59	12.08	478.61	2.72	2.69	1139.35
Agricoltura	--	210.15	168.29	3311.92	191.95	151.92	1000.22
Altre sorgenti e assorbimenti	0.81	3.49	627.37	435.13	206.21	205.53	679.68
TOTALE	8444.89	58193.23	116125.39	149429.53	5757.57	4999.38	204573.93

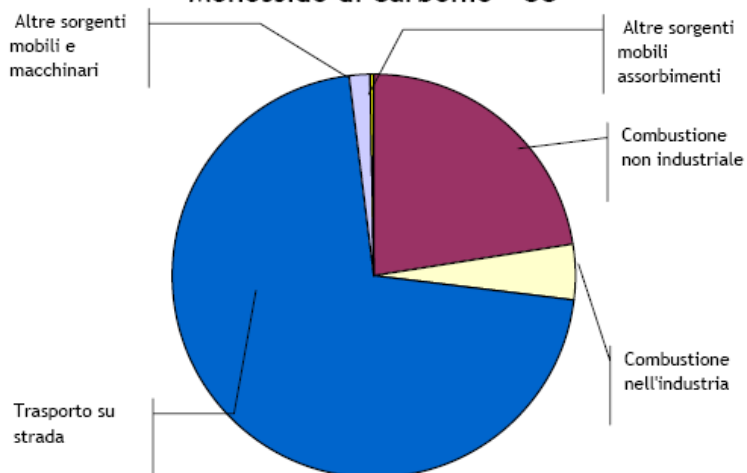
Biossido di Zolfo - SO₂

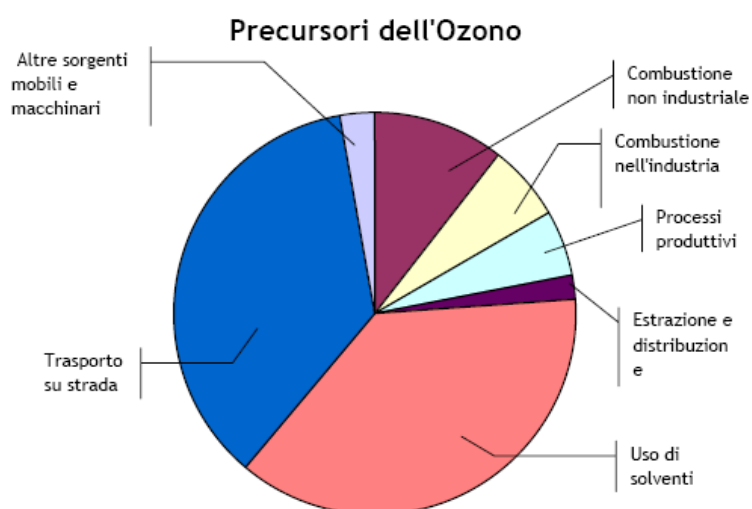
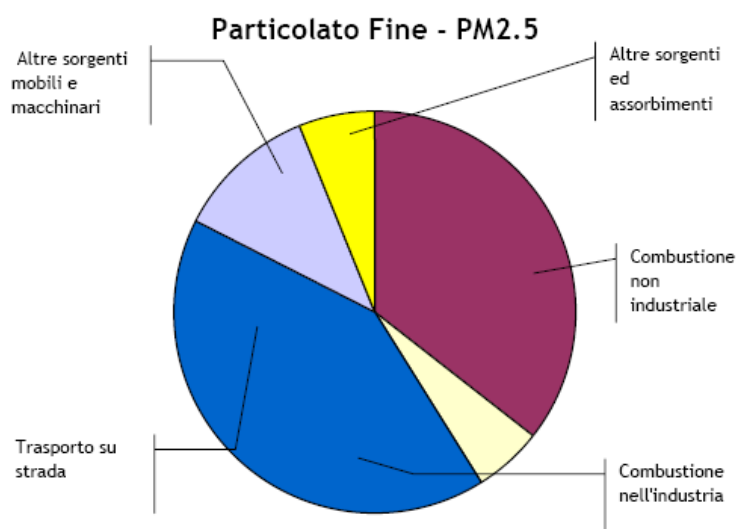
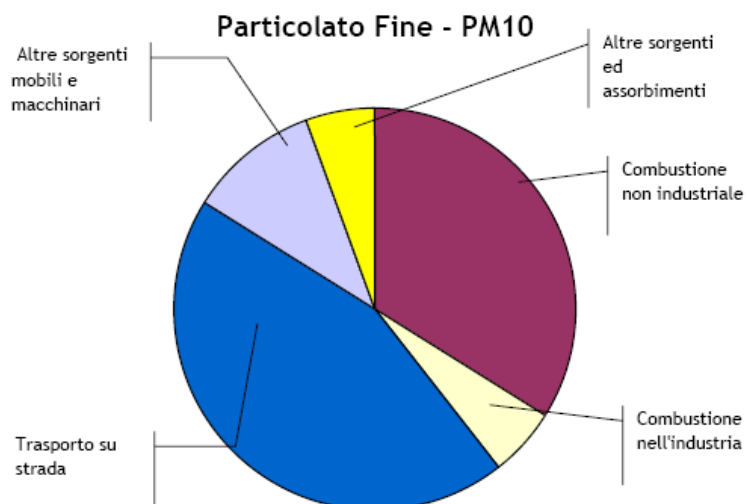


Ossidi di Azoto - NOx



Monossido di Carbonio - CO





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.

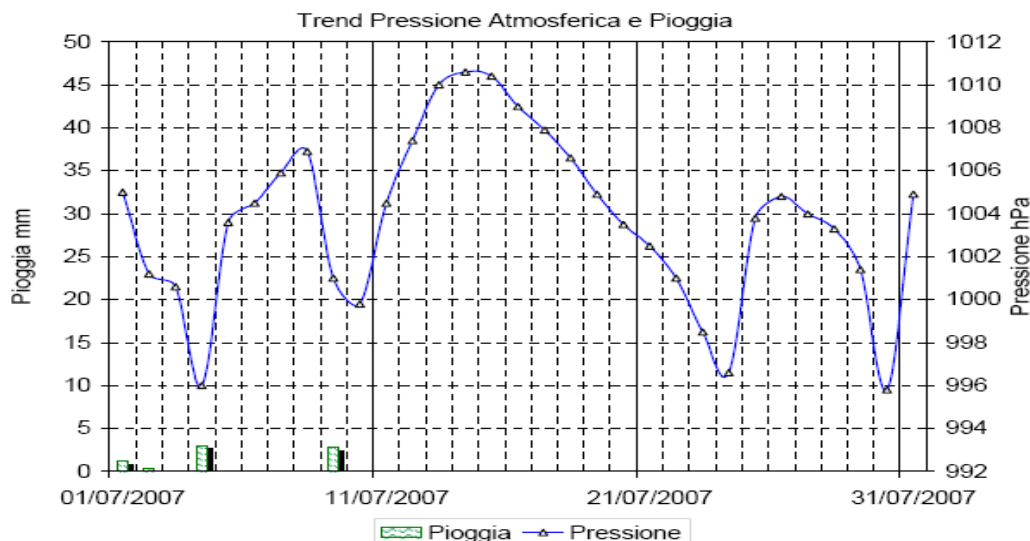
Situazione meteorologica nel periodo di misura

La campagna di monitoraggio estiva nel comune di Muggiò ha interessato il mese di Luglio; di seguito si riporta la situazione meteorologica, su scala regionale, osservata in tale periodo.

Il mese di **luglio** ha visto come fattore caratterizzante la siccità dovuta alla scarsità di precipitazioni piovose. Solo durante la prima decade del mese, a seguito di aria fredda atlantica, si

sono osservate precipitazioni piovose a carattere temporalesco; la presenza dell'anticiclone africano durante la seconda e terza decade ha favorito lunghi periodi di caldo torrido con conseguente aumento della temperatura.

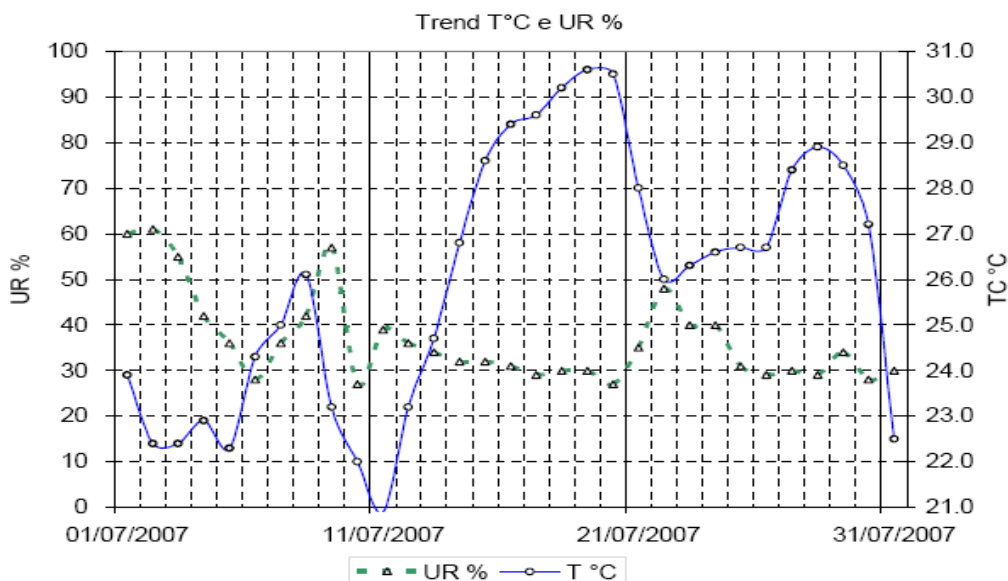
Nel complesso nella stazione di Milano Juvara, sono stati osservati 4 eventi piovosi di modesta entità per un valore totale mensile di 7 mm di pioggia, risultando ben al di sotto della media stagionale di 68 mm.



Il periodo invernale era invece stato caratterizzato da 9 eventi piovosi a causa di un afflusso di aria artica; l'evento piovoso di maggior rilievo era stato registrato il giorno 24 gennaio con più di 20 mm di pioggia caduti.

Per quanto riguarda le temperature la presenza dell'anticiclone africano a fatto si che i valori massimi abbiano localmente raggiunto i 36°C; in generale il valore medio mensile è stato di 26 °C superiore di circa 1.4 °C alla media storica del periodo. Le temperature che hanno interessato la campagna invernale si erano attestate intorno a valori superiori alla media storica di circa 3°C.

Per quanto riguarda l'umidità il valore medio misurato a Milano Juvara è stato pari al 37%, inferiore alla media del 58% registrata negli ultimi diciannove anni. Anche in periodo invernale con un valore di circa il 69% l'umidità si è mantenuta di poco al di sotto della media degli ultimi vent'anni.



Come per la temperatura, le molte giornate serene, hanno fatto sì che il valore di radiazione solare (301 W/m^2) sia stato di circa il 13% superiore rispetto al valore medio stagionale (267 W/m^2) e sia stato superiore del 84% e 73% rispetto ai valori medi registrati nei mesi di gennaio e febbraio relativi alla campagna invernale.

Sebbene la velocità del vento media sia stata, nella stazione di Milano Juvara di 1.6 m/s, lievemente inferiore alla media storica degli ultimi 18 anni (1.8 m/s), l'attività anemologica è stata piuttosto vivace; infatti durante i periodi di vento di foehn osservati nei giorni 4, 10 e 30 le velocità massime orarie sono state rispettivamente di 4.8, 4.4 e di 6.4 m/s, valori non trascurabili che riferiti alla scala di Beaufort sono da iscriversi nella categoria "Brezza tesa – Vento moderato".

Nonostante i lunghi periodi di stabilità dovuta alla subsidenza anticiclonica, nel mese di Luglio del 2007 le condizioni climatologiche sono state favorevoli al mantenimento di una qualità dell'aria accettabile, anche se in coincidenza con i periodi più caldi e soleggiati del mese, le concentrazioni di O_3 sono risultate non trascurabili.

Condizioni meteorologiche sfavorevoli alla dispersione degli inquinanti dovute ad intensi fenomeni di inversione da subsidenza in quota, in aggiunta a quella da raffreddamento notturno al suolo, hanno favorito in periodo invernale delle situazioni di temporaneo accumulo degli inquinanti, in particolare del PM_{10} .

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.

L'andamento anemologico registrato dalla stazione meteo del Laboratorio Mobile, mostra come i settori maggiormente interessati da fenomeni ventosi siano stati gli stessi che hanno interessato il periodo invernale e compresi tra le direzioni Est - Nord Est e Ovest – Sud Ovest con una maggiore frequenza, in tutte le classi di vento, dal settore Ovest – Sud Ovest.

Per quanto riguarda la velocità del vento in periodo estivo si sono registrati episodi di maggiore intensità rispetto a quello invernale.

In linea con quanto già riportato precedentemente nella situazione regionale, i valori misurati nel sito di misura mostrano una attività anemologica piuttosto vivace. Il valore medio registrato durante il periodo di misura è stato di 1.1 m/s di poco superiore alla media del periodo invernale (0.7 m/s).

Gli episodi anemologici più intensi si sono verificati martedì 10 e lunedì 30 luglio, in occasione dei due episodi di Fhoen, facendo registrare una media giornaliera di 1.9 m/s e 2.1 m/s rispettivamente ed una massima oraria di 3.97 (E-SE) m/s e 4.23 m/s (E).

Anche il periodo invernale è stato interessato da due episodi di Fhoen (W-SW), dove sono stati registrati i valori anemologici più intensi (lunedì 29 gennaio e martedì 13 febbraio) facendo segnare una media giornaliera di 1.4 m/s e 1.3 m/s rispettivamente ed una massima oraria di 3.7 m/s e 2.7 m/s (Ovest).

VENTO	CAMPAGNA ESTIVA	CAMPAGNA INVERNALE
VV media (m/s)	1.1	0.7
VV max oraria (m/s)	4.2	3.7
Direz. V rispetto al N settore magg. interessato	SW	W-SW
VV in settore maggiormente interessato (m/s)	0.2 < VV < 1 e 1.5 < VV < 2 n. casi 35	0.2 < VV < 1 n. di casi 50

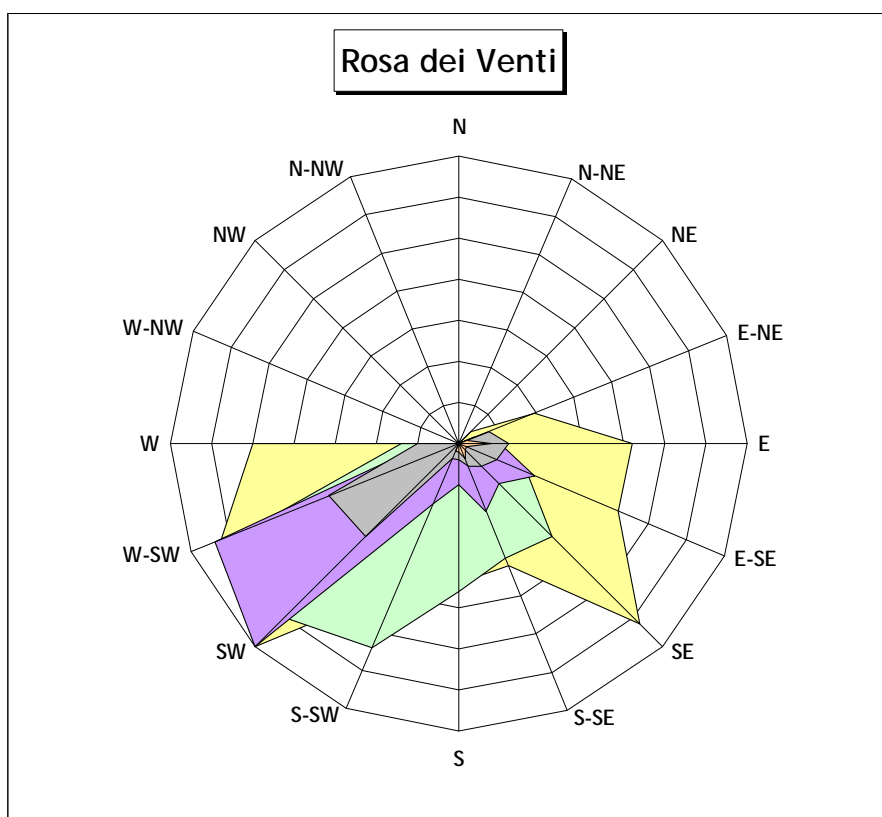


Figura A – periodo estivo

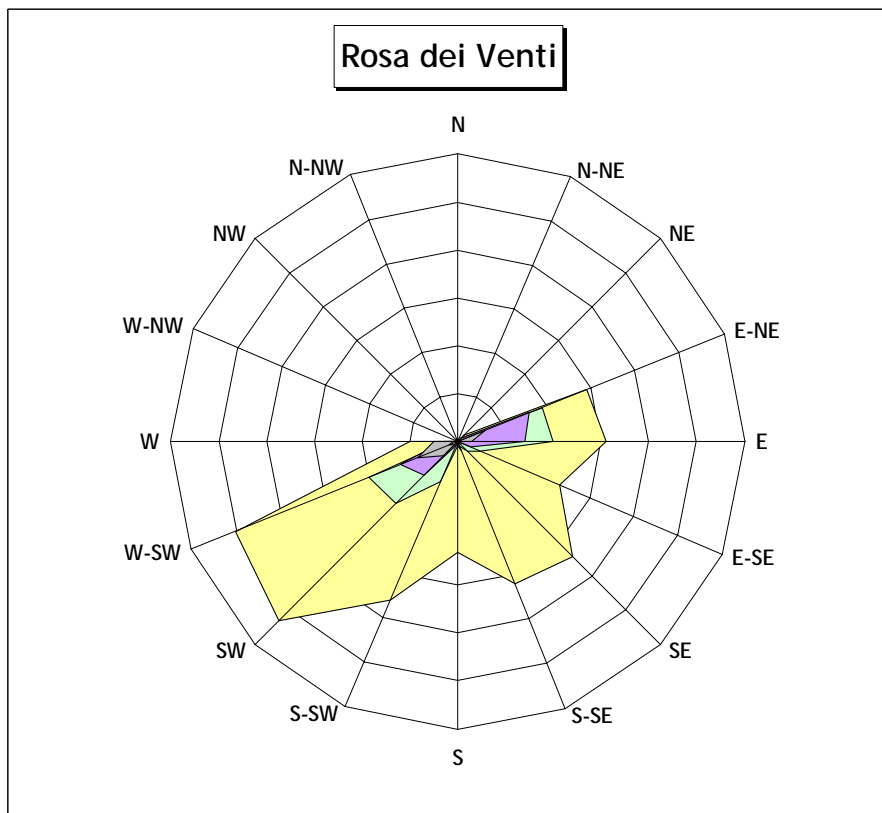
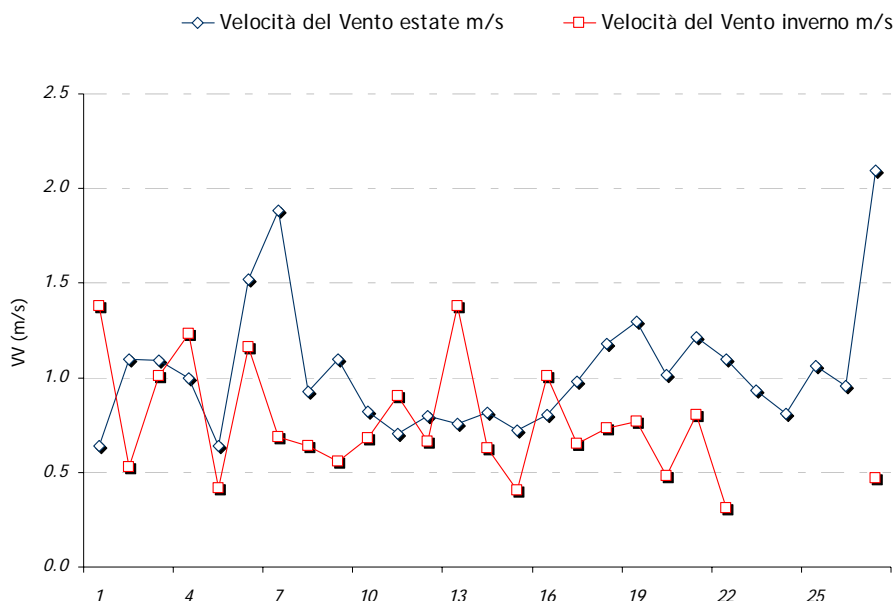
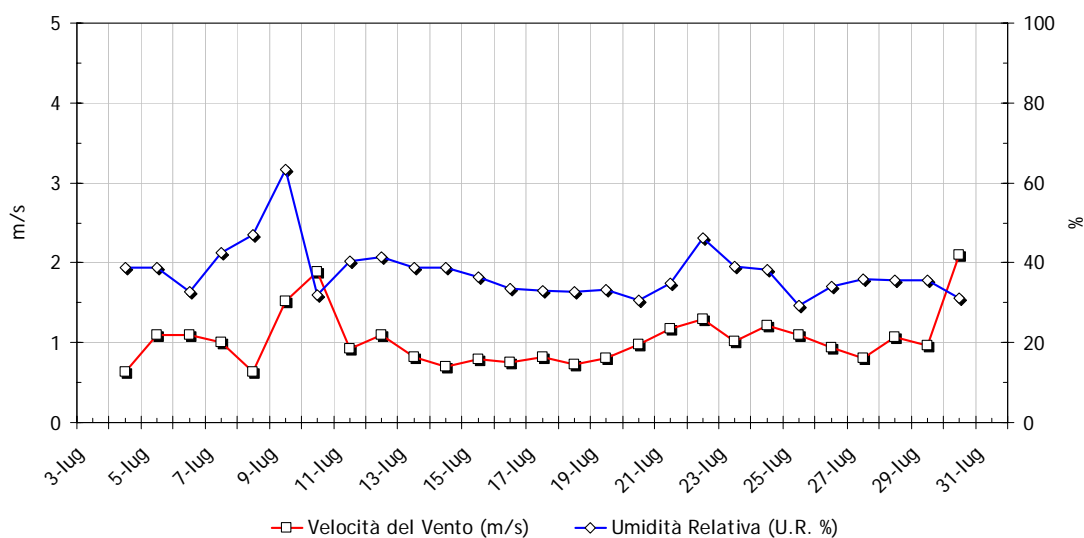


Figura B – periodo invernale



L'umidità relativa si è mantenuta su una media pari al 38% con un valore medio giornaliero massimo del 63% registrato lunedì 09 luglio in cui è occorso il fenomeno piovoso di maggiore intensità (3.6 mm). Nel periodo invernale l'umidità ha fatto registrare un valore medio del 84% con un valore medio giornaliero massimo del 99%.

Velocità del Vento e Umidità Relativa



Per quanto riguarda le precipitazioni sono stati registrati 3 giorni piovosi su 27 giorni di campagna concentrati nella prima decade del mese. I fenomeni di maggiore intensità si sono verificati mercoledì 4 e lunedì 9 luglio con 3.8 mm di pioggia caduti durante la giornata.

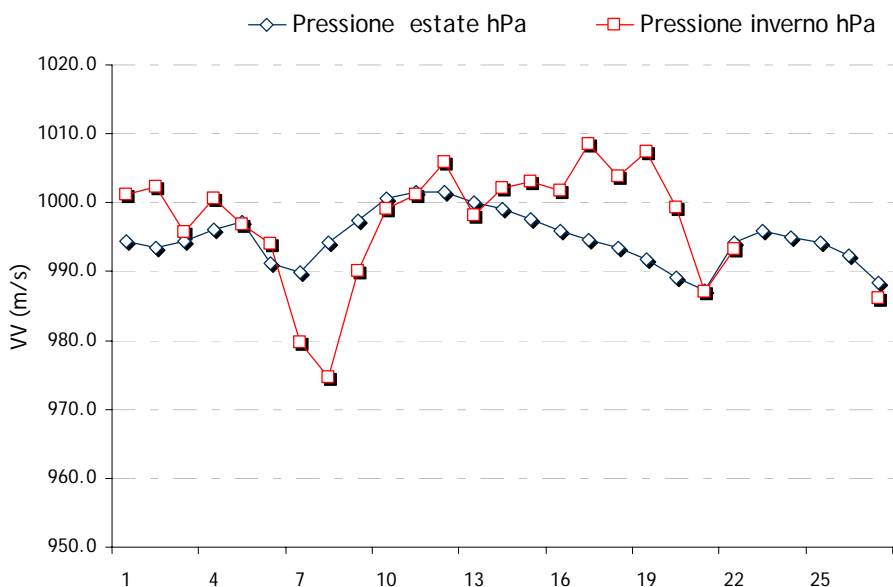
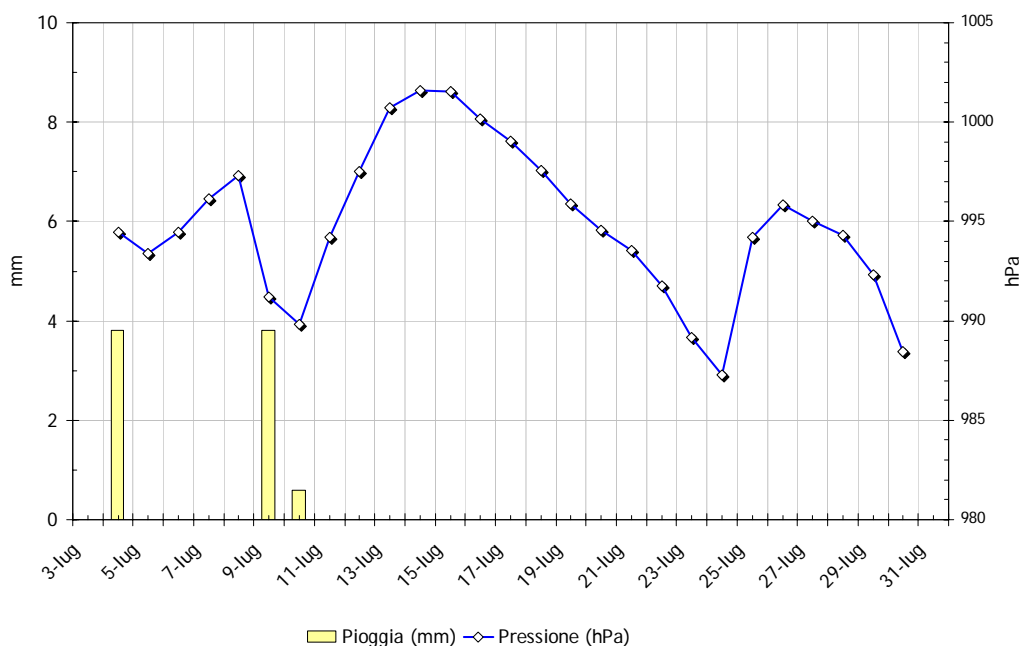
PRECIPITAZIONI	CAMPAGNA ESTIVA	CAMPAGNA INVERNALE
n. precipitazioni nel periodo	3.0	9.0
Max precipitazione giornaliera (mm)	3.8	33

L'*andamento barico* ha fatto registrare nel periodo di misura un valore medio di 994.4 hPa per fenomeni di alta pressione nella seconda e nella terza parte del mese con un valore massimo di circa 1002.8 hPa domenica 15 ed un minimo di 983.5 hPa mercoledì 4 luglio.

In periodo invernale la pressione si è attestata attorno ad un valore medio di 955.6 hPa con un massimo il giorno 2 febbraio di 1008.6 hPa.

PRESSIONE	CAMPAGNA ESTIVA	CAMPAGNA INVERNALE
pressione media del periodo (hPa)	994.4	955.6
Pressione max giornaliera (hPa)	1002.8	1008.6
Pressione min giornaliera (hPa)	983.5	971.5

Precipitazione e Pressione



La *temperatura media* del periodo è stata di 25.6 °C con un massimo di circa 35.6 °C venerdì 20 ed un minimo di 13.7 °C giovedì 5 luglio.

TEMPERATURA	CAMPAGNA ESTIVA	CAMPAGNA INVERNALE
temperatura media del periodo (°C)	25.6	5.5
temperatura max giornaliera (°C)	35.6	21.0
temperatura min giornaliera (°C)	13.7	-3.4

Come nel resto del territorio regionale le molte giornate serene hanno caratterizzato il periodo di misura; *la radiazione solare*, con 294.3 W/m², ha avuto un andamento analogo a quello misurato nella stazione di Milano Juvara con un valore assoluto superiore alla media storica del periodo.

RADIAZIONE SOLARE	CAMPAGNA ESTIVA	CAMPAGNA INVERNALE
radiazione media del periodo (W/m ²)	294.3	61.0
radiazione max giornaliera (W/m ²)	342.3	135.8
radiazione min giornaliera (W/m ²)	168.3	9.0

Figura 2A - campagna estiva

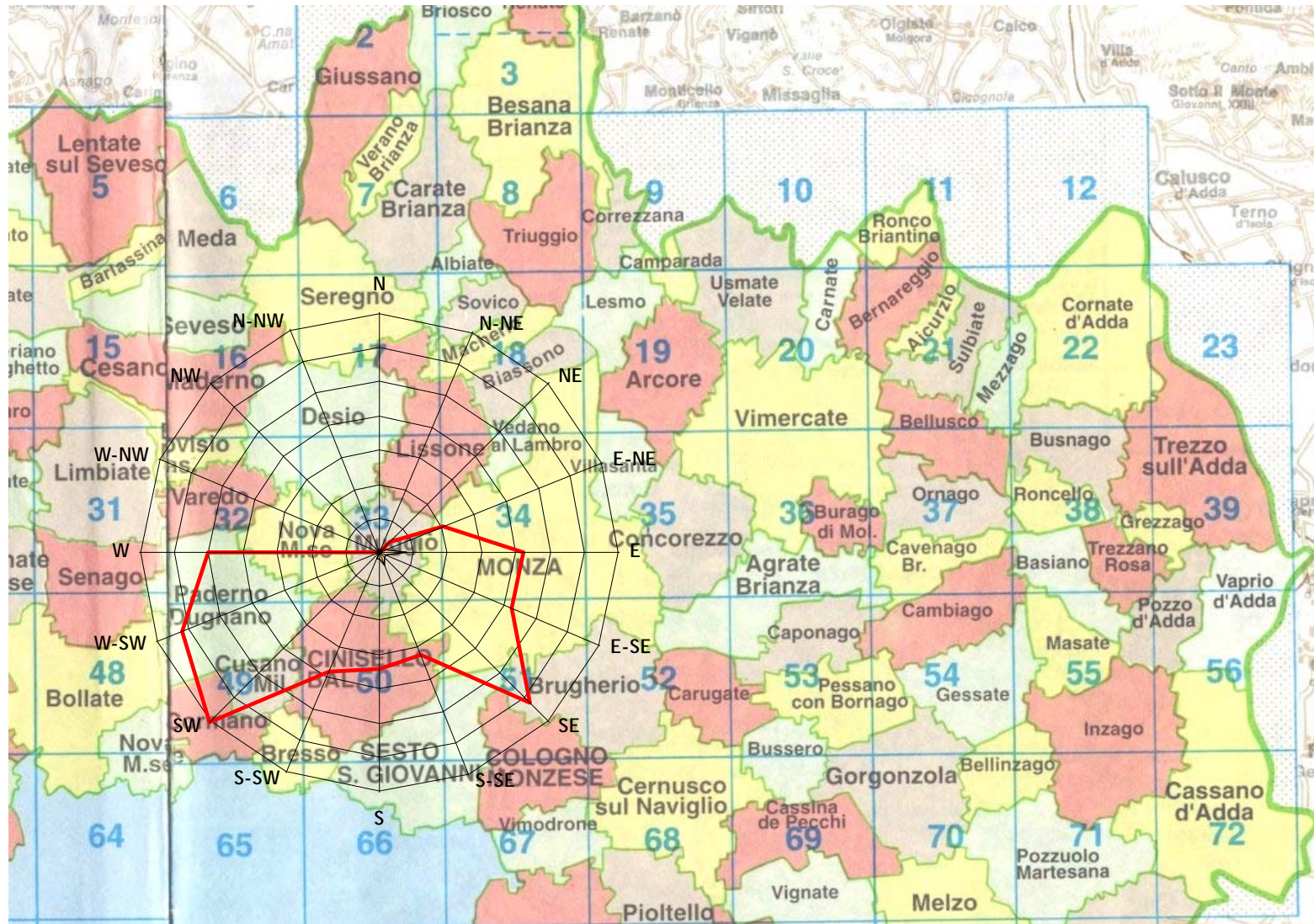
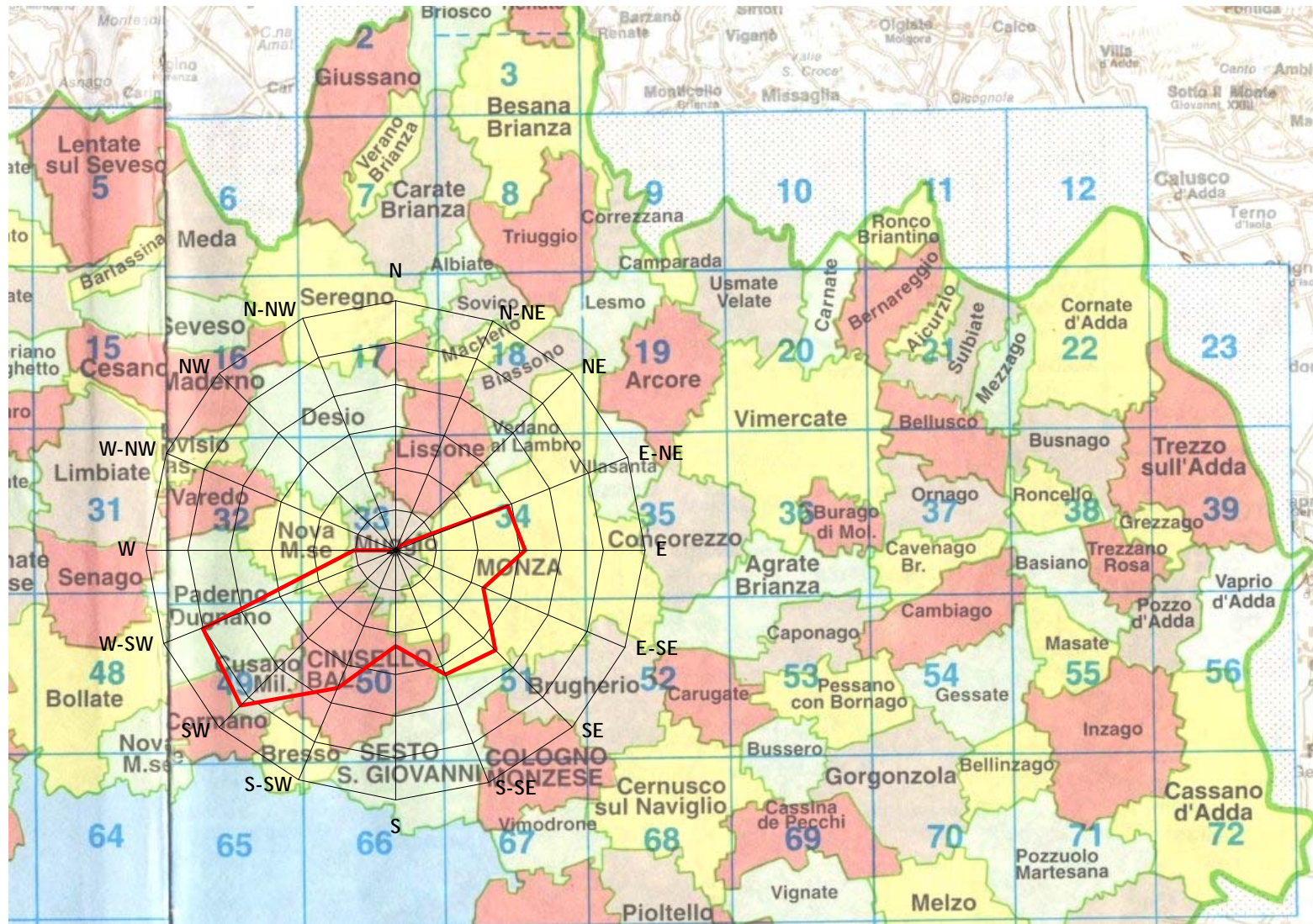


Figura 2B – campagna invernale



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 NO₂)** 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_x 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/NO₂ decisamente a favore del primo. Si stima che il contenuto di NO₂ nelle emissioni sia tra il 5 e il 10% del totale degli ossidi di azoto.

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 (O₃)** 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 sottovovente 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: $\text{O}^* + \text{O}_2 + \text{M} \rightarrow \text{O}_3 + \text{M}$

Una volta generato l'ozono reagisce con l'NO e rigenera NO₂: $\text{NO} + \text{O}_3 \rightarrow \text{NO}_2 + \text{O}_2$

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 NO₂ senza consumare O₃, di fatto spostando l'equilibrio del ciclo visto sopra e consentendo l'accumulo di O₃.

Il **particolato fine (PM10)** è considerato uno dei "nuovi inquinanti", la cui misura è stata introdotta a partire dal 1998; esso è costituito da particelle con diametro aerodinamico inferiore a 10 µm, 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.

Gli **Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA)**² sono comuni inquinanti dell'atmosfera di origine antropica e derivano dai processi di combustione incompleta di materiale organico. In ambiente urbano le elevate concentrazioni di IPA in atmosfera sono principalmente legate al traffico autoveicolare (~ 80%) ed agli impianti di riscaldamento alimentati con combustibili liquidi e solidi laddove non è diffusa in modo capillare la metanizzazione. In particolare la loro presenza nei gas di scarico degli autoveicoli, alimentati sia a gasolio che a benzina, è dovuta in parte alla quantità di IPA già presente nel carburante, in parte alla loro formazione durante la combustione per piro-sintesi fra radicali derivanti dai componenti paraffinici e composti aromatici. Diversi studi hanno messo in evidenza fattori di emissione crescenti di IPA, per autoveicoli, all'aumentare del grado di usura del veicolo e del tenore di aromatici totali nel carburante.

Andamento degli 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, NO₂), ozono (O₃) e polveri sottili (PM10).

La strumentazione presente sul Laboratorio mobile ha permesso il monitoraggio a cadenza oraria degli inquinanti gassosi (NO, NO₂, CO, O₃), 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. pagg 4 - 5), il D.M. 60 del 02.04.02 stabilisce, per NO₂, 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

² Informazioni più dettagliate sono disponibile in Appendice II.

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**.

Nonostante i lunghi periodi di stabilità dovuta alla subsidenza anticiclonica, nel mese di Luglio le condizioni climatologiche sono state favorevoli al mantenimento di una qualità dell'aria accettabile, anche se in coincidenza dei periodi più caldi e soleggiati del mese, le concentrazioni di O₃ sono risultate non trascurabili.

Analizzando nel dettaglio la situazione meteorologica nel periodo estivo di misura si osserva come la presenza di una situazione anemologica piuttosto vivace caratterizzata principalmente da episodi di bava di vento ($0.2 < VV < 1.5$ - 58% del periodo di misura) alcuni casi di brezza leggera ($1.5 < VV < 3.3$ - 27% del periodo di misura) e sporadici eventi di brezza tesa ($3.3 < VV < 5.4$ - 2% del periodo di misura), abbia permesso uno sblocco atmosferico favorendo la dispersione degli inquinanti.

In periodo invernale invece a causa del progressivo attenuarsi del rimescolamento verticale dell'atmosfera favorito dalla persistenza di condizioni anticicloniche favorevoli all'accumulo, che ha caratterizzato gran parte del periodo, vi sono stati numerosi giorni di superamento del valore limite di 50 µg/m³ per il PM₁₀, mentre a causa del perdurare di periodi di alta pressione, vi è stato un giorno con 6 superamenti orari della soglia di attenzione per l'NO₂.

Nei paragrafi seguenti vengono riportati i risultati dell'analisi degli andamenti temporali degli inquinanti ricavati da un mese di osservazioni presso la postazione di viale Repubblica³ unitamente a quelli raccolti nel medesimo sito in periodo invernale.

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 all'NO₂ e, attraverso altri processi fotochimici, contribuisce alla produzione di O₃ troposferico.

I valori delle concentrazioni orarie dell'NO hanno fatto registrare nel periodo estivo di misura un valore medio di 13 µg/m³ ed un valore massimo di concentrazione oraria pari a 133 µg/m³, venerdì 06 luglio alle 07.00.

Nella sottostante tabella vengono confrontati i dati salienti di questo inquinante relativi ai due periodi di misura.

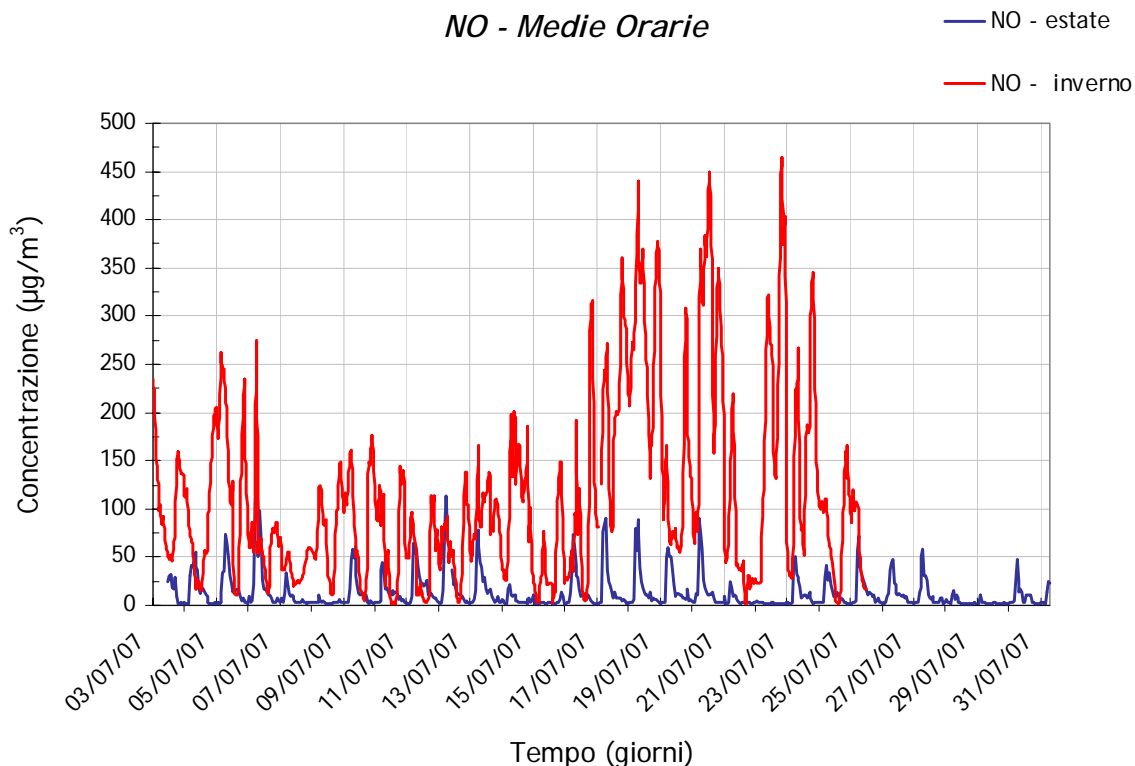
NO	CAMPAGNA ESTIVA	CAMPAGNA INVERNALE	INTERVALLO DI VARIABILITA'
concentrazione media del periodo (µg/m ³)	13	114	89%
concentrazione max. oraria (µg/m ³)	133	465	71%
concentrazione min. oraria (µg/m ³)	1	1	//

Come è possibile osservare la variabilità delle concentrazioni di NO nei due periodi di osservazione è molto elevata, con valori medi estivi inferiori del 89% rispetto a quelli misurati in periodo invernale.

A conferma della maggiore capacità dispersiva dell'atmosfera durante i periodi estivi viene qui di seguito proposto il confronto delle medie orarie nei due periodi di misura.

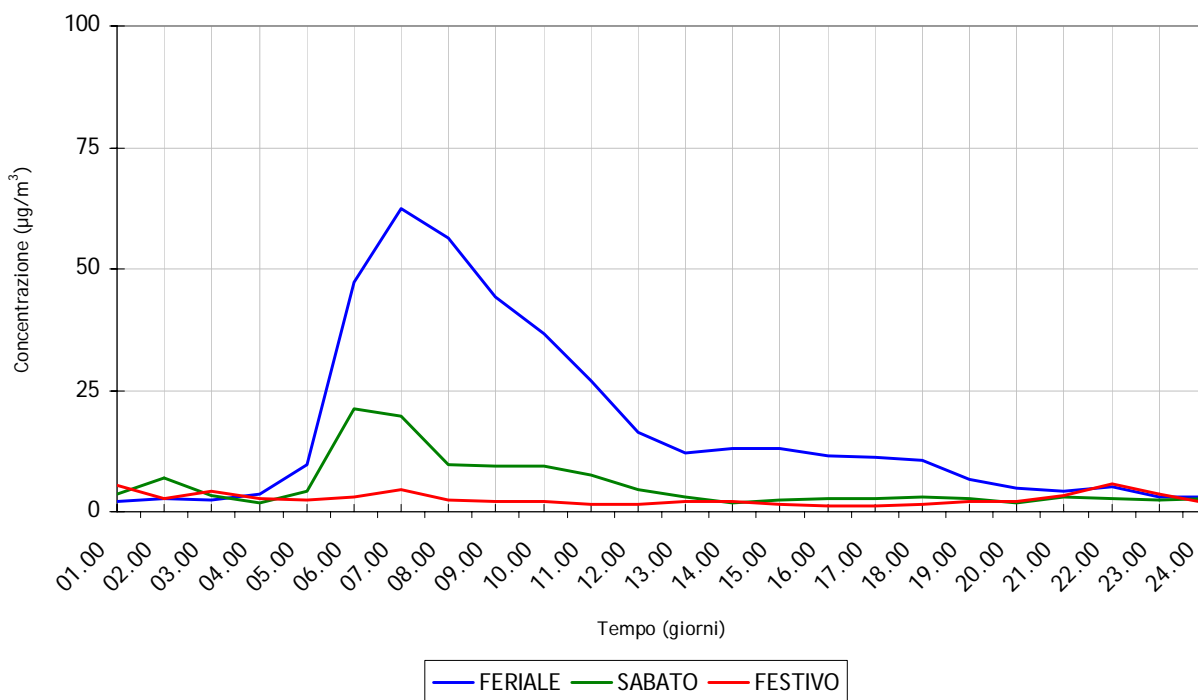
³ L'ora a cui sono associati i dati si riferisce all'ora legale.

NO - Medie Orarie



Il grafico del giorno tipo, ricavato dal data set invernale, aveva permesso di mettere in evidenza la tipologia del sito di misura, identificando le fasce di maggior traffico giornaliero. A riprova di quanto osservato è stato tracciato l'andamento del giorno tipo relativamente alle misure estive.

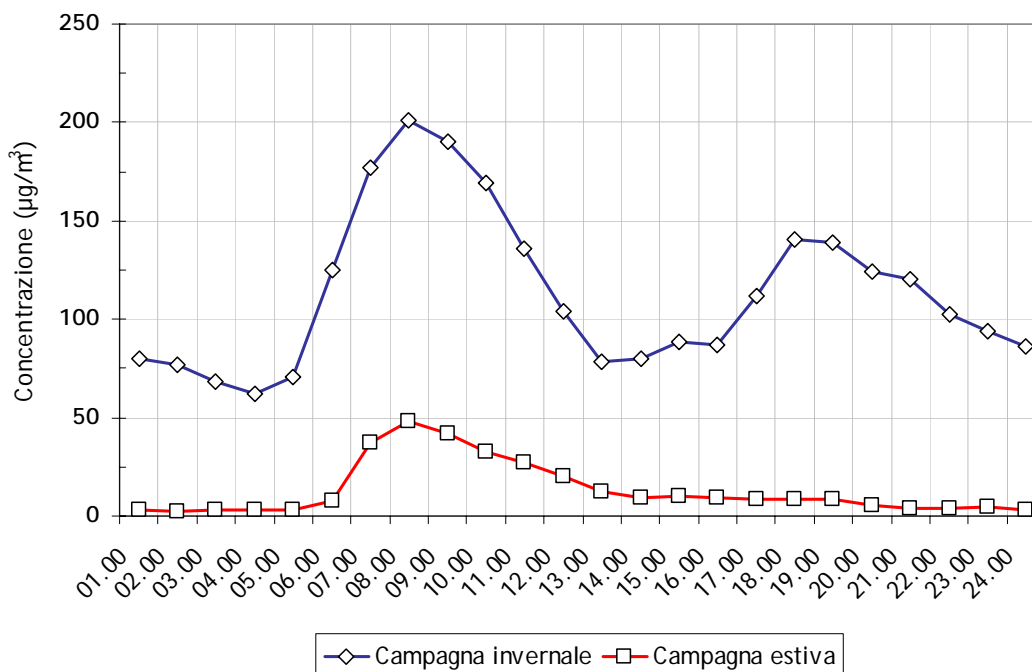
NO - Giorno Tipo



Durante il periodo oggetto di indagine le concentrazioni misurate durante il giorno tipo feriale e prefestivo presentavano un andamento temporale analogo, con un picco di concentrazione localizzato nella fascia mattutina compresa tra le ore 06.00 e le ore 09.00 per calare gradatamente durante la giornata raggiungendo i valori minimi durante le ore notturne, caratteristica questa di importanti arterie di collegamento. Nel giorno tipo feriale le concentrazioni presentano valori uniformi durante l'arco giornaliero con un lieve aumento localizzato alle ore 22.00, orario tipico di rientro dei fine settimana

Il grafico di confronto del giorno tipo feriale relativo ai due periodi di osservazione, pur avendo concentrazioni completamente differenti, con valori decisamente contenuti nella campagna estiva, mostra come gli andamenti temporali siano analoghi confermando le fasce orarie dei flussi di maggior traffico. E' infatti possibile osservare come il picco mattutino sia localizzato nella medesima fascia oraria in entrambe le stagioni. A differenza però del periodo invernale in estate le caratteristiche dispersive dell'atmosfera sembrano maggiori in quanto non si evidenzia un marcato picco nelle ore serali della giornata.

NO - Confronto giorno tipo



La determinazione dei flussi di traffico permette di confermare la caratterizzazione di viale della Repubblica come un'importante arteria di collegamento intercomunale.

Questa evidenza è avvalorata dalla discreta correlazione⁴ riscontrata nel data set raccolto lungo viale della Repubblica con i valori misurati dalla centralina urbana da traffico di Cormano⁵ (R=0.79); anche durante la campagna di misura condotta nel periodo invernale i valori misurati presentavano una correlazione analoga (R=0.8) con questa stazione fissa della rete regionale.

⁴ 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):
$$R = \frac{\text{cov}(x, y)}{\sqrt{\text{var}(x) \times \text{var}(y)}}$$

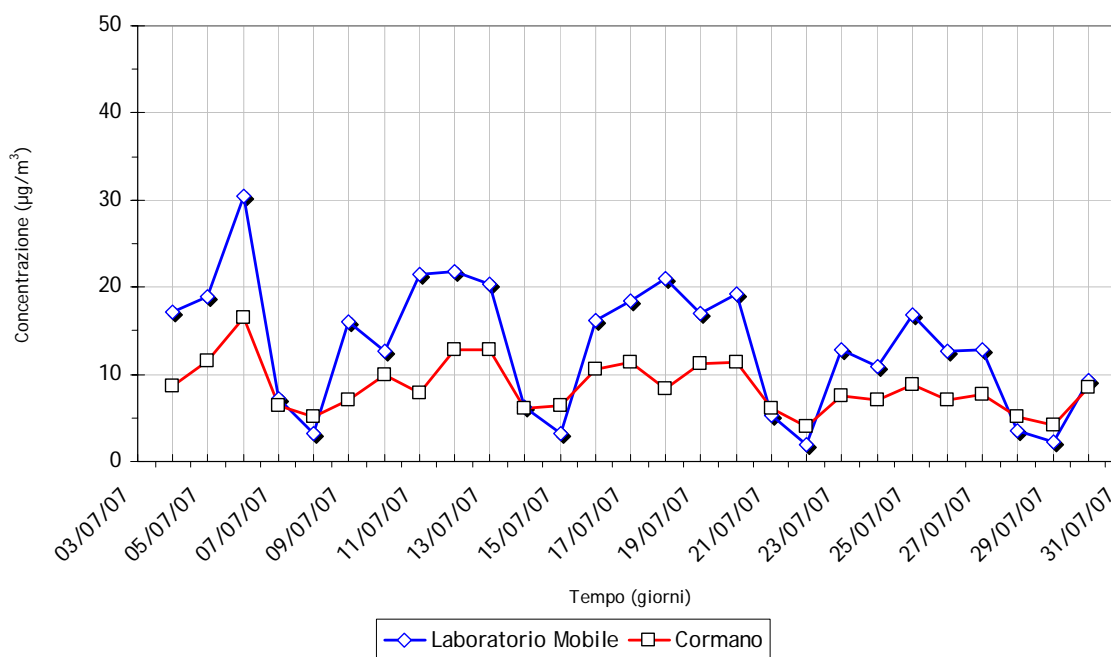
⁵ Non è stato possibile confrontare i dati raccolti con quelli della centralina di Cinisello Balsamo come nella precedente campagna invernale perché la stessa ha presentato dei disservizi in corrispondenza del periodo di osservazione con Laboratorio Mobile.

Tabella: matrice di correlazione tra il sito di misura e le centraline della rete provinciale prese a riferimento

	Lab. Mobile	Monza	Carate B.	Meda	Cormano	Sesto S.G.	Limbiate
Laboratorio Mobile	1.00						
Monza	0.65	1.00					
Carate Brianza	0.70	0.65	1.00				
Meda	0.58	0.24	0.54	1.00			
Cormano	0.79	0.75	0.61	0.41	1.00		
Sesto S. G.	0.75	0.62	0.51	0.35	0.77	1.00	
Limbiate	0.69	0.51	0.43	0.39	0.62	0.64	1.00

Nel sottostante grafico delle medie giornaliere viene ulteriormente evidenziata la discreta correlazione tra la stazione di Cormano ed il sito di misura; come è possibile osservare i trend sono analoghi anche se la postazione di viale Repubblica presenta valori costantemente superiori rispetto alla postazione fissa.

NO - Medie Giornaliere

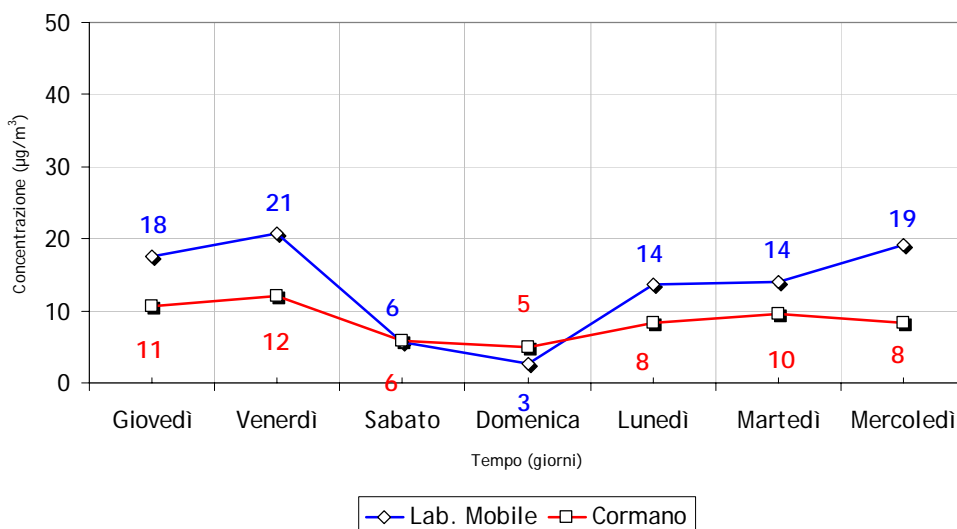


Ad ulteriore conferma della correlazione tra le due postazioni è possibile osservare l'analogia degli andamenti settimanali dell'NO misurati con laboratorio mobile con quelli della centralina di Cormano.

Come evidenziato nel grafico di confronto i due andamenti sono simili ma le concentrazioni registrate con laboratorio mobile sono mediamente più alte ad eccezione del week-end in cui i due andamenti risultano quasi coincidenti.

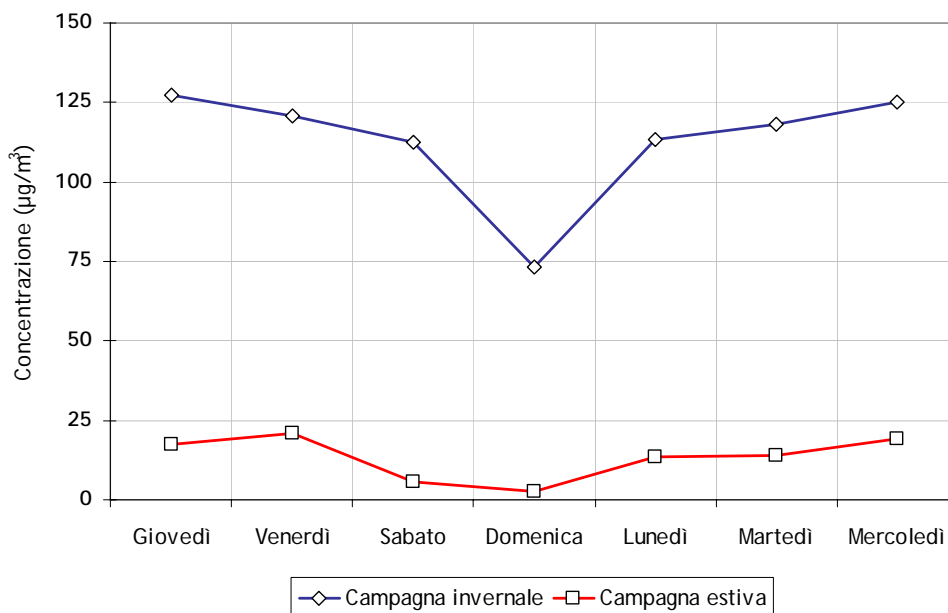
Essendo la scala settimanale l'unica scala temporale dove l'effetto della meteorologia (altro principale determinante delle concentrazioni) non ha alcuna influenza, con tale ulteriore rappresentazione è possibile evidenziare la stretta dipendenza tra traffico veicolare ed inquinamento atmosferico in entrambe le postazioni.

NO - Media Settimanale



A riprova di come questo inquinante sia tipico del periodo invernale, in cui sia le emissioni che le condizioni atmosferiche favoriscono l'accumulo nell'atmosfera, si riportano di seguito i grafici delle concentrazioni medie settimanali invernali ed estive.

NO - Confronto settimana tipo

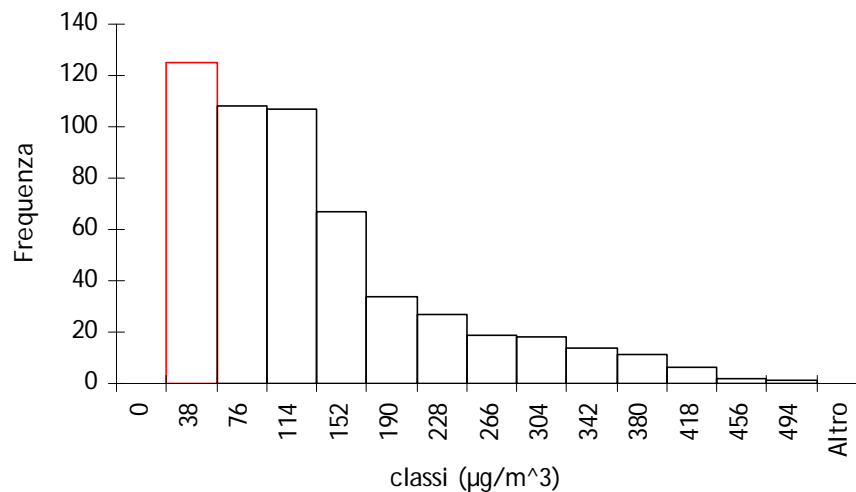


Sebbene i valori siano, in termini assoluti, decisamente diversi si osserva come la caratteristica comune in entrambe le situazioni sia una diminuzione delle concentrazioni in coincidenza dei fine settimana, periodo durante il quale, in qualsiasi periodo dell'anno, il traffico veicolare risulta maggiormente contenuto.

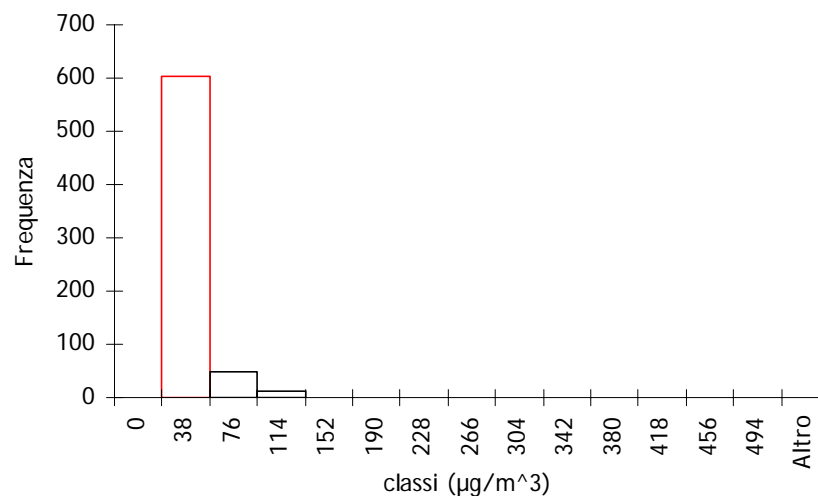
Si sono cercate infine delle analogie relativamente alle concentrazioni di NO durante i due periodi di rilevamento. Sono pertanto stati presi i dati relativi alle due campagne e sono stati divisi in classi (15 nella sottostante tabella). E' stato quindi tracciato un istogramma di frequenze in grado di determinare quali di queste classi di valori di NO sono state le più frequenti nei periodi considerati.

<i>classi</i>	<i>Frequenza invernale</i>	<i>Frequenza estiva</i>
0	0	0
38	125	603
76	108	49
114	107	13
152	67	1
190	34	0
228	27	0
266	19	0
304	18	0
342	14	0
380	11	0
418	6	0
456	2	0
494	1	0
Altro	0	0

Distribuzione delle concentrazioni di NO in periodo invernale



Distribuzione delle concentrazioni di NO in periodo estivo



Quello che emerge è che i valori di concentrazione più frequenti in entrambe le campagne sono inferiori ai 50 µg/m³

La concentrazione in aria di NO₂, oltre ad essere funzione della componente meteorologica, dipende dalla velocità di emissione di NO, dalla velocità di trasformazione di NO in NO₂ e dalla velocità di conversione di NO₂ in altre specie ossidate (nitrati).

Durante la campagna di misura la concentrazione media sul periodo del biossido di azoto si è attestata sugli **29 µg/m³** il valore massimo misurato è stato di **115 µg/m³** il giorno 17 luglio alle ore 08.00; durante il periodo di misura le concentrazioni si sono mantenute ampiamente al di sotto del limite di attenzione, fissato per questo inquinante a 200 µg/m³.

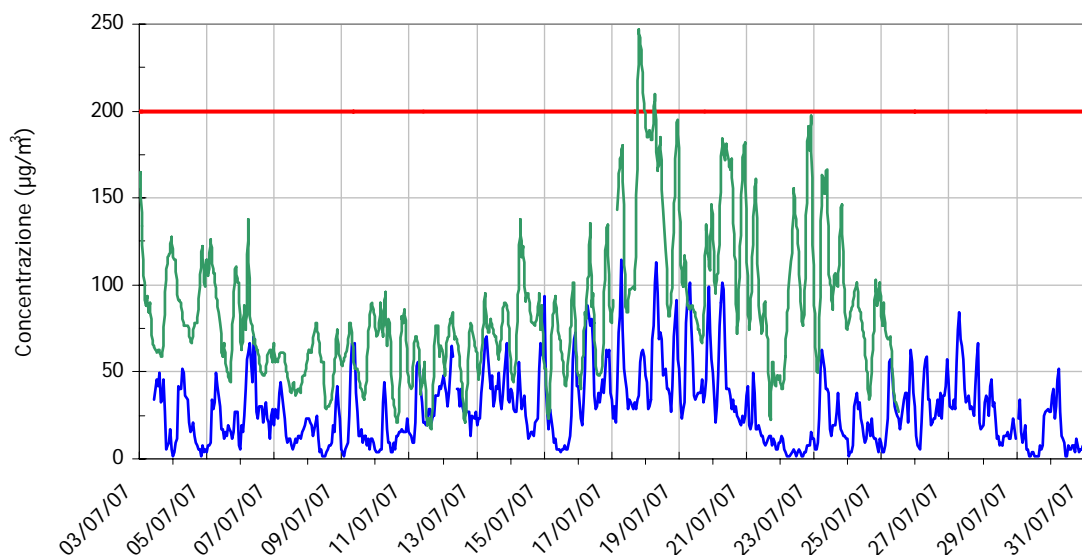
Nella sottostante tabella vengono confrontati i dati salienti di questo inquinante relativi alle due campagne di rilevamento.

NO ₂	CAMPAGNA ESTIVA	CAMPAGNA INVERNALE	INTERVALLO DI VARIABILITA'
concentrazione media del periodo (µg/m ³)	29.0	85.0	66%
concentrazione max. oraria (µg/m ³)	115.0	246.0	53%
concentrazione min. oraria (µg/m ³)	2.0	19.0	89%

Anche per l'NO₂ vi è un'evidente variabilità tra estate ed inverno (66%). A conferma delle maggiori capacità dispersive dell'atmosfera in periodo estivo viene qui di seguito riportato il grafico di confronto delle medie orarie relativamente ai due periodi di osservazione.

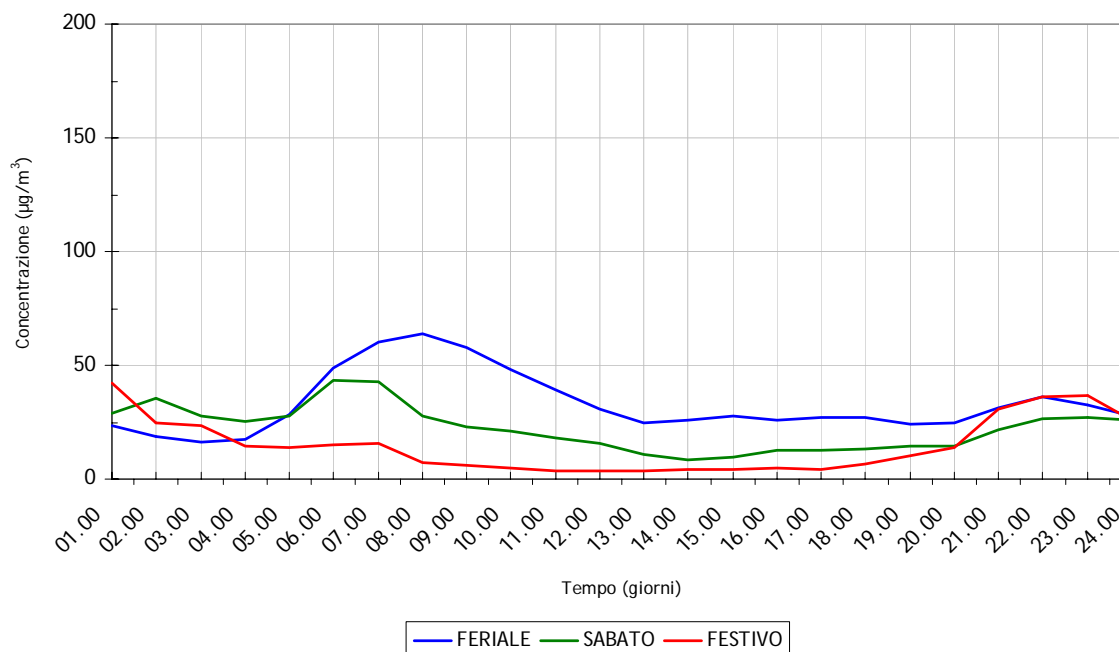
— Valore limite orario per la protezione della salute umana
— NO₂ - inverno

NO₂ - Medie Orarie



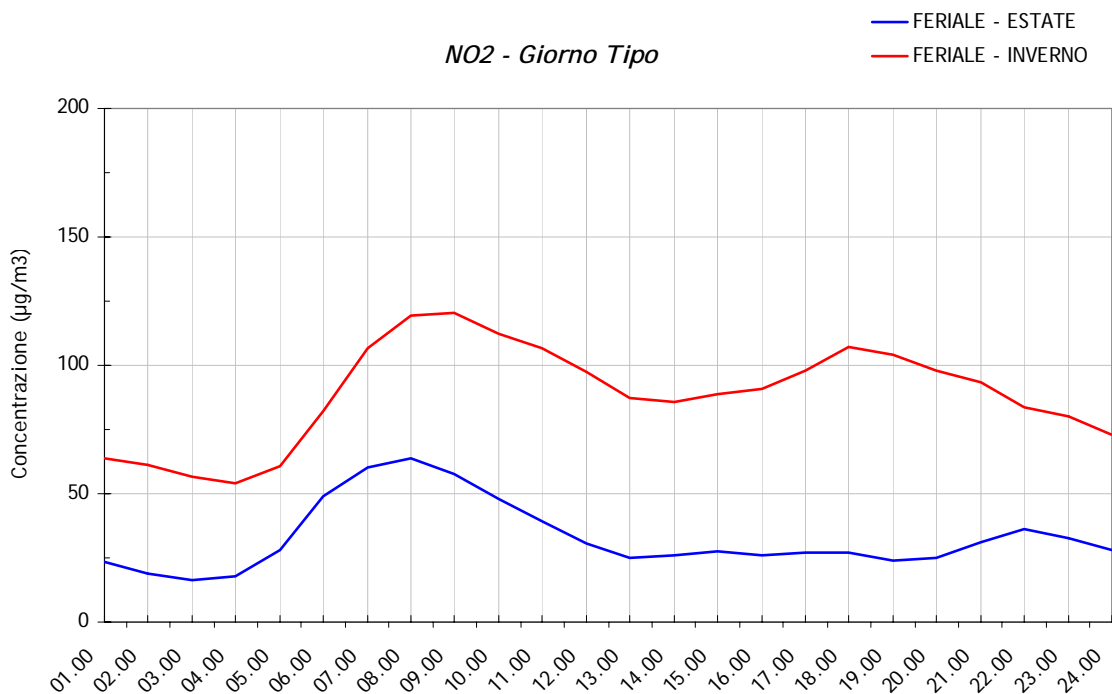
Poiché l'NO₂ è un inquinante secondario che si forma dalla reazione dell'NO è interessante esaminare il grafico del giorno tipo. L'andamento del biossido di azoto è simile a quello dell'NO anche se presenta caratteristiche dispersive minori; è possibile osservare infatti nel sottostante grafico come i picchi siano meno evidenti e come sia meno netta la diminuzione di questo inquinante in tarda serata. Infatti a differenza dell'NO, le cui concentrazioni dipendono direttamente dalle quantità emesse dalle sorgenti presenti nell'area, la formazione di NO₂ è più complessa, essendo un inquinante secondario non dipende direttamente dalla presenza della sorgente traffico ma, se sono presenti i suoi precursori esso continua a formarsi.

NO₂ - Giorno Tipo



Dal confronto dei due data set di dati si evidenzia come gli andamenti temporali per l'NO₂, come per l'NO, siano analoghi, presentando i picchi nel medesimo intervallo anche se in periodo estivo le concentrazioni sono molto ridotte.

NO₂ - Giorno Tipo

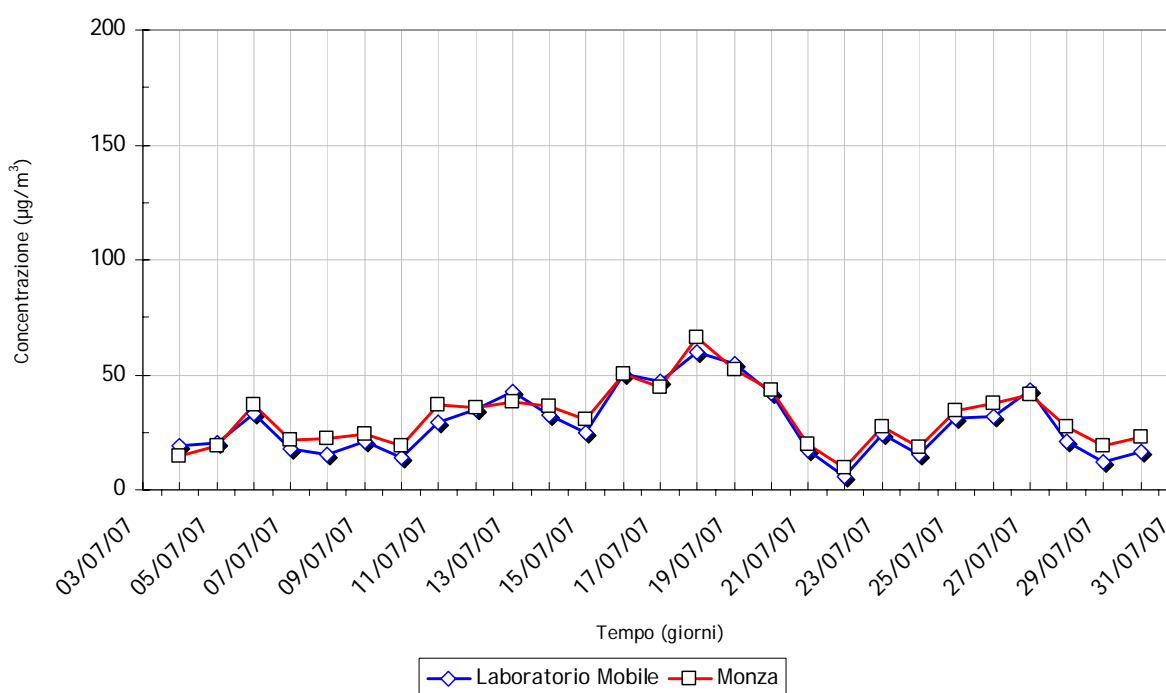


Dal calcolo dei coefficienti di Pearson si osserva come la miglior correlazione per questo inquinante sia con la centralina urbana di fondo di Monza, il valore ottenuto è coerente con il valore di correlazione calcolato durante la campagna invernale (R=0.84). Discreta risulta anche la correlazione con la centralina di Cormano (R=0.80)

Tabella: matrice di correlazione tra il sito di misura e le centraline della rete provinciale prese a riferimento

	Lab. Mobile	Monza	Carate B.	Meda	Cormano	Sesto S.G.	Limbiate
Laboratorio Mobile	1.00						
Monza	0.84	1.00					
Carate Brianza	0.60	0.52	1.00				
Meda	0.69	0.54	0.78	1.00			
Cormano	0.80	0.85	0.45	0.50	1.00		
Sesto San Giovanni	0.74	0.72	0.40	0.48	0.81	1.00	
Limbiate	0.83	0.82	0.51	0.60	0.82	0.71	1.00

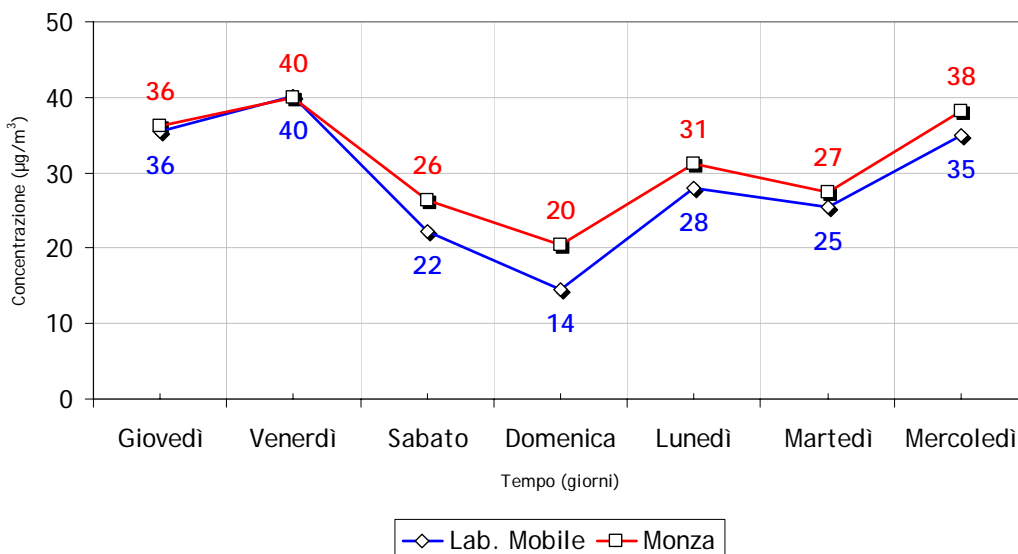
NO₂ - Medie Giornaliere



Anche dal grafico delle concentrazioni medie giornaliere si evidenzia l'analogia degli andamenti con la vicina stazione fissa di Monza con valori quasi coincidenti.

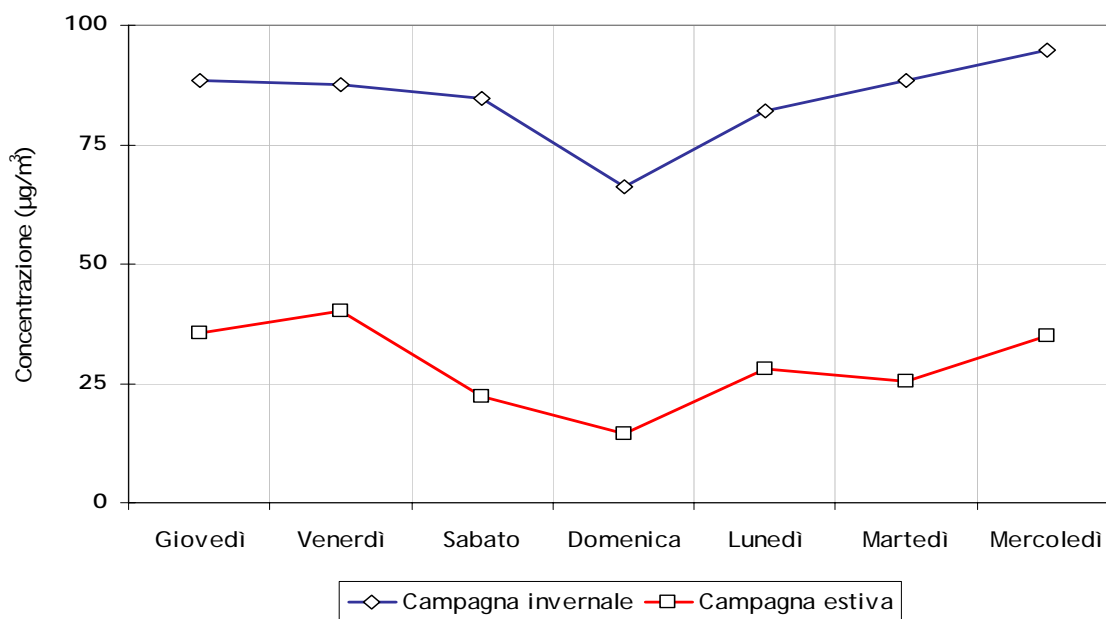
Dall'andamento settimanale si evidenzia poi una diminuzione delle concentrazioni durante il fine settimana, in particolare la domenica i valori di NO₂ si riducono del 20%, indice di una diminuzione del traffico veicolare.

NO₂ - Media Settimanale



Dal confronto degli andamenti settimanali riferiti alle due campagne di misura si evidenzia ancora l'analogia dei trend.

NO₂ - Confronto settimana tipo

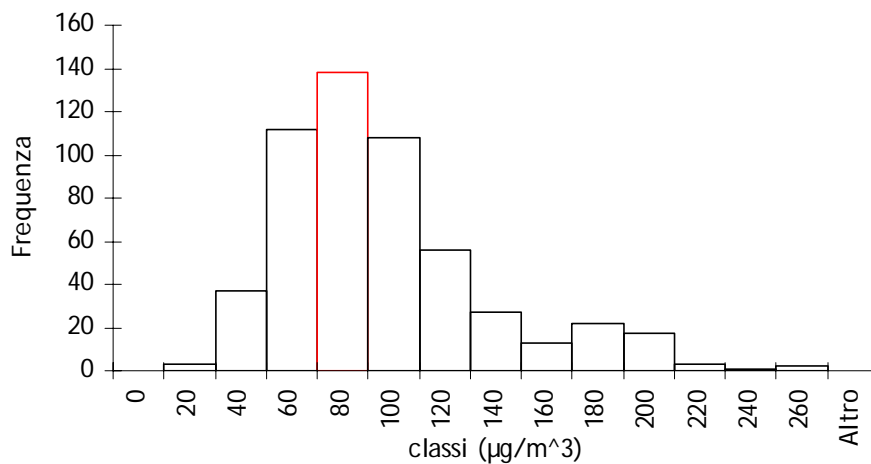


Come osservato precedentemente per l'NO, anche per questo inquinante tipico del periodo invernale, le concentrazioni medie settimanali nel periodo estivo presentano valori decisamente più contenuti rispetto a quelli invernali, pur mantenendo un andamento temporale analogo. Mediamente si osserva una diminuzione media del 67%; la minore diminuzione si rileva nel giorno del venerdì (54%) in cui il traffico veicolare lungo tale tratto viario risulta più sostenuto.

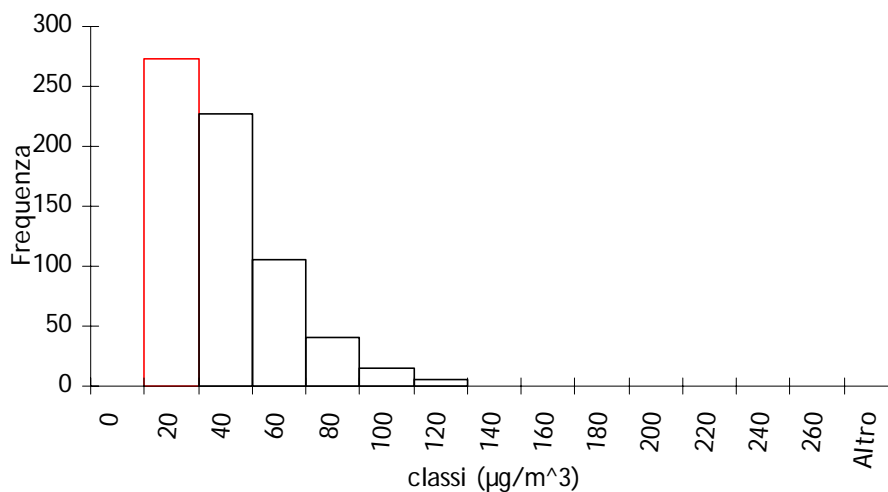
Si sono cercate infine delle analogie relativamente alle concentrazioni di NO₂ durante i due periodi di rilevamento. Sono pertanto stati presi i dati relativi alle due campagne e sono stati divisi in classi (15 nella sottostante tabella). E' stato quindi tracciato un istogramma di frequenze in grado di determinare quali di queste classi di valori di NO₂ sono state le più frequenti nei periodi considerati.

<i>classi</i>	<i>Frequenza invernale</i>	<i>Frequenza estiva</i>
0	0	0
20	3	273
40	37	227
60	112	105
80	138	41
100	108	15
120	56	5
140	27	0
160	13	0
180	22	0
200	17	0
220	3	0
240	1	0
260	2	0
Altro	0	0

Distribuzione delle concentrazioni di NO₂ in periodo invernale



Distribuzione delle concentrazioni di NO₂ in periodo estivo



Mentre per il periodo invernale si evidenziano come valori di concentrazione più frequente, quelli ricompresi nell'intervallo 60 µg/m³<[NO₂]<100 µg/m³ nel periodo estivo l'intervallo è 20 µg/m³<[NO₂]<60 µg/m³.

CO

L'accumulo di **monossido di carbonio** è favorito soprattutto nelle aree urbane, quando i veicoli sono in fase di decelerazione e 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.

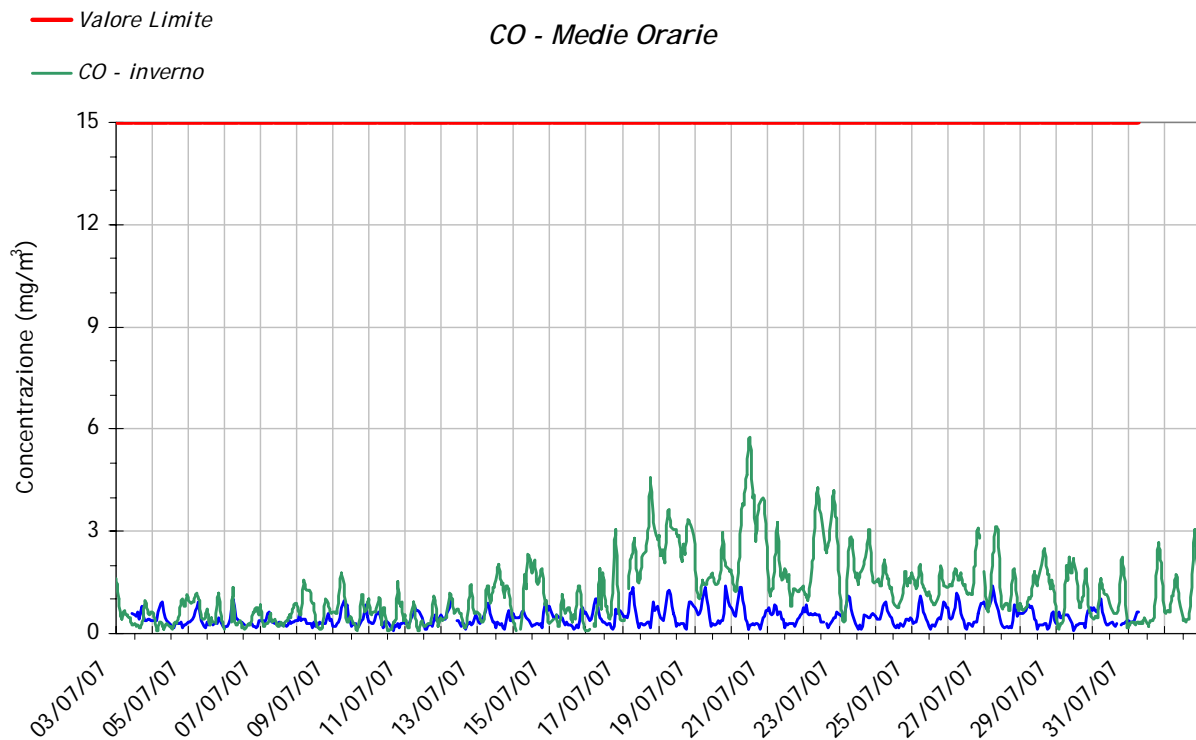
Il valore medio sul periodo è stato di 0.5 mg/m³, il valore massimo orario di 1.4 mg/m³ è stato osservato nei seguenti giorni: 17.07.2007 alle ore 08.00; 19.07.2007 alle ore 08.00 e alle ore 22.00; il valore massimo mediato sulle 8 ore è risultato pari a 0.9 mg/m³.

Nella sottostante tabella vengono confrontati i dati salienti di questo inquinante relativi ai due periodi di misura:

CO	CAMPAGNA ESTIVA	CAMPAGNA INVERNALE	INTERVALLO DI VARIABILITA'
concentrazione media del periodo (mg/m ³)	0.5	1.3	62%
concentrazione max. oraria (mg/m ³)	1.4	5.8	76%
concentrazione min. oraria (mg/m ³)	0.1	0.1	//

Anche nel caso del CO la variabilità estate/inverno è alta, con concentrazioni di molto inferiori in periodo estivo (62%).

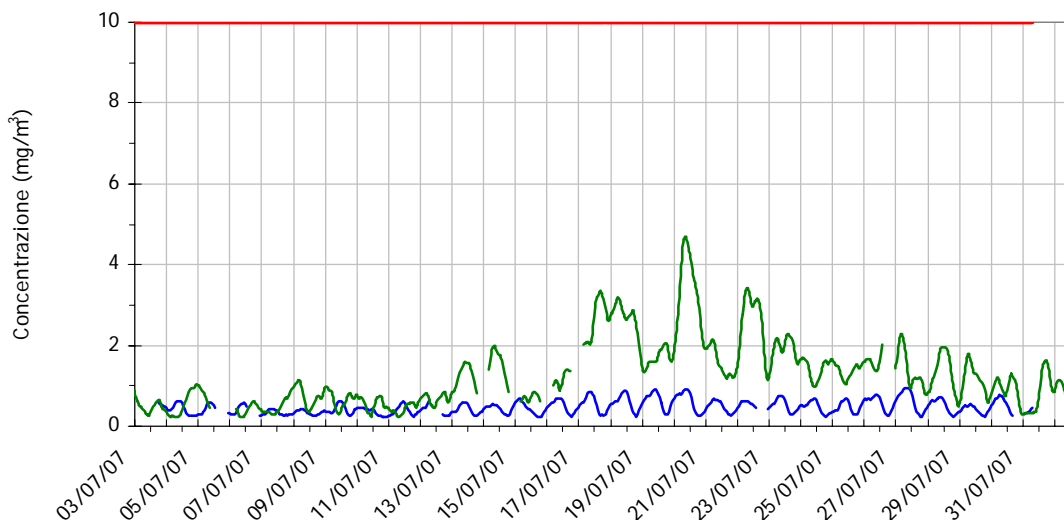
I sottostanti grafici di confronto delle medie orarie e delle medie di 8h, nei due periodi di misura confermano ulteriormente questo dato.



— Valore Limite - Media di 8 ore

— CO - inverno

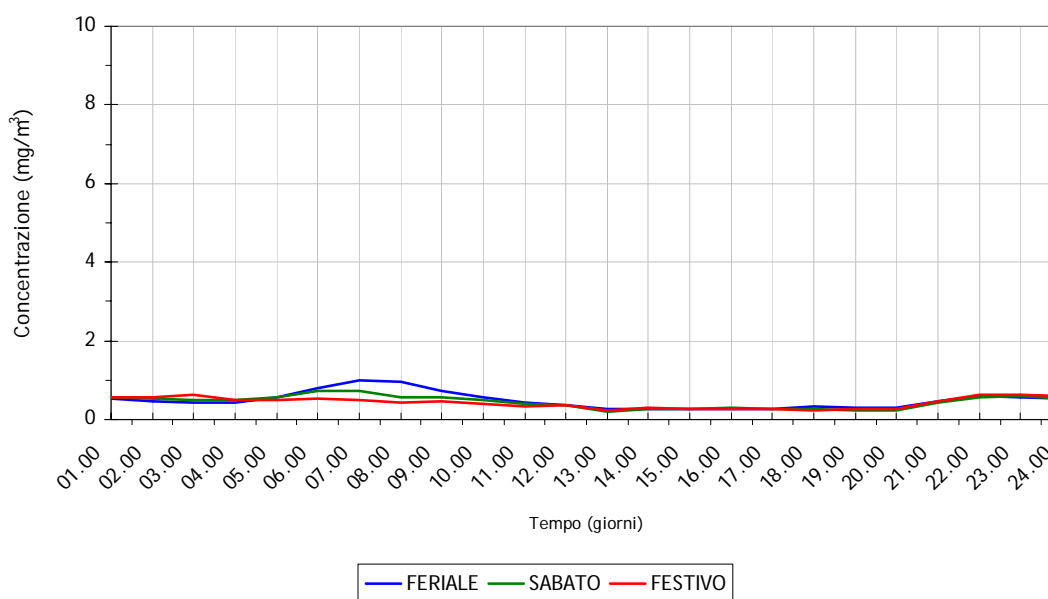
CO - Medie di 8 Ore



Essendo anche il CO un buon tracciante del traffico veicolare, osservando il *grafico del giorno tipo* è possibile ottenere un'ulteriore conferma dell'andamento dei flussi di traffico. Come evidenziato nel grafico, i picchi di concentrazione si registrano nelle medesime fasce orarie dell'NO.

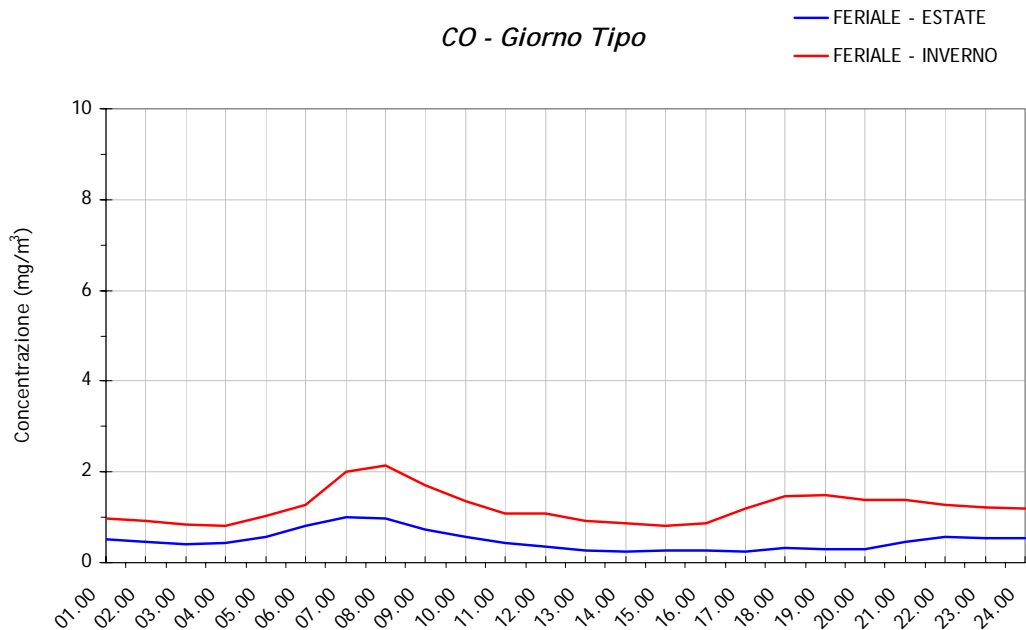
I valori si mantengono sostanzialmente costanti durante l'intera giornata con un lieve aumento delle concentrazioni tra le ore 06.00 e le 12.00 del mattino, un calo nelle ore centrali della giornata ed un accrescimento nelle ore serali.

CO - Giorno Tipo



Il grafico di confronto del giorno tipo feriale relativo ai due periodi di osservazione, pur avendo concentrazioni completamente differenti, con valori decisamente contenuti nella campagna estiva, mostra come gli andamenti temporali siano analoghi confermando le fasce orarie dei flussi

di maggior traffico. E' infatti possibile osservare come il picco mattutino sia localizzato nella medesima fascia oraria in entrambe le stagioni. A differenza però del periodo invernale in estate le caratteristiche dispersive dell'atmosfera sembrano maggiori in quanto non si evidenzia un marcato picco nelle ore serali della giornata.



Non è stato possibile verificare nemmeno per il CO se vi fosse una buona correlazione tra i dati di CO raccolti nella postazione con Laboratorio mobile con la centralina di Cinisello Balsamo a causa di un disservizio di quest'ultima.

Com'è possibile osservare dalla sottostante tabella non vi è una buona correlazione con nessuna delle centraline prese a riferimento a conferma delle caratteristiche di questo tipo di inquinante di essere tipico del sito di prelievo.

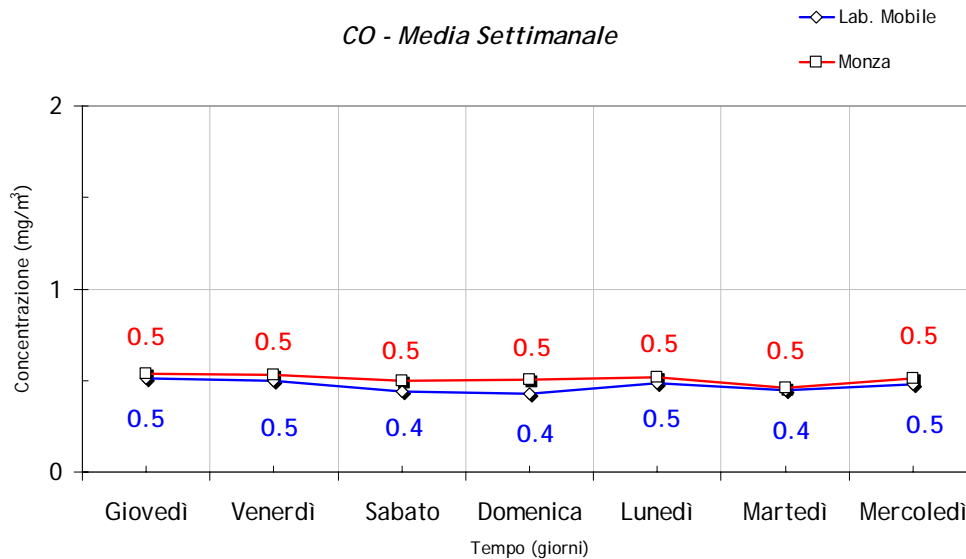
Tabella: matrice di correlazione tra il sito di misura e le centraline della rete provinciale prese a riferimento

	<i>Lab. Mobile</i>	<i>Monza</i>	<i>Carate</i>	<i>Meda</i>	<i>Cormano</i>	<i>Sesto</i>	<i>Limbiate</i>
Lab. Mobile	1.00						
Monza	0.62	1.00					
Carate	0.27	0.20	1.00				
Meda	0.21	0.16	-0.02	1.00			
Cormano	0.47	0.55	0.12	0.13	1.00		
Sesto	0.16	0.41	0.16	0.29	0.23	1.00	
Limbiate	0.29	0.32	-0.11	0.74	0.27	0.24	1.00

Si può comunque osservare una lieve correlazione con la centralina del comune di Monza.

Questa evidenza sembrerebbe suggerire che i valori di CO registrati presso la postazione di viale della Repubblica in periodo estivo siano paragonabili a valori di fondo urbano.

La corrispondenza della distribuzione temporale delle concentrazioni di CO a Muggiò con la centralina di Monza può essere ben evidenziata osservando il grafico dell'andamento settimanale.



Se si esaminano poi gli intervalli di variabilità temporale settimanale relativi ai due periodi di misura risulta evidente la scarsa variabilità di concentrazione in entrambi i casi.

Questo dato sembrerebbe quindi suggerire che il contributo del traffico veicolare a questo tipo di inquinante è molto ridotto anche nelle ore di punta, in situazioni di traffico congestionato.

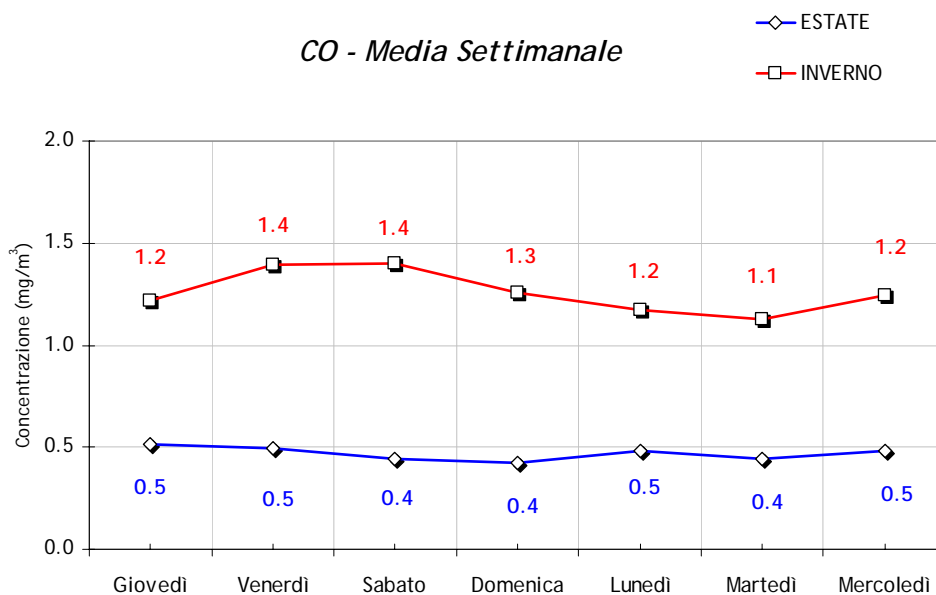


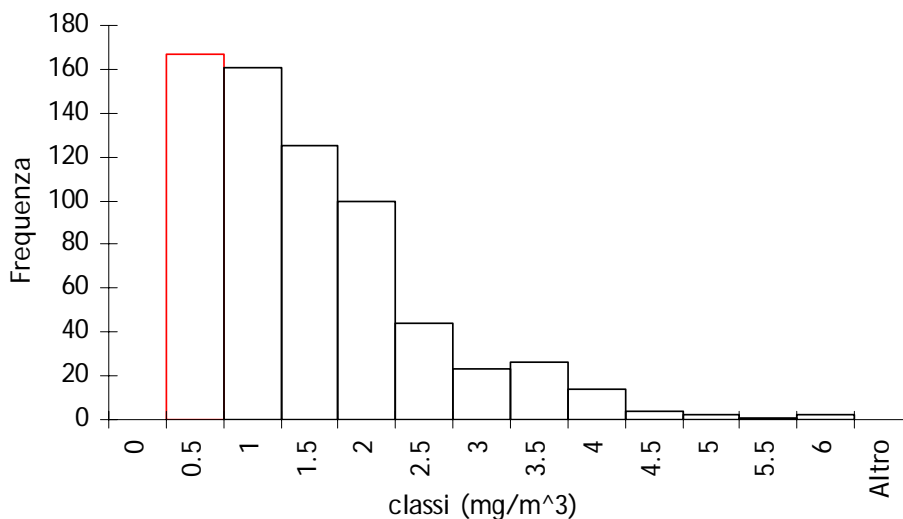
Tabella 1 - intervalli di variabilità temporale degli andamenti medi del CO relativi alla postazione mobile di viale della Repubblica

PERIODO	max/min settimanale
ESTATE	0.5 ÷ 0.4
INVERNO	1.4 ÷ 1.1

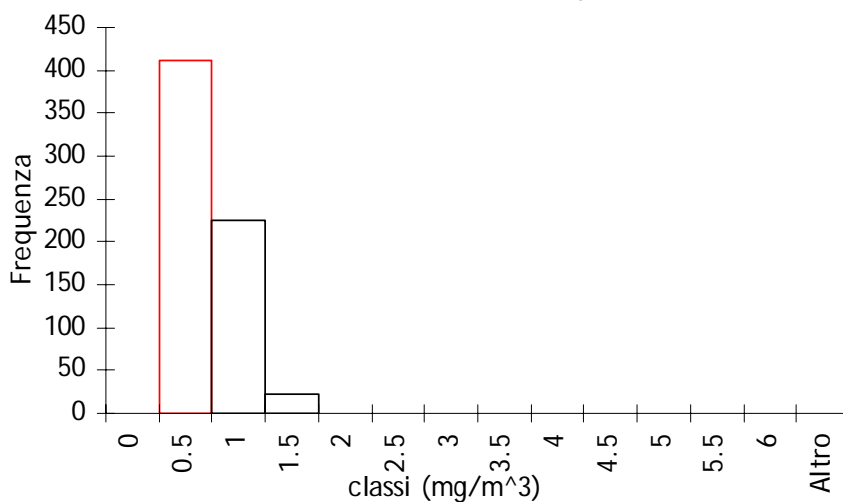
Si sono cercate infine delle analogie relativamente alle concentrazioni di CO durante i due periodi di rilevamento. Sono pertanto stati presi i dati relativi alle due campagne e sono stati divisi in classi (14 nella sottostante tabella). E' stato quindi tracciato un istogramma di frequenze in grado di determinare quali di queste classi di valori di CO sono state le più frequenti nei periodi considerati.

<i>classi</i>	<i>Frequenza invernale</i>	<i>Frequenza estiva</i>
0.0	0	0
0.5	167	412
1.0	161	225
1.5	125	23
2.0	100	0
2.5	44	0
3.0	23	0
3.5	26	0
4.0	14	0
4.5	4	0
5.0	2	0
5.5	1	0
6.0	2	0
Altro	0	0

Distribuzione delle concentrazioni di CO in periodo invernale



Distribuzione delle concentrazioni di CO in periodo estivo



Mentre per il periodo invernale i valori sono distribuiti su più classi di frequenza in periodo estivo le classi di frequenza interessate sono solo 3. Si evidenziano comunque come valori di

concentrazione più frequente in entrambi i periodi di osservazione siano quelli appartenenti alla classe di frequenza più bassa (classe 0.5).

O₃

Per quanto riguarda l'ozono, mentre la prima campagna era stata condotta in periodo invernale, non particolarmente critico per questo inquinante di natura fotochimica, l'attuale campagna è stata svolta in un periodo favorevole alla sua formazione.

Nel mese di Luglio le condizioni climatologiche in coincidenza dei periodi più caldi e soleggiati del mese hanno portato a concentrazioni di O₃ non trascurabili. A causa infatti della situazione meteorologica che ha caratterizzato il periodo di misura, con temperature elevate, scarse precipitazioni e numerose giornate soleggiate, la produzione di ozono è stata elevata facendo registrare numerosi superamenti sia della soglia di attenzione fissata per questo inquinante a 180 µg/m³, sia della soglia di protezione della salute umana, fissata a 120 µg/m³ per la media mobile di 8 h.

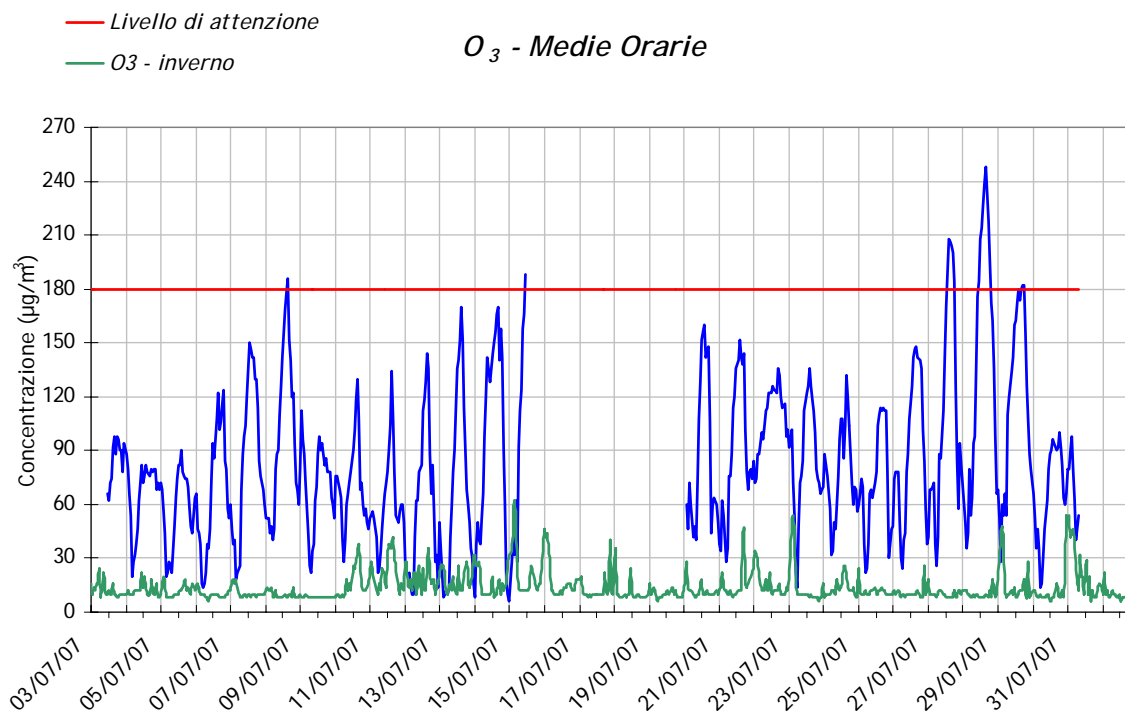
Il valore medio del periodo, il valore massimo orario ed il valore massimo mediato sulle 8 ore sono risultati rispettivamente pari a **84 µg/m³**, **248 µg/m³** e **217 µg/m³**.

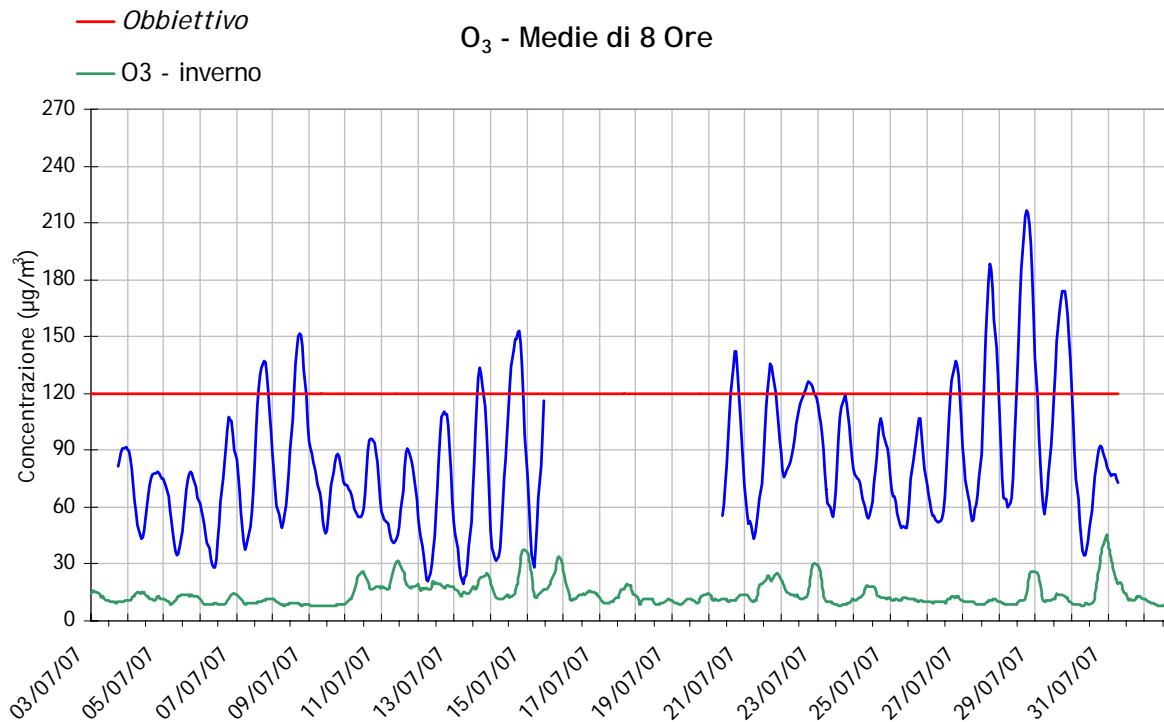
Nella sottostante tabella vengono confrontati i dati salienti di questo inquinante nei due periodi di misura:

O ₃	CAMPAGNA ESTIVA	CAMPAGNA INVERNALE	INTERVALLO DI VARIABILITA'
concentrazione media del periodo (µg/m ³)	84	14	83%
concentrazione max. oraria (µg/m ³)	248	62	75%
concentrazione min. oraria (µg/m ³)	6	6	//

Nel caso del O₃ la variabilità estate/inverno è alta, con concentrazioni molto inferiori in periodo invernale (83%).

I sottostanti grafici di confronto delle medie orarie e delle medie di 8h, nei due periodi di misura confermano ulteriormente questo dato.





Nelle sottostanti tabelle si riportano i superamenti della soglia di attenzione e della soglia di protezione della salute umana registrati durante la campagna estiva:

Tabella: superamento soglia di attenzione

DATA	ORA	Concentrazione ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	N. SUPERAMENTI
08/07/07	16.00	186	1
15/07/07	12.00	188	1
27/07/07	14.00	190	6
	15.00	208	
	16.00	206	
	17.00	204	
	18.00	200	
	19.00	184	
28/07/07	12.00	184	8
	13.00	208	
	14.00	214	
	15.00	226	
	16.00	238	
	17.00	248	
	18.00	218	
	19.00	196	
29/07/07	18.00	182	2
	19.00	182	

Tabella: superamento soglia di protezione della salute umana

DATA	ORA	Concentrazione ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	N. SUPERAMENTI
07/07/07	16.00	123	7
	17.00	130	
	18.00	134	
	19.00	137	
	20.00	136	
	21.00	130	
	22.00	121	
08/07/07	15.00	123	8
	16.00	136	
	17.00	144	
	18.00	150	
	19.00	152	
	20.00	151	
	21.00	145	
13/07/07	17.00	129	4
	18.00	133	
	19.00	131	
	20.00	124	
14/07/07	14.00	123	9
	15.00	134	
	16.00	143	
	17.00	149	
	18.00	149	
	19.00	153	
	20.00	153	
20/07/07	17.00	133	5
	18.00	143	
	19.00	142	
	20.00	132	
	21.00	120	
21/07/07	16.00	121	6
	17.00	129	
	18.00	136	
	19.00	134	
	20.00	129	
22/07/07	16.00	121	8
	17.00	122	
	18.00	125	
	19.00	126	
	20.00	126	
	21.00	125	
	22.00	124	
26/07/07	18.00	127	5
	19.00	134	
	20.00	137	
	21.00	135	
	22.00	130	

DATA	ORA	Concentrazione ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	N. SUPERAMENTI
27/07/07	15.00	130	10
	16.00	151	
	17.00	165	
	18.00	179	
	19.00	188	
	20.00	186	
	21.00	175	
	22.00	159	
	23.00	145	
	24.00	129	
28/07/07	13.00	127	12
	14.00	147	
	15.00	167	
	16.00	185	
	17.00	204	
	18.00	214	
	19.00	217	
	20.00	215	
	21.00	209	
	22.00	200	
29/07/07	01.00	140	12
	14.00	132	
	15.00	148	
	16.00	156	
	17.00	163	
	18.00	169	
	19.00	174	
	20.00	174	
	21.00	169	
	22.00	161	
30/07/07	23.00	150	1
	24.00	138	

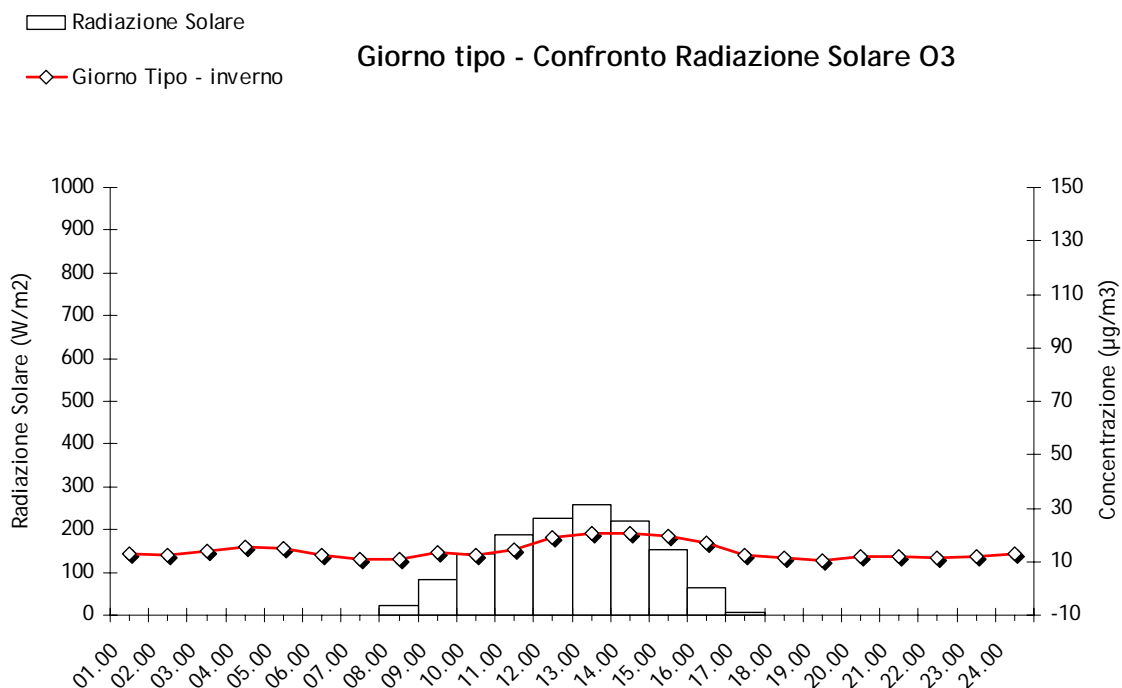
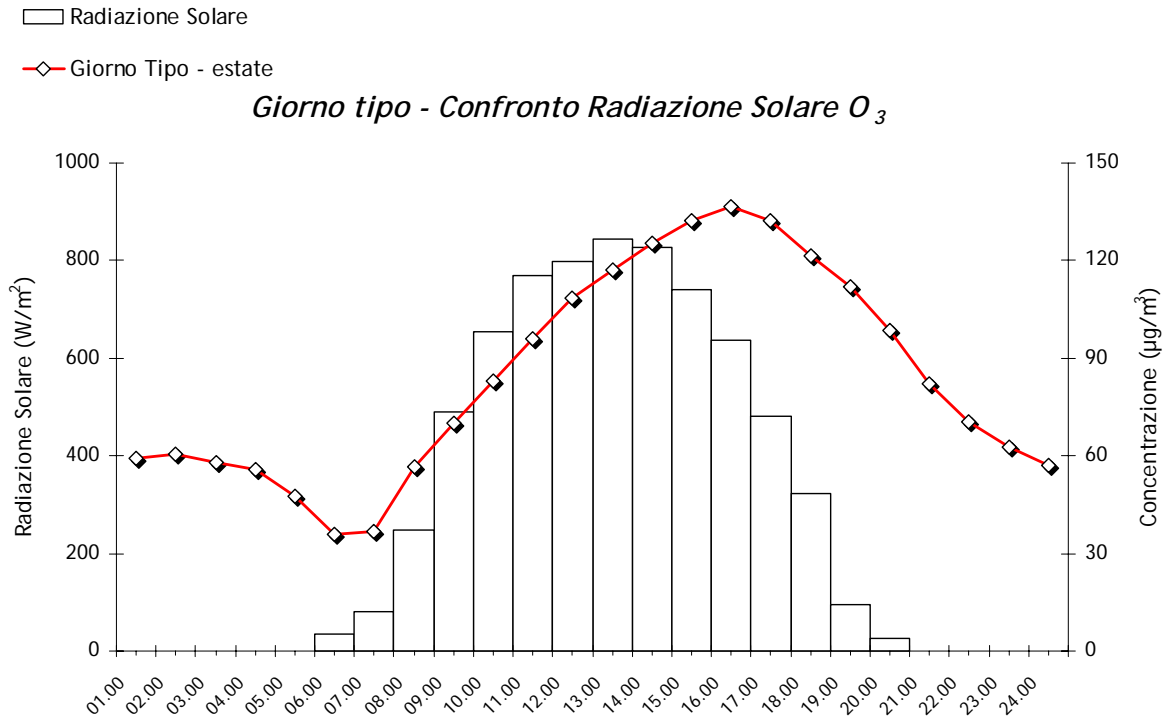
Per cercare di interpretare i dati nelle due diverse campagne, è stata considerata la radiazione globale, componente fondamentale per la formazione dell'ozono.

RADIAZIONE SOLARE	CAMPAGNA ESTIVA	CAMPAGNA INVERNALE	INTERVALLO DI VARIABILITA'
radiazione media del periodo (W/m^2)	294.3	61.0	79%
radiazione max giornaliera (W/m^2)	342.3	135.8	60%
radiazione min giornaliera (W/m^2)	168.3	9.0	95%

Come si può vedere dai dati in tabella la variabilità della radiazione media giornaliera tra estate ed inverno è elevata (79%) ed è dell'ordine della variabilità delle concentrazioni di ozono tra estate e inverno (83%).

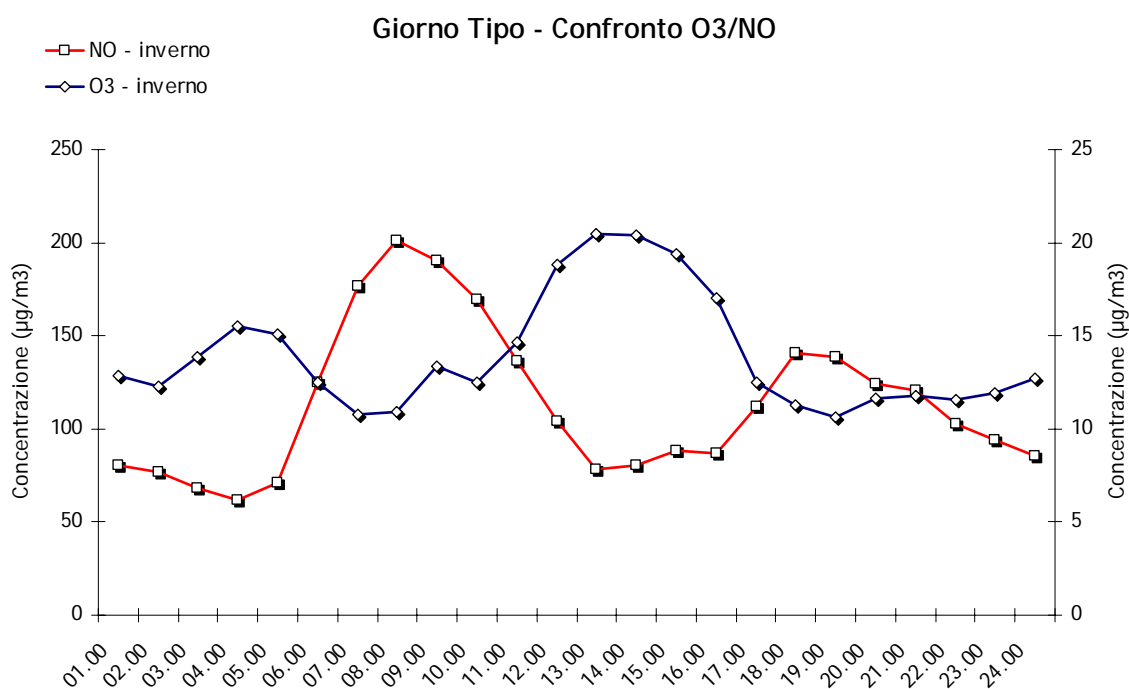
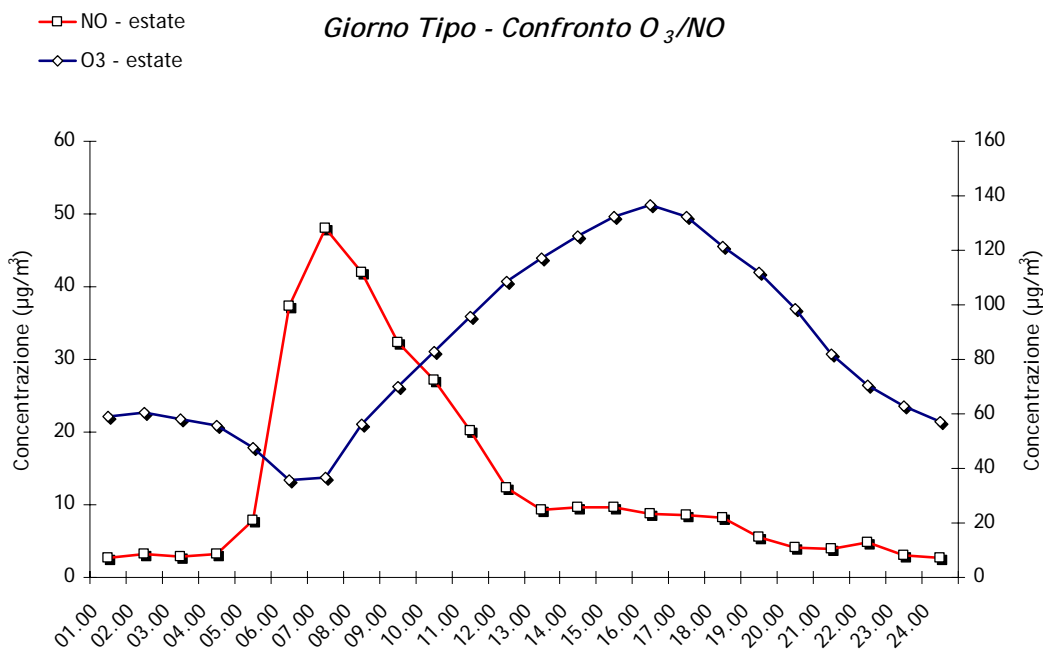
Giorno tipo e medie giornaliere

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 di tipo a campana con un massimo poco dopo il periodo di maggior insolazione (generalmente tra le 14.00 e le 17.00).



Le concentrazioni di ozono poi tendono a calare nelle vicinanze di sorgenti di emissione di NO questo perché l' NO tende a reagire con l'O₃ portando alla formazione di NO₂.

Tale comportamento è possibile verificarlo nel grafico di seguito riportato in cui si sono confrontate le concentrazioni medie giornaliere di ozono e ossido di azoto nel periodo oggetto dell'indagine; le concentrazioni minime di ozono si presentano in corrispondenza delle concentrazioni massime di NO e viceversa.



Le concentrazioni di ozono misurate dal Laboratorio Mobile risultano in linea con quelle registrate dalle centraline prese a riferimento.

La matrice di Pearson calcolata sull'intero set di dati orari mostra un'ottima correlazione con la vicina stazione urbana da fondo di Monza⁶ (R = 0.95) che presenta un andamento molto simile, con valori quasi coincidenti. Tale correlazione conferma la discreta corrispondenza osservata durante la campagna invernale (R = 0.72).

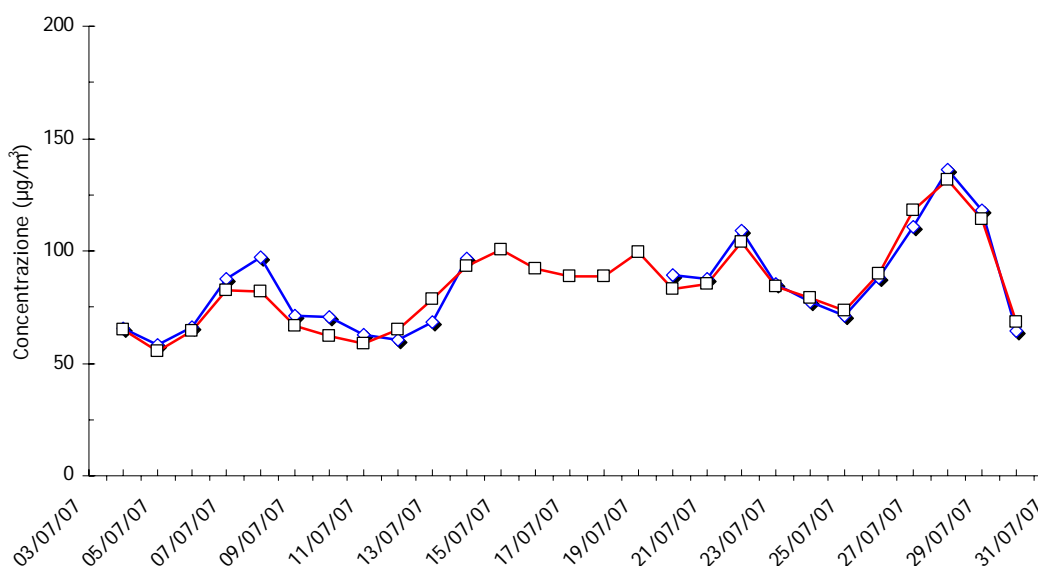
⁶ Non è stato possibile fare un confronto con la centralina di Cinisello in quanto quest'ultima non è dotata di analizzatore per la rilevazione dell'ozono.

Tabella: matrice di correlazione tra il sito di misura e le centraline della rete provinciale prese a riferimento

	LAB. MOBILE	Monza	Carate	Meda	Cormano	Limbiate
LAB. MOBILE	1.00					
Monza	0.95	1.00				
Carate	0.77	0.80	1.00			
Meda	0.89	0.90	0.83	1.00		
Cormano	0.92	0.94	0.78	0.87	1.00	
Limbiate	0.94	0.96	0.79	0.93	0.95	1.00

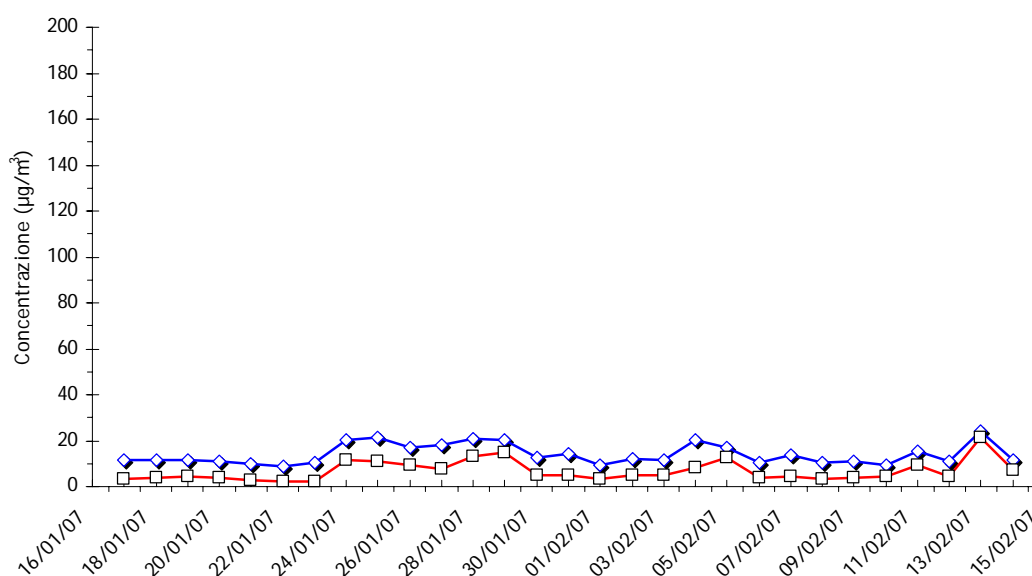
◆ Laboratorio Mobile - estate
□ Monza estate

O₃ - Medie Giornaliere

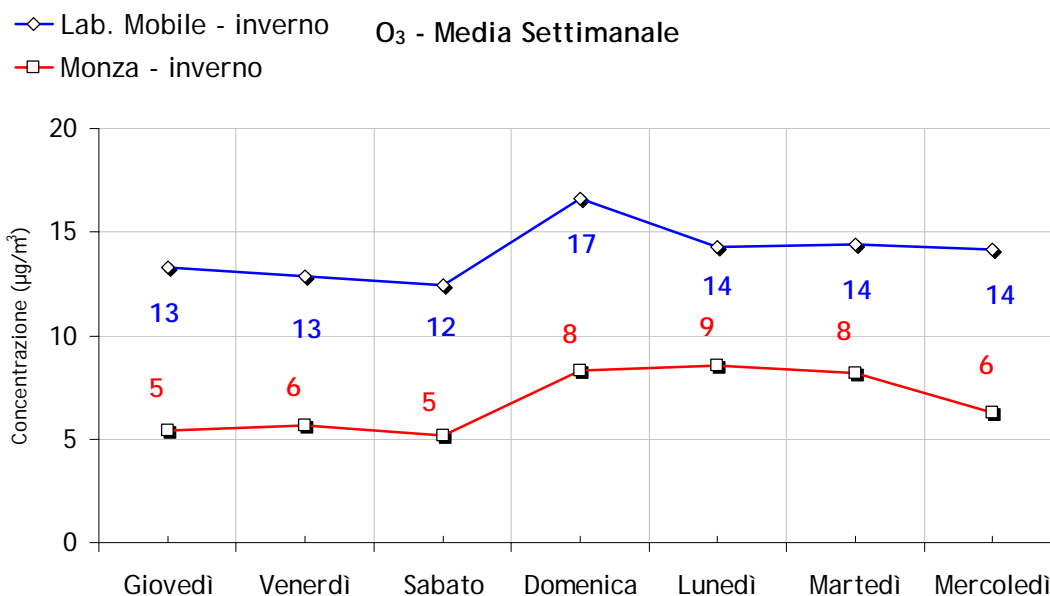
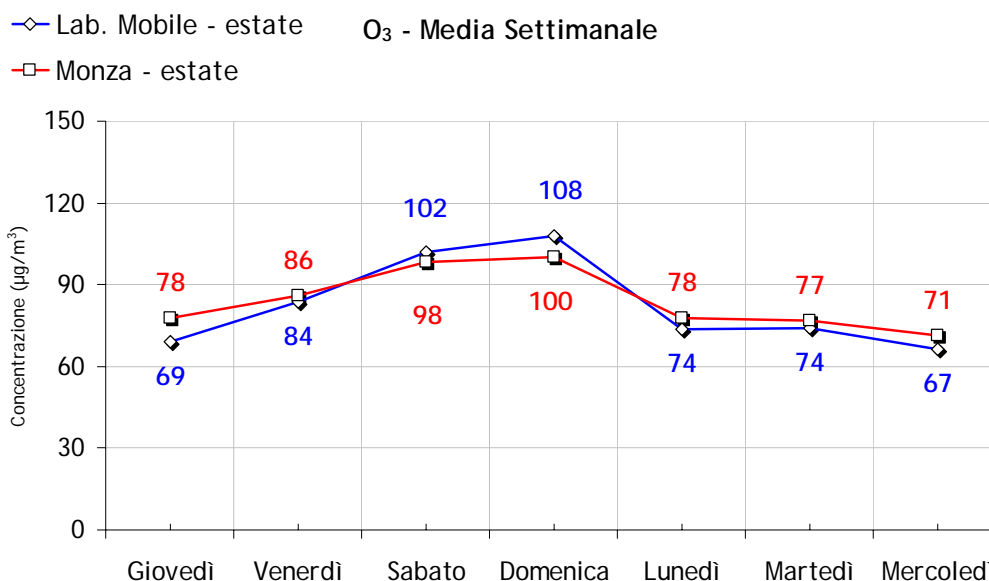


◆ Laboratorio Mobile - inverno
□ Monza - inverno

O₃ - Medie Giornaliere

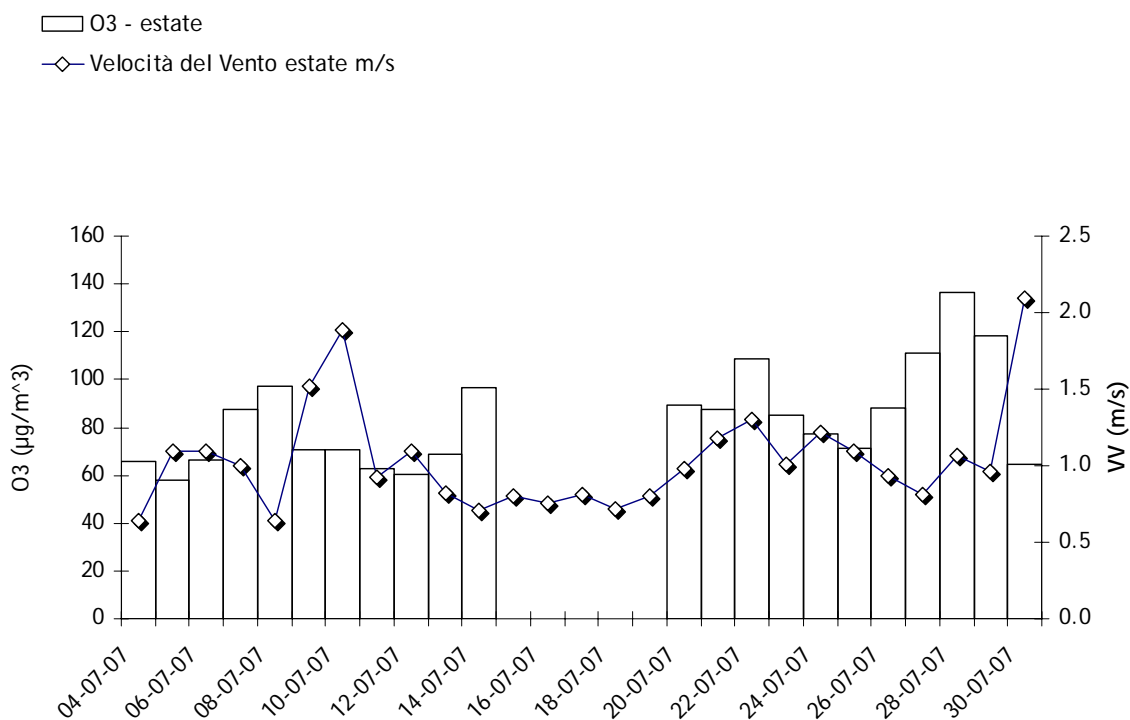
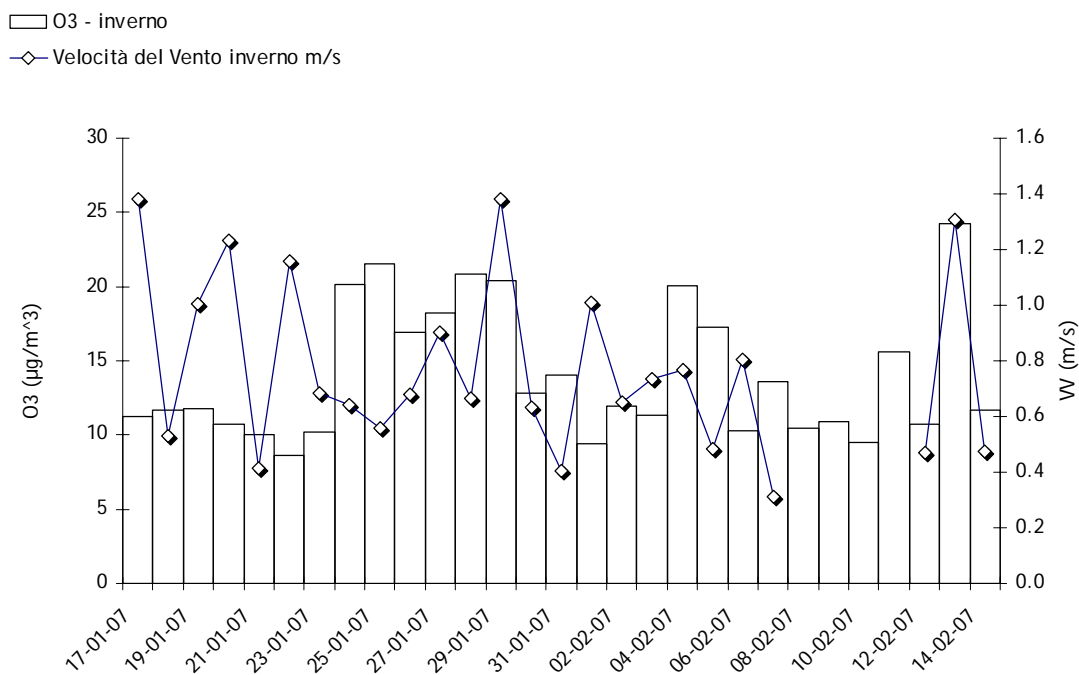


Tale correlazione è confermata anche dal grafico delle medie settimanali ove è possibile osservare come i picchi di concentrazione siano presenti nel fine settimana dove si ha un calo delle concentrazioni di NO.



La correlazione tra le due postazioni (fissa/mobile) in entrambi i periodi di osservazione sembrerebbe avvalorare ulteriormente quanto ipotizzato nella prima campagna di misura ovvero che la formazione dell'ozono nel sito di prelievo è da riferirsi a fenomeni di trasporto. Analizzando infatti l'andamento anemologico registrato dalla stazione meteo del Laboratorio Mobile si osserva come i settori maggiormente interessati da fenomeni ventosi siano stati in entrambe le campagne, quelli Est – Nord Est e Ovest – Sud Ovest, con una maggiore frequenza di venti provenienti dal quadrante di Sud-Ovest. Poiché 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 in particolare nelle aree sottovento rispetto a grossi agglomerati urbani, in accordo con la caratteristica di questo inquinante di essere di natura ubiquitaria.

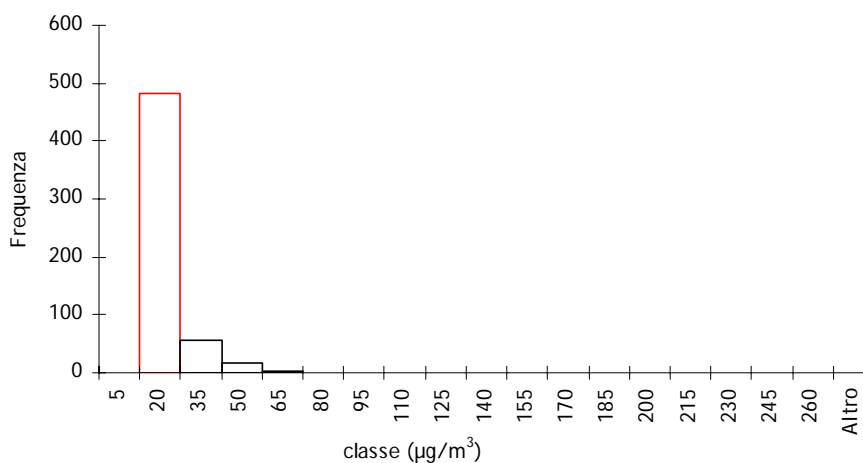
I sottostanti grafici sembrerebbero confermare quanto ipotizzato. Si può osservare infatti come a picchi di vento corrispondano picchi di concentrazione di Ozono, per quanto riguarda sia la campagna estiva che quella invernale.



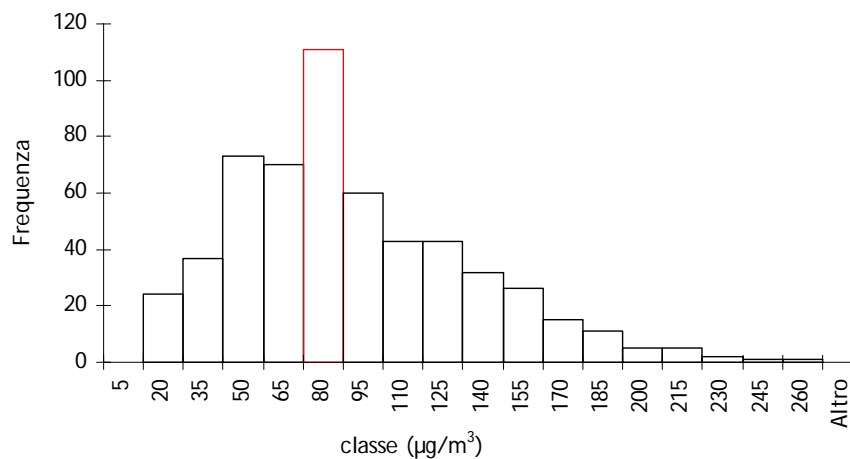
Mentre per il periodo estivo i valori sono distribuiti su più classi di frequenza in periodo invernale le classi di frequenza interessate sono solo 4. Si evidenziano comunque come valori di concentrazione più frequente in periodo estivo siano quelli appartenenti ad una classe di frequenza intermedia (classe 80).

<i>classi</i>	<i>Frequenza invernale</i>	<i>Frequenza estiva</i>
5	0	0
20	482	24
35	57	37
50	16	73
65	4	70
80	0	111
95	0	60
110	0	43
125	0	43
140	0	32
155	0	26
170	0	15
185	0	11
200	0	5
215	0	5
230	0	2
245	0	1
260	0	1
Altro	0	0

Distribuzione delle concentrazioni di O₃ in periodo invernale



Distribuzione delle concentrazioni di O₃ in periodo estivo



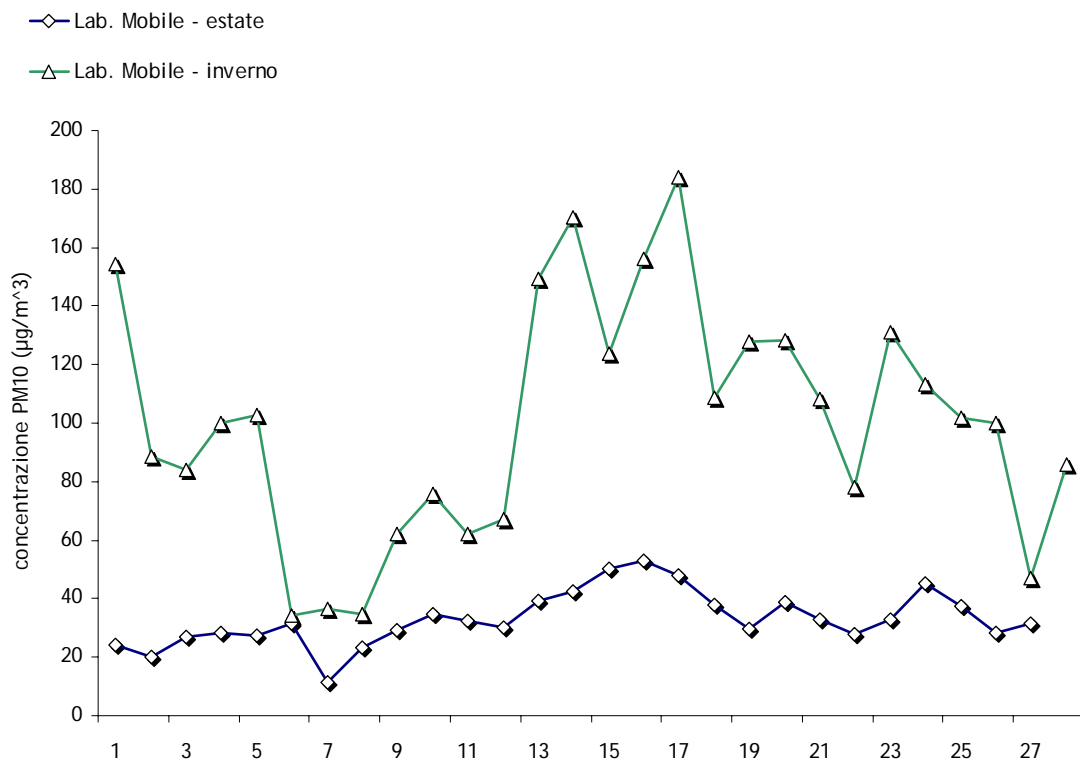
I dati delle concentrazioni giornaliere di PM10 hanno fatto registrare nel periodo estivo un valore medio di 33 µg/m³ ed un valore massimo giornaliero di 53 µg/m³ giovedì 19.07.2007.

Nella sottostante tabella vengono confrontati i dati salienti di questo inquinante relativi ai due periodi di misura:

PM10	CAMPAGNA ESTIVA	CAMPAGNA INVERNALE	INTERVALLO DI VARIABILITA'
concentrazione media del periodo (µg/m ³)	33	101	67%
concentrazione max. giornaliera (µg/m ³)	53	184	71%
concentrazione min. giornaliera (µg/m ³)	12	34	65%

Nel caso del PM10 la variabilità estate/inverno è alta, con concentrazioni di molto inferiori in periodo estivo del 67%.

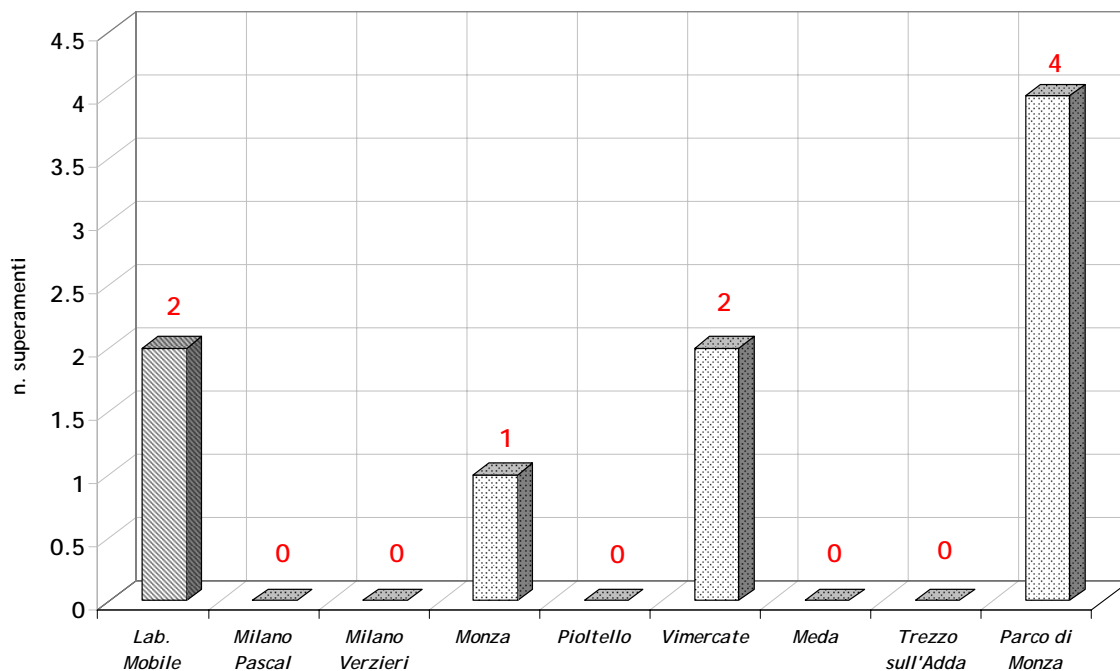
I sottostanti grafici di confronto delle medie giornaliere nei due periodi di misura confermano ulteriormente questo dato.



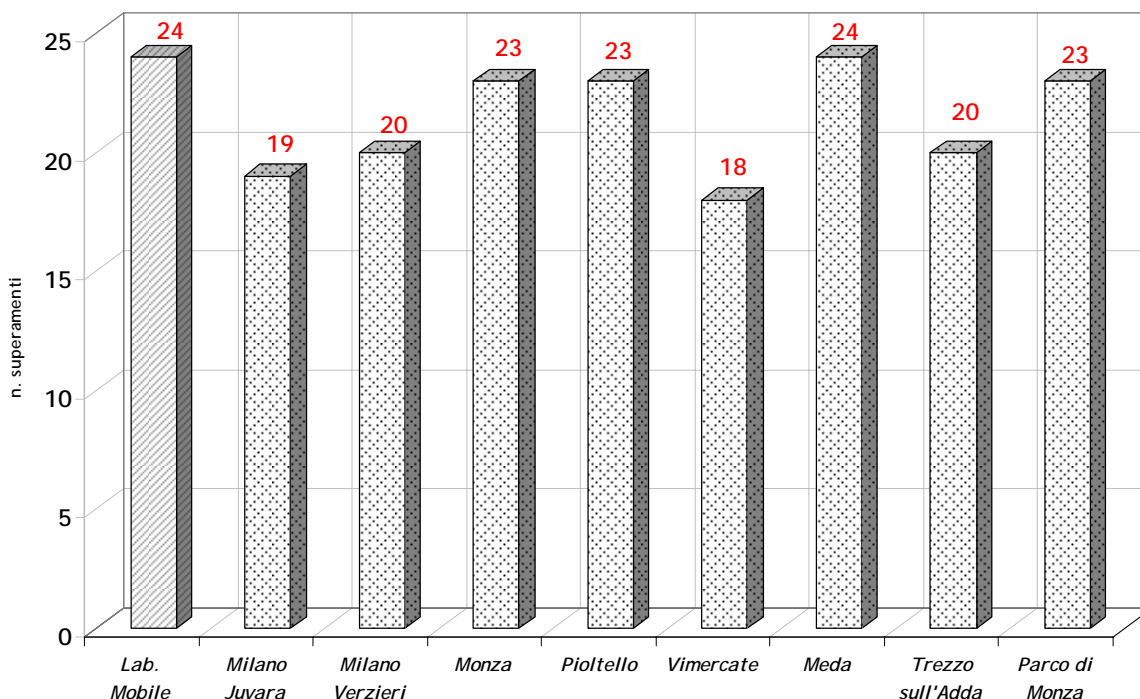
Le concentrazioni di **PM10** misurate a Muggiò in Viale della Repubblica presentano anche in periodo estivo andamenti analoghi a quelli delle centraline della rete di rilevamento prese a riferimento a conferma della caratteristica ubiquitaria di questo inquinante.

Durante tutto il periodo estivo di misura sono stati osservati **2 superamenti (su 29 giorni di campagna) del livello di attenzione**, fissato per questo inquinante a 50 µg/m³. Nella precedente campagna invernale invece erano stati registrati ben **24 superamenti (su 29 giorni di campagna) del livello di attenzione**.

PM10 - Numero dei superamenti della soglia di attenzione- campagna estiva

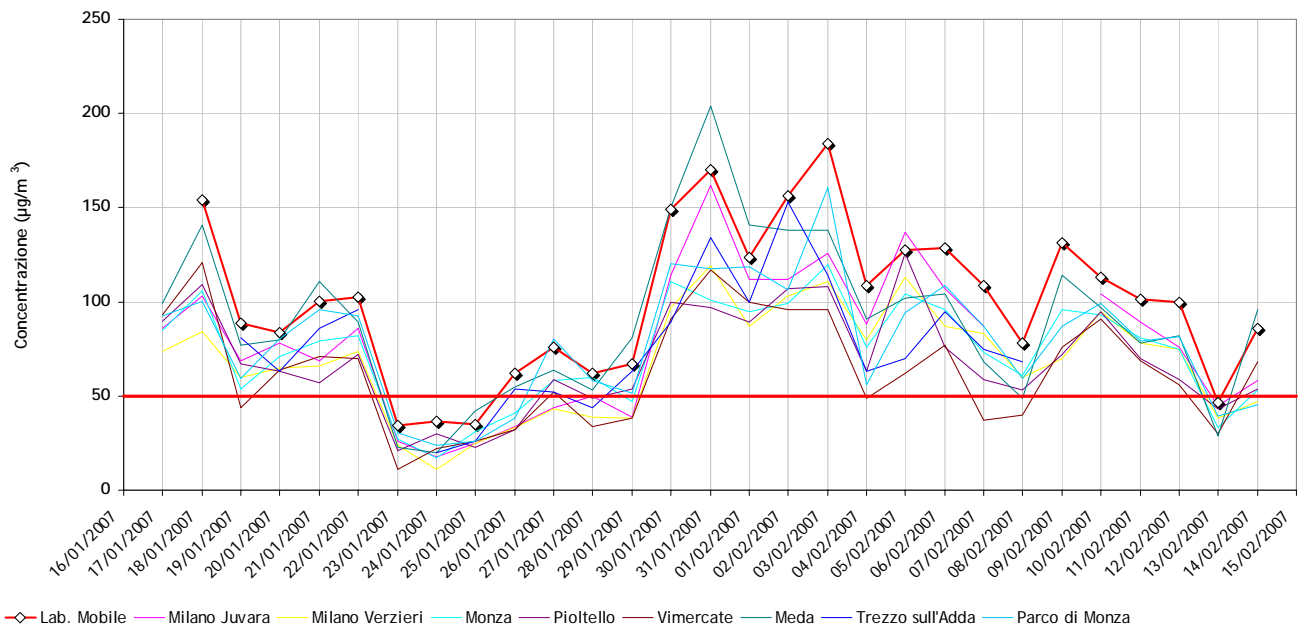


PM10 - Numero dei superamenti della soglia di attenzione - campagna invernale

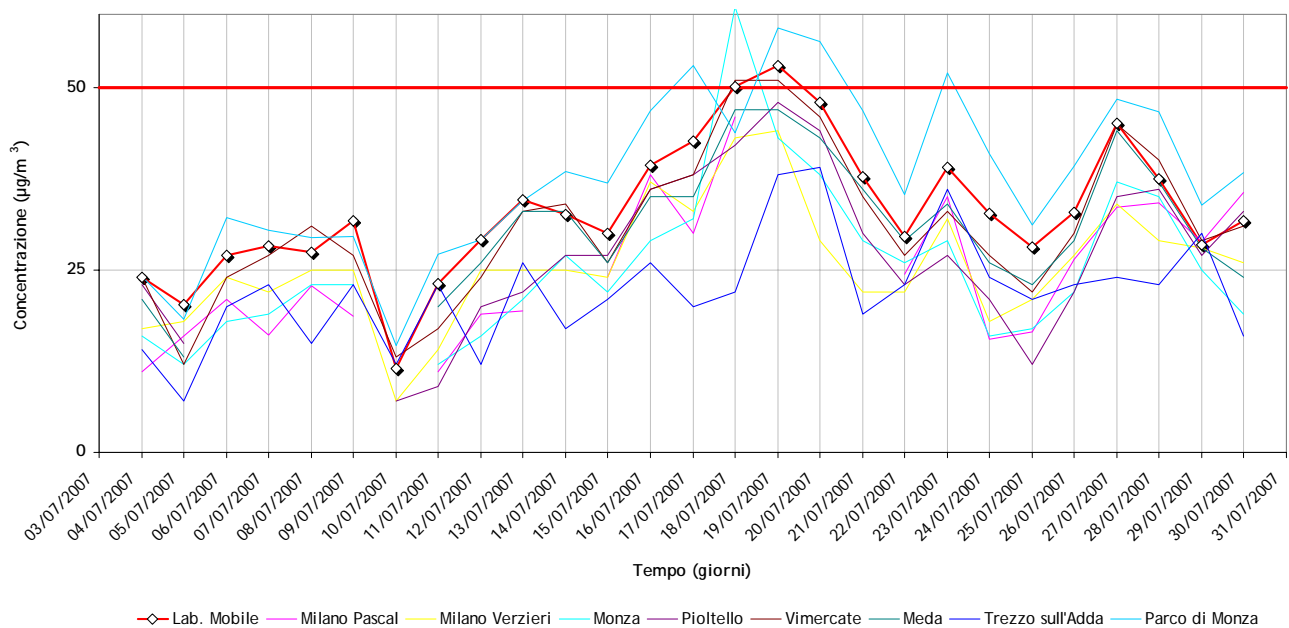


Il grafico delle medie giornaliere delle concentrazioni di PM10 mostra, a conferma del carattere ubiquitario di questo tipo di inquinante, come, durante i periodi in esame, vi siano andamenti di concentrazione comuni a diverse località del Bacino Padano.

PM10 - Medie giornaliere- campagna invernale



PM10 - Medie giornaliere- campagna estiva



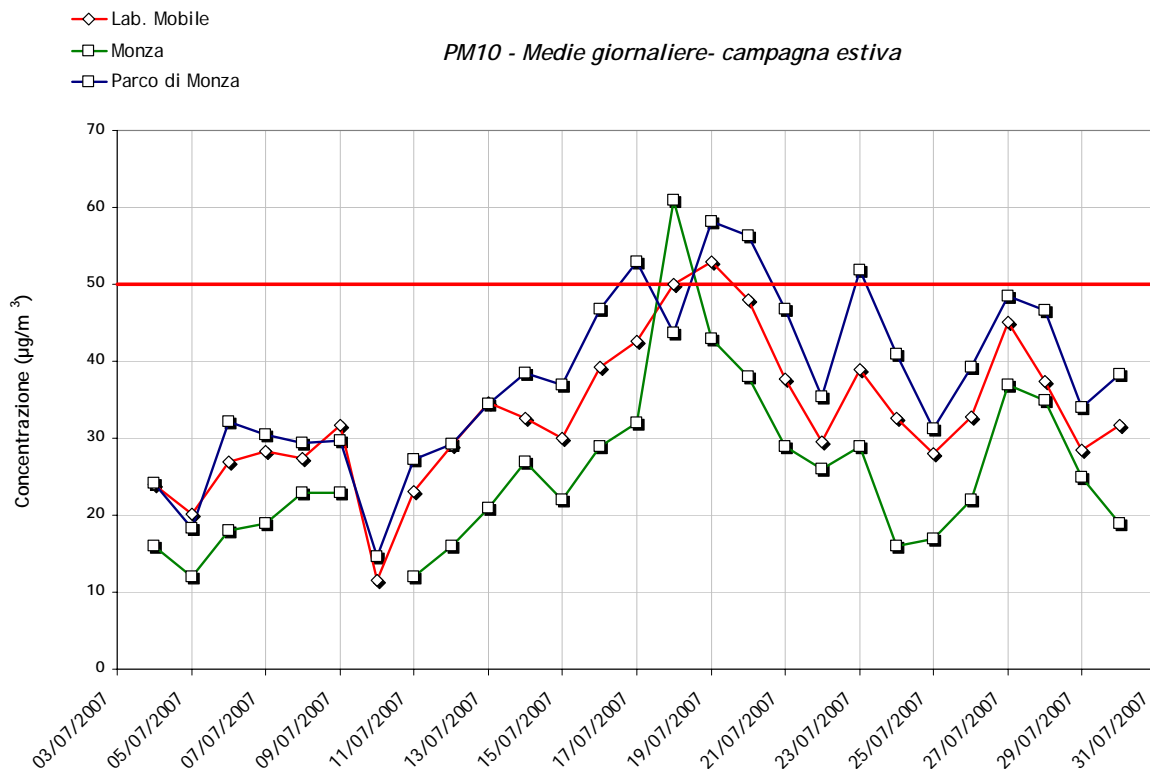
Per quanto riguarda le postazioni fisse prese a riferimento le concentrazioni misurate presentano un buon andamento temporale; a conferma del carattere ubiquitario di questo inquinante; in particolare nell'attuale campagna viene confermata la buona correlazione⁷ con la stazione urbana da fondo di Monza (0.94) e con la stazione da fondo posta all'interno del Parco di Monza (0.91).

⁷ Sono state calcolare le correlazioni anche se i dati erano insufficienti per una statistica corretta.

Tabella: matrice di correlazione tra il sito di misura e le centraline della rete provinciale prese a riferimento

	Lab. Mobile	Milano Juvara	Milano Verzieri	Monza	Pioltello	Vimercate	Meda	Trezzo sull'Adda	Parco di Monza
Lab. Mobile	1.00								
Milano Juvara	0.93	1.00							
Milano Verzieri	0.95	0.98	1.00						
Monza	0.94	0.93	0.95	1.00					
Pioltello	0.89	0.91	0.93	0.91	1.00				
Vimercate	0.87	0.85	0.82	0.85	0.80	1.00			
Meda	0.89	0.87	0.83	0.82	0.77	0.93	1.00		
Trezzo sull'Adda	0.89	0.80	0.82	0.79	0.75	0.86	0.87	1.00	
Parco di Monza	0.91	0.84	0.87	0.94	0.83	0.85	0.79	0.79	1.00

Nel sottostante grafico delle medie giornaliere viene ulteriormente evidenziata la buona correlazione tra le stazioni di Monza e Parco di Monza con il sito di misura; come è possibile osservare i trend sono analoghi anche se la postazione di viale Repubblica presenta valori compresi tra quelli delle due centraline fissa.



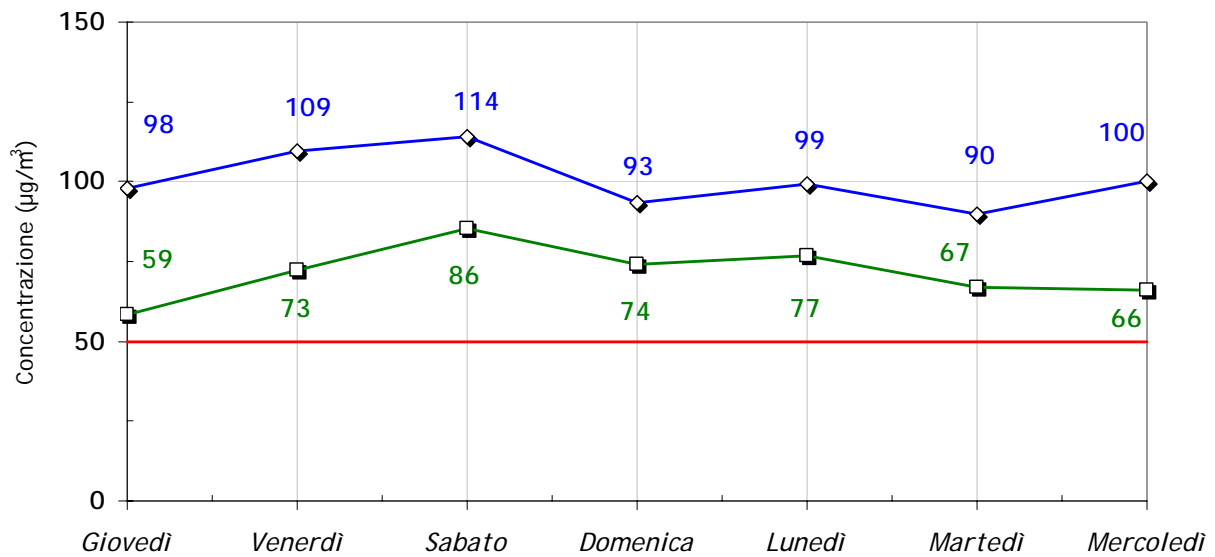
Ad ulteriore conferma della correlazione tra le due postazioni è possibile osservare l'analogia degli andamenti settimanali del PM10 misurati con laboratorio mobile con quelli della centralina di Monza.

Come evidenziato nel grafico di confronto i due andamenti sono simili ma le concentrazioni registrate con laboratorio mobile sono mediamente più alte sia in periodo invernale che in quello estivo.

Essendo la scala settimanale l'unica scala temporale dove l'effetto della meteorologia (altro principale determinante delle concentrazioni) non ha alcuna influenza, con tale ulteriore rappresentazione è possibile evidenziare la stretta dipendenza tra traffico veicolare ed inquinamento atmosferico in entrambe le postazioni.

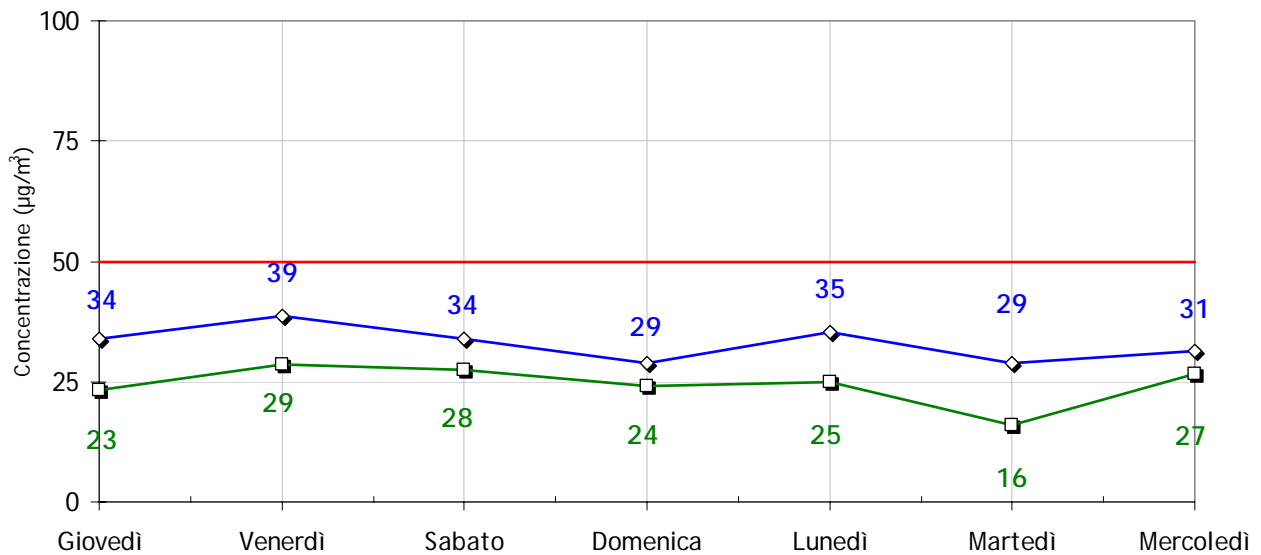
—◇— Lab. Mobile - inverno
—□— Monza - inverno

PM10 - Media Settimanale



—◇— Lab. Mobile - estate
—□— Monza - estate

PM10 - Media Settimanale

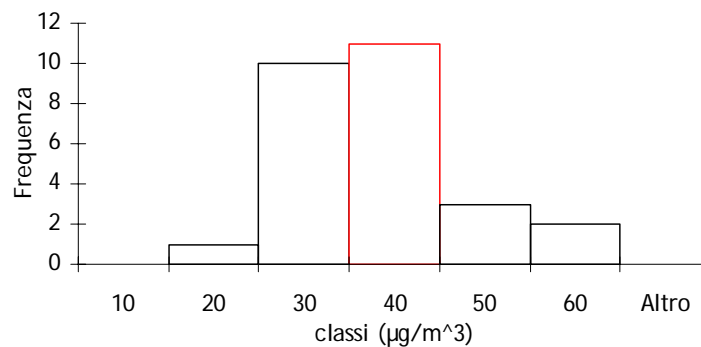


Si sono cercate infine delle analogie relativamente alle concentrazioni di PM10 durante i due periodi di rilevamento. Sono pertanto stati presi i dati relativi alle due campagne e sono stati divisi in classi (20 nella sottostante tabella). E' stato quindi tracciato un istogramma di frequenze in grado di determinare quali di queste classi di valori di PM10 sono state le più frequenti nei periodi considerati.

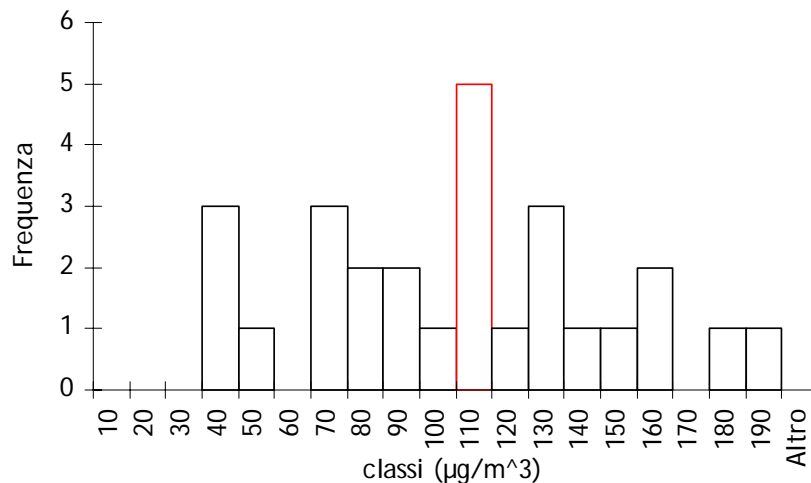
<i>classi</i>	<i>Frequenza invernale</i>	<i>Frequenza estiva</i>
10	0	0
20	0	1
30	0	0
40	3	3
50	1	7
60	0	7
70	3	4
80	2	1
90	2	2
100	1	2
110	5	0
120	1	0
130	3	0
140	1	0
150	1	0
160	2	0
170	0	0
180	1	0
190	1	0
Altro	0	0

Mentre nel periodo invernale i valori sono distribuiti su più classi di frequenza, in particolare su classi con valori superiori a 50, in periodo estivo le classi di frequenza interessate sono solo 5.

Distribuzione delle concentrazioni di PM10 in periodo estivo



Distribuzione delle concentrazioni di PM10 in periodo invernale



Idrocarburi Policiclici Aromatici (I.P.A.)

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 2005⁸.

La normativa sopra indicata prevede un obiettivo di qualità pari a 1 ng/m³ su base annua delle concentrazioni di IPA facendo riferimento alla concentrazioni di benzo(a)pirene.

Esaminando l'indicatore proposto dalla normativa, appare subito 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 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 determinare il profilo chimico degli IPA al fine di poterli utilizzare come traccianti delle molteplici sorgenti antropiche.

In ambito urbano le principali sorgenti di IPA sono dovute alle emissioni veicolari e al riscaldamento domestico.

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

Nel caso del riscaldamento domestico ciò che influisce maggiormente sulla quantità di IPA emessi sono le condizioni in cui avviene la combustione (temperatura, umidità e disponibilità di ossigeno) ed 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 20 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).

Infine 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[gli]P, il I[123cd]P ed il COR⁹, 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 CHR¹⁰ (Li Kamens – 1993).

⁸ Cfr. Appendice I per il metodo di analisi.

⁹ Coronene

¹⁰ Crisene

Anche 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

A temperatura ambiente gli IPA possono essere presenti in atmosfera in fase gas, associati a particelle solide o trovarsi in fase particolata (Finalyson – Pitts, 2000).

Gli IPA con basso peso molecolare e pochi anelli tendono a trovarsi in fase gas o fase vapore piuttosto che in fase particolata. IPA con 3 o 4 anelli possono avere una pressione di vapore in un range intermedio e trovarsi in parte in fase gas ed in parte associati a particelle solide. Tali specie fanno parte degli IPA semivolatili. Gli IPA con 5 o più anelli tendono ad essere

Nella sottostante tabella sono elencati gli IPA oggetto del presente studio, suddivisi in due gruppi in base alla loro caratteristica di trovarsi in fase gas o in fase particolata.

I primi 4 IPA della tabella si trovano principalmente in fase vapore, la frazione in fase particolata ($\leq 5\%^{11}$) 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 solo dalla concentrazione misurata in fase particolata.

Gli altri 9 IPA invece tendono ad essere presenti in atmosfera in fase particolata.

	ABBREVIAZIONE	IARC ¹²	N. DI ANELLI	PESO MOLECOLARE
<i>IPA che si trovano principalmente in fase vapore</i>				
	FENANTRENE	PhA	3	178.24
	ANTRACENE	Ant	3	178.24
	FLUORANTENE	Flu	4	202.26
	PIRENE	Pyr	4	202.26
<i>IPA che si trovano in fase particolata</i>				
	BENZO(a)ANTRACENE	BaA	2A	228.3
	CRISENE	Chr	3	228.3
	BENZO(b)FLUORANTENE	BbF	2B	252.32
	BENZO(k)FLUORANTENE	BkF	2B	252.32
	BENZO(a)PIRENE	BaP	2A	252.32
	BENZO(ghi)PERILENE	BgP	3	276.34
	DIBENZO(a,h)ANTRACENE	dBA	2A	278.35
	INDENO(123cd)PIRENE	IP	2B	276.34
	BENZO(e)PIRENE	BeP	3	252.32

Risultati e discussione

Lo studio degli IPA lungo viale della Repubblica in due periodi significativi dell'anno è stato condotto per cercare di verificare quale sorgente incida maggiormente sulla qualità dell'aria del Comune.

¹¹ Park et al., 2001.

¹² **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.

La Tabella 1 presenta i risultati espressi in ng/m³ delle determinazioni analitiche di 13 IPA estratti da 8 campioni giornalieri di PM10 durante la campagna estiva. In tabella 2 vengono invece riportati i dati relativi alla campagna invernale.

Tabella 1: valori medi giornalieri in ng/m³ degli IPA, rilevati in periodo estivo nel sito di misura

I.P.A.	Classe I.A.R.C.	PERIODO DI MISURA								Concentrazione Tot.	Valore Medio
		16/07/2007	17/07/2007	18/07/2007	19/07/2007	20/07/2007	21/07/2007	22/07/2007	23/07/2007		
FENANTRENE		0.16	0.15	0.15	0.01	0.17	0.10	0.07	0.15	0.96	0.12
ANTRACENE		0.09	0.06	0.09	0.08	0.10	0.07	0.04	0.09	0.62	0.08
FLUORANTENE		0.32	0.44	0.49	0.73	0.68	0.12	0.08	0.27	3.13	0.39
PIRENE		0.60	0.60	0.49	0.49	0.78	0.63	0.14	0.76	4.49	0.56
BENZO(a)ANTRACENE	2A	0.02	0.09	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.22	0.03
CRISENE		0.06	0.16	0.06	0.08	0.06	0.06	0.03	0.05	0.56	0.07
BENZO(b)FLUORANTENE	2B	0.05	0.22	0.03	0.03	0.04	0.05	0.05	0.05	0.52	0.07
BENZO(k)FLUORANTENE	2B	0.01	0.07	0.007	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.15	0.02
BENZO(a)PIRENE	2A	0.03	0.11	0.01	0.01	0.03	0.03	0.02	0.04	0.28	0.04
BENZO(ghi)PERILENE		0.07	0.18	0.03	0.04	0.06	0.07	0.02	0.06	0.53	0.07
DIBENZO(a,h)ANTRACENE	2A	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.16	0.02
INDENO(123cd)PIRENE	2B	0.05	0.10	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.45	0.06
BENZO(e)PIRENE		0.09	0.39	0.08	0.09	0.10	0.10	0.09	0.11	1.05	0.13

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

Tabella 2: valori medi giornalieri in ng/m³ IPA rilevati in periodo invernale nel sito di misura

I.P.A.	Classe I.A.R.C.	PERIODO DI MISURA								Concentrazione Tot.	Valore Medio
		25/01/2007	26/01/2007	27/01/2007	28/01/2007	29/01/2007	30/01/2007	31/01/2007	01/02/2007		
FENANTRENE		0.37	0.46	0.61	0.49	0.60	0.61	1.13	0.77	5.04	0.63
ANTRACENE		0.01	0.01	0.04	0.01	0.02	0.04	0.14	0.06	0.33	0.04
FLUORANTENE		<0.08*	<0.08*	0.31	0.23	0.60	0.44	1.60	1.02	4.20	0.53
PIRENE		1.20	1.29	1.50	1.11	1.73	1.80	2.76	1.87	13.26	1.66
BENZO(a)ANTRACENE	2A	0.58	0.50	1.02	0.77	0.91	1.10	2.49	1.62	8.99	1.12
CRISENE		1.12	1.36	2.29	2.16	1.88	2.36	5.27	3.58	20.02	2.50
BENZO(b)FLUORANTENE	2B	1.23	1.34	2.60	2.68	2.37	2.39	4.80	3.49	20.90	2.61
BENZO(k)FLUORANTENE	2B	0.46	0.46	0.96	1.06	0.94	0.87	1.75	1.25	7.75	0.97
BENZO(a)PIRENE	2A	0.58	0.51	1.10	1.13	1.53	1.32	2.51	1.87	10.55	1.32
BENZO(ghi)PERILENE		1.13	0.95	2.26	2.28	2.21	1.93	3.60	2.56	16.92	2.12
DIBENZO(a,h)ANTRACENE	2A	0.10	0.12	0.26	0.23	0.16	0.21	0.45	0.32	1.85	0.23
INDENO(123cd)PIRENE	2B	0.42	0.93	1.81	1.70	1.56	1.89	4.00	2.88	15.19	1.90
BENZO(e)PIRENE		2.01	1.84	3.99	3.59	4.04	4.31	9.07	6.28	35.13	4.39

* concentrazioni inferiori alla soglia di rilevabilità del metodo

Il grafico dei risultati analitici è riportato in figura 1 e 2, considerando gli IPA totali, intesi cioè come somma su tutto il periodo di misura delle concentrazioni giornaliere dei singoli IPA esaminati ed il corrispettivo valore medio¹³.

¹³ Per gli IPA le cui concentrazioni sono risultate inferiori alla soglia di rilevabilità del metodo è stato usato come valore la metà del valore soglia.

Concentrazione I.P.A. - estate

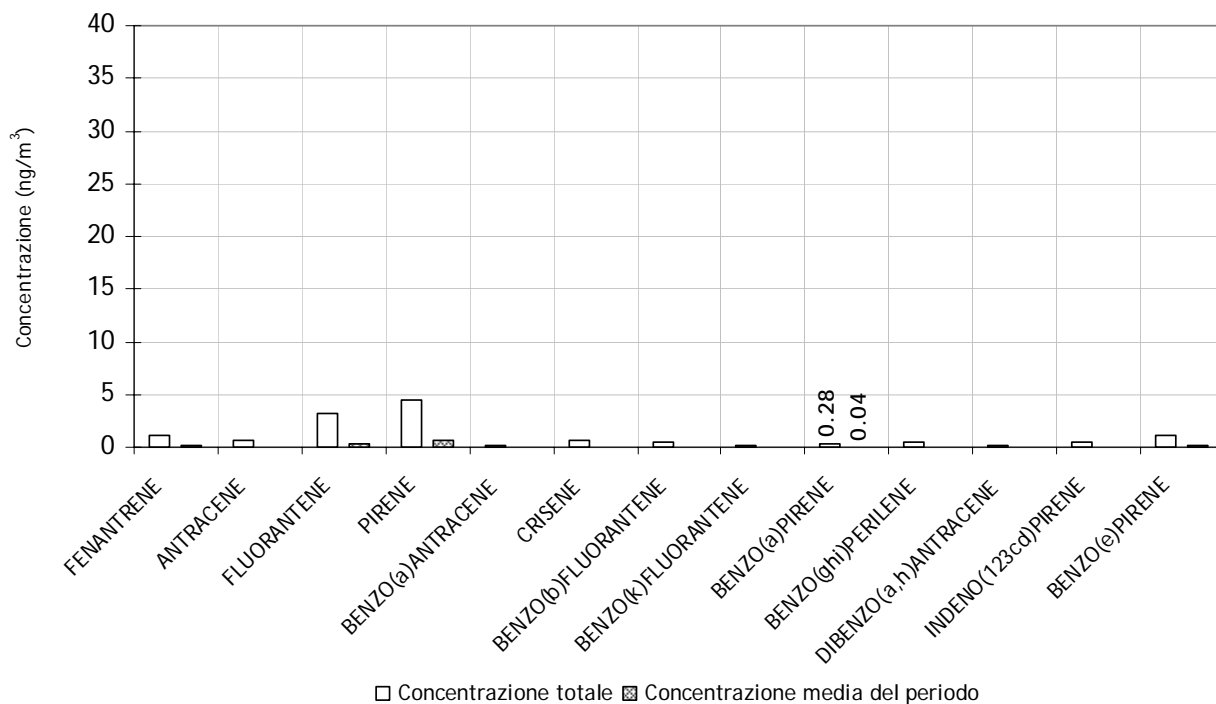


Figura 1

Concentrazione I.P.A. - inverno

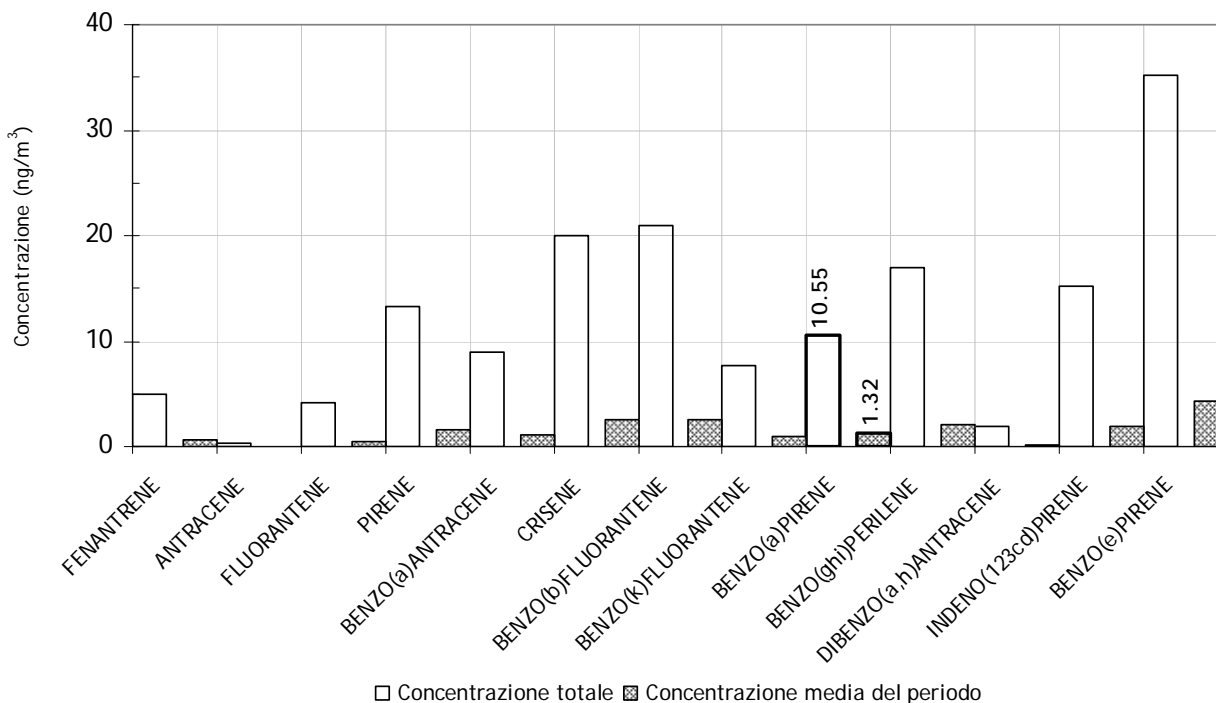


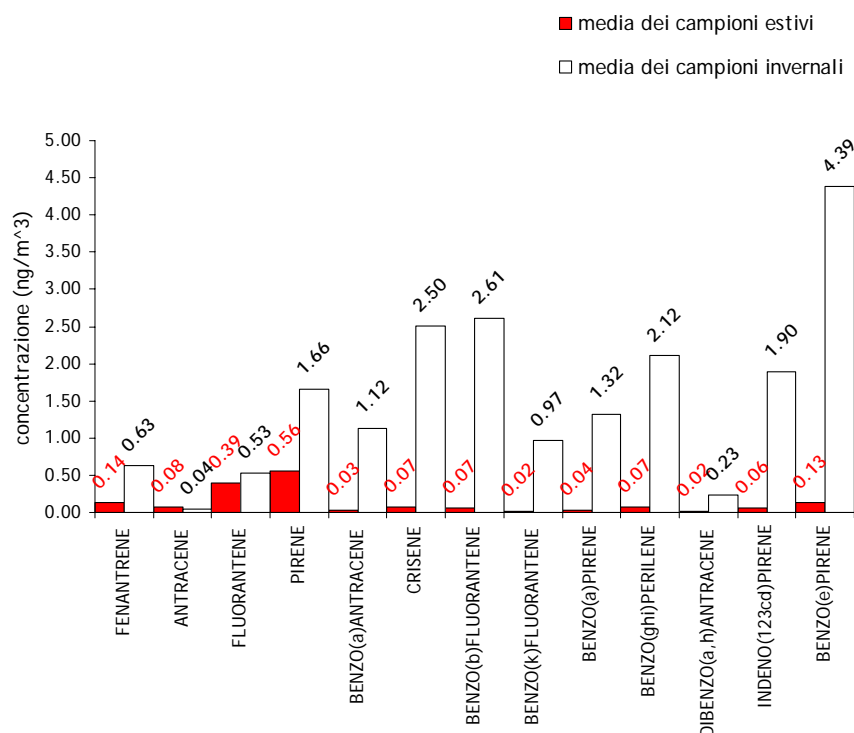
Figura 2

Nella sottostante tabella si riportano gli intervalli di variabilità dei singoli IPA riferiti alle due campagne di prelievo:

IPA concentrazione media del periodo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CAMPAGNA ESTIVA	CAMPAGNA INVERNALE	INTERVALLO DI VARIABILITA'
FENANTRENE	0.12	0.63	79%
ANTRACENE	0.08	0.04	--
FLUORANTENE	0.39	0.70	44%
PIRENE	0.56	1.66	66%
BENZO(a)ANTRACENE	0.03	1.12	98%
CRISENE	0.07	2.50	97%
BENZO(b)FLUORANTENE	0.07	2.61	98%
BENZO(k)FLUORANTENE	0.02	0.97	98%
BENZO(a)PIRENE	0.04	1.32	97%
BENZO(ghi)PERILENE	0.07	2.12	97%
DIBENZO(a, h)ANTRACENE	0.02	0.23	91%
INDENO(123cd)PIRENE	0.06	1.90	97%
BENZO(e)PIRENE	0.13	4.39	97%
Σ^{14} estate/ Σ' inverno	0.71	17.83	96%

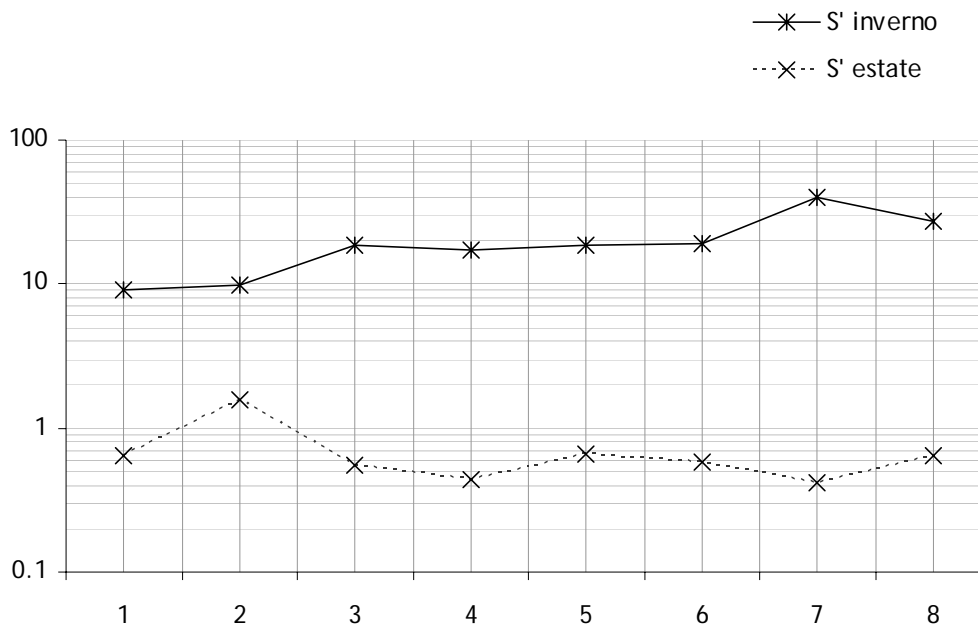
Si può notare il marcato andamento stagionale degli IPA, con valori di concentrazione minori, a volte anche prossimi ai limiti di rilevabilità nella campagna estiva (luglio) e un picco nella campagna invernale (gennaio – febbraio), con valori fino a due ordini di grandezza superiori rispetto ai valori rilevati in estate. La diminuzione delle concentrazioni rilevate nei mesi estivi è legata in parte alle reazioni di fotolisi diretta con specie radicaliche (OH, NO₂, NO₃), biradicaliche (O₂, O₃) o altre molecole reattive presenti in atmosfera, che contribuiscono a diminuirne il tempo di permanenza, in parte alla diversa ripartizione degli IPA tra la fase gas e il materiale particolare, causata dalla elevata temperatura ambiente in periodo estivo, ed in misura minore dalla maggiore altezza e turbolenza dello strato di rimescolamento.

A conferma della forte stagionalità degli IPA nel sottostante grafico di confronto si riporta il profilo chimico medio dei singoli IPA raccolti nei due periodi di osservazione.



¹⁴ Con Σ si intende il valore degli IPA totali. Con Σ' si intende il valore degli IPA totali senza considerare il fluorantene ed il pirene in quanto questi ultimi sono presenti in atmosfera in fase particolata ed in fase gassosa. Poiché la ripartizione in fase particolata e gassosa di questi due 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 (a T=20°C $C_{particolata}/C_{gas} = 0.36\%$ e 5.6% per FLA e PYR rispettivamente - Seinfeld and Pandis, 1998).

Analizzando i trend in scala bilogarithmica è possibile osservare una similitudine degli andamenti nei due periodi di misura con valori superiori di un ordine di grandezza in periodo invernale.



Il rapporto diagnostico

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

La letteratura più recente¹⁵ però ha mostrato qualche perplessità nell'utilizzo di tale metodo.

Si crede 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 2 vengono riportati i risultati estivo/invernale di tre rapporti di 5 IPA considerati traccianti del traffico e della combustione di biomasse con il valore degli IPA totali:

Tabella2: risultati valori medi di Σ , Σ' , PM10, T e concentrazione relativa di IPA

	INVERNALE	ESTIVO
n. campioni	8	8
T (°C)	5.5 (valore medio)	25.7 (valore medio)
Σ (ng/m ³)	160.1	13.1
Σ' (ng/m ³)	142.7	5.5
PM10 (µg/m ³)	93 (valore medio)	33 (valore medio)
(B[b]F+B[k]F)/ Σ'	20%	12%
CHR/ Σ'	14%	10%
B[ghi]P+I[123cd]P/ Σ'	24%	18%

¹⁵ Assemo O. Barakat: "Pahs petroleum markers in the atmospheric environment of Alexandria City, Egypt" – Water, Air and soil Pollution **139**: 289-310 - 2002

Il primo di questi rapporti è indicativo dell'impatto emissivo dei veicoli alimentati a gasolio, con qualche implicazione legata alla combustione di biomasse. Dalle tabelle di confronto, il diminuito valore in periodo estivo sembrerebbe suggerire che vi sia un contributo all'impatto emissivo totale invernale legato alla combustione di biomasse, ma che comunque l'apporto maggiore alle emissioni sia dato dal traffico veicolare.

Nel secondo rapporto viene utilizzato il crisene che, come precedentemente illustrato, 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.

Dall'analisi delle relazioni risulterebbe confermato il dato che a incidere in misura maggiore sia la componente traffico (~ 44% inverno - ~ 30% estate) rispetto agli impianti di riscaldamento (14%) ed in particolare sembrerebbero influire di più i veicoli alimentati a benzina (24% inverno - ~ 18% estate) rispetto ai veicoli diesel che inciderebbero per circa il 20% in inverno e per circa il 12% estate.

Per cercare di ottenere una conferma sulla sorgente che influenza in maniera più rilevante la qualità dell'aria a Muggiò sono stati analizzati ulteriori rapporti, riportati in tabella 3:

Tabella3: rapporti di alcuni IPA

DR	coefficiente	
	INVERNO	ESTATE
I(123cd)P/I(123cd)P+B(gli)P	0.47	0.46
B(e)p/B(e)P+B(a)P	0.77	0.79
FEN/FEN+ANT	0.94	0.61

Il valore ottenuto dalla prima di queste relazioni mette in evidenza la presenza in aria di scarti del gasolio emessi dagli scarichi dei veicoli diesel (Aceves and Grimaldt, 1993).

Il secondo di questi valori è troppo alto e pressoché costante tra estate e inverno, per poter dare informazioni relative alla componente traffico veicolare. Questo rapporto potrebbe essere ascritto alla maggiore predisposizione del B[a]P rispetto al B[e]P a degradarsi una volta immesso in atmosfera.

Il terzo valore infine evidenzia la presenza di petrolio e dei suoi derivati (Barakat, dati non pubblicati) nonché le emissioni dei gas di scarico (Rogge et al., 1993b). Una riduzione di circa il 35% di questo coefficiente in periodo estivo sembrerebbe suggerire che vi sia un contributo all'impatto emissivo totale invernale legato agli impianti di riscaldamento alimentati a gasolio.

Per poter confermare la componente traffico come elemento dominante la qualità dell'aria nel comune di Muggiò, rispetto al riscaldamento domestico, risulta utile verificare se i dati estivi confermano le buone correlazioni del data set invernale con alcuni "marker" del traffico veicolare come NO ed NO₂, infatti questi gas, pur non essendo una causa diretta della 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 4 le evoluzioni temporali considerate relative al periodo invernale in tabella 5 quelle relative al periodo estivo.

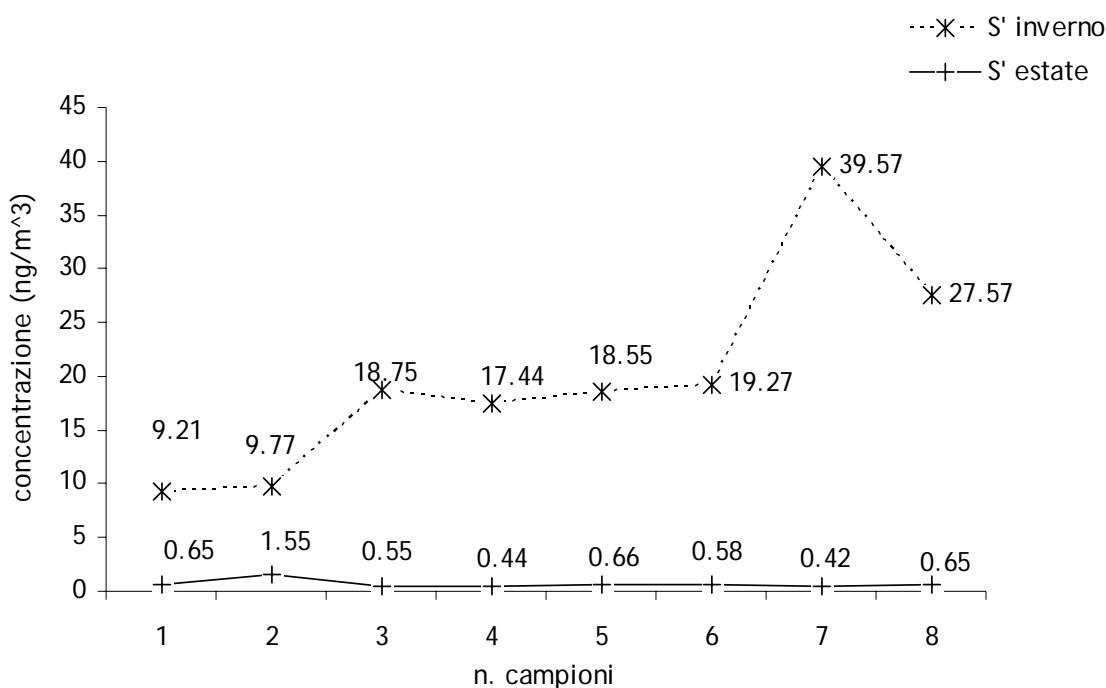
Tabella 4: evoluzione temporale invernale delle concentrazioni di B[gli]P+I[123cd]P/Σ', B[b]F+B[k]F/Σ', CHR/Σ', Σ' NO, NO₂, PM10

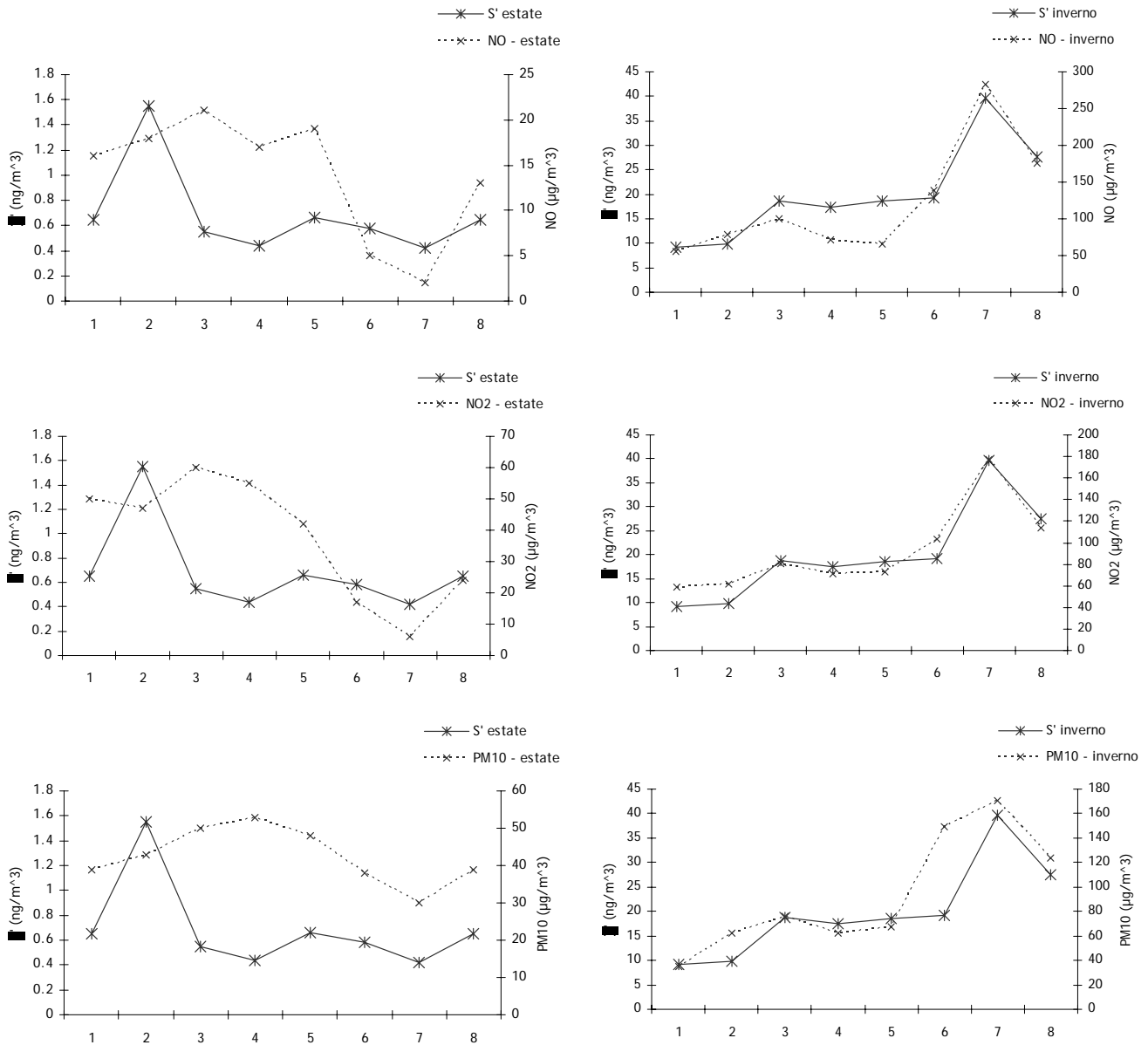
	25-gen	26-gen	27-gen	28-gen	29-gen	30-gen	31-gen	01-feb
B[gli]P+I[123cd]P/Σ'	0.17	0.19	0.22	0.23	0.20	0.20	0.19	0.20
B[b]F+B[k]F/Σ'	0.18	0.18	0.19	0.21	0.18	0.17	0.17	0.17
CHR/Σ'	0.12	0.14	0.12	0.12	0.10	0.12	0.13	0.13
NO	56.15	78.23	100.05	71.41	65.63	138.75	282.71	176.35
NO ₂	58.41	61.76	80.22	71.31	73.06	103.57	176.91	113.49
Σ'	9.21	9.77	18.75	17.44	18.55	19.27	39.57	27.57
PM10	34.77	62.00	75.91	62.26	67.22	149.36	170.19	124.00

Tabella 5: evoluzione temporale estiva delle concentrazioni di B[gli]P+I[123cd]P/Σ', B[b]F+B[k]F/Σ', CHR/Σ', Σ' NO, NO₂, PM10

	16 luglio	17 luglio	18 luglio	19 luglio	20 luglio	21 luglio	22 luglio	23 luglio
B[gli]P+I[123cd]P/Σ'	0.022	0.051	0.015	0.016	0.020	0.022	0.013	0.020
B[b]F+B[k]F/Σ'	0.011	0.053	0.007	0.007	0.009	0.011	0.013	0.011
CHR/Σ'	0.011	0.029	0.011	0.015	0.011	0.011	0.005	0.009
NO	16.00	18.00	21.00	17.00	19.00	5.00	2.00	13.00
NO ₂	50.00	47.00	60.00	55.00	42.00	17.00	6.00	24.00
Σ'	0.65	1.55	0.55	0.44	0.66	0.58	0.42	0.65
PM10	39	43	50	53	48	38	30	39

Per una maggiore comprensione dei dati, nei sottostanti grafici vengono rese le evoluzioni temporali delle grandezze riportate in tabella relative ai due periodi di osservazioni.





Osservando gli andamenti risulta evidente uno stretto legame tra marker del traffico ed IPA in periodo invernale mentre in periodo estivo i dati risultano completamente anticorrelati.

Tale tendenza viene confermata calcolando la matrice dei coefficienti di Pearson.

	NO estate	NO ₂ estate	PM10 estate	Σ ¹ estate
NO - estate	1			
NO ₂ - estate	0.93	1		
PM10 - estate	0.83	0.84	1	
Σ ¹ estate	0.33	0.23	0.04	1

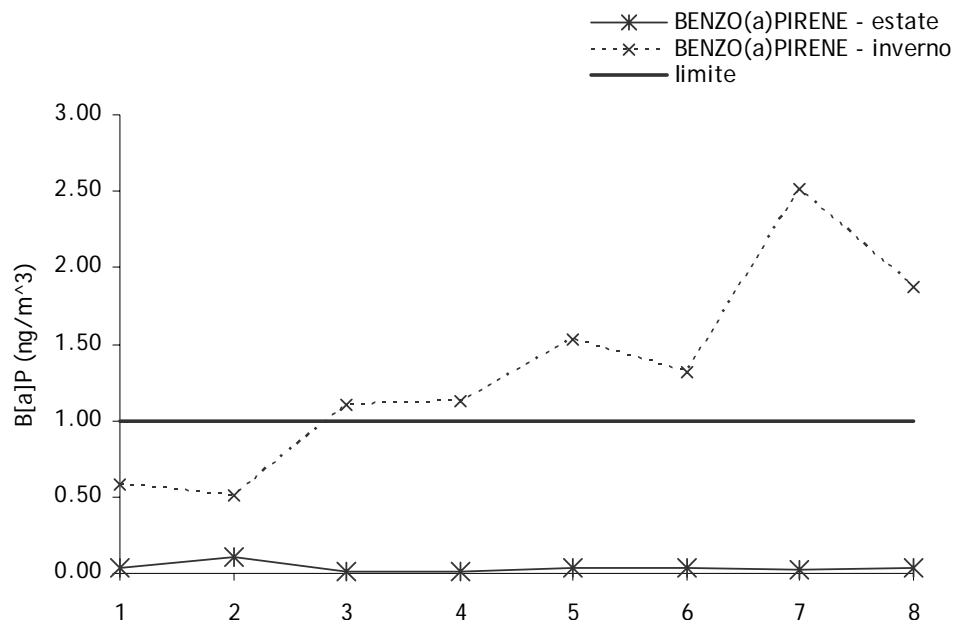
	NO estate	NO ₂ estate	PM10 estate	Σ ¹ estate
NO - inverno	1			
NO ₂ - inverno	0.99	1		
PM10 - inverno	0.91	0.91	1	
Σ ¹ - inverno	0.94	0.96	0.84	1

I coefficienti di correlazione ottenuti confrontando le concentrazioni di I.P.A. totali (ng/m^3) con NO , NO_2 e PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) mostrano un'ottima correlazione in periodo invernale ($R_{\text{NO}} = 0.94$ – $R_{\text{NO}_2} = 0.96$ – $R_{\text{PM}_{10}} = 0.84$) permettendo di ipotizzare che il traffico veicolare lungo viale della Repubblica incida in modo preponderante sulla qualità dell'aria del comune.

Non sono state invece osservate correlazioni con marker del traffico in periodo estivo, a causa probabilmente della diversa ripartizione degli IPA tra la fase gas e il materiale particellare causata dalla elevata temperatura ambiente in periodo estivo.

II Benzo[a]pirene

La normativa prende a riferimento come marker degli IPA il benzo(a)pirene. Il sottostante grafico presenta l'andamento del benzo(a)pirene relativo ai due periodi di osservazione. Anche se non è stato possibile ricavare la media mobile annua per la scarsità di dati è possibile osservare che in periodo invernale su 8 giorni di monitoraggio sono stati registrati 6 superamenti del limite di legge, fissato per questo inquinante ad $1 \text{ ng}/\text{m}^3$ (inteso come media annuale), mentre in periodo estivo le concentrazioni di B[a]P sono risultate inferiori del 97%.



Al fine di confermare quanto riportato in letteratura e cioè che il benzo(a)pirene può essere considerato un "marker" degli IPA, si è voluto verificare anche in periodo estivo il grado di correlazione esistente tra il Benzo(a)Pirene e gli altri IPA.

ESTATE	Pha	Ant	Flu	Pyr	BaA	Chr	BbF	BkF	BgP	IP	BeP	BaP
FENANTRENE	1											
ANTRACENE	0.83	1										
FLUORANTENE	0.65	0.57	1									
PIRENE	0.77	0.77	0.36	1								
BENZO(a)ANTRACENE	0.28	-0.24	0.15	0.19	1							
CRISENE	0.35	-0.13	0.34	0.24	0.96	1						
BENZO(b)FLUORANTENE	0.13	-0.40	-0.03	0.08	0.97	0.89	1					
BENZO(k)FLUORANTENE	0.04	-0.50	-0.01	-0.06	0.95	0.87	0.99	1				
BENZO(ghi)PERILENE	0.34	-0.14	0.06	0.37	0.95	0.91	0.94	0.88	1			
INDENO(123cd)PIRENE	0.18	-0.36	0.08	0.08	0.99	0.93	0.99	0.98	0.93	1		
BENZO(e)PIRENE	0.19	-0.34	0.06	0.13	0.99	0.93	0.99	0.98	0.94	1.00	1	
BENZO(a)PIRENE	0.24	-0.27	-0.05	0.27	0.94	0.85	0.97	0.93	0.97	0.94	0.97	1

Come è possibile osservare dai dati di correlazione, i primi 4 IPA della tabella che si trovano principalmente in fase vapore (variando la frazione in fase particolata ($\leq 5\%$) con la temperatura e con le caratteristiche chimico fisiche del particolato presente in atmosfera) non risultano in periodo estivo correlati con il B[a]P e comunque con nessuno degli IPA presenti in fase particolata, mentre questi 4 IPA sono ben correlati tra loro.

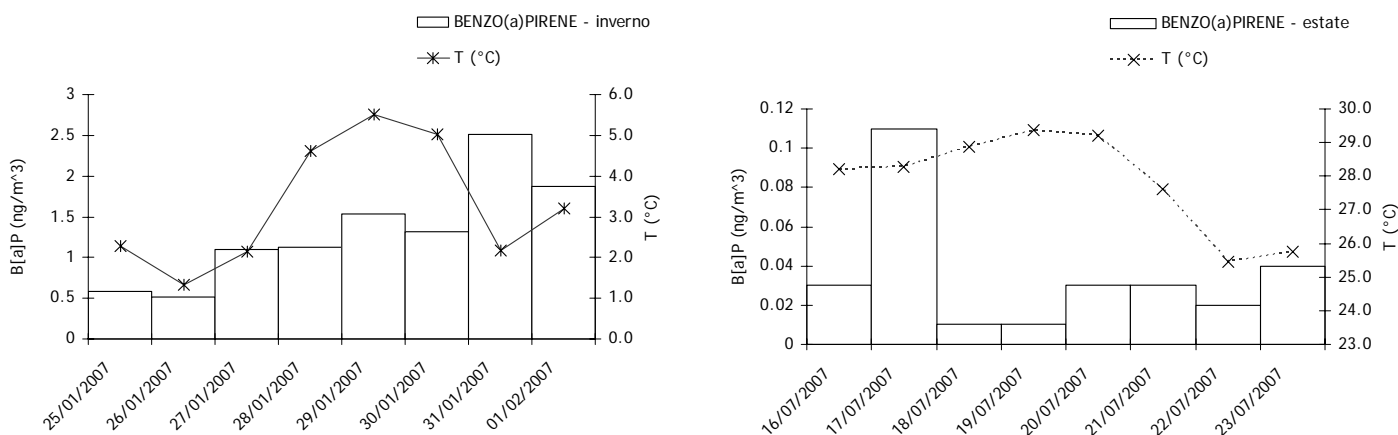
Gli altri 7 IPA che tendono ad essere presenti in atmosfera in fase particolata, invece presentano una buona correlazione con il B[a]P.

E' interessante notare come dal confronto invernale sia viceversa risultata un'ottima correlazione fra tutti i livelli di IPA e i livelli di B(a)P determinati nei campioni giornalieri (n=8).

INVERNO	Pha	Ant	Flu	Pyr	BaA	Chr	BbF	BkF	BgP	dBA	IP	BeP	BaP
FENANTRENE	1												
ANTRACENE	0.98	1											
FLUORANTENE	0.97	0.93	1										
PIRENE	0.96	0.95	0.95	1									
BENZO(a)ANTRACENE	0.99	0.98	0.98	0.95	1								
CRISENE	0.98	0.96	0.96	0.90	0.99	1							
BENZO(b)FLUORANTENE	0.95	0.91	0.94	0.85	0.96	0.98	1						
BENZO(k)FLUORANTENE	0.93	0.87	0.93	0.82	0.93	0.95	1	1					
BENZO(ghi)PERILENE	0.90	0.84	0.90	0.81	0.90	0.92	0.98	0.99	1				
DIBENZO(a,h)ANTRACENE	0.94	0.92	0.90	0.82	0.95	0.98	0.98	0.96	0.94	1			
INDENO(123cd)PIRENE	0.97	0.92	0.95	0.89	0.97	0.99	0.99	0.97	0.94	0.98	1		
BENZO(e)PIRENE	0.98	0.95	0.98	0.93	0.99	0.99	0.98	0.97	0.95	0.96	0.98	1	
BENZO(a)PIRENE	0.94	0.88	0.98	0.91	0.95	0.94	0.96	0.96	0.95	0.90	0.95	0.98	1

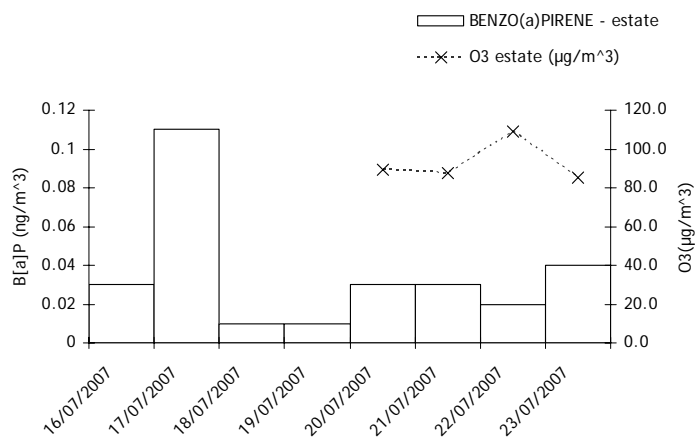
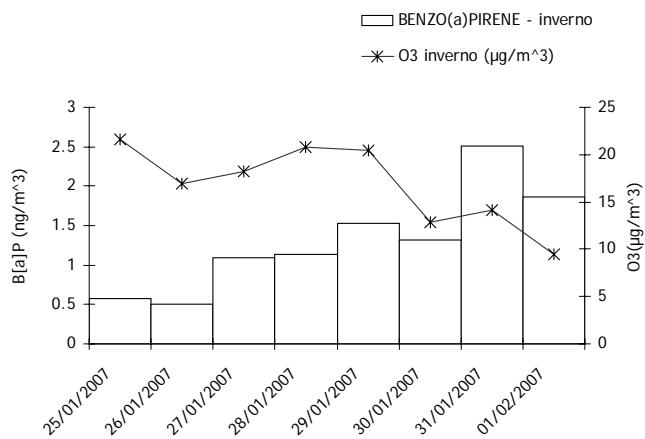
Prendendo come marker degli IPA il benzo(a)pirene, si è voluto verificare se vi fosse qualche correlazione tra questo inquinante e le condizioni meteorologiche relative al periodo di misura.

Dai dati di letteratura risulta che gli IPA con alto peso molecolare come il benzo(a)pirene, presentino una variabilità in particolar modo con la temperatura e la radiazione solare (Halsall e coll.). Dai grafici è possibile osservare come a picchi di temperatura corrispondano basse concentrazioni di B(a)P in entrambi i periodi di rilevamento.



Gli IPA infatti tendono a reagire anche con l'ozono, come ampiamente documentato in letteratura¹⁶, con diversi possibili meccanismi.

¹⁶ Cfr. Rindone B., Beltrame P., De Cesaris A.L.. "Il benzene ed altri composti aromatici: monitoraggio e rischi per l'uomo" - pag. 62.



In entrambi i periodi di osservazione il trend del B[a]P presenta dei minimi in corrispondenza di massimi di concentrazione di O3.

Conclusioni

Il monitoraggio eseguito lungo viale della Repubblica nel comune di Muggiò, nonostante il breve periodo di misura, sufficiente però per fornire un quadro generale della situazione annuale della qualità dell'aria, ha consentito, sulla base dei dati raccolti, di qualificare il sito in esame come zona di traffico urbano relativamente alla qualità dell'aria.

Il punto di osservazione è stato posto a ridosso di viale Repubblica, uno dei principali tratti viari cittadini, collocato lungo la direttrice Est - Ovest che, confluendo nella SP527 permette il collegamento della città di Muggiò con i comuni a Est e ad Ovest della regione.

Le caratteristiche del sito di misura posto a ridosso di un tratto viario a due corsie (una per senso di marcia) ed interessato da volumi di traffico di tipo locale e di attraversamento (sia leggero che pesante), nonché le condizioni meteorologiche sono stati elementi essenziali per l'interpretazione dei dati.

In periodo estivo, nonostante lunghi periodi di stabilità, dovuta alla subsidenza anticiclonica, le condizioni climatologiche sono state favorevoli al mantenimento di una qualità dell'aria accettabile, anche se in coincidenza dei periodi più caldi e soleggiati del mese **le concentrazioni di O_3 sono risultate non trascurabili facendo registrare 5 giorni di superamento del livello di attenzione e 12 giorni di superamento del limite di protezione per la salute umana. Sono stati osservati poi 2 giorni di superamento del valore limite di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per il PM10**

In periodo invernale invece a causa del progressivo attenuarsi del rimescolamento verticale dell'atmosfera favorito dalla persistenza di condizioni anticicloniche favorevoli all'accumulo, che ha caratterizzato gran parte del periodo, **vi sono stati 24 giorni di superamento del valore limite di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per il PM10, mentre a causa del perdurare di periodi di alta pressione, vi è stato un giorno con 6 superamenti orari della soglia di attenzione per l' NO_2 .**

Tali criticità hanno in ogni caso riguardato tutto il bacino padano che a causa dell'orografia del suo territorio (chiuso nelle tre direzioni Nord, Ovest, Sud dai rilievi alpini ed appenninici) risente maggiormente di fenomeni di stagnazione anche in condizioni meteorologiche favorevoli alla dispersione. In particolare la zona di Milano, caratterizzata da un clima continentale, subisce questo blocco atmosferico soprattutto in inverno.

Analizzando nel dettaglio la situazione anemologica registrata dalla stazione meteo del Laboratorio Mobile, si osserva come in estate siano stati registrati episodi di maggiore intensità rispetto al periodo invernale. I settori maggiormente interessati da fenomeni ventosi sono stati in periodo estivo gli stessi che hanno interessato il periodo invernale, con una maggiore frequenza dal settore Ovest – Sud Ovest.

Nel periodo estivo di misura si osserva come, a differenza del periodo invernale in cui si sono registrati periodi di calma pari a circa il 28% della fase di osservazione, la presenza di una situazione anemologica piuttosto vivace caratterizzata principalmente da episodi di bava di vento ($0.2 < VV < 1.5$ - 58% del periodo di misura) alcuni casi di brezza leggera ($1.5 < VV < 3.3$ - 27% del periodo di misura) e sporadici eventi di brezza tesa ($3.3 < VV < 5.4$ - 2% del periodo di misura), abbiano invece permesso uno sblocco atmosferico favorendo la dispersione degli inquinanti.

La caratterizzazione dei flussi di traffico poi, attraverso lo studio di inquinanti considerati dei marker del traffico, ha permesso di qualificare viale della Repubblica come un'importante arteria di collegamento intercomunale.

Questa evidenza è avvalorata dalla buona correlazione riscontrata nel data set raccolto lungo viale della Repubblica con i valori misurati dalla centralina urbana da traffico di Cinisello Balsamo, situata lungo la direttrice Sud di Muggiò, in un'area con caratteristiche simili a quelle del sito di

misura. Tale osservazione ha trovato parziale conferma in periodo estivo dove sono state riscontrate buone correlazioni con la centralina urbana da fondo di Cormano¹⁷. In generale si è osservato come durante il periodo di misura le concentrazioni medie giornaliere e settimanali riscontrate siano quasi sempre superiori per quanto riguarda l'NO e l'NO₂ rispetto a quelle misurate nella stazione di Cinisello Balsamo e Cormano.

Le analisi estive hanno anche permesso di confermare le conoscenze acquisite in periodo invernale sui flussi di traffico caratteristici dell'area di indagine: i picchi di concentrazione si presentano in corrispondenza delle ore di punta mattutina e serale, caratteristica questa di importanti arterie di collegamento; in particolare per il giorno tipo feriale i valori più alti si presentano nella fascia oraria che va dalle ore 06.00 alle ore 12.00 del mattino e in quella serale compresa tra le 17.00 e le 22.00.

Analizzando poi nei dettagli il data set estivo ed invernale, quello che emerge è la grande variabilità degli inquinanti nei due periodi di misura

La variabilità delle concentrazioni di NO nei due periodi di osservazione è molto elevata, con valori medi estivi inferiori del 89% rispetto a quelli misurati in periodo invernale.

Sebbene i valori siano, in termini assoluti, decisamente diversi, si osserva come la caratteristica comune in entrambe le situazioni (estiva/invernale) sia una diminuzione delle concentrazioni in coincidenza dei fine settimana, periodo durante il quale, in qualsiasi periodo dell'anno, il traffico veicolare risulta maggiormente contenuto.

Si è voluto infine verificare nei due periodi di osservazione quale valore di concentrazione di NO fosse più frequente. A tale scopo sono pertanto stati presi i dati relativi alle due campagne e sono stati divisi in classi (15 nella sottostante tabella). Quello che è emerso è che i valori di concentrazione più frequenti in entrambe le campagne sono inferiori ai 50 µg/m³

Anche per l'NO₂ vi è un'evidente variabilità tra estate ed inverno (66%) a conferma delle maggiori capacità dispersive dell'atmosfera in periodo estivo.

Come osservato precedentemente per l'NO, anche per questo inquinante tipico del periodo invernale, le concentrazioni medie settimanali nel periodo estivo presentano valori decisamente più contenuti rispetto a quelli invernali (diminuzione di circa il 67%), pur mantenendo un andamento temporale analogo.

Le classi con valori di concentrazione di NO₂ maggiormente frequenti nei due periodi di osservazione sono state: in periodo invernale quella con valori ricompresi nell'intervallo 60 µg/m³<[NO₂]<100 µg/m³ nel periodo estivo invece quella con valori ricompresi nell'intervallo 20 µg/m³<[NO₂]<60 µg/m³.

Anche nel caso del CO la variabilità estate/inverno è alta, con concentrazioni di molto inferiori in periodo estivo (62%).

Se si esaminano poi gli intervalli di variabilità temporale settimanale relativi ai due periodi di misura risulta evidente la scarsa variabilità di concentrazione in entrambi i casi.

Questo dato sembrerebbe quindi suggerire che il contributo del traffico veicolare a questo tipo di inquinante è molto ridotto anche nelle ore di punta, in situazioni di traffico congestionato.

Si è osservato poi che mentre per il periodo invernale i valori sono distribuiti su più classi di frequenza in periodo estivo le classi di frequenza interessate sono solo 3. Si evidenzia comunque come valori di concentrazione più frequente in entrambi i periodi di osservazione siano quelli appartenenti alla classe di frequenza più bassa (classe 0.5).

¹⁷ Non è stato possibile confrontare i dati raccolti con quelli della centralina di Cinisello Balsamo come nella precedente campagna invernale perché la stessa ha presentato dei disservizi in corrispondenza del periodo di osservazione con Laboratorio Mobile.

Per quanto riguarda l'ozono, mentre la prima campagna era stata condotta in periodo invernale, non particolarmente critico per questo inquinante di natura fotochimica, l'attuale campagna è stata svolta in un periodo favorevole alla sua formazione.

Infatti nel caso del O₃ la variabilità estate/inverno è alta, ma, a differenza degli altri inquinanti, con concentrazioni molto inferiori in periodo invernale (83%).

La variabilità della radiazione media giornaliera tra estate ed inverno è elevata (79%) ed è dell'ordine della variabilità delle concentrazioni di ozono tra estate e inverno (83%).

La matrice di Pearson calcolata sull'intero set di dati orari mostra un'ottima correlazione con la vicina stazione urbana da fondo di Monza¹⁸ (R = 0.95) che presenta un andamento molto simile, con valori quasi coincidenti. Tale correlazione conferma la discreta corrispondenza osservata durante la campagna invernale (R = 0.72).

Tale corrispondenza è rafforzata osservando i trend settimanali ove è possibile osservare come i picchi di concentrazione siano presenti nel fine settimana dove si ha un calo delle concentrazioni di NO.

La correlazione tra le due postazioni (fissa/mobile) in entrambi i periodi di osservazione sembrerebbe avvalorare ulteriormente quanto ipotizzato nella prima campagna di misura ovvero che la formazione dell'ozono nel sito di prelievo è da riferirsi a fenomeni di trasporto. Analizzando infatti l'andamento anemologico registrato dalla stazione meteo del Laboratorio Mobile si osserva come i settori maggiormente interessati da fenomeni ventosi siano stati in entrambe le campagne, quelli Est – Nord Est e Ovest –Sud Ovest, con una maggiore frequenza di venti provenienti dal quadrante di Sud-Ovest. Poiché 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 in particolare nelle aree sottovento rispetto a grossi agglomerati urbani, in accordo con la caratteristica di questo inquinante di essere di natura ubiquitaria.

Mentre per il periodo estivo i valori di concentrazione sono distribuiti su più classi di frequenza in periodo invernale le classi di frequenza interessate sono solo 4. Si evidenziano comunque come valori di concentrazione più frequente in periodo estivo siano quelli appartenenti ad una classe di frequenza intermedia (classe 80).

Nel caso del PM10 la variabilità estate/inverno è alta, con concentrazioni di molto inferiori in periodo estivo del 67%.

Mentre nel periodo invernale i valori sono distribuiti su più classi di frequenza, in particolare su classi con valori superiori a 50, in periodo estivo le classi di frequenza interessate sono solo 5.

Lo studio degli IPA poi lungo viale della Repubblica in due periodi significativi dell'anno è stato condotto per cercare di verificare 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.

Lo studio evidenzia il marcato andamento stagionale degli IPA, con valori di concentrazione minori, a volte anche prossimi ai limiti di rilevabilità nella campagna estiva (luglio) e un picco nella campagna invernale (gennaio – febbraio), con valori fino a due ordini di grandezza superiori rispetto ai valori rilevati in estate. La diminuzione delle concentrazioni rilevate nei mesi estivi è legata in parte alle reazioni di fotolisi diretta con specie radicaliche (OH, NO₂, NO₃), biradicaliche (O₂, O₃) o altre molecole reattive presenti in atmosfera, che contribuiscono a diminuirne il tempo di permanenza, in parte alla diversa ripartizione degli IPA tra la fase gas e il materiale particolato.

¹⁸ Non è stato possibile fare un confronto con la centralina di Cinisello in quanto quest'ultima non è dotata di analizzatore per la rilevazione dell'ozono.

causata dalla elevata temperatura ambiente in periodo estivo, ed in misura minore dalla maggiore altezza e turbolenza dello strato di rimescolamento

Per cercare di determinare quanto incidano nel sito di prelievo le varie sorgenti che concorrono alla formazione di questi IPA, sono state fatte ulteriori considerazioni attraverso il rapporto diagnostico DR (diagnostic ratio) inteso come rapporto tra IPA considerati dei marker di particolari sorgenti antropiche. La letteratura più recente però ha mostrato qualche perplessità nell'utilizzo di tale metodo.

Si crede 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 2 vengono riportati i risultati estivo/invernale di tre rapporti di 5 IPA considerati traccianti del traffico e della combustione di biomasse con il valore degli IPA totali:

Tabella2: risultati valori medi di Σ , Σ' , PM10, T e concentrazione relativa di IPA

	INVERNALE	ESTIVO
n. campioni	8	8
T (°C)	5.5 (valore medio)	25.7 (valore medio)
Σ (ng/m ³)	160.1	13.1
Σ' (ng/m ³)	142.7	5.5
PM10 (µg/m ³)	93 (valore medio)	33 (valore medio)
(B[b]F+B[k]F)/ Σ'	20%	12%
CHR/ Σ'	14%	10%
B[gli]P+I[123cd]P/ Σ'	24%	18%

Il primo di questi rapporti è indicativo dell'impatto emissivo dei veicoli alimentati a gasolio, con qualche implicazione legata alla combustione di biomasse. Dalle tabelle di confronto, il diminuito valore in periodo estivo sembrerebbe suggerire che vi sia un contributo all'impatto emissivo totale invernale legato alla combustione di biomasse, ma che comunque l'apporto maggiore alle emissioni sia dato dal traffico veicolare.

Nel secondo rapporto viene utilizzato il crisene che, come precedentemente illustrato, 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.

Dall'analisi delle relazioni risulterebbe confermato il dato che a incidere in misura maggiore sia la componente traffico (~ 44% inverno - ~ 30% estate) rispetto agli impianti di riscaldamento (14%) ed in particolare sembrerebbero influire di più i veicoli alimentati a benzina (24% inverno - ~ 18% estate) rispetto ai veicoli diesel che inciderebbero per circa il 20% in inverno e per circa il 12% estate.

Per cercare di ottenere una conferma sulla sorgente che influenza in maniera più rilevante la qualità dell'aria a Muggiò sono stati analizzati ulteriori rapporti, riportati in tabella 3:

Tabella3: rapporti di alcuni IPA

DR	coefficiente	
	INVERNO	ESTATE
I(123cd)P/I(123cd)P+B(gli)P	0.47	0.46
B(e)p/B(e)P+B(a)P	0.77	0.79
FEN/FEN+ANT	0.94	0.61

Il valore ottenuto dalla prima di queste relazioni mette in evidenza la presenza in aria di scarti del gasolio emessi dagli scarichi dei veicoli diesel (Aceves and Grimaldt, 1993).

Il secondo di questi valori è troppo alto e pressoché costante tra estate e inverno, per poter dare informazioni relative alla componente traffico veicolare. Questo rapporto potrebbe essere ascritto alla maggiore predisposizione del B[a]P rispetto al B[e]P a degradarsi una volta immesso in atmosfera.

Il terzo valore infine evidenzia la presenza di petrolio e dei suoi derivati (Barakat, dati non pubblicati) nonché le emissioni dei gas di scarico (Rogge et al., 1993b). Una riduzione di circa il 35% di questo coefficiente in periodo estivo sembrerebbe suggerire che vi sia un contributo all'impatto emissivo totale invernale legato agli impianti di riscaldamento alimentati a gasolio.

Per poter confermare la componente traffico come elemento dominante la qualità dell'aria nel comune di Muggiò, rispetto al riscaldamento domestico, risulta utile verificare se i dati estivi confermano le buone correlazioni del data set invernale con alcuni "marker" del traffico veicolare come NO ed NO₂, infatti questi gas, pur non essendo una causa diretta della 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.

Dal confronto risulta evidente uno stretto legame tra marker del traffico ed IPA in periodo invernale mentre in periodo estivo i dati risultano completamente anticorrelati.

I coefficienti di correlazione ottenuti confrontando le concentrazioni di I.P.A. totali (ng/m³) con NO, NO₂ e PM₁₀ (µg/m³) mostrano un'ottima correlazione in periodo invernale ($R_{NO} = 0.94$ – $R_{NO_2} = 0.96$ – $R_{PM_{10}} = 0.84$) permettendo di ipotizzare che il traffico veicolare lungo viale della Repubblica incida in modo preponderante sulla qualità dell'aria del comune.

Non sono state invece osservate correlazioni con marker del traffico in periodo estivo, a causa probabilmente della diversa ripartizione degli IPA tra la fase gas e il materiale particellare causata dalla elevata temperatura ambiente in periodo estivo.

Si può concludere dunque che il monitoraggio ha consentito una caratterizzazione della qualità dell'aria del comune di Muggiò, attraverso la valutazione dei livelli ambientali dell'inquinamento atmosferico raccolti lungo viale della Repubblica.

CENTRALINE RETE PROVINCIALE DI RIFERIMENTO

	rete	Tipo zona Dec. 2001/752/CE	Tipo stazione Dec. 2001/752/CE	Quota s.l.m. (metri)	Periodo di misura
Muggiò Viale Repubblica	PUB	URBANA	TRAFFICO	176	03 – 31.07.2007
<i>Milano Pascal</i>	PUB	URBANA	TRAFFICO		Centralina Fissa
<i>Milano Verzieri</i>	PUB	URBANA	TRAFFICO	122	Centralina Fissa
<i>Pioltello</i>	PUB	URBANA	FONDO	122	Centralina Fissa
<i>Monza</i>	PUB	URBANA	FONDO	160	Centralina Fissa
<i>Trezzo sull'Adda</i>	PUB	SUBURBANA	FONDO	178	Centralina Fissa
<i>Cinisello Balsamo</i>	PUB	URBANA	TRAFFICO	154	Centralina Fissa
<i>Sesto San Giovanni</i>	PUB	URBANA	TRAFFICO	140	Centralina Fissa
<i>Carate Brianza</i>	PUB	URBANA	FONDO	236	Centralina Fissa
<i>Cormano</i>	PUB	URBANA	FONDO	149	Centralina Fissa
<i>Limbiate</i>	PUB	URBANA	FONDO	146	Centralina fissa
<i>Meda</i>	PUB	URBANA	FONDO	243	Centralina fissa
<i>Parco di Monza</i>	PUB	URBANA	FONDO		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

Biossido di azoto

	% Trend.	Media ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Dev St	Max Media1 h ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Nr. giorni superamento livello attenzione
Muggiò Viale Repubblica	99.6	29	21	115	0
Monza	99.9	31	23	147	0
Carate Brianza	82.4	30	13	83	0
Meda	97.6	25	13	102	0
Cormano	100	36	22	128	0
Sesto San Giovanni	99.7	50	28	185	0
Limbiate	99.7	34	19	119	0

Monossido di carbonio

	% Rend.	Media (mg/m ³)	Dev St	Max Media 1 h (mg/m ³)	Nr. giorni superamento livello attenzione	Max Media 8 h (mg/m ³)	Nr. giorni superamento livello attenzione
Muggiò Viale Repubblica	98.7	0.5	0.2	1.4	0	0.9	0
Monza	99.9	0.5	0.1	1.2	0	0.9	0
Carate Brianza	82.4	0.8	0.4	2.5	0	2.0	0
Meda	97.6	0.8	0.3	3.6	0	1.2	0
Cormano	100	0.4	0.2	2.2	0	0.7	0
Sesto San Giovanni	99.7	0.5	0.2	1.2	0	0.9	0
Limbate	100	1.0	0.3	2.1	0	1.5	0

Ozono

	%Trend.	Media ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Dev St	Max Media1 h ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Nr. giorni superamento livello attenzione	Max Media 8h ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Nr. giorni superamento Liv. Protezione per la Salute
Muggiò Viale Repubblica	83.6	84	44	248	5 08.07.2007 15.07.2007 27 – 29.07.2007	217	12 07 – 08.07.2007 13 – 14.07.2007 20 – 22.07.2007 26 – 30.07.2007
Monza	99.9	84	46	241	6 15 - 16.07.2007 18 – 19.07.2007 27 – 28.07.2007	211	16 07 – 08.07.2007 13 – 23.07.2007 26 – 29.07.2007
Carate Brianza	77.4	80	40	230	3 15.07.2007 27 – 28.07.2007	190	10 08.07.2007 13 – 15.07.2007 21.07.2007 26 – 29.07.2007
Meda	97.6	83	37	210	4 15 - 18.07.2007 27 – 28.07.2007	183	11 08.07.2007 14 – 19.07.2007 26 – 29.07.2007
Cormano	100	60	34	194	1 15.07.2007	152	6 14 – 16.07.2007 19-07.2007 27 – 28.07.2007
Limbate	100	77	40	215	4 18 – 19.07.2007 27 – 28.07.2007	189	11 08.07.2007 14 – 19.07.2007 26 – 29.07.2007

	% Trend.	Media ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Dev St	Max Media giornaliera ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Nr. giorni superamento livello attenzione
Muggiò Viale Repubblica	100	33	9	53	1 19.07.2007
<i>Milano Pascal</i>	81.5	25	9	46	0
<i>Milano Verzieri</i>	100	26	8	44	0
<i>Monza</i>	96.3	26	11	61	1 18.07.2007
<i>Pioltello</i>	85.2	27	11	48	0
<i>Vimercate</i>	100	31	10	51	2 18 -19.07.2007
<i>Meda</i>	81.5	31	9	47	0
<i>Trezzo sull'Adda</i>	100	22	8	39	0
<i>Parco di Monza</i>	100	38	11	58	17.07.2007 19 -20.07.2007 23.07.2007

Bibliografia

- Atkinson, R., Carter, W. P. L., Plum, C. N., Winer, A. M., Pitts, J. N.** 1984. Kinetics of gas-phase reactions of NO₃ 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., Ciccio, P., Brancaloni, 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.
- CEN/TC 264/WG 14.** Air quality - Reference method for the measurement of Pb/Cd/As/Ni in ambient air for the implementation of EC air quality directives. (Working document no. 609, 12.11.2002).
- 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.
- Fan, Z., Chen D., Birla, P., Kamens, R. M.** 1995. Modeling of nitro-polycyclic aromatic hydrocarbon formation and decay in the atmosphere. *Atm. Env.*, 29, 1171-1181.
- Gaudio, 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 PM10 e PM2,5 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 NO₃. *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".

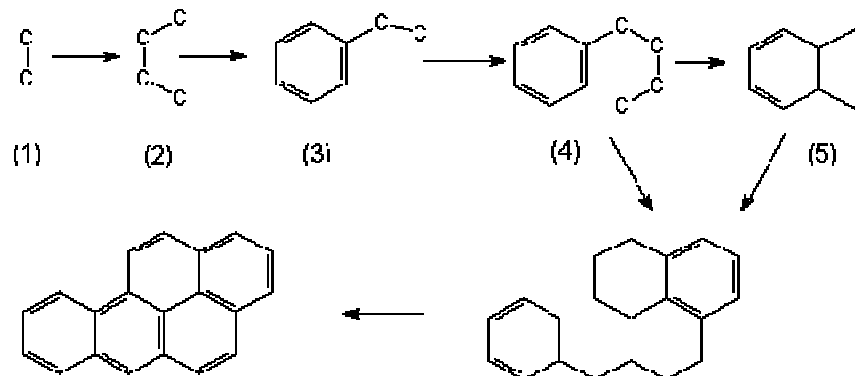
Ziemacki G, Viviano G, Merli F. Heavy metals: sources and environmental presence. *Ann Ist Super Sanità* 1989;25(3): 531-6.

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 CO₂.

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:

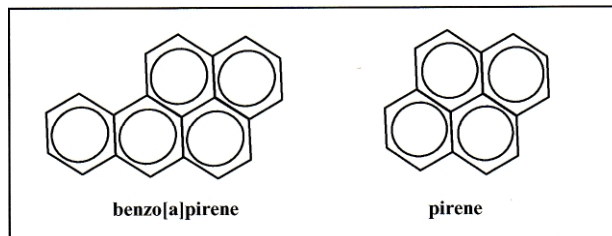
COMPOSTO	CLASSE IARC
Benzo(a)Antracene	2 A
Benzo(k)Fluorantene	2 B
Benzo(b)Fluorantene	2 B
Benzo(j)Fluorantene	2 B
Benzo(a)Pirene	2 A
Di Benzo (ah)Antracene	2 A
Indeno(1,2,3 -cd)Pirene	2 B

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.

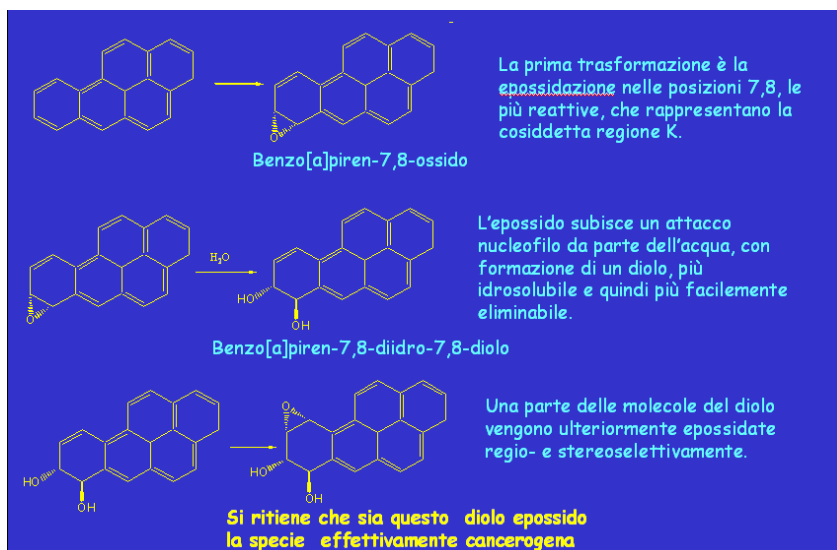
Il meccanismo con cui questi composti agiscono come cancerogeni è ancora poco chiaro e diverse teorie sono state formulate a proposito. La più conosciuta è quella della "bay region", che riguarda, tra altri composti, il benzo[a]pirene, uno degli IPA con maggiore potenziale cancerogeno.

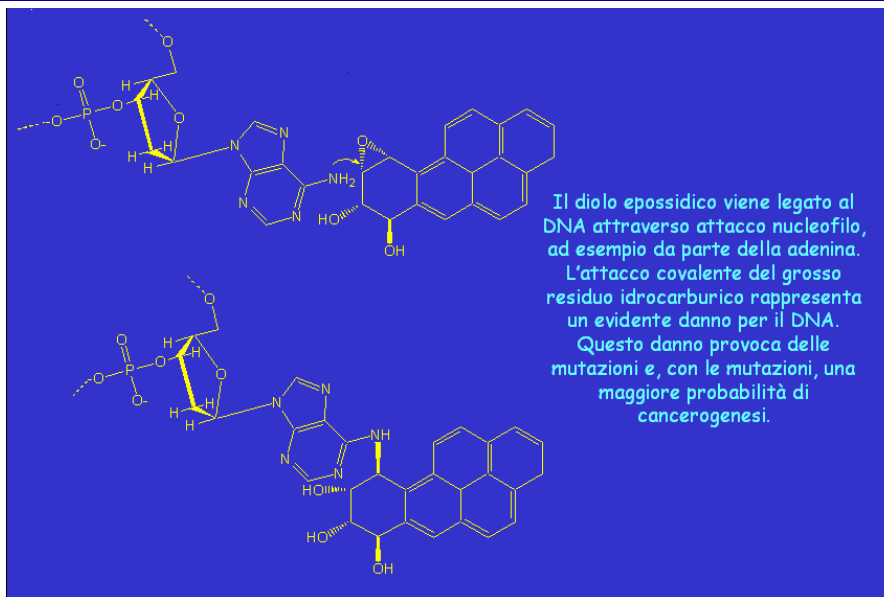
Questa teoria si basa sul metabolismo del benzo[a]pirene ad opera degli enzimi ossidativi a formare, da prima un epossido e poi un diolo epossido.

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 mutageno 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}P del nucleotide modificato (addotto), sono molto sensibili (1 addotto/1010 basi) e richiedono piccole quantità di campione (μg). 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

lunghe 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 m³/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.

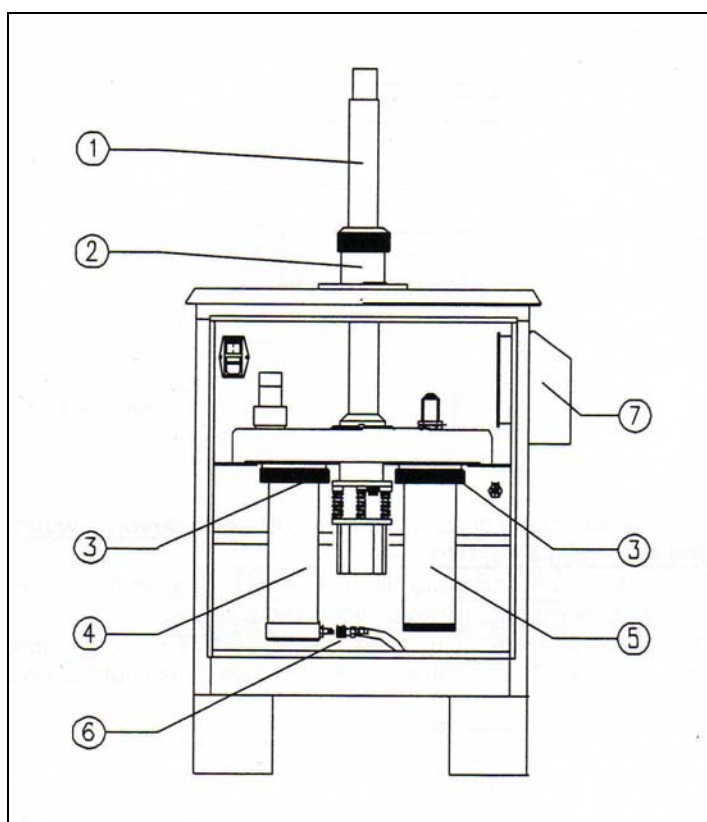


Figura 1

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

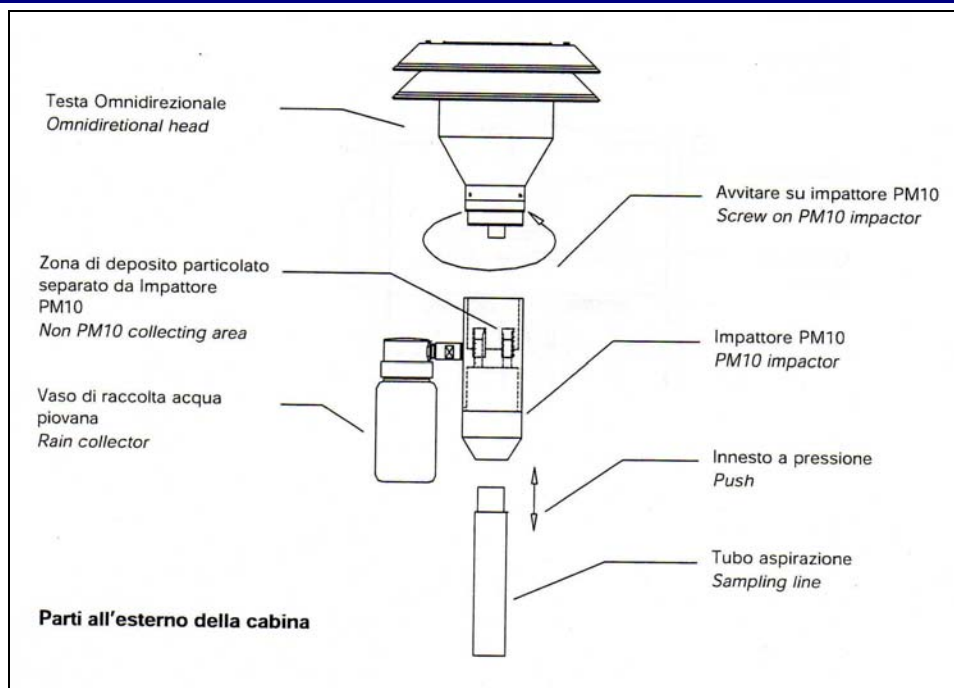


Figura 2

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

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 con 4 - 6 anelli, presenti nel particolato atmosferico:

- Benz[a]Antracene
- Benzo[b]Fluorantene
- Benzo[j]Fluorantene
- Benzo[k]Fluorantene
- Benzo[a]Pirene
- Indeno[1,2,3-cd]Pirene
- Dibenz[a,h]Antracene

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

Tramite un campionatore ad alto 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.