



Laboratorio Mobile
Campagna di Misura Inquinamento Atmosferico
Comune di Trezzo sull'Adda
Via Grassi c/o A4 Bergamo - Milano

16/03/2006 – 14/04/2006



Agenzia Regionale
per la Protezione dell'Ambiente
della Lombardia

Campagna di Misura Inquinamento Atmosferico

Comune di Trezzo sull'Adda

Via Grassi c/o A4 Bergamo - Milano

MONZA,

Rif. /ALM

Gestione e Manutenzione Tecnica del Laboratorio Mobile

p.i. Davide Paladini

p.i. Valter Meda

Il Responsabile del Procedimento

dott. Raffaella Marigo

Il Responsabile dell'U. O. Sistemi Ambientali

dott. geol. Madela Torretta

Campagna di Misura Inquinamento Atmosferico

Comune di Trezzo sull'Adda

Via Grassi c/o A4 Bergamo - Milano

PREMESSA	3
INTRODUZIONE	4
NORMATIVA	5
SITO DI MISURA	7
PRINCIPALI SORGENTI EMISSIVE	10
INQUINANTI ATMOSFERICI MONITORATI CON LABORATORIO MOBILE	21
BIOSSIDO DI AZOTO	56
MONOSSIDO DI CARBONIO	57
OZONO	58
PM10	59
APPENDICE I	60
APPENDICE II	68
APPENDICE III	76

Premessa

Trezzo sull'Adda è un centro abitato della provincia di Milano che conta circa **11 425** abitanti distribuiti su una superficie di circa **12.8 Km²**, con una densità abitativa di **890 ab/Km²** e dista circa 33 Km dal capoluogo in direzione Nord Est.

Il Comune confina a Nord con Bottanugo a Nord Ovest con Capriate San Gervasio a sud con Vaprio d'Adda e Grezzago, a Ovest con Roncello, Busnago e Cornate.

Nel presente lavoro si discutono i risultati relativi alla campagna di misura dell'inquinamento atmosferico condotta in periodo primaverile con Laboratorio mobile tra il *16 marzo* ed il *14 aprile 2006*, nel comune di Trezzo sull'Adda in via Grassi in prossimità del tratto autostradale A4 Bergamo - Milano.

Scopo della presente campagna di rilevamento è la caratterizzazione della qualità dell'aria sul territorio comunale di Trezzo sull'Adda, in particolare si è voluto verificare come la presenza dell'autostrada A4 incida sullo stato dell'aria del comune, in previsione dell'ampliamento di tale arteria viaria con l'aggiunta della quarta corsia.



Introduzione

Il furgone è stato posizionato, in accordo con i tecnici dell'Amministrazione Comunale, in via Grassi, in prossimità della autostrada A4 lungo la direttrice Bergamo – Milano, rispettando i criteri di rappresentatività indicati per il posizionamento delle cabine fisse di rilevamento (Allegato VIII del D.M. 60/02).

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

- Ossidi di azoto (NO_x);
- Monossido di carbonio (CO);
- Ozono (O₃);
- Particolato fine (PM10);
- COV: BTEX, Aldeidi;

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

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

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

- il monossido di carbonio viene prelevato a 1.6 m dal suolo (altezza uomo) e a non più di 5 metri dal ciglio della strada;
- la sonda per il prelievo di NO_x e O₃ è posta a tra 1.5 e 4 m di quota;
- i sensori meteorologici sono posizionati all'altezza di circa 8 m dal suolo.

E' stato possibile poi attraverso analisi di laboratorio determinare da campioni di PM10 gli Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA).

Normativa

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

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

E' importante sottolineare che il D.M. 60 del 2/4/02 ha introdotto, oltre ad una serie di valori limite, anche le date alle quali tali valori devono essere raggiunti; esso prevede inoltre un percorso nel tempo che porta ad un graduale raggiungimento dei limiti, stabilendo un margine di tolleranza che si riduce negli anni. Nella tabella seguente tra parentesi sono indicati i margini di tolleranza validi per l'anno 2006.

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

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

Biossido di Azoto	Valore Limite ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Periodo di mediazione	Legislazione
Standard di qualità (98° percentile rilevato durante l'anno civile)	200	1 h	D.P.R. 24/5/88
Valore limite protezione salute umana (da non superare più di 18 volte per anno civile)	200 (+40)	1 h	D.M. 2/4/02
Valore limite protezione salute umana	40 (+8)	Anno civile	D.M. 2/4/02
Soglia di allarme	400	1 h (rilevati su 3 ore consecutive)	D.M. 2/4/02

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

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

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

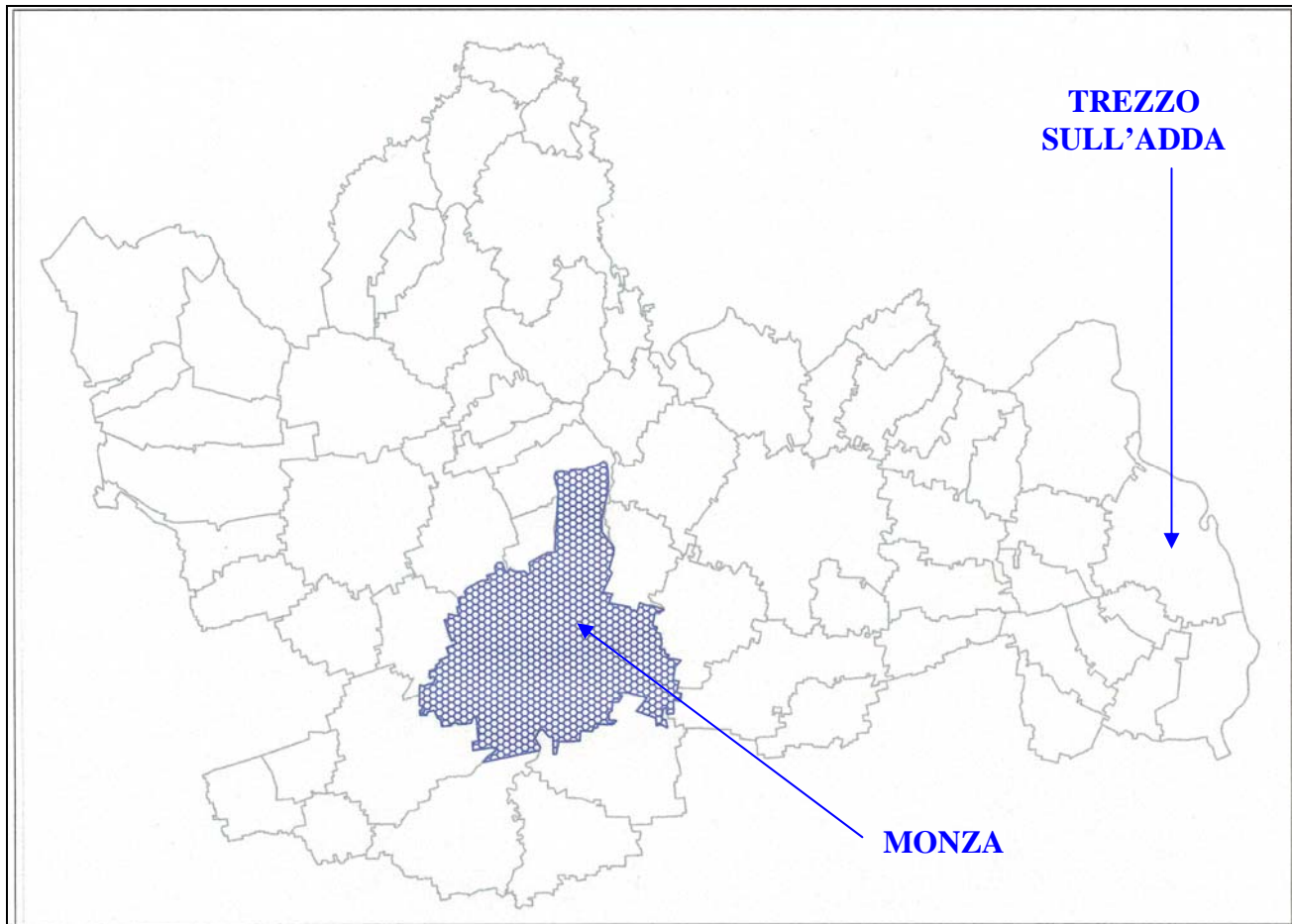
Particolato Fine PM10	Valore Obiettivo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Periodo di mediazione	Legislazione
Valore limite protezione salute umana (da non superare più di 35 volte per anno civile)	50	24 h	D.M. 2/4/02
Valore limite protezione salute umana	40	Anno civile	D.M. 2/4/02

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

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

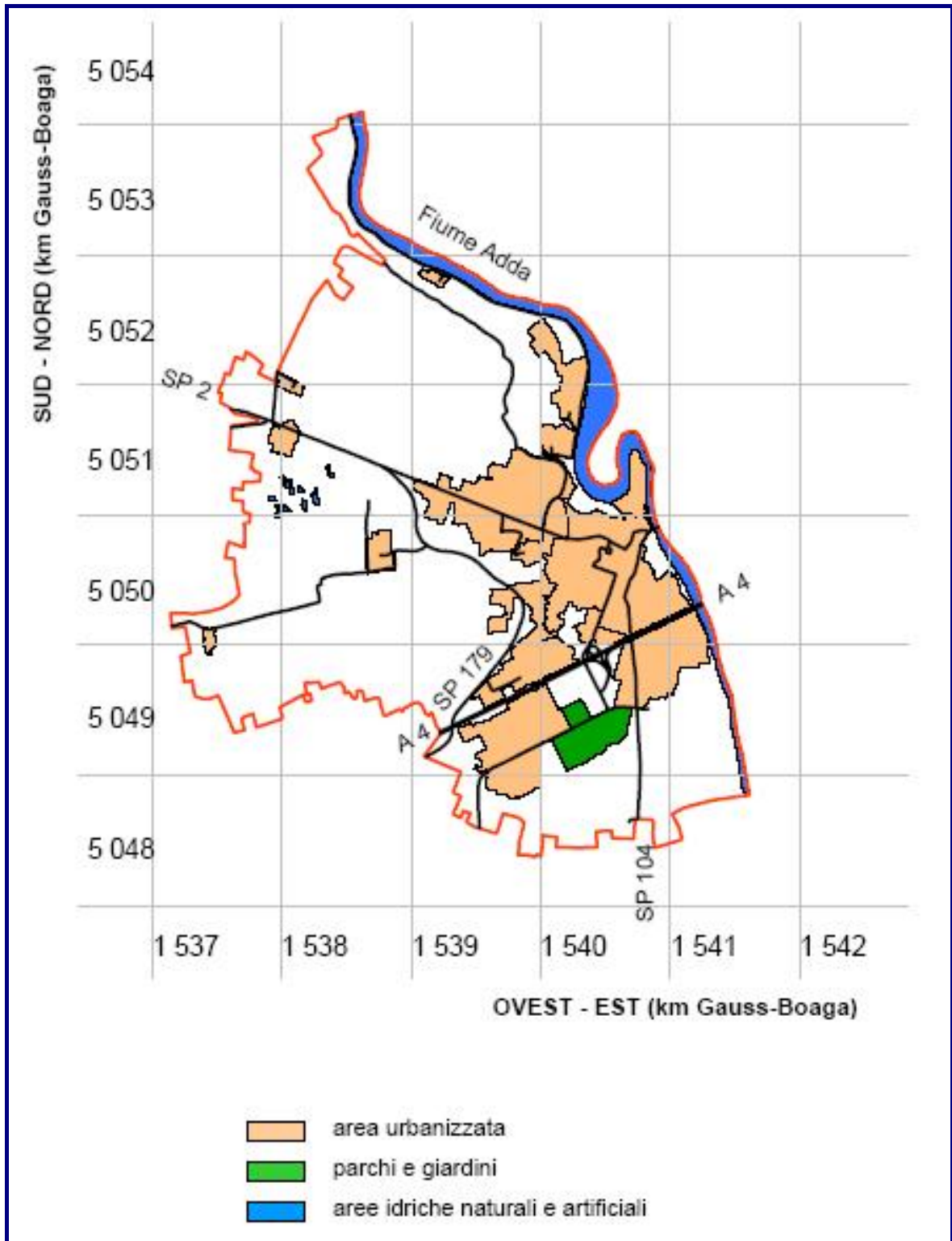
** Da adottarsi soltanto nelle zone e nei periodi dell'anno nei quali si siano verificati superamenti significativi dello standard dell'aria per l'ozono*

Sito di Misura



Periodo di misura	16 marzo – 14 aprile 2006
Sito di misura:	Via Grassi c/o Autostrada A4 Milano - Venezia
Assi stradali provinciali:	S.P. 2 Monza - Trezzo S.P. 104 Truccazzano – Trezzo d'Adda S.P. 179 Villa Fornaci – Trezzo
Assi stradali comunali	Via Brasca – Viale V. Veneto – Via Gramsci – Via Sala Via Cavour Via dei Mille – Via Marconi V.le Lombardia
Autostrade e tangenziali:	A4 Milano – Venezia

MAPPA DEL TERRITORIO CITTADINO



Principali sorgenti emissive

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

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

- Combustione non industriale
- Combustione nell'industria
- Processi produttivi
- Estrazione e distribuzione combustibili
- Uso di solventi
- Trasporto su strada
- Altre sorgenti mobili e macchinari
- 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 non metanici (NMCOV)
- Metano (CH₄)
- Monossido di carbonio (CO)
- Biossido di carbonio (CO₂)
- Ammoniaca (NH₃)
- Protossido di azoto (N₂O)
- Polveri totali sospese (PTS) o polveri con diametro inferiore ai 10 µm (PM10)

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

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

Come è possibile osservare in allegato 1 la principale fonte di inquinamento è dovuta al traffico veicolare.

Data infatti l'alta densità abitativa e il passaggio di assi viari intercomunali ed autostradali trafficati, i carichi emissivi di PM10, NO_x e CO risultano significativi in tutto il territorio comunale, incidendo rispettivamente per il 74%, 69% e l'87% del totale.

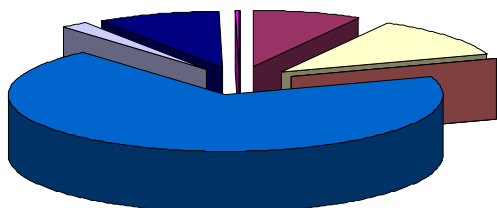
La combustione nell'industria non incide in modo preponderante sulla qualità dell'aria, contribuendo con l' 11% all'emissione in atmosfera di PM10 (3.22 t/anno) ed NO_x (34.60 t/anno) e con l'1% all'emissione di CO (5.54 t/anno).

Si riportano in tabelle (valori assoluti) e grafici (valori percentuali) le stime relative ai principali inquinanti emessi dai diversi tipi di sorgente all'interno del comune di Trezzo sull'Adda. Per un confronto si riportano anche le stime riferite all'intera Provincia di Milano.

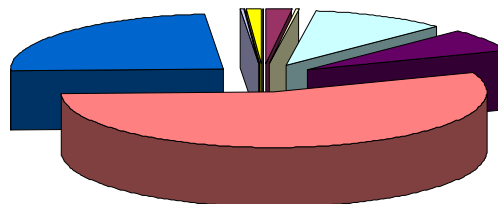
Allegato 1

'CODICE MACROSETTORE'	' DESCRIZIONE MACROSETTORE'	NO _x	COV	CO	PM10
1	Combustione non industriale	23.99	5.71	54.88	1.49
2	Combustione nell'industria	34.60	0.87	5.54	3.22
3	Processi produttivi	0.00	29.93	0.00	0.10
4	Estrazione e distribuzione combustibili	0.00	20.03	0.00	0.00
5	Uso di solventi	0.00	162.31	0.00	0.00
6	Trasporto su strada	202.57	71.26	461.13	20.58
7	Altre sorgenti mobili e macchinari	5.90	0.98	2.52	0.73
8	Trattamento e smaltimento rifiuti	27.35	0.26	2.29	1.11
9	Agricoltura	0.70	0.04	0.00	0.08
10	Altre sorgenti e assorbimenti	0.00	2.95	1.05	0.62
		295.1109	294.3228	527.4158	27.91748
	Combustione non industriale	8.1%	1.9%	10.4%	5.3%
	Combustione nell'industria	11.7%	0.3%	1.0%	11.5%
	Processi produttivi	0.0%	10.2%	0.0%	0.4%
	Estrazione e distribuzione combustibili	0.0%	6.8%	0.0%	0.0%
	Uso di solventi	0.0%	55.1%	0.0%	0.0%
	Trasporto su strada	68.6%	24.2%	87.4%	73.7%
	Altre sorgenti mobili e macchinari	2.0%	0.3%	0.5%	2.6%
	Trattamento e smaltimento rifiuti	9.3%	0.1%	0.4%	4.0%
	Agricoltura	0.2%	0.0%	0.0%	0.3%
	Altre sorgenti e assorbimenti	0.0%	1.0%	0.2%	2.2%

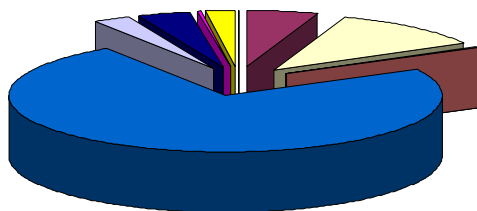
Ossidi di Azoto (NO_x)



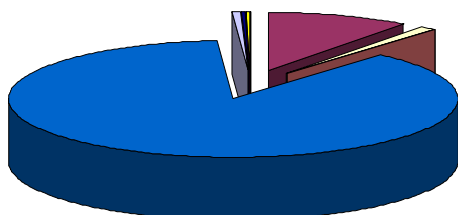
Composti Organici Volatili (COV)



PM10



Monossido di Carbonio (CO)



- Produzione energia e trasform. combustibili
- Combustione non industriale
- Combustione nell'industria
- Processi produttivi
- Estrazione e distribuzione combustibili
- Uso di solventi
- Trasporto su strada
- Altre sorgenti mobili e macchinari
- Trattamento e smaltimento rifiuti
- Agricoltura
- Altre sorgenti e assorbimenti

Comune di Trezzo sull'Adda

DESCRIZIONE MACROSETTORE	NO _x t/anno	COV t/anno	CO t/anno	PM ₁₀ t/anno
Combustioni per produzione energia e trasformazione dei combustibili	-	-	-	-
Combustione non industriale	24.0	5.7	54.9	1.5
Combustione nell'industria	34.6	0.9	5.5	3.2
Processi produttivi	-	29.9	-	-
Estrazione e distribuzione di combustibili fossili / Geotermia	-	20.0	-	-
Uso di solventi	-	162.3	-	-
Trasporto su strada	202.6	71.3	461.1	20.6
Altre sorgenti mobili e macchinari	5.9	1.0	2.5	0.7
Trattamento e smaltimento rifiuti	27.4	-	2.3	1.1
Agricoltura	0.7	-	-	-
Altre sorgenti e assorbimenti	-	3.0	1.0	0.6

Provincia di Milano

DESCRIZIONE MACROSETTORE	NO _x t/anno	COV t/anno	CO t/anno	PM ₁₀ t/anno
Combustioni per produzione energia e trasformazione dei combustibili	5317	210	1776	58
Combustione non industriale	6484	1716	17195	532
Combustione nell'industria	7681	1240	5273	453
Processi produttivi	60	8228	257	66
Estrazione e distribuzione di combustibili fossili / Geotermia	-	4463	-	-
Uso di solventi	0.1	65555	1	242
Trasporto su strada	26272	18955	124900	3507
Altre sorgenti mobili e macchinari	1572	527	1209	147
Trattamento e smaltimento rifiuti	823	13	59	28.5
Agricoltura	210	168	3312	293
Altre sorgenti e assorbimenti	6	635	517	207

Fattori meteorologici

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

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

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

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

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

Andamento stagionale e caratteristiche dello strato rimescolato

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

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

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

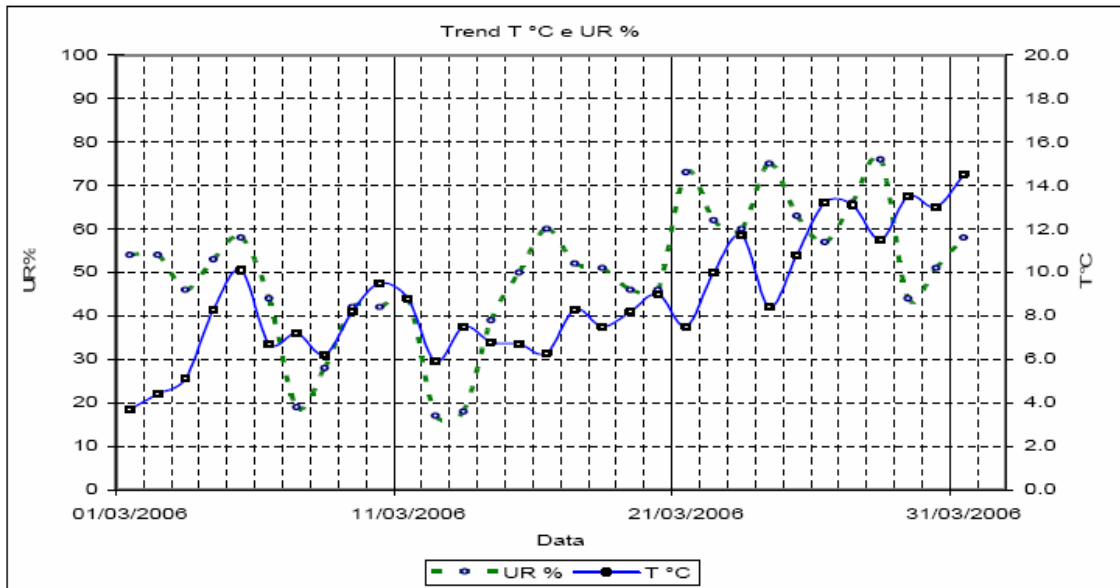
Tale altezza agisce come parete mobile di un contenitore: in corrispondenza di basse altezze del mixing layer, polveri ed altri inquinanti hanno così a disposizione un volume più piccolo per la loro dispersione e ciò favorisce di conseguenza un aumento della loro concentrazione.

Situazione meteorologica nel periodo di misura

Si riportano di seguito i dati salienti della situazione meteorologiche del periodo di misura.

La seconda decade del mese di **Marzo** è stata caratterizzata da una situazione meteorologica relativamente fredda, ma pressoché asciutta, con giornate serene caratterizzate da debole

ventilazione, con l'eccezione di un fenomeno di foehn il giorno 12.

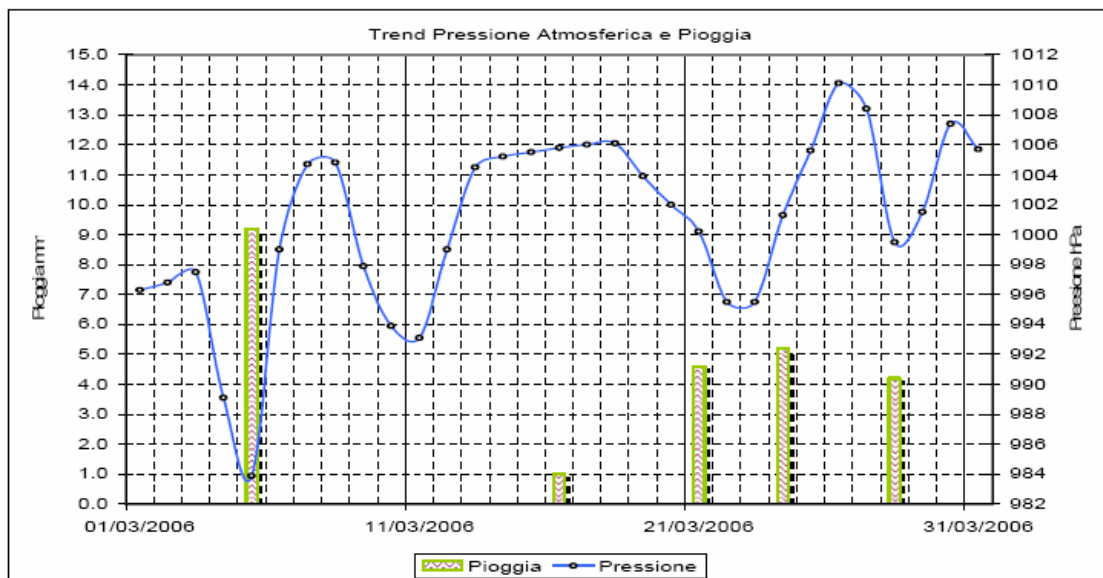


La terza decade invece ha mostrato un andamento molto variabile, con forti escursioni termiche diurne, poche giornate di sole, deboli piogge e temperature crescenti che, alla fine del mese hanno superato i 20 °C come valore massimo orario.

Nel complesso la media della temperatura, 8,8 °C, è stata di 1,0 °C inferiore al valore di 9,8 °C della media degli ultimi 40 anni, mentre la precipitazione, 24 mm, è stata molto scarsa rispetto ai 70 mm della media storica.

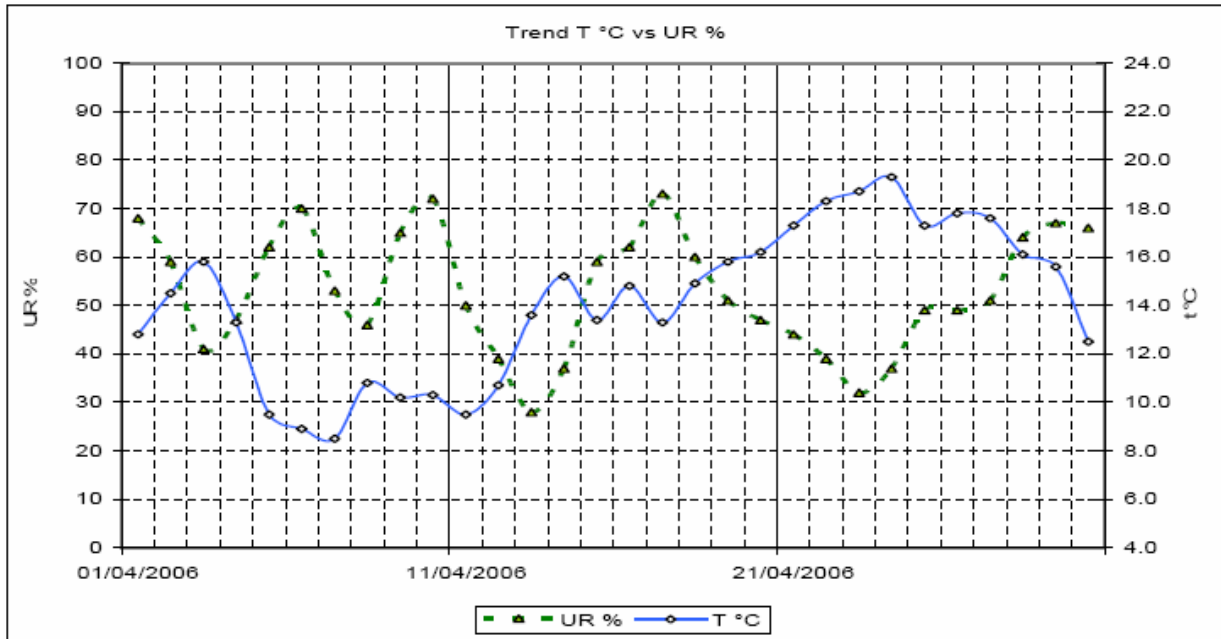
I fenomeni di tempo perturbato e le fasi di bel tempo sono stati la conseguenza di un andamento barico molto oscillante, con alternanza di saccature e di promontori che hanno favorito alternativamente la dispersione o l'accumulo degli inquinanti aerodispersi.

Nel complesso il valore medio della pressione è risultato inferiore di quasi 4 hPa rispetto al valore medio dell'ultimo decennio.



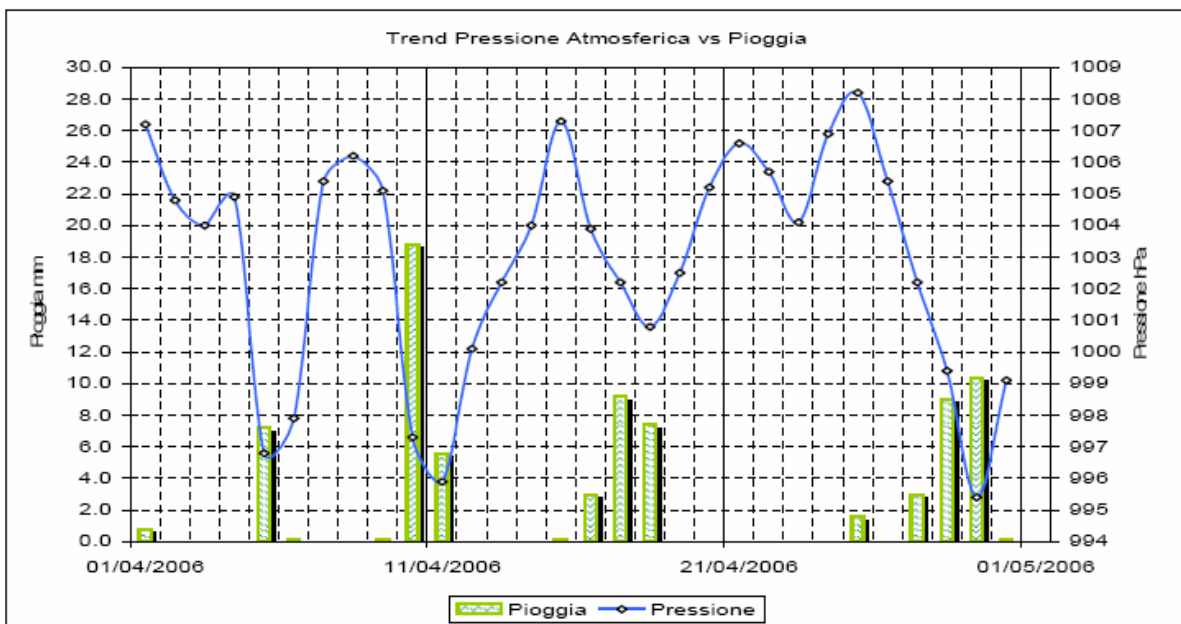
Il mese di **Aprile** di quest'anno, dopo i primi giorni miti e soleggiati, ha successivamente subito delle brusche diminuzioni, a causa di afflussi di aria fredda da est, che hanno abbassato la temperatura.

Nel complesso la *temperatura media del mese* (14.1 °C) è risultata superiore di 0.8 °C a quella degli archivi storici (13.3 °C dal 1956 ad oggi).



La pioggia è stata frequente, anche se non abbondante, concentrata tra la prima e la seconda decade e, con un totale di 77 mm è risultata inferiore alla media di 91 mm dell'ultimo cinquantennio. La precipitazione con frequenti fenomeni temporaleschi, si è distribuita in 15 eventi, dei quali solo 7 superiori ai 5 mm, tra cui quelli verificatisi nei giorni 10 ed 11.

L'origine di queste precipitazioni è stato il passaggio di sistemi frontali di origine polare e di conseguenza l'instaurarsi di un'intensa instabilità atmosferica.



Il mese di Aprile è stato caratterizzato da *fenomeni di forte vento*, sia in seguito a burrasche da est, come nel giorno 6, sia in seguito ad episodi di foehn, come quelli dei giorno 3 ed 11, con velocità medie giornaliere del vento a Juvara rispettivamente di 2.5 e di 2.7 m/s e punte massime orarie di 6.2 e di 5.2 m/s, tuttavia nel corso del mese l'attività anemologica non è risultata particolarmente elevata, ed a Juvara la media mensile è stata di 1.5 m/s, di poco inferiore alla media di 1.7 m/s rilevata negli ultimi 19 anni.

A causa della prevalenza dei periodi caldi e asciutti, rispetto a quelli con precipitazione, *l'umidità relativa* con il 53% è risultata inferiore al valore normale di 67%.

Poiché le giornate soleggiate sono state molte, mentre sono state scarse le giornate con cielo coperto, *l'insolazione* è stata di 185 W/m², e quindi superiore alla media di 178 W/m² degli ultimi 26 anni.

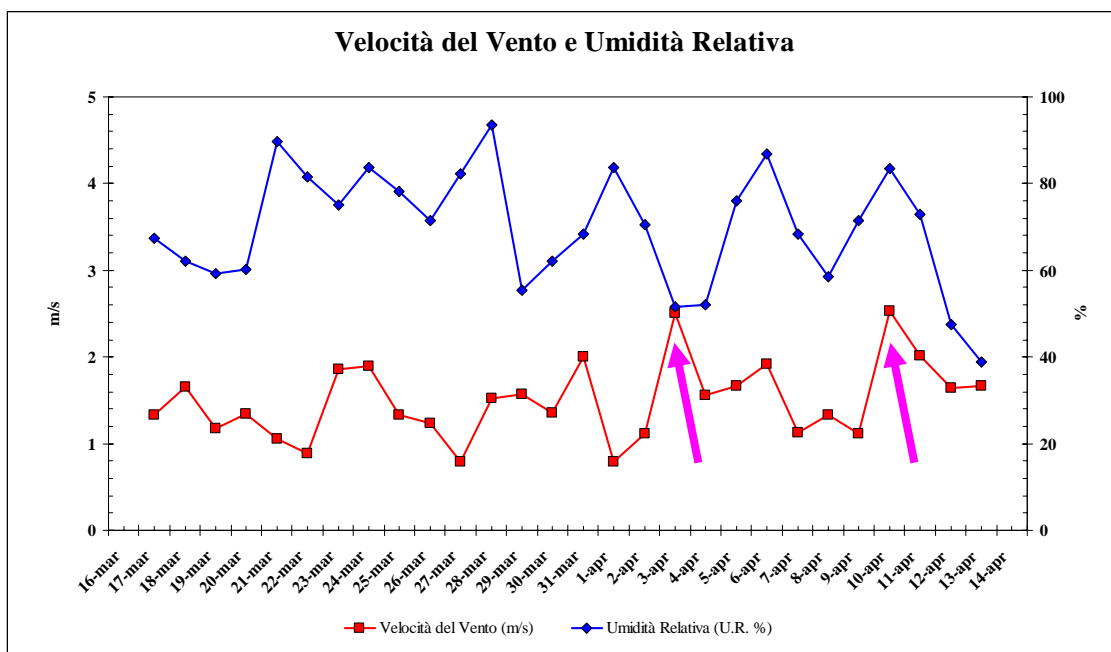
Per un maggiore approfondimento si riportano in appendice I le previsioni meteorologiche settimanali estratte dal servizio meteo di ARPA Lombardia.

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.

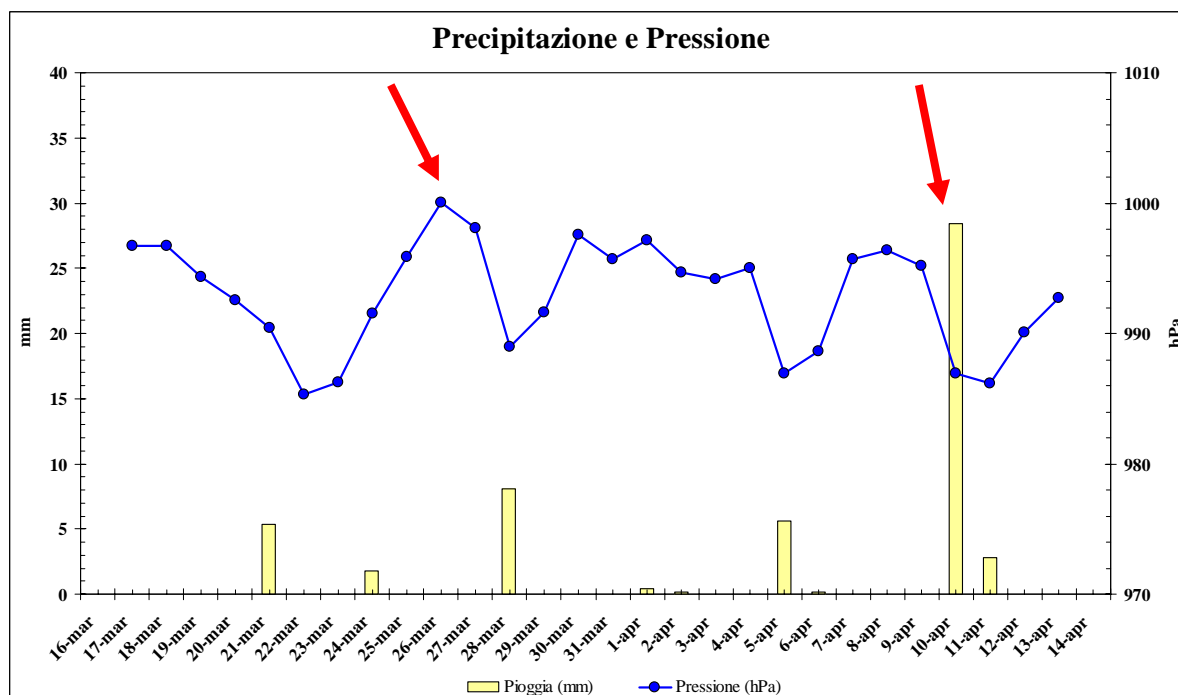
L'andamento anemologico registrato dalla stazione meteo del Laboratorio Mobile, mostra come la direzione del vento abbia interessato principalmente la zona E-NE del territorio della provincia di Bergamo e le zone W-SW e S-SW del territorio della provincia di Milano (fig. 2).

Gli episodi anemologici più intensi si sono verificati lunedì 3 e 10 Aprile a causa di un fenomeno di foehn che ha interessato la regione facendo registrare una media giornaliera di 2.5 m/s ed una massima oraria di 6.5 m/s (NW) e 3.7 m/s (S) rispettivamente; un altro evento di rilievo, interessato anch'esso da un fenomeno di foehn, si è avuto martedì 11 Aprile dove è stata registrata una media giornaliera di 2.0 m/s ed una massima oraria di 4.2 m/s alle 01.00 del mattino.

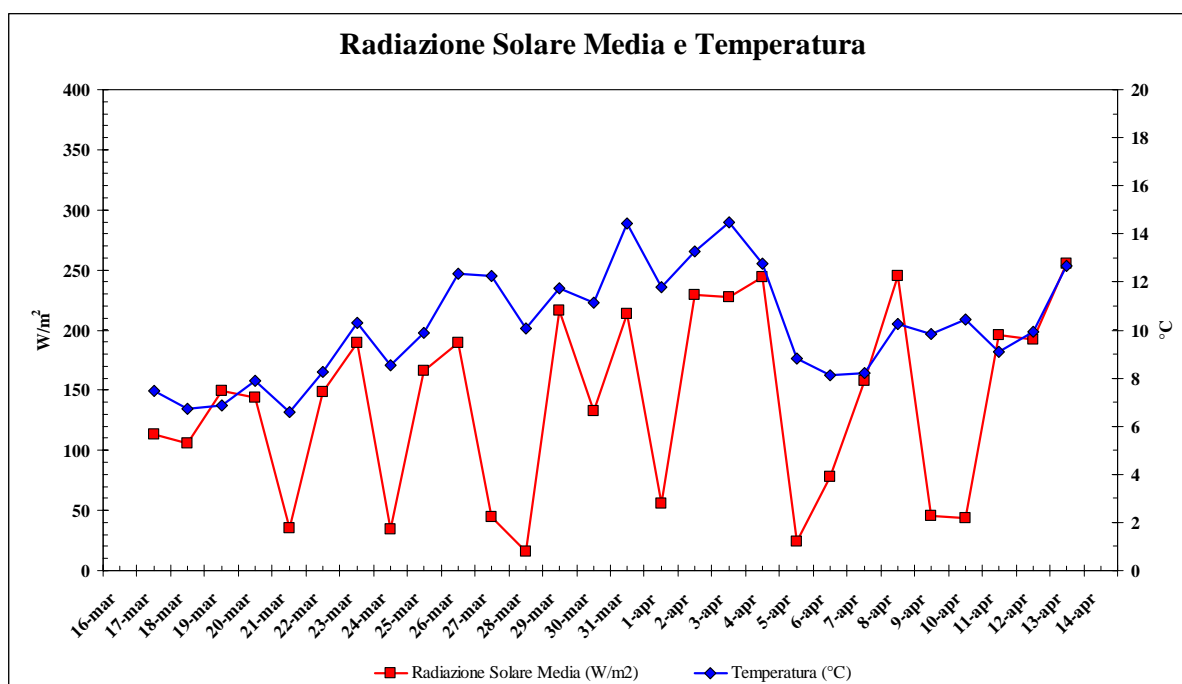


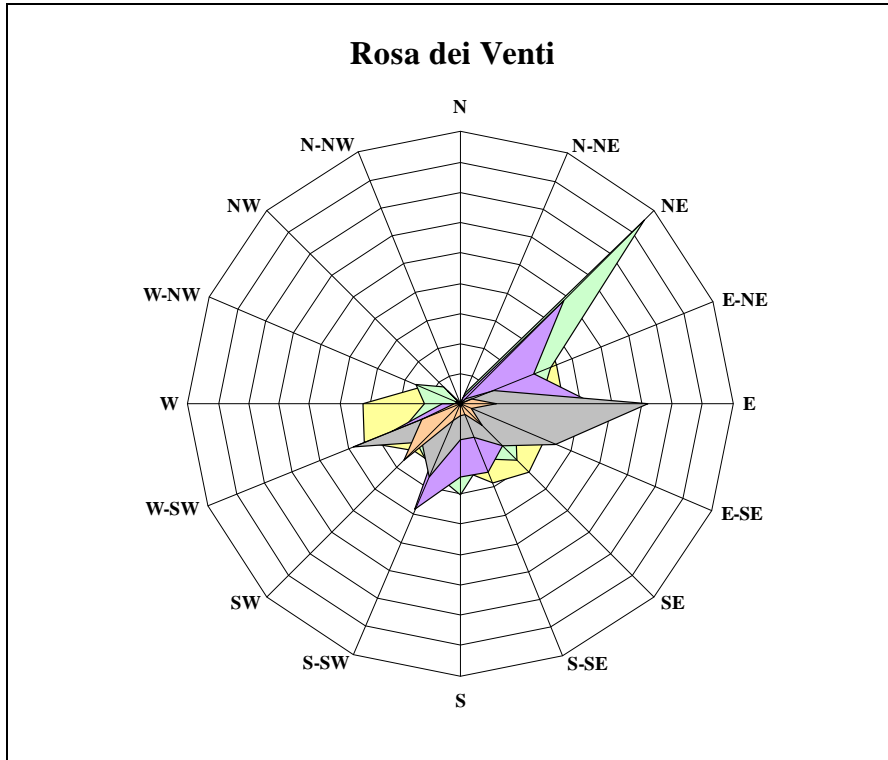
Per quanto riguarda le precipitazioni sono stati registrati 9 giorni piovosi su 30 giorni di campagna. I fenomeni di maggiore intensità si sono verificati lunedì 10 Aprile con quasi 29 mm di pioggia caduti durante la giornata, di cui 11 mm caduti in solo un'ora, martedì 21 marzo e mercoledì 5 aprile con quasi 6 mm di pioggia.

L'andamento barico ha fatto registrare nel periodo di misura un valore medio di 993 hPa, un valore massimo di circa 1000 hPa domenica 26 Marzo ed un minimo di 985.4 hPa mercoledì 22 Marzo.



La temperatura media del periodo è stata di 10 °C con un massimo di 14.5 °C lunedì 3 Aprile ed un minimo di 6.6 °C martedì 21 Marzo.





	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	2	1	0	0
NE	19	43	24	1	0
E-NE	17	16	13	6	2
E	17	13	22	31	6
E-SE	15	10	10	17	2
SE	16	13	10	10	5
S-SE	14	10	12	6	2
S	11	15	12	6	2
S-SW	11	12	19	13	3
SW	11	10	3	9	13
W-SW	17	10	12	19	7
W	16	6	3	0	1
W-NW	7	8	0	1	0
NW	3	4	1	0	3
N-NW	0	0	0	0	0

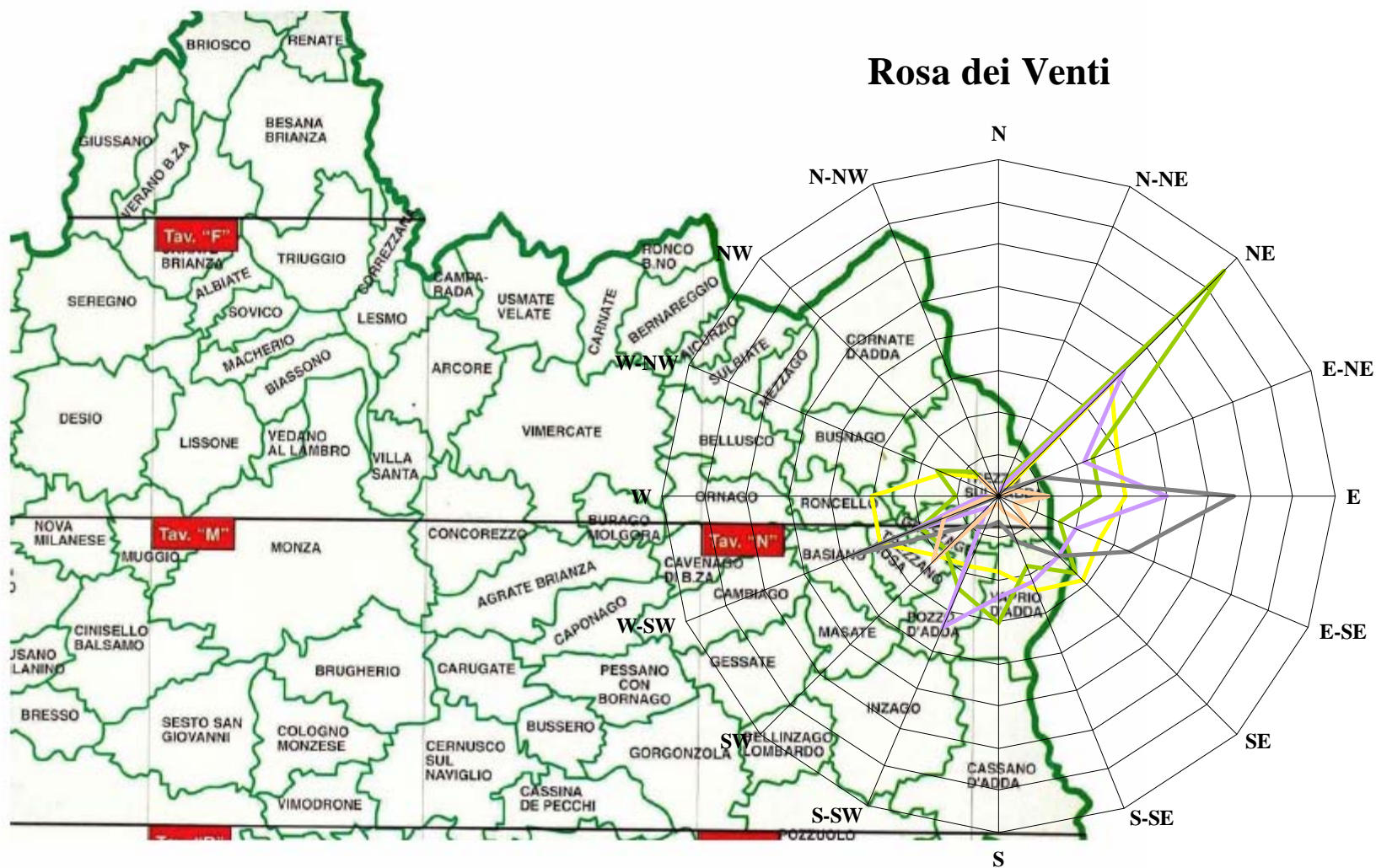
VV = Velocità del Vento (m/s)

Numero totale di casi 691
 Percentuale di casi di calma 5%

Sito di misura:
 Periodo di misura:

Comune di Trezzo sull'Adda - Via Grassi
 Dal 16.03.2006 al 14.04.2006

Figura 2



Inquinanti atmosferici monitorati con laboratorio mobile

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

Gli **ossidi di azoto (NO e NO₂)** vengono emessi direttamente in atmosfera a seguito di tutti processi di combustione ad alta temperatura (impianti di riscaldamento, motori dei veicoli, combustioni industriali, centrali di potenza, ecc.), per ossidazione dell'azoto atmosferico e, solo in piccola parte, per l'ossidazione dei composti dell'azoto contenuti nei combustibili utilizzati.

Nel caso del traffico autoveicolare, le quantità più elevate di questi inquinanti si rilevano quando i veicoli sono a regime di marcia sostenuta e in fase di accelerazione, poiché la produzione di NO_x aumenta all'aumentare del rapporto aria/combustibile, cioè quando è maggiore la disponibilità di ossigeno per la combustione.

Al momento dell'emissione gran parte degli ossidi di azoto è in forma di NO, con un rapporto NO/NO₂ decisamente a favore del primo. Si stima che il contenuto di NO₂ nelle emissioni sia tra il 5 e il 10% del totale degli ossidi di azoto.

Il monossido di azoto non è soggetto a normativa, in quanto, alle concentrazioni tipiche misurate in aria ambiente, non provoca effetti dannosi sulla salute e sull'ambiente. Se ne misurano comunque i livelli in quanto, attraverso la sua ossidazione in NO₂ e la sua partecipazione ad altri processi fotochimici, contribuisce alla produzione di O₃ troposferico.

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

L'**ozono (O₃)** è un inquinante secondario, che non ha sorgenti emissive dirette di rilievo. La sua formazione avviene in seguito a reazioni chimiche in atmosfera tra i suoi precursori (soprattutto ossidi di azoto e composti organici volatili), reazioni che avvengono in presenza di alte temperature e forte irraggiamento solare e che causano la formazione di un insieme di diversi composti, tra i quali, oltre all'ozono, si trovano nitrati e solfati (costituenti del particolato fine), perossiacetilnitrato (PAN), acido nitrico e altro ancora, che nell'insieme costituiscono il tipico inquinamento estivo detto smog fotochimica. A differenza degli inquinati primari, le cui concentrazioni dipendono direttamente dalle quantità emesse delle sorgenti presenti nell'area, la formazione di ozono è quindi più complessa. Le concentrazioni di ozono raggiungono i valori più elevati nelle ore pomeridiane delle giornate estive soleggiate. Inoltre, dato che l'ozono si forma durante il trasporto delle masse d'aria contenenti i suoi precursori, emessi soprattutto nelle aree urbane, le concentrazioni più alte si osservano soprattutto nelle zone extraurbane sottovo rispetto ai centri urbani principali.

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

L'ossigeno atomico O^* , reagisce rapidamente con l'ossigeno molecolare dell'aria, in presenza di una terza molecola che non entra nella relazione vera e propria ma assorbe l'eccesso di energia vibrazionale e pertanto stabilizza la molecola di ozono che si è formata: $O^* + O_2 + M \rightarrow O_3 + M$

Una volta generato l'ozono reagisce con l'NO e rigenera NO_2 : $NO + O_3 \rightarrow NO_2 + O_2$

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

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

Gli **Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA)**¹ sono comuni inquinanti dell'atmosfera di origine antropica e derivano dai processi di combustione incompleta di materiale organico. In ambiente urbano le elevate concentrazioni di IPA in atmosfera sono principalmente legate al traffico autoveicolare (in ambiente urbano ~ 80%) ed agli impianti di riscaldamento alimentati con combustibili liquidi e solidi laddove non è diffusa in modo capillare la metanizzazione. In particolare la loro presenza nei gas di scarico degli autoveicoli, alimentati sia a gasolio che a benzina, è dovuta in parte, alla quantità di IPA già presente nel carburante, in parte alla loro formazione durante la combustione per piro-sintesi fra radicali derivanti dai componenti paraffinici e composti aromatici. Diversi studi hanno messo in evidenza fattori di emissione crescenti di IPA, per autoveicoli, all'aumentare del grado di usura del veicolo e del tenore di aromatici totali nel carburante.

Gli **idrocarburi policiclici aromatici nitrati (Nitro-IPA)** sono composti organici caratterizzati dalla presenza di uno o più gruppi nitro (NO_2) che sostituiscono gli idrogeni presenti nelle strutture degli idrocarburi policiclici aromatici. Le sorgenti atmosferiche dei Nitro-IPA sono le reazioni di combustione in presenza di ossidi di azoto e le reazioni radicaliche tra gli IPA e gli agenti nitranti prodotti durante i fenomeni di smog fotochimico. La presenza in atmosfera dei Nitro-IPA costituisce quindi un indice dei fenomeni di inquinamento fotochimico

Pur non appartenendo alla categoria degli inquinanti le cui concentrazioni in atmosfera o nelle emissioni sono regolamentate, tuttavia la loro presenza diffusa nell'ambiente e la relazione dimostrata con alcune sorgenti specifiche ha stimolato l'identificazione e quantificazione di N-IPA in atmosfera e nelle emissioni antropiche (in primis, il traffico autoveicolare). La loro concentrazione all'interno del particolato atmosferico è inferiore, rispetto a quello degli IPA, di un fattore 10.

I **Composti Organici Volatili (COV)** sono una classe di composti caratterizzati da un'alta tensione di vapore ($> 100 Pa$) che li rende volatili a temperatura ambiente. La principale sorgente di COV nei centri urbani è rappresentata dalle emissioni veicolari prodotte dai processi di combustione ed evaporazione dei carburanti e dalle attività antropogeniche.

Fanno parte di questa categoria di inquinanti le Aldeidi (composti organici volatici carbonilici) e i BTEX (composti organici volatici aromatici).

¹ Informazioni più dettagliate sono disponibile in Appendice I.

Le **Aldeidi**² sono composti organici volatici carbonilici, contenenti il gruppo caratteristico *CHO* (gruppo aldeidico), il cui nome deriva da *a*(col) *deid* (rogenato). La denominazione delle diverse aldeidi deriva dall'acido corrispondente: esempio acido acetico-aldeide acetica.

I composti carbonilici, che hanno un ruolo importante nelle reazioni chimiche che avvengono nella troposfera, contribuiscono allo smog fotochimico urbano, essendo sorgenti significative di radicali liberi nell'atmosfera e agiscono come precursori nella formazione dell'ozono, del perossiacetilnitrato, dell'acido nitrico e degli aerosol organici attraverso perossiradicali generati dalla fotolisi o dal coinvolgimento dei radicali ossidrilici.

Le loro sorgenti principali sono rappresentate dalle emissioni dei motori dei veicoli, dalle reazioni fotochimiche e dai processi industriali.

C'è inoltre l'evidenza che l'aggiunta di additivi ossigenati alle benzine porterà ad un graduale aumento delle concentrazioni di questi composti (per immissione diretta o per reazione secondaria) con un conseguente incremento della reattività fotochimica.

Come tracciante delle aldeidi viene individuata la formaldeide in relazione sia alle caratteristiche tossicologiche specifiche.

La letteratura descrive la formaldeide come una delle sostanze inquinanti più diffuse e nel contempo più tossiche, che in generale può provenire da schiume isolanti, carta e tessuti d'arredo, mobili in legno compensato e truciolare, colle, vernici, fumo di tabacco, combustioni incomplete; anche il traffico veicolare è fonte di immissione di queste molecole.

La normativa vigente non prevede limiti in ambiente esterno, la formaldeide rappresenta comunque uno dei problemi emergenti nel campo della tutela della qualità dell'aria, anche in relazione alle sue caratteristiche tossicologiche e a limiti proposti a livello internazionale quali ad esempio un limite ponderato nel tempo di circa 20 µg/m³ previsto dal NIOSH - National Institute for Occupational Safety and Health (USA) - in relazione alla cancerogenicità di questa molecola.

I **BTEX**³ appartengono alla classe dei COV aromatici.

Tra i COV monitorati il benzene è l'unico composto del quale sono stati fissati gli standard di qualità dell'aria a livello normativo. Il limite massimo di accettabilità della concentrazione del benzene nell'aria esterna è attualmente fissata in 10 µg/m³ dal DM 25 novembre 1994, in vigore dal 1 gennaio 1999.

² Informazioni più dettagliate sono disponibili in Appendice II.

³ Informazioni più dettagliate sono disponibili in Appendice III.

Andamento inquinanti nel periodo di misura

Esaminando gli indicatori proposti dalla normativa, appare subito evidente che la scala temporale adeguata per una valutazione della qualità dell'aria è generalmente quella annuale. Una campagna di misura condotta per un periodo più breve può essere utile in un'ottica di approccio preliminare alla caratterizzazione dei livelli di immissione nel luogo soggetto all'indagine, in rapporto alle informazioni provenienti dal resto della Rete di Rilevamento della Qualità dell'Aria.

Gli inquinanti considerati nello studio sono quelli usualmente monitorati nelle aree urbane: monossido di carbonio (CO), ossidi di azoto (NO, NO₂), ozono (O₃) e polveri sottili (PM₁₀). Sono stati inoltre rilevati campioni di Ipa Aldeidi e BteX.

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, gli IPA i BTEX e le Aldeidi invece 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 5 - 6), 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**.

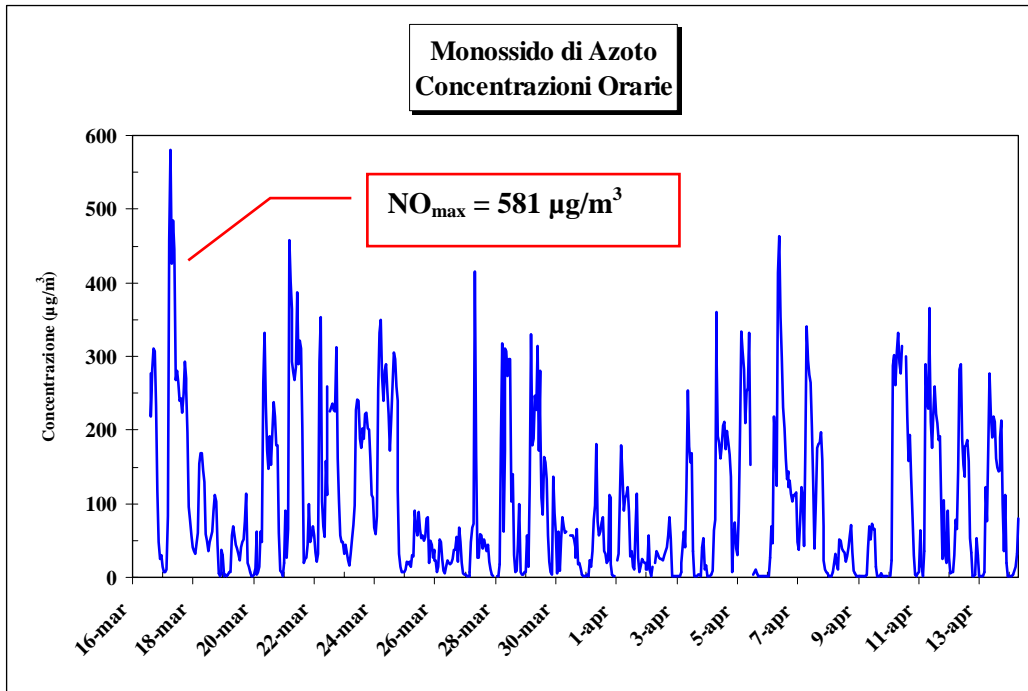
Analizzando la situazione meteorologica nel periodo di misura si osserva come la presenza di una situazione anemologica vivace interessata da episodi di foehn, unitamente alla presenza di precipitazioni abbia permesso uno sblocco atmosferico che aveva interessato la Regione per tutto il periodo invernale, favorendo fenomeni di dispersione degli inquinanti.

Nei paragrafi seguenti vengono riportati i risultati dell'analisi degli andamenti temporali degli inquinanti ricavati da un mese di osservazioni presso la postazione di via Grassi⁴.

NO

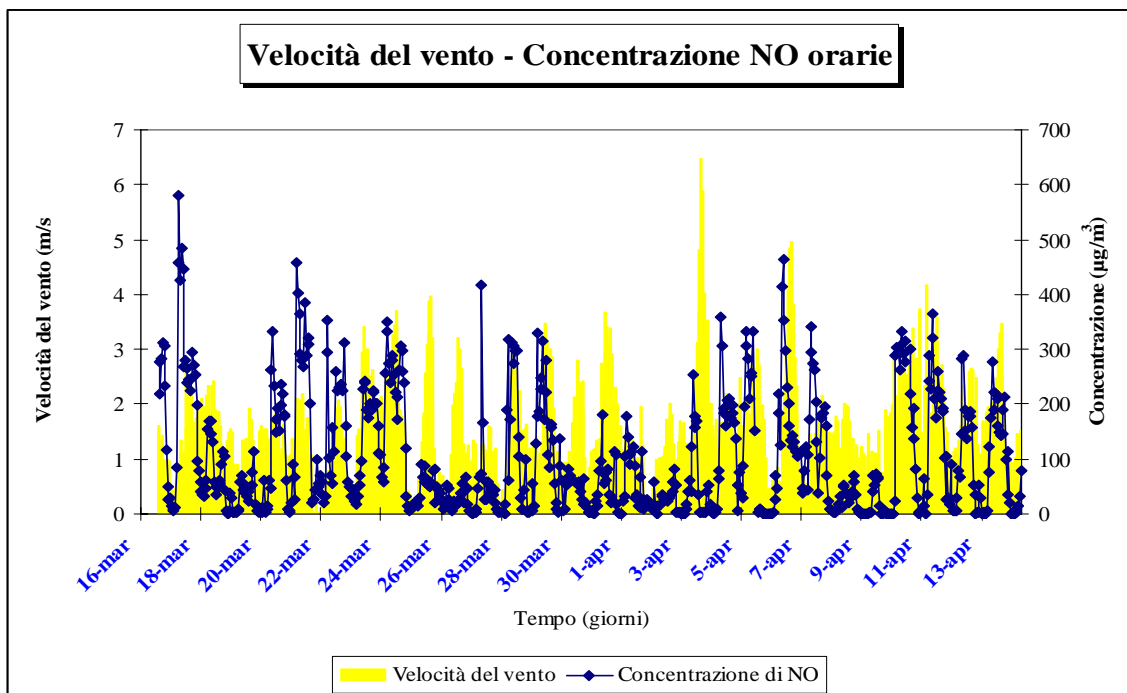
Le autostrade, con veicoli in regime di marcia sostenuta e in fase di accelerazione, tendono a favorire l'accumulo di ossidi di azoto poiché la produzione di NO_x aumenta all'aumentare del rapporto aria/combustibile, cioè quando è maggiore la disponibilità di ossigeno per la combustione.

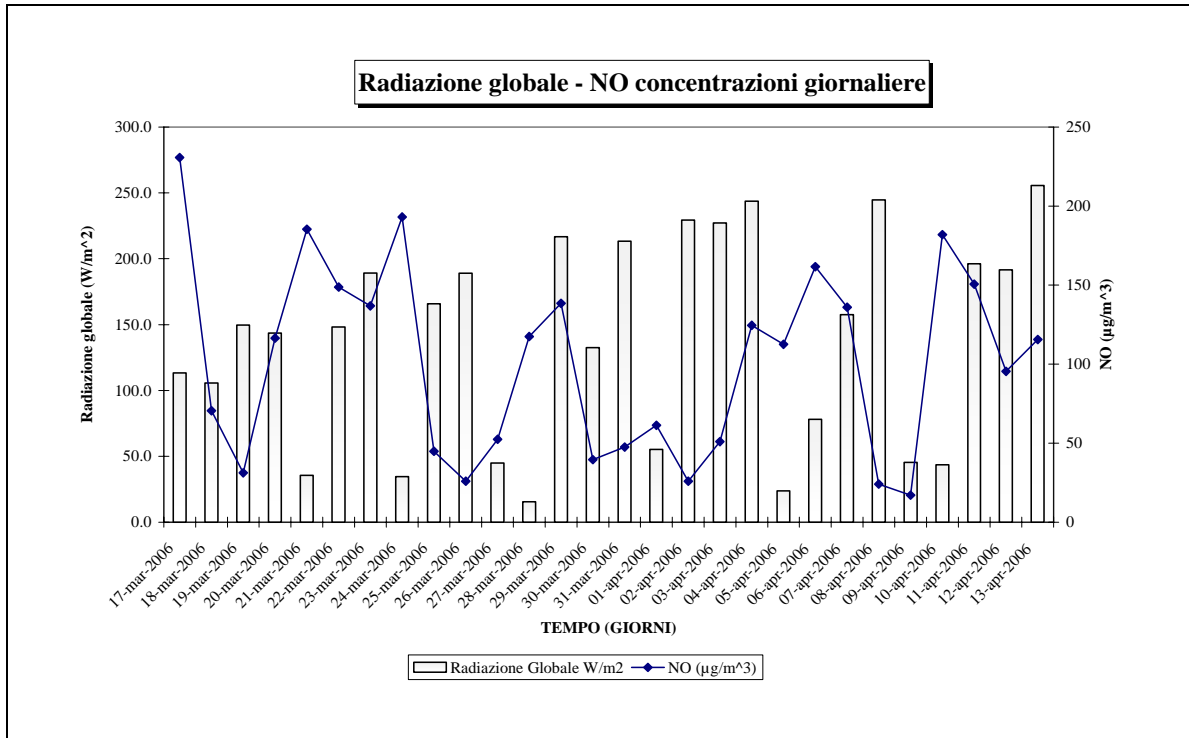
⁴ L'ora a cui sono associati i dati si riferisce all'ora solare



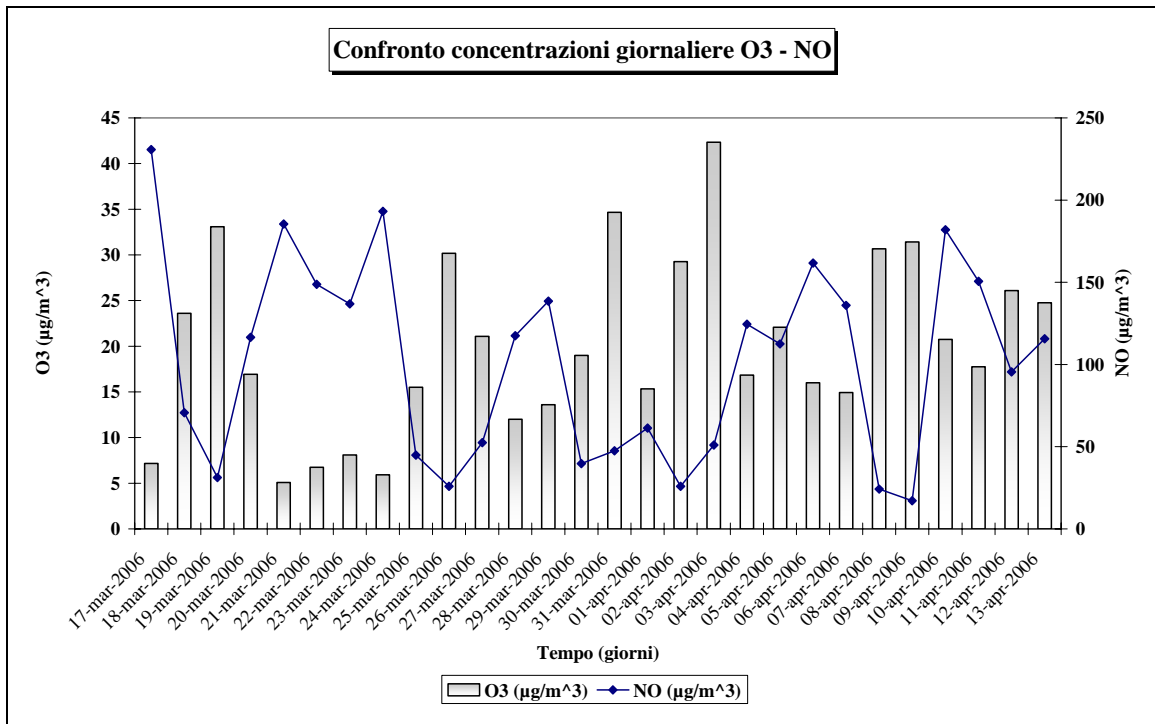
Relativamente al **monossido di azoto** i valori delle concentrazioni orarie hanno fatto registrare nel periodo di misura un valore medio di $102 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ed un valore massimo di concentrazione oraria pari a $581 \mu\text{g}/\text{m}^3$ venerdì 17 marzo alle 07.00 del mattino. Tale valore è dovuto esclusivamente ad una situazione di tipo locale, attribuibile ai volumi di traffico transanti sull'autostrada posta a ridosso del sito di misura.

Dal confronto tra monossido di azoto e velocità del vento è possibile osservare come valori minimi di concentrazione di NO si trovino in corrispondenza di picchi di vento.





Osservando il grafico di confronto della radiazione globale con le concentrazioni di NO si può vedere come a picchi di radiazione corrispondano minimi di concentrazione di NO, in linea con le caratteristiche chimico-fisiche di questo inquinante.



L'NO infatti tende a reagire con l'ozono per formare l'NO₂. Essendo però l'ozono un inquinante fotochimico affinché possa avvenire la sua formazione è necessario che vi siano alte temperature e forte irraggiamento solare. Pertanto, come confermato dal grafico di confronto dell'NO con l'ozono, la presenza di minimi di concentrazione di ossidi di azoto in corrispondenza di

picchi di radiazione indica che è avvenuta reazione tra questi ultimi e l'ozono.

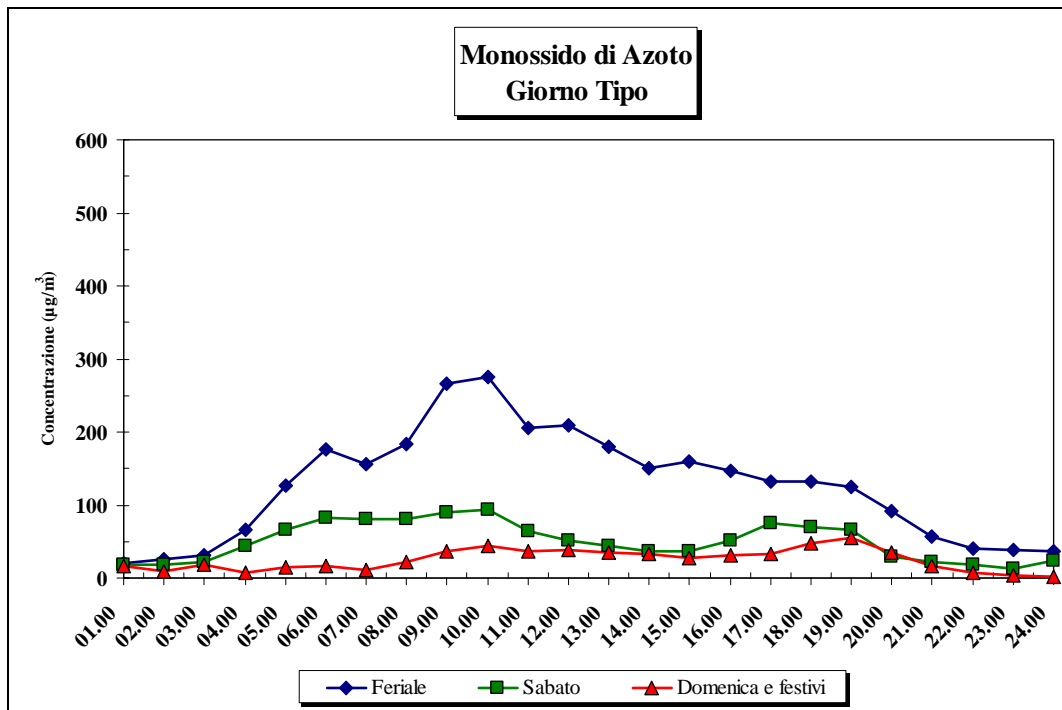
Poiché l'NO è riconosciuto essere un tracciante del traffico veicolare è stato possibile desumere le fasce orarie di maggior traffico dal *grafico del giorno tipo*. Si osserva come nei giorni feriali, il traffico sia distribuito su tutta la giornata a partire dalle 03.00 del mattino fino alle 21.00, con un aumento delle concentrazioni nella mattina tra le ore 6.00 e le ore 10.00, mentre si osserva un graduale calo a partire dalle 20.00 fino alle 03.00 del mattino.

I grafici dei giorni pre-festivi e festivi presentano valori mediamente più bassi, in linea con la diminuzione del traffico durante il week-end, in particolare di quello pesante.

L'andamento pre-festivo è analogo a quello relativo ai giorni feriali nella prima parte della giornata, con picchi di concentrazione tra le ore 06.00 e le ore 10.00 mentre nella seconda parte della giornata le concentrazioni maggiori si registrano tra le ore 17.00 e le ore 19.00.

Nel giorno tipo festivo le concentrazioni più alte risultano posticipate di circa 2 ore rispetto al giorno feriale e si registrano tra le 09.00 e le 12.00 e tra le 19.00 e le 21.00.

La presenza dell'autostrada fa sì che gli andamenti temporali di questo inquinante siano diversi rispetto a quelli registrati dalle centraline della rete di rilevamento provinciale prese a riferimento. In generale i valori riscontrati con laboratorio mobile si sono mantenuti sempre al di sopra dei valori misurati dalla rete di rilevamento provinciale, presentando andamenti discordanti.

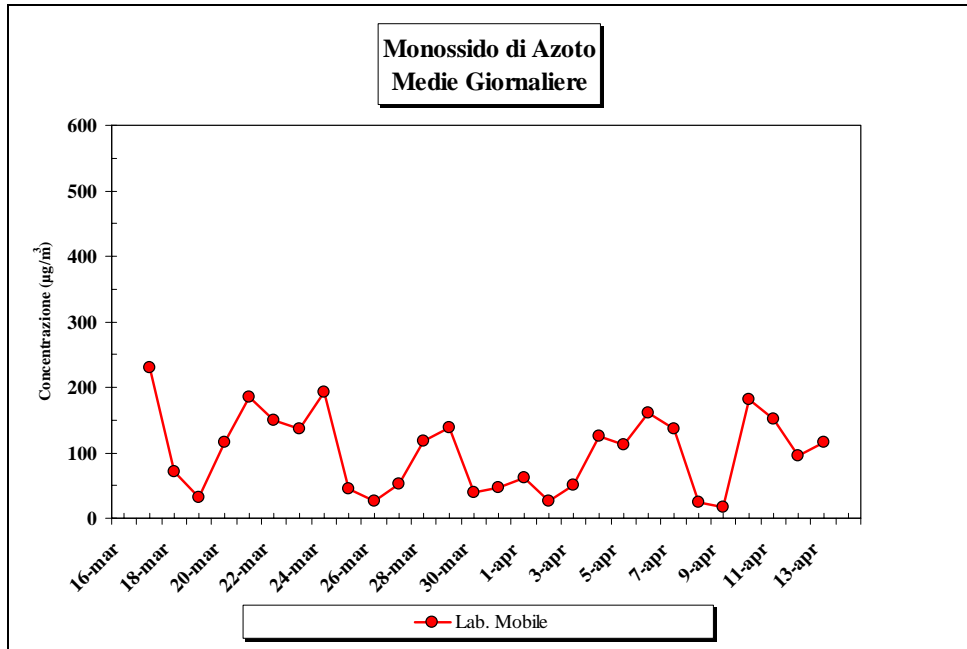


In particolare i coefficienti di correlazione di Pearson⁵ calcolati variano in un intervallo $0 < R < 0.4$.

Si riporta qui di seguito il *grafico delle concentrazioni medie giornaliere* nel periodo interessato dalla campagna di misura.

⁵ Il coefficiente di correlazione di Pearson (R) misura il grado di correlazione lineare tra due variabili x e y calcolando il rapporto tra la loro covarianza ed il prodotto delle rispettive deviazioni standard ($0 < R < 1$, più R si avvicina a 1 più i valori sono correlati):

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

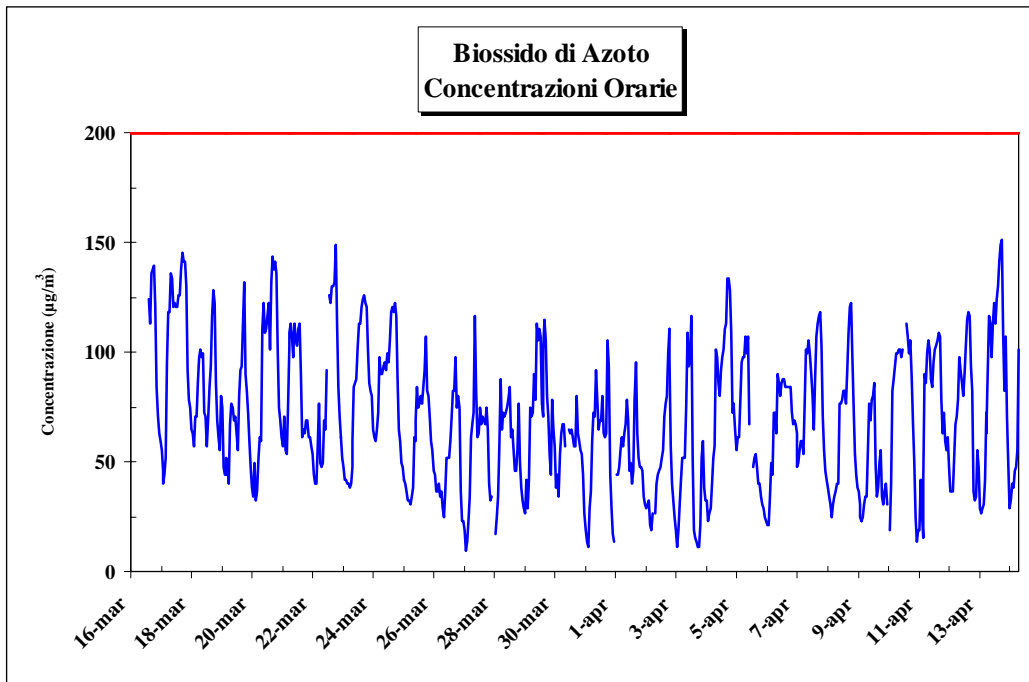


Come è possibile osservare in tutto il periodo di misura i minimi di concentrazione sono stati rilevati nelle giornate di domenica dove i volumi di traffico risultano ridotti e non si ha la circolazione di mezzi pesanti.

NO₂

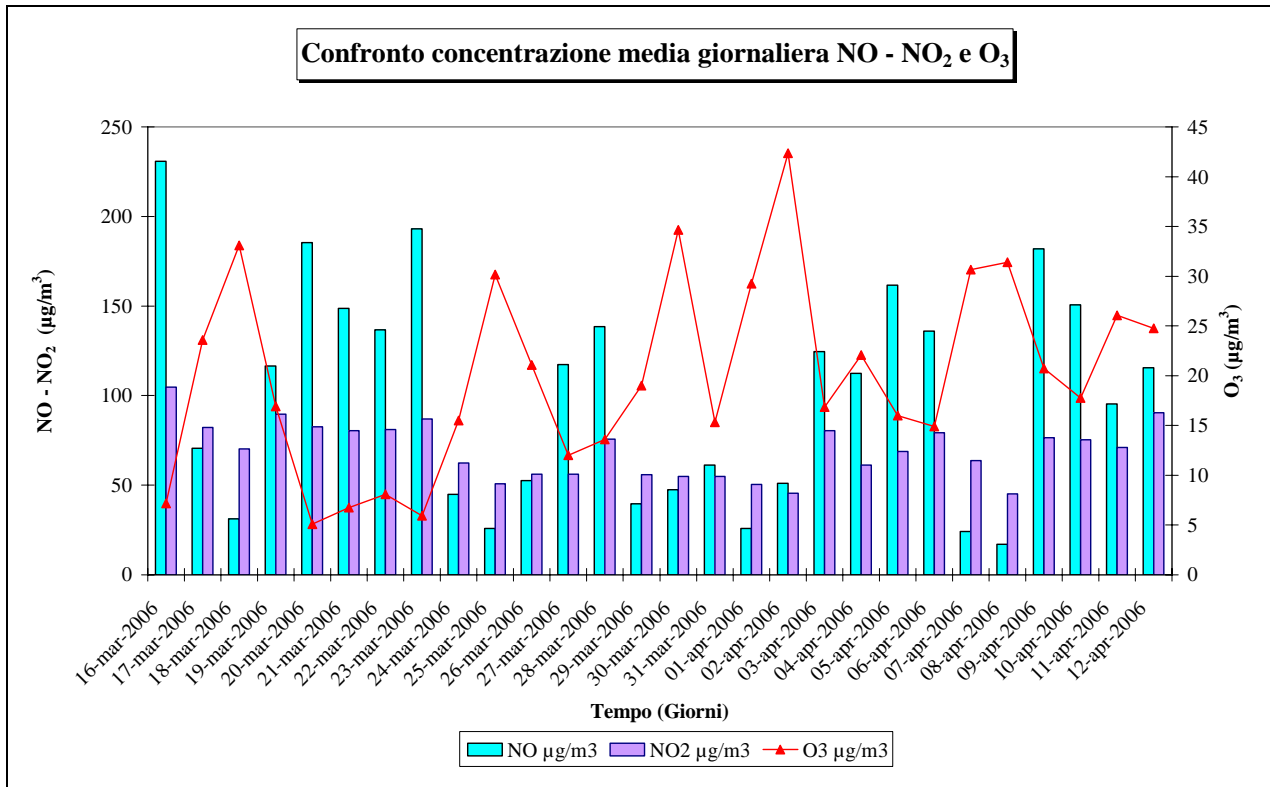
La concentrazione in aria di NO₂, oltre ad essere funzione della componente meteorologica, dipende dalla velocità di emissione di NO, dalla velocità di trasformazione di NO in NO₂ e dalla velocità di conversione di NO₂ in altre specie ossidate (nitrati).

Durante la campagna di misura la concentrazione media sul periodo del biossido di azoto si è attestata su **70 µg/m³**; durante il periodo di misura **non sono stati rilevati superamenti orari del limite di attenzione**, fissato per questo inquinante a 200 µg/m³.



Il valore massimo di concentrazione oraria, pari a $151 \mu\text{g}/\text{m}^3$, è stato registrato venerdì 13 aprile alle ore 19.00.

Le condizioni meteorologiche, in particolare la radiazione solare, hanno favorito la formazione di biossido di azoto. Osservando infatti il grafico di confronto della concentrazioni di NO ed NO₂ con quella dell'ozono si può osservare come a picchi di concentrazione di O₃ vi sia la quasi totale trasformazione di NO in NO₂.



Poiché l'NO₂ come l'NO è un tracciante del traffico veicolare è stato possibile confermare le caratteristiche orarie del traffico veicolare lungo tale tratto autostradale.

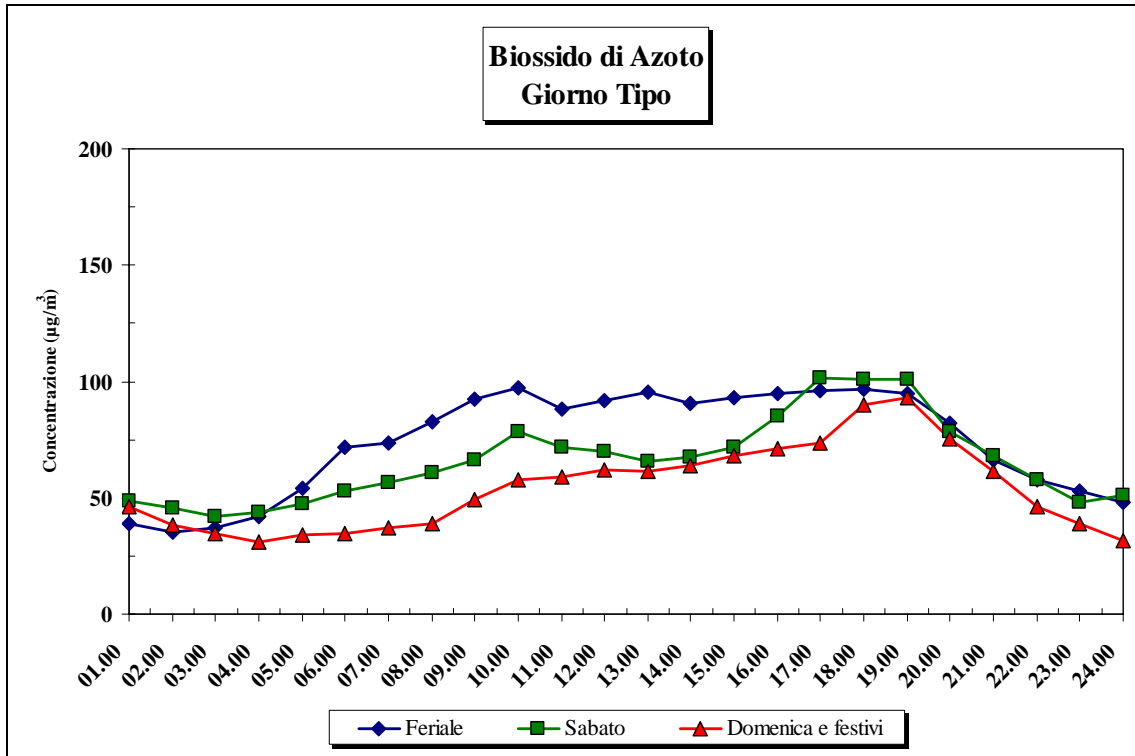
Si può osservare infatti come nei giorni feriali il traffico sia distribuito su tutta la giornata a partire dalle 03.00 del mattino fino alle ore 21.00, con un aumento delle concentrazioni nell'ora di punta della mattina tra le ore 6.00 e le ore 10.00, mentre si osserva un graduale calo a partire dalle ore 20.00 fino alle ore 03.00.

Sebbene non siano stati osservati dei superamenti della soglia di attenzione, grazie anche alle condizioni meteorologiche che hanno favorito la dispersione di questo inquinante, si sottolinea comunque che i valori rilevati durante l'intero periodo della campagna di misura sono risultati non del tutto trascurabili, in particolare nella fascia oraria che va dalle ore 09.00 alle ore 20.00.

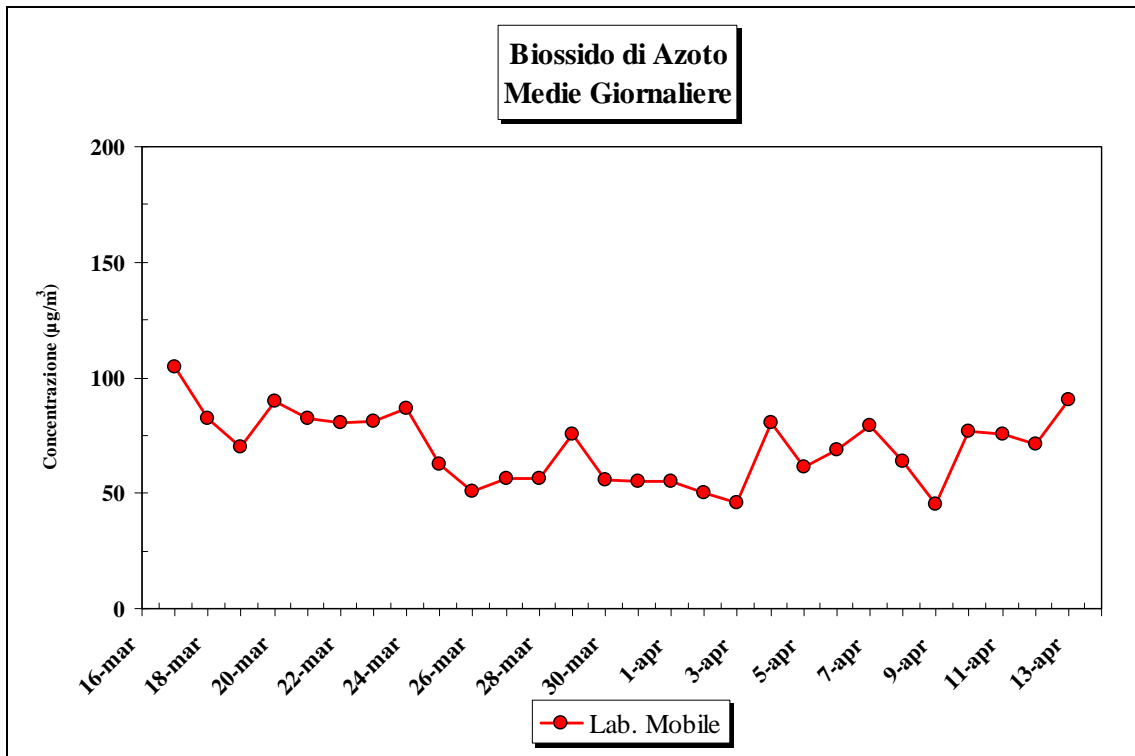
Il grafico del giorno tipo presenta per i giorni feriali una distribuzione uniforme durante la giornata con valori in lieve diminuzione durante le ore serali e notturne. Per quanto riguarda invece il giorno tipo festivo e prefestivo si individuano due picchi di concentrazione in corrispondenza delle maggiori ore di traffico veicolare; ben visibile è quello serale che va dalle ore 17.00 alle 20.00.

Come per NO anche per NO₂ misurato nel sito oggetto di indagine il comportamento temporale non è correlabile con le centraline della rete regionale prese a riferimento.

Le concentrazioni misurate nel sito oggetto di indagine non presentano un andamento temporale analogo con nessuna delle stazioni fisse prese a riferimento; in particolare i coefficienti di correlazione di Pearson calcolati variano in un intervallo $0 < R < 0.4$.



Si riporta qui di seguito il *grafico delle concentrazioni medie giornaliere* nel periodo interessato dalla campagna di misura.



Al fine di poter fornire ulteriori informazioni relativamente agli ossidi di azoto si è voluto mostrare quanto elaborato dal servizio sperimentale qualità dell'aria da satellite.

In particolare si è voluto mostrare l'andamento delle concentrazioni nei mesi di marzo aprile dell'NO₂ troposferico in Lombardia.

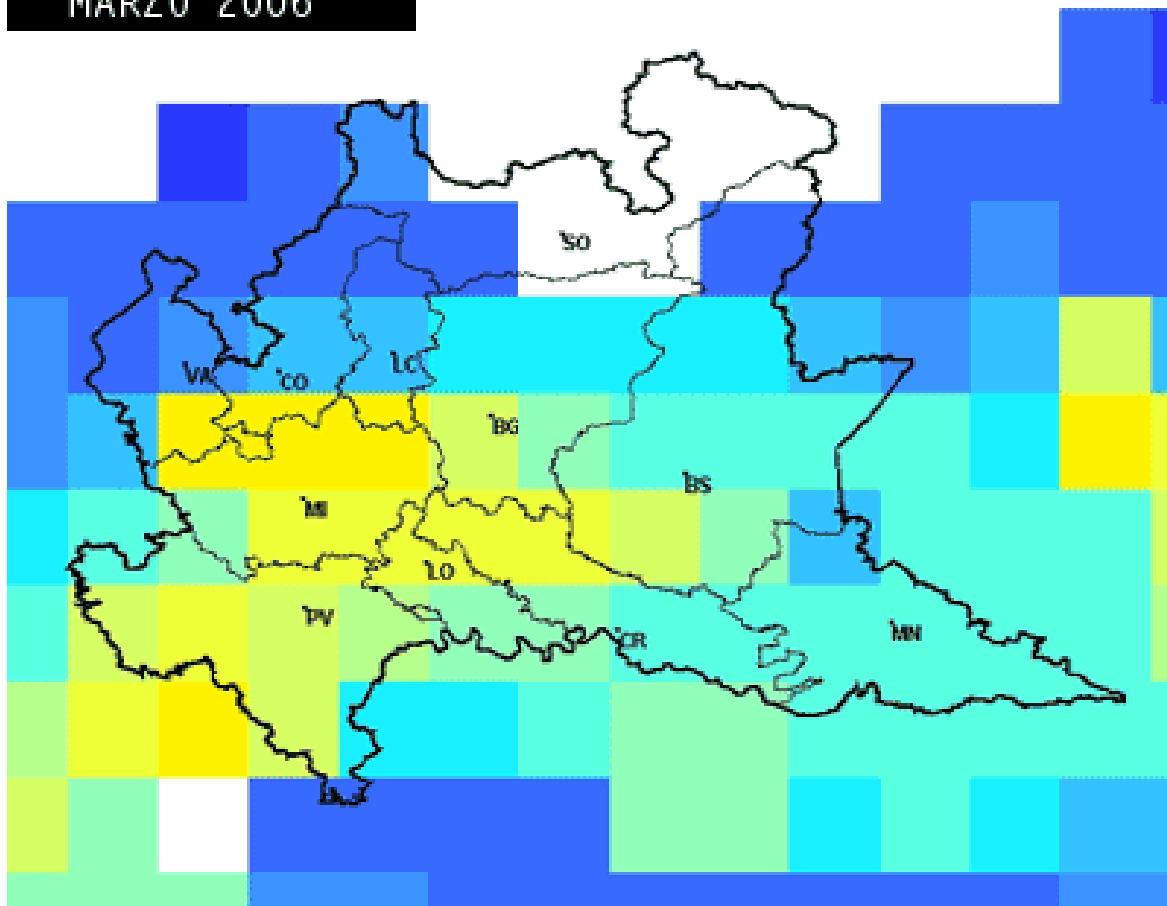
Le immagini qui di seguito riportate permettono di osservare come si distribuisce l'NO₂ troposferico lungo la regione, in particolare mostra come sia presente un'alta concentrazione di NO₂ laddove sono più intense le attività antropiche⁶.

Si fa presente che le concentrazioni delle medie mensili estratte dalle immagini vengono espresse in 10¹³ molecole di NO₂/cm² presenti in troposfera (che si innalza fino a circa 10 km alle nostre latitudini) mentre i valori delle stazioni di monitoraggio a terra misurano concentrazioni in µg/m³.

Infine i colori attribuiti alle varie aree nella mappa non sono indicative di superamenti dei limiti previsti dalla normativa vigente in quanto le misure atte a ricavare le concentrazioni di NO₂ sono effettuate in condizioni e con modalità diverse, attraverso stazioni a terra e da satellite in via ancora sperimentale.

⁶ Il servizio è a carattere sperimentale e le immagini sono fornite dal progetto TEMIS finanziato dall'ESA (l'Ente Spaziale Europeo) e precursore del progetto PROMOTE anch'esso finanziato dall'ESA e in cui ARPA Lombardia è coinvolta come core user. Le misure sono state effettuate tramite il sensore UV-VIS SCIAMACHY (SCanning Imaging Absorption spectroMeter for Atmospheric CHartography) a bordo del satellite ESA Envisat in orbita polare attorno alla terra

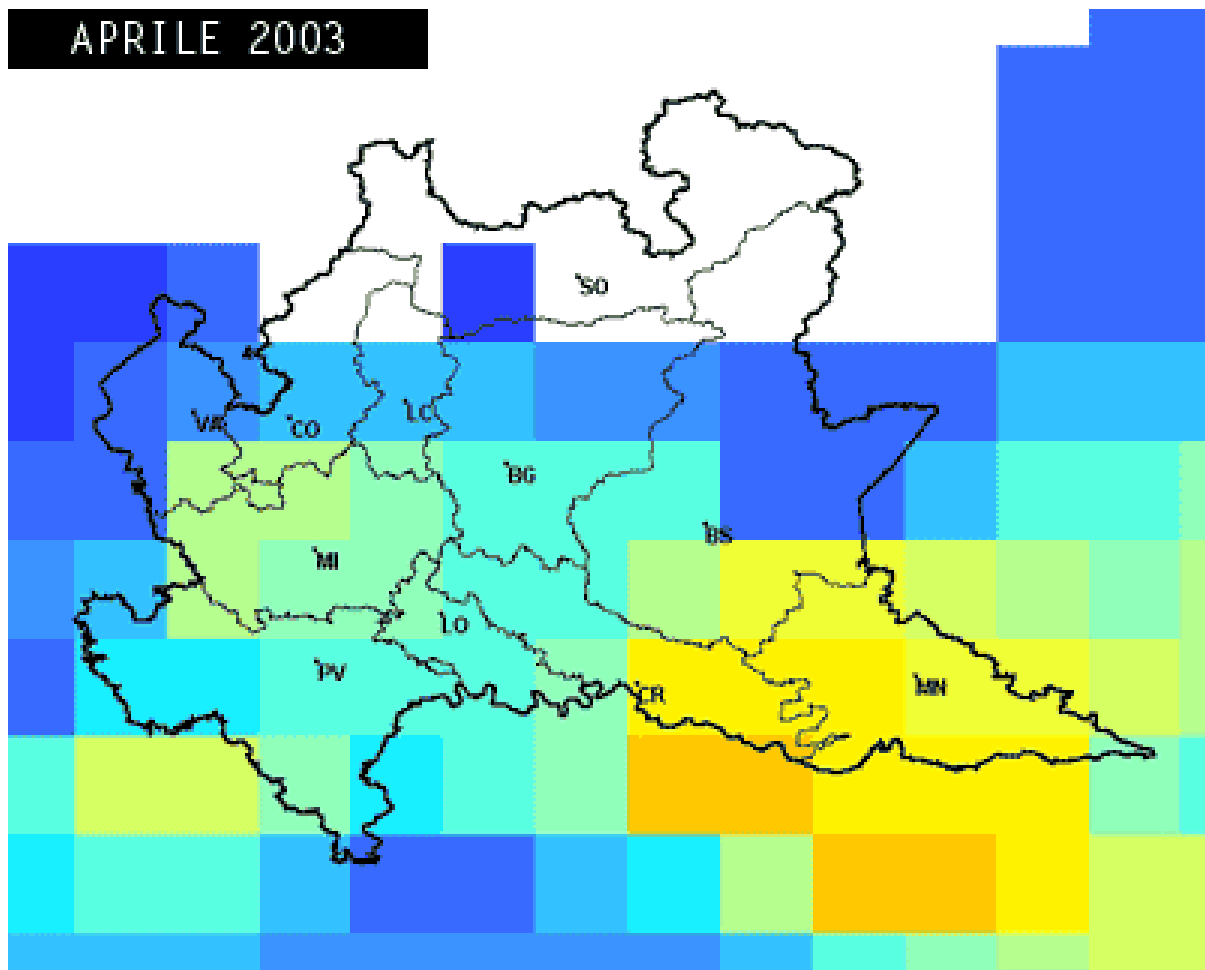
MARZO 2006



Legenda	
10 ¹³ molecole di NO ₂ /cm ²	
	n.d.
	0 - 200
	200 - 400
	400 - 600
	600 - 800
	800 - 1000
	1000 - 1200
	1200 - 1400
	1400 - 1600
	1600 - 1800
	1800 - 2000
	2000 - 2200
	2200 - 2400
	2400 - 2600
	2600 - 2800
	2800 - 3000
	> 3000

Andamento dell'NO₂ in Lombardia nel mese di febbraio

APRILE 2003



Legenda
10¹³ molecole di NO₂/cm²

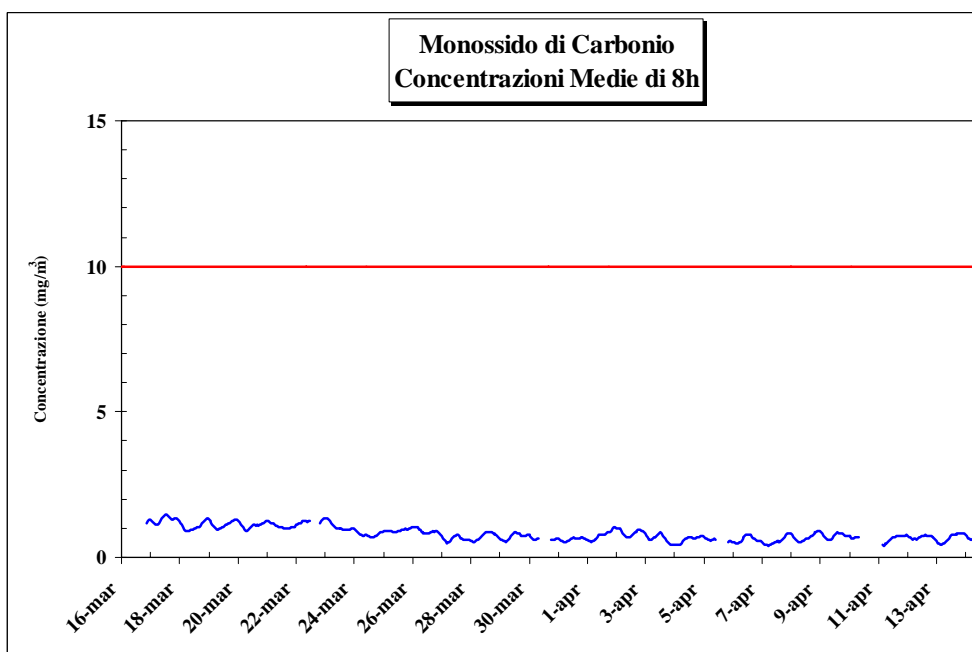
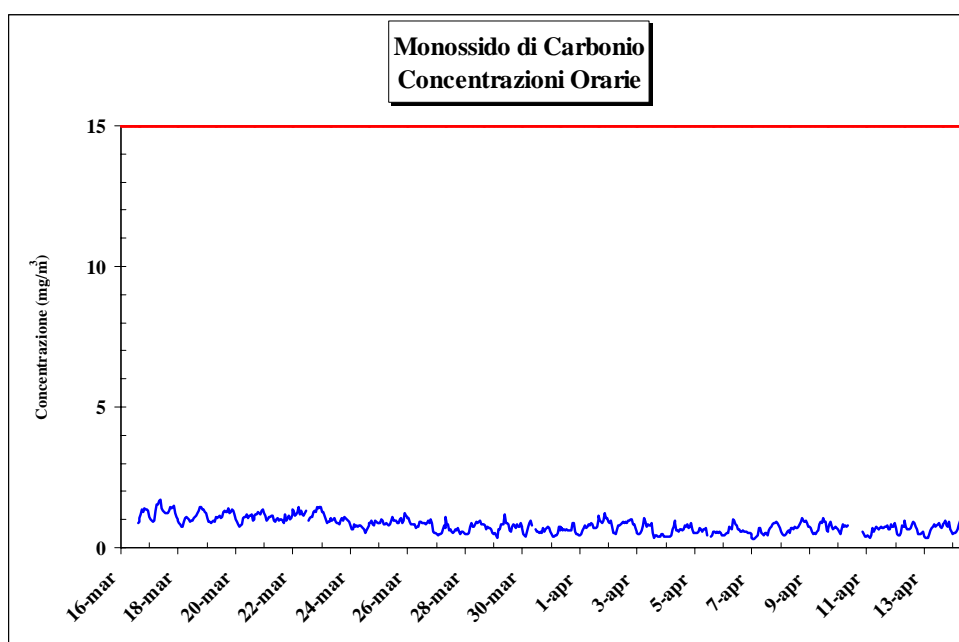
	n.d.
	0 - 200
	200 - 400
	400 - 600
	600 - 800
	800 - 1000
	1000 - 1200
	1200 - 1400
	1400 - 1600
	1600 - 1800
	1800 - 2000
	2000 - 2200
	2200 - 2400
	2400 - 2600
	2600 - 2800
	2800 - 3000
	> 3000

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

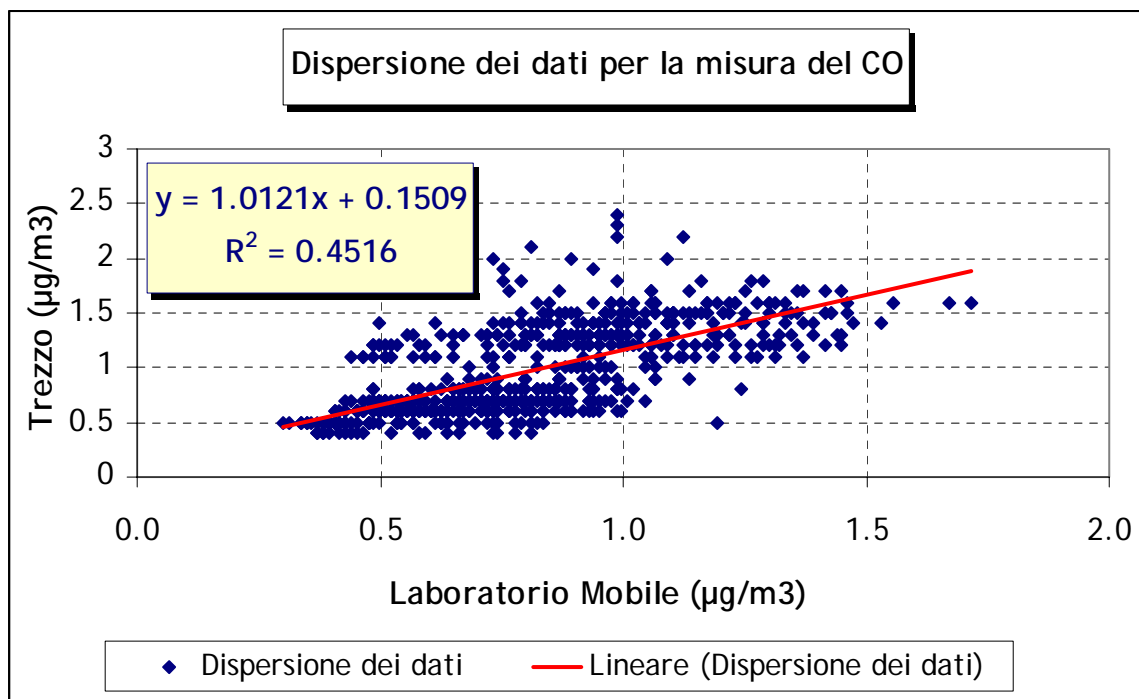
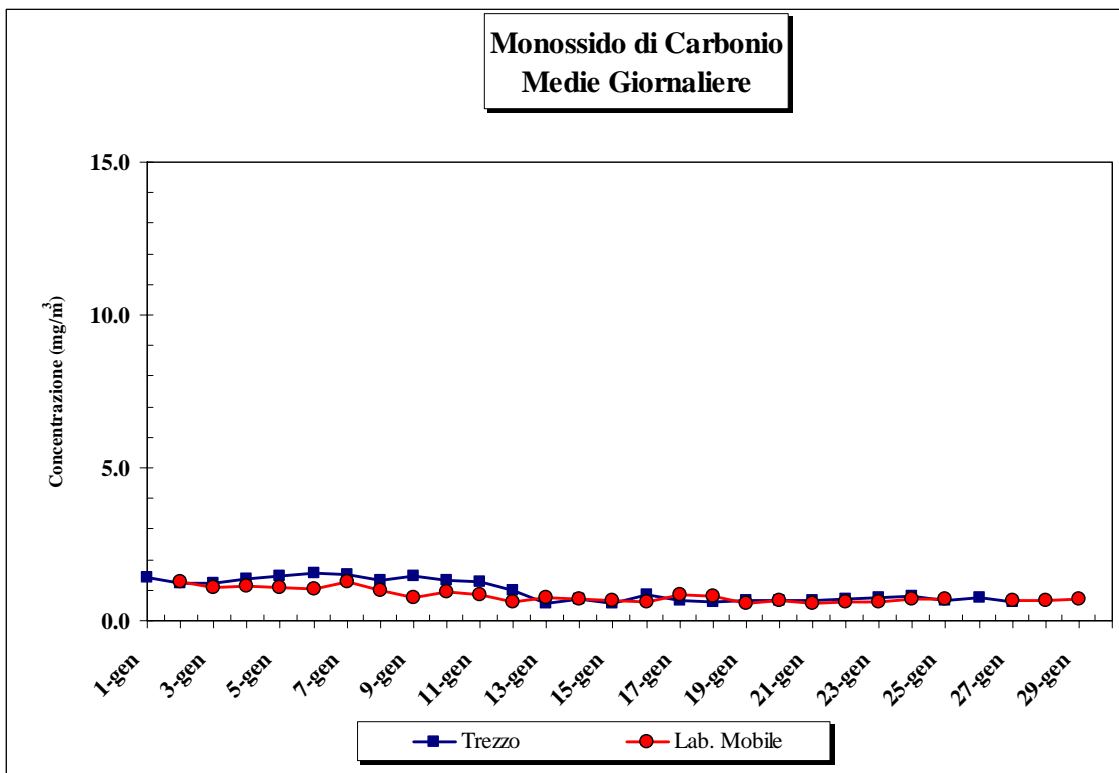
Dall'analisi dei dati è possibile osservare come le concentrazioni di questo inquinante appaiano decisamente basse e comunque di molto inferiori a quelle solitamente riscontrate in aree cittadine; ciò è giustificato dal fatto che, essendo il traffico di tipo autostradale solitamente scorrevole e caratterizzato da veicoli che procedono a velocità sostenuta, l'efficienza di combustione dei motori è elevata e ciò comporta una bassa emissione dagli scarichi dei veicoli.

I valori di monossido di carbonio sono risultati abbondantemente inferiori ai limiti di legge sia per quanto riguarda la media oraria che per quella di 8 ore.

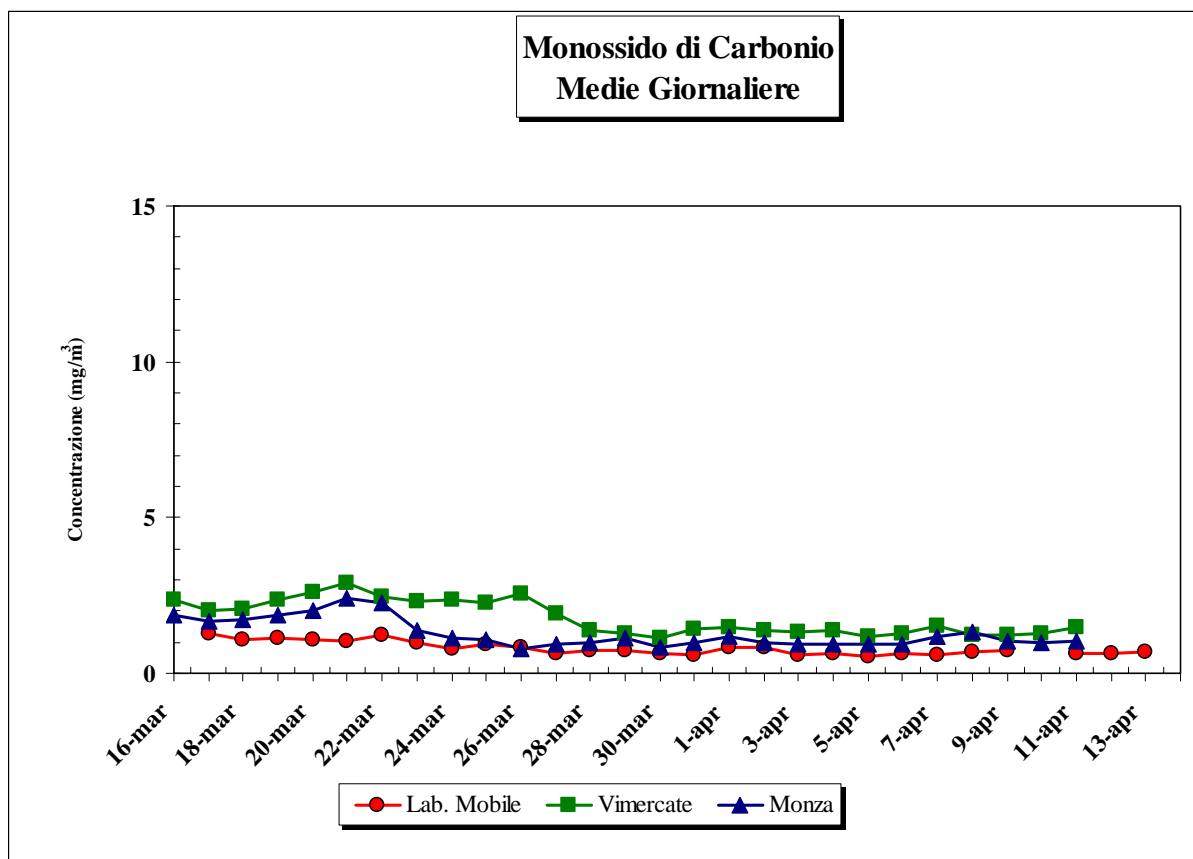
Il valore medio sul periodo è stato di 0.8 mg/m^3 , il valore massimo orario è stato di 1.7 mg/m^3 il giorno venerdì 17 marzo alle ore 10.00, anche il valore massimo mediato sulle 8 ore, pari a 1.5 mg/m^3 , è stato osservato il giorno venerdì 17 febbraio alle ore 14.00.



Per questo inquinante le concentrazioni misurate in via Grassi a Trezzo sull'Adda presentano un'ottima correlazione con le concentrazioni misurate nella vicina stazione di fondo suburbano di Trezzo ($R=0.7$).

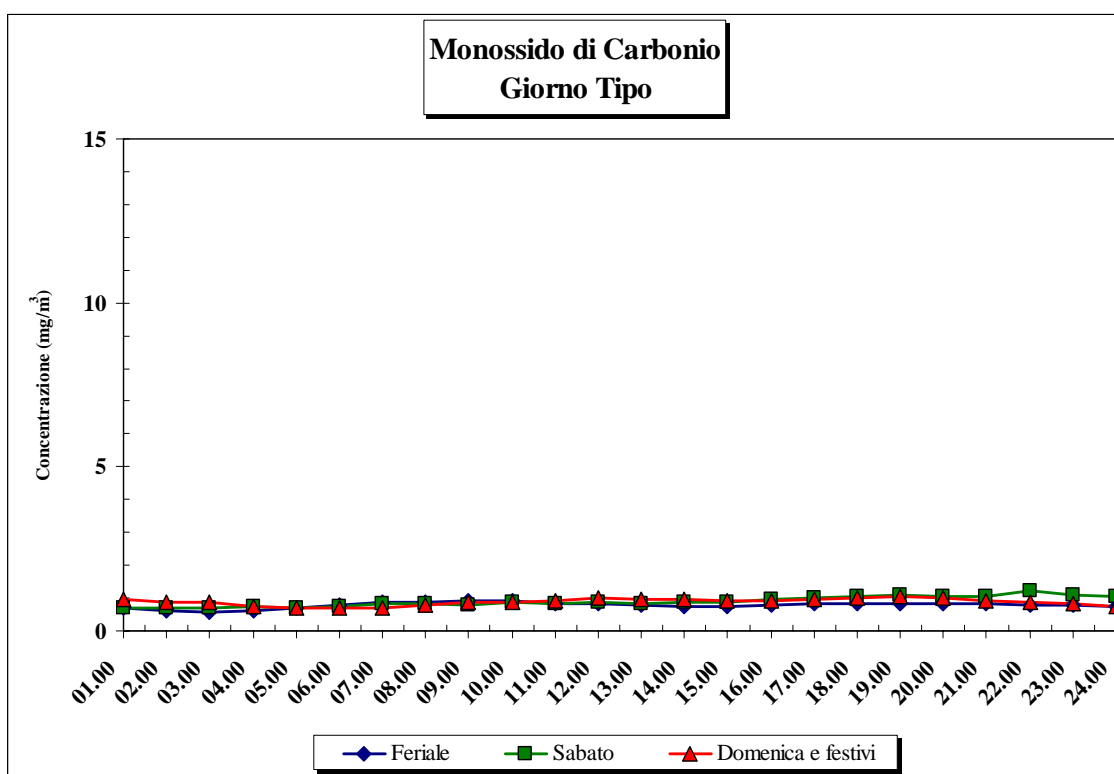


Vi sono poi delle correlazioni con le stazioni di fondo urbano di Monza e di Vimercate ($R=0.7$), con valori molto simili ma costantemente inferiori.



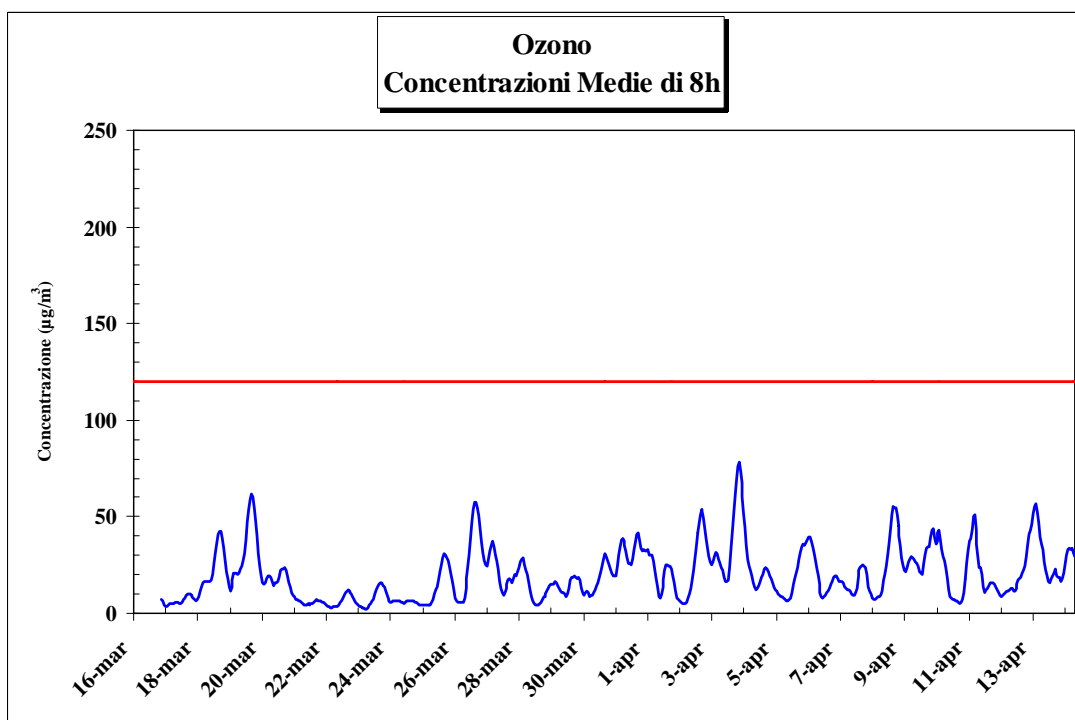
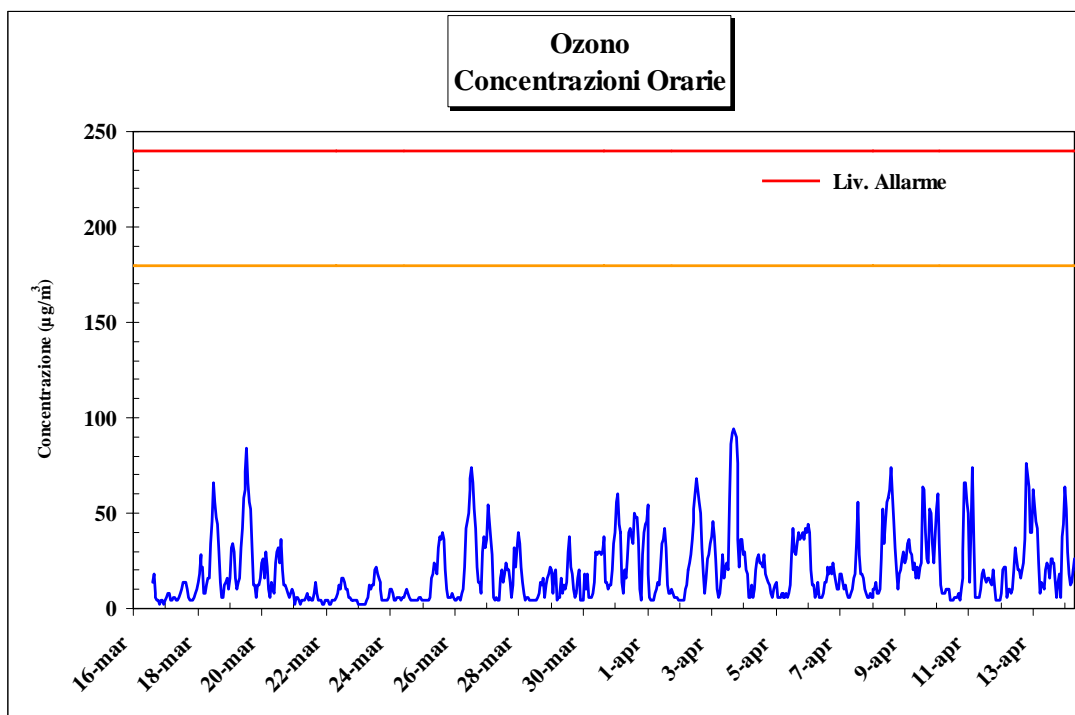
Le correlazioni con stazioni da fondo urbano/suburbano sembrerebbero confermare che l'autostrada nel tratto monitorato non favorisca la formazione di questo inquinante.

A riprova di questo nel grafico del giorno tipo si può osservare come le concentrazioni di questo inquinante siano sostanzialmente costanti durante l'intera giornata senza la presenza dei picchi caratteristici delle ore di punta mattutini e serali.

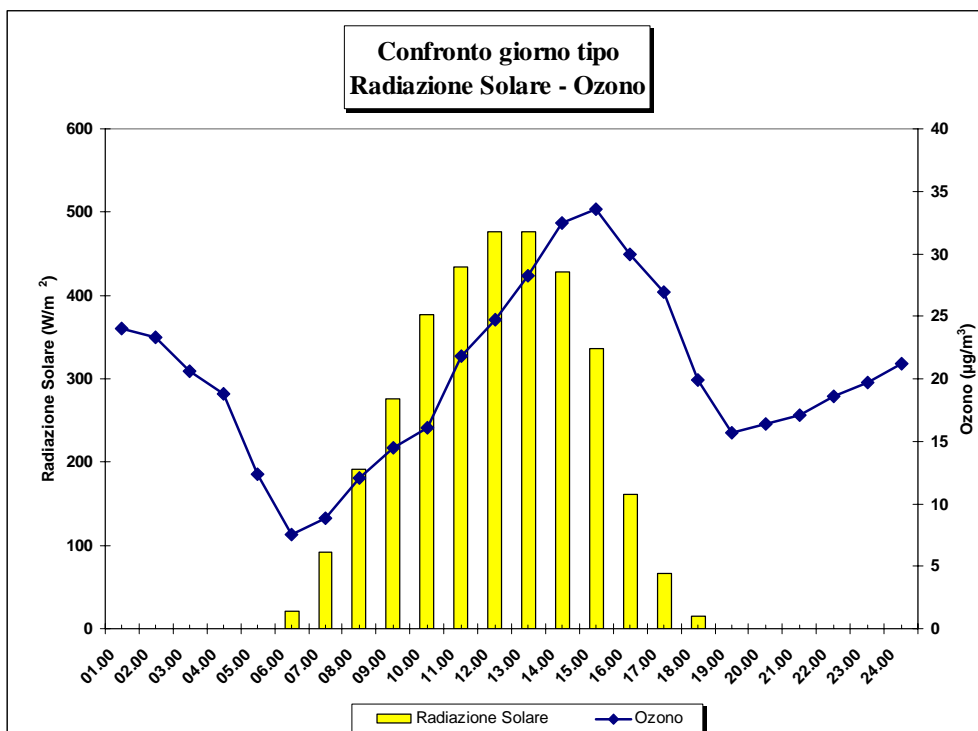


Per quanto riguarda l'ozono durante il periodo di misura, non sono stati osservati superamenti della soglia di attenzione, fissata per questo inquinante a 180 µg/m³. Le concentrazioni riscontrate sono comunque risultate non trascurabili questo perché il periodo in cui è stata condotta la campagna di misura è relativo alla stagione primaverile, durante la quale i valori di radiazione solare possono favorire la formazione di questo inquinante.

Il valore medio del periodo, il valore massimo orario ed il valore massimo mediato sulle 8 ore sono risultati rispettivamente pari a **20 µg/m³**, **94 µg/m³** (sabato 11 marzo alle ore 16.00) e **78 µg/m³**.

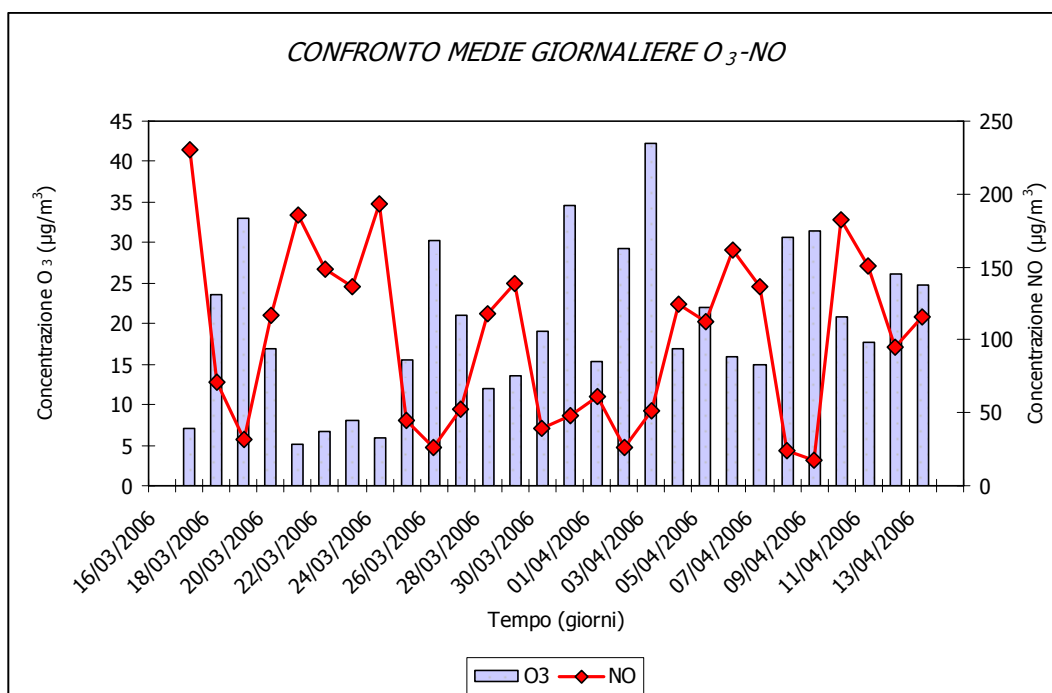


L'andamento di questo inquinante risulta differente da quello degli inquinanti primari, infatti l'ozono non ha sorgenti emissive dirette di rilievo e la sua formazione nella troposfera è correlata al ciclo diurno solare: il trend giornaliero dell'ozono è di tipo a campana con un massimo poco dopo il periodo di maggior insolazione (generalmente tra le 14.00 e le 17.00).

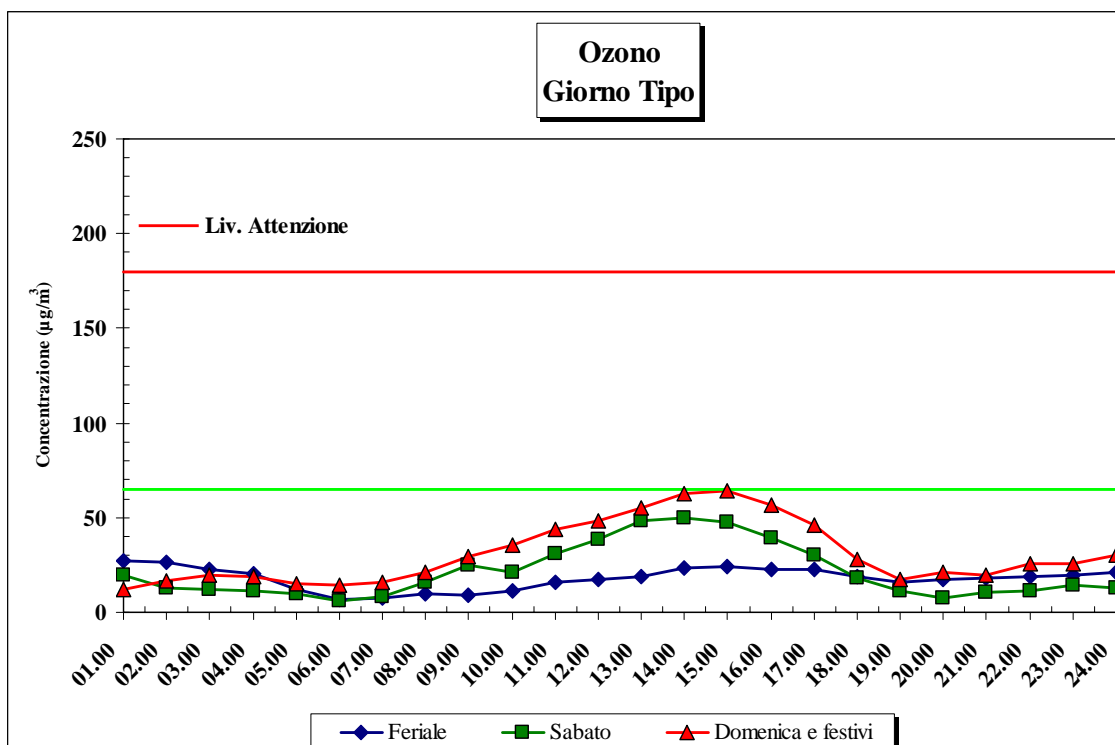


Le concentrazioni di ozono poi tendono a calare nelle vicinanze di sorgenti di emissione di NO. questo perché l'NO tende a reagire con l'O₃ portando alla formazione di NO₂.

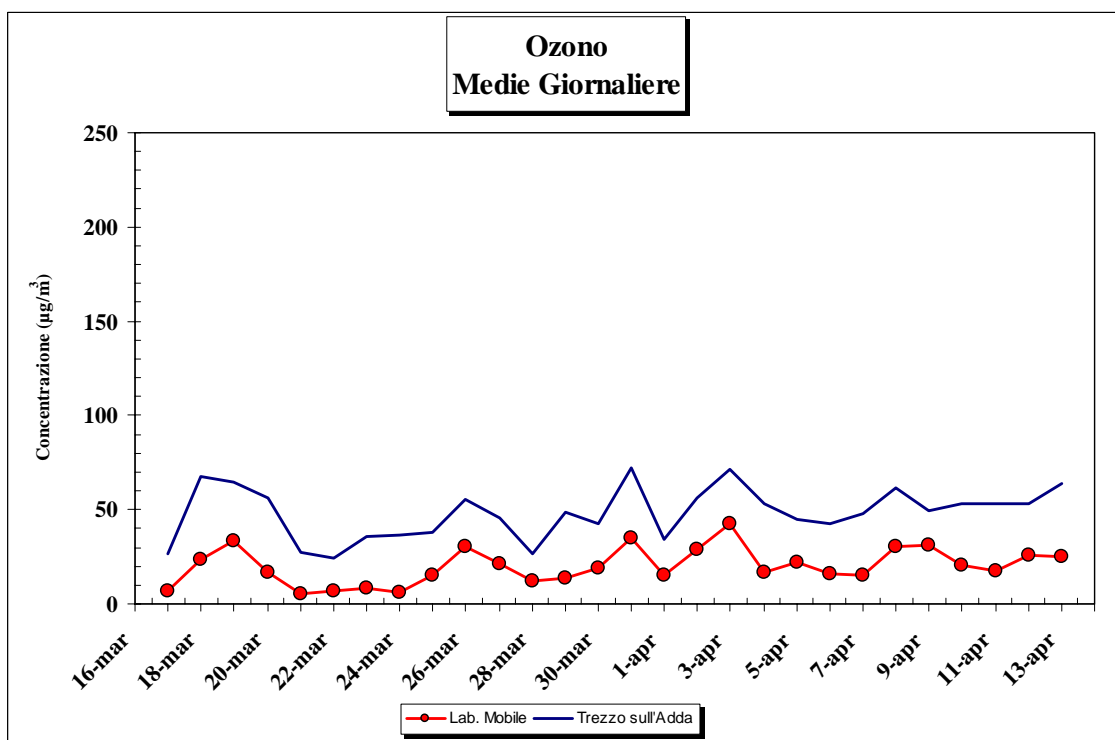
Tale comportamento è possibile verificarlo nel grafico di seguito riportato in cui si sono confrontate le concentrazioni medie giornaliere di ozono e ossido di azoto nel periodo oggetto dell'indagine; le concentrazioni minime di ozono si presentano in corrispondenza delle concentrazioni massime di NO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

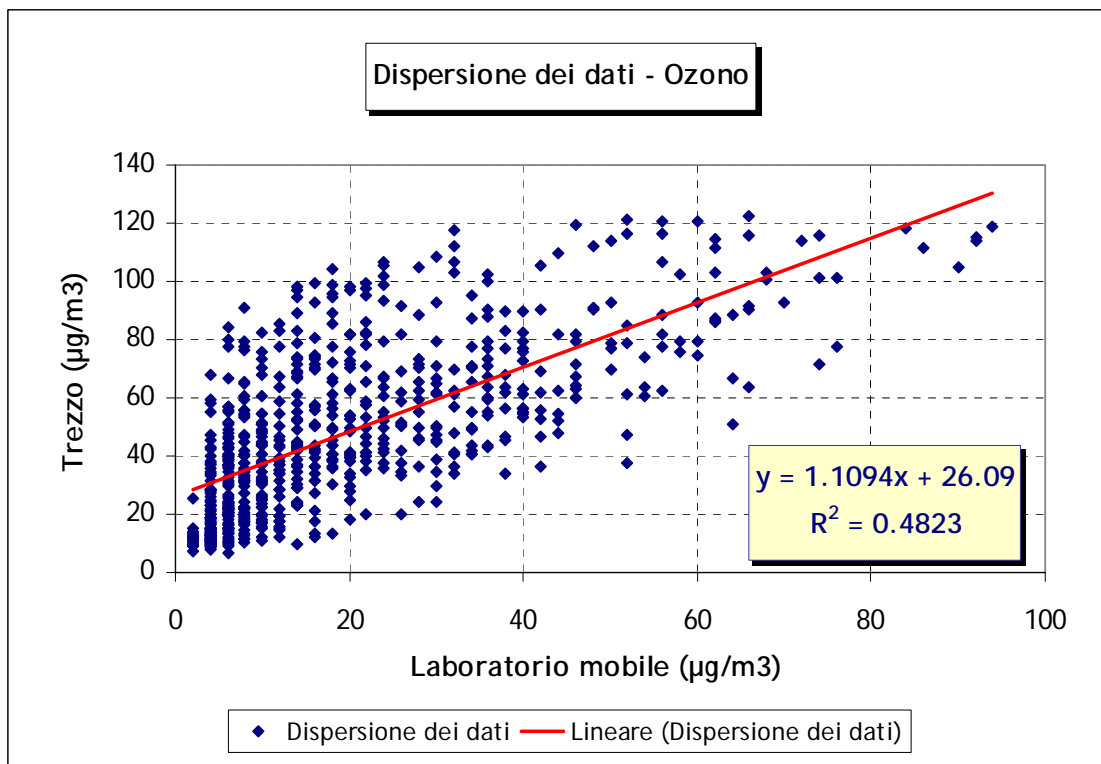


Anche dal grafico del giorno tipo è possibile evidenziare un aumento dell'ozono in corrispondenza di una diminuzione delle concentrazioni di NO; infatti i valori diurni più elevati si sono verificati nei giorni pre-festivi e festivi, quando sono risultati minori le emissioni di NO (grazie alla riduzione del traffico).



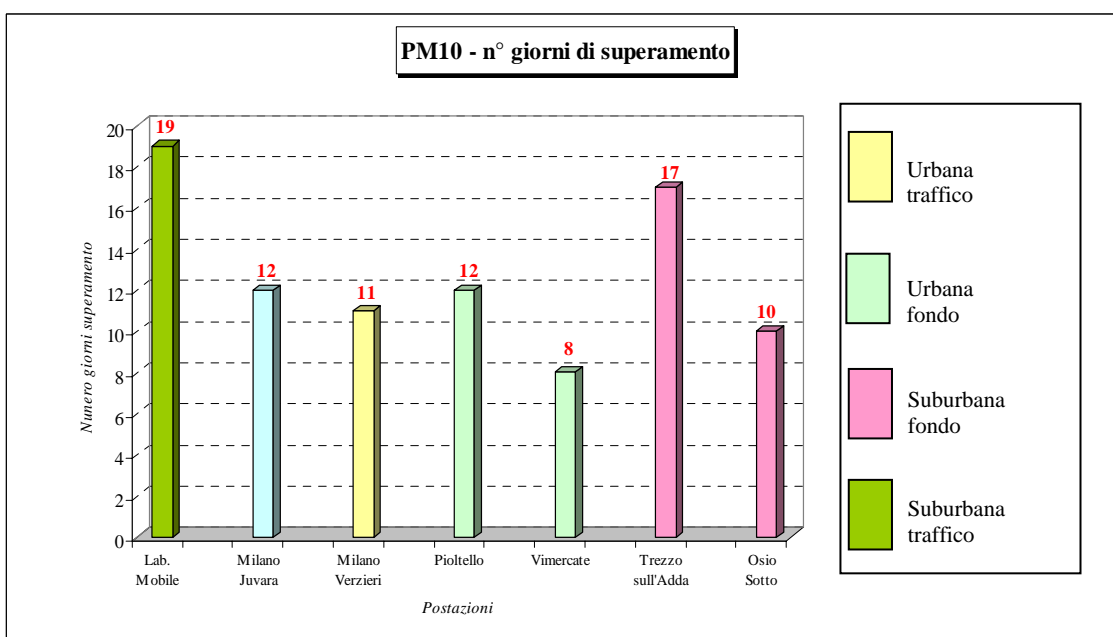
Per quanto riguarda poi le postazioni fisse di misura, le concentrazioni di ozono misurate dal Laboratorio Mobile risultano in linea con quelle registrate dalla vicina stazione di Trezzo (R = 0.7), con valori molto simili ma costantemente inferiori; si nota inoltre come i valori più alti di ozono sono stati rilevati il giorno 3 aprile in cui sia la radiazione solare che la velocità del vento hanno fatto riscontrare i valori più elevati del periodo di misura.



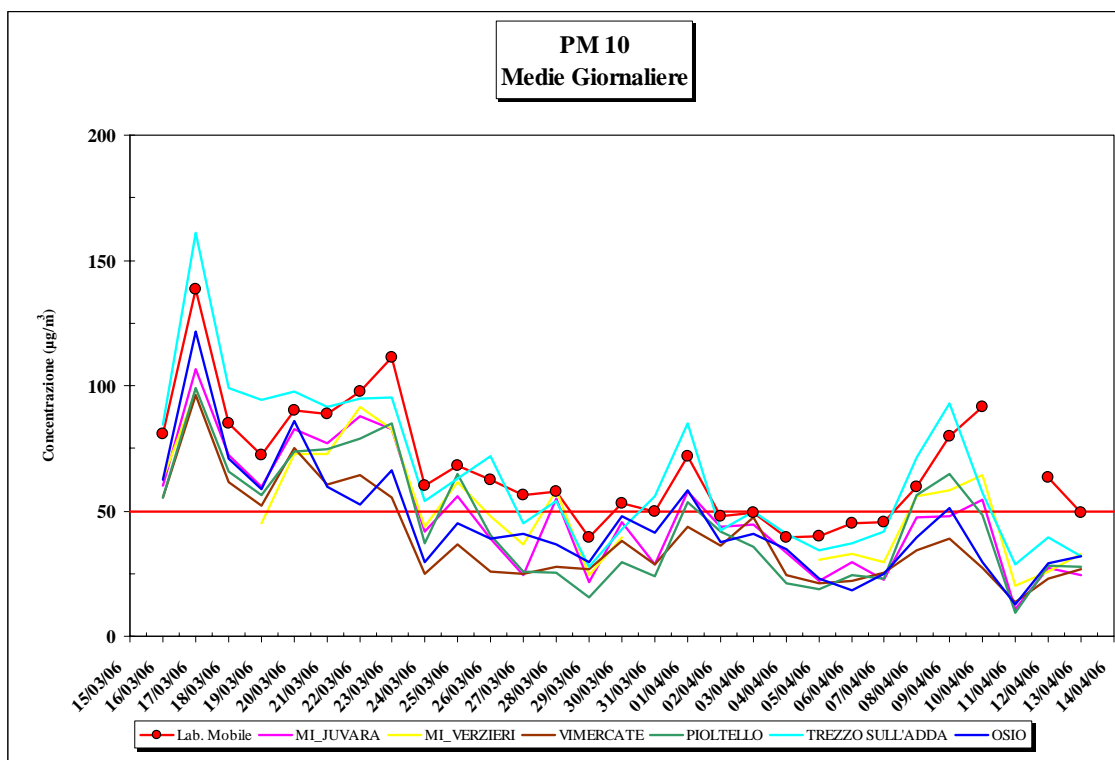


PM10

Le concentrazioni di **PM10** misurate a Trezzo sull'Adda in via Grassi presentano andamenti analoghi a quelli delle centraline della rete di rilevamento provinciale prese a riferimento. Durante tutto il periodo di misura sono stati osservati **19 superamenti (su 29 giorni di campagna) del livello di attenzione**, fissato per questo inquinante a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, in linea con quanto osservato nelle centraline fisse prese a riferimento.



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



Gli Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA)

Il campionamento per la misura degli IPA in atmosfera è stato eseguito secondo quanto previsto dal 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 2005⁷.

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

Esaminando l'indicatore proposto dalla normativa, appare subito evidente che la scala temporale adeguata per una valutazione è generalmente quella annuale. Una campagna di misura condotta per un periodo più breve può essere utile in un'ottica di approccio preliminare alla caratterizzazione dei livelli di immissione nel luogo soggetto all'indagine.

La concentrazione di IPA nell'ambiente dipende da fattori come il tipo di sorgente e la sua vicinanza, le condizioni meteorologiche come direzione e velocità del vento temperatura e precipitazioni ed è pertanto a questi parametri che si è fatto riferimento per l'analisi di questi inquinanti.

La Tabella 1, presenta i risultati delle determinazioni analitiche degli IPA sui singoli campioni giornalieri (18 campioni).

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

Il benzo(a)antracene ed il crisene indicatori, secondo i dati di letteratura, delle fonti di inquinamento da impianti di riscaldamento alimentati ad olio combustibile, contribuiscono rispettivamente per il 5% ed il 16%.

Non essendo riscontrabili evidenti picchi di indeno(1,2,3,cd)pirene (10%) e benzo(gli)perilene (10%) rispetto al benzo(a)pirene (9%), non è possibile ipotizzare il prevalere di inquinamento urbano per emissioni da combustione relativamente a tutta la campagna di misura.

⁷ Cfr. Appendice I per il metodo di analisi.

Tabella 1: valori medi giornalieri in ng/m³ degli IPA, rilevati con laboratorio mobile in via Grassi nel comune di Trezzo sull'Adda

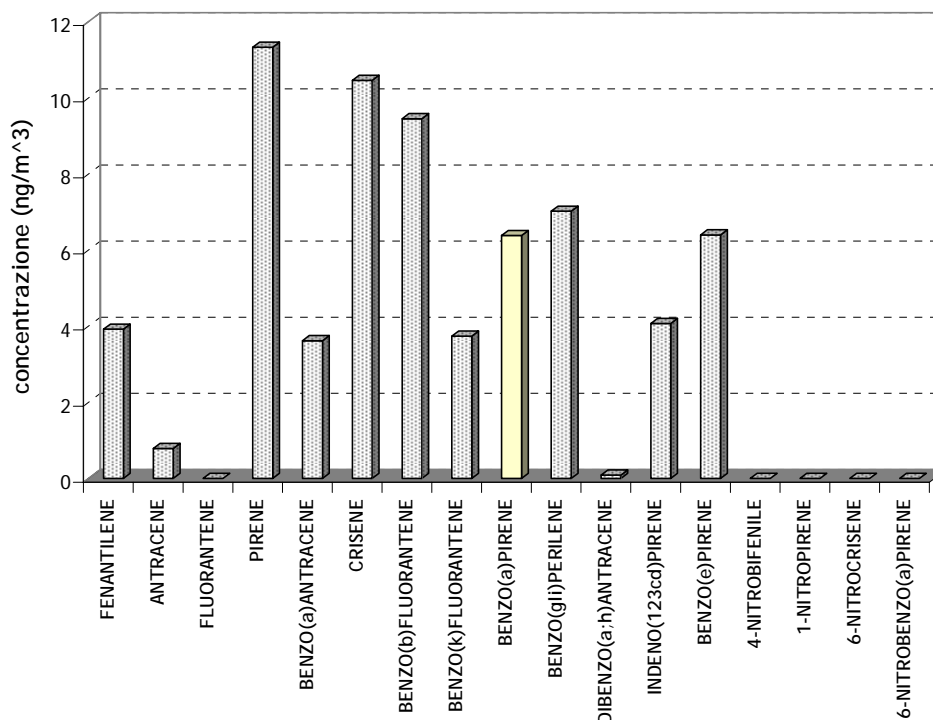
IPA (ng/m ³)	IARC ^{*)}	21-mar	22-mar	23-mar	24-mar	25-mar	26-mar	27-mar	28-mar	29-mar	30-mar	31-mar	01-apr	02-apr	03-apr	04-apr	05-apr	06-apr	07-apr
FENANTILENE		0.36	0.31	0.33	0.36	0.2	0.14	0.08	0.19	0.28	0.13	0.12	0.16	0.13	0.15	0.2	0.17	0.3	0.31
ANTRACENE		0.07	0.09	0.06	0.07	0.02	0.02	0.01	0.08	0.09	0.04	0.05	0.04	<0.007	<0.007	0.04	0.01	0.06	0.09
FLUORANTENE		<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4
PIRENE		0.91	0.97	0.82	0.98	0.54	0.33	0.27	0.51	0.81	0.31	0.31	0.34	0.31	0.3	0.91	0.5	0.86	1.35
BENZO(a)ANTRACENE	2A	0.36	0.38	0.31	0.17	0.2	0.12	0.1	0.22	0.18	0.14	0.08	0.18	0.12	0.6	0.12	0.15	0.08	0.11
CRISENE		0.97	1.01	0.88	0.76	0.65	0.61	0.32	0.61	0.62	0.44	0.35	0.59	0.44	0.28	0.47	0.55	0.4	0.51
BENZO(b)FLUORANTENE	2B	0.98	1.09	1.1	0.67	0.92	0.67	0.24	0.48	0.45	0.41	0.2	0.55	0.6	0.19	0.15	0.42	0.17	0.16
BENZO(k)FLUORANTENE	2B	0.36	0.43	0.44	0.25	0.37	0.26	0.09	0.18	0.16	0.17	0.08	0.2	0.25	0.08	0.07	0.19	0.08	0.08
BENZO(a)PIRENE	2A	0.63	0.79	0.86	0.36	0.65	0.41	0.15	0.30	0.25	0.31	0.11	0.37	0.4	0.12	0.13	0.3	0.11	0.13
BENZO(gli)PERILENE		0.56	0.77	0.75	0.33	0.99	0.58	0.17	0.26	0.27	0.49	0.15	0.35	0.6	0.17	0.12	0.29	0.09	0.08
DIBENZO(a;h)ANTRACENE	2A	<0.02	0.03	<0.02	<0.02	0.03	0.03	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
INDENO(123cd)PIRENE	2B	0.78	0.77	0.73	0.14	0.34	0.39	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.56	0.36	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
BENZO(e)PIRENE		0.64	0.85	0.85	0.47	0.44	0.34	0.18	0.38	0.33	0.29	0.14	0.34	0.27	0.13	0.2	0.25	0.13	0.17

Nitro - IPA (ng/m ³)	21-mar	22-mar	23-mar	24-mar	25-mar	26-mar	27-mar	28-mar	29-mar	30-mar	31-mar	01-apr	02-apr	03-apr	04-apr	05-apr	06-apr	07-apr
4-NITROBIFENILE	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004
1-NITROPIRENE	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004
6-NITROCRISENE	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008
6-NITROBENZO(a)PIRENE	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004

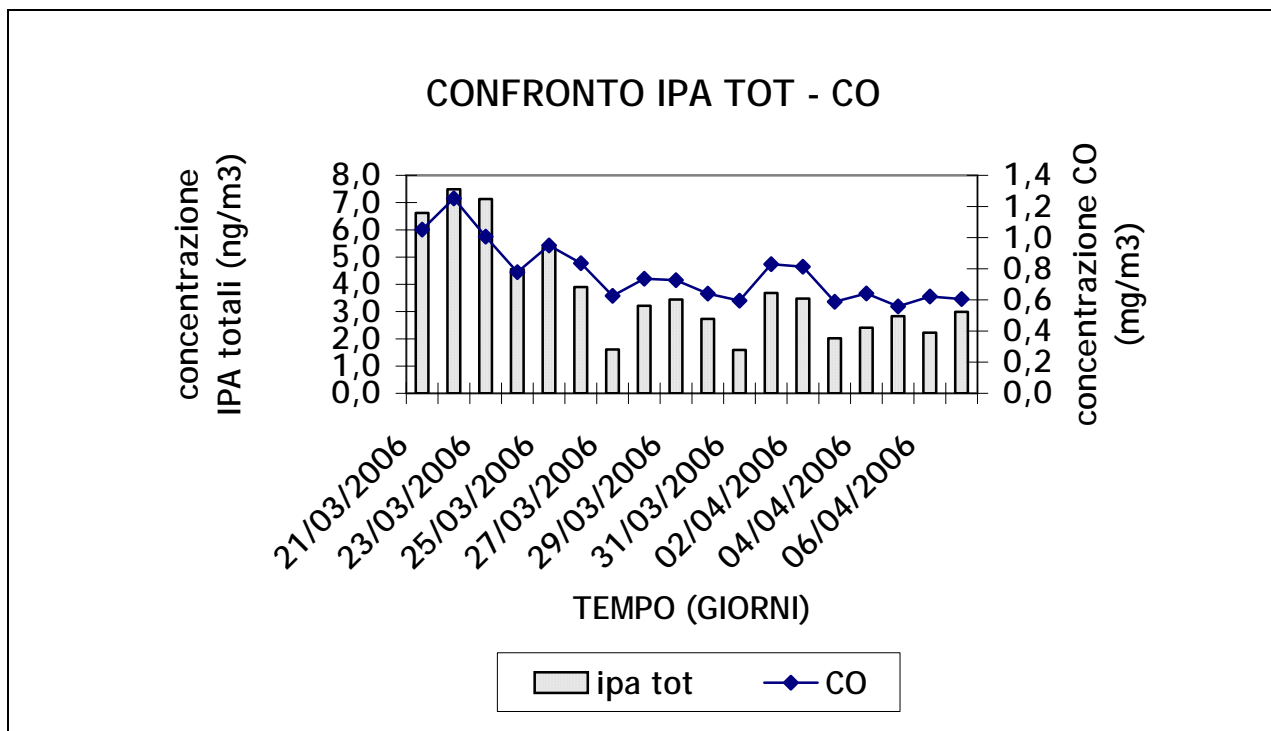
*) Legenda:

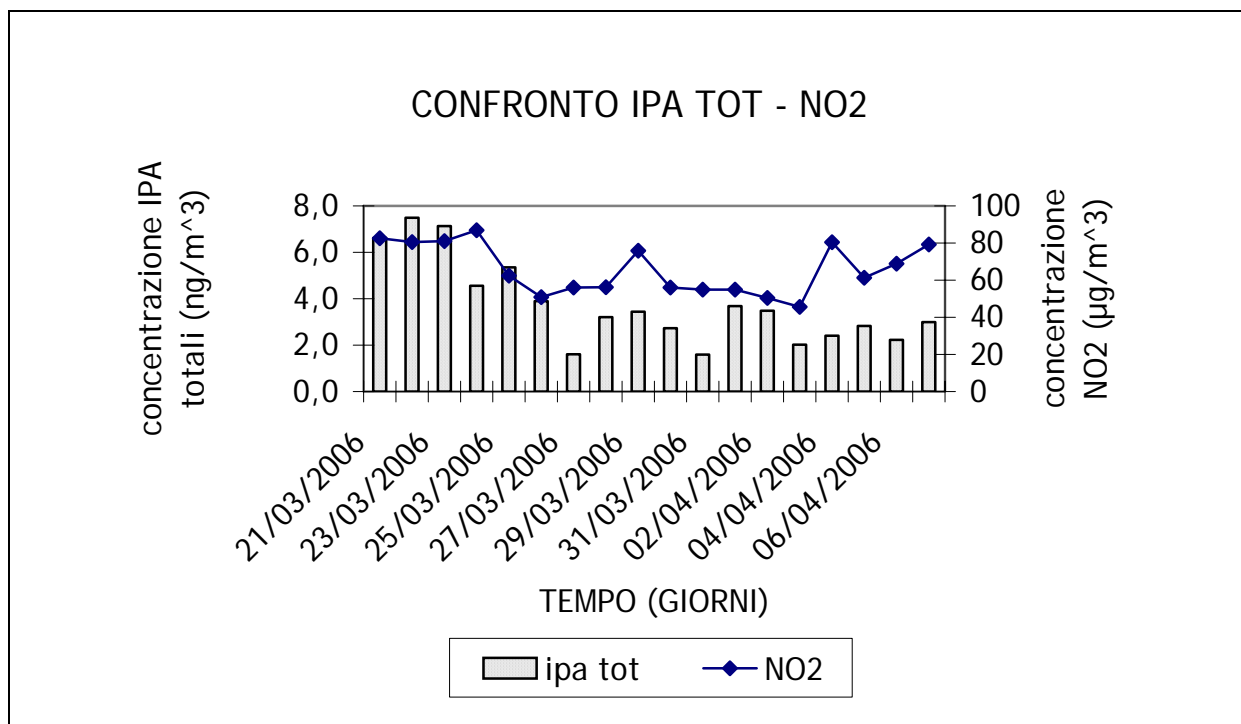
Classe 2 A: probabile cancerogeno

Classe 2 B: possibile cancerogeno

IPA TOTOTALI - VIA GRASSI - TREZZO SULL'ADDA


Per una migliore caratterizzazione, sono stati allora riportati gli andamenti medi di CO e NO₂ (figura 2, 3) rilevati durante la campagna di qualità dell'aria, 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.

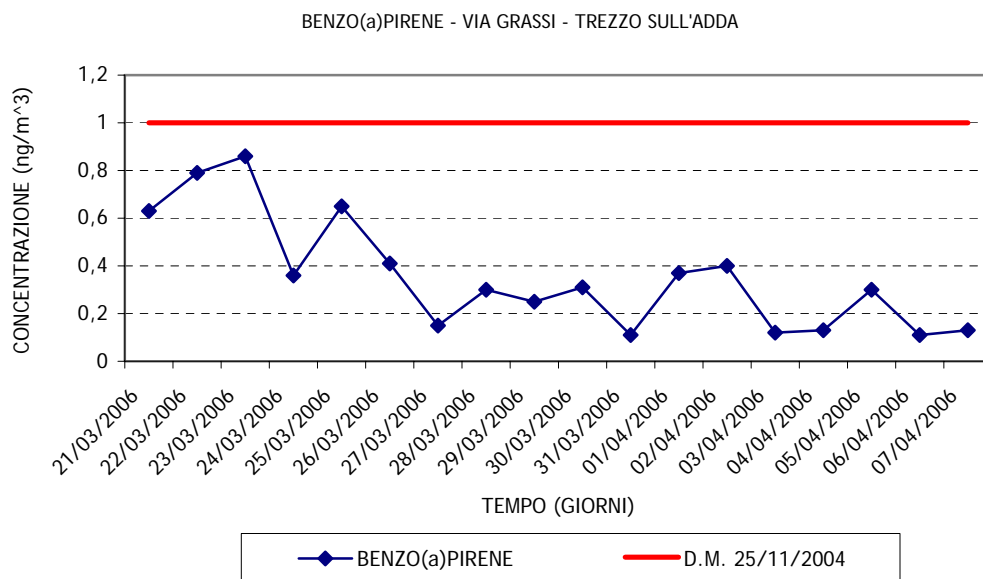

Figura 2


Figura 3

I coefficienti di correlazione (R) ottenuti confrontando le concentrazioni di IPA totali (ng/m³) con CO (mg/m³) ed NO₂ (µg/m³) mostrano una buona correlazione ($R_{CO} = 0.9$ – $R_{NO_2} = 0.6$) permettendo di ipotizzare che la formazione degli IPA nel sito di campionamento è dovuta principalmente al traffico veicolare.

Benzo(a)Pirene

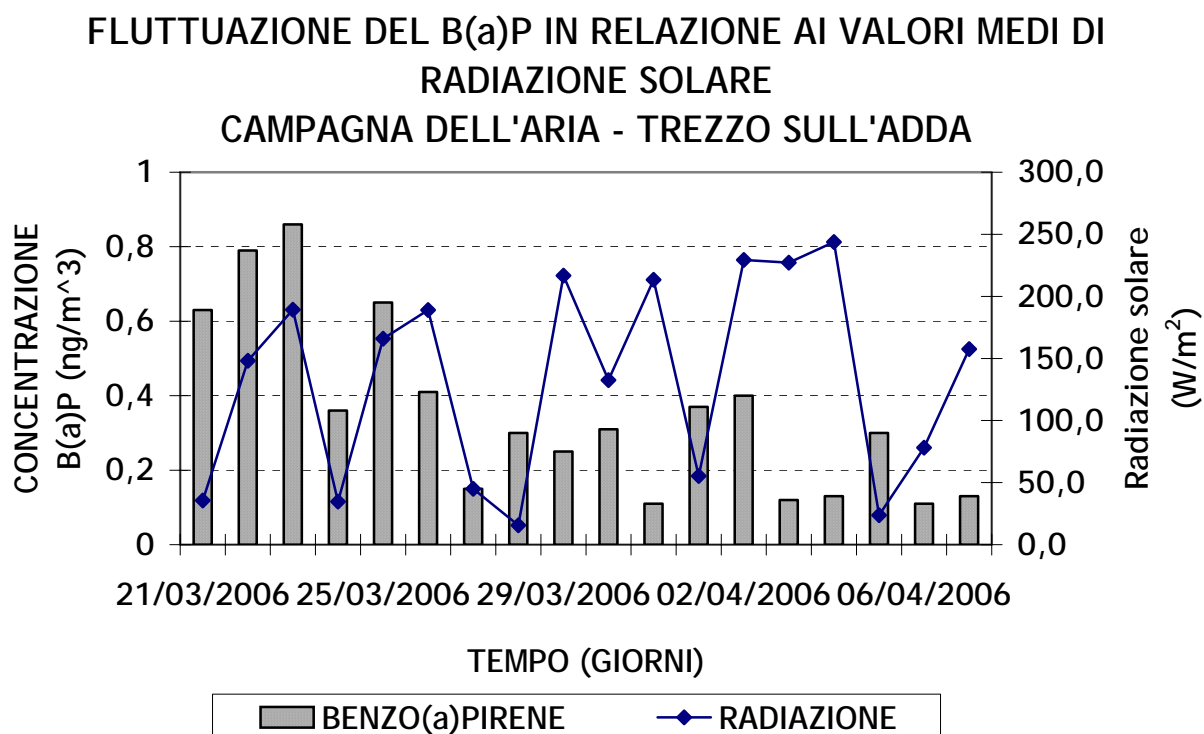
La figura 4 presenta l'andamento del benzo(a)pirene relativo al periodo di misura. Anche se non è stato possibile ricavare la media mobile annua per la scarsità di dati è possibile osservare che su 18 giorni di monitoraggio non sono stati registrati superamenti del limite di legge, fissato per questo inquinante ad 1 ng/m³ (inteso come media annuale).



Al fine poi di confermare quanto riportato in letteratura e cioè che il benzo(a)pirene può essere considerato un "marker" degli IPA, si è voluto verificare il grado di correlazione esistente tra il Benzo(a)Pirene e gli altri IPA. E' interessante notare come dal confronto sia risultata un'ottima correlazione ($R = 0.95$) fra i livelli di IPA totali e i livelli di B(a)P determinati nei campioni giornalieri ($n=18$).

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

Dai dati di letteratura risulta che gli IPA con alto peso molecolare come il benzo(a)pirene, presentino una variabilità in particolar modo con la temperatura e la radiazione solare (Halsall e coll.).



Dal grafico è possibile osservare come a picchi di radiazione corrispondano basse concentrazioni di B(a)P.

Gli IPA infatti reagiscono anche con l'ozono, come ampiamente documentato in letteratura⁸, con diversi possibili meccanismi.

Nitro - IPA

Per quanto riguarda i nitro-IPA, le aliquote estratte dai campioni di PM10 hanno dato valori di concentrazione sotto la soglia di rilevabilità del metodo (si veda tab. 1) per tale motivo non è stato possibile fare alcuna valutazione in merito a tali inquinanti.

E' possibile però dire che i livelli di Nitro-IPA rilevati nel sito di misura erano presenti in quantità non significative.

⁸ Cfr. Rindone B., Beltrame P., De Cesaris A.L.. "Il benzene ed altri composti aromatici: monitoraggio e rischi per l'uomo" - pag. 62.

BTEX

Il campionamento per la misura dei BTEX in atmosfera è stato eseguito secondo quanto previsto dal D.M. 2 Aprile 2002 con prelievi giornalieri su fiala carbone: la metodica analitica per la determinazione dei BTEX nei campioni prelevati è descritta in Appendice II.

La normativa sopra indicata prevede un obiettivo di qualità dell'aria pari a $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ su base annua delle concentrazioni di BTEX facendo riferimento alla concentrazioni di benzene.

Esaminando l'indicatore proposto dalla normativa, appare subito evidente che la scala temporale adeguata per una valutazione è generalmente quella annuale. Una campagna di misura condotta per un periodo più breve può essere utile in un'ottica di approccio preliminare alla caratterizzazione dei livelli di immissione nel luogo soggetto all'indagine.

La Tabella 1, presenta i risultati delle determinazioni analitiche dei BTEX sui singoli campioni giornalieri (8 campioni).

	IARC ^{*)}	06-apr	07-apr	08-apr	09-apr	10-apr	11-apr	12-apr	13-apr
BENZENE	1A	1,73	2,26	2,36	2,57	2,76	1,62	1,59	< 1,5
TOLUENE		5,64	7,01	7,34	7,56	7,75	5,22	6,36	4,42
ETILBENZENE		1,00	1,07	1,37	1,28	1,4	< 1,00	1,17	< 1,00
P-XILENE		1,75	1,99	2,51	2,35	2,72	1,26	2,36	< 1,00
O-XILENE		< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
M-XILENE		< 1,00	1,05	1,24	1,16	1,23	< 1,00	1,00	< 1,00

*)1A cancerogeno per l'uomo

Il grafico dei risultati analitici è riportato in figura 1, considerando i BTEX totali, intesi cioè come somma su tutto il periodo di misura delle concentrazioni giornaliere dei singoli BTEX esaminati.

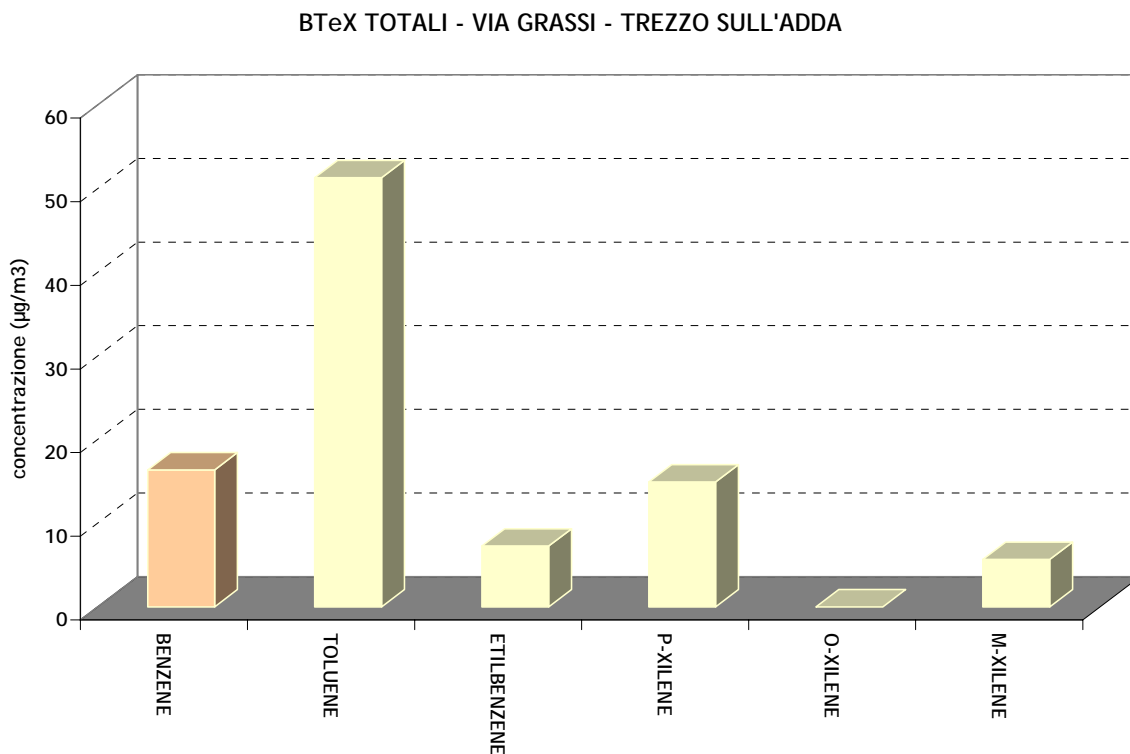
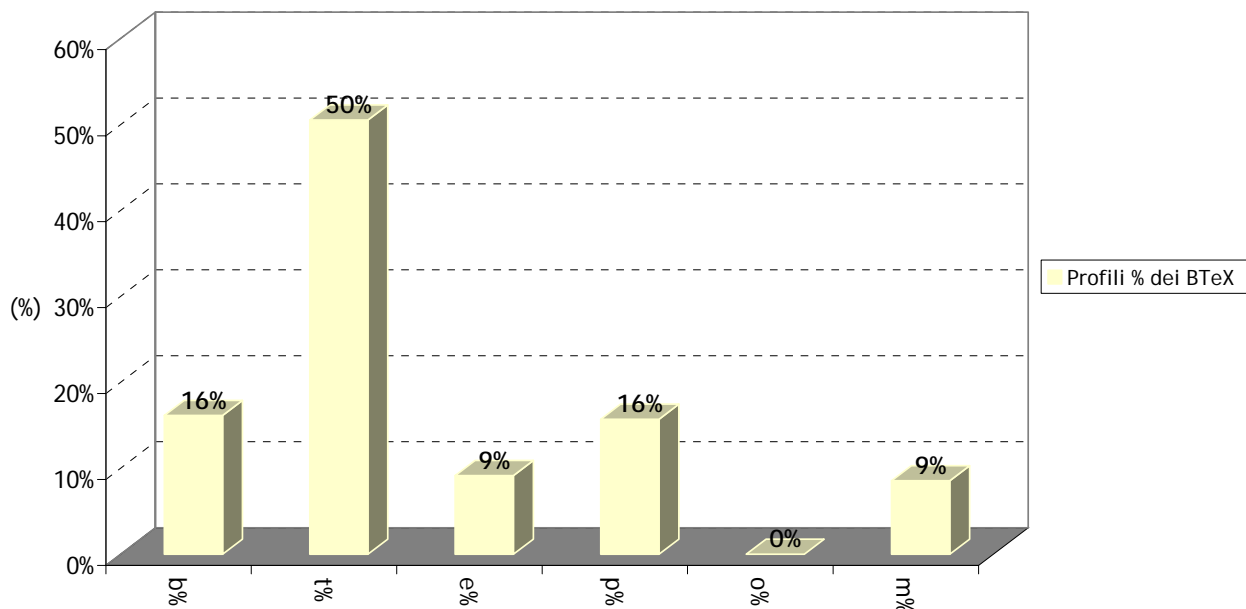


Figura 1

Le concentrazioni di benzene rilevate non sono risultate elevate; questo fatto può essere messo in relazione da un lato con il rinnovo del parco autoveicoli e motoveicoli, dall'altro con la diminuzione della quantità del benzene nelle benzine che, dal 1/6/99, è sceso al di sotto dell'1%.

Profili % dei BTeX rilevati durante la campagna di misura - via Grassi - Trezzo sull'Adda



b% = benzene/ Σ BTeX
 t% = toluene/ Σ BTeX
 e% =etilbenzene/ Σ BTeX
 p% =p-Xilene/ Σ BTeX
 o% =o-Xilene/ Σ BTeX
 m% =m-Xilene/ Σ BeX

Non essendo disponibili dati di flussi di traffico veicolare lungo l'autostrada, nel tratto d'interesse, non è stato possibile valutare l'esistenza di una relazione con le concentrazioni dei BTEX.

Si è tuttavia considerato il rapporto toluene/benzene, caratteristico delle emissioni dei veicoli con motore a scoppio. Tale rapporto si attesta sempre, secondo i dati di letteratura, su valori intorno a 3-4, confermando la netta prevalenza del toluene aerodisperso su ciascuno degli altri idrocarburi aromatici leggeri.

Nel profilo ricavato nel sovrastante grafico è possibile infatti osservare come il 50% del contributo ai BTEX è dovuto al solo toluene.

Il valore del rapporto toluene/benzene relativo alla campagna, caratteristico in relazione alla fonte di emissione, è risultato pari a 3.1, confermando il traffico veicolare come principale sorgente.

Da dati di letteratura⁹, relativi a misure effettuate direttamente sui combustibili o in condizioni di forte dipendenza da sorgenti di scarico veicolare o evaporative, si può dedurre un

⁹ Monoaromatic compounds in ambient air of various cities: a focus on correlations between the xylenes and ethylbenzene - Anne Monod et al. Atmospheric Environment 35 (2001) 135-149.

rapporto Xileni/Etilbenzene relativamente costante (da 2.8 a 4.6), con valor medio 3.5.

Nel presente lavoro sembrerebbe essere confermata la componente traffico veicolare come principale sorgente essendoci un rapporto (m+p)Cilene/Etilbenzene ~ 2.6 .

Anche se le concentrazioni di m-xilene e di p-xilene¹⁰ variano su un ampio spettro di valori, esse si sono rivelate ottimamente correlate tra loro ($R^2=0.99$).

È chiaro da quanto finora detto che i C2-alchilbenzeni (xileni ed etilbenzene) sembrerebbero essere emessi dalla stessa sorgente traffico veicolare.

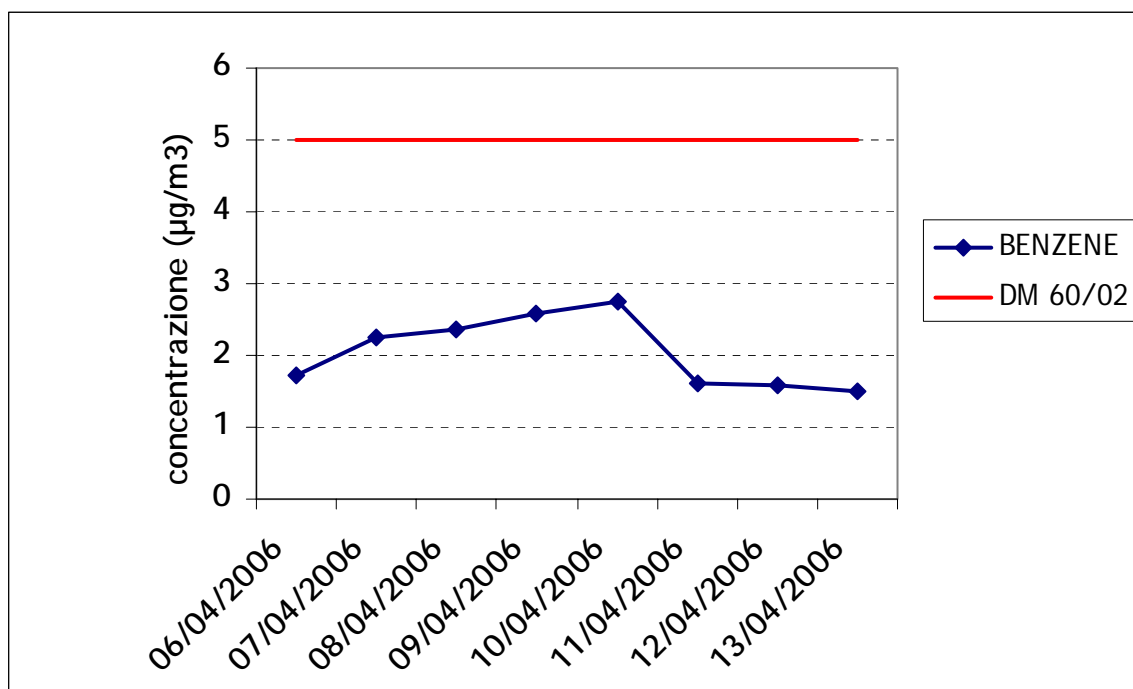
Si è studiata allora la correlazione di uno di essi con il toluene, composto aromatico tipico dell'ambiente urbano; tra i C2-alchilbenzeni si è scelto l'etilbenzene che ha vita media in atmosfera confrontabile con quella del toluene. La buona correlazione ($R=0.99$) sembrerebbe confermare le ipotesi fatte.

Benzene

Nel seguito si analizzeranno solo le concentrazioni di benzene, che è l'unico inquinante normato secondo il DL60 del 02/04/02 e secondo le direttive Europee. Infatti, diversi studi hanno dimostrato sia la cancerogenicità che l'elevata tossicità del solo benzene, a differenza di tutti gli altri idrocarburi aromatici che non presentano tali caratteristiche.

La figura presenta l'andamento del benzene relativo al periodo di misura. Anche se non è stato possibile ricavare la media mobile annua per la scarsità di dati è possibile osservare che su 8 giorni di monitoraggio non sono stati registrati superamenti del limite di legge, fissato per questo inquinante a $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (inteso come media annuale¹¹).

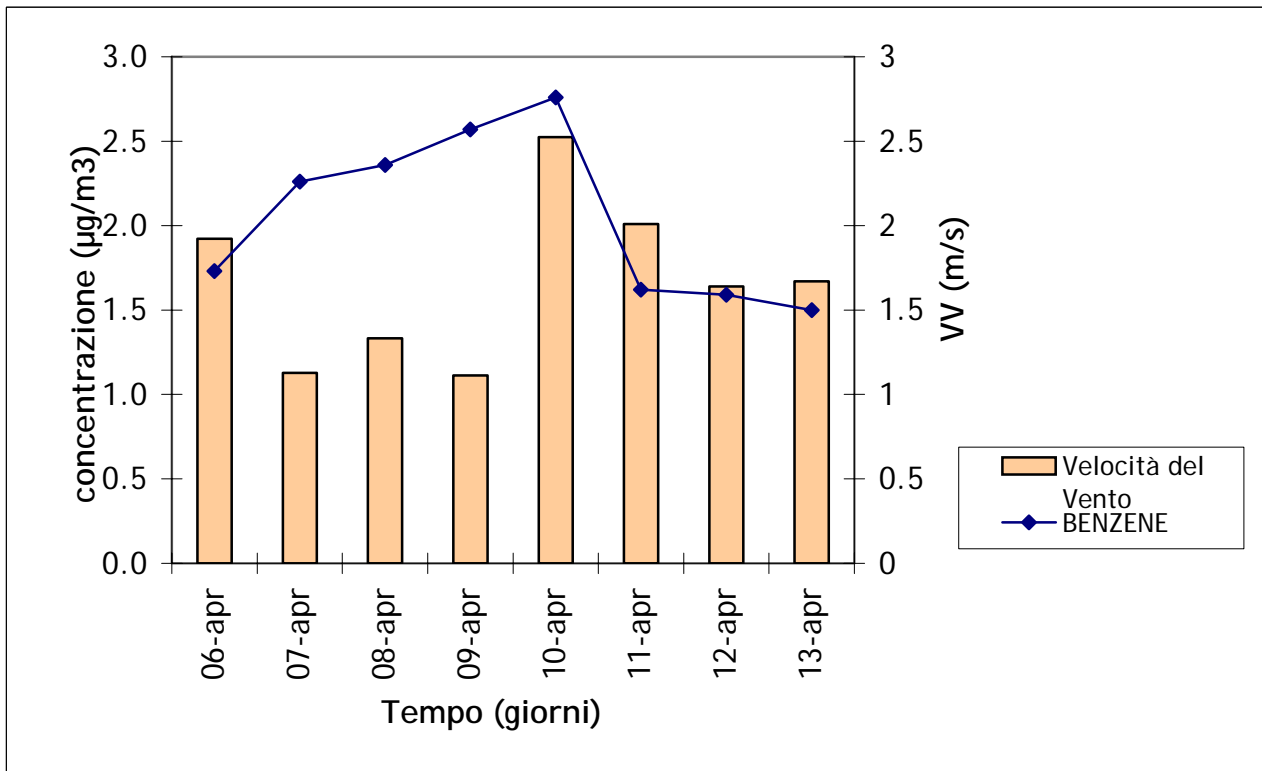
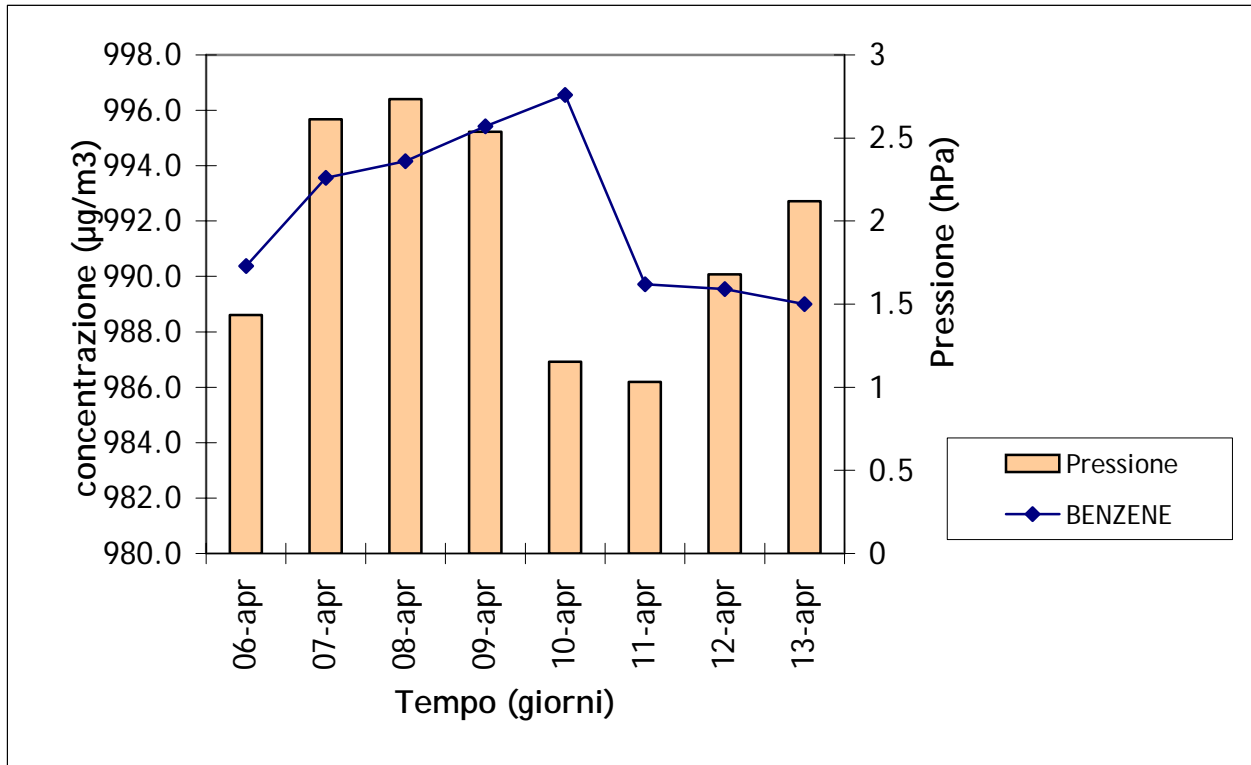
Il massimo di concentrazione media giornaliera è stato di $2.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ registrato lunedì 10 aprile.

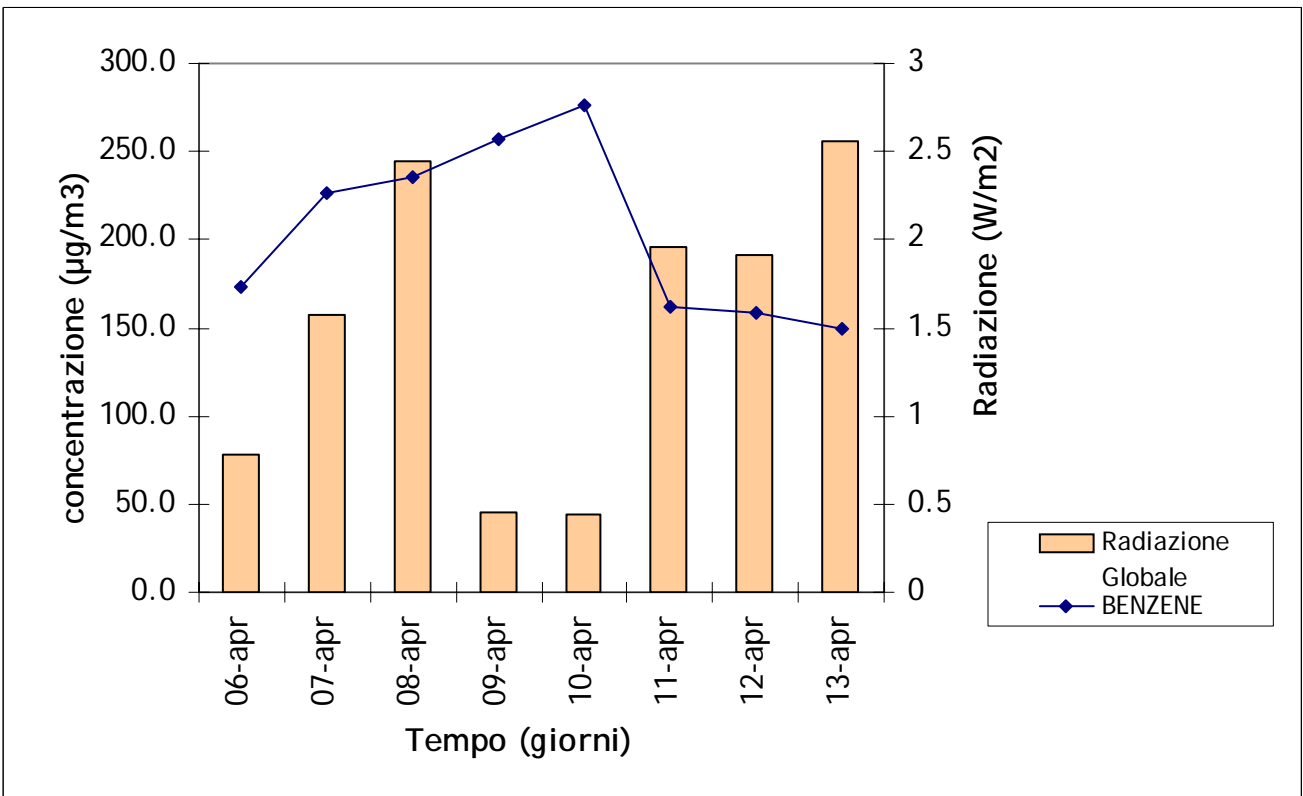
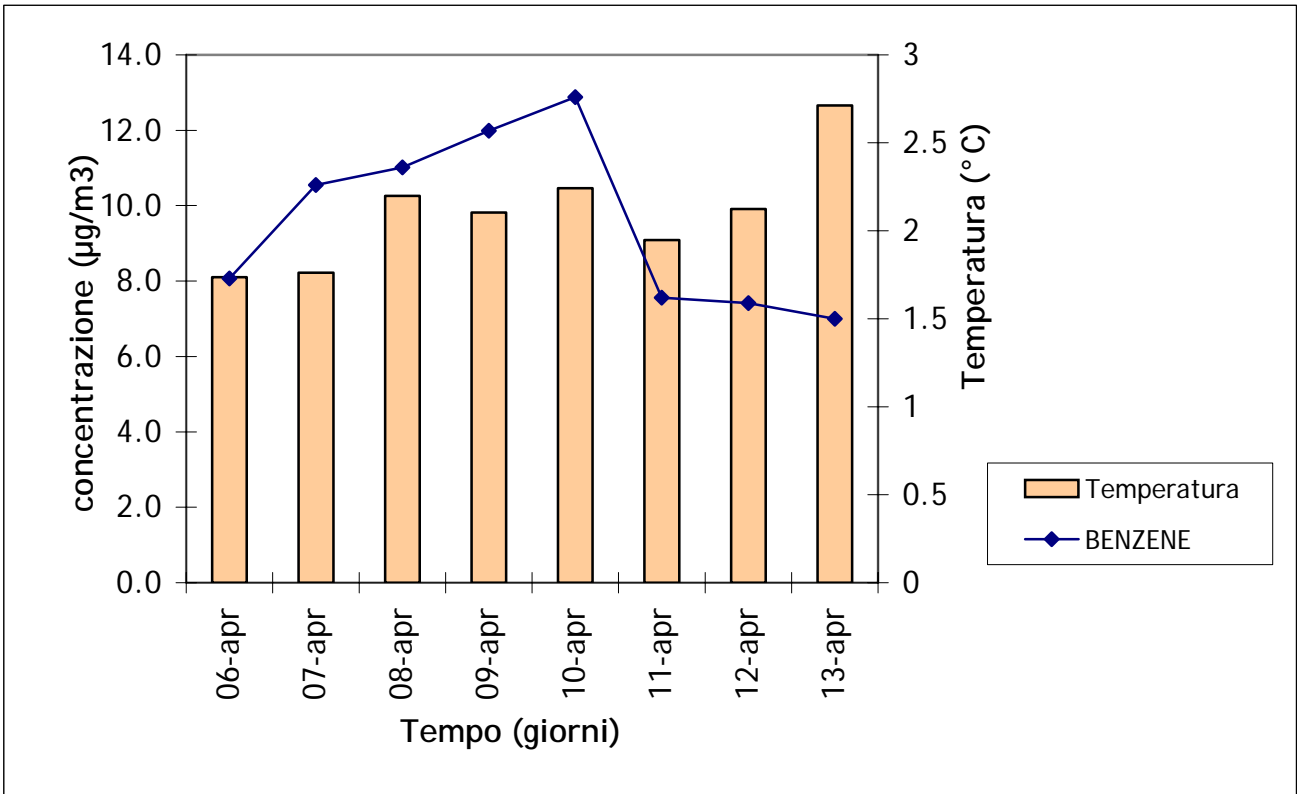


Sembrerebbe che le condizioni meteorologiche del giorno 10 aprile abbiano favorito l'accumulo di questo inquinante.

¹⁰ Sono state calcolate le correlazioni anche se i dati erano insufficienti per una statistica corretta.

¹¹ A cui va aggiunto un margine di tolleranza pari a 2 per il 2006





Aldeidi

Il campionamento per la misura delle aldeidi in atmosfera è stato eseguito con prelievi giornalieri su fiale di gel di silice: la metodica analitica per la determinazione delle Aldeidi nei campioni prelevati è descritta in Appendice III.

La Tabella 1, presenta i risultati delle determinazioni analitiche delle Aldeidi sui singoli campioni giornalieri (18 campioni).

Il grafico dei risultati analitici è riportato in figura 1, considerando le Aldeidi totali, intese cioè come somma su tutto il periodo di misura delle concentrazioni giornaliere delle singole aldeidi esaminate.

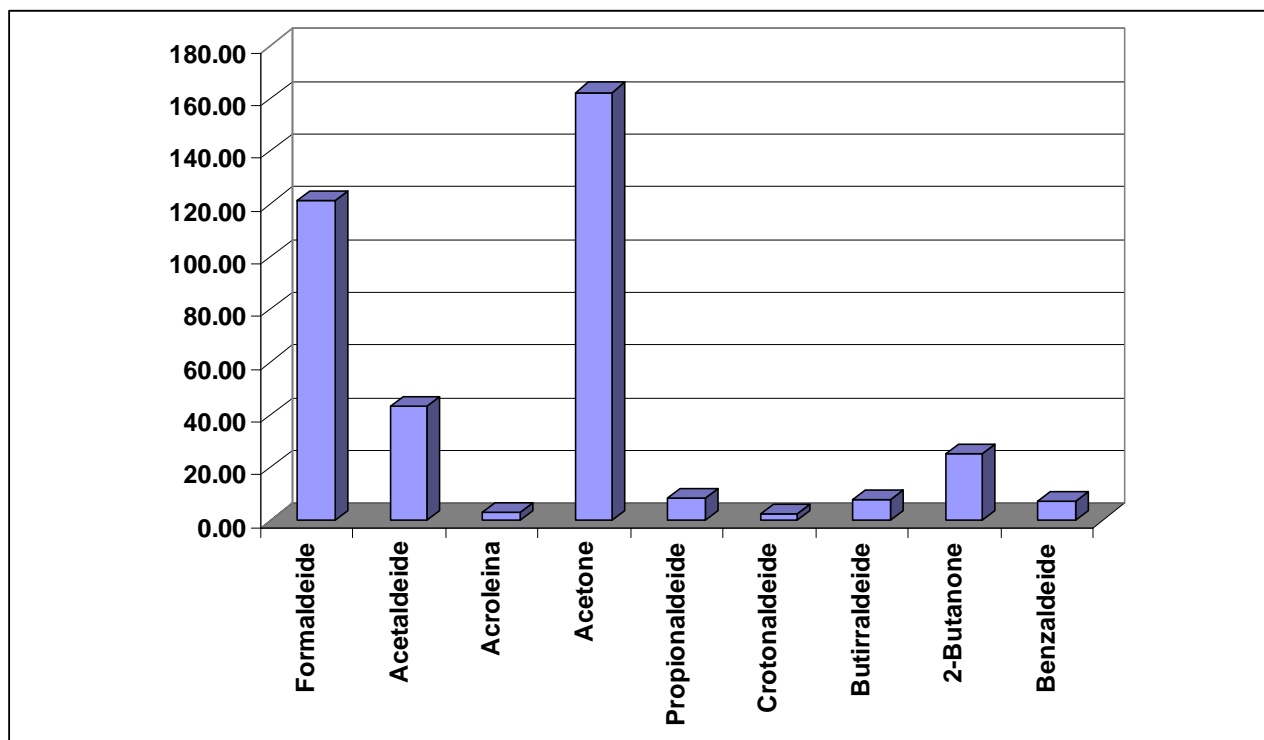



Figura 1

Tabella 1

DATA	Formaldeide	Acetaldeide	Acroleina	Acetone	Propionaldeide	Crotonaldeide	Butirraldeide	2-Butanone	Benzaldeide
21/03/2006	8.98	0.14	0.14	4.03	0.14	0.14	0.14	0.16	0.14
22/03/2006	10.08	2.02	0.14	15.16	0.82	0.14	0.69	3.46	0.66
23/03/2006	8.49	4.15	0.14	58.54	1.03	0.14	0.74	6.76	0.50
24/03/2006	7.19	1.84	0.14	8.77	0.83	0.14	0.53	2.00	0.43
25/03/2006	6.24	2.69	0.14	8.99	1.14	0.14	0.61	1.08	0.47
26/03/2006	6.65	2.58	0.14	10.24	1.02	0.14	0.73	2.14	1.30
27/03/2006									
28/03/2006									
29/03/2006									
30/03/2006	6.18	2.71	0.14	7.00	0.47	0.14	0.47	2.26	0.41
31/03/2006	6.71	2.98	0.14	1.56	0.23	0.14	0.4	0.14	0.34
01/04/2006	9.64	2.78	0.14	6.81	0.14	0.14	0.14	1.48	0.51
02/04/2006	6.91	2.69	0.14	2.36	0.34	0.14	0.14	0.92	0.42
03/04/2006	5.44	2.61	0.39	3.67	0.4	0.14	0.29	0.14	0.14
04/04/2006	4.97	2.34	0.14	2.34	0.26	0.14	0.38	0.14	0.14
05/04/2006	5.94	0.42	0.14	4.48	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
06/04/2006									
07/04/2006	4.06	1.73	0.14	4.66	0.18	0.14	0.35	0.32	0.14
08/04/2006	5.93	3.61	0.14	5.63	0.33	0.14	0.51	1.37	0.41
09/04/2006	6.4	3.48	0.14	8.06	0.54	0.14	0.43	1.21	0.43
10/04/2006	6.8	2.27	0.14	4.25	0.14	0.14	0.49	1	0.65
11/04/2006									
12/04/2006	4.51	2.35	0.24	5.77	0.38	0.14	0.31	0.38	0.14

rosso=valore inferiore alla soglia strumentale

 Campioni con problemi nel prelievo

Conclusioni

Il monitoraggio eseguito in via Grassi, in prossimità di un tratto dell'autostrada A4 nel comune di Trezzo sull'Adda, nonostante il breve periodo di misura, rappresentativo però di una situazione primaverile, ha consentito, sulla base dei dati raccolti, di verificare l'influenza dell'autostrada sulla qualità dell'aria del comune di Trezzo sull'Adda, interessato da un'alta densità abitativa e da importanti assi viari comunale ed intercomunali che rendono nel complesso il suo territorio trafficato.

La non correlazione osservata tra gli ossidi di azoto rilevati nel sito di misura con quelli delle centraline fisse fa supporre che il traffico lungo tale tratto autostradale, con veicoli in regime di marcia sostenuta e in fase di accelerazione, favorisca l'accumulo di questa classe di inquinanti, influenzando la qualità dell'aria del Comune.

Non avendo a disposizione dati di traffico lungo il tratto autostradale monitorato è stato comunque possibile desumere le fasce orarie di maggior traffico dal grafico del giorno tipo degli ossidi di azoto.

Le condizioni meteorologiche, in particolare la radiazione solare, hanno favorito la formazione di biossido di azoto a scapito dell'ozono soprattutto durante i giorni feriali quando il traffico è maggiore.

Dall'analisi dei dati è possibile osservare come le concentrazioni di monossido di carbonio siano risultate invece decisamente basse e comunque di molto inferiori a quelle solitamente riscontrate in aree cittadine; ciò è giustificato dal fatto che, essendo il traffico di tipo autostradale solitamente scorrevole e caratterizzato da veicoli che procedono a velocità sostenuta, l'efficienza di combustione dei motori è elevata e ciò comporta una bassa emissione di CO dagli scarichi dei veicoli. E' possibile quindi concludere che le concentrazioni di CO rilevate sono tipiche di zona di fondo urbano e la loro influenza sulla qualità dell'aria del Comune sembra essere trascurabile. Se infatti si confrontano le concentrazioni misurate con Laboratorio Mobile con quelle della stazione suburbana di fondo del comune di Trezzo si osserva che i dati sono ben correlati ($R=0.7$) e che i valori sono simili.

Lo studio ha evidenziato delle criticità ambientali per quanto riguarda le sole concentrazioni di PM10 per cui si sono verificati frequenti episodi di superamento dei limiti (19 superamenti su 30 giorni di misure).

Se comunque si osservano le concentrazioni, fatta eccezione per 2 casi in cui si sono rilevati valori superiori ai $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, i dati mostrano che i superamenti si discostano di poco dal limite di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

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

Ulteriori considerazioni sulla qualità dell'aria sono state possibili attraverso lo studio di 15 campioni di IPA, 8 di BTeX e 18 di Aldeidi, raccolti durante la campagna di misura, in quanto tali inquinanti, considerati dalla letteratura come traccianti delle molteplici fonti antropiche (industria, riscaldamento ecc.), hanno consentito di evidenziare l'impatto sulla qualità dell'aria attribuibile al traffico veicolare.

La situazione meteorologica ha comunque influenzato la qualità dell'aria nel Comune di Trezzo sull'Adda favorendo la dispersione degli inquinanti. Le numerose giornate piovose infatti unitamente ad una situazione anemologica vivace non hanno fatto registrare superamenti dei limiti eccezione fatta per il PM10.

Si può concludere che il monitoraggio ha consentito comunque una valutazione dei livelli ambientali dell'inquinamento atmosferico, permettendo di raccogliere una base di dati che potrà essere utilizzata per successive indagini ambientali al fine di ottenere informazioni mirate sulla qualità dell'aria del territorio di Trezzo sull'Adda.

	rete	Tipo zona Dec. 2001/752/CE	Tipo stazione Dec. 2001/752/CE	Quota s.l.m. (metri)	Periodo di misura
Trezzo sull'Adda Via Grassi	PUB	SUBURBANA	TRAFFICO	180	16.03 – 14.04 2006
<i>Milano Juvara</i>	PUB	URBANA	FONDO	122	Centralina Fissa
<i>Milano Verzieri</i>	PUB	URBANA	TRAFFICO	122	Centralina Fissa
<i>Pioltello</i>	PUB	URBANA	FONDO	122	Centralina Fissa
<i>Monza</i>	PUB	URBANA	FONDO	160	Centralina Fissa
<i>Trezzo sull'Adda</i>	PUB	SUBURBANA	FONDO	178	Centralina Fissa
<i>Inzago</i>	PRIV	SUBURBANA	INDUSTRIALE	138	Centralina Fissa
<i>Vimercate</i>	PUB	URBANA	FONDO	206	Centralina fissa
<i>Filago</i>	PRIV	SUBURBANA	INDUSTRIALE	190	Centralina Fissa
<i>Osio Sotto</i>	PRIV	SUBURBANA	FONDO	182	Centralina Fissa
<i>Ciserano</i>	PUB	SUBURBANA	TRAFFICO	159	Centralina fissa
<i>Pioltello</i>	PUB	URBANA	FONDO	122	Centralina fissa

rete: PUB = pubblica, PRIV = privata

tipo zona Decisione 2001/752/CE:

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

tipo stazione Decisione 2001/752/CE:

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

Biossido di azoto

	% Trend.	Media ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Dev St	Max Media1 h ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Nr. giorni superamento livello attenzione
Trezzo sull'Adda Via Grassi	98.3	70	31	151	0
<i>Milano Juvara</i>	99.5	62	21	121	0
<i>Monza</i>	98.1	44	18	107	0
<i>Trezzo sull'Adda</i>	99.5	38	17	101	0
<i>Indago</i>	99.5	37	15	80	0
<i>Vimercate</i>	97.6	46	20	112	0
<i>Filago</i>	98.9	38	9	67	0
<i>Osio Sotto</i>	99.0	34	17	85	0
<i>Ciserano</i>	98.9	34	11	64	0

Monossido di carbonio

	% Rend.	Media (mg/m ³)	Dev St	Max Media1 h (mg/m ³)	Nr. giorni superamento livello attenzione	Max Media 8 h (mg/m ³)	Nr. giorni superamento livello attenzione
Trezzo sull'Adda Via Grassi	97.8	0.8	0.3	1.7	0	1.5	0
Monza	99.5	1.3	0.6	3.8	0	3.3	0
Trezzo sull'Adda	99.5	1.0	0.4	2.4	0	1.8	0
Vimercate	97.6	1.8	0.7	4.0	0	3.2	0
Ciserano	98.9	1.5	0.3	2.8	0	2.3	0

Ozono

	%Trend.	Media ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Dev St	Max Media1 h ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Nr. giorni superamento livello attenzione	Max Media 8h ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Nr. giorni superamento Liv. Protezione per la Salute
Trezzo sull'Adda Via Grassi	100	20	18	94	0	78	0
<i>Milano Juvara</i>	99.5	18	15	80	0	64	0
<i>Monza</i>	95.5	22	22	89	0	79	0
<i>Trezzo sull'Adda</i>	99.5	47	28	123	0	110	0
<i>Inzago</i>	99.7	31	26	112	0	102	0
<i>Vimercate</i>	97.6	36	21	100	0	89	0
<i>Osio Sotto</i>	98.9	42	30	120	0	109	0

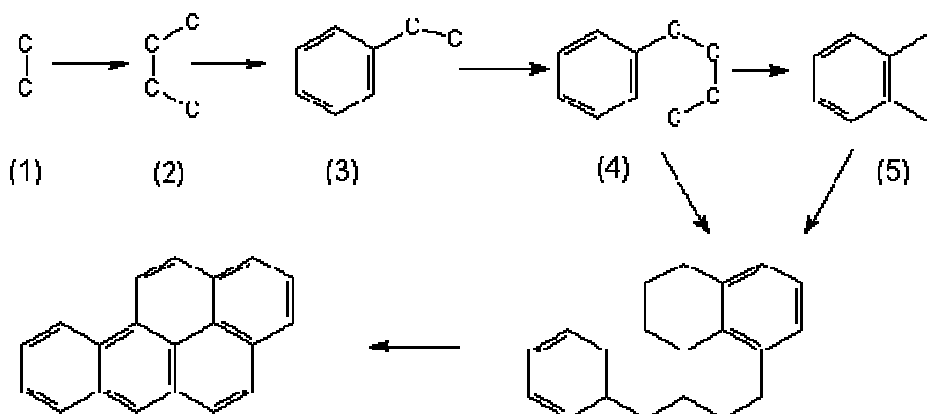
PM10

	% Rend.	Media ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Dev St	Max Media giornaliera ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Nr. giorni superamento livello attenzione
Trezzo sull'Adda Via Grassi	96.6	63	24	139	19 16 – 28 03.2006 30.03.2006 01.04.2006 08 – 10 04.2006 12.04.2006
Milano Juvara	100	44	23	107	12 16 – 23 03.2006 25.03.2006 28.03.2006 01.04.2006 10.04.2006
Milano Verzieri	82.8	48	22	98	11 16 – 17 03.2006 20 – 23 03.2006 25.03.2006 28.03.2006 08 – 10 04.2006
Pioltello	100	41	24	99	13 16 – 23 03.2006 25.03.2006 01.04.2006 08 – 09 04.2006
Vimercate	100	35	19	96	8 16 – 23 03.2006
Trezzo sull'Adda	100	58	30	161	17 16 – 26 03.2006 28.03.2006 31.03 – 01.04 2006 08 -10 04.2006
Osio Sotto	100	40	22	121	10 16 – 23 03.2006 01.04.2006 09.04.2006

APPENDICE I

Meccanismo di formazione degli IPA

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



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

Caratteristiche chimico-fisico

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

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

Gli IPA si dividono in:

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

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

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

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

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

Gli IPA sono:

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

Sorgenti di IPA nell'Ambiente

Gli IPA presenti nell'ambiente provengono da numerose fonti.

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

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

Altri fonti di emissione sono rappresentate da:

- impianti di riscaldamento alimentato a olio combustibile (in questo caso oltre ad emettere il Benzo-Nafto-Tiofene viene rilasciata una elevata quantità di Benzo(a)Antracene e Crisene);
- centrali termoelettriche;
- raffinerie;
- impianti di bitumazione;
- incenerimento dei rifiuti;
- fumo esalato dalla combustione di legno e di carbone e da altri processi di combustione in cui il carbonio del combustibile non viene completamente convertito in CO e CO₂.

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

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

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

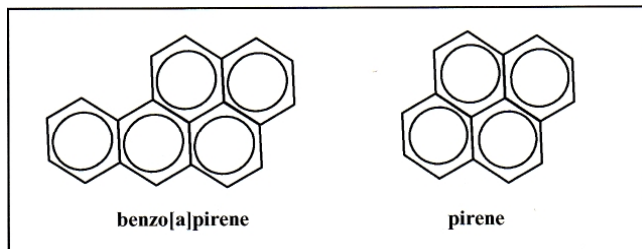
COMPOSTO	CLASSE IARC
Benzo(a)Antracene	2 A
Benzo(k)Fluorantene	2 B
Benzo(b)Fluorantene	2 B
Benzo(j)Fluorantene	2 B
Benzo(a)Pirene	2 A
Di Benzo (ah)Antracene	2 A
Indeno(1,2,3 -cd)Pirene	2 B

Legenda:

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

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

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



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

Il principio di cancerogenesi negli IPA

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

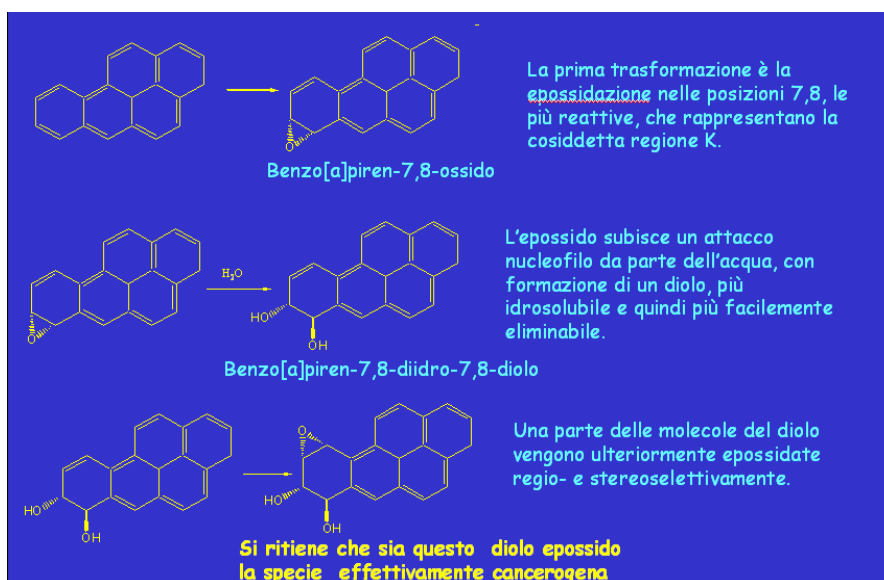
Il meccanismo con cui questi composti agiscono come cancerogeni è ancora poco chiaro e diverse teorie sono state formulate a proposito. La più conosciuta è quella della "bay region", che riguarda, tra altri composti, il benzo[a]pirene, uno degli IPA con maggiore potenziale cancerogeno.

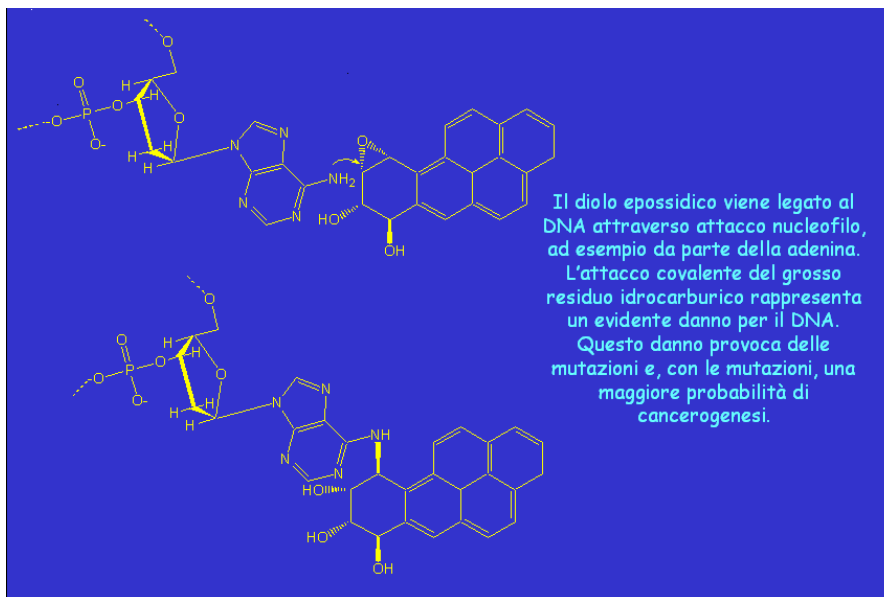
Questa teoria si basa sul metabolismo del benzo[a]pirene ad opera degli enzimi ossidativi a formare, da prima un epossido e poi un diolo epossido.

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

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

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





Addotti degli IPA al DNA e alle proteine

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

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

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

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

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

I risultati ottenuti determinando gli addotti con ciascuno di questi metodi sono scarsamente correlati, questo significa, che, soprattutto alle basse esposizioni, le tecniche misurano composti differenti. Va inoltre specificato che queste tecniche, che richiedono l'estrazione del DNA, la sua purificazione e, talvolta, la sua marcatura con atomi radioattivi, sono complesse e richiedono tempi

lunghe ed una notevole esperienza per essere eseguite. Inoltre la standardizzazione dei metodi, il controllo di qualità intra- e inter-laboratoriale sono spesso lacunosi. Per queste ragioni queste tecniche non possono essere considerate di routine.

Campionamento dell'aria per l'analisi degli IPA

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

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

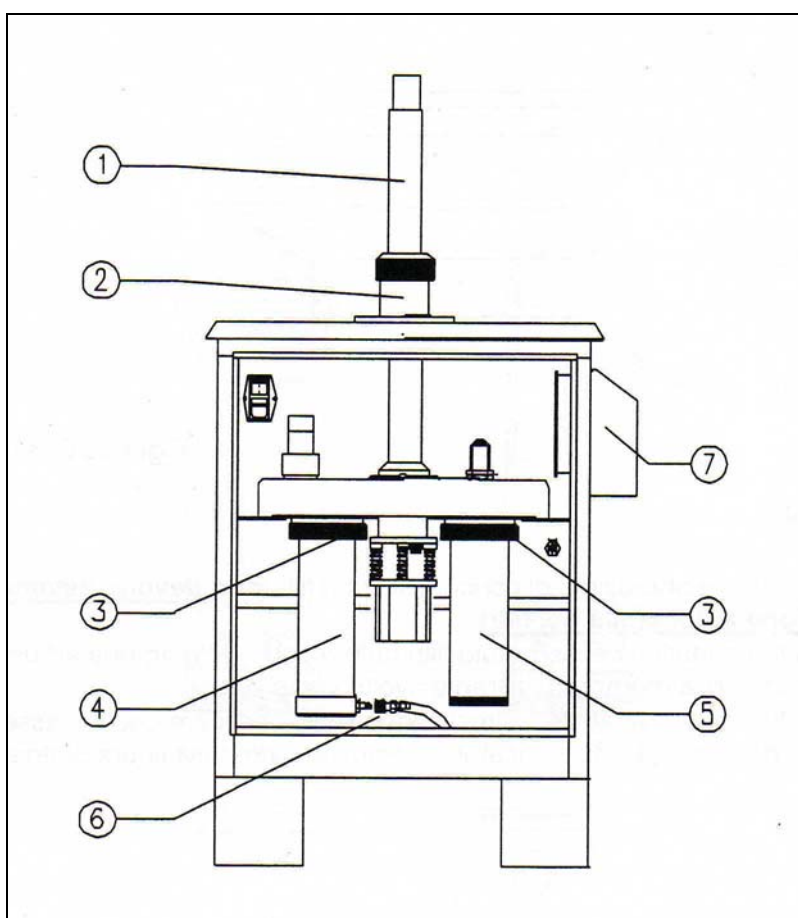


Figura 1

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

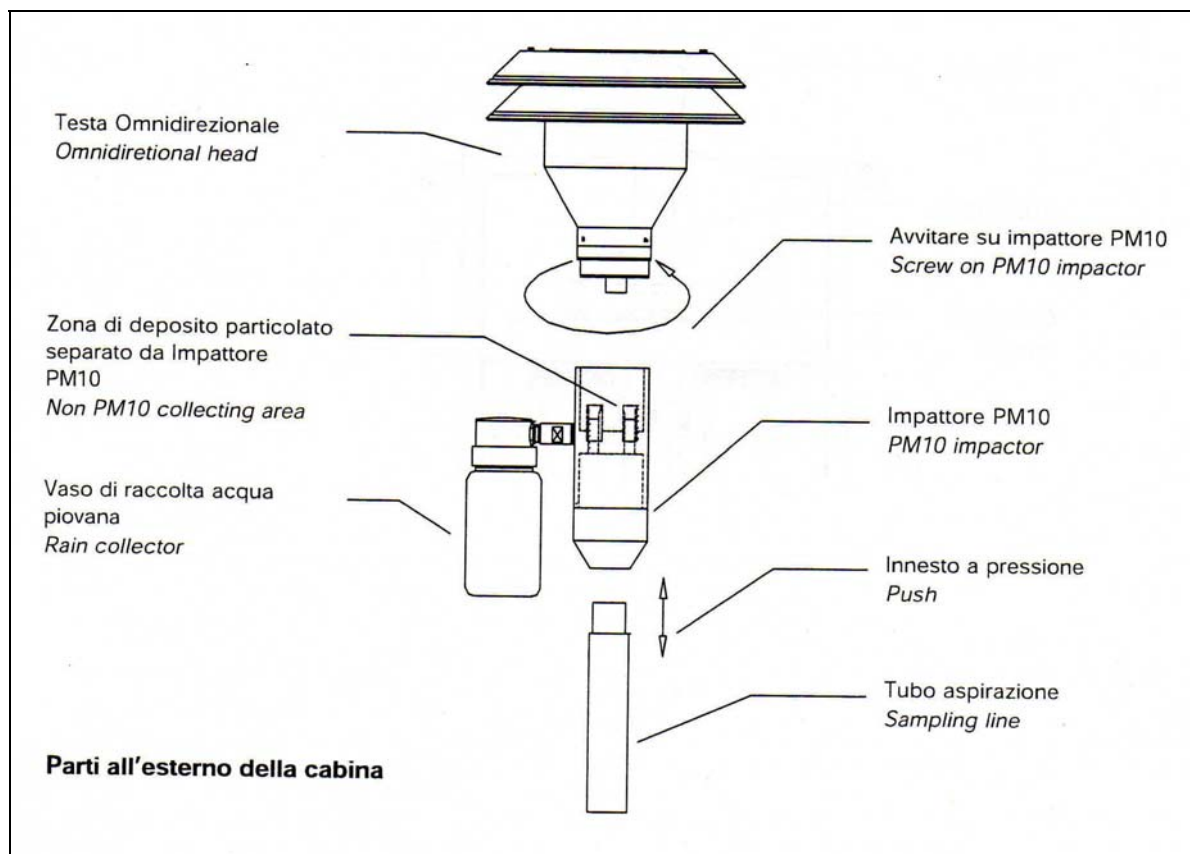


Figura 2

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

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

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

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

Metodo di riferimento per la determinazione di IPA in Aria

Questo metodo permette la determinazione degli idrocarburi policiclici aromatici con 4 - 6 anelli, presenti nel particolato atmosferico:

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

Il metodo é applicabile in ambienti esterni, a concentrazione di singoli IPA [C_{IPA}] > 0.05 ng/m³

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

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

Il materiale raccolto viene sottoposto ad estrazione con cicloesano mediante ultrasuoni. L'estratto viene poi purificato mediante cromatografia su strato sottile (TLC) di gel di silice.

L'identificazione ed il dosaggio degli IPA vengono effettuati mediante gascromatografia (GC) con colonna capillare e rivelatore a ionizzazione di fiamma. L'identificazione degli IPA viene confermata mediante gascromatografia - spettrometria di massa su campioni selezionati.

Il metodo utilizzato è stato sviluppato dall'Università di Milano Bicocca (Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e del Territorio) in collaborazione con ARPA Lombardia; permette la determinazione degli idrocarburi policiclici aromatici (IPA) e nitro derivati (nitroIPA) presenti nel particolato atmosferico.

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

Il metodo consiste nell'estrazione degli analiti dal filtro mediante bagno ad ultrasuoni con acetonitrile, comune per IPA e Nitro-IPA.

L'estratto viene suddiviso in due aliquote, la prima viene analizzata direttamente in HPLC (IPA), l'altra viene sottoposta a ulteriore trattamento mediante riduzione ad Ammino-IPA (con Si e Zn). La conversione è necessaria per rendere fluorescenti e quindi migliorare le caratteristiche di specificità e sensibilità del metodo, soprattutto in relazione alle basse concentrazioni ipotizzabili nel particolato.

Per quanto riguarda poi l'analisi degli IPA si è utilizzato e adattato un metodo già in uso presso l'U.O. Laboratorio per altre matrici (acque, terreni), mentre per i NitroIPA è stata messa a punto una nuova procedura.

Le analisi strumentali di IPA e di Nitro-IPA vengono effettuate con colonne diverse; l'utilizzo di due colonne e quindi la necessità di effettuare due corse cromatografiche è motivata dalla co-eluzione di Nitro/Ammino e alcuni IPA.

La separazione viene effettuata con lo stesso gradiente per le due colonne utilizzando Acqua ultrapura e Acetonitrile .

Il cromatogramma viene acquisito monitorando in DAD e Fluorimetria

APPENDICE II

Le aldeidi

Le Aldeidi sono composti chimici organici, contenenti il gruppo caratteristico *CHO* (gruppo aldeidico), il cui nome deriva da *a(col) deid* (rogenato). La denominazione delle diverse aldeidi deriva dall'acido corrispondente: esempio acido acetico-aldeide acetica.

I composti carbonilici considerati ai fini del monitoraggio chimico-fisico sono i seguenti:

- formaldeide
- acetaldeide
- acroleina
- acetone
- propionaldeide
- crotonaldeide.
- butirraldeide
- 2-butanone
- benzaldeide

Meccanismo di formazione delle Aldeidi

I composti carbonilici nell'aria vengono prodotti dalla foto ossidazione degli idrocarburi incombusti. La loro concentrazione dipende dall'entità delle emissioni dirette provenienti dai gas di scarico dei motori a combustione interna (anche se non è ancora chiaro il meccanismo di formazione durante la combustione), oltre che da processi di formazione in atmosfera dovuti a reazioni fotochimiche che coinvolgono precursori gassosi emessi dagli autoveicoli. I risultati indicano che le sorgenti dei composti carbonilici sono naturali e antropogeniche.

Si potrebbe fare l'ipotesi che durante l'estate le reazioni fotochimiche potrebbero essere la sorgente principale per i composti carbonilici nell'aria ambiente, mentre durante l'inverno la sorgente principale potrebbe essere rappresentata dal gas di scarico dei veicoli.

Caratteristiche chimico-fisico di alcuni composti carbonilici

Formaldeide:

è un gas incolore con odore penetrante e soffocante a temperatura ambiente.

Proprietà chimico-fisiche

Formola chimica	CH ₂ O
Peso molecolare	30.03 g mol ⁻¹
Pressione di vapore	10 mmHg a -88 °C

Esposizione in ambiente

le principali sorgenti di immissione di formaldeide in ambiente sono:

- gas di scarico veicolare sia diesel che benzina;
- emissioni industriali;
- inceneritori;
- prodotto secondario di fotoossidazione di idrocarburi (alcani e alcheni);
- in ambienti indoor è rilasciata dai mobili in truciolato e compensato (soprattutto se nuovi) e dal fumo di sigaretta;

I livelli di formaldeide più alti sono stati riscontrati in aria indoor (tra 9 e 70 µg m⁻³ in appartamenti). La concentrazione media rilevata per ambienti urbani varia tra 13,5 e 24,5 µg m⁻³.

Tossicità acuta e cancerogenicità

La formaldeide è il composto più investigato tra i composti carbonilici per via della sua presenza nei luoghi di lavoro. L'esposizione principale è di tipo inalatorio. La formaldeide ha caratteristiche di tossicità simili a quelle di altri solventi, e può quindi provocare irritazione delle mucose oculari e delle prime vie aeree, iperattività bronchiale, asma, cefalea.

Da alcuni studi sono emersi disturbi psicologici e neurologici quali perdita della memoria a breve termine e ansia.

A livello nazionale ed internazionale l'evidenza cancerogena dell'aldeide formica è messa in risalto da una serie di classificazioni, riportate nella seguente tabella:

ENTE CLASSIFICAZIONE NOTE	
CEE	3 Possibili effetti cancerogeni
CCTN	2 Sostanza che dovrebbe considerarsi cancerogena per l'uomo
IARC	A Cancerogeno accertato per l'uomo
NTP RAHC	Sostanza ragionevolmente anticipata come cancerogena per l'uomo
ACGIH	A2 Sospetto cancerogeno per l'uomo
US-EPA	B1 Probabile cancerogeno per l'uomo
NIOSH	Potenziale cancerogeno

Il fattore di rischio specifico (FRS), calcolato dall'EPA è di $1.3 \cdot 10^{-5} (\mu\text{g m}^{-3})^{-1}$.

Acetaldeide

L'acetaldeide è un liquido incolore infiammabile e miscibile con acqua. Ha un odore pungente e soffocante, ma in concentrazioni diluite diventa gradevole.

Proprietà chimico-fisiche

Formula chimica	Peso molecolare	Tensione di vapore
CH ₃ CHO	44,06 g mol ⁻¹	740 mmHg a 20 °C

Esposizione in ambiente

L'acetaldeide è un composto chimico ubiquitario dell'ambiente. Oltre ad essere un prodotto intermedio della respirazione delle piante, si forma dalla combustione incompleta del legno, dai camini, dal trattamento di alcuni alimenti (per esempio dalla tostatura del caffè), dal fumo di sigarette, da emissioni autoveicolari, dalla raffinazione del carbone e da impianti di trattamento dei rifiuti. È da sottolineare che le maggiori sorgenti di emissione sono camini residenziali e stufe a legna, seguite da varie emissioni industriali.

L'acetaldeide si forma nel corpo umano a seguito della scissione dell'etanolo.

Tossicità acuta e cancerogenicità

Non sono disponibili dati riguardanti gli effetti dell'acetaldeide sulla riproduzione e sullo sviluppo nell'uomo. Risultati ottenuti da studi su animali suggeriscono che l'acetaldeide abbia un potenziale tossico sulla crescita delle cavie da laboratorio; non è stata invece caratterizzata la tossicità in ambito riproduttivo.

L'effetto primario acuto dell'acetaldeide, derivante dall'esposizione per inalazione, è irritazione degli occhi, della pelle e delle vie respiratorie nell'uomo. Possono anche verificarsi eritemi, tosse, edema polmonare, necrosi e, in alte concentrazioni, paralisi respiratoria e morte. I sintomi di intossicazione cronica da acetaldeide nell'uomo sono simili a quelli dell'alcolismo.

I dati sulla cancerogenicità nell'uomo sono inadeguati, in quanto i pochi studi epidemiologici disponibili sono stati condotti per un periodo di esposizione troppo breve, con un numero di soggetti studiati insufficiente, concorrente esposizione ad altri composti chimici e sigarette, ecc.

ENTE	CLASSIFICAZIONE
EPA	B2 (probabile cancerogeno umano di bassa pericolosità)

Il FRS per EPA è $2,2 \times 10^{-6}$ ($\mu\text{g m}^{-3}$)⁻¹

Acroleina

L'acroleina o aldeide acrilica è la più semplice aldeide a doppio legame e deve il nome al suo odore straordinariamente pungente e penetrante; si presenta come un liquido incolore, facilmente volatile.

Proprietà chimico-fisiche

Formula chimica	Peso molecolare	Tensione di vapore	Punto di ebollizione
$\text{H}_2\text{C}=\text{CH}-\text{CHO}$	56.06 g mol ⁻¹	29kPa 20°C	53°C

Tossicità acuta e cancerogenicità

È gravemente irritante per gli occhi, la cute e il tratto respiratorio. L'inalazione di questa sostanza ad elevate concentrazioni può causare edema polmonare.

Una contaminazione dannosa dell'aria può essere raggiunta molto rapidamente per evaporazione della sostanza a 20°C. La sostanza può essere assorbita nell'organismo per inalazione dei suoi vapori, attraverso la cute e per ingestione.

L'EPA l'ha classificato come un sospetto cancerogeno per l'uomo.

Acetone

L'acetone è un liquido incolore chiaro ed infiammabile.

Proprietà chimico-fisiche

Formula chimica	Peso molecolare	Tensione di vapore	Punto di ebollizione
CH_3COCH_3	58,08 g mol ⁻¹	180 mmHg a 20 °C	56 °C

Esposizione in ambiente

Origine primaria: traffico sia diesel che a benzina, emissioni industriali, vegetazione.

Origine secondaria: ossidazione di propano e 2-propanolo con OH.

Questo composto è utilizzato nella produzione di vernici, lacche, composti organici e farmaceutici, adesivi, acido acetico, cloroformio, iodoformio, esplosivi, films fotografici, ecc. È inoltre impiegato come solvente per acetato di cellulosa, nitrocellulosa, acetilene, grassi, olii, resine e plastiche.

Tossicità acuta e cancerogenicità

Moderatamente tossico per ingestione e inalazione, irritante per occhi, pelle e vie respiratorie. Narcotico in alte concentrazioni. Qualora venga scaldato, la decomposizione causa emissione di fumi tossici di CO, CO₂ e altri composti organici.

ENTE	CLASSIFICAZIONE
EPA	D (non cancerogeno per l'uomo)

La Classificazione dell'EPA è basata sulla mancanza di dati in materia di cancerogenicità su uomo o animali.

Butirraldeide

Liquido incolore infiammabile

Proprietà chimico-fisiche

Formula chimica	Peso molecolare	Tensione di vapore
CH ₃ CH ₂ CH ₂ CHO	72,10 g mol ⁻¹	95,1 mmHg a 20 °C

Esposizione in ambiente

Può essere immesso nell'ambiente da scarichi industriali. È infatti utilizzato come intermedio nella sintesi di plastiche, gomme, resine sintetiche e solventi.

Deriva dal traffico veicolare e, come origine secondaria, da ossidazione di 2-pentene con OH ed O₃ e di 1-butanolo con OH.

Tossicità acuta e cancerogenicità

È irritante per pelle, occhi e vie respiratorie, è narcotizzante ed è provato provocare problemi alla capacità riproduttiva con diminuzione della fertilità nell'uomo.

Sulla cancerogenicità sono in corso degli studi non ancora conclusi, quindi al momento non si può affermare nulla in merito.

Crotonaldeide

Liquido incolore infiammabile

Proprietà chimico-fisiche

Formula chimica	Peso molecolare	Tensione di vapore
CH ₃ CH=CHCHO	70,09 g mol ⁻¹	19 mmHg a 20 °C

Esposizione in ambiente

Deriva da traffico veicolare e, come origine secondaria, da ossidazione di 2-pentene con OH.

Tossicità acuta e cancerogenicità

È irritante per pelle, occhi e vie respiratorie, è narcotizzante ed è provato provocare problemi alla capacità riproduttiva con diminuzione della fertilità nell'uomo.

Classificazione EPA: C (possibile cancerogeno umano). Tale classificazione è basata sulla mancanza di dati epidemiologici per l'uomo e sull'incremento, evidenziato su femmine di ratti, dei carcinomi a livello epatocellulare e di noduli neoplasici epatici. La possibile cancerogenicità della crotonaldeide è supportata da attività genotossica e dalla sua elevata reattività.

La crotonaldeide è un possibile metabolita dell' N-nitrosopirrolidina, classificato B2 ossia probabile cancerogeno umano.

Propionaldeide

Liquido incolore infiammabile

Proprietà chimico-fisiche

Formula chimica	Peso molecolare
C ₃ H ₆ O	58,08 g mol ⁻¹

Esposizione in ambiente

Deriva da traffico veicolare e, come origine secondaria, da ossidazione di 2-pentene con OH.

Tossicità acuta e cancerogenicità

La propionaldeide risulta irritante per contatto, ingestione ed inalazione. Non sono disponibili informazioni definitive sulla sua tossicità, né nell'uomo né in animali da laboratorio, anche se gli scarsi test condotti finora non hanno escluso proprietà pericolose.

Benzaldeide

La benzaldeide è un composto con formula chimica strutturalmente assimilabile ad un benzene in cui uno degli atomi di idrogeno è sostituito da un gruppo aldeidico. Tale composto è il più semplice membro della categoria delle aldeidi aromatiche nonché quello più sfruttato a livello industriale.

A temperatura ambiente si presenta come un liquido incolore con un piacevole e caratteristico odore di mandorla: la benzaldeide è infatti un importante componente dell'aroma delle mandorle. Sebbene sia solo leggermente solubile in acqua, essa è invece completamente miscibile con l'etanolo.

Proprietà chimico-fisiche

Formula chimica	Peso molecolare
C ₆ H ₅ CHO	106.13 g/mol

Esposizione in ambiente

La benzaldeide può essere preparata ricorrendo a diversi processi chimici. Attualmente le metodiche più utilizzate prevedono la clorazione oppure l'ossidazione del toluene in fase liquida. Esistono tuttavia altre vie sintetiche per lo più abbandonate a livello industriale fra cui: l'ossidazione parziale dell'alcol benzilico, il trattamento con basi (es: NaOH) di benzal cloruro oppure la reazione fra benzene e monossido di carbonio.

Tossicità acuta e cancerogenicità

In base alle proprietà fisico-chimiche, probabilmente le caratteristiche pericolose sono:

- per inalazione di polvere: tosse, difficoltà respiratorie irritazioni sulle vie respiratorie;
- per contatto con la pelle: irritazioni;
- per contatto oculare: irritazioni;
- per assorbimento in grandi quantità: disturbi sul sistema nervoso centrale

Campionamento dell'aria per l'analisi delle aldeidi

I prelievi di aria per l'analisi delle aldeidi sono stati effettuati tramite un campionatore Skypost Gas Tecora (fig. 1), in grado di raccogliere in autonomia fino a 24 campioni: un flusso costante di aria ambiente passa attraverso una sonda di campionamento collegata tramite un circuito pneumatico ad un gruppo meccanico composto da 24 punti di prelievo ognuno fornito di 2 elettrovalvole (figura 1).



Figura 1

Le elettrovalvole presenti agli estremi del gruppo permettono l'ingresso del campione quando sono aperte e di garantire una chiusura ermetica quando sono chiuse, impedendo una possibile contaminazione al termine del prelievo.

In figura 2 e 3 sono riportate rispettivamente lo schema di una fiala di campionamento e lo "scrubber" per l'abbattimento dell'ozono, in quanto la presenza di questa sostanza interferisce con la misura:

Il campionamento delle Aldeidi viene effettuato mediante fiale di gel di silice con derivatizzante 2,4-dinitrofenilidrazina (DNPH) (figura 2).

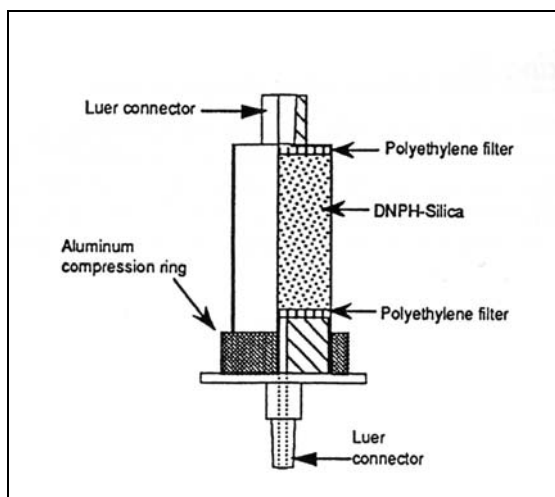


figura 2



figura 3

Metodo di riferimento per la determinazione di IPA in Aria

Il prelievo prevede il campionamento attivo (per aspirazione) dei composti carbonilici dall'aria ambiente su una fase solida costituita da gel di silice funzionalizzato con 2,4-dinitrofenilidrazina (DNPH); questa sostanza reagisce, con velocità diversa a seconda del composto in oggetto, con i composti carbonilici formando i relativi 2,4-dinitrofenilidrazoni che permangono sul supporto di campionamento.

Segue eluizione del campione con acetonitrile.

La determinazione di composti carbonilici a catena corta avviene mediante cromatografia liquida ad elevate prestazioni (HPLC).

La rilevazione di tali sostanze è possibile in seguito alla formazione di 2,4-dinitrofenilidrazoni causata dalla reazione di derivatizzazione con DNPH. Questi composti contengono un gruppo cromoforo caratteristico il cui massimo di assorbimento cade ad una lunghezza d'onda compresa fra 320 e 360 nm, a seconda del composto.

L'utilizzo della cromatografia liquida permette la separazione dei composti in esame, con eluizione isocratica o a gradiente a seconda della colonna utilizzata.

Il metodo utilizzato è stato sviluppato dall'U.O. Laboratorio del Dipartimento ARPA di Monza.

APPENDICE III

I BTEX

I composti aromatici considerati ai fini del monitoraggio chimico-fisico sono i seguenti:

- benzene
- toluene
- etilbenzene
- o, m, p-Xilene

Caratteristiche chimico-fisico di alcuni composti aromatici

Benzene

Liquido incolore, volatile, altamente infiammabile.

Proprietà chimico-fisiche

Formula chimica	C ₆ H ₆ O
Peso molecolare	78,11 g mol ⁻¹
Tensione di vapore	76 mmHg a 20 °C

Esposizione in ambiente

Nell'aria dei centri urbani la sua presenza è dovuta quasi esclusivamente alle attività di origine umana, con oltre il 90% delle emissioni attribuibili alle produzioni legate al ciclo della benzina: raffinazione, distribuzione dei carburanti e soprattutto traffico veicolare, che da solo incide per circa l'80% sul totale.

Il benzene viene prodotto su scala industriale principalmente attraverso processi di raffinazione del petrolio.

In passato il benzene è stato ampiamente utilizzato come solvente in molteplici attività industriali e artigianali (produzione di gomma, plastica, inchiostri e vernici, nell'industria calzaturiera, nella stampa a rotocalco, nell'estrazione di oli e grassi, ecc.).

La maggior parte del benzene oggi prodotto (85%) trova impiego nella chimica come materia prima per numerosi composti secondari, a loro volta utilizzati per produrre plastiche, resine, detergenti, pesticidi, intermedi per l'industria farmaceutica, vernici, collanti, inchiostri, adesivi e prodotti per la pulizia.

Il benzene è inoltre contenuto nelle benzine in cui viene aggiunto, insieme ad altri composti aromatici, per conferire le volute proprietà antidetonanti e per aumentarne il "numero di ottano" in sostituzione totale (nella benzina verde) dei composti del Piombo. Come conseguenza circa l'80% delle emissioni di benzene sono legate alla combustione di benzina, risultando quindi direttamente riconducibili al traffico autoveicolare.

Tossicità acuta e cancerogenicità

Il benzene è facilmente assorbito per inalazione, contatto cutaneo ed ingestione. Gli effetti tossici, tuttavia, hanno caratteristiche diverse e colpiscono organi sostanzialmente differenti in base alla durata dell'esposizione, se acuta o cronica.

È inserito dall'EPA nel gruppo A (cancerogeno per l'uomo, vi è sufficiente evidenza di cancerogenicità negli studi epidemiologici); dallo IARC nel gruppo 1 (cancerogeno accertato per

l'uomo: vi è sufficiente evidenza di cancerogenicità nell'uomo in studi epidemiologici adeguati). È provato che la sua cancerogenicità sia dovuta, tra le altre cause, ad aberrazioni cromosomiche strutturali e numeriche provocate nel DNA umano.

Come effetti cronici non cancerogeni può causare aumento di casi di leucemia mieloide acuta e di anemia aplastica; esercita una marcata azione immunosoppressiva.

Il valore di RfC dell'EPA, che fornisce una stima del livello di concentrazione in aria a cui la popolazione può essere ragionevolmente esposta per l'intero arco della vita senza un apprezzabile rischio di effetti negativi, è pari a $3 \times 10^{-2} \text{ mg m}^{-3}$.

L'esposizione contemporanea di benzene ed etanolo ha un effetto sinergico che può incrementarne la tossicità sull'uomo.

Il fattore di rischio specifico (FRS) secondo EPA è $8,3 \times 10^{-6} (\mu\text{g m}^{-3})^{-1}$, cioè l'inalazione di $1 \mu\text{g m}^{-3}$ per la durata di una intera vita porta ad 8,3 probabili morti per leucemia per milione di abitanti.

Toluene

Liquido incolore, infiammabile.

Proprietà chimico-fisiche

Formula chimica	C ₆ H ₅ CH ₃
Peso molecolare	92,15 g mol ⁻¹
Tensione di vapore	22 mmHg a 20 °C

Esposizione in ambiente

Il traffico veicolare è la principale sorgente di toluene in aria; seguono alcune tipologie di processi industriali che coinvolgono questo composto nel loro ciclo.

La più alta concentrazione riscontrata in aria è indoor per l'uso di comuni prodotti per la casa (vernici, adesivi) e fumo di sigaretta.

Si può andare incontro ad elevata esposizione in alcuni luoghi di lavoro, come stamperie e locali di produzione di vernici, dove il toluene è usato come solvente.

Tossicità acuta e cancerogenicità

Il sistema nervoso centrale (SNC) è il bersaglio primario della tossicità del toluene sia nell'uomo che negli animali, e sia per esposizioni acute che croniche.

Per esposizioni a basse e moderate concentrazioni, oltre a disfunzioni del SNC (spesso reversibili), si ha narcosi, fatica, mal di testa, nausea e aritmia cardiaca.

Il valore di RfC dell'EPA per il toluene è pari a $0,4 \text{ mg m}^{-3}$.

L'FRS per il toluene è $0,4 \text{ mg m}^{-3}$.

Non ci sono dati che suggeriscono la cancerogenicità del toluene, ma gli studi epidemiologici svolti sono limitati per la dimensione della popolazione e per la mancanza di monitoraggio di dati storici.

Classificazione EPA: D (non classificabile come cancerogeno, per evidenza inadeguata sia nell'uomo che negli animali da esperimento o sostanza per cui non sono disponibili dati).

Xileni

Gli xileni in miscela sono un liquido incolore dall'odore dolce.

Proprietà chimico-fisiche

Formola chimica	C ₈ H ₁₀
Peso molecolare	106,16 g mol ⁻¹
Tensione di vapore	6,72 mmHg a 21 °C

Esposizione in ambiente

L'esposizione a xilene può avvenire attraverso ognuno dei tre isomeri o una miscela dei tre.

L'emissione è principalmente da traffico veicolare.

Xileni misti sono usati nella produzione di etilbenzene ed in numerosi solventi. In aria ambiente si hanno dati sulle concentrazioni relative agli Stati Uniti, dove si sono svolti i primi e più completi studi, ed i valori in città vanno da 0.003 a 0.38 mg m⁻³.

In ambienti indoor le concentrazioni di m- e p-xilene vanno da 0.010 a 0.047 mg m⁻³, e sono dovute soprattutto all'uso di prodotti tipo vernici.

Tossicità acuta e cancerogenicità

L'esposizione cronica dell'uomo ad una miscela di xileni, come riscontrato in ambienti di lavoro, causa effetti neurologici quali emicrania, vertigini, fatica, tremori e mancata coordinazione.

Ad oggi comunque non sono stati esaustivamente testati gli effetti cronici delle miscele di xileni, tranne alcuni studi in vivo sugli animali.

Non sono quindi disponibili informazioni sulla cancerogenicità degli xileni nell'uomo. In studi svolti su animali non è riportato un incremento di tumori, anche se i risultati sono stati finora ambigui e quindi non ci sono elementi definitivi.

Classificazione EPA: D (non classificabile come cancerogeno, per evidenza inadeguata sia nell'uomo che negli animali da esperimento o sostanza per cui non sono disponibili dati).

Etilbenzene

Liquido incolore con odore simile al gasoli.

Proprietà chimico-fisiche

Formola chimica	C ₈ H ₁₀
Peso molecolare	106,16 g mol ⁻¹
Tensione di vapore	9,5 mmHg a 25°C

Esposizione in ambiente

In ambiente urbano la sorgente maggiore di etilbenzene è dovuta al traffico veicolare (motori diesel o benzina).

Tossicità acuta e cancerogenicità

Esposizioni per inalazione a lungo termine possono avere nell'uomo effetti a livello ematico.

Studi per esposizioni croniche su animali hanno riscontrato effetti su sangue, fegato e reni.

L'RfC calcolata da EPA è 1 mg m⁻³, dato risultante da studi svolti su ratti.

Classificazione EPA: D (non classificabile come cancerogeno, per evidenza inadeguata sia nell'uomo che negli animali da esperimento o sostanza per cui non sono disponibili dati).

Gli unici studi disponibili sulla cancerogenicità del composto sull'uomo sono per esposizioni di lavoro della durata di 10 anni. Tali studi non riportano insorgenza di tumori come effetto cronico. In ogni caso non posso essere tratte conclusioni certe da questa ricerca in quanto di durata insufficiente.

Studi sui ratti hanno invece dimostrato un significativo aumento dei tumori maligni per esposizione orale.

Campionamento dell'aria per l'analisi delle aldeidi

I prelievi di aria per l'analisi dei BTeX sono stati effettuati tramite un campionatore Skypost Gas Tecora (fig. 1), in grado di raccogliere in autonomia fino a 24 campioni: un flusso costante di aria ambiente passa attraverso una sonda di campionamento collegata tramite un circuito pneumatico ad un gruppo meccanico composto da 24 punti di prelievo ognuno fornito di 2 elettrovalvole (figura 1).



Figura 1

Le elettrovalvole presenti agli estremi del gruppo permettono l'ingresso del campione quando sono aperte e di garantire una chiusura ermetica quando sono chiuse, impedendo una possibile contaminazione al termine del prelievo.

Il campionamento dei BTEX viene effettuato mediante fiale di carbone attivo medio (FC) (figura 2); il flusso di aria supportato durante la fase di campionamento non deve essere superiore a 1 l/min.

In figura 2 è stata riportata la fotografia di una fiala da utilizzare per effettuare il campionamento.



figura 2

Al fine di effettuare il campionamento le estremità in vetro della fiala carbone vengono rotte e collegata al campionatore in modo da rispettare la direzione del flusso di aspirazione, così come indicato in figura 2.

Il collegamento avviene tra il punto 1 della fiala e l'elettrovalvola "A" e il punto 2 con l'elettrovalvola "B", mediante tubi al silicone.

Metodo di riferimento per la determinazione di IPA in Aria

Il prelievo di questi composti avviene attraverso il campionamento attivo su fiale di carbone con analizzatore sequenziale programmabile attivo.

In laboratorio il campione raccolto viene eluito con solfuro di carbonio (CS₂) e successivamente analizzato in GC-MS con detector FID.

Il metodo utilizzato è stato sviluppato dall'U.O. Laboratorio del Dipartimento ARPA di Monza.

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., Brancaloni, E., Frattoni, M.** 1993. Ruolo dei VOC nella formazione di ozono. Atti della giornata di studio inquinamento chimico e fotochimico in aree della Lombardia, Saronno 14 ottobre 1993.
- CISE** 1996. Disaggregazione spaziale, temporale e dei composti organici volatili del censimento delle emissioni CORINAIR 1990. Applicazione alla Regione Lombardia.
- D. lgs. Minambiente e Minsalute n. 25 novembre 1994.**
- DM n° 60 del 2/4/2002** "Recepimento della Direttiva 99/30/CE del Consiglio del 22 aprile 1999 concernente i valori limite di qualità dell'aria ambiente per il biossido di zolfo, il biossido di azoto, gli ossidi di azoto, le particelle e il piombo e della Direttiva 2000/69/CE relativa ai valori limite di qualità dell'aria ambiente per il benzene e il monossido di carbonio.
- Elias, G., Siniscalco, F.** 1972. L'inquinamento dell'aria: sorgenti, effetti e difese. Peg. **ENEA** 1995. CORINAIR project; air pollution emission inventory in Italy for the year 1990. Final report. ENEA, Dip. Ambiente, Roma.
- Fan, Z., Chen D., Birla, P., Kamens, R. M.** 1995. Modeling of nitro-polycyclic aromatic hydrocarbon formation and decay in the atmosphere. *Atm. Env.*, *29*, 1171-1181.
- 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.
- Monod Anne et al.** "Monoaromatic compounds in ambient air of various cities: a focus on correlations between the xylenes and ethylbenzene" - *Atmospheric Environment* *35* (2001) 135-149.
- Provenzano G.** "Monitoraggio degli idrocarburi Aromatici leggeri aerodispersi Nella città di Viterbo" – seconda relazione sullo stato dell'ambiente – 2003

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".

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

UNI - Commissione Ambiente – gruppo di lavoro GL4 "Qualità dell'aria" – Gruppo ristretto n. 8 (ottobre 2002) – "Pianificazione di campagne di misura della qualità dell'aria". Progetto di norma U53.00.051.0.