



Agenzia Regionale
per la Protezione dell'Ambiente
della Lombardia

DIPARTIMENTO DI BERGAMO
UNITA' OPERATIVA ARIA E AGENTI FISICI
RESPONSABILE: Dott. GIACOMO GALLINARI



Laboratorio Mobile
Campagna di Misura Inquinamento Atmosferico
COMUNE DI BERGAMO-AEROPORTO (PRIMA CAMPAGNA)
27/01/2009 - 08/02/2009

Campagna di Misura della Qualità dell'Aria

COMUNE DI BERGAMO-AEROPORTO (PRIMA CAMPAGNA)

Gestione e Manutenzione Tecnica del Laboratorio Mobile

P.Ch. Rosario Efrem Gamba

P.I. Saverio Bergamelli

Relazione *redatta* Ing. Augusto Musitelli

Dirigente Responsabile dell'Unità Operativa Aria e Agenti Fisici :

Dott. Giacomo Gallinari

Campagna di Misura della Qualità dell'Aria

COMUNE DI BERGAMO-AEROPORTO (PRIMA CAMPAGNA)

<i>Introduzione</i>	Pag. 3
Laboratorio Mobile	Pag. 3
Principali Inquinanti atmosferici	Pag. 3
Normativa	Pag. 6
<i>Campagna di Misura</i>	Pag. 8
Sito di Misura	Pag. 8
Principali Sorgenti Emissive	pag. 9
Situazione Meteorologica nel periodo di misura	pag. 12
Andamento inquinanti nel periodo di misura	pag. 14
Confronto delle misure con i dati rilevati da postazioni fisse	pag. 15
Conclusioni	pag. 15
<i>Allegato tabelle e grafici inquinanti</i>	

Introduzione

La campagna di misura nel comune di Bergamo-Aeroporto è stata condotta dal Dipartimento Provinciale di Bergamo dell'ARPA Lombardia su richiesta della Società per l'Aeroporto Civile di Bergamo (SACBO). Lo scopo della campagna era il monitoraggio della qualità dell'aria all'intorno del territorio aeroportuale. Una seconda campagna sarà effettuata nel mese di giugno 2009

A tale fine, in accordo con i tecnici dell'aeroporto, il laboratorio mobile è stato posizionato presso il cortile interno della Scuola Materna di Via Quasimodo angolo Via Ungaretti nel comune di Bergamo (vedi piantina) tra il 27 gennaio e l'8 febbraio 2009.

Il laboratorio mobile è attrezzato con strumentazione per il rilevamento di:

- Biossido di Zolfo (SO_2);
- Monossido di Carbonio (CO);
- Ossidi di Azoto (NO_x , NO e NO_2);
- Particolato Fine (PM_{10});
- Ozono (O_3).
- Benzene, Toluene e Xilene.

Laboratorio Mobile

La strumentazione utilizzata nel laboratorio mobile è del tutto simile a quella presente nelle stazioni fisse della Rete di Rilevamento della Qualità dell'Aria (RRQA). Gli analizzatori automatici installati devono rispondere alle caratteristiche previste dalla legislazione (D.M. 60/02 e D.Lvo 183/04).

Anche per le altezze dei prelievi i criteri utilizzati sono quelli indicati dalle suddette norme, in particolare:

- il Monossido di Carbonio viene prelevato a 1,6 metri dal suolo (altezza uomo) e a non più di 5 metri dal ciglio della strada;
- la sonda per il prelievo di SO_2 , NO_x , NO , NO_2 , PM_{10} , PTS , O_3 , Benzene, Toluene, Xilene viene posta tra 1.5 e 4 m sopra il livello del suolo;
- i sensori meteorologici sono posizionati all'altezza di circa 8 metri (direzione e velocità del vento) e 4,5 metri di quota (temperatura, radiazione solare, umidità relativa e pressione).

Il sito di misura prescelto rispetta i criteri di rappresentatività indicati per il posizionamento delle cabine fisse di rilevamento nell'Allegato VIII del D.M. 60 del 2 aprile 2002 e nell'Allegato IV del D.Lgs 183/04.

Principali inquinanti atmosferici regolati da normative vigente

I principali inquinanti che si trovano nell'aria possono essere divisi, schematicamente, in due gruppi: gli inquinanti primari e quelli 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.

Si descrivono di seguito le caratteristiche degli inquinanti atmosferici misurati con il laboratorio mobile.

La presenza in aria di **biossido di zolfo (SO_2)** è da ricondursi alla combustione di combustibili fossili contenenti zolfo. Dal 1970 ad oggi la tecnologia ha reso disponibili combustibili a basso tenore di zolfo, il cui utilizzo è stato imposto dalla normativa. Le concentrazioni di biossido di zolfo sono così rientrate nei limiti legislativi previsti. In particolare in questi ultimi anni grazie al passaggio al gas naturale le concentrazioni si sono ulteriormente ridotte.

Il **monossido di carbonio (CO)** ha origine da processi di combustione incompleta di composti contenenti carbonio. È un gas la cui origine, soprattutto nelle aree urbane, è da ricondursi prevalentemente al traffico autoveicolare, soprattutto ai veicoli a benzina. Le emissioni di CO dai veicoli sono maggiori in fase di decelerazione e di traffico congestionato. Le sue concentrazioni sono strettamente legate ai flussi di traffico locali, 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 a calare, grazie anche ad una migliore capacità dispersiva dell'atmosfera. In Lombardia, a partire dall'inizio degli anni '90 le concentrazioni di CO sono in calo, soprattutto grazie all'introduzione delle marmitte catalitiche sui veicoli e al miglioramento della tecnologia dei motori a combustione interna (introduzione di veicoli Euro 4).

Gli **ossidi di azoto (NO e NO₂)** vengono emessi direttamente in atmosfera a seguito di tutti i 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.

All'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. Per il biossido di azoto sono invece previsti valori limite, riassunti in tabella 2.

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 fotochimico.

A differenza degli inquinanti primari, le cui concentrazioni dipendono direttamente dalle quantità dello stesso inquinante emesse dalle sorgenti presenti nell'area, la formazione di ozono è quindi più complessa.

La chimica dell'ozono ha come punto di partenza la presenza di ossidi di azoto, che vengono emessi in grandi quantità nelle aree urbane. Sotto l'effetto della radiazione solare (rappresentata di seguito con $h\nu$), la formazione di ozono avviene in conseguenza della fotolisi del biossido di azoto:



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



Una volta generato, l'ozono reagisce con l'NO, e rigenera NO₂:



Le tre reazioni descritte formano un ciclo chiuso che, da solo, non sarebbe sufficiente a causare gli alti livelli di ozono che possono essere misurati in condizioni favorevoli alla formazione di smog fotochimico. La presenza di altri inquinanti, quali ad esempio gli idrocarburi, fornisce una diversa via di ossidazione del monossido di azoto, che provoca una produzione di NO₂ senza consumare ozono, di fatto spostando l'equilibrio del ciclo visto sopra e consentendo l'accumulo dell'O₃.

Le concentrazioni di ozono raggiungono i valori più elevati nelle ore pomeridiane delle giornate estive soleggiate. Inoltre, dato che l'ozono si forma durante il trasporto delle masse d'aria contenenti i suoi precursori, emessi soprattutto nelle aree urbane, le concentrazioni più alte si osservano soprattutto nelle zone extraurbane sottovento rispetto ai centri urbani principali. Nelle città, inoltre, la presenza di NO tende a far calare le concentrazioni di ozono, soprattutto in vicinanza di strade con alti volumi di traffico.

Il **particolato atmosferico** aerodisperso è costituito da una miscela di particelle solide e liquide, di diverse caratteristiche chimico-fisiche e diverse dimensioni. Esse possono essere di 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. Le principali sorgenti naturali sono erosione e risollevarimento del suolo, incendi, pollini, spray marino, eruzioni vulcaniche; le sorgenti antropiche si riconducono principalmente a processi di combustione (traffico autoveicolare, uso di combustibili, emissioni industriali).

L'insieme delle particelle sospese in atmosfera è chiamato PTS (Polveri Totali Sospese). Al fine di valutare l'impatto del particolato sulla salute umana si possono distinguere una frazione in grado di penetrare nelle prime vie respiratorie (naso, faringe, laringe) e una frazione in grado di giungere fino alle parti inferiori dell'apparato respiratorio (trachea, bronchi, alveoli polmonari). La prima corrisponde a particelle con diametro aerodinamico inferiore a 10 µm (PM10), la seconda a particelle con diametro aerodinamico inferiore a 2.5 µm (PM2.5).

Attualmente la legislazione europea e nazionale ha definito valori limite sulle concentrazioni giornaliere e sulle medie annuali per il solo PM10, mentre per il PM2.5 la comunità europea in collaborazione con gli enti nazionali sta effettuando le necessarie valutazioni.

Nella Tabella 1 sono riassunte, per ciascuno dei principali inquinanti atmosferici, le principali sorgenti di emissione.

Inquinanti	Principali sorgenti
Biossido di Zolfo* SO ₂	Impianti riscaldamento, centrali di potenza, combustione di prodotti organici di origine fossile contenenti zolfo (gasolio, carbone, olicombustibili)
Biossido di Azoto** NO ₂	Impianti di riscaldamento, traffico autoveicolare (in particolare quello pesante), centrali di potenza, attività industriali (processi di combustione per la sintesi dell'ossigeno e dell'azoto atmosferici)
Monossido di Carbonio* CO	Traffico autoveicolare (processi di combustione incompleta dei combustibili fossili)
Ozono** O ₃	Non ci sono significative sorgenti di emissione antropiche in atmosfera
Polveri Totali Sospese* PTS	Particelle solide o liquide aerodisperse di origine sia naturale (erosione dal suolo, ecc.) che antropica (processi di combustione)
Particolato Fine*/** PM10	Insieme di particelle con diametro aerodinamico inferiore ai 10 µm, provenienti principalmente da processi di combustione e risollevarimento
Idrocarburi non Metanici* IPA, Benzene, metalli pesanti	Traffico autoveicolare (processi di combustione incompleta, in particolare di combustibili derivati dal petrolio), evaporazione dei carburanti, alcuni processi industriali

Tabella 1: Sorgenti emissive dei principali inquinanti (* = Inquinante Primario, ** = Inquinante Secondario).

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. 60/02 – D. L.vo 183/04) allo scopo di prevenire esposizioni croniche. Per gestire episodi d'inquinamento acuto vengono invece utilizzate le soglie di allarme (D.M. 60/02 – D. L.vo 183/04). Per quanto riguarda i metalli pesanti (Arsenico, Cadmio, Nichel e Piombo) ci si riferisce al D. L.vo n. 152 del 3/8/2007.

La Tabella 2 riassume i limiti previsti dalla normativa per i diversi inquinanti considerati. Sono inclusi sia i limiti a lungo termine che i livelli di allarme. Si fa notare che il DM n. 60/02 ha introdotto, oltre ad una serie di valori limite per biossido di zolfo, biossido di azoto, ossidi di azoto, PM10, piombo, benzene e monossido di carbonio, anche il termine temporale entro il quale tali valori limite devono essere raggiunti. 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 i margini di tolleranza validi per l'anno 2006 sono indicati tra parentesi.

Tabella 2: Limiti di legge

Monossido di Carbonio	Valore Limite (mg/m ³)	Periodo di mediazione	Legislazione	
	Valore limite protezione salute umana	10	8 h	D.M. n.60 del 2/4/02

Biossido di Azoto	Valore Limite (µg/m ³)	Periodo di mediazione	Legislazione	
	Standard di qualità (98° percentile rilevato durante l'anno civile)	200	1 h	D.P.R. 203/88
	Valore limite protezione salute umana (da non superare più di 18 volte per anno civile)	200 (+10)	1 h	D.M. n.60 del 2/4/02
	Valore limite protezione salute umana	40 (+2)	Anno civile	D.M. n.60 del 2/4/02
	Soglia di allarme	400	1 h (rilevati su 3 ore consecutive)	D.M. n.60 del 2/4/02

Ossidi di Azoto	Valore Limite (µg/m ³)	Periodo di mediazione	Legislazione	
	Valore limite protezione vegetazione	30	Anno civile	D.M. n.60 del 2/4/02

Biossido di Zolfo	Valore Limite (µg/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. n.60 del 2/4/02
	Valore limite protezione salute umana (da non superare più di 3 volte per anno civile)	125	24 h	D.M. n.60 del 2/4/02

	Valore limite protezione ecosistemi	20	Anno civile e inverno (1 ott – 31 mar)	D.M. n.60 del 2/4/02
	Soglia di allarme	500	1 h (rilevati su 3 ore consecutive)	D.M. n.60 del 2/4/02

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.vo 183 21/5/04
	Valore bersaglio per la protezione della vegetazione	18000	AOT40(mag-lug) su 5 anni	D. L.vo 183 21/5/04
	Soglia di informazione	180	1 h	D. L.vo 183 21/5/04
	Soglia di allarme	240	1 h	D. L.vo 183 21/5/04

Particolato Totale Sospeso	Valore Limite ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Periodo di mediazione	Legislazione	
	Standard di qualità (media annuale)	150	24h	D.P.C.M. 28/3/83
	Standard di qualità (95° percentile rilevato durante l'anno)	300	24h	D.P.C.M. 28/3/83

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. n.60 del 2/4/02
	Valore limite protezione salute umana	40	Anno civile	D.M. n.60 del 2/4/02

Idrocarburi non Metanici	Valore Obiettivo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Periodo di mediazione	Legislazione	
Benzene	Valore obiettivo	5 (+1)	Anno civile	D.M. n.60 del 2/4/02
Benzo(a)pirene	Valore obiettivo	0,001	Anno civile	DM. 25/11/94 e Dir 107/04/CE

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

Metalli Pesanti	Valore Obiettivo (ng/m^3)	Periodo di mediazione	Legislazione	
Arsenico	Valore obiettivo	6	Anno civile	D.Lvo. n.152 del 3/8/07
Cadmio	Valore obiettivo	5	Anno civile	D.Lvo. n.152 del 3/8/07
Nichel	Valore obiettivo	20	Anno civile	D.Lvo. n.152 del 3/8/07
Benzo(a)pirene	Valore obiettivo	1	Anno civile	D.Lvo. n.152 del 3/8/07

Campagna di Misura

Sito di Misura



Periodo di Misura: 27 gennaio – 8 febbraio 2009

Sito di misura: **Comune di Bergamo-Aeroporto (Prima Campagna)**

Assi Stradali : Tangenziale di Bergamo
Autostrada A4

Il Laboratorio mobile è stato posizionato presso il cortile interno della Scuola Materna di Via Quasimodo angolo Via Ungaretti nel comune di Bergamo (vedi piantina) tra il 27 gennaio e l' 8 febbraio 2009 in zona non direttamente interessata da traffico stradale.

Principali sorgenti emissive

Per la stima delle principali sorgenti emissive all'interno del territorio comunale di Bergamo è stato utilizzato l'inventario regionale, denominato INEMAR (Inventario Emissioni Aria), nella versione più recente, riferita all'anno 2005 – dati finali settembre 2007.

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 per produzione di energia e trasformazione dei combustibili
- 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:

- Biossido di Zolfo (SO₂)
- 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 10/2,5 µm (PM₁₀/PM_{2,5})

I dati sono stati elaborati al fine di definire i contributi delle singole sorgenti all'inquinamento atmosferico. Per i principali inquinanti sono state valutate le loro principali fonti emissive all'interno del Comune di Bergamo.

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

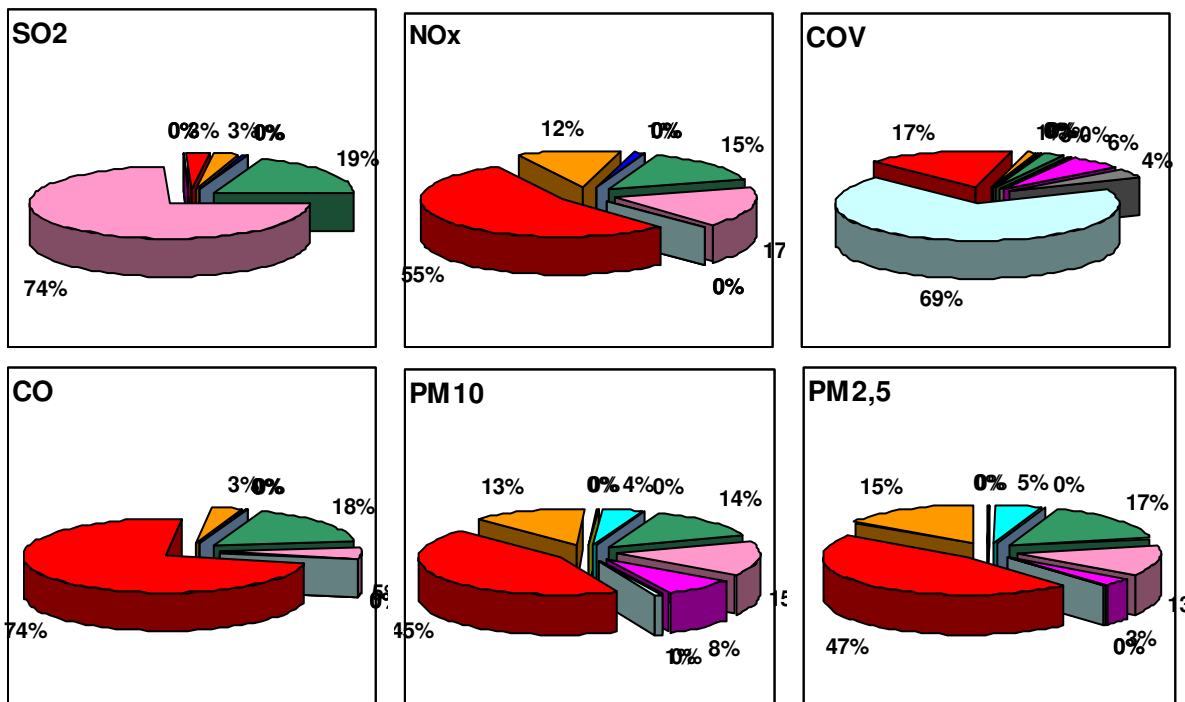
Comune di Bergamo

DESCRIZIONE MACROSETTORE	SO ₂	NO _x	COV	CO	PM ₁₀	PM _{2,5}
	T/anno	t/anno	t/anno	t/anno	t/anno	t/anno
Combustione non industriale	31,1	216,7	102,6	488,8	18,7	18,1
Combustione nell'industria	119,9	241,7	16,5	134,7	20,0	14,3
Processi produttivi	0,0	0,0	243,4	0,0	11,4	3,6
Estrazione e distribuzione combustibili	0,0	0,0	147,7	0,0	0,0	0,0
Uso di solventi	0,0	0,0	2742,4	0,0	1,0	0,4
Trasporto su strada	4,5	775,6	686,3	2047,6	60,2	51,3
Altre sorgenti mobili e macchinari	4,4	167,6	32,6	93,3	17,2	17,1
Trattamento e smaltimento rifiuti	1,0	15,5	0,2	1,1	0,2	0,2
Agricoltura	0,0	0,4	0,0	0,0	0,1	0,0
Altre sorgenti e assorbimenti	0,0	0,0	17,4	9,4	5,9	5,9

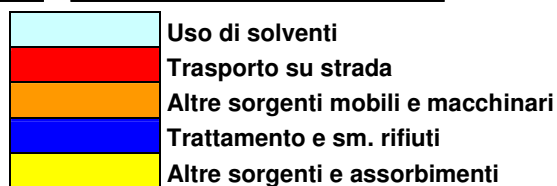
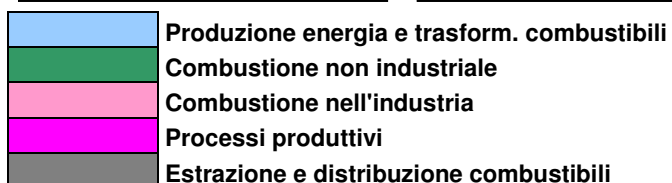
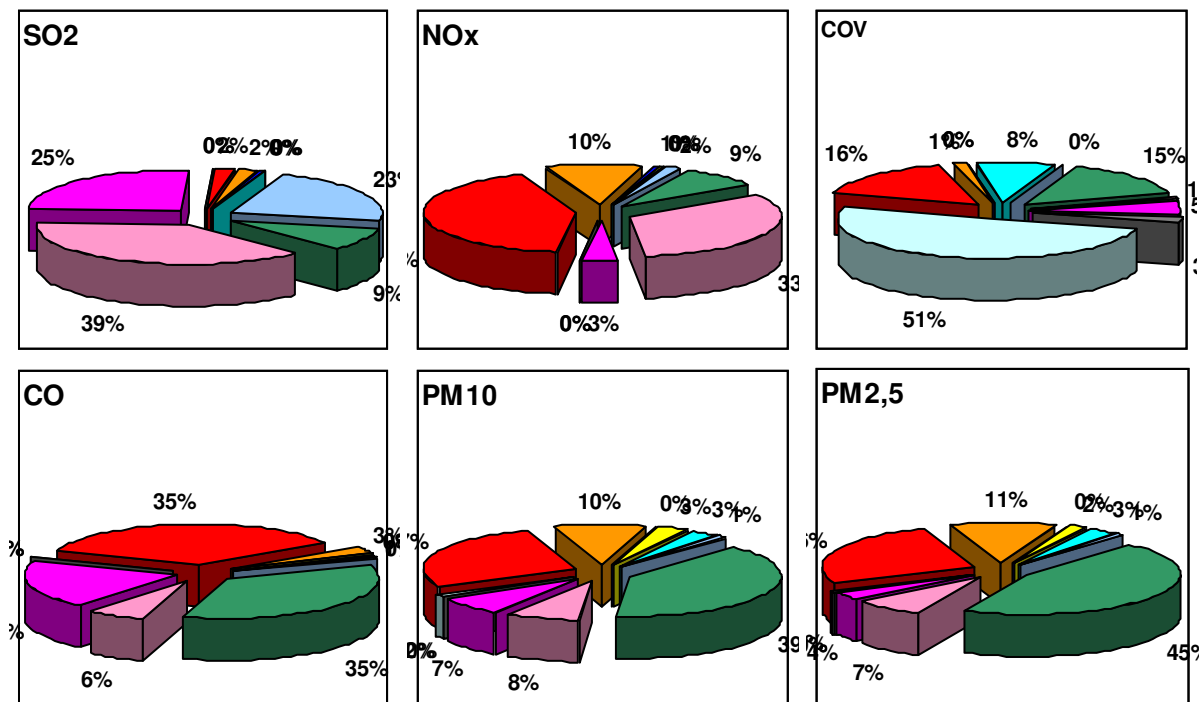
Provincia di Bergamo

DESCRIZIONE MACROSETTORE	SO ₂	NO _x	COV	CO	PM ₁₀	PM _{2,5}
	t/anno	t/anno	t/anno	t/anno	t/anno	t/anno
Produzione energia e trasform. Combustibili	645	393	12	155	21	13
Combustione non industriale	251	2041	6086	24520	1142	1106
Combustione nell'industria	1077	7734	544	4222	228	181
Processi produttivi	699	824	2285	13041	207	87
Estrazione e distrib.di combustibili fossili	0	0	1067	0	0	0
Uso di solventi	0	6	21123	3	46	20
Trasporto su strada	65	9998	6689	24127	788	644
Altre sorgenti mobili e macchinari	56	2456	532	2177	276	269
Trattamento e smaltimento rifiuti	11	207	3	19	2	2
Agricoltura	0	36	18	63	99	44
Altre sorgenti e assorbimenti	3	15	3493	506	87	85

COMUNE DI BERGAMO-STIME EMISSIONI 2005



PROVINCIA DI BERGAMO-STIMA EMISSIONI 2005



Situazione meteorologica nel periodo di misura

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 le condizioni meteorologiche influiscono sia sulle condizioni di dispersione e di accumulo degli inquinanti, sia sulla formazione di alcune sostanze nell'atmosfera stessa. È 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.

La campagna di misura a Bergamo-Aeroporto (prima campagna) è stata condotta dal 27 gennaio al 8 febbraio 2009.

Il periodo del monitoraggio è stato contraddistinto da una spiccata variabilità sulla regione.

Il periodo di misura è stato caratterizzato da precipitazioni intense (9 giorni di precipitazioni su 13 giorni di campionamento).

La velocità del vento ha mai superato i 2 m/sec. con valore massimo orario di 1.5 m/sec.

In accordo con il passaggio dei fronti nuvolosi e la persistenza di alte pressioni la pressione atmosferica ha avuto un andamento alterno con valore orario massimo di 996 mBAR e un valore orario minimo di 966 mBAR.

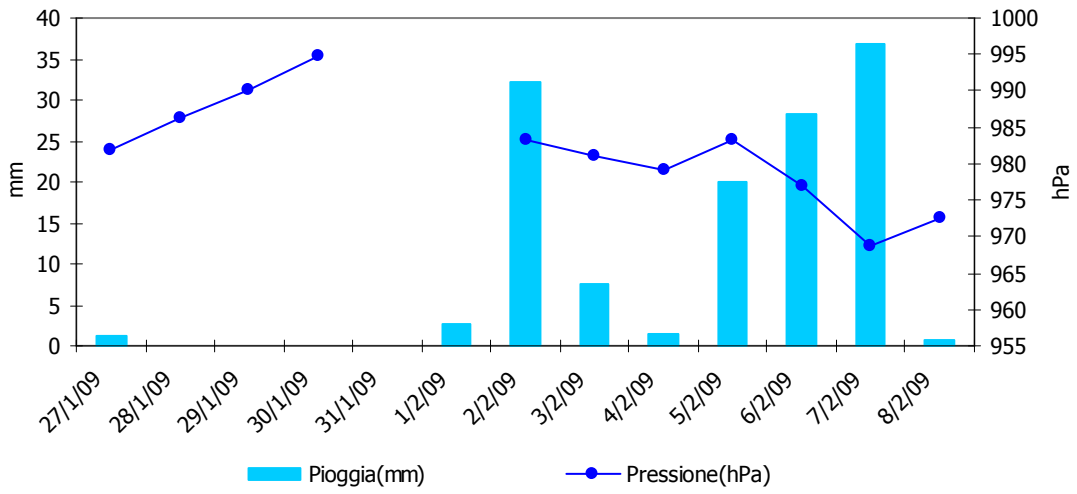
L'andamento della temperatura mette in evidenza la forte escursione termica tra il giorno e la notte (temperatura minima di -0.3°C registrata il 02.02.2009 e temperatura massima di 11.4°C registrata il 28.01.2009).

Le condizioni meteorologiche del periodo del monitoraggio sono state molto variabili. Nelle fasi di instabilità atmosferica, con elevate precipitazioni, la situazione è stata favorevole alla dispersione degli inquinanti; al contrario, nei periodi in cui hanno prevalso circolazioni anticicloniche, si sono avuti intensi fenomeni di ristagno atmosferico, che hanno favorito temporanei accumuli degli inquinanti nei bassi strati atmosferici.

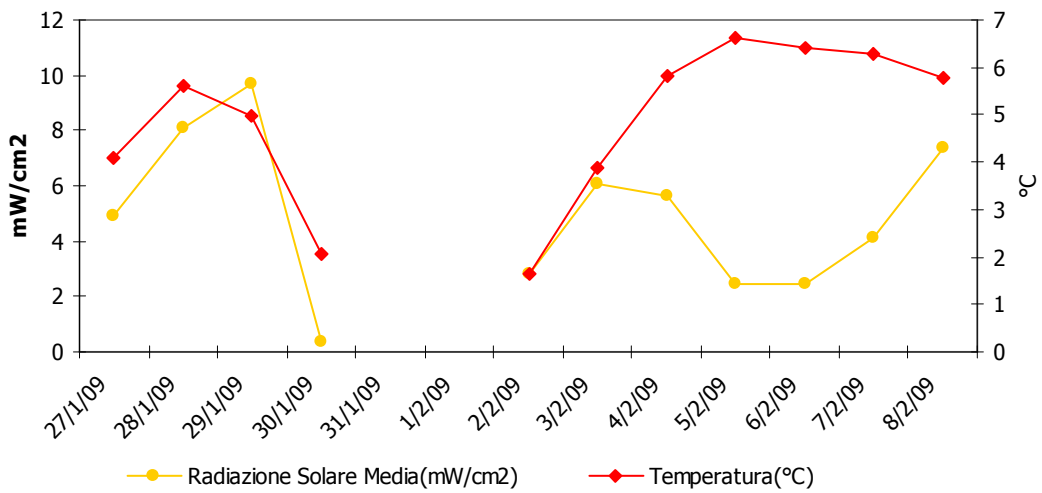
Si riportano gli andamenti relativi ai principali parametri meteorologici rilevati nel periodo di misura del Laboratorio Mobile e della centralina di Bergamo Via Garibaldi*:

- Precipitazione (mm) * e Pressione (hPa)
- Radiazione solare media (W/m^2) e Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
- Velocità Vento (m/s) e Umidità Relativa (%)

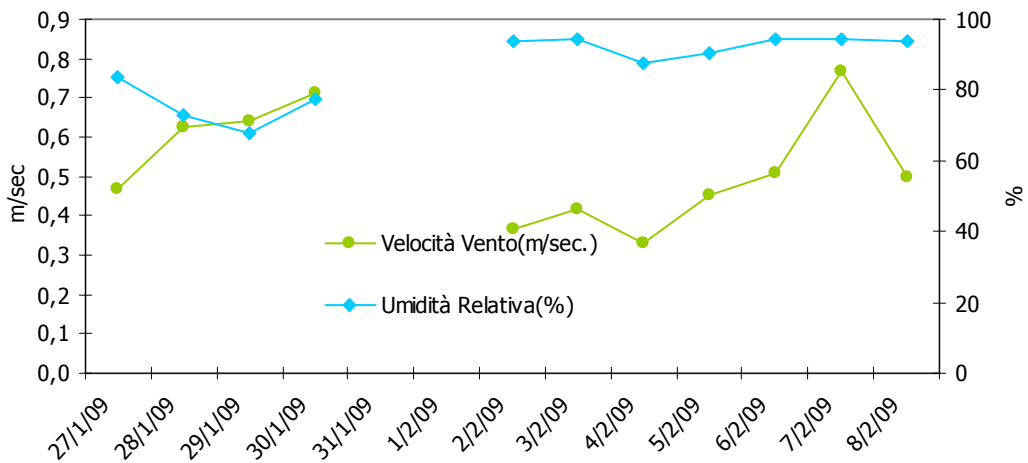
Precipitazioni e Pressione



Radiazione Solare Media e Temperatura



Velocità del Vento e Umidità relativa



Andamento inquinanti nel periodo di misura e confronto con i dati rilevati da postazioni fisse

La strumentazione presente sul laboratorio mobile ha permesso il monitoraggio a cadenza oraria degli inquinanti gassosi, quali biossido di zolfo (SO_2), ossidi di azoto (NO ed NO_2), ozono (O_3), monossido di carbonio (CO), particolato fine (PM_{10}), benzene, toluene e xilene (BTX) oltre alla misura giornaliera del particolato fine (PM_{10}).

Come descritto nel capitolo **Normativa** (vedi Tab. 2), il D.M. 60 del 02.04.02 stabilisce, per SO_2 , NO_2 , CO e PM_{10} , i valori limite per la protezione della salute umana e i margini di tolleranza che si riducono progressivamente negli anni, fino ad annullarsi. I livelli di concentrazione degli inquinanti elencati saranno però di seguito confrontati con i rispettivi limiti "a regime", cioè con margini di tolleranza zero, adottando le condizioni più cautelative, anche quando non ancora vigenti per l'anno 2006.

Poiché i livelli di concentrazione degli inquinanti aerodispersi dipendono fortemente dalle condizioni meteorologiche osservate durante il periodo di misura e dalle differenti sorgenti emmissive, è importante confrontare i dati rilevati nel corso di una campagna limitata nel tempo con quelli misurati, nello stesso periodo, in alcune stazioni fisse della Rete di Rilevamento della Qualità dell'Aria (RRQA). I livelli di concentrazione misurati a Bergamo-Aeroporto sono pertanto stati confrontati con quelli registrati in altre postazioni della rete.

Come mostrato in Tabella 4 le centraline fisse scelte come riferimento sono localizzate in ambiente urbano e suburbano, e in siti adatti a misure di inquinanti da traffico e di fondo.

L'evoluzione temporale dei diversi inquinanti monitorati è rappresentata con l'utilizzo di grafici relativi a:

- concentrazioni medie orarie: evoluzione oraria dell'inquinante nel periodo di misura;
- concentrazioni medie 8 h: ogni valore è ottenuto come media tra l'ora h e le 7 ore precedenti l'ora h .
- concentrazioni medie giornaliere: evoluzione giornaliera dell'inquinante ottenuta mediando i valori delle concentrazioni dalle ore 0.00 alle ore 23.00 dello stesso giorno;
- giorno tipo: evoluzione media delle concentrazioni medie orarie nell'arco delle 24 ore.

Per "giorno tipo" o "giorno medio" si intende l'andamento delle concentrazioni medie orarie mediato su tutti i giorni feriali (o su tutti i giorni pre-festivi ovvero 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 emmissive, legate al traffico o alle attività produttive.

Si fa inoltre presente che l'ora a cui sono associati i dati si riferisce all'ora solare.

Le concentrazioni di **biossido di zolfo (SO_2)**, registrate durante il periodo di misura nella postazione del Comune di Bergamo-Aeroporto (prima campagna), sono di $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per la media aritmetica e di $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per la media massima giornaliera.

Le concentrazioni di **monossido di carbonio (CO)**, registrate durante il periodo di misura nella postazione del Comune di Bergamo-Aeroporto (prima campagna), sono di $2.7 \text{mg}/\text{m}^3$ per la media massima oraria e di $1.8 \text{mg}/\text{m}^3$ per la media massima su 8 ore.

Le concentrazioni di **biossido di azoto (NO_2)**, registrate durante il periodo di misura nella postazione del Comune di Bergamo-Aeroporto (prima campagna), sono di $79 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per la media aritmetica oraria e di $162 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per la media massima oraria.

Le concentrazioni di **Ozono (O_3)**, registrate durante il periodo di misura nella postazione del Comune di Bergamo-Aeroporto (prima campagna), sono di $39 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per la media massima oraria e di $33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per la media massima su 8 ore.

Le concentrazioni del **Particolato Fine (PM10)**, registrate durante il periodo di misura nella postazione del Comune di Bergamo-Aeroporto (prima campagna), sono di 34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per la media aritmetica e di **60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per la media massima giornaliera**.

Le concentrazioni di **Benzene, Toluene e Xilene (BTX)**, registrate durante il periodo di misura nella postazione del Comune di Bergamo-Aeroporto (prima campagna), sono di 3.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per il Benzene, di 12.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per il Toluene e di 4.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per lo Xilene per la media aritmetica.

Conclusioni

Le misure effettuate sul territorio del Comune di Bergamo-Aeroporto (prima campagna) hanno consentito una caratterizzazione generale della qualità dell'aria all'esterno dell'aeroporto senza l'influenza diretta del traffico urbano.

- i valori di **NO₂** hanno presentato andamenti e livelli medi di concentrazioni intermedie rispetto alle centraline presenti nel comune di Bergamo (più basse rispetto a Garibaldi(BG) e più elevate rispetto a Meucci(BG) e Goisis(BG)) con valori comunque inferiori ai limiti di legge;
- i valori medi di **CO** sono confrontabili a quelli misurati nelle postazioni della Zona Critica A1 e comunque risultano inferiori ai limiti di legge;
- per quanto riguarda l' **SO₂**, i valori e gli andamenti sono inferiori alle altre centraline della rete fissa con valori che rispettano i limiti di legge;
- i valori e gli andamenti dell'**O₃** sono più bassi rispetto a quelli rilevati presso le altre centraline della rete fissa;
- il **PM10** mostra un andamento del tutto sovrapponibile a quanto rilevato nella Zona Critica A1 bergamasca, con valori medi giornalieri simili alla centralina di Meucci(BG), inferiori alla centralina di Garibaldi(BG) e superiori alla centralina di Lallio.
- valori medi di **Benzene** sono superiori a quelli misurati nelle postazioni della rete; risultano comunque inferiori ai limiti di legge

Durante il periodo di misura a Orio al Serio-Aeroporto la maggior parte degli inquinanti monitorati (SO₂, NO₂, CO e O₃) non hanno fatto registrare superamenti dei limiti normativi.

Il PM10 ha superato il valore limite di legge per 2 giorni sui 13 giorni del monitoraggio.

Tabelle centraline

	rete	Tipo zona	Tipo stazione	Quota s.l.m. (metri)	Periodo di misura
		Dec. 2001/752/CE	Decisione 2001/752/CE		
Bergamo-Aeroporto (Lab. Mob.) (prima campagna)	PRIV	URBANA-AEROPORTUALE	TRAFFICO STRADALE E AEROPORTUALE	249	27.01.2009-08.02.2009
Lallio	PRIV	URBANA	TRAFFICO	207	Centralina Fissa

Calusco	PRIV	SUBURBANA	IND.FONDO	273	Centralina Fissa
Meucci(BG)	PUB	URBANA	TRAFFICO	249	Centralina Fissa
Garibaldi(BG)	PUB	URBANA	TRAFFICO	249	Centralina Fissa
Osio Sotto	PRIV	SUBURBANA	FONDO	182	Centralina Fissa
Goisis(BG)	PUB	SUBURBANA	FONDO	290	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

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

Tabelle Inquinanti

Biossido di Azoto

	% Rend.	Media (µg/m ³)	Dev St.	Max Media 1 h (µg/m ³)	Nr. giorni superamento Valere limite
Bergamo-Aeroporto (Lab. Mob.) (prima campagna)	75.6	79	27	162	0
Garibaldi(BG)	99.7	100	41	218	1
Meucci(BG)	99.7	57	23	113	0
Goisis(BG)	100.0	44	23	111	0

Biossido di Zolfo

	% Rend.	Media ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Dev St.	Max Media 24 h ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Nr. giorni superamento Valore limite
Bergamo- Aeroporto (Lab. Mob.) (prima campagna)	75.6	5	1.5	7	0
<i>Calusco</i>	100.0	13	0.7	14	0
<i>Garibaldi(BG)</i>	97.1	11	2.9	15	0
<i>Lallio</i>	100.0	6	1.3	8	0

Particolato Fine (PM10)

	% Rend.	Media ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Dev St.	Max Media 24 h ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Nr. giorni superamento Valore limite
Bergamo- Aeroporto (Lab. Mob.) (prima campagna)	75.3	34	17.6	60	2
<i>Meucci(BG)</i>	100.0	35	20.8	67	3
<i>Lallio</i>	96.2	28	18.6	63	2
<i>Garibaldi(BG)</i>	99.7	38	20.7	68	4

Benzene

	% Rend.	Media ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Dev St.	Max Media 24 h ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
Bergamo- Aeroporto (Lab. Mob.) (prima campagna)	76.3	3.3	1.0	4.9	

Garibaldi(BG)	99.7	2.2	0.9	3.5	
Calusco	100.0	0.9	0.4	1.7	

Toluene

	% Rend.	Media ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Dev St.	Max Media 24 h ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
Bergamo- Aeroporto (Lab. Mob.) (prima campagna)	76.3	12.5	5.9	20.3	
Garibaldi(BG)	99.7	9.4	5.0	15.4	
Calusco	100.0	5.0	3.3	10.3	

Xilene

	% Rend.	Media ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Dev St.	Max Media 24 h ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
Bergamo- Aeroporto (Lab. Mob.) (prima campagna)	76.3	4.7	2.9	9.5	
Garibaldi(BG)	99.7	5.9	3.3	9.6	
Calusco	100.0	1.8	1.3	3.7	

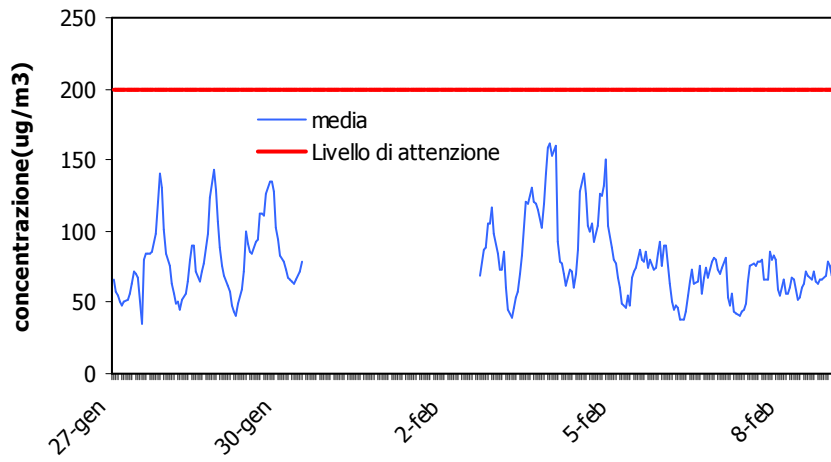
Monossido di Carbonio

	% Rend.	Media (mg/m ³)	Dev St.	Max Media 1 h (mg/m ³)	Max Media 8 h (mg/m ³)	Nr. giorni superamento Valore limite
Bergamo- Aeroporto (Lab. Mob.) (prima campagna)	75.6	0.9	0.6	2.7	1.8	0
Garibaldi(BG)	99.7	1.3	0.6	3.0	2.2	0
Meucci(BG)	97.7	1.1	0.5	3.0	2.3	0
Gosis(BG)	72.8	0.3	0.2	1.0	0.7	0

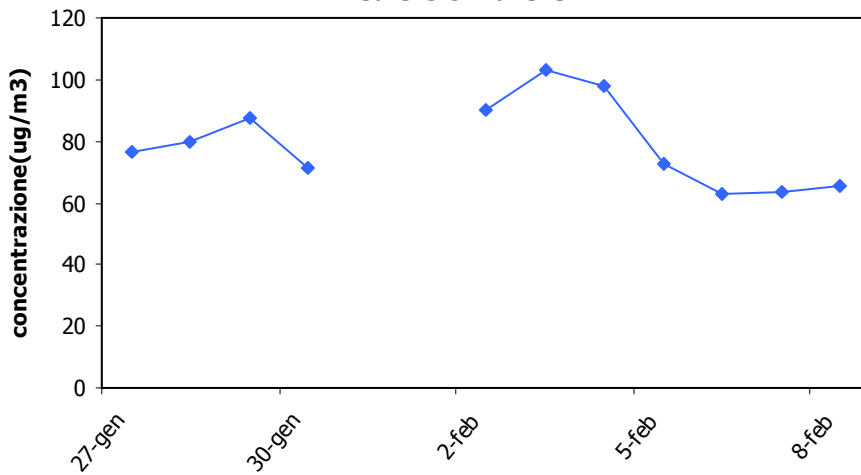
Ozono

	% Rend.	Media (µg/m ³)	Dev St.	Max Media 1 h (µg/m ³)	Nr. giorni superamento Soglia di informazione	Max Media 8 h (µg/m ³)	Nr. giorni superamento Liv. Protezione per la Salute
Bergamo- Aeroporto (Lab. Mob.) (prima campagna)	76.3	7	8.6	39	0	33	0
Osio Sotto	100.0	16	13.1	54	0	45	0
Gosis(BG)	100.0	30	22.2	83	0	79	0
Calusco	100.0	20	5.8	39	0	36	0

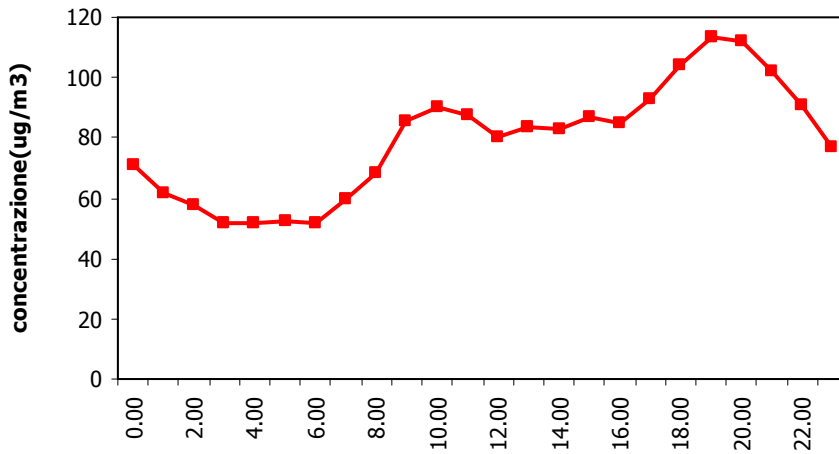
NO2 Concentrazioni Orarie



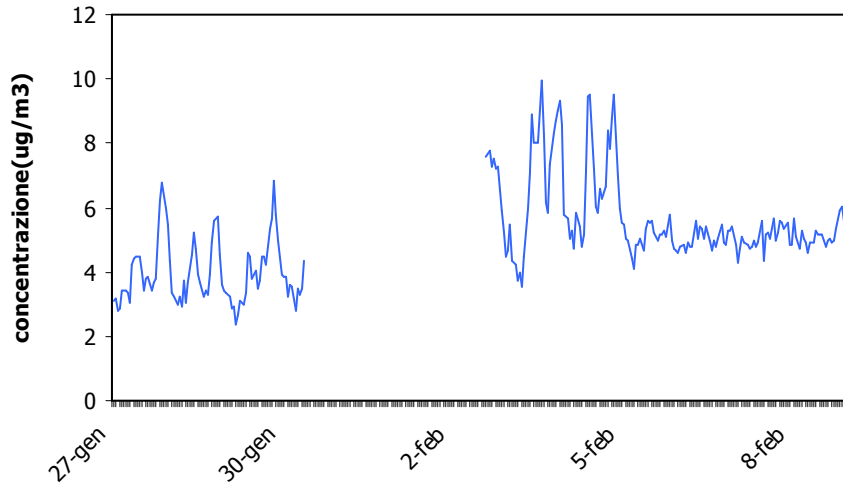
NO2 Medie Giornaliere



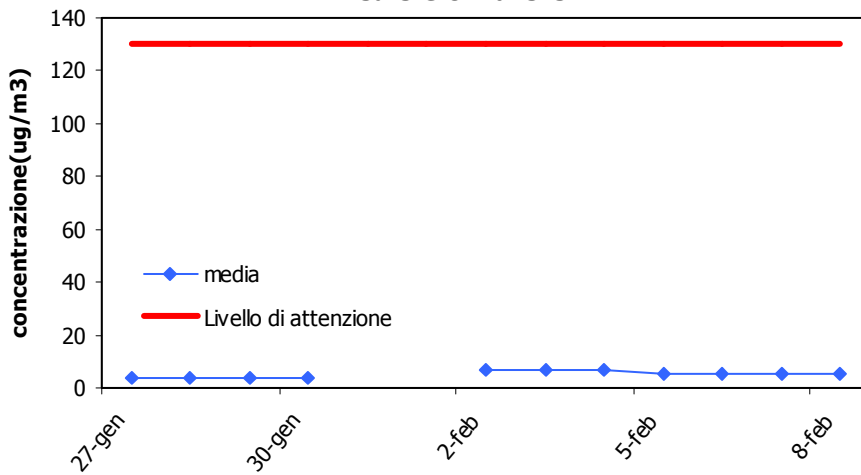
NO2 Giorno Tipo



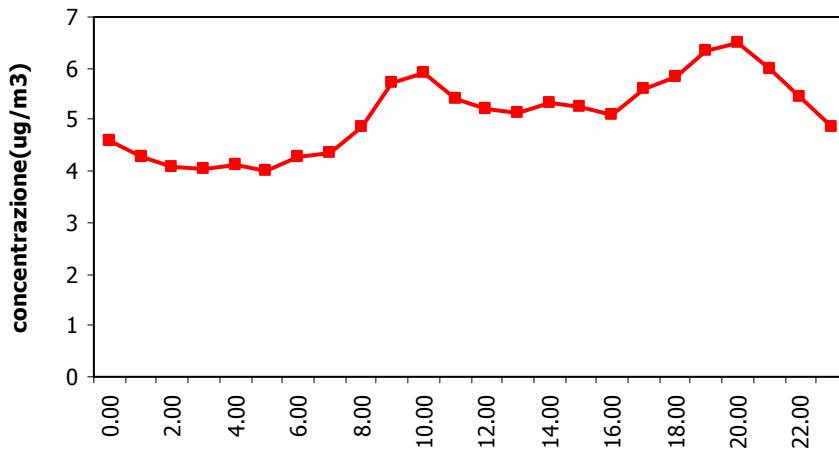
SO2
Concentrazioni Orarie



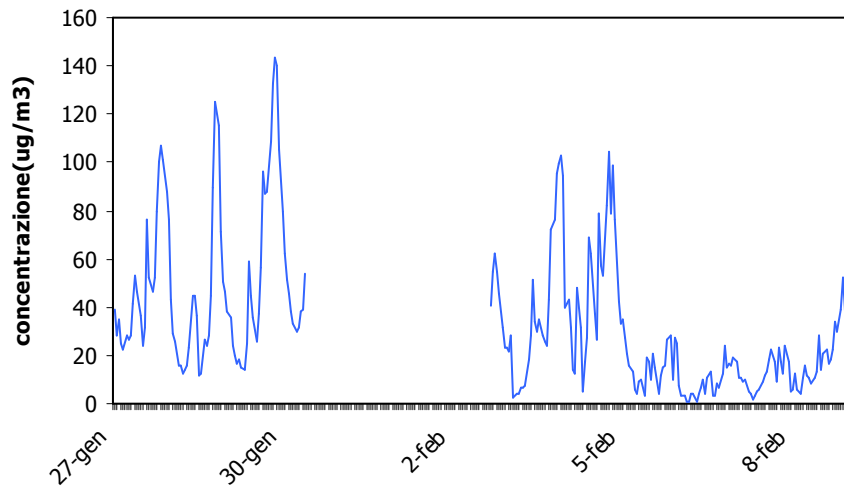
SO2
Medie Giornaliere



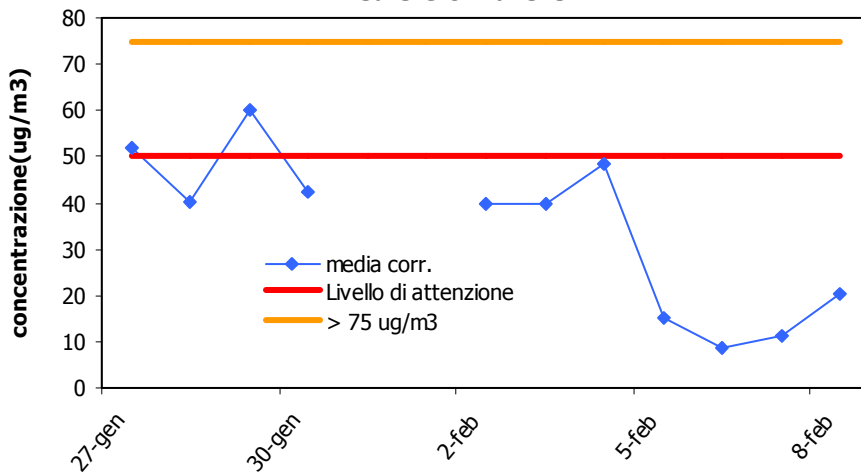
SO2
Giorno Tipo



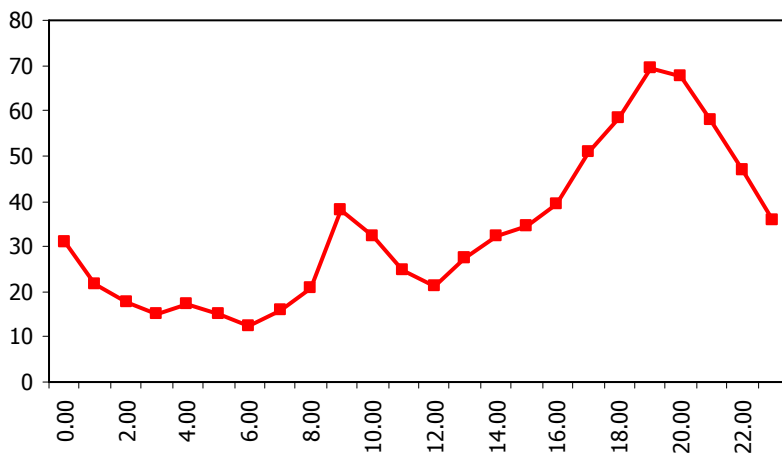
PM-10 Concentrazioni Orarie



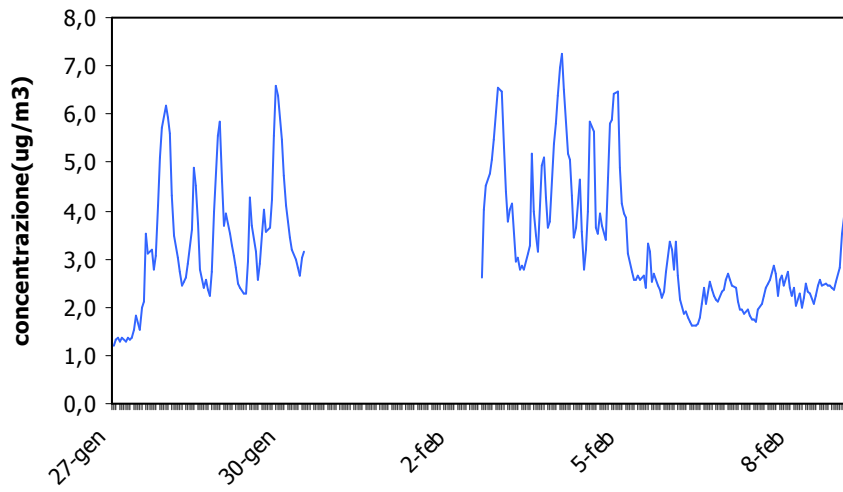
PM-10 Medie Giornaliere



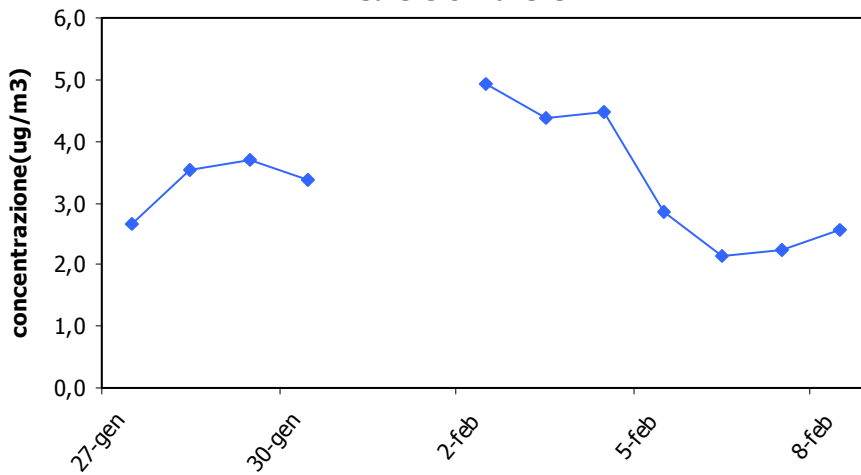
PM-10 Giorno Tipo



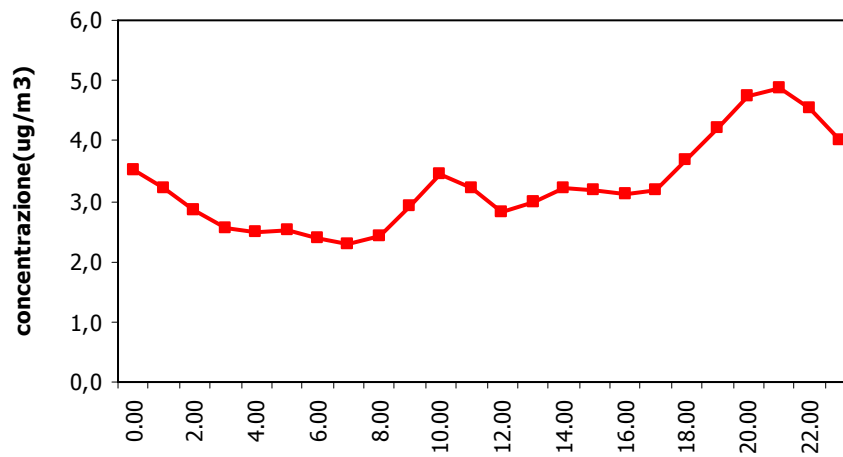
**Benzene
Concentrazioni Orarie**



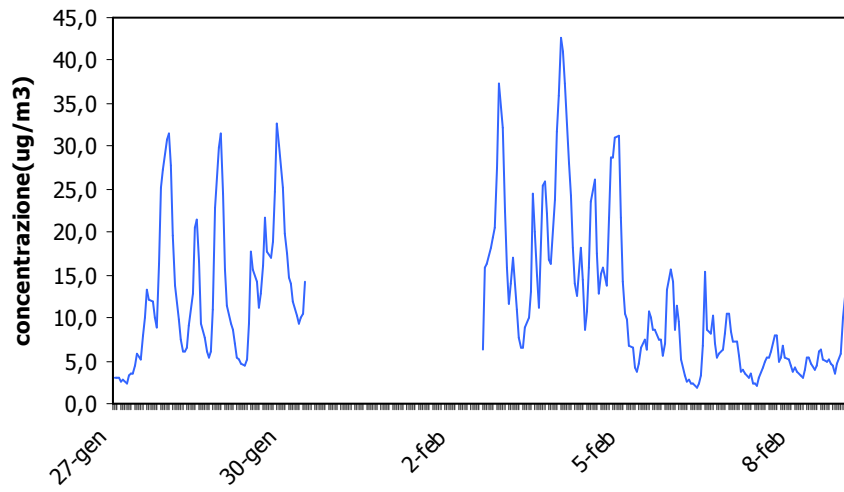
**Benzene
Medie Giornaliere**



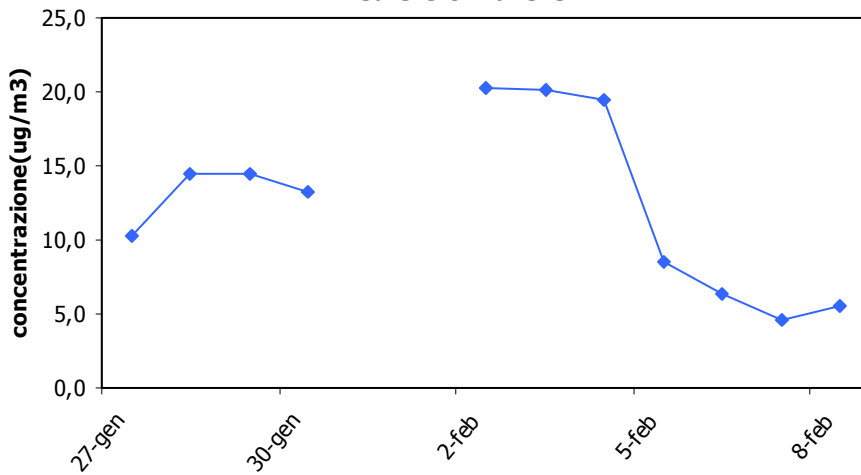
**Benzene
Giorno Tipo**



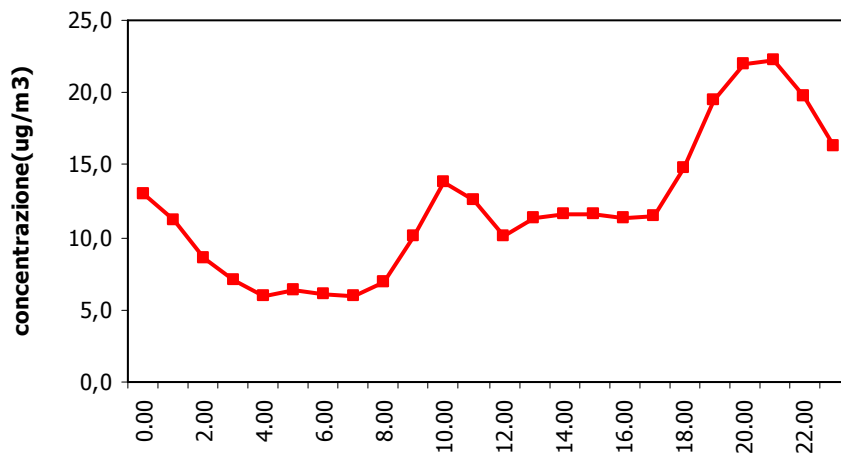
Toluene
Concentrazioni Orarie



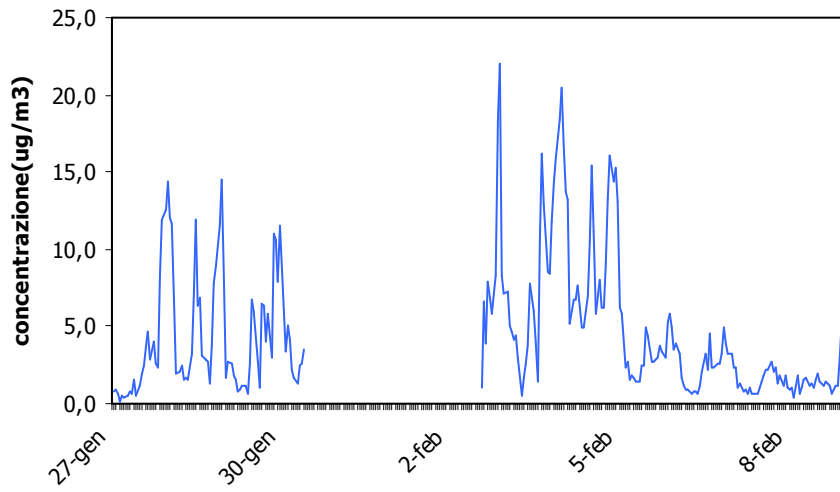
Toluene
Medie Giornaliere



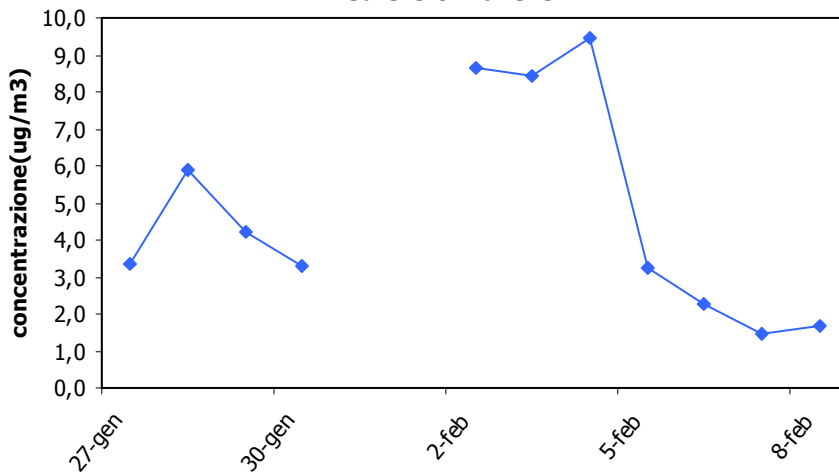
Toluene
Giorno Tipo



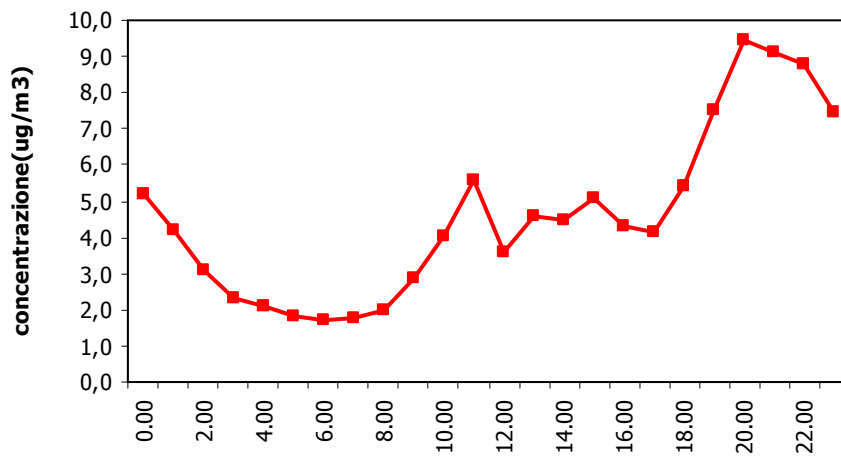
Xilene
Concentrazioni Orarie



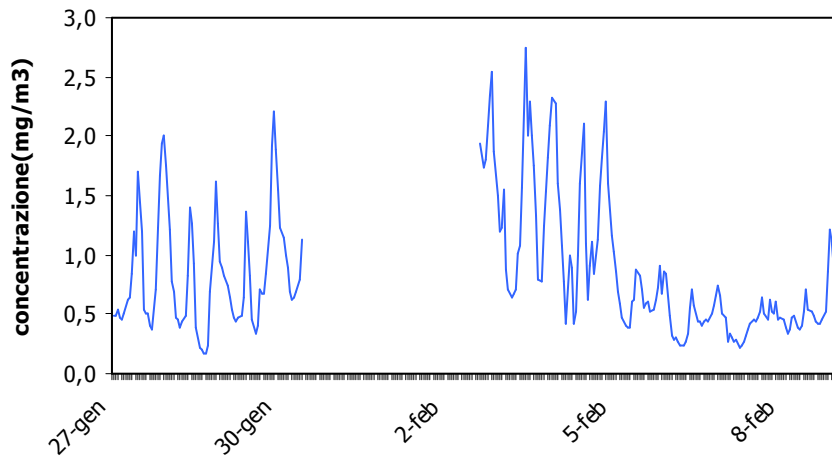
Xilene
Medie Giornaliere



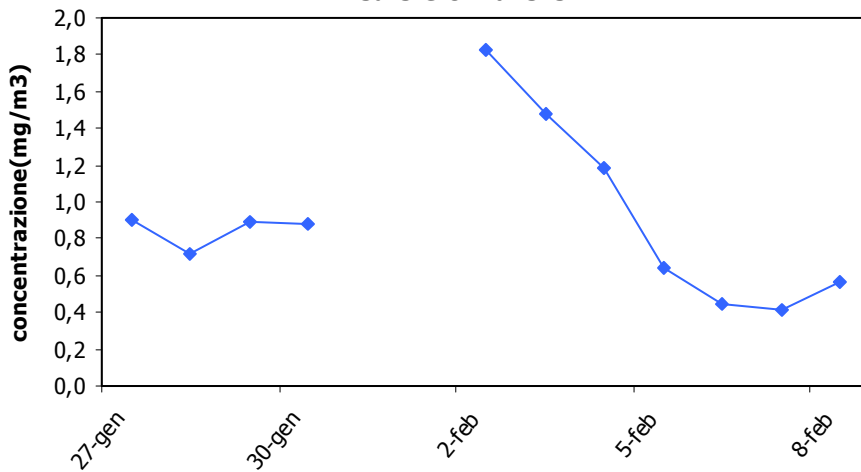
Xilene
Giorno Tipo



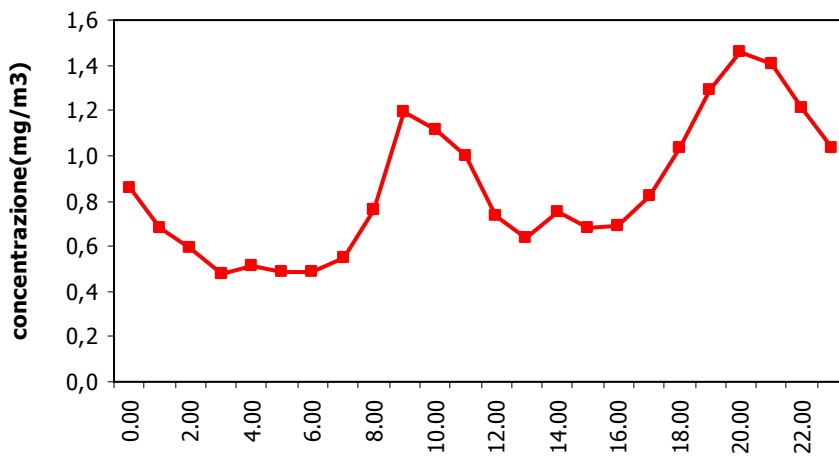
CO Concentrazioni Orarie



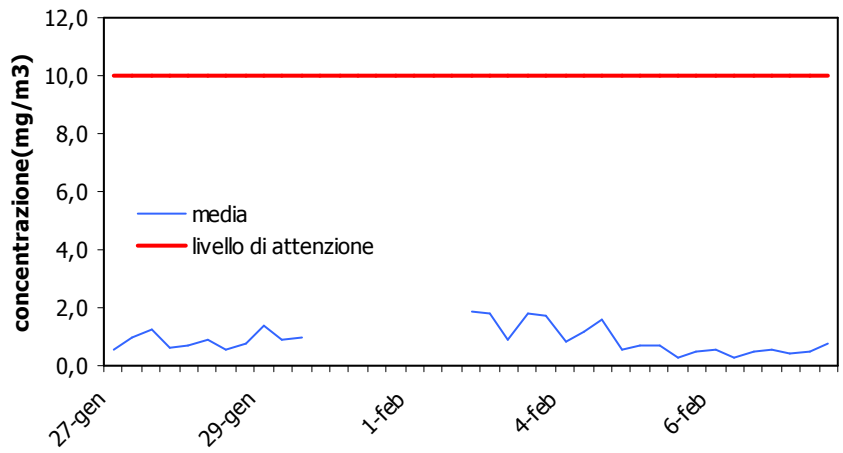
CO Medie Giornaliere



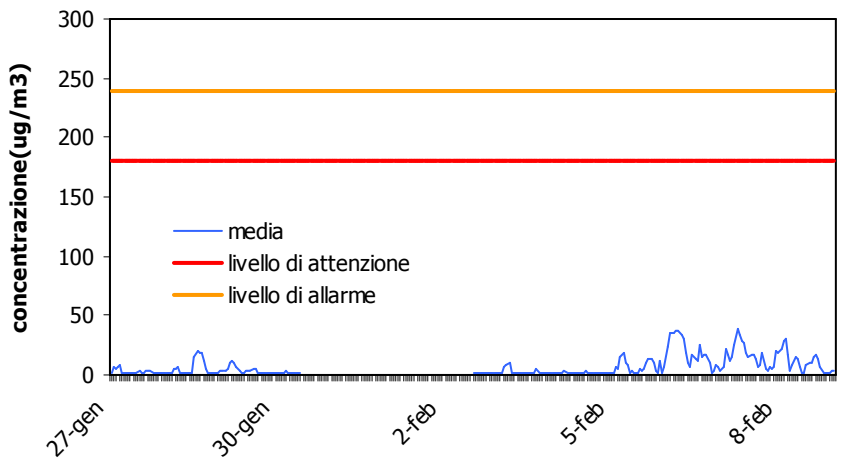
CO Giorno Tipo



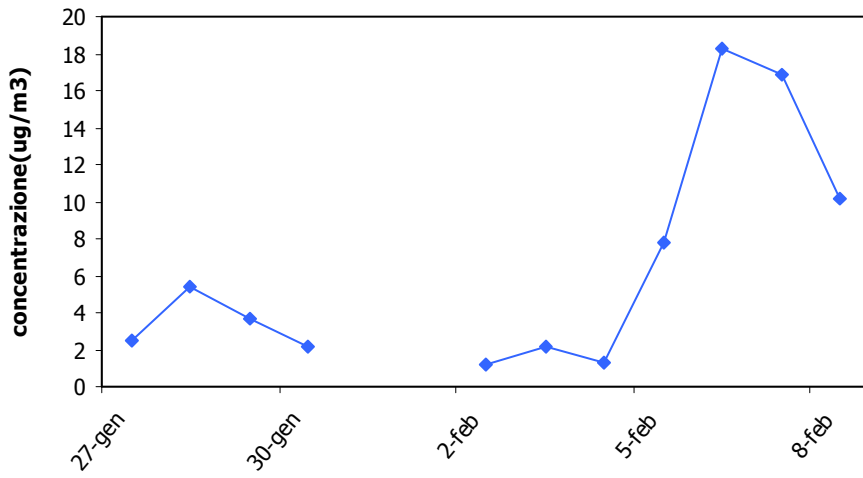
CO Concentrazioni Media 8 ore



Ozono Concentrazioni Orarie



Ozono
Medie Giornaliere



Ozono
Giorno Tipo

