

Laboratorio Mobile
Campagna di Misura Inquinamento Atmosferico
Comune di Ronco Briantino
Via IV Novembre

09/02/2009 – 06/03/2009



Agenzia Regionale
per la Protezione dell'Ambiente
della Lombardia

Campagna di Misura Inquinamento Atmosferico

Comune di Ronco Briantino

Via IV Novembre

MONZA,

Gestione e Manutenzione Tecnica del Laboratorio Mobile

p.i. Davide Paladini

Relatore

p.i. Davide Paladini

Il Responsabile dell'U. O. Aria e Agenti Fisici

dott. Simona Invernizzi

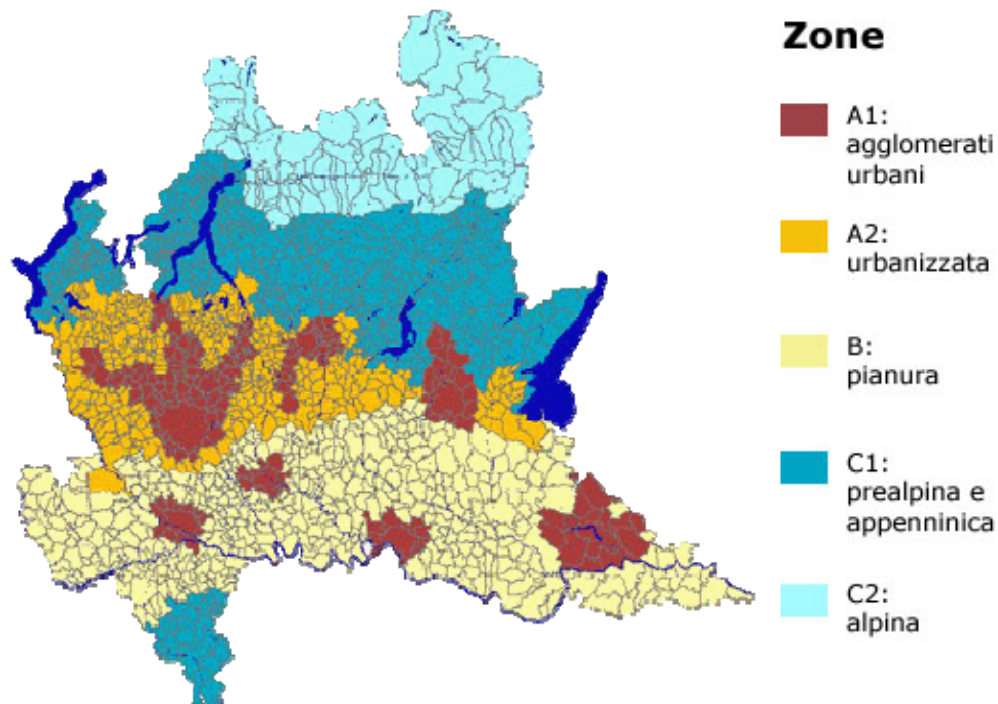
Premessa

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

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

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

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



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

Introduzione

Il Laboratorio Mobile è stato posizionato in via IV Novembre, in corrispondenza del piccolo parcheggio antistante il Municipio comunale. Il sito di misura rispetta i criteri di rappresentatività indicati per il posizionamento delle cabine fisse di rilevamento (Allegato VIII del D.M. 60/02).

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

- Ossidi di azoto (NO_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 tra 1.5 e 4 m di quota;
- i sensori meteorologici sono posizionati all'altezza di circa 8 m dal suolo.

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

Nei periodi oggetto d'indagine, in ottemperanza alla D.G.R. n. 7635 del 11 luglio 2008¹ è stato stabilito per la Zona A1 del territorio regionale:

- il fermo del traffico nelle giornate da lunedì a venerdì, escluse le giornate festive infrasettimanali, dalle ore 7.30 alle ore 19.30, dei veicoli "Euro 0" a benzina o diesel e "Euro 1" diesel;
- il divieto di utilizzo di biomassa legnosa in apparecchi per il riscaldamento domestico degli edifici, nel caso siano presenti altri impianti per riscaldamento alimentati con altri combustibili ammessi, ai sensi dell'articolo 11, comma 1, lettera b), della l.r. 24/2006.

¹ La Giunta Regionale ha approvato, nella seduta del 10 ottobre 2007 la D.G.R. n. 5546, che stabilisce i provvedimenti per il contenimento e la prevenzione degli episodi acuti di inquinamento atmosferico per il periodo 15/10/2007 - 15/04/2008 e nella seduta del 18.08.2008 la d.G.R. 7635, che stabilisce i provvedimenti per il contenimento e la prevenzione degli episodi acuti di inquinamento atmosferico per il periodo 15/10/2008 - 15/04/2009.

Normativa

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

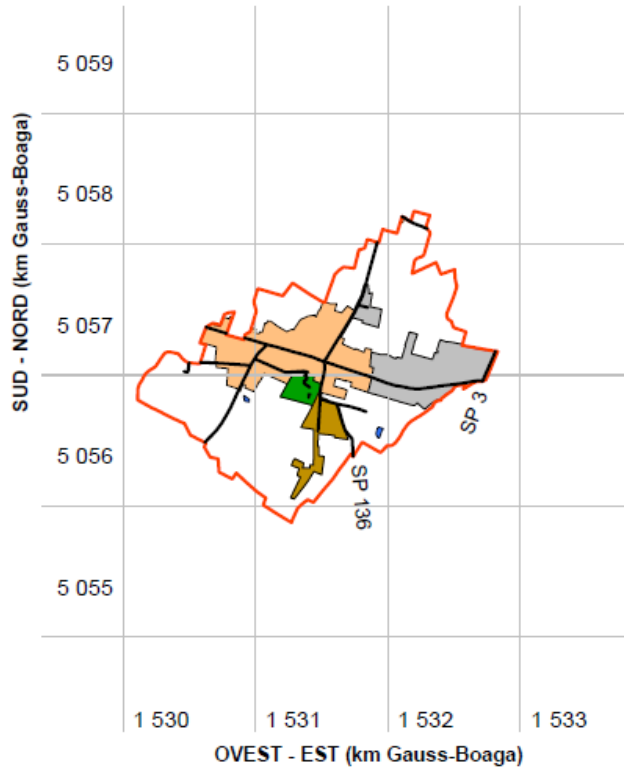
Per quanto riguarda i limiti a lungo termine, viene fatto riferimento agli standard di qualità e ai valori limite di protezione della salute umana, della vegetazione e degli ecosistemi (D.P.C.M. 28/3/83 – D.P.R. 24/5/88 – D.M. 25/11/94 – D.M. 16/5/96 – D.M. 2/4/02) allo scopo di prevenire esposizioni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

E' importante sottolineare che il D.M. 60 del 2/4/02 ha introdotto, oltre ad una serie di valori limite, anche le date alle quali tali valori devono essere raggiunti; esso prevede inoltre un percorso nel tempo che porta ad un graduale raggiungimento dei limiti, stabilendo un margine di tolleranza che si riduce negli anni. In tabella, tra parentesi sono indicati i margini di tolleranza validi per l'anno 2009.

SO ₂	Valore Limite (µg/m ³)	Periodo mediazione	Legislazione	
	Valore limite protezione salute umana (da non superare più di 24 volte per anno civile)	350	1 h	D.M. 60 2/4/02
	Valore limite protezione salute umana (da non superare più di 3 volte per anno civile)	125	24 h	D.M. 60 2/4/02
	Valore limite protezione ecosistemi	20	anno civile e inverno (1 ott – 31 mar)	D.M. 60 2/4/02
	Soglia di allarme	500	1 h (rilevati su 3 ore consecutive)	D.M. 60 2/4/02
NO ₂	Valore Limite (µg/m ³)	Periodo 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 (+10)	1 h	D.M. 60 2/4/02
	Valore limite protezione salute umana	40 (+2)	Anno civile	D.M. 60 2/4/02
	Soglia di allarme	400	1 h (rilevati su 3 ore consecutive)	D.M. 60 2/4/02
NO _x	Valore Limite (µg/m ³)	Periodo mediazione	Legislazione	
	Valore limite protezione vegetazione	30	Anno civile	D.M. 60 2/4/02
CO	Valore Limite (mg/m ³)	Periodo 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. 60 2/4/02
	Soglia di attenzione	10	8 h	D.G.R. 28/10/02
O ₃	Valore Limite (µg/m ³)	Periodo 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
PM10	Valore Obiettivo (µg/m ³)	Periodo 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
IPA	Valore Obiettivo (ng/m ³)	Periodo mediazione	Legislazione	
B[a]P	Valore limite protezione salute umana e per l'ambiente	1	Anno civile	D.L. 152 03/08/07
	<ul style="list-style-type: none"> - Il valore obiettivo è riferito al tenore totale dell'inquinante presente nella frazione PM10 del materiale particolato, calcolato come media sull'anno civile. - La media annuale calcolata deve essere espressa con una cifra decimale. - Il valore obiettivo di intende superato anche se pari a quello indicato nella tabella, ma seguito da qualsiasi cifra decimale diversa da zero 			

Sito di misura

Mappa dei principali assi viari cittadini



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

Periodo di misura	9 febbraio – 6 marzo 2009
Sito di misura:	Via IV Novembre
Assi stradali statali e provinciali:	SP N° 3 (d'Imbersago) SP N° 136 (Bernareggio-Ronco B.)
Assi stradali comunali	Via IV Novembre – Via Brigatti Via Lucchese – Via Battisti Strada comunella Carnate – Via Pio XI

Il Territorio Comunale di Ronco Briantino

Ronco Briantino è un centro abitato che conta circa 3099 abitanti distribuiti su una superficie di circa 3 Km² e dista circa 30 Km dal capoluogo lombardo in direzione Nord.; confina a sud-ovest con Carnate, a sud est con Bernareggio, ad est con Verderio Inferiore, a nord-est con Robbiate a nord con Merate e a nord-ovest con Osnago.

Le maggiori attività produttive presenti sul territorio comunale riguardano la lavorazione dei prodotti in metallo e la fabbricazione di macchine ed apparecchi meccanici

Principali sorgenti emissive nel territorio Comunale di Ronco Briantino

Per un apporto all'interpretazione dei dati raccolti sul campo è stata fatta una stima delle principali sorgenti emissive all'interno del territorio comunale di Ronco Briantino attraverso l'inventario regionale INEMAR² (Inventario Emissioni Aria), nella sua versione più recente, **riferita all'anno 2005**.

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 µm (PM2.5)

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

In **allegato 1** vengono forniti i contributi delle singole sorgenti; in **allegato 2** vengono invece evidenziati i contributi all'inquinamento atmosferico dei singoli combustibili per macrosettore.

Dall'analisi emerge che le principali fonti di inquinamento nel comune di Ronco Briantino sono dovute al traffico veicolare ed agli impianti di riscaldamento.

Si può infatti osservare come il traffico contribuisca per il 54.6% alla formazione degli ossidi di azoto e per il 74.3% a quella del monossido di carbonio; per quanto riguarda il PM10 e al PM 2.5 tale sorgente contribuisce rispettivamente per il 46.1% e il 43.2%

La combustione non industriale incide sulla qualità dell'aria, contribuendo per il 39.4% all'emissione di biossido di zolfo, per il 18.8% all'emissione in atmosfera di ossidi di azoto, per il 20.6% al monossido di carbonio, per il 21.4% al formazione di PM10 e per il 23.2% alla formazione di PM2.5.

Per quanto riguarda le emissioni di particolato atmosferico (PM10 e PM2.5) dal grafico dei singoli combustibili per macrosettore, si nota come l'emissione dovuta al trasporto su strada derivi principalmente dal diesel, invece relativamente alla emissioni non industriali il contributo più significativo può essere ricondotto alla combustione della legna.

² Maggiori informazioni e una descrizione più dettagliata in merito all'inventario regionale sono disponibili sul sito web: <http://www.ambiente.regione.lombardia.it/inemar/inemarhome.htm>.

Allegato 1

COMUNE DI RONCO BRIANTINO

DESCRIZIONE MACROSETTORE	SO ₂ t/anno	NOx 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	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Combustione non industriale	0.27	5.10	3.60	14.56	0.63	0.61	11.43
Combustione nell'industria	0.26	2.38	0.58	0.96	0.13	0.09	3.60
Processi produttivi	0.00	0.00	1.34	0.00	0.02	0.01	1.34
Estrazione e distribuzione combustibili	0.00	0.00	1.08	0.00	0.00	0.00	1.55
Uso di solventi	0.00	0.00	56.41	0.00	0.00	0.00	56.41
Trasporto su strada	0.10	14.81	17.93	52.58	1.37	1.14	41.79
Altre sorgenti mobili e macchinari	0.07	4.54	0.88	2.41	0.62	0.60	6.67
Trattamento e smaltimento rifiuti	0.00	0.00	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02
Agricoltura	0.00	0.32	0.01	0.00	0.02	0.01	0.67
Altre sorgenti e assorbimenti	0.00	0.00	0.55	0.27	0.17	0.17	0.58
TOTALE	0.69	27.14	82.40	70.79	2.97	2.64	124.06

PROVINCIA DI MILANO

DESCRIZIONE MACROSETTORE	SO ₂ t/anno	NOx 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	1653.12	3086.41	194.17	481.75	40.75	28.78	4014.98
Combustione non industriale	1590.18	6617.62	3221.25	13163.84	617.77	595.84	12756.57
Combustione nell'industria	1546.21	3546.35	921.50	1109.98	173.85	120.02	5378.86
Processi produttivi	0.04	61.39	1898.59	254.25	86.16	33.69	2001.46
Estrazione e distribuzione combustibili	0.00	0.00	3320.74	0.00	0.00	0.00	3820.75
Uso di solventi	0.23	0.70	49690.06	0.00	31.99	11.70	49690.91
Trasporto su strada	190.59	30417.57	24049.19	76451.35	2408.88	2023.66	69582.91
Altre sorgenti mobili e macchinari	146.09	4594.33	1237.91	3337.87	529.67	520.68	7210.44
Trattamento e smaltimento rifiuti	27.94	1592.66	77.50	2653.59	16.32	15.41	2577.55
Agricoltura	12.41	171.61	61.73	647.30	95.94	75.41	546.63
Altre sorgenti e assorbimenti	0.47	2.08	788.23	373.04	201.52	201.28	831.94
TOTALE	5167.28	50090.72	85460.86	98472.98	4202.86	3626.48	158413.01

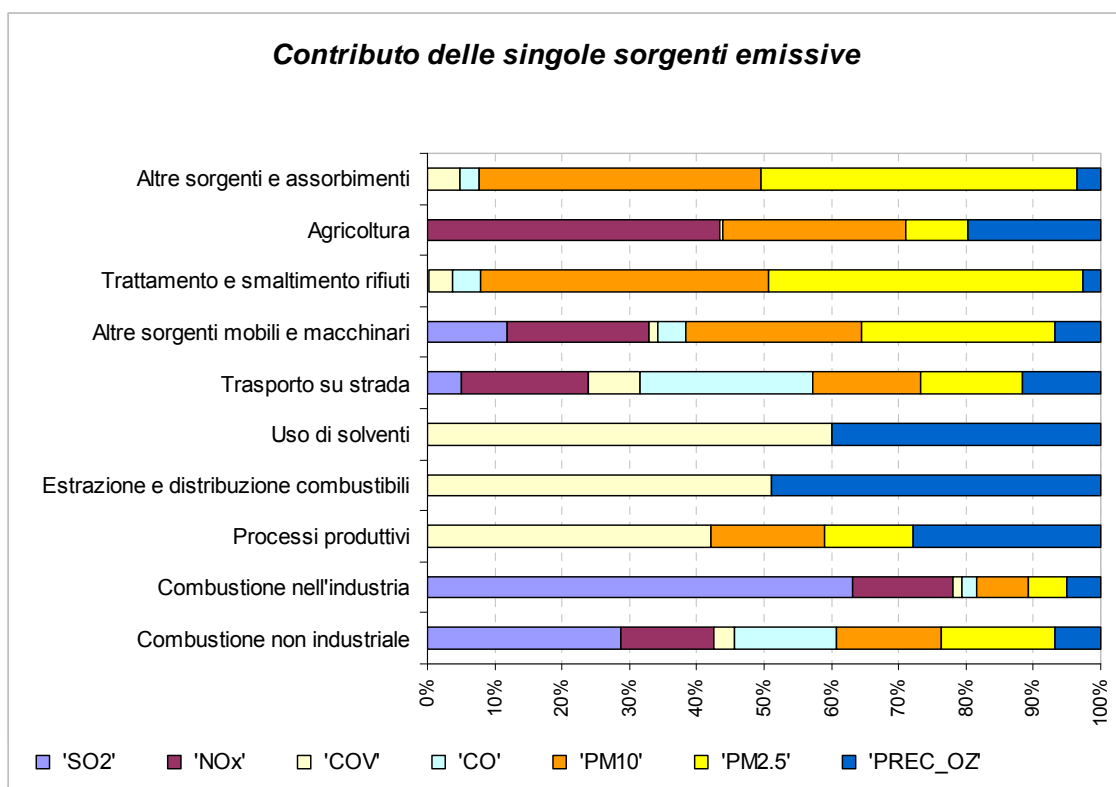
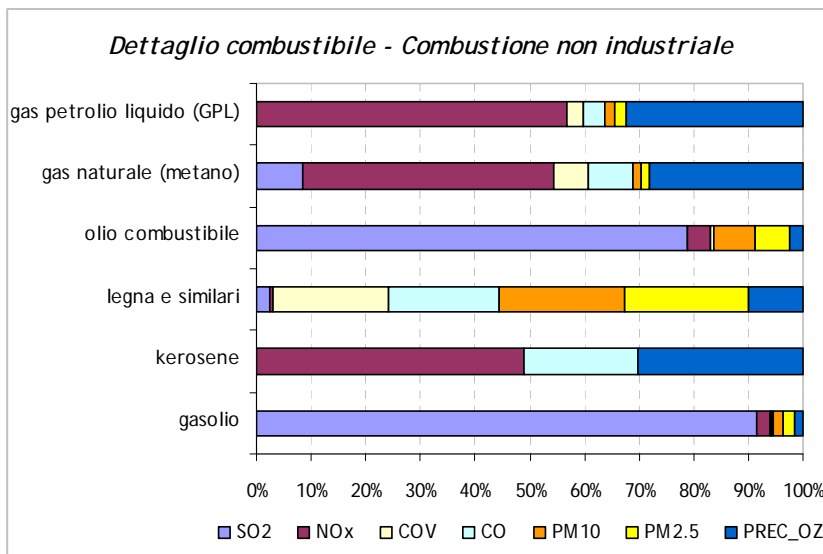
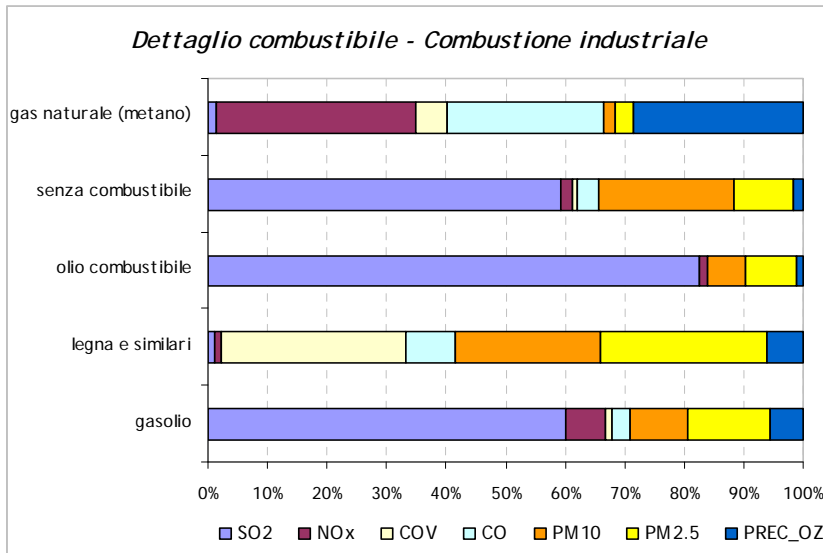
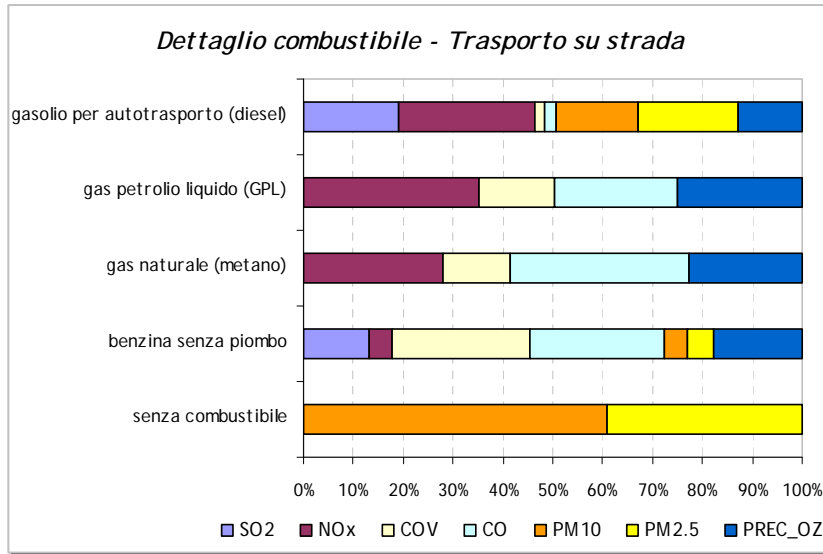


Figura 1: contributo delle singole sorgenti alle emissioni

Allegato 2



Caratterizzazione del sito di misura

Nel presente lavoro si discutono i risultati relativi alla campagna di misura dell'inquinamento atmosferico condotta in periodo invernale con Laboratorio mobile tra il **9 febbraio ed il 6 marzo 2009** nel comune di Ronco Briantino. Le concentrazioni degli inquinanti osservate nel corso di questa campagna di misura verranno confrontate con quelle riscontrate durante la campagna estiva condotta nel periodo 8 aprile 5 maggio 2008.

Scopo delle campagne di misura è stata la raccolta di una base di dati atta a caratterizzare la qualità dell'aria nel corso dell'anno.



Figura 1: punto di posizionamento del Laboratorio mobile nel Comune di Ronco Briantino

Il punto di misura si trova lungo via IV Novembre, una importante via di comunicazione cittadina a due corsie a doppio senso di marcia, orientato lungo la direttrice nord ovest – sud est del territorio comunale; tale tratto stradale permette il collegamento a sud con la SP n. 3 e a nord con i comuni della provincia di Lecco.

In condizioni normali la zona oggetto d'indagine è interessata da traffico sia leggero che pesante di tipo locale e di attraversamento

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' 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 diffusive dell'atmosfera fanno sì che le polveri e gli inquinanti in generale risentano 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 rimescolamento³ 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.

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

I livelli di concentrazione degli inquinanti osservati, sono stati valutati anche alla luce delle condizioni meteorologiche registrate nel periodo del monitoraggio dalla stazione meteo del Laboratorio Mobile. Dal punto di vista meteorologico il vento ha notoriamente un effetto di diluizione e le precipitazioni di dilavamento nei confronti di tutti gli inquinanti atmosferici; la loro presenza è quindi determinante nella gestione degli episodi di concentrazioni acute. Il loro andamento è quasi sempre anticorrelato con la concentrazione delle particelle (di qualsiasi grandezza siano).

La campagna di misura è stata condotta a partire dalla seconda settimana di febbraio fino alla fine della prima settimana di marzo

Per quanto riguarda il mese di febbraio le due settimane centrali sono state interessate da correnti settentrionali dovute alla contemporanea presenza dell'anticiclone sull'Europa occidentale e di una circolazione depressionaria sull'Europa nordorientale, che hanno portato su tutto il territorio regionale aria fredda e secca. L'ultima settimana del mese, invece, è stata caratterizzata mediamente da tempo stabile con temperature massime gradevoli, con alcuni episodi piovosi locali di debole intensità. Tale situazione è proseguita anche nel corso della prima settimana di marzo con intensificazione delle precipitazioni piovose su tutto il territorio regionale; si segnala inoltre, nel corso degli ultimi giorni della settimana, la presenza intensa di vento di Fohn.

³ 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.

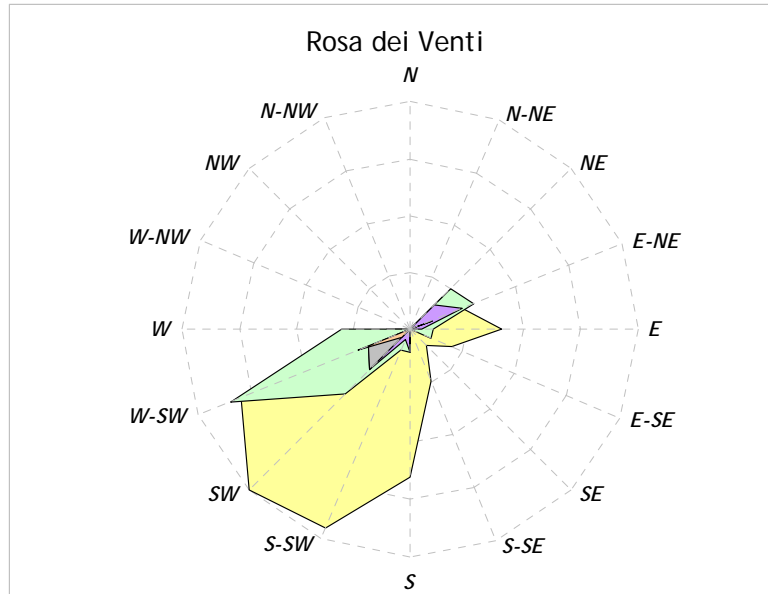
L'altezza di rimescolamento o mixing height risente della struttura verticale dell'atmosfera che presenta variazioni nelle 24 ore (ciclo giorno-notte) e stagionali (stagione calda-fredda).

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.

Per quanto riguarda le temperature il mese di febbraio è stato caratterizzato nella parte centrale da valori minimi inferiori a quelli medi stagionali e massime lievemente superiori. Nel corso dell'ultima settimana di febbraio, la presenza di alta pressione in quota, ha regolarizzato la situazione riportando nella norma le temperature. Il sopraggiungere di vento di Fohn durante la prima settimana di marzo ha garantito un rialzo termico su tutta la regione, in particolare sui settori occidentali con valori minimi superiori di circa 2-3 °C rispetto ai valori medi stagionali.

Nel corso del mese di febbraio le precipitazioni sono state trascurabili su tutto il territorio regionale. Precipitazioni piovose significative si sono osservate solo a partire dalla prima settimana di marzo

L'andamento anemologico registrato dalla stazione meteo del Laboratorio Mobile, mostra come i settori maggiormente interessati da fenomeni ventosi siano stati quelli compresi tra i settori W-SW e NE, con maggiore frequenza nei settori W-SW (8.0%) e SW(6.8%).



	0.2 < VV < 1	1 < VV < 1.5	1.5 < VV < 2	2 < VV < 3	VV > 3
N	0	0	0	0	0
N-NE	0	0	0	0	0
NE	4	5	3	0	0
E-NE	5	6	5	2	0
E	8	2	1	0	0
E-SE	4	2	0	0	0
SE	2	0	0	0	0
S-SE	5	0	0	0	0
S	13	2	2	2	0
S-SW	19	2	1	0	0
SW	20	8	5	5	1
W-SW	16	17	4	4	5
W	2	6	0	0	0
W-NW	0	0	0	0	0
NW	0	0	0	0	0
N-NW	0	0	0	0	0

VV = Velocità del Vento (m/s)

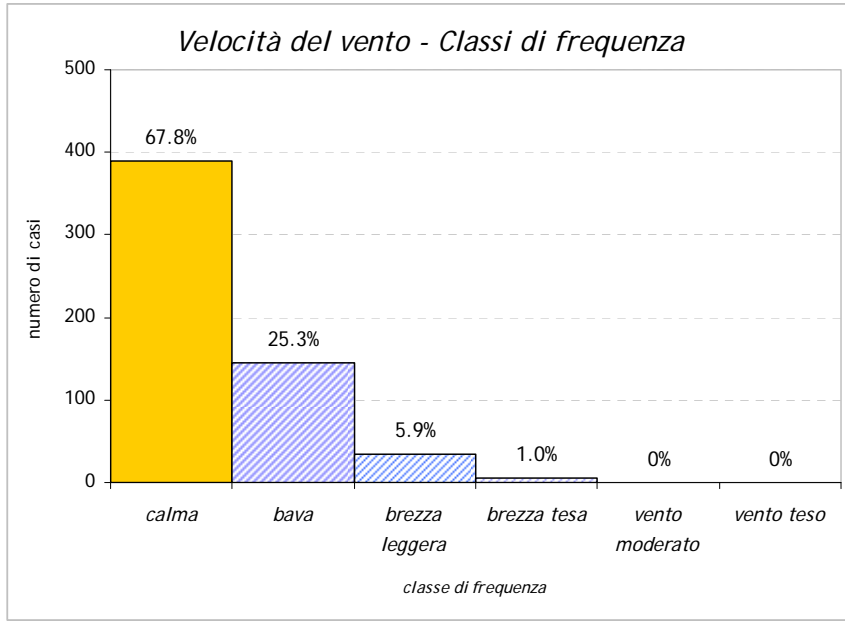
Numero totale di casi 574
Percentuale di casi di calma 67%

Ai fini valutativi è importante capire quale sia stata la classe di vento con frequenza maggiore durante la campagna di misura. I dati osservati a Ronco Briantino mostrano una attività ventosa moderata, il 67.8% dei valori misurati ricade nell'intervallo compreso tra 0 e 0.3 m/s (calma di vento). Nel corso delle osservazioni, comunque, non sono mancati episodi significativi; il 5.6% dei valori risulta infatti essere compreso nell'intervallo 1.6 m/s < VV < 3.3 m/s.

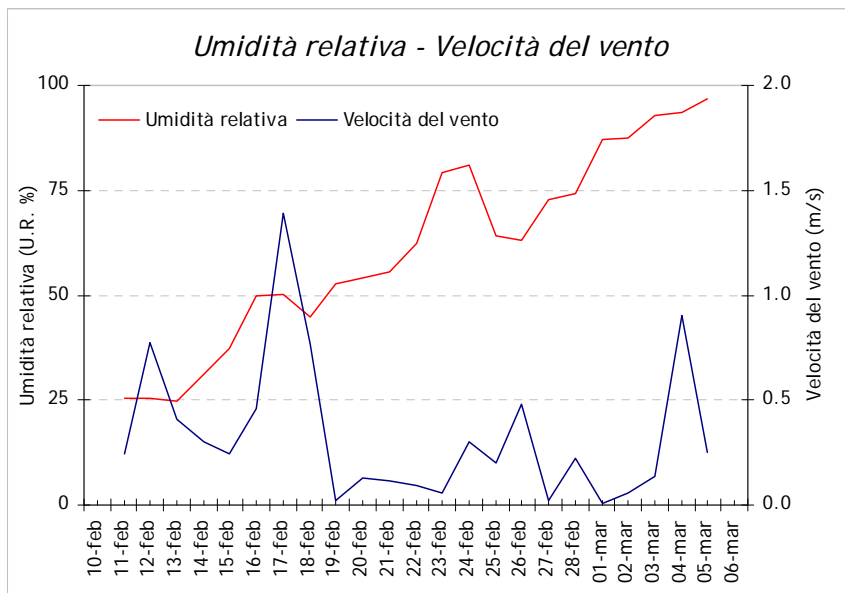
Nel complesso il valore medio della velocità del vento misurato in via IV Novembre è stato di 0.36 m/s. Il valore medio orario massimo (4.37 m/s) ed il valore medio giornaliero (1.4 m/s) sono stati osservati il giorno 17 marzo in occasione di un episodio di Föhn.

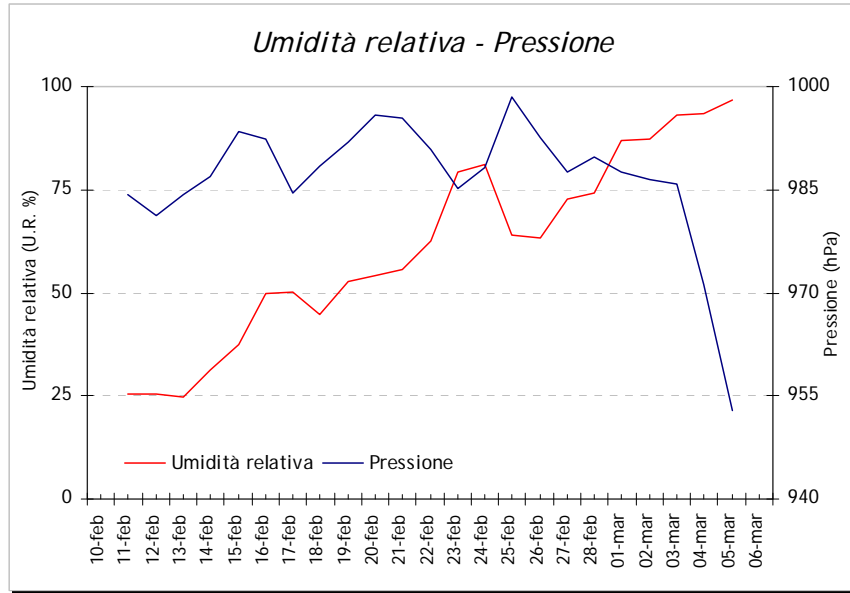
Tabella 1 – Scala di Beauford

Classi di vento	Velocità del vento m/s	Frequenza n. di casi	%
Calma	0.3	389	67.8%
Bava	1.5	145	25.3%
Brezza leggera	3.3	34	5.9%
Brezza tesa	5.4	6	1.0%
Vento moderato	7.9	0	0%
Vento teso	Altro	0	0%



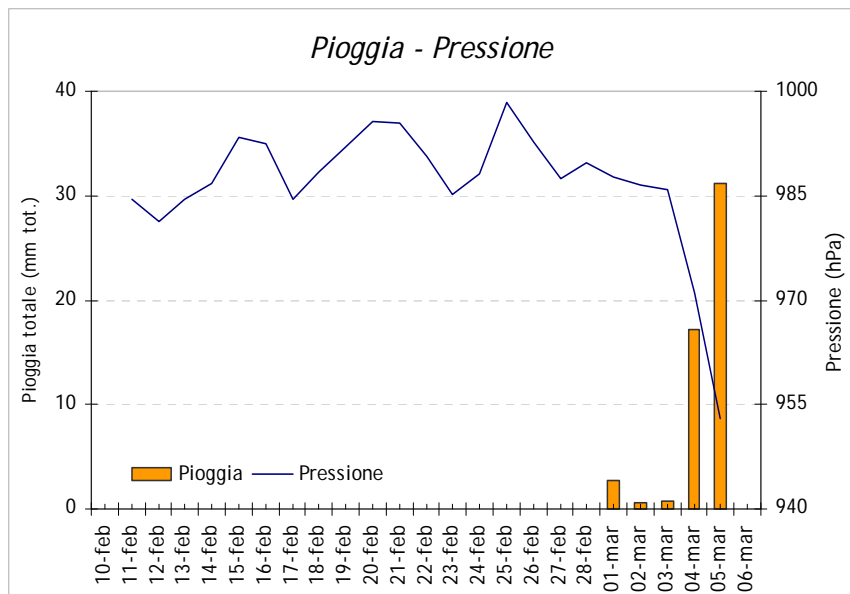
Il valore medio dell'umidità relativa, osservato nel periodo di misura, è stato di 62.3%. Il massimo giornaliero (99.6%) è stato registrato il giorno 3 marzo alle ore 06.00.





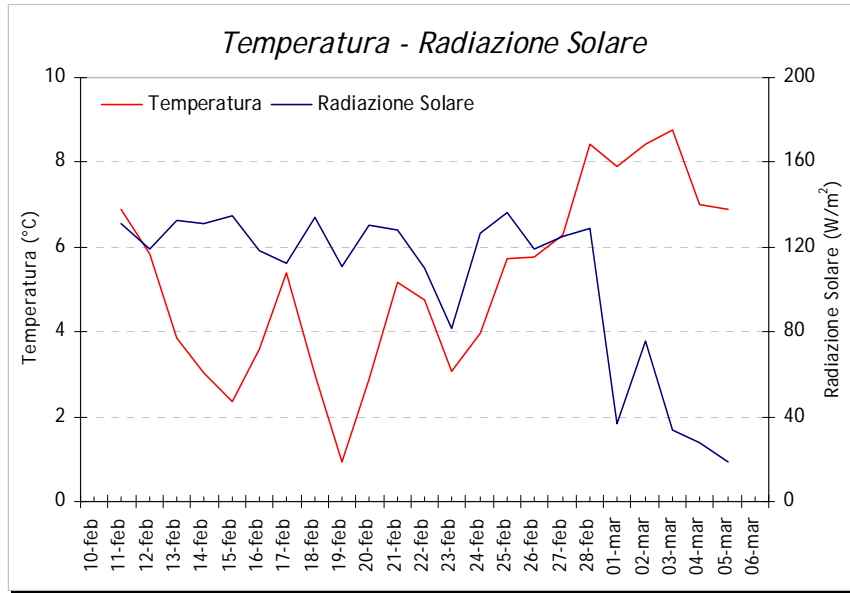
Dal punto di vista barico il periodo è stato contraddistinto da una serie di modeste variazioni della pressione comprese mediamente in un intervallo di 50.6 hPa; il valore medio misurato è stato di 985.7 hPa, il valore minimo e massimo sono stati invece rispettivamente di 950 hPa, il giorno 5 marzo alle ore 15.00, e di 1006.6 il giorno 25 febbraio alle ore 11.00.

Le precipitazioni piovose sono state registrate solo nel corso degli ultimi 5 giorni di misura; il quantitativo totale di pioggia caduto nel comune di Ronco Briantino durante le misurazioni è stato di 52.6 mm in linea con quanto osservato nelle restanti centraline provinciali. Il valore massimo è stato di 31.2 mm il giorno 5 marzo.



La temperatura ha fatto registrare un valore medio di 5.2 °C. Analogamente a quanto osservato per le stazioni provinciali anche nel comune di Ronco Briantino il trend delle temperature ha visto delle variazioni dovute al passaggio alternato di correnti calde e fredde. Il valore minimo e massimo osservati sono stati rispettivamente di -3.7 °C il giorno 19 febbraio alle ore 04.00 e di 14.9 °C il giorno 28 febbraio alle ore 15.00.

Per quanto riguarda la radiazione solare, il valore medio osservato è stato di 101.1 W/m²; il valore massimo (554 W/m²) è stato misurato il giorno 25 febbraio alle ore 12.00.

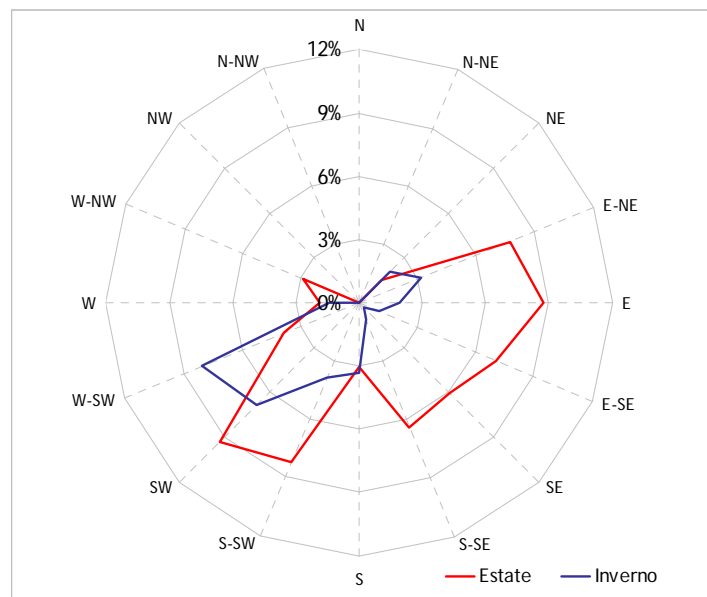


Confronto meteorologia campagne estiva ed invernale

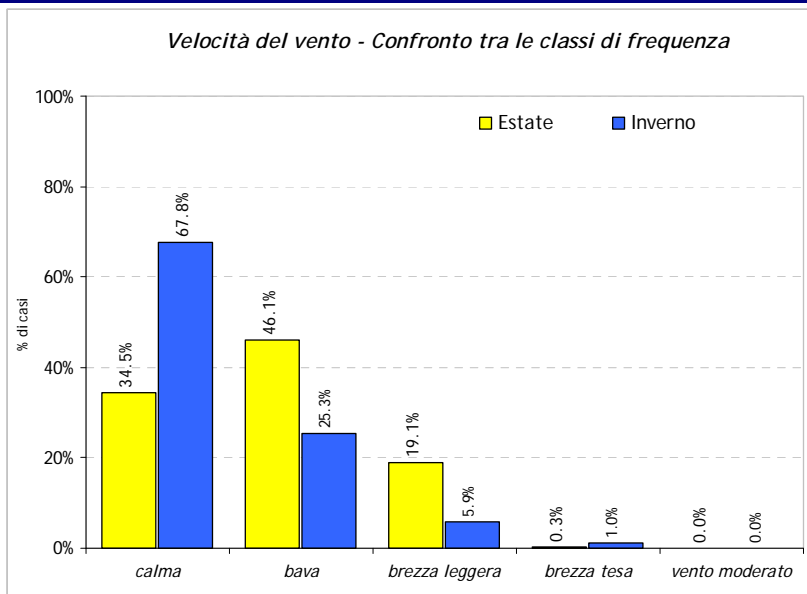
Al fine di poter confrontare i dati raccolti durante la presente campagna con quelli relativi al monitoraggio svolto nel periodo estivo (8 aprile – 5 maggio 2008), risulta importante analizzare le differenti condizioni meteorologiche.

Per quanto riguarda la rosa del vento confrontando i grafici ottenuti dalle misurazione effettuate nel corso delle due campagne di misura si osserva come i fenomeni ventosi siano compresi tra il settore W – SW e il settore E-NE.

Va rilevato come nel corso della campagna estiva la ventilazione dell'aria sia stata più intensa rispetto al periodo invernale e conseguentemente la distribuzione delle direzioni del vento è stata maggiore. Dal confronto delle due distribuzioni si osserva come nel sito oggetto d'indagine gli episodi ventosi di un certo rilievo abbiano interessato i settori compresi tra S-SW e E -NE.; in particolare i settori con attività anemologica comune ai due periodi di misura sono quelli compresi tra SW e S.



Una attività anemologica più contenuta durante il periodo invernale è osservabile anche nel grafico delle classi di vento. Significativi sono sia gli episodi di calma di vento, in cui vi è una differenza di circa il 33% tra i due periodi di osservazione, che una distribuzione più uniforme dei valori in tutte le classi di vento.



<i>Scala di Beauford</i>		Campagna estiva		Campagna invernale	
Classi di vento	Velocità del vento m/s	Frequenza n. casi	%	Frequenza n. casi	%
Calma	0.3	206	34.5%	389	67.8%
Bava	1.5	275	46.1%	145	25.3%
Brezza leggera	3.3	114	19.1%	34	5.9%
Brezza tesa	5.4	2	0.3%	6	1.0%
Vento moderato	7.9	0	0%	0	0.0%
Vento teso	Altro	0	0%	0	0%

	Campagna estiva 2008	Campagna invernale 2009
Velocità del vento media (m/s)	0.8	0.4
Velocità del vento massima giornaliera (m/s)	1.3	1.4
Velocità del vento massima oraria (m/s)	4.4	4.4
Classe di vento maggiormente interessa	bava	calma
Settore maggiormente interessato	SW	W-SW

Per quanto riguarda le precipitazioni piovose, sia in numero di eventi che in quantitativo assoluto i valori osservati nel corso della campagna estiva sono stati decisamente superiori rispetto alle misure invernali.

	Campagna estiva 2008	Campagna invernale 2009
Precipitazioni piovose totali (mmH ₂ O)	129.9	58.4
Massima precipitazioni giornaliera (mmH ₂ O)	32.7	31.2
n. eventi piovosi	12	5

Si riportano di seguito i valori degli altri parametri meteorologici osservati:

	Campagna estiva 2008	Campagna invernale 2009
Temperatura media (°C)	12.3	5.2
Temperatura minima oraria(°C)	2.8	-3.7
Temperatura massima oraria (°C)	23.7	14.9
Pressione media (hPa)	984.2	985.7
Pressione minima oraria (hPa)	969.9	950
Pressione massima oraria (hPa)	997.7	1000.6
Umidità relativa media (U.R. %)	n.d.	62.3
Umidità relativa minima oraria (U.R. %)	n.d.	16.2
Umidità relativa massima oraria (U.R. %)	n.d.	99.6
Radiazione solare media (W/m ²)	178.8	101.1
Radiazione solare massima (W/m ²)	864	554.0

n.d. = dato non disponibile per guasto sensore

Da un punto di vista meteorologico la stagione migliore per la dispersione degli inquinanti risulta essere quella estiva; anche le misure effettuate nel Comune di Ronco Briantino confermano tale tendenza.

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 emissive antropogeniche o naturali, mentre gli altri si formano in atmosfera in seguito a reazioni chimiche che coinvolgono altre specie, primarie o secondarie.

Andamento degli inquinanti nel periodo di misura

Esaminando gli indicatori proposti dalla normativa, appare evidente come la scala temporale adeguata per una valutazione della qualità dell'aria sia 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 tipo per mettere in evidenza le eventuali diverse caratteristiche emissive, legate al traffico o alle attività produttive.

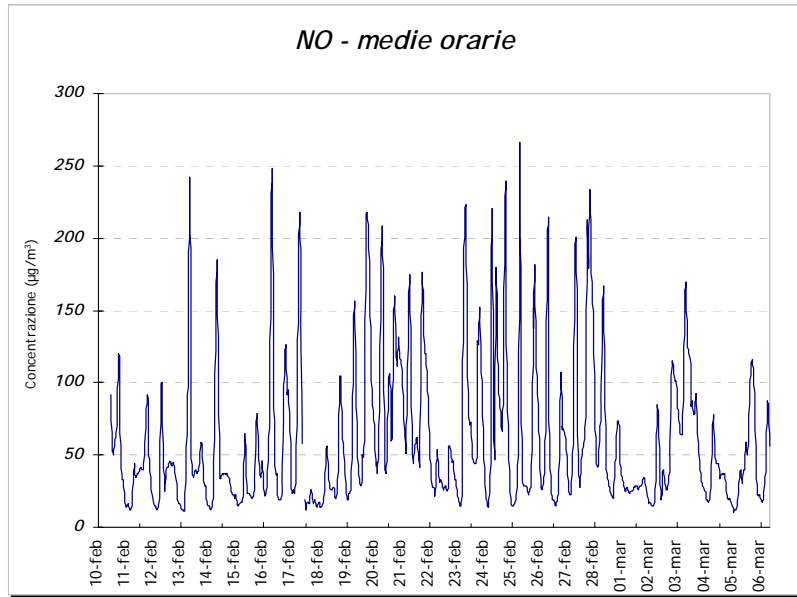
Le caratteristiche del sito di misura poi e le condizioni meteorologiche sono elementi essenziali per l'interpretazione dei dati. La concentrazione degli inquinanti in atmosfera, soprattutto in ambiente urbano, è infatti influenzata da diversi fattori legati alla meteorologia.

Nei paragrafi seguenti vengono riportati i risultati dell'analisi degli andamenti temporali degli inquinanti ricavati durante il periodo di misura nel comune di Ronco Briantino.

NO – Monossido di Azoto

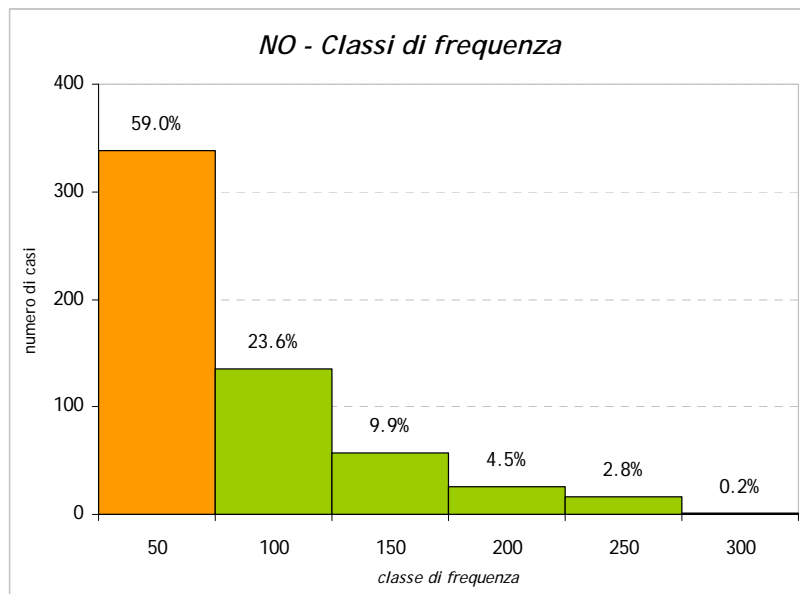
Il monossido di azoto non è soggetto a normativa, in quanto, alle concentrazioni tipiche misurate in aria ambiente, non provoca effetti dannosi sulla salute e sull'ambiente. Se ne misurano comunque i livelli in quanto oltre a fornire importanti informazioni per la caratterizzazione del sito, dà origine per ossidazione all'NO₂ e, attraverso altri processi fotochimici, contribuisce alla produzione di O₃ troposferico.

I valori delle concentrazioni orarie del NO hanno fatto registrare nel periodo di misura un valore medio di 60 µg/m³ ed un valore massimo orario pari a 264 µg/m³, il giorno 25 febbraio alle ore 08.00.

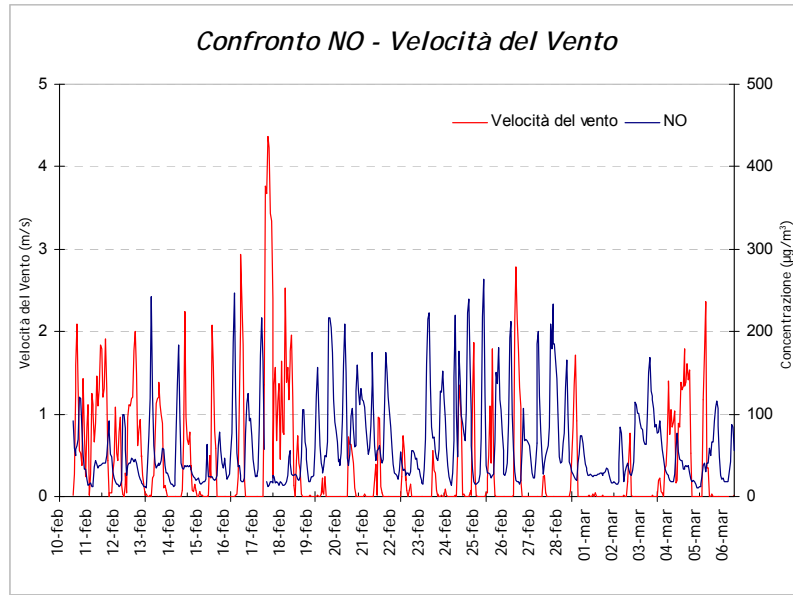


L'analisi in frequenza, effettuata con intervalli di concentrazioni pari a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, evidenzia come le concentrazioni misurate a Ronco Briantino siano piuttosto contenute; l'82.6% dei valori risulta compresa tra 1 e $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ il rimanente 17.4% presenta valori superiori, comunque inferiori a $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Classe	Frequenza	%	Classe	Frequenza	%
50	338	59.0%	200	26	4.5%
100	135	23.6%	250	16	2.8%
150	57	9.9%	300	1	0.2%

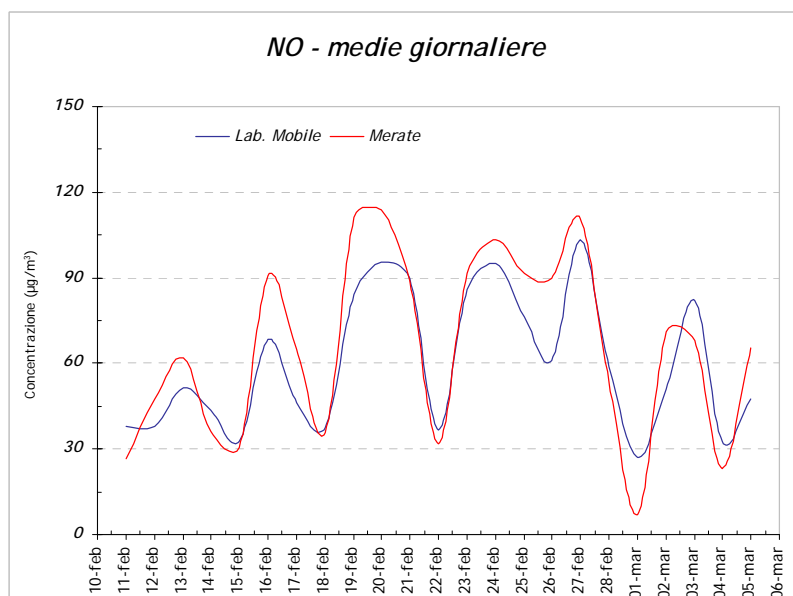


Mettendo a confronto le concentrazioni di NO con i valori della velocità del vento si nota come per questo inquinante l'accumulo in atmosfera dipenda dalle condizioni di stabilità; i valori massimi di NO coincidono con una scarsa attività ventosa.



Sebbene il NO sia un inquinante caratteristico del sito di prelievo e poco soggetto a fenomeni di trasporto, l'analisi statistica dei dati evidenzia in questa campagna di misura una discreta correlazione con la vicina stazione di Merate ($R = 0.76$).

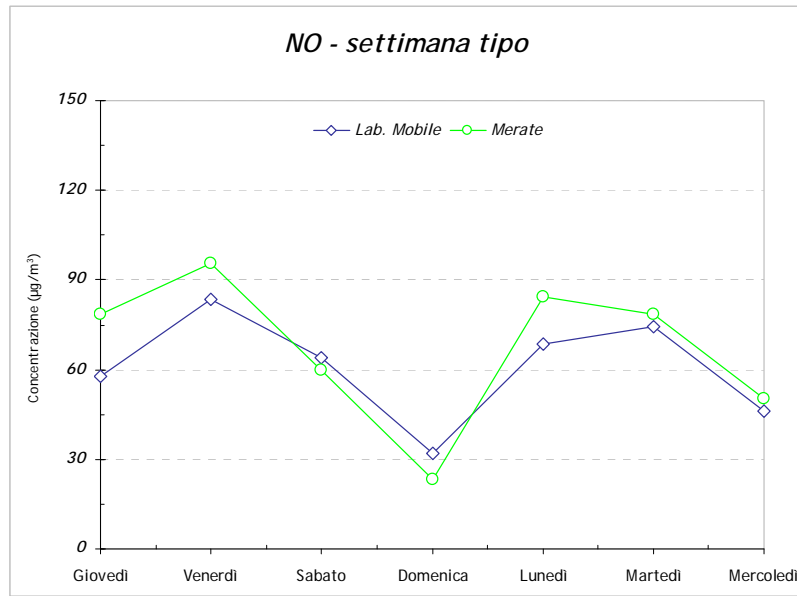
	Lab. Mobile	Milano Pascal	Monza	Agrate Brianza	Inzago	Meda	Merate	Vimercate	Carate Brianza
Lab. Mobile	1.00								
Milano Pascal	0.38	1.00							
Monza	0.55	0.72	1.00						
Agrate Brianza	0.67	0.64	0.83	1.00					
Inzago	0.61	0.59	0.75	0.78	1.00				
Meda	0.69	0.50	0.81	0.77	0.77	1.00			
Merate	0.76	0.48	0.64	0.73	0.75	0.78	1.00		
Vimercate	0.68	0.42	0.75	0.80	0.76	0.82	0.75	1.00	
Carate Brianza	0.64	0.34	0.67	0.71	0.56	0.77	0.60	0.75	1.00



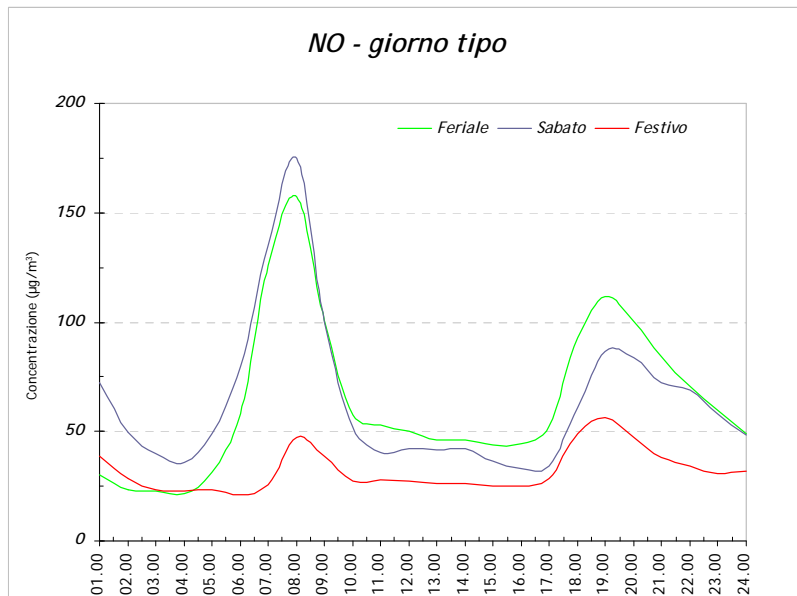
Nel grafico precedente sono riportati gli andamenti delle concentrazioni medie giornaliere riscontrate a Ronco Briantino e a Merate; si osserva un buon andamento temporale in tutto il periodo d'osservazione con valori costantemente superiori nella stazione di Merate.

La scala settimanale è l'unica scala temporale dove l'effetto della meteorologia (altro principale fattore che influenza le concentrazioni degli inquinanti) ha scarsa influenza. Per questo motivo è stata

ottenuta, partendo dalle concentrazioni medie giornaliere, la settimana tipo, riferita ai valori misurati nel sito oggetto di indagine e a quelli misurati in via IV Novembre a Ronco Briantino. Anche in questo grafico si conferma come nel sito di misura le concentrazioni di NO abbiamo andamenti analoghi a Merate con valori più contenuti.



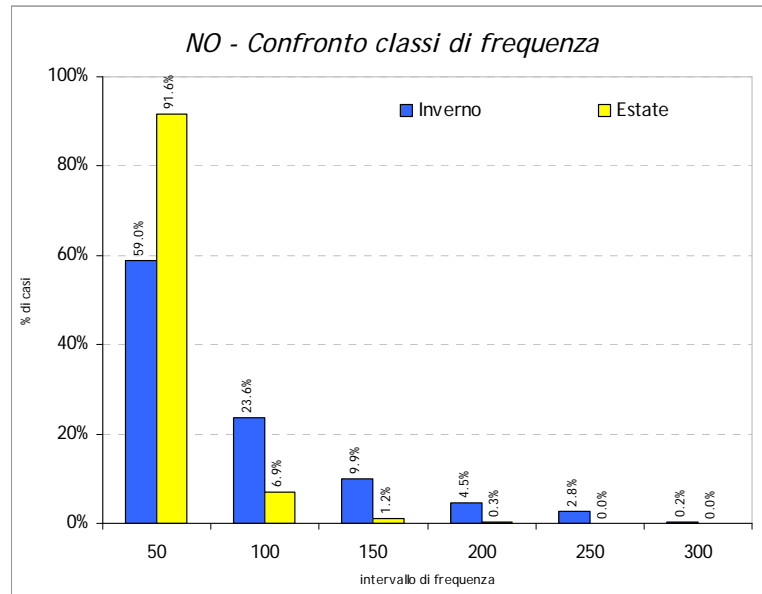
Il grafico del giorno tipo permette di acquisire una serie di conoscenze sui flussi di traffico caratteristici dell'area di indagine: i picchi di concentrazione si presentano in corrispondenza delle ore di punta mattutina e serali. Le concentrazioni osservate a Ronco Briantino confermano tale andamento, i valori massimi si presentano nel giorno tipo feriale tra le ore 06.00 e le ore 10.00 e tra le ore 17.00 e le ore 22.00.



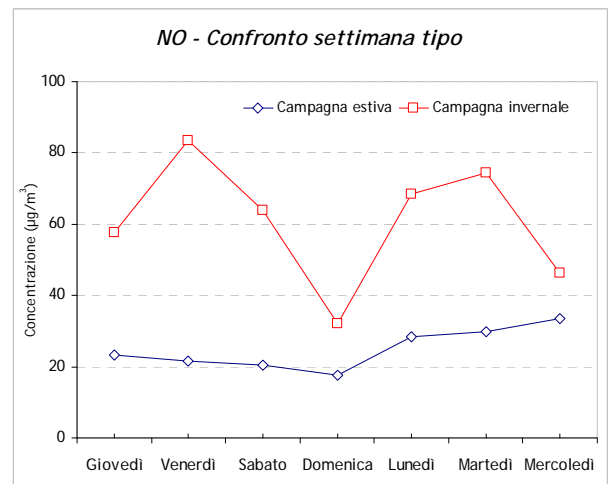
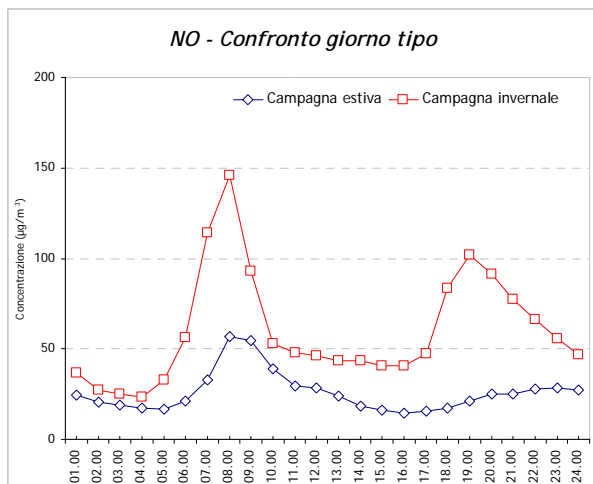
Il giorno tipo del sabato presenta un andamento analogo al quello del giorno tipo feriale ma con valori lievemente inferiori; anche i valori massimi si presentano nelle medesime fasce orarie. Il giorno tipo festivo, invece, mostra valori costanti più bassi in tutte le ore del giorno con un lieve aumento alla mattina tra le 08.00 e le 10.00 e alla sera tra le 19.00 e le 20.00.

Nella tabella successiva sono riportate le concentrazioni medie orarie, massime e minime riscontrate nel corso delle due campagne di misura.

Ossidi di azoto	Valore medio $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Valore minimo $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Valore massimo $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Campagna estiva 2008	26	1	156
Campagna invernale 2009	60	10	264



I dati ottenuti nelle due misurazioni sono stati confrontati utilizzando un intervallo di frequenza di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, per vedere la diversa distribuzione in funzione della stagione. Si rileva come la combustione non industriale incida significativamente nella emissione di questo inquinante in atmosfera, infatti, nel periodo estivo l'91.6% dei valori ricade all'interno dell'intervallo $1-50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La distribuzione invernale mostra invece valori più elevati distribuiti più uniformemente in tutte le classi di frequenza.



Da un punto di vista delle concentrazioni assolute l'aumento dei valori durante il periodo invernale viene messo in evidenza sia nel grafico del giorno tipo che in quello della settimana tipo, in particolare le concentrazioni aumentano in corrispondenza dell'aumento del traffico veicolare.

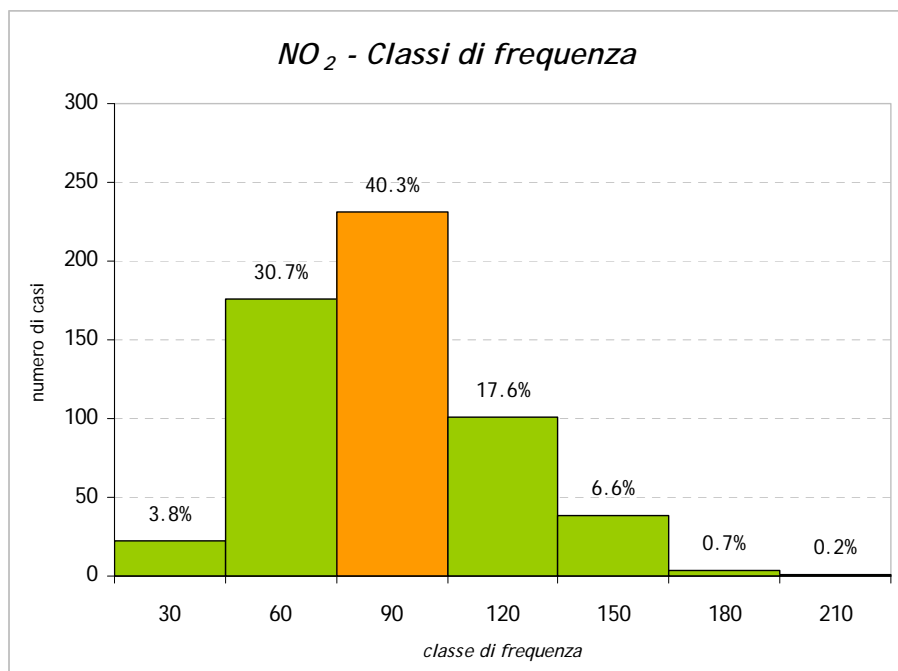
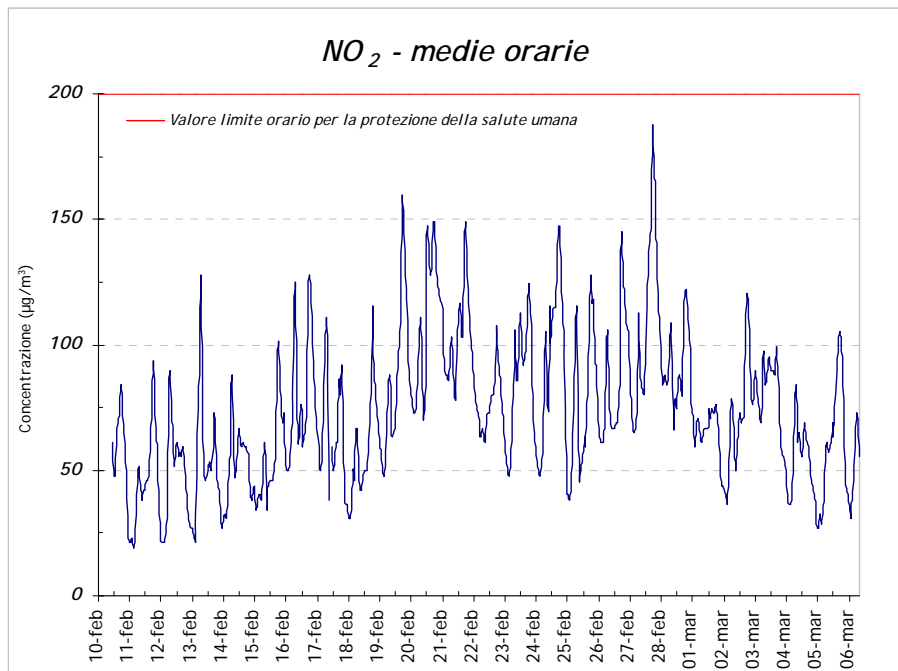
NO₂ – Biossido di Azoto

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).

Le concentrazioni orarie di NO₂ hanno fatto registrare nel periodo di misura un valore medio di 74 µg/m³ ed un valore massimo orario pari a 187 µg/m³, il giorno 27 febbraio alle ore 18.00.

Nel corso di questa campagna di misura non sono stati osservati superamenti orari della soglia di attenzione, fissata per questo inquinante a 200 µg/m³.

A dispetto di questo, il grafico in cui si riportano le concentrazioni medie orarie evidenzia come nel periodo interessato le concentrazioni non siano state trascurabili. Questa situazione è da imputarsi ad una scarsa dispersione in atmosfera dovuta ad una modesta ventilazione durante le misurazioni.



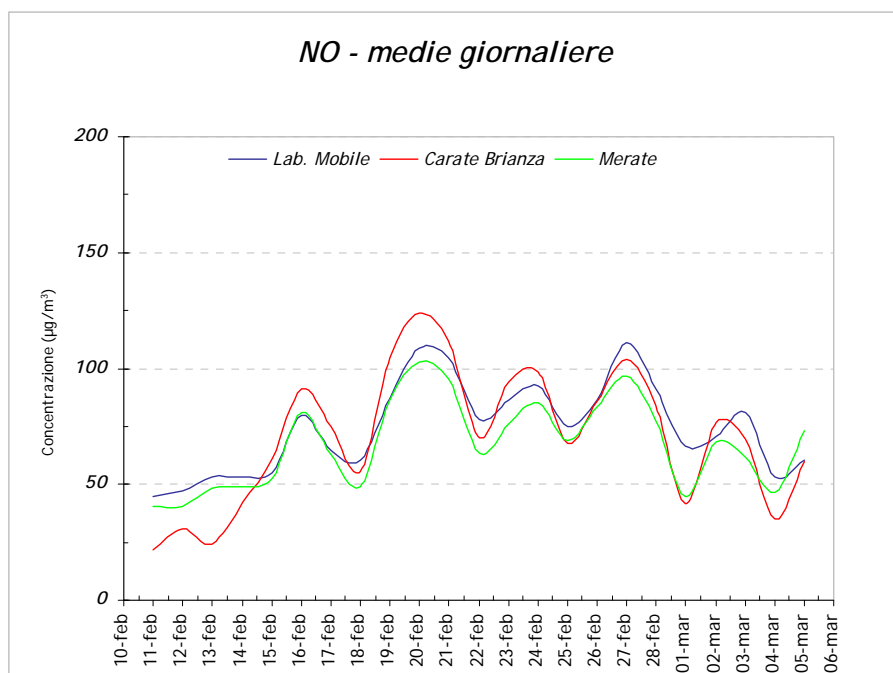
Il grafico riportante la distribuzione degli inquinanti, con frequenza 30 µg/m³, evidenzia come

88.6% dei valori ricada nell'intervallo compreso tra 31 e 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con maggior frequenza in quello compreso tra 61 e 90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (40.3%)

A differenza infatti del 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 infatti non dipende direttamente dalla presenza della sorgente traffico ma, se sono presenti i suoi precursori, continua a formarsi. Anche per questa serie di dati è stata verificata attraverso la matrice di Pearson quali stazioni fisse sono risultate maggiormente correlate con il sito di misura a Ronco Briantino.

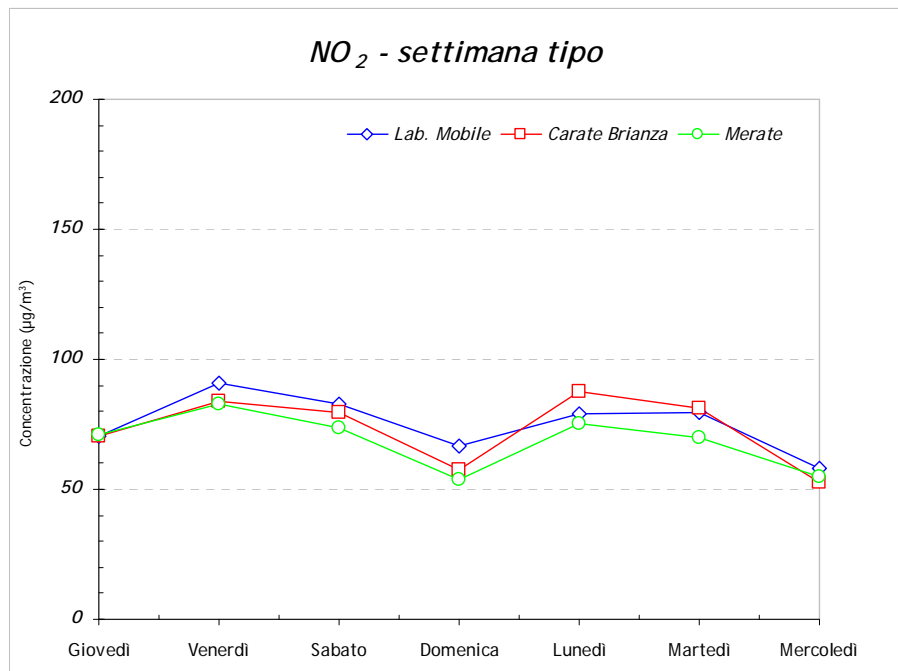
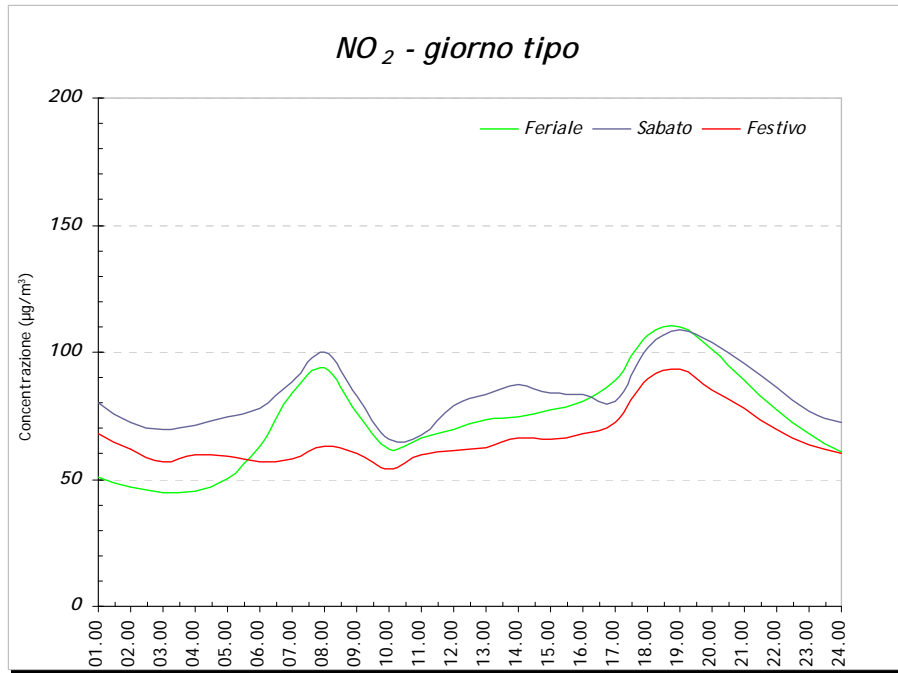
	Lab. Mobile	Milano Pascal	Monza	Agrate Brianza	Inzago	Meda	Merate	Vimercate	Carate Brianza
Lab. Mobile	1.00								
Milano Pascal	0.46	1.00							
Monza	0.71	0.75	1.00						
Agrate Brianza	0.75	0.74	0.89	1.00					
Inzago	0.72	0.48	0.70	0.70	1.00				
Meda	0.75	0.67	0.89	0.83	0.68	1.00			
Merate	0.80	0.66	0.79	0.84	0.68	0.82	1.00		
Vimercate	0.77	0.74	0.89	0.89	0.68	0.89	0.87	1.00	
Carate Brianza	0.79	0.71	0.89	0.87	0.68	0.90	0.84	0.89	1.00

Fatta eccezione per la stazione fissa di Milano Pascal, le concentrazioni di NO₂ osservate a Ronco Briantino presentano una buona correlazione con tutte le stazioni prese a riferimento; come per il NO la stazione maggiormente correlata risulta quella di Merate (R=0.80); anche la centralina di Carate Brianza presenta una buona correlazione (R=0.79). Questa corrispondenza viene evidenziata nel grafico delle concentrazioni meteo giornaliera.



Il grafico del giorno tipo, feriale e del sabato, evidenzia come le concentrazioni maggiori si presentino nelle ore diurne con maggior traffico veicolare. Il grafico del giorno tipo festivo oltre ad avere valori più bassi presenta una distribuzione temporale pressoché costante; si osserva un lieve aumento delle concentrazioni della fascia oraria serale (18.00-20.00).

La diminuzione dei valori nei giorni festivi viene evidenziata anche nel grafico della settimana tipo in cui si osserva il minimo delle concentrazioni di domenica; questo andamento temporale viene confermato anche per le centraline maggiormente correlate.



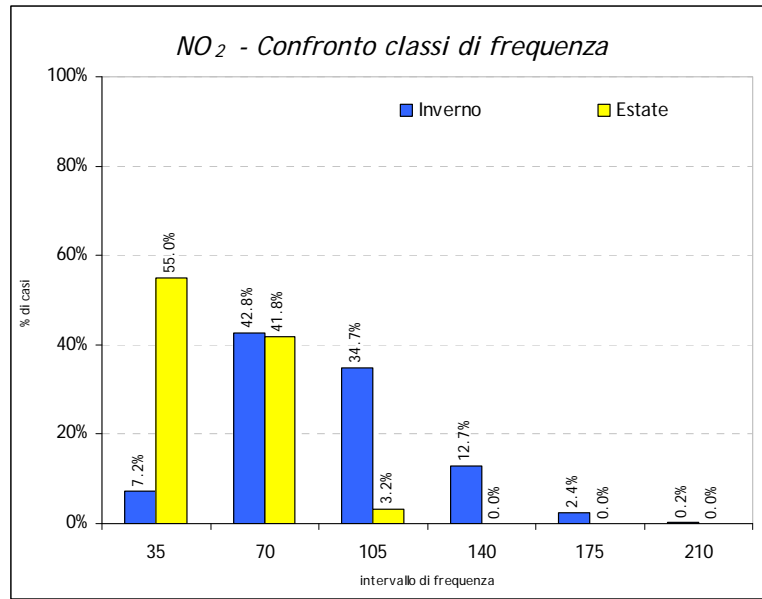
Nella sottostante tabella vengono confrontati i dati di questo inquinante relativi alle due campagne di misura.

Biossidi di azoto	Valore medio µg/m ³	Valore minimo µg/m ³	Valore massimo µg/m ³
Campagna estiva	36	10	82
Campagna invernale	74	19	187

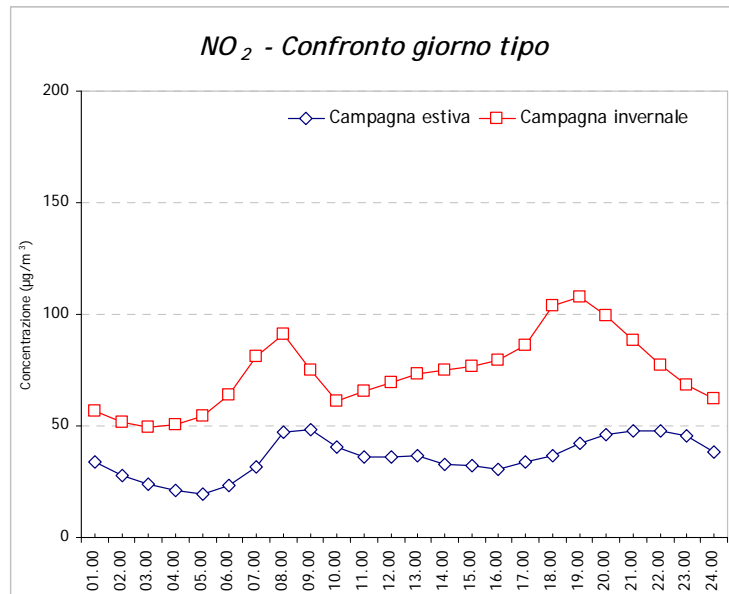
Analizzando i due set di dati mediante l'analisi in frequenza si osserva come la maggior parte dei valori in via IV Novembre a Ronco Briantino presenti valori compresi nell'intervallo 36 - 70 µg/m³; in particolare la frequenza nella misura estiva è stata del 42.8% invece quella invernale del 41.8%.

Per quanto riguarda gli altri intervalli di frequenza, si osserva come i valori estivi siano

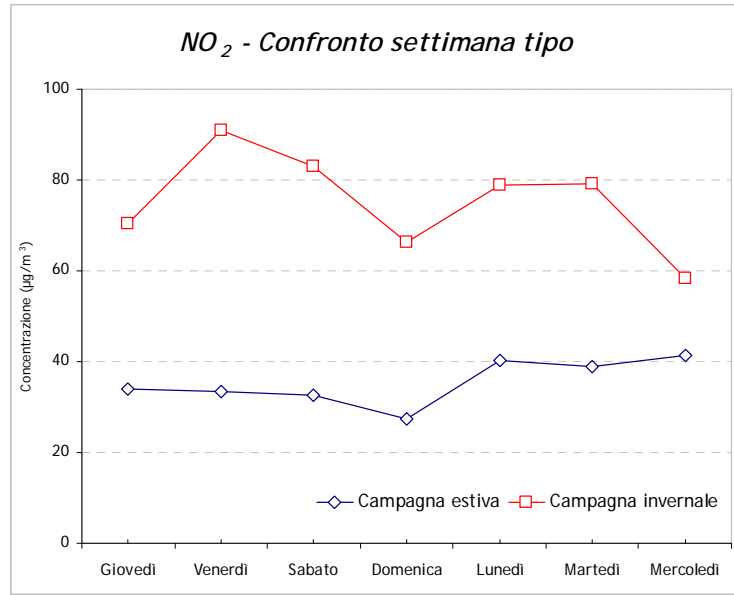
maggiormente contenuti all'interno dell'intervallo più basso ($1-35 \mu\text{g}/\text{m}^3$) invece quelli invernali presentano una distribuzione più omogenea



Nel grafico successivo sono stati confrontati gli andamenti dei giorni tipo ottenuti partendo dalle concentrazioni medie orarie misurate nel corso delle due campagne di misura. L'andamento orario mostra un'ottima correlazione tra i due set di misura con valori massimi coincidenti nelle fasce orarie di traffico veicolare più sostenuto.



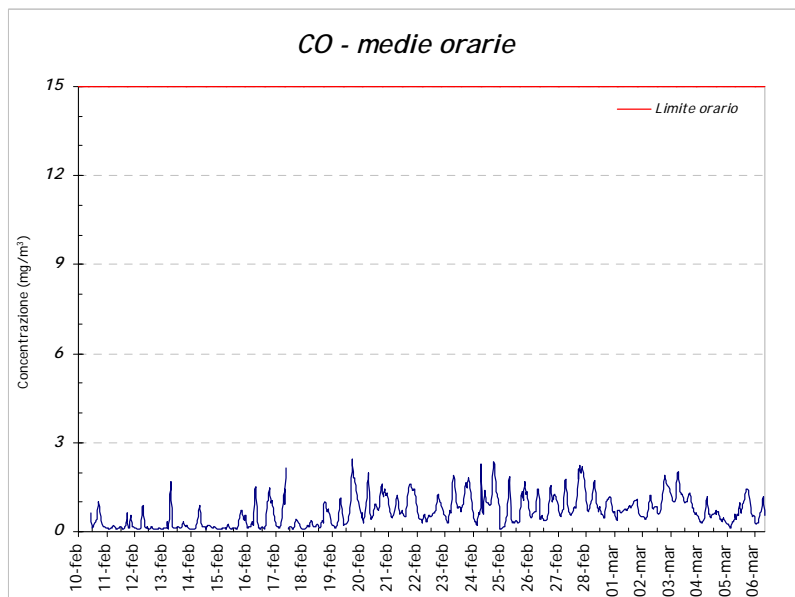
Le concentrazioni maggiori si osservano nel giorno invernale, in accordo con le modalità di diffusioni stagionale di questo inquinante; questo viene evidenziato anche dal confronto delle concentrazioni medie settimanali.

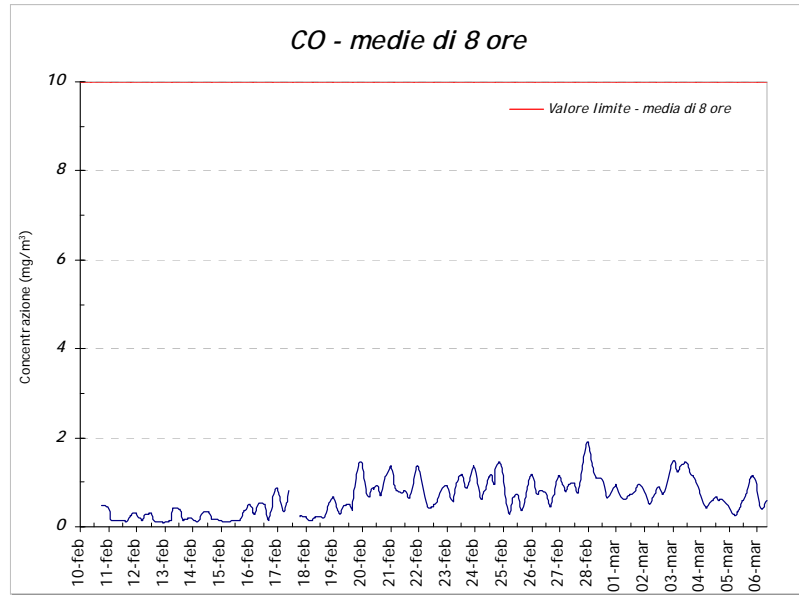


CO – Monossido di Carbonio

L'accumulo di **monossido di carbonio** viene favorito soprattutto nelle aree urbane, quando i veicoli sono in fase di decelerazione ed in presenza di traffico congestionato.

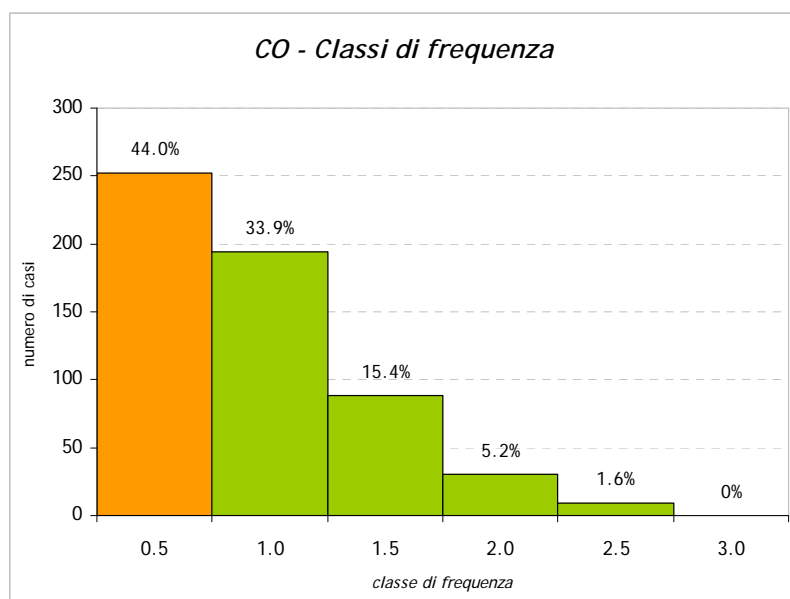
I valori di CO misurati durante la campagna di misura sono risultati abbondantemente inferiori ai limiti di legge sia per quanto riguarda la media oraria che per quella di 8 ore. Il valore medio sul periodo è stato di 0.7 mg/m³, il valore massimo orario di 2.4 mg/m³ è stato osservato nei giorni 19 e 24 febbraio alle ore 18.00; il valore massimo mediato sulle 8 ore è risultato pari a 1.9 mg/m³, a cavallo dei giorni 27 e 28 febbraio, tra le ore 24.00 e le ore 01.00.





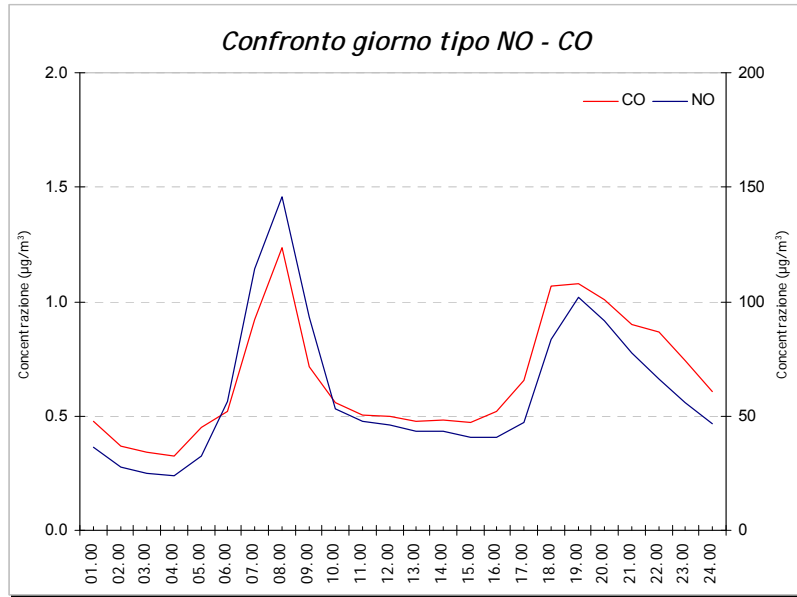
Nella tabella sottostante si riporta l'analisi in frequenza, con intervallo 0.5 mg/m³, dei valori osservati nel corso di questa campagna di misura.

Classe	Frequenza	%	Classe	Frequenza	%
0.5	252	44.0%	2	30	5.2%
1	194	33.9%	2.5	9	1.6%
1.5	88	15.4%	3	0	0.0%

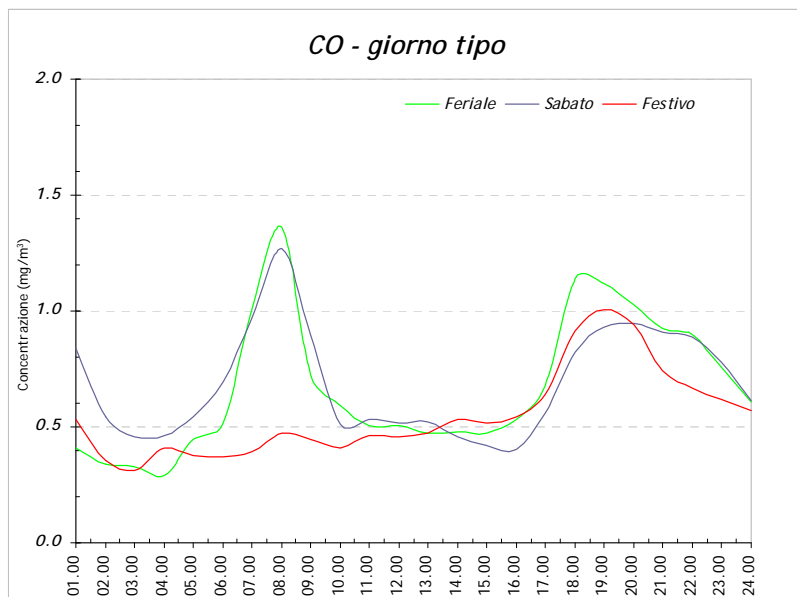


Il grafico delle frequenze mostra come i valori misurati siano estremamente contenuti; il 93.3% si trova all'interno dell'intervallo 0.1 – 1,5 mg/m³.

Come per il NO, anche le concentrazioni di CO dipendono direttamente dal traffico veicolare presente nel sito di misura; questa dipendenza viene illustrata molto bene osservando il grafico del giorno tipo di questi due inquinanti dove la distribuzione media giornaliera è perfettamente allineata.



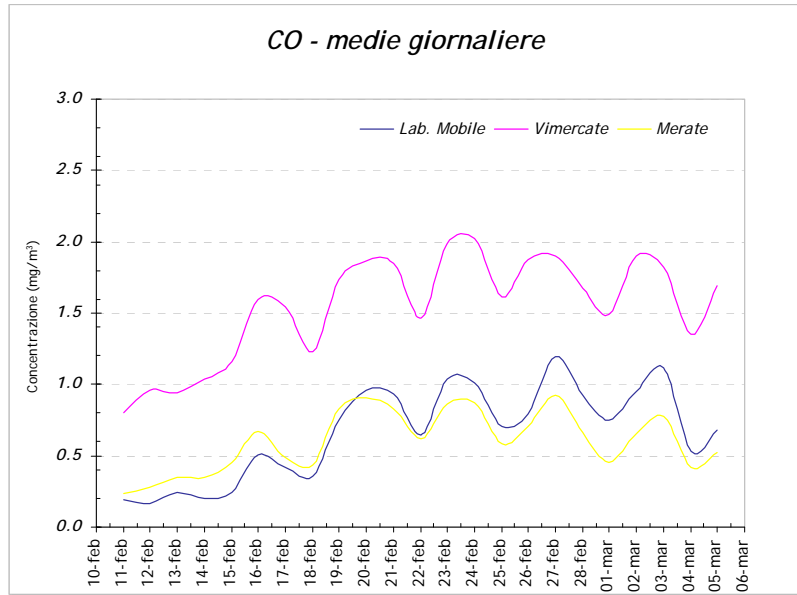
Analogamente al grafico del giorno tipo del NO anche quello del CO mostra un andamento temporale simile. Il grafico del giorno tipo feriale e del sabato presenta i valori massimi nelle fasce orarie 06.00 – 10.00 e 17.00 – 22.00 in cui vi è una maggior passaggio di veicoli. L'andamento del giorno tipo festivo invece mostra valori uniformi durante tutta la giornata con un aumento significativo tra le ore 17.00-21.00 in corrispondenza dell'aumento del traffico dovuto al rientro dal fine settimana.



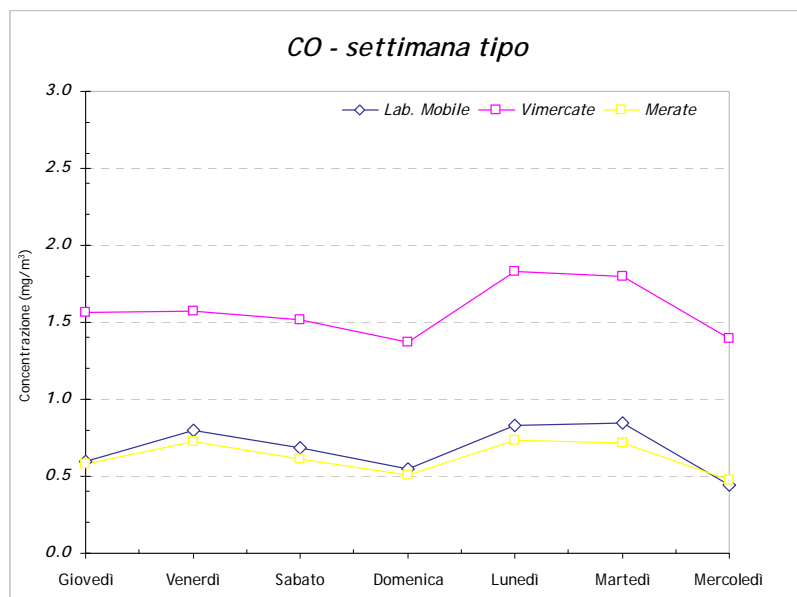
L'analisi dei dati osservati nel corso di questa campagna di misura mostrano un buona correlazione con le concentrazioni misurate nelle stazioni regionali di Vimercate e Merate.

	Lab. Mobile	Monza	Meda	Merate	Vimercate	Carate Brianza
Lab. Mobile	1.00					
Monza	0.66	1.00				
Meda	0.68	0.75	1.00			
Merate	0.75	0.78	0.83	1.00		
Vimercate	0.79	0.75	0.74	0.83	1.00	
Carate Brianza	0.65	0.54	0.58	0.59	0.71	1.00

Anche graficamente l'andamento delle concentrazioni medie giornaliere riscontrate in questi tre siti mostrano un buon accordo. In particolare si osserva come i valori misurati a Ronco Briantino siano da un punto di vista assoluti simili a quelli della stazione di Merate; i valori a Vimercate sono invece decisamente più elevati.



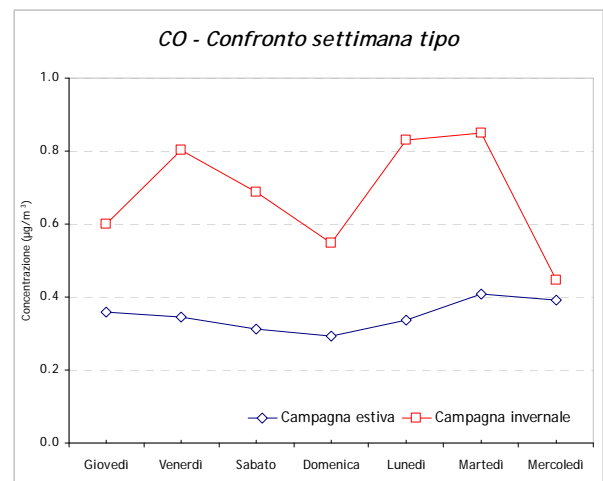
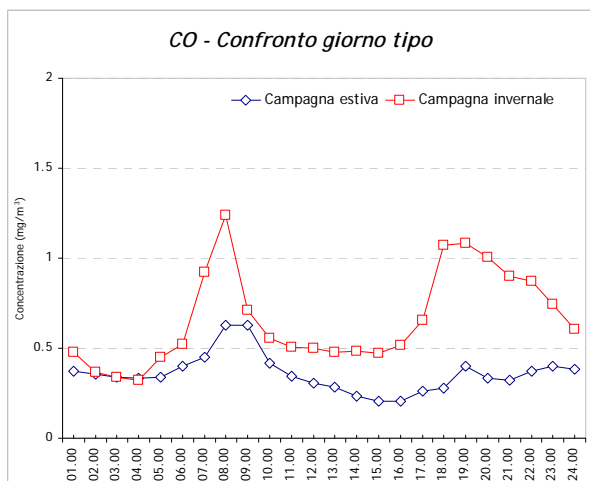
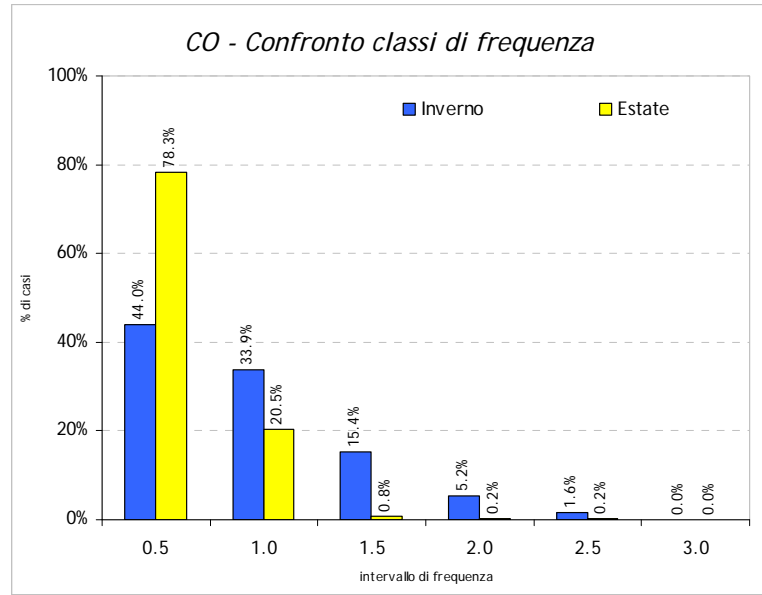
Anche il grafico delle concentrazioni medie settimanali evidenzia come i valori a Ronco Briantino siano analoghi, sia da un punto temporale che in termini assoluti, a quelli misurati nella stazione di Merate



Nella sottostante tabella vengono confrontate le concentrazioni osservate nel corso delle due campagne di misura.

Monossido di carbonio	Valore medio mg/m ³	Valore minimo mg/m ³	Valore massimo mg/m ³	Valore massimo media di 8 ore mg/m ³
Campagna estiva	0.4	0.1	2.2	0.8
Campagna invernale	0.7	0.1	2.4	1.9

La distribuzione dei valori di CO ricalca lo stesso andamento di quello del NO; i valori della campagna estiva sono tutti inferiori a 1 mg/mg³ e raggruppati nelle prime tre classi di frequenza. Le concentrazioni invernali, invece, si distribuiscono in modo più uniforme in tutti gli intervalli di frequenza considerati.



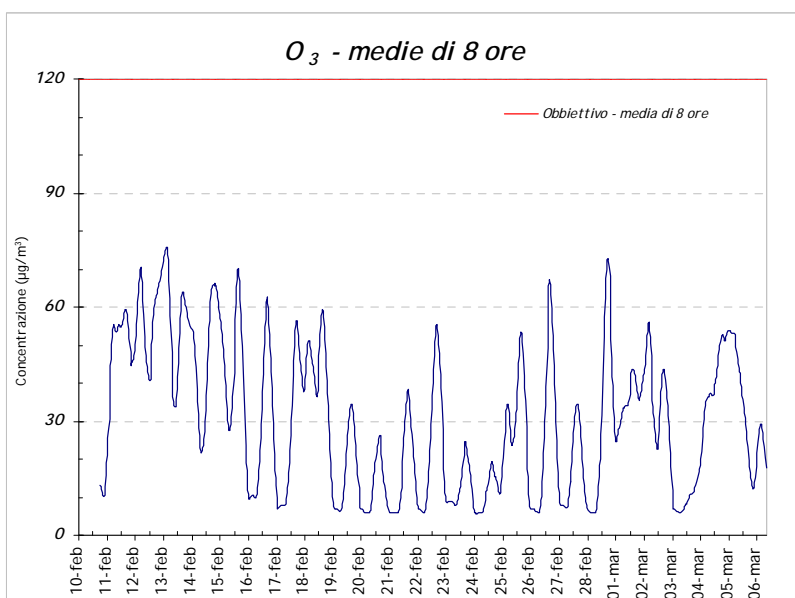
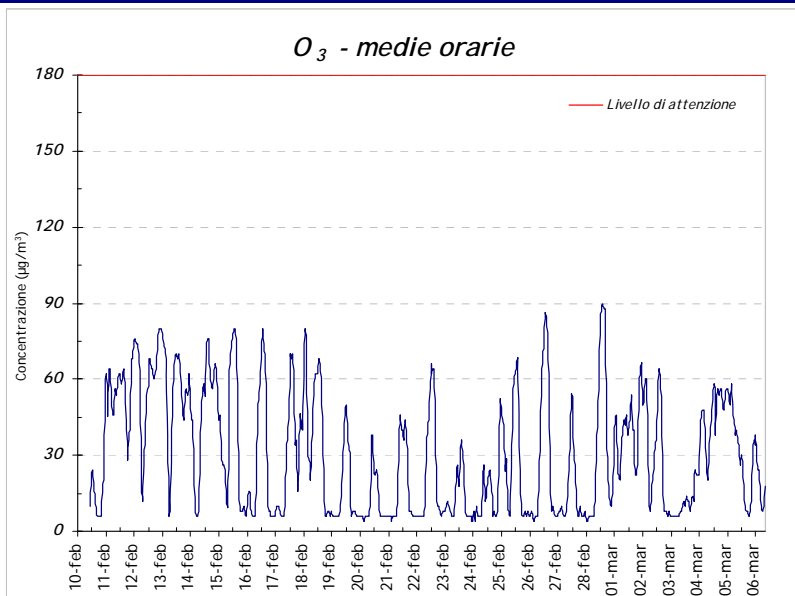
Il grafico di confronto sia del giorno tipo che della settimana tipo mette in evidenza come sia il traffico veicolare che la combustione non industriale incidano in modo significativo all'accumulo di CO nell'atmosfera durante la stagione invernale.

O₃ - Ozono

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

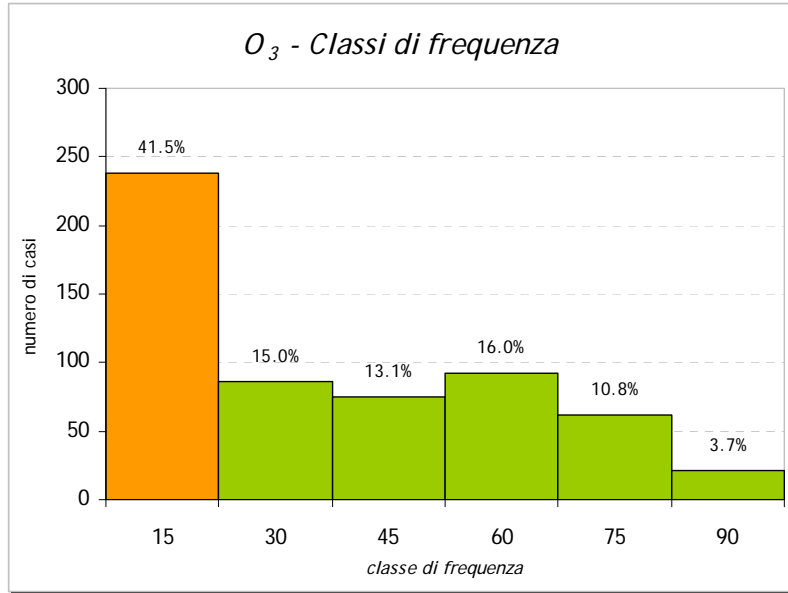
Le concentrazioni maggiori in aria ambiente si osservano nelle stagioni calde, invece nel periodo autunno-inverno si mantengono abbondantemente inferiori ai livelli di attenzione, fissato per questo inquinante 180 µg/m³. Nell'ultimo decennio le concentrazioni di ozono hanno mostrato un trend in crescita, anche nei mesi invernali.

Il periodo in cui è stata condotta questa campagna è quello invernale per questo motivo non favorevole alla formazione di O₃; le concentrazioni osservate nel corso del periodo di misura sono state abbondantemente inferiori ai limiti di legge sia per quanto riguarda la media oraria che per quella di 8 ore. Il valore medio misurato è stato di **31 µg/m³**; il valore massimo orario e della media di 8 ore sono stati rispettivamente di 90 µg/m³ e di 76 µg/m³; il primo alle 15.00 del 28 febbraio, il secondo alle 04.00 del mattino del giorno 13 febbraio.

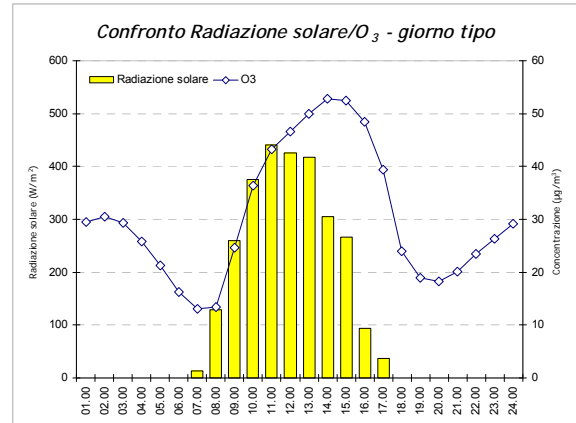
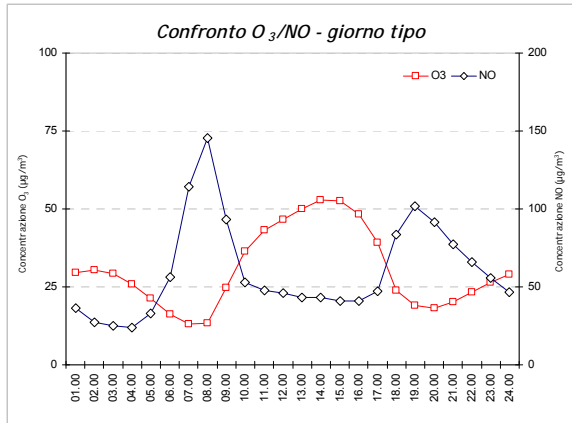


L'analisi in frequenza effettuata per questa serie di dati evidenzia come la maggior parte dei valori (41.5%) misurati a Ronco Briantino sia compresa nell'intervallo 1 – 15 µg/m³; il 54.8% dei valori si distribuisce uniformemente tra 16 e 75 µg/m³. La rimanente parte (3.1%) presenta valori compresi tra 76 e 90 µg/m³ corrispondenti ai picchi di concentrazioni localizzati nel tardo pomeriggio.

Classe	Frequenza	%	Classe	Frequenza	%
15	238	41.5%	60	92	16.0%
30	86	15.0%	75	62	10.8%
45	75	13.1%	90	21	3.7%



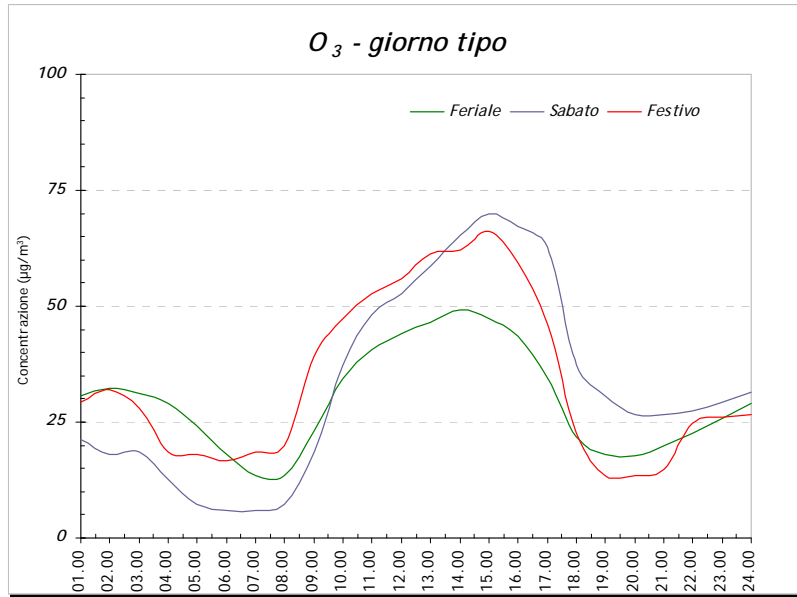
L'andamento di questo inquinante, nel corso della giornata, dipende sia dalla presenza della radiazione solare che dalle reazioni chimiche, che avvengono nella troposfera, con il NO.



Il primo grafico mette in evidenza la dinamica delle reazioni fotochimiche che coinvolgono il O₃ con il NO; a valori elevati di NO, tipici di emissioni da traffico veicolare nella fascia oraria 06.00 – 10.00 e 17.00 – 21.00, corrispondono basse concentrazioni di O₃. Quando il traffico diminuisce, di notte e a metà giornata, i valori di NO si attenuano ed aumentano quelli di O₃.

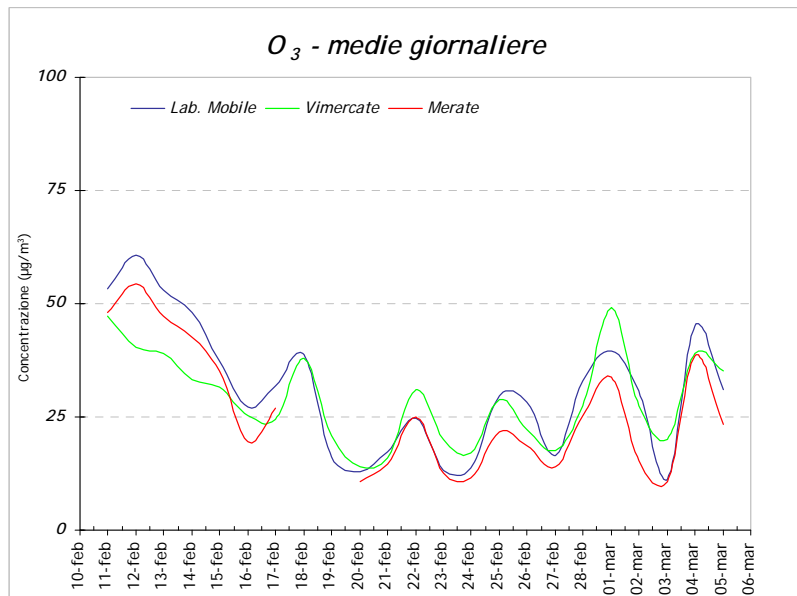
Nel secondo grafico si osserva la relazione di dipendenza tra la radiazione solare ed il O₃. I massimi di concentrazione si presentano alcune ore dopo ai valori massimi di insolazione e nelle prime ore della mattina in cui le emissioni di NO risultano scarse.

Anche il grafico del giorno mostra come le concentrazioni superiori si presentino nei giorni festivi e prefestivo durante i quali i valori di NO diminuiscono drasticamente per la diminuzione del traffico veicolare.

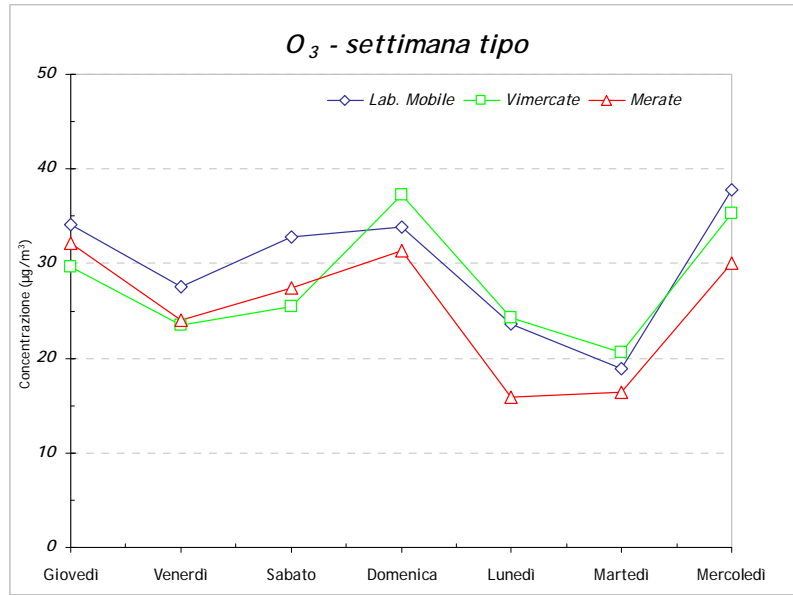


La matrice di Pearson, calcolata sull'intero set di dati orari, ha messo in evidenza una ottima corrispondenza con le postazioni della rete lombarda prese a riferimento; nello specifico le stazioni di Merate e Carate Brianza sono quelle che presentano valori maggiormente correlati.

	Lab. Mobile	Milano Pascal	Monza	Agrate Brianza	Inzago	Meda	Merate	Vimercate	Carate Brianza
Lab. Mobile	1.00								
Milano Pascal	0.71	1.00							
Monza	0.81	0.83	1.00						
Agrate Brianza	0.81	0.81	0.93	1.00					
Inzago	0.76	0.83	0.83	0.85	1.00				
Meda	0.77	0.73	0.83	0.81	0.69	1.00			
Merate	0.87	0.77	0.84	0.85	0.81	0.84	1.00		
Vimercate	0.68	0.64	0.65	0.69	0.58	0.83	0.76	1.00	
Carate Brianza	0.82	0.68	0.83	0.79	0.68	0.93	0.85	0.78	1.00



Mediamente le concentrazioni misurate in via IV Novembre presentano valori più alti rispetto alle altre due stazioni fisse di riferimento.

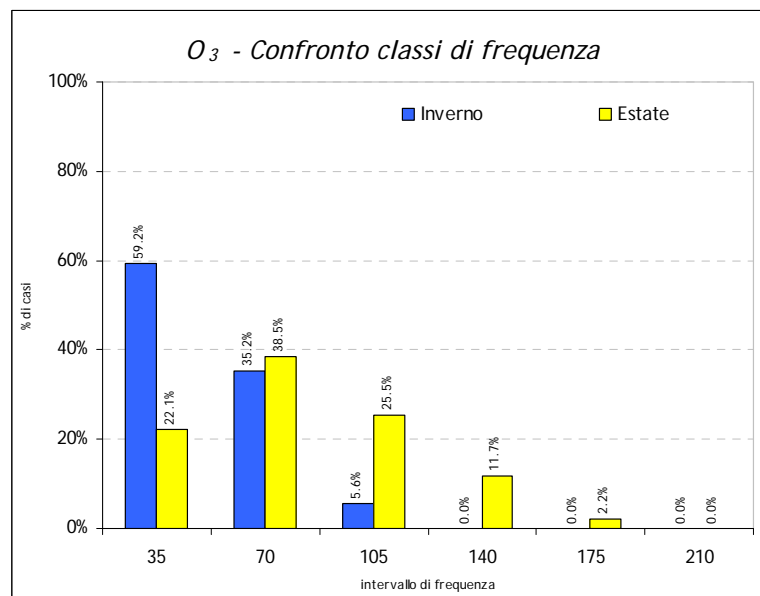


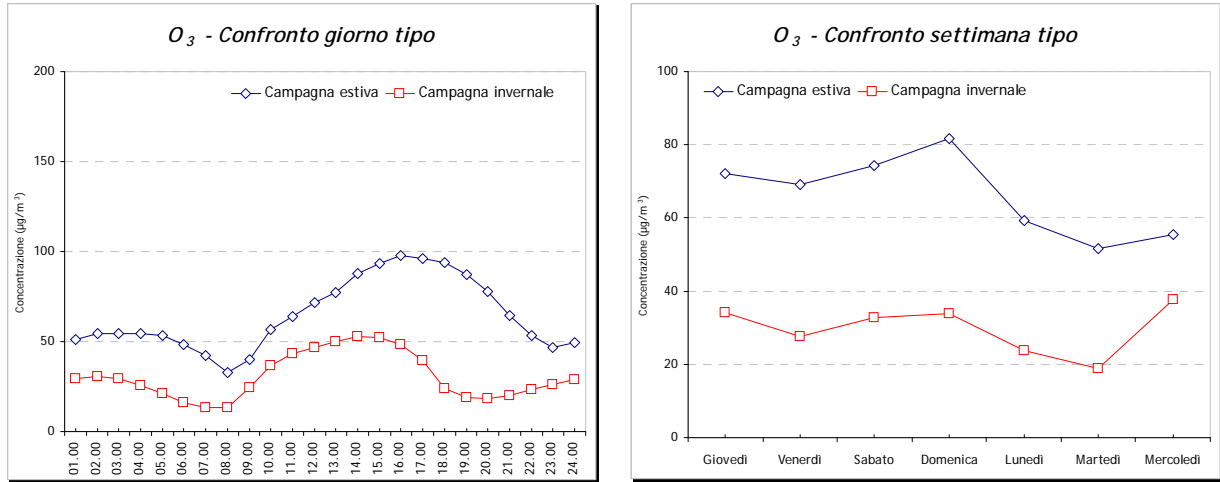
Anche il grafico delle concentrazioni medie settimanali evidenzia come i valori a Ronco Briantino siano mediamente superiori. In particolare i picchi di concentrazioni si trovano centrati sulla giornata di domenica in cui si ha una diminuzione del traffico e pertanto dell'emissione di NO.

Si riportano, nella tabella successiva, le concentrazioni osservate nel corso delle due campagne di misura.

Ozono	Valore medio µg/m ³	Valore minimo µg/m ³	Valore massimo µg/m ³	Valore massimo media di 8 ore µg/m ³
Campagna estiva	65	4	150	144
Campagna invernale	31	4	90	76

Il confronto delle classi di frequenza evidenzia per l'ozono una situazione opposta rispetto a quanto illustrato precedentemente per gli altri inquinanti; le concentrazioni si distribuiscono più omogeneamente nelle classi di frequenza nel corso della misura estiva, invece nella campagna invernale si addensano nell'intervallo 1-70 µg/m³.



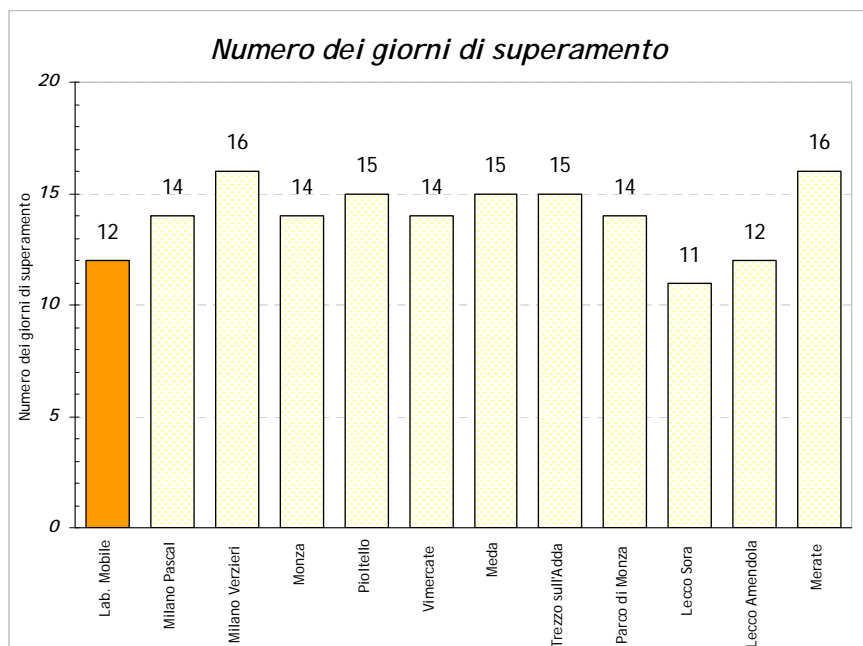


Anche nei grafici di confronto tra il giorno tipo e la settimana tipo, pur mantenendo un andamento temporale analogo, si osservano valori decisamente più alti nella stagione estiva rispetto a quella invernale.

PM10 – Particolato Fine

Il particolato fine (PM10) è un inquinante la cui misura è stata introdotta a partire dal 1998; esso è costituito da particelle con diametro aerodinamico inferiore a 10 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.

I dati delle concentrazioni giornaliere di PM10 hanno fatto registrare, nei 24 giorni di misura, un valore medio di 66 µg/m³ ed un valore massimo giornaliero di 145 µg/m³ il giorno 24 febbraio 2009. Durante il periodo di misura **sono stati osservati 12 superamenti, pari al 50% dei giorni di misura.**

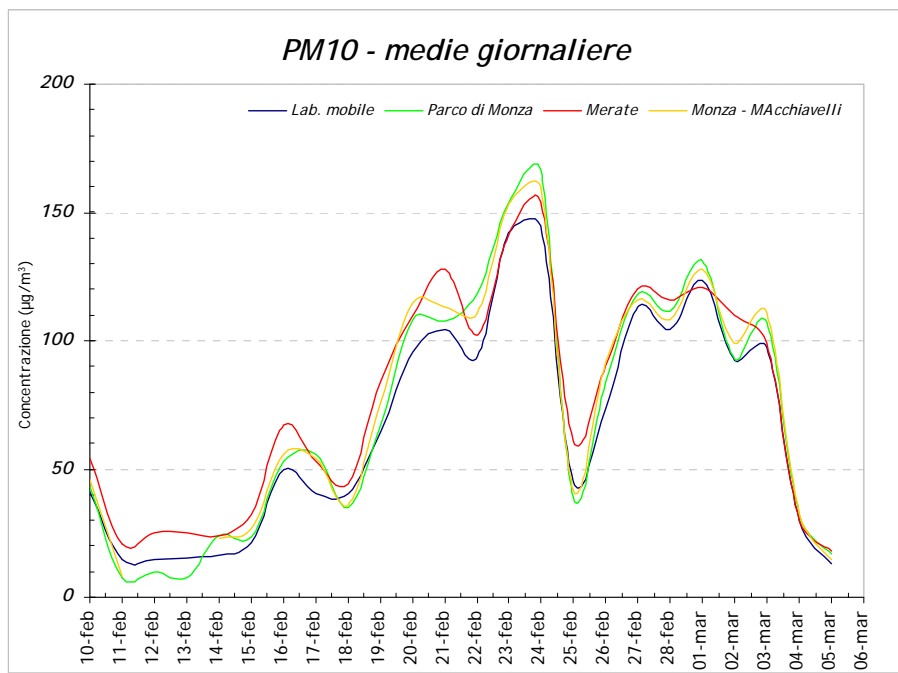


Una caratteristica importante del PM10 è quella di essere un inquinante di tipo ubiquitario, presenta cioè andamenti delle concentrazioni analoghe in diverse località del Bacino Padano. Tale fenomeno è osservabile nel grafico in cui sono riportati i superamenti riscontrati nelle stazioni fisse della rete regionale prese a riferimento; il numero dei superamenti osservati a Ronco Briantino è confrontabile a quello delle altre stazioni.

Tale evidenza è confermata anche dall'ottima correlazione con tutte le stazioni provinciali prese a riferimento⁴, in particolare con quella fissa di Merate, Monza via Macchiavelli e Monza Parco.

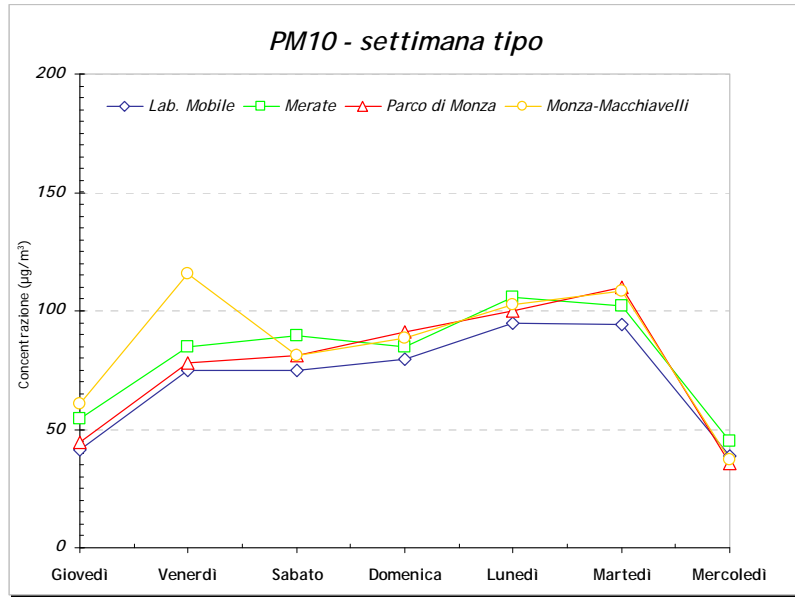
	Lab. Mobile	Milano Pascal	Milano Verzieri	Monza	Pioltello	Vimercate	Meda	Trezzo sull'Adda	Parco di Monza	Lecco Sora	Lecco Amendola	Merate
Lab. Mobile	1.00											
Milano Pascal	0.98	1.00										
Milano Verzieri	0.97	0.99	1.00									
Monza	0.99	0.98	0.97	1.00								
Pioltello	0.97	0.99	0.96	0.98	1.00							
Vimercate	0.92	0.96	0.89	0.92	0.95	1.00						
Meda	0.88	0.91	0.85	0.87	0.91	0.97	1.00					
Trezzo sull'Adda	0.98	0.97	0.97	0.98	0.97	0.93	0.88	1.00				
Parco di Monza	0.99	0.99	0.98	1.00	0.98	0.93	0.88	0.98	1.00			
Lecco Sora	0.97	0.93	0.93	0.94	0.90	0.83	0.80	0.93	0.94	1.00		
Lecco Amendola	0.95	0.92	0.90	0.93	0.92	0.91	0.89	0.92	0.93	0.94	1.00	
Merate	0.99	0.97	0.96	0.98	0.97	0.92	0.90	0.98	0.98	0.95	0.96	1.00

Di seguito viene riportato il grafico di confronto delle concentrazioni medie giornaliere riscontrate a Ronco Briantino e le due stazioni maggiormente correlate.



La buona correlazione tra le postazioni fisse e quella mobile è ulteriormente evidenziata nel grafico degli andamenti settimanali, sebbene le concentrazioni riscontrate a Ronco Briantino siano costantemente inferiori rispetto a quelle misurate dalle altre stazioni

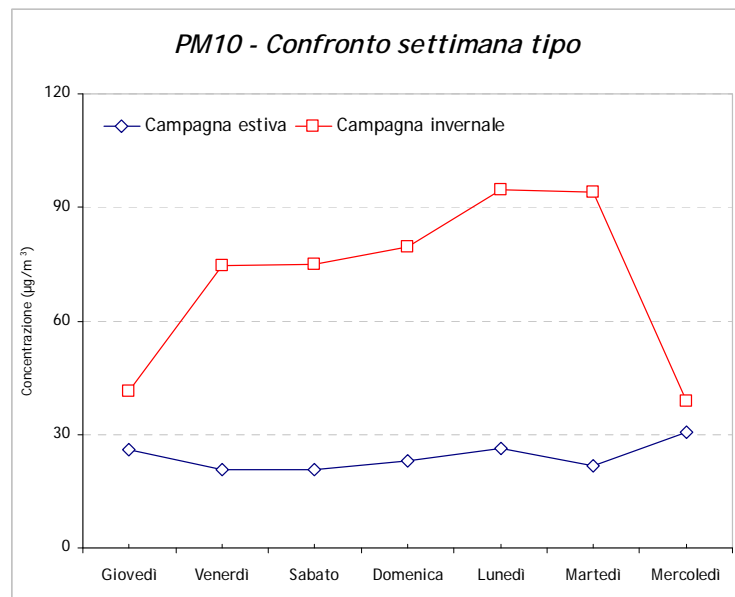
⁴ Non è stato possibile confrontare i dati della campagna dicembre 2008 con quelli della centralina di Monza in quanto quest'ultima ha presentato un disservizio durante il periodo di osservazione.



Nella tabella sottostante si riportano le concentrazioni riscontrate nel corso delle due campagne di misura.

PM10	Valore medio µg/m ³	Valore massimo giornaliero µg/m ³	Valore minimo giornaliero µg/m ³	n° giorni di misura	n° superamenti
Campagna estiva	25	54	14	25	1
Campagna invernale	66	145	13	24	12

Il periodo invernale è quello in cui più facilmente le concentrazioni di PM10 tendono ad accumularsi nell'atmosfera; tale dinamica è stata osservata anche a Ronco Briantino nel corso delle due campagne di misura. Durante la campagna estiva si è osservato un solo superamento del livello di attenzione, i rilievi invernali, invece, hanno fatto registrare ben 12 superamenti su 24 giorni di misura.



Idrocarburi Policiclici Aromatici (I.P.A.)

La determinazione degli IPA, è servita per cercare di verificare quale sorgente antropica incida maggiormente sulla qualità dell'aria del sito oggetto di indagine.

In accordo con l'Amministrazione comunale è stata svolta la determinazione di 14 IPA estratti da 7 campioni di PM10 raccolti nel sito di misura sia nel corso delle misure estive che in quelle invernali.

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

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

La formazione degli IPA

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

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

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

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

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

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

Le emissioni dei veicoli a benzina sono caratterizzate principalmente da IPA con elevato peso molecolare come il B[ghi]P, il I[123cd]P ed il COR⁵, 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 CHR⁶ (Li Kamens – 1993).

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

⁵ Coronene

⁶ Crisene

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

Caratteristiche chimico fisiche degli IPA oggetto di studio

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

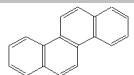
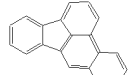


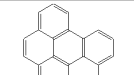
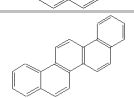
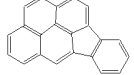


Gli IPA sono estremamente sensibili alla luce ed assorbono sia negli UVa che negli UVb, subendo due tipologie di reazioni fotochimiche: fotosensibilizzazione e fotodegradazione. Nella prima si formano radicali liberi (ad esempio superossidi), ovvero sostanze chimicamente molto reattive e pericolose per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

I primi 4 IPA della tabella qui di seguito proposta si trovano principalmente in fase vapore, la frazione in fase particolata ($\leq 5\%^7$) varia con la temperatura e con le caratteristiche chimico fisiche del particolato presente in atmosfera. Per tale motivo non è possibile stimarne la concentrazione totale presente a partire dalla sola concentrazione misurata in fase particolata. Gli altri 9 IPA invece tendono ad essere presenti in atmosfera in fase particolata.

	SIGLA	IARC ⁸	N. ANELLI	PESO MOLECOLARE	STRUTTURA
<i>IPA IN FASE GASSOSA</i>					
FENANTRENE	PhA	3	3	178.24	
ANTRACENE	Ant	3	3	178.24	
FLUORANTENE	Flu	3	4	202.26	
PIRENE	Pyr	3	4	202.26	
<i>IPA IN FASE PARTICOLATA</i>					
BENZO(a)ANTRACENE	BaA	2	4	228.30	

⁷ Park et al., 2001.

⁸ **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.

CRISENE	Chr	3	4	228.30	
BENZO(b)FLUORANTENE	BbF	2B	5	252.32	
BENZO(k)FLUORANTENE	BkF	2B	5	252.32	
BENZO(a)PIRENE	BaP	2A	5	252.32	
BENZO(ghi)PERILENE	BgP	3	6	276.34	
DIBENZO(a,h)ANTRACENE	dBA	2A	5	278.35	
INDENO(123cd)PIRENE	IP	2B	6	276.34	
BENZO(e)PIRENE	BeP	3	5	252.32	
CORONENE	COR	3	7	300.35	

Raccolta ed analisi dei campioni

In breve: il particolato PM10, dal quale, con processi di laboratorio sono stati estratti gli IPA, è stato raccolto con un campionatore a basso volume ($Q_a=16.67$ l/min), su filtri in borosilicato.

La durata della misura per singolo campione è stata di 24 h (inizio 00.05 am).

Dopo la raccolta i filtri sono stati conservati, fino all'analisi, in camera climatizzata a 20°C e Umidità Relativa del 50%, chiusi in pellicola di alluminio. L'estrazione degli analiti dal filtro è avvenuta mediante bagno ad ultrasuoni con acetonitrile e successiva analisi in HPLC.

Risultati e discussione

La determinazione degli IPA, in concomitanza alle misure di PM10 durante le campagne di misura condotte nel comune di Ronco Briantino, è servita per cercare di verificare quale sorgente antropica incida maggiormente nel tratto viario considerato. In accordo con l'Amministrazione comunale è stata svolta la determinazione di 14 IPA estratti da 8 campioni di PM10 raccolti nel sito di misura per singola campagna.

Campagna di misura	periodo di misura	n°campioni
Estiva - R1	23.04 – 30.04 2008	8
Invernale - R2	18.02 – 25.02 2009	8

Nelle tabelle seguenti si riportano le concentrazioni, espresse in ng/m^3 degli Idrocarburi Policiclici Aromatici riscontrate nel corso delle due misurazioni:

Campagna estiva – R1

	Fenantrene	Antracene	Fluorantene	Pirene	Benzo(a)antracene	Crisene	Benzo(b)fluorantene	Benzo(k)fluorantene	Benzo(a)pirene	Benzo(ghi)perilene	Dibenzo(ah)perilene	Indeno(1,2,3cd)pirene ^e	Benzo(e)pirene	Coronene
Classe I.A.R.C.					2A		2B	2B	2A		2A	2B		
Giorni	PhA	Ant	Flu	Pyr	BaA	Chr	BbF	BkF	BaP	BgP	dBA	IP	BeP	COR
23/04/08 Sabato	0.14	0.007	0.08	0.42	0.09	0.20	0.28	0.08	0.12	0.25	0.02	0.05	0.21	0.04
24/04/08 Domenica	0.04	0.007	0.08	0.29	0.07	0.13	0.19	0.08	0.14	0.24	0.02	0.05	0.12	0.15
25/04/08 Lunedì	0.04	0.007	0.08	0.18	0.05	0.11	0.21	0.09	0.22	0.37	0.02	0.37	0.21	0.18
26/04/08 Martedì	0.06	0.007	0.08	0.18	0.04	0.10	0.12	0.05	0.08	0.17	0.02	0.05	0.04	0.04
27/04/08 Mercoledì	0.05	0.007	0.08	0.24	0.04	0.10	0.15	0.07	0.10	0.17	0.02	0.31	0.04	0.04
28/04/08 Giovedì	0.10	0.007	0.08	0.38	0.06	0.16	0.18	0.16	0.10	0.22	0.02	0.24	0.14	0.13
29/04/08 Venerdì	0.05	0.007	0.08	0.15	0.03	0.07	0.06	0.03	0.05	0.11	0.02	0.05	0.04	0.10
30/04/08 Sabato	0.05	0.007	0.08	0.23	0.04	0.11	0.14	0.05	0.07	0.15	0.02	0.11	0.06	0.11

^e IN ROSSO SONO RAPPRESENTATE LE CONCENTRAZIONI INFERIORI ALLA SOGLIA DI RILEVABILITÀ STRUMENTALE

Campagna invernale – R2

	Fenantrene	Antracene	Fluorantene	Pirene	Benzo(a)antracene	Crisene	Benzo(b)fluorantene	Benzo(k)fluorantene	Benzo(a)pirene	Benzo(ghi)perilene	Dibenzo(ah)perilene	Indeno(1,2,3cd)pirene ^e	Benzo(e)pirene	Coronene
Classe I.A.R.C.					2A		2B	2B	2A		2A	2B		
Giorni	PhA	Ant	Flu	Pyr	BaA	Chr	BbF	BkF	BaP	BgP	dBA	IP	BeP	COR
18/02/09 Mercoledì	1.01	0.03	0.08	0.93	0.98	1.22	2.07	0.72	1.69	1.91	0.16	2.04	1.35	0.32
19/02/09 Giovedì	1.34	0.05	0.08	1.20	2.47	2.75	4.30	1.57	4.28	4.58	0.33	3.20	3.20	0.60
20/02/09 Venerdì	1.29	0.06	0.08	1.29	2.55	2.86	5.42	1.84	5.01	5.42	0.37	4.82	2.87	0.73
21/02/09 Sabato	1.24	0.007	0.08	1.47	2.61	3.00	5.05	2.17	4.58	4.57	0.49	5.57	3.52	0.71
22/02/09 Domenica	0.73	0.03	0.08	0.59	1.53	1.75	4.24	1.51	2.93	3.43	0.29	4.45	2.75	0.62
23/02/09 Lunedì	0.83	0.07	0.08	0.65	2.58	2.60	4.79	1.71	3.90	4.19	0.38	6.82	2.89	0.60
24/02/09 Martedì	0.86	0.05	0.08	0.85	2.11	2.54	4.57	1.57	3.46	3.62	0.33	5.53	2.69	0.60
25/02/09 Mercoledì	0.40	0.03	0.08	0.46	1.05	1.14	1.79	0.59	1.48	1.63	0.12	1.03	1.15	0.20

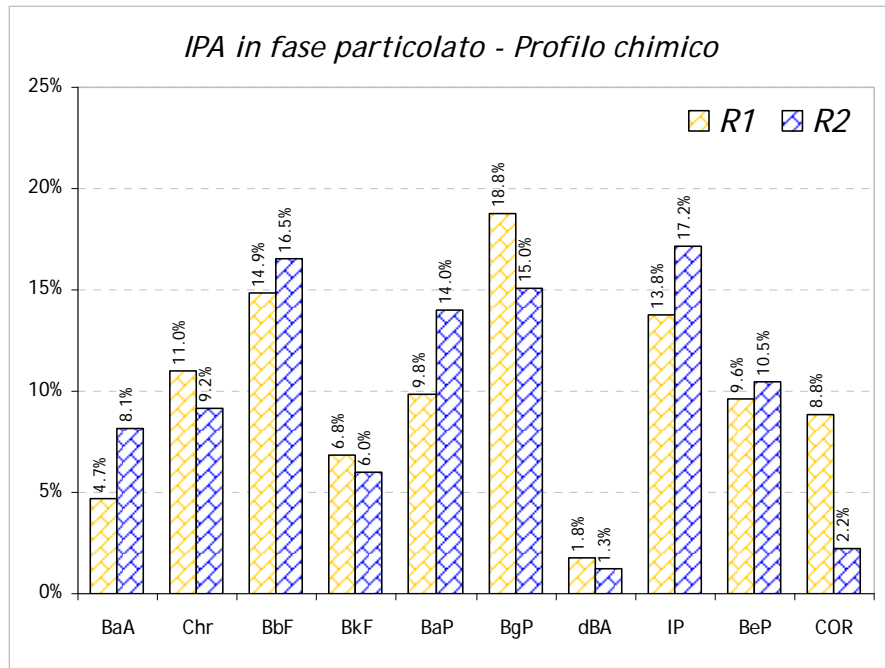
Dai riscontri analitici effettuati sui filtri R1 è emerso come le concentrazioni di tutti gli IPA siano molto basse, anche al di sotto del limite di rilevabilità. In particolare le concentrazioni di benzo(a)pirene, preso a riferimento dalla normativa come marker degli IPA, sono risultate costantemente inferiori all'obiettivo di qualità (1 ng/m^3) anche se tale limite è da intendersi come media annuale. **Diverso è invece il risultato ottenuto dall'analisi dei filtri della campagna R2 dove le concentrazioni sono risultate non trascurabili, in particolare il B(a)P è risultato ampiamente superiore ad 1 ng/m^3 in tutti i giorni presi a riferimento.**

Profilo chimico degli IPA

Si riporta di seguito, sia in forma tabellare che in grafico, il profilo chimico medio degli IPA relativi ai due periodi di osservazione, inteso come rapporto dei singoli IPA presenti in fase particolata con Σ^9 .

Tabella 1	BaA	Chr	BbF	BkF	BaP	BgP	dBA	IP	BeP	Cor
R1	4.7%	11.0%	14.9%	6.8%	9.8%	18.8%	1.8%	13.8%	9.6%	8.8%
R2	8.1%	9.2%	16.5%	6.0%	14.0%	15.0%	1.3%	17.2%	10.5%	2.2%

⁹ Con Σ si intende il valore degli IPA totali. Con Σ' si intende il valore degli IPA totali senza considerare il fenantrene l'antracene il fluorantene ed il pirene in quanto questi sono presenti in atmosfera in fase particolata ed in fase gassosa. Poiché la ripartizione in fase particolata e gassosa di questi IPA ha una forte dipendenza dalla temperatura, si potrebbero generare grosse incertezze nel rapporto con gli IPA totali, in quanto fortemente legati alle condizioni atmosferiche e non alle sorgenti di emissione (ad es. a $T=20^\circ\text{C}$ $C_{particolata}/C_{gas} = 0.36\%$ e 5.6% per FLU e PYR rispettivamente - Seinfeld and Pandis, 1998).



Concentrazione totale media e variabilità

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

E' quindi stato stimato il rapporto $\frac{\Sigma}{\Sigma'}$, per valutare quanto gli IPA con 3-5 anelli, principalmente in fase gassosa, incidano sul totale. In tabella 2 sono riportati i risultati per Σ , Σ' , $\frac{\Sigma}{\Sigma'}$, PM10 e T, relativi ai periodi di prelievo:

Tabella 2	R1	R2
n. campioni	8	8
Temperatura (valore medio)	14.2	3.7
Σ	12.24	211.17
Σ'	8.94	195.06
Σ/Σ'	1.369	1.083
PM10 (valore medio)	28	91
$\Sigma/PM10$ (%)	0.43	0.23

I fattori che regolano la concentrazione di IPA sono molteplici. Un primo fattore è dato dalla vicinanza delle potenziali sorgenti al sito di campionamento e dalle capacità dispersive dell'atmosfera. Nel luogo indagato tale seconda evidenza è sottolineata dall'elevato valore di concentrazione registrato nella campagna di invernale dove le condizioni meteorologiche non hanno permesso una diluizione degli inquinanti.

Anche le variazioni stagionali incidono sui livelli di IPA, è infatti evidente nel sito indagato il gap nei rapporti di concentrazione inverno/primavera (Carrichia et al., 1999; Manichini et al., 1999; Dorr et al., 1999). Tale variabilità è dovuta a cause diverse una di queste è data dalla differente ripartizione tra fase gas e fase particolata degli IPA indotta dalla variazione della temperatura tra diversi periodi. Nel caso in esame il gap termico è stato maggiore di 10°C.

La diminuzione delle concentrazioni nei mesi più miti è legata anche alle reazioni di fotolisi diretta con specie radicaliche (OH, NO₂, NO₃), biradicaliche (O₂, O₃) o altre molecole reattive, che contribuiscono a diminuire la loro permanenza in atmosfera.

Questo processo può essere illustrato osservando l'evoluzione delle concentrazioni di BaP nei due periodi di riferimento. Il BaP infatti risulta essere uno dei più reattivi degli IPA in fase particolata (Kamens et al., 1990).

Il rapporto diagnostico

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

La letteratura più recente¹⁰ però ha mostrato qualche perplessità nell'utilizzo di tale metodo. Si ritiene infatti che questi composti siano sottoposti, una volta emessi in atmosfera, a processi più o meno elevati di foto - ossidazione con conseguente alterazione del parametro DR. Le diverse proprietà chimico-fisiche dei diversi IPA poi possono ulteriormente modificare questi rapporti (Simò et al., 1997). Tale approccio deve pertanto essere utilizzato con cautela.

In tabella 3 vengono riportati i risultati delle campagne R1 E R2 di tre rapporti di 5 IPA considerati traccianti del traffico e della combustione di biomasse con il valore degli IPA totali:

Tabella 3	ESTATE R1	INVERNO R2
Σ	12.24	211.17
Σ'	8.94	195.06
$(B[b]F+B[k]F)/\Sigma'$	0.22	0.23
CHR/Σ'	0.11	0.09
$B[ghi]P+COR/\Sigma'$	0.28	0.17

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

Dall'analisi dei rapporti diagnostici sopra riportati, si può osservare come i valori dei siti R1 ed R2 siano confrontabili, la qual cosa sembra suggerire che le sorgenti emissive siano le stesse in entrambi i periodi. Dai risultati risulterebbe che a incidere in misura maggiore come sorgente emissiva sia la componente traffico rispetto agli impianti di riscaldamento ed in particolare risulterebbero più marcate, anche se di poco, le emissioni dai veicoli con alimentazione diesel.

Questo risultato sembrerebbe legato alla caratteristica degli autoveicoli alimentati a benzina (Combet et. Al. - 1993) di generare emissioni di IPA venti volte superiori durante la partenza a freddo piuttosto che durante la marcia con motore caldo, rispetto agli autoveicoli con motore diesel in cui tali emissioni avvengono in proporzioni minori.

Per cercare di ottenere ulteriori informazioni sulle sorgenti emissive che maggiormente influenzano la qualità dell'aria nel sito di prelievo in tabella 4 sono stati ricavati i seguenti indici¹¹:

1. $[IcdP]/[IcdP] + [BgliP]$ secondo i dati di letteratura questo rapporto è di:
 - 0.18 per le emissioni da benzina¹²
 - 0.37 ÷ 0.70 per le emissioni di diesel
 - 0.56 per le emissioni dovute alla combustione del carbone¹³
 - 0.62 per le emissioni dovute alla combustione di legna¹⁴
2. $[Flu]/[Flu] + [Pyr]$ secondo i dati di letteratura questo rapporto è di:
 - 0.44 per le emissioni da veicoli a benzina con marmitta catalitica¹⁵

¹⁰ Assemo O. Barakat: "Pahs petroleum markers in the atmospheric environment of Alexandria City, Egypt" – Water, Air and soil Pollution 139: 289-310 - 2002.

¹¹ Cotham and Bidleman, 1995; Lohmann ed al., 2000

¹² Kavouras et al., 1999; Pio et al., 2001; Alveas et al. 2001.

¹³ Pio et al., 2001.

¹⁴ Gogou et al., 1996.

¹⁵ Rogge et al., 1993.

- 0.37 per le emissioni diesel degli autocarri
 - $0.60 \div 0.70$ per le emissioni dovute a motori diesel¹⁶
 - 0.40 per le emissioni dovute ai motori benzina
3. **[BaA]/[BaA] + [Chr]** secondo i dati di letteratura questo rapporto è generalmente utilizzato per valutare il contributo delle emissioni veicolari¹⁷:
- 0.50 per le emissioni da industrie ed autocarri
 - $0.37 \div 0.70$ per le emissioni dai motori diesel
 - 0.43 per le emissioni dai motori benzina
 - 0.16 per le emissioni di petrolio grezzo durante la combustione¹⁸

Tabella 4	ESTATE R1	INVERNO R2
I(123cd)P/I(123cd)P+B(gli)P	0.42	0.53
Flu/Flu+Pyr	0.24	0.02
B(a)A/B(a)A+Chr	0.30	0.47

Il primo di questi rapporti ha presentato un range di variazione in entrambe le campagne simile a quello dovuto alle emissioni dei veicoli diesel, inoltre il valore invernale è confrontabile con quello dovuto alla combustione del carbone. Il secondo ed il terzo di questi rapporti è svolto su IPA con caratteristiche volatili. Per quanto riguarda la campagna estiva questi rapporti non mostrano valori significativi, invece per quanto riguarda la campagna invernale il rapporto "B(a)A/B(a)A+Chr" mostra una discreta corrispondenza con i valori tipici dell'emissione dei motori a benzina.

L'analisi di questi rapporti non evidenzia la presenza significativa di oli combustibili.

Evoluzione temporale degli IPA e correlazione con i marker da traffico

Per poter confermare la componente traffico come elemento dominante la qualità dell'aria nel sito di studio, rispetto ad altre sorgenti, è risultato utile verificare se le misure di IPA presentassero una qualche correlazione con il PM10 e con alcuni inquinanti caratteristici del traffico veicolare come CO, 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 5 i valori medi delle grandezze sopra menzionate relative ai periodi R1 ed R2 unitamente ad alcuni dati meteo.

Tab. 5	Σ (ng/m ³)	Σ' (ng/m ³)	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CO (mg/m ³)	VV (m/s)	T (°C)	Pioggia (mm Tot.)
R1	12.24	8.94	28	23	34	0.3	0.69	14.2	9.4
R2	211.17	195.06	91	75	86	0.8	0.21	3.7	0

Relativamente alle condizioni meteorologiche occorse nei due periodi di misura, si osserva come nel complesso quelle che hanno permesso una migliore dispersione si siano verificate nel periodo estivo; significativa risulta essere la discrepanza tra periodo estivo ed invernale della velocità del vento.

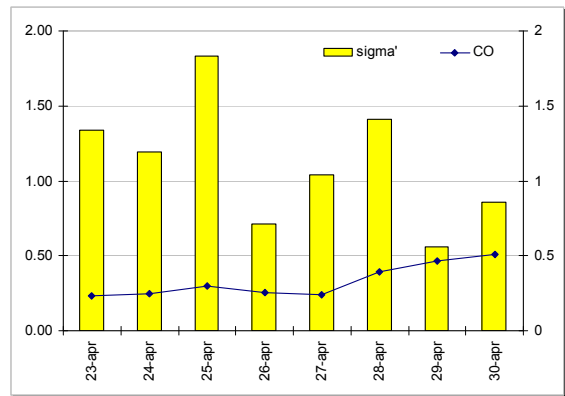
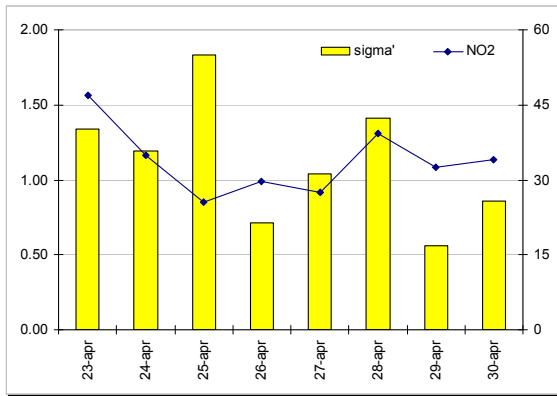
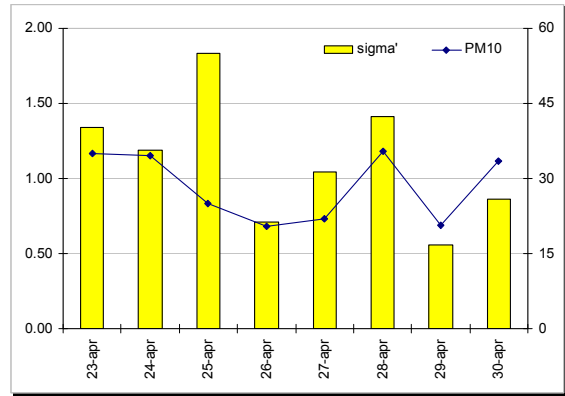
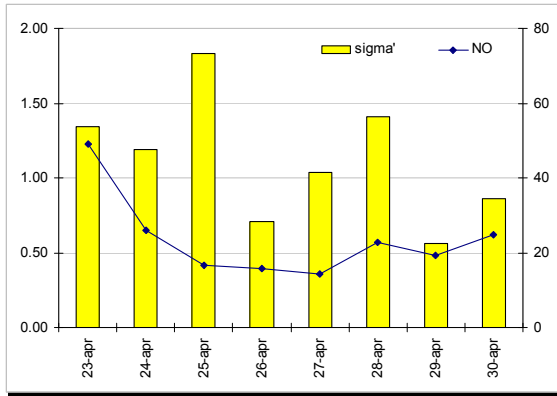
Per una maggiore comprensione dei dati, nei sottostanti grafici vengono rese le evoluzioni temporali delle grandezze riportate in tabella, relative ai periodi di osservazioni.

¹⁶ Kavouras et al., 2001.

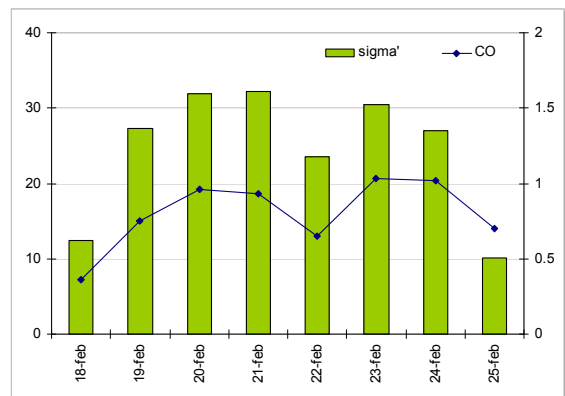
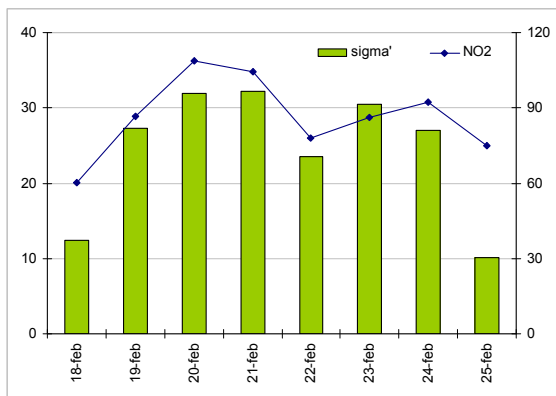
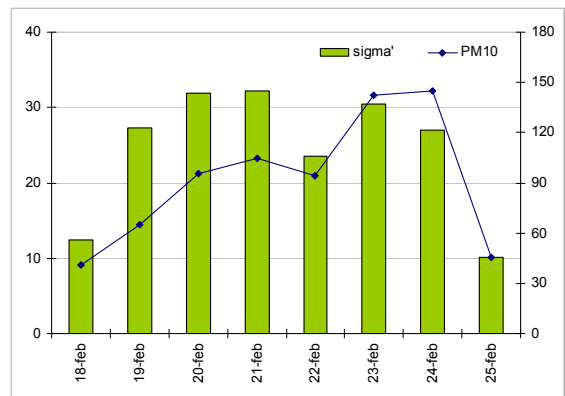
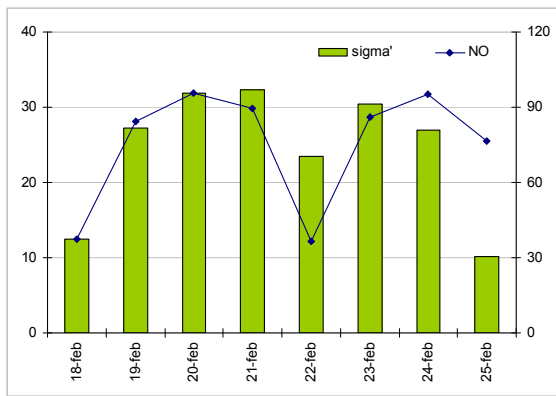
¹⁷ E.g. Gogou et al., 1996.

¹⁸ Sicre et al., 1987

Campagna estiva R1



Campagna invernale



R1	Σ	Σ'	NO	NO ₂	CO	PM10	R2	Σ	Σ'	NO	NO ₂	CO	PM10
Σ	1.00						Σ	1.00					
Σ'	0.97	1.00					Σ'	1.00	1.00				
NO	0.40	0.21	1.00				NO	0.60	0.60	1.00			
NO ₂	0.30	0.07	0.90	1.00			NO ₂	0.85	0.85	0.79	1.00		
CO	-0.39	-0.37	-0.17	0.00	1.00		CO	0.76	0.78	0.86	0.83	1.00	
PM10	0.56	0.41	0.67	0.74	0.08	1.00	PM10	0.71	0.74	0.50	0.56	0.83	1.00

La matrice di Parson, calcolata nel periodo R1, mostra una scarsa correlazione tra i parametri considerati come ad indicare che non vi sia un legame diretto tra traffico veicolare ed IPA; le concentrazioni di IPA osservate lungo questo tratto viario possono essere dovute a fenomeni di trasporto.

Per quanto riguarda il periodo R2 si osserva una discreta correlazione tra alcuni marker da traffico e IPA totali; Vi è da sottolineare però che una discreta correlazione tra IPA totali e PM10, come evidenziato per il sito R2 è piuttosto insolita, infatti gli IPA sono principalmente associati ad aerosol submicrometrico (Venkataraman and Friedlander, 1994; Schnelle-Kreis et al., 2000), il cui taglio dimensionale rappresenta solo una piccola frazione del bilancio di massa del PM10. Essendo però gli IPA composti antropogenici primari, tali correlazioni sembrerebbero indicare che le concentrazioni di PM10 nel sito siano dovute principalmente ad emissioni antropogeniche primarie, con un'implicazione marginale dovuta ad aerosol di origine naturale.

Potere carcinogenico equivalente degli IPA in fase particolata

Il potere carcinogenico equivalente del B(a)P (BaPE) è un indice proposto¹⁹ per parametrizzare la carcinogenicità degli IPA nel materiale particolato in atmosfera.

Il BaPE viene utilizzato al posto del BaP per dimostrare la cancerogenicità degli IPA in quanto quest'ultimo viene facilmente decomposto dalla luce solare e dagli agenti ossidanti presenti in atmosfera²⁰.

Le specie equivalenti del B(a)P includono B(a)A, B(b)F, B(k)F, D(ah)A, B(a)P e I(cd)P ed il BaPE è definito dall'equazione [1]:

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

dove il coefficiente davanti ad ogni termine rappresenta la tossicità degli IPA in relazione al BaP.

Viene qui di seguito applicato tale indice per valutare la carcinogenicità degli IPA in fase particolata nei due periodi di osservazione.

Specie equivalente (SE) – R1	conc. ± SD (ng/m ³)
SE(BaA)	0.03 ± 0.001
SE(BbF)	0.09 ± 0.005
SE(BkF)	0.04 ± 0.003
SE(BaP)	0.88 ± 0.05
SE(DahA)	0.10 ± 0.00
SE(IcdP)	0.10 ± 0.01
BaPE	4.63

¹⁹ Yassaa et al., 2001.

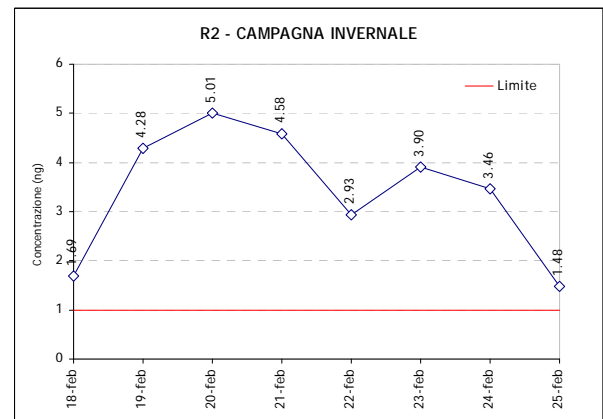
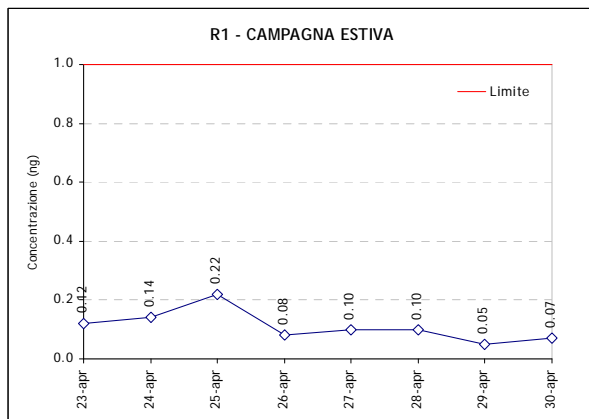
²⁰ Yassaa et al., 2001.

Specie equivalente (SE) – R2	conc. ± SD (ng/m ³)
SE(BaA)	0.95 ± 0.17
SE(BbF)	2.22 ± 0.23
SE(BkF)	0.82 ± 0.08
SE(BaP)	27.33 ± 3.89
SE(DahA)	1.48 ± 0.17
SE(IcdP)	2.68 ± 0.21
BaPE	123.05

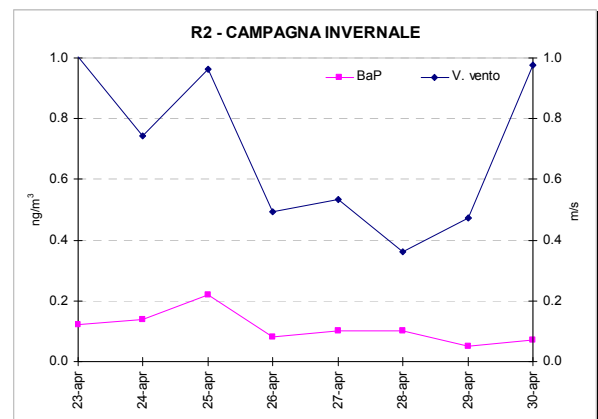
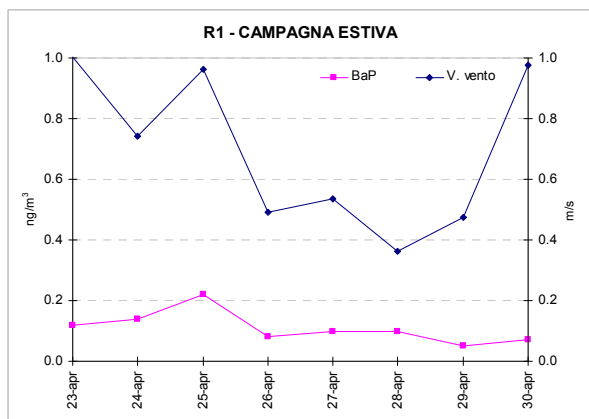
Si osserva come il BaPE incida per il 51.8 % durante la misura estiva e del 63.1 % nella campagna invernale, rispetto al valore totale degli IPA (Σ').

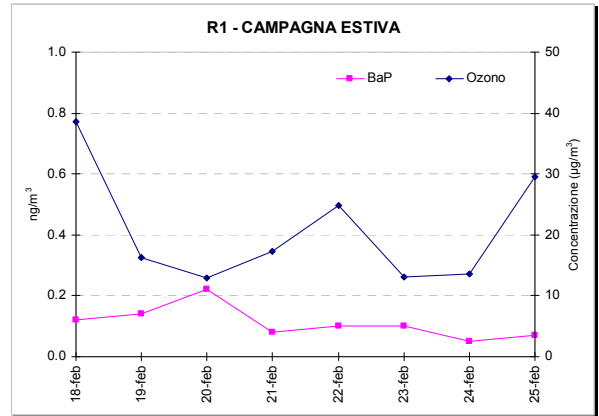
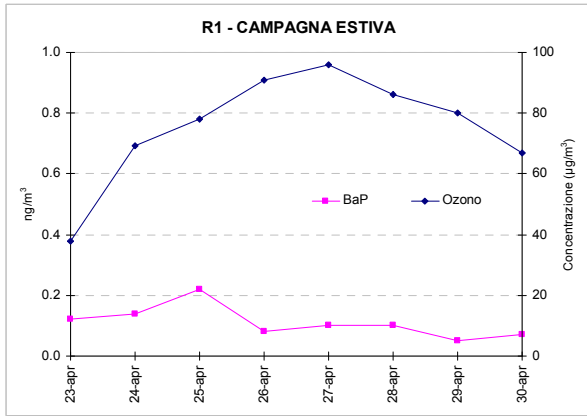
Il Benzo[a]pirene

La normativa prende a riferimento come marker degli IPA il benzo(a)pirene. Sebbene non sia possibile ricavare la media mobile annua per il numero esiguo dei dati, si osserva come nel corso della campagna estiva le concentrazioni si siano mantenute costantemente al di sotto del limite normativo, esattamente l'opposto delle misure invernali.



Nel grafico successivo sono stati riportati gli andamenti delle concentrazioni di BaP e della velocità media giornaliera del vento; si osserva una diminuzione di questo inquinante in corrispondenza dei giorni relativamente più ventosi.





Dai dati di letteratura risulta che gli IPA con alto peso molecolare, come il benzo(a)pirene, presentano una variabilità in particolar modo legata alla temperatura e la radiazione solare (Halsall e coll.). Gli IPA infatti tendono a reagire anche con l'ozono, inquinante fotochimico, come ampiamente documentato in letteratura²¹, con diversi possibili meccanismi.

Tali reazioni sono messi in evidenza nel grafico della campagna estiva dove i massimi di concentrazione di ozono corrispondono ai valori minimi di Benzo(a)pirene e viceversa.

²¹ Cfr. Rindone B., Beltrame P., De Cesaris A.L.. "Il benzene ed altri composti aromatici: monitoraggio e rischi per l'uomo" - pag. 62.

CONCLUSIONI

Il comune di Ronco Briantino ai sensi della D.G.R. 5290/07 è classificato in termini di qualità dell'aria come ricadente in zona A1, ovvero in un'area caratterizzata da alta densità abitativa, elevate attività industriali, alta densità di traffico, condizioni meteorologiche avverse alla dispersione degli inquinanti e conseguentemente con concentrazioni più elevate di PM10.

Attraverso il monitoraggio in un periodo significativo dell'anno (09/02/2009 – 06/03/2009), ed il confronto con i valori osservati nel corso della campagna estiva (08/04/2008 – 05/05/2008) è stato possibile caratterizzare la qualità dell'aria lungo via IV Novembre.

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

Per quanto riguarda le condizioni meteorologiche osservate durante le due campagne di misura quelle che nel complesso hanno garantito una migliore dispersione degli inquinanti sono state quelle estive. Per quanto riguarda l'attività anemologica, sebbene i valori massimi orari siano stati analoghi in entrambi i periodi di misura, la campagna estiva ha mostrato un valore medio sul periodo decisamente più alto (1.3 m/s) rispetto alla campagna invernale (0.36 m/s) segno di un maggiore rimescolamento degli strati superiori dell'atmosfera. Anche l'effetto di dilavamento dovuto alla precipitazioni piovose è stato maggiore nel periodo estivo infatti nel corso di tali misure gli eventi piovosi sono stati 12 (129.9 mm tot. di pioggia), invece durante la campagna invernale le precipitazioni sono state 5 (52.6 mm tot. di pioggia)

Significativo di tale situazione è stato il confronto tra le concentrazioni di PM10, infatti se nella campagna estiva è stato osservato un solo superamento del valore limite di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ invece nelle misurazioni invernali i superamenti sono stati ben 12.

Va comunque sottolineato il fatto che tale criticità ha 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 (in particolare la zona di Milano, caratterizzata da un clima continentale, subisce questo blocco atmosferico soprattutto in inverno).

La difficoltà di dispersione degli inquinanti nel periodo invernale è confermata anche dalle concentrazioni di NO₂ che pur non osservano delle violazioni del livello di attenzione hanno messo in risalto valori non trascurabili.

Attraverso la determinazione di CO ed NO_x è stato possibile caratterizzare i flussi di traffico presenti lungo via IV Novembre: i picchi di concentrazione si presentano in corrispondenza delle ore di punta mattutina e serali; in particolare per il giorno tipo feriale i valori più alti si presentano nella fascia oraria che va dalle ore 07.00 alle ore 10.00 del mattino e dalle 16.00 alle 21.00 della sera.

La tendenza dell'Ozono ad accumularsi nel corso dei mesi estivi è stata confermata anche durante le misurazione a Ronco Briantino. Le misurazioni estive, effettuate in mesi in cui la radiazione solare non raggiunge ancora i valori massimi, hanno evidenziato alcuni superamenti della media di 8 ore (valore bersaglio della salute umana – $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$); questo fa presupporre che nel periodo centrale della stagione vi possano essere anche dei superamenti del valore di attenzione. Le concentrazioni osservate nel corso della campagna invernale sono state decisamente più contenute, analogamente a quanto osservato dalle altre stazioni di riferimento regionale.

Dallo studio effettuato sulla concentrazione degli IPA (considerati dalla letteratura dei "marker" delle diverse sorgenti antropiche) estratti da 8 campioni di PM10 per singola campagna, è emerso come le concentrazioni di tutti gli IPA non abbiano presentato valori significativi nel periodo R1. In particolare le concentrazioni di benzo(a)pirene, preso a riferimento dalla normativa come marker

degli IPA, sono risultate costantemente inferiori all'obiettivo di qualità (1 ng/m^3) anche se tale limite è da intendersi come media annuale. **Diverso è invece il riscontro sui filtri R2 dove le concentrazioni sono risultate non trascurabili, in particolare il B(a)P è risultato costantemente superiore ad 1 ng/m^3 .**

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

Lo studio sembrerebbe far emergere che in condizioni atmosferiche sfavorevoli alla dispersione degli inquinanti, con prevalenza di calma di vento, la vicinanza della potenziale sorgente emissiva al sito di campionamento tenderebbe a caratterizzare in maniera incisiva il profilo degli IPA.

Dai risultati del periodo R2 sembrerebbe la sorgente emissiva preponderante sia il traffico veicolare rispetto agli impianti di riscaldamento; in particolare risulterebbero più marcate le emissioni dai veicoli alimentati a diesel, anche di tipo pesante.

Il dato è confermato dalla discreta correlazione con il PM10 e con alcuni "marker" del traffico veicolare come NO ed NO₂. 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.

Centraline rete provinciale di riferimento

Comune	Rete	Tipo zona	Tipo stazione	Quota s.l.m.	Periodo di misura
		Dec. 2001/752/CE	Dec. 2001/752/CE		
Ronco Briantino Via IV novembre	PUB	URBANA	TRAFFICO	246	9.2 – 6.3 2009
Monza	PUB	URBANA	FONDO	160	Centralina Fissa
Milano Pascal	PUB	URBANA	TRAFFICO	125	Centralina Fissa
Trezzo sull'Adda	PRIV	SUBURBANA	FONDO	178	Centralina Fissa
Meda	PUB	URBANA	FONDO	243	Centralina fissa
Vimercate	PUB	URBANA	FONDO	206	Centralina Fissa
Inzago	PRIV	SUBURBANA	FONDO	138	Centralina Fissa
Cassano d'Adda	PRIV	URBANA	FONDO	133	Centralina Fissa
Pioltello	PUB	URBANA	FONDO	122	Centralina Fissa
Milano Verzieri	PUB	URBANA	TRAFFICO	122	Centralina Fissa
Milano Senato	PUB	URBANA	TRAFFICO	119	Centralina Fissa
Parco di Monza	PUB	URBANA	FONDO	180	Centralina fissa
Arese	PUB	URBANA	FONDO	160	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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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.