



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**

09/01/2007 - 31/01/2007

# Campagna di Misura della Qualità dell'Aria

COMUNE DI BERGAMO

## 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

<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
Discussione dei risultati di ulteriori analisi (indagine radiometrica sulle polveri totali sospese)	pag. 14
Confronto delle misure con i dati rilevati da postazioni fisse.....	pag. 14
Conclusioni.....	pag. 15
<i>Allegato tabelle e grafici inquinanti</i>	

## Introduzione

La campagna di misura nel comune di Bergamo è stata condotta dal Dipartimento Provinciale di Bergamo dell'ARPA Lombardia su richiesta del Comune. Lo scopo della campagna era il monitoraggio della qualità dell'aria presso la Via Borgo Palazzo in conseguenza ai lavori stradali che hanno interessato la via.

A tale fine, in accordo con il Comune, il laboratorio mobile è stato posizionato presso il marciapiede fra Via Borgo Palazzo e Via Rubini (vedi piantina) tra il 9 gennaio e il 31 gennaio 2007.

Il luogo in cui è stato posizionato il laboratorio mobile è interessato da traffico stradale molto sostenuto sia in entrata che in uscita del centro città.

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

- Biossido di Zolfo (SO<sub>2</sub>);
- Monossido di Carbonio (CO);
- Ossidi di Azoto (NO<sub>x</sub>, NO e NO<sub>2</sub>);
- Particolato Fine (PM10);
- Ozono (O<sub>3</sub>).
- 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<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, PM10, O<sub>3</sub>, Benzene, Toluene e 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<sub>2</sub>)** 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 NO<sub>2</sub>)** 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<sub>x</sub> 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/NO<sub>2</sub> decisamente a favore del primo. Si stima che il contenuto di NO<sub>2</sub> nelle emissioni sia tra il 5 e il 10% del totale degli ossidi di azoto.

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

L'**ozono (O<sub>3</sub>)** è un inquinante secondario, che non ha sorgenti emissive dirette di rilievo. La sua formazione avviene in seguito a reazioni chimiche in atmosfera tra i suoi precursori (soprattutto ossidi di azoto e composti organici volatili), reazioni che avvengono in presenza di alte temperature e forte irraggiamento solare e che causano la formazione di un insieme di diversi composti, tra i quali, oltre all'ozono, si trovano nitrati e solfati (costituenti del particolato fine), perossiacetilnitrato (PAN), acido nitrico e altro ancora, che nell'insieme costituiscono il tipico inquinamento estivo detto smog 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 NO<sub>2</sub>:



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<sub>2</sub> senza consumare ozono, di fatto spostando l'equilibrio del ciclo visto sopra e consentendo l'accumulo dell'O<sub>3</sub>.

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 <sub>2</sub>	Impianti riscaldamento, centrali di potenza, combustione di prodotti organici di origine fossile contenenti zolfo (gasolio, carbone, olicombustibili)
Biossido di Azoto** NO <sub>2</sub>	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 <sub>3</sub>	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	Traffico autoveicolare (processi di combustione incompleta, in particolare di combustibili derivati dal petrolio), evaporazione dei carburanti, alcuni processi industriali
---	---

Tabella 1: Sorgenti emmissive 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).

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 <sup>3</sup> )		Periodo di mediazione	Legislazione
	Valore limite protezione salute umana	<b>10</b>	8 h	D.M. n.60 del 2/4/02

Biossido di Azoto	Valore Limite (µg/m <sup>3</sup> )		Periodo di mediazione	Legislazione
	Standard di qualità (98° percentile rilevato durante l'anno civile)	<b>200</b>	1 h	D.P.R. 203/88
	Valore limite protezione salute umana (da non superare più di 18 volte per anno civile)	<b>200 (+30)</b>	1 h	D.M. n.60 del 2/4/02
	Valore limite protezione salute umana	<b>40 (+6)</b>	Anno civile	D.M. n.60 del 2/4/02
	Soglia di allarme	<b>400</b>	1 h (rilevati su 3 ore consecutive)	D.M. n.60 del 2/4/02

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

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

<b>Ozono</b>	<b>Valore Limite (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>		<b>Periodo di mediazione</b>	<b>Legislazione</b>
	Valore bersaglio per la protezione della salute umana	<b>120</b>	8 h	D. L.vo 183 21/5/04
	Valore bersaglio per la protezione della vegetazione	<b>18000</b>	AOT40(mag-lug) su 5 anni	D. L.vo 183 21/5/04
	Soglia di informazione	<b>180</b>	1 h	D. L.vo 183 21/5/04
	Soglia di allarme	<b>240</b>	1 h	D. L.vo 183 21/5/04

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

<b>Particolato Fine PM10</b>	<b>Valore Obiettivo (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>		<b>Periodo di mediazione</b>	<b>Legislazione</b>
	Valore limite protezione salute umana (da non superare più di 35 volte per anno civile)	<b>50</b>	24 h	D.M. n.60 del 2/4/02
	Valore limite protezione salute umana	<b>40</b>	Anno civile	D.M. n.60 del 2/4/02

<b>Idrocarburi non Metanici</b>	<b>Valore Obiettivo (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>		<b>Periodo di mediazione</b>	<b>Legislazione</b>	
	<b>Benzene</b>	Valore obiettivo	<b>5 (+3)</b>	Anno civile	D.M. n.60 del 2/4/02
	<b>Benzo(a)pirene</b>	Valore obiettivo	<b>0,001</b>	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)



**Periodo di Misura:** 9 gennaio – 31 gennaio 2007

**Sito di misura:** Comune di Bergamo

Il laboratorio mobile è stato posizionato presso il marciapiede fra Via Borgo Palazzo e Via Rubini (vedi piantina) tra il 9 gennaio e il 31 gennaio 2007.

## **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 2003.

Nell'ambito di tale inventario la suddivisione delle sorgenti avviene per attività emissive: la classificazione utilizzata fa riferimento ai macrossettori 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 (SO<sub>2</sub>)
- Ossidi di Azoto (NO<sub>X</sub>)
- Composti Organici Volatili non Metanici (NMCOV)
- Metano (CH<sub>4</sub>)
- Monossido di Carbonio (CO)
- Biossido di Carbonio (CO<sub>2</sub>)
- Ammoniaca (NH<sub>3</sub>)
- Protossido di Azoto (N<sub>2</sub>O)
- Polveri Totali Sospese (PTS) o polveri con diametro inferiore ai 10/2,5 µm (PM<sub>10</sub>/PM<sub>2,5</sub>)

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.

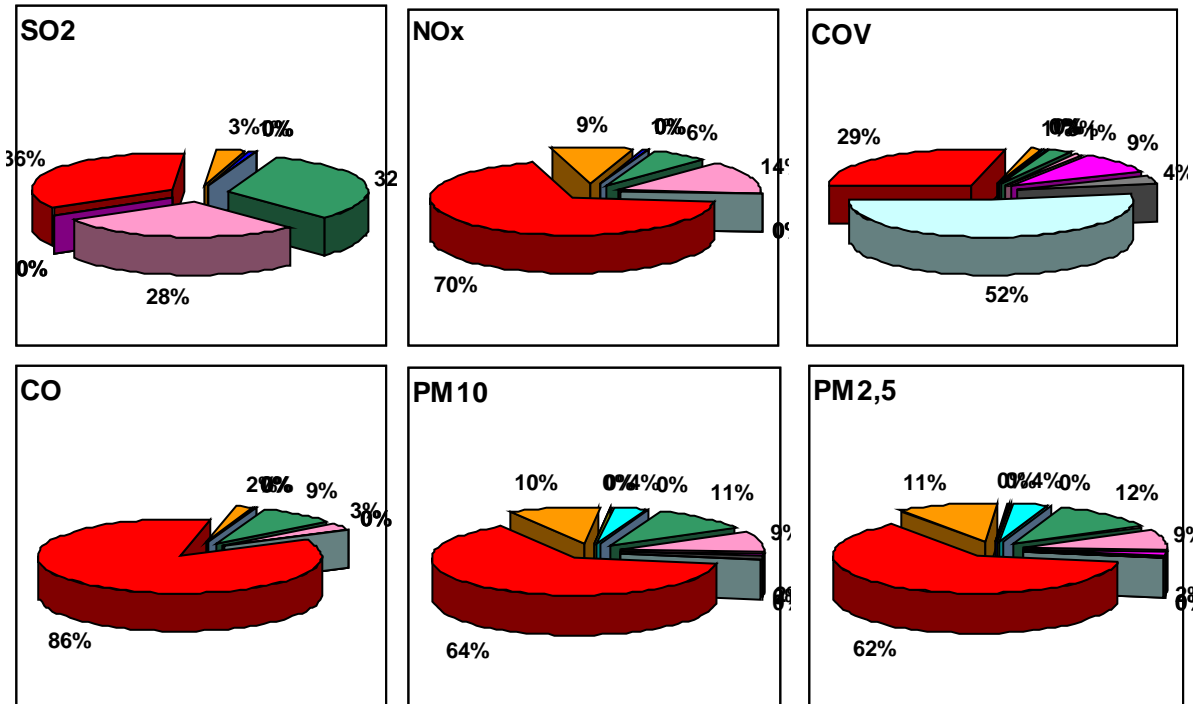
### Comune di Bergamo

DESCRIZIONE MACROSETTORE	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	COV	CO	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>
	t/anno	t/anno	t/anno	t/anno	t/anno	t/anno
Combustione non industriale	36,1	109,8	89,5	427,4	18,7	17,9
Combustione nell'industria	31,5	244,6	18,1	143,0	14,2	13,1
Processi produttivi	0,0	0,0	288,9	0,0	2,7	2,4
Estrazione e distribuzione combustibili	0,0	0,0	130,5	0,0	0,0	0,0
Uso di solventi	0,0	0,0	1628,0	0,0	0,7	0,2
Trasporto su strada	39,6	1188,1	882,6	4235,8	106,0	93,0
Altre sorgenti mobili e macchinari	3,8	157,6	36,3	92,8	17,1	17,1
Trattamento e smaltimento rifiuti	0,9	15,4	0,2	1,0	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	10,2	6,0	6,0

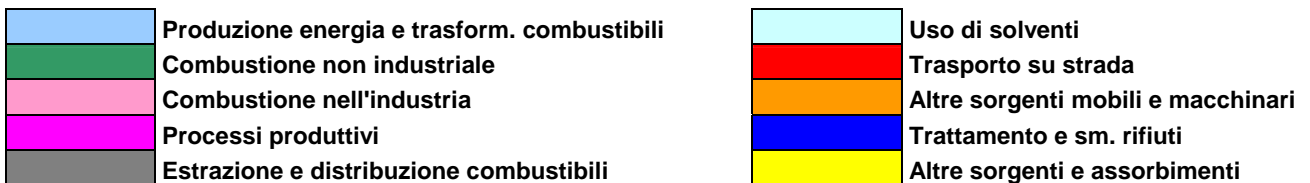
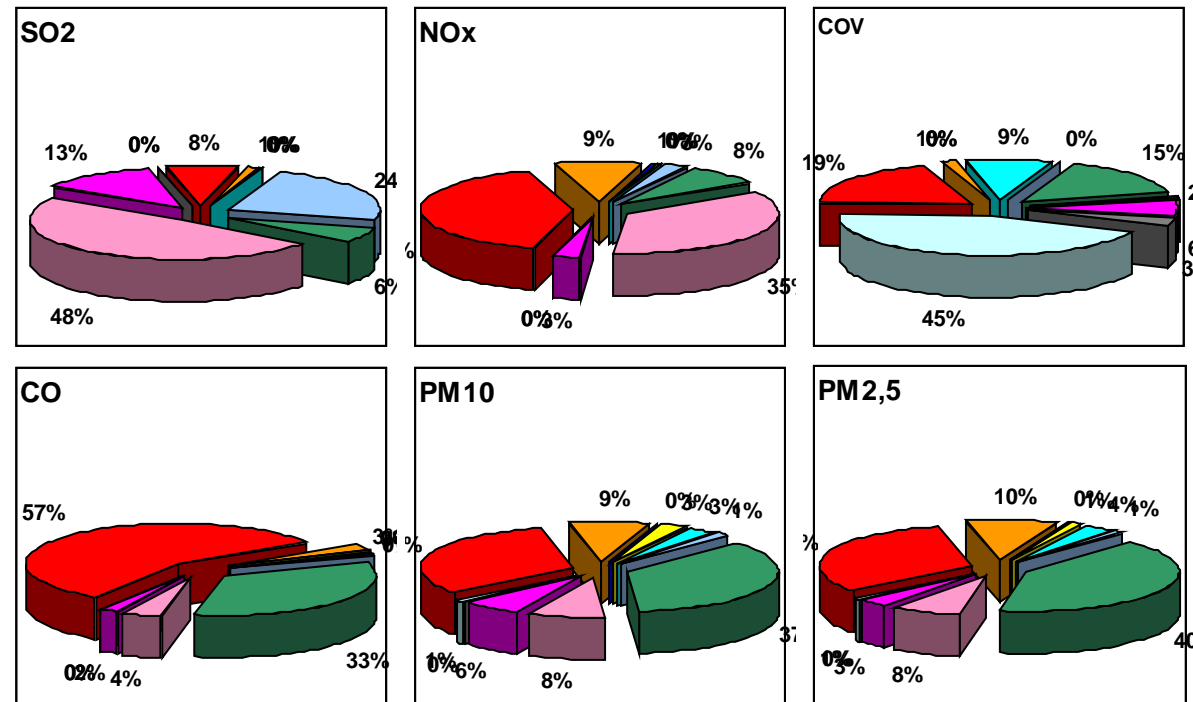
### Provincia di Bergamo

DESCRIZIONE MACROSETTORE	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	COV	CO	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>
	t/anno	t/anno	t/anno	t/anno	t/anno	t/anno
Produzione energia e trasform. Combustibili	1109	623	17	181	41	25
Combustione non industriale	272	1913	5875	23682	1106	1070
Combustione nell'industria	2252	8383	597	3019	253	197
Processi produttivi	586	693	2384	1292	193	84
Estrazione e distrib.di combustibili fossili	0	0	1090	0	0	0
Uso di solventi	0	6	17156	3	35	15
Trasporto su strada	364	9768	7499	40456	993	844
Altre sorgenti mobili e macchinari	48	2187	536	1828	263	257
Trattamento e smaltimento rifiuti	11	221	3	19	2	2
Agricoltura	0	36	18	58	82	35
Altre sorgenti e assorbimenti	4	16	3497	549	95	92

## COMUNE DI BERGAMO-STIME EMISSIONI 2003



## PROVINCIA DI BERGAMO-STIMA EMISSIONI 2003



## 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 è stata condotta dal 9 gennaio al 31 gennaio 2007. Il periodo del monitoraggio è stato contraddistinto da una spiccata variabilità sulla regione. Il periodo di misura è stato caratterizzato da precipitazioni scarse (5 giorni di precipitazioni su 23 giorni di campionamento).

La velocità del vento ha superato i 2 m/sec. solo per brevi periodi con valore massimo orario di 4.9 m/sec. (episodio di föhn verificatosi il giorno 19.01.2007)

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 1009 mBAR e un valore orario minimo di 967 mBAR.

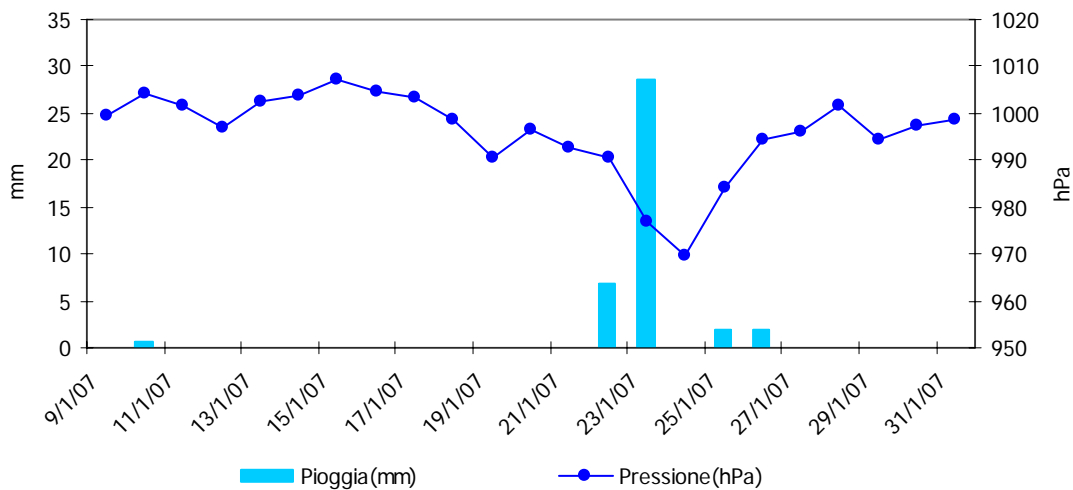
L'andamento della temperatura mette in evidenza la forte escursione termica tra il giorno e la notte (temperatura minima di  $-1.7^{\circ}\text{C}$  registrata il 27.01.2007 e temperatura massima di  $21.8^{\circ}\text{C}$  registrata il 19.01.2007).

Le condizioni meteorologiche del periodo del monitoraggio sono state molto variabili. Nelle fasi di instabilità atmosferica 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 e hanno determinato, per alcuni giorni, il superamento del valore limite per il PM10.

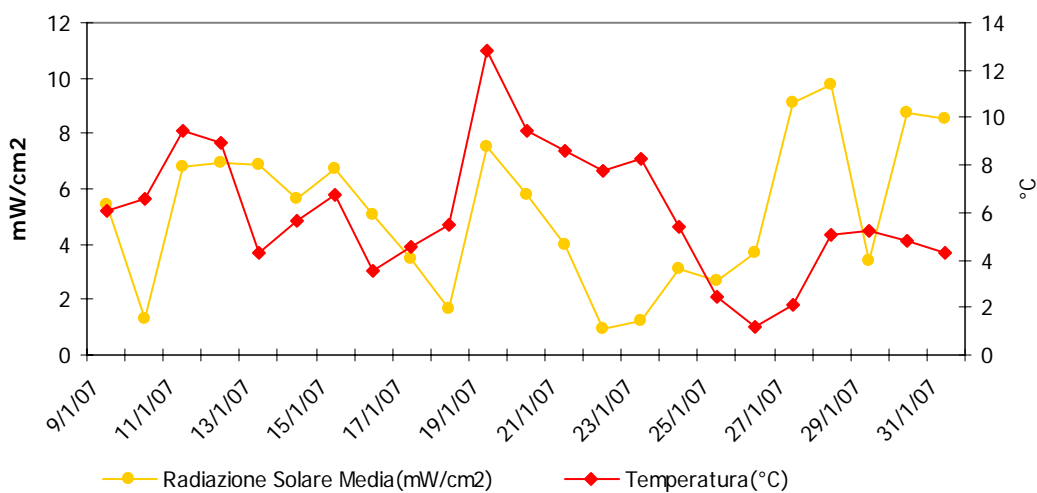
Si riportano gli andamenti relativi ai principali parametri meteorologici rilevati nel periodo di misura del Laboratorio Mobile e della centralina di Bergamo Via Garibaldi\*:

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

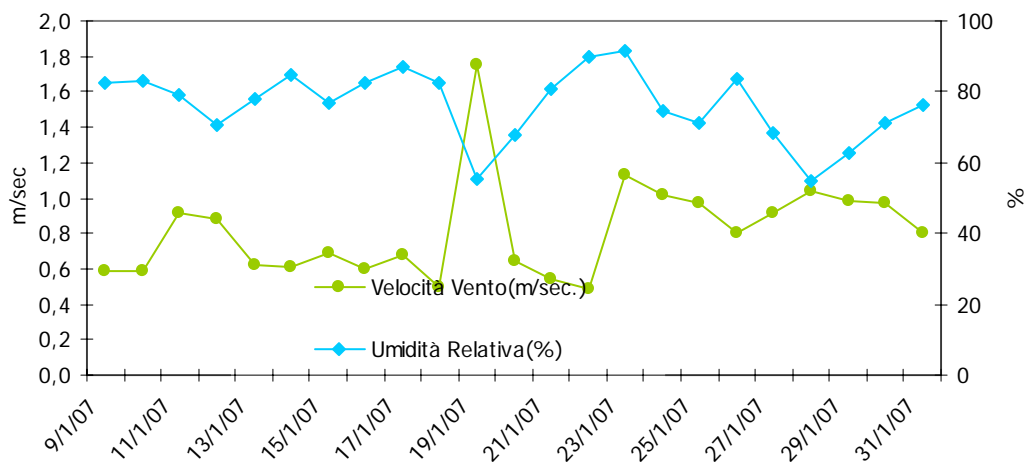
### Precipitazioni e Pressione



### 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<sub>2</sub>), ossidi di azoto (NO ed NO<sub>2</sub>), ozono (O<sub>3</sub>), monossido di carbonio (CO), particolato fine (PM10), benzene, toluene e xilene (BTX) oltre alla misura giornaliera del particolato fine (PM10).

Come descritto nel capitolo **Normativa** (vedi Tab. 2), il D.M. 60 del 02.04.02 stabilisce, per SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO e PM10, 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 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<sub>2</sub>)**, registrate durante il periodo di misura nella postazione del Comune di Bergamo, sono di 10 µg/m<sup>3</sup> per la media aritmetica e di 12 µg/m<sup>3</sup> per la media massima giornaliera.

Le concentrazioni di **monossido di carbonio (CO)**, registrate durante il periodo di misura nella postazione del Comune di Bergamo, sono di 4.1 mg/m<sup>3</sup> per la media massima oraria e di 2.9 mg/m<sup>3</sup> per la media massima su 8 ore.

Le concentrazioni di **biossido di azoto (NO<sub>2</sub>)**, registrate durante il periodo di misura nella postazione del Comune di Bergamo, sono di 40 µg/m<sup>3</sup> per la media aritmetica oraria e di 74 µg/m<sup>3</sup> per la media massima oraria.

Le concentrazioni di **Ozono (O<sub>3</sub>)**, registrate durante il periodo di misura nella postazione del Comune di Bergamo, sono di 39 µg/m<sup>3</sup> per la media massima oraria e di 26 µg/m<sup>3</sup> 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, sono di **80  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  per la media aritmetica e di 147  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  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, sono di 3.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  per il Benzene, di 18.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  per il Toluene e di 4.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  per lo Xilene per la media aritmetica.

Durante la campagna del Laboratorio Mobile nel Comune di Bergamo si è colta l'occasione per effettuare **un'indagine sulla radioattività** presente. L'indagine, con un carattere di primo "screening", è stata svolta attraverso l'esecuzione di due analisi di spettrometria gamma ad alta risoluzione eseguite con un rilevatore al germanio su un insieme di due serie di filtri delle polveri aerodisperse, rappresentativi del mese di gennaio 2007. I risultati dell'analisi radiometrica non evidenzia nessun fenomeno di radiocontaminazione in atto.

## Conclusioni

Le misure effettuate sul territorio del Comune di Bergamo hanno consentito una caratterizzazione generale della qualità dell'aria nelle vicinanze della Via Borgo Palazzo; strada molto trafficata da automezzi sia in entrate che in uscita dal centro cittadino.

- i valori di **NO<sub>2</sub>** hanno presentato andamenti e livelli medi di concentrazione simili a quelli misurati presso le postazioni urbane come Meucci(BG) e Garibaldi(BG);
- i valori medi di **CO** sono paragonabili a quelli misurati nelle postazioni della rete e risultano inferiori ai limiti di legge;
- anche per quanto riguarda **SO<sub>2</sub>**, i valori e gli andamenti sono comparabili alle altre centraline della rete fissa;
- i valori e gli andamenti dell'**O<sub>3</sub>** sono inferiori a quelli rilevati presso le centraline della rete fissa;
- il **PM10** mostra un andamento del tutto sovrapponibile a quanto rilevato nella Zona Critica bergamasca con valori medi giornalieri superiori.

Durante il periodo di misura a Bergamo la maggior parte degli inquinanti monitorati (SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO e O<sub>3</sub>) non ha fatto registrare superamenti dei limiti normativi.

**Il PM10 ha superato il valore limite di legge per 17 giorni sui 23 giorni del monitoraggio.** La frequenza e l'intensità dei superamenti delle polveri sottili nel Comune di Bergamo sono superiori con quanto osservato presso le altre postazioni fisse della Zona Critica bergamasca.

Si ribadisce che gli episodi di criticità per il PM10 non sono propri del sito di monitoraggio, ma interessano una vasta area della Pianura Padana. In particolare l'accumulo delle polveri fini nei bassi strati atmosferici durante la stagione fredda, e il conseguente superamento del valore limite normativo, è modulato principalmente dalle condizioni climatiche che si instaurano sulla pianura lombarda in inverno, oltre alle caratteristiche geografiche della regione.

Durante le fasi di stabilità atmosferica le calme di vento e il raffreddamento radiativo del suolo determinano una diminuzione delle capacità dispersive dell'atmosfera, favorendo l'accumulo dei inquinanti al suolo.

L'analisi dei valori degli inquinanti misurati caratterizza il luogo in cui è stato posizionato il Laboratorio mobile come sito assimilabile alle stazioni urbane da traffico dell'area bergamasca anche se con valori medi e di picco superiori.

### Tabelle centraline

	rete	Tipo zona	Tipo stazione	Quota s.l.m. (metri)	Periodo di misura
		Dec. 2001/752/CE	Decisione 2001/752/CE		
<b>Bergamo (Lab. Mob.)</b>	PUB	URBANA	TRAFFICO.	249	dal 09.01.2007 al 31.01.2007
<b>Lallio</b>	PRIV	URBANA	TRAFFICO	207	Centralina Fissa
<b>Treviglio</b>	PUB	URBANA	TRAFFICO	125	Centralina Fissa
<b>Meucci(BG)</b>	PUB	URBANA	TRAFFICO	249	Centralina Fissa
<b>Garibaldi(BG)</b>	PUB	URBANA	TRAFFICO	249	Centralina Fissa
<b>Goisis(BG)</b>	PUB	SUBURBANA	FONDO	290	Centralina Fissa
<b>Osio Sotto</b>	PRIV	SUBURBANA	FONDO	182	Centralina Fissa
<b>Calusco</b>	PRIV	URBANA	INDUSTR.	273	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 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Dev St.	Max Media 1 h ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Nr. giorni superamento Valore limite
<b>Bergano (Lab. Mob.)</b>	98.6	40	12	74	<b>0</b>
<i>Garibaldi(BG)</i>	80.4	40	15	81	<b>0</b>
<i>Meucci(BG)</i>	90.2	49	14	100	<b>0</b>
<i>Goisis(BG)</i>	99.8	21	8	55	<b>0</b>

### 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
<b>Bergamo (Lab. Mob.)</b>	98.7	10	1.3	12	<b>0</b>
<i>Lallio</i>	88.2	16	7.0	20	<b>0</b>
<i>Garibaldi(BG)</i>	100.0	14	3.3	18	<b>0</b>
<i>Treviglio</i>	100.0	11	1.5	13	<b>0</b>

### 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
<b>Bergamo (Lab. Mob.)</b>	93.1	<b>80</b>	36.6	<b>147</b>	<b>17</b>
<i>Meucci(BG)</i>	89.3	<b>66</b>	34.7	<b>128</b>	<b>14</b>
<i>Osio Sotto</i>	95.7	<b>69</b>	35.3	<b>153</b>	<b>16</b>

<b>Lallio</b>	74.1	<b>58</b>	31.7	<b>126</b>	<b>13</b>
---------------	------	-----------	------	------------	-----------

### Benzene

	% Rend.	Media (µg/m <sup>3</sup> )	Dev St.	Max Media 24 h (µg/m <sup>3</sup> )	
<b>Bergamo (Lab. Mob.)</b>	95.8	3.6	1.3	6.6	
<b>Garibaldi(BG)</b>	100.0	2.4	1.1	4.5	
<b>Calusco</b>	100.0	0.6	0.3	1.2	

### Toluene

	% Rend.	Media (µg/m <sup>3</sup> )	Dev St.	Max Media 24 h (µg/m <sup>3</sup> )	
<b>Bergamo (Lab. Mob.)</b>	95.8	18.9	11.0	50.3	
<b>Garibaldi(BG)</b>	100.0	15.4	8.0	32.4	
<b>Calusco</b>	100.0	3.0	1.7	7.2	

### Xilene

	% Rend.	Media (µg/m <sup>3</sup> )	Dev St.	Max Media 24 h (µg/m <sup>3</sup> )	
<b>Bergamo (Lab. Mob.)</b>	82.1	4.9	3.8	17.6	
<b>Garibaldi(BG)</b>	100.0	9.7	5.8	21.2	
<b>Calusco</b>	100.0	2.2	0.9	3.9	

## Monossido di Carbonio

	% Rend.	Media (mg/m <sup>3</sup> )	Dev St.	Max Media1 h (mg/m <sup>3</sup> )	Max Media 8 h (mg/m <sup>3</sup> )	Nr. giorni superamento Valore limite
<b>Bergamo (Lab. Mob.)</b>	98.6	1.7	0.5	4.1	2.9	<b>0</b>
<b>Garibaldi(BG)</b>	100.0	2.5	0.8	5.4	4.4	<b>0</b>
<b>Meucci(BG)</b>	78.4	1.6	0.6	4.2	2.9	<b>0</b>
<b>Goisis(BG)</b>	100.0	2.2	0.5	4.2	3.8	<b>0</b>

## Ozono

	% Rend.	Media (µg/m <sup>3</sup> )	Dev St.	Max Media1 h (µg/m <sup>3</sup> )	Nr. giorni superamento Soglia di informazione	Max Media 8 h (µg/m <sup>3</sup> )	Nr. giorni superamento Liv. Protezione per la Salute
<b>Bergamo (Lab. Mob.)</b>	98.7	7	7.3	39	<b>0</b>	26	<b>0</b>
<b>Osio Sotto</b>	100.0	7	8.7	49	<b>0</b>	34	<b>0</b>
<b>Goisis(BG)</b>	100.0	17	12.0	56	<b>0</b>	53	<b>0</b>

## INDAGINE RADIOMETRICA

Matrice: Filtri polveri - PTS -

Periodo di campionamento: Dal 10/01/2007 al 17/01/2007

codice 309BG1107

Durata misura (Live time): 60000 s

Dimensione campione: 210,1 m<sup>3</sup>

### RISULTATO DELLA SPETTROMETRIA GAMMA

Eseguita con rivelatore HP- Ge ad alta risoluzione

Attività specifica al: 14/01/2007 - 08:00

Unità di misura: mBq/m<sup>3</sup>

Artificiali a vita lunga		Serie naturali		Naturali
Cs-137	< 0,25	Pa-234m	< 27,71	K-40 < 9,36
Cs-134	< 0,17	Ra-226	< 5,93	Be-7 4,14 +/- 1,37
		Pb-214	1,11 +/- 0,32	
		Bi-214	1,62 +/- 0,47	
		Ac-228	1,01 +/- 0,58	
		Pb-212	1,40 +/- 0,24	
		Bi-212	< 3,09	
		U-235	< 0,36	

Non sono state riscontrate concentrazioni anomale di altri radionuclidi artificiali o naturali.

## INDAGINE RADIOMETRICA

Matrice: Filtri polveri - PTS -

Periodo di campionamento: Dal 26/01/2007 al 01/02/2007

codice 709BIS

Durata misura (Live time): 60000 s

Dimensione campione: 209,36 m<sup>3</sup>

### RISULTATO DELLA SPETTROMETRIA GAMMA

Eseguita con rivelatore HP- Ge ad alta risoluzione

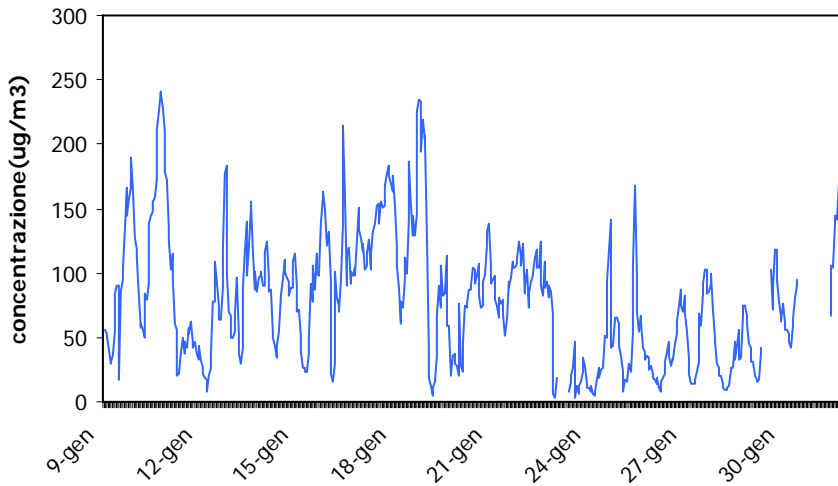
Attività specifica al: 29/01/2007 - 08:00

Unità di misura: mBq/m<sup>3</sup>

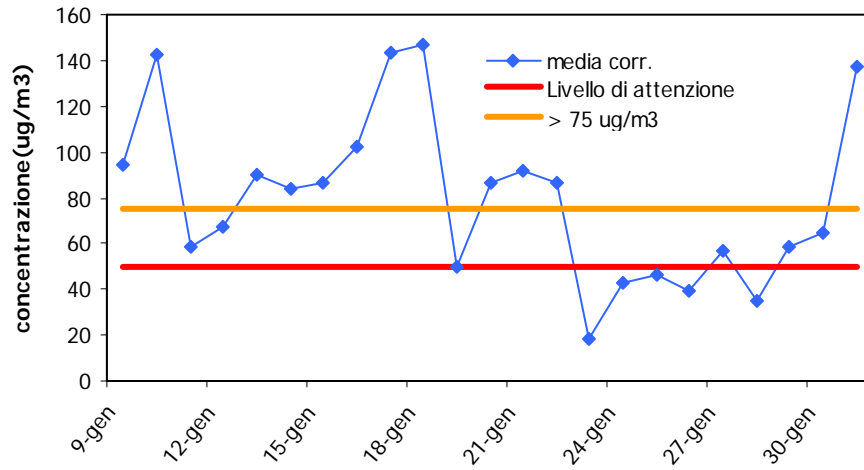
Artificiali a vita lunga		Serie naturali		Naturali
Cs-137	< 0,19	Pa-234m	< 24,24	K-40 < 7,37
Cs-134	< 0,13	Ra-226	< 5,23	Be-7 2,09 +/- 1,05
		Pb-214	< 0,60	
		Bi-214	< 0,69	
		Ac-228	< 0,98	
		Pb-212	< 0,54	
		Bi-212	< 4,51	
		U-235	< 0,32	

Non sono state riscontrate concentrazioni anomale di altri radionuclidi artificiali o naturali.

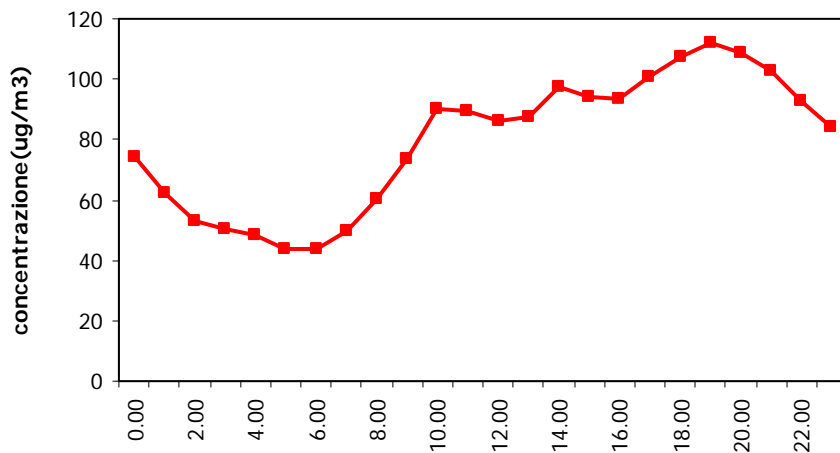
**PM-10**  
**Concentrazioni Orarie**



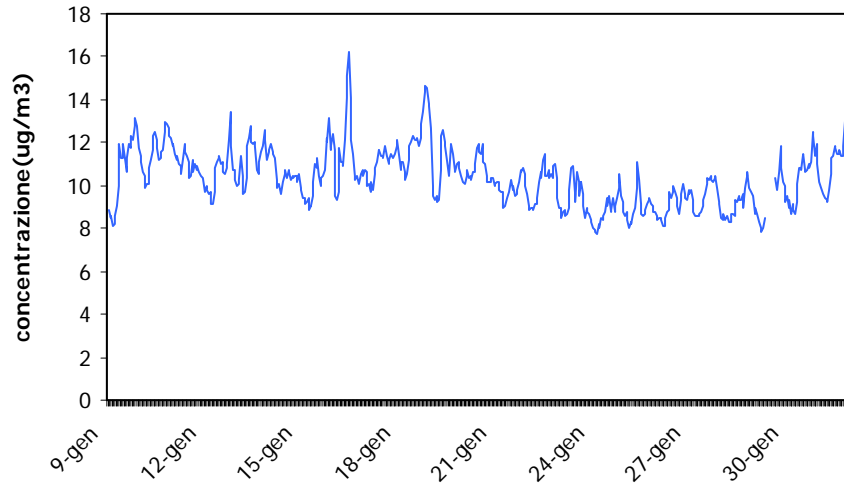
**PM-10**  
**Medie Giornaliere**



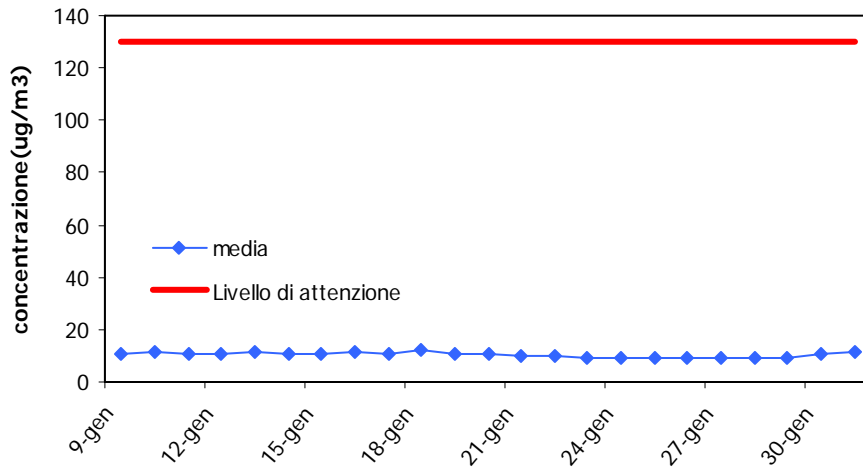
**PM-10**  
**Giorno Tipo**



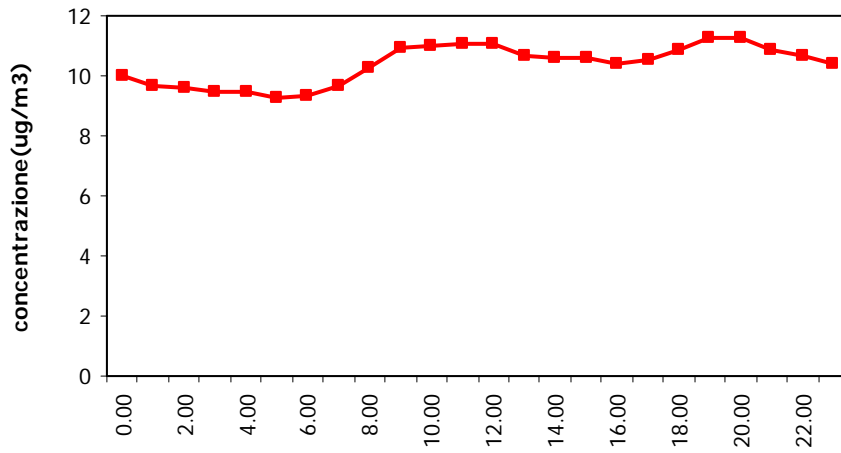
**S02**  
**Concentrazioni Orarie**



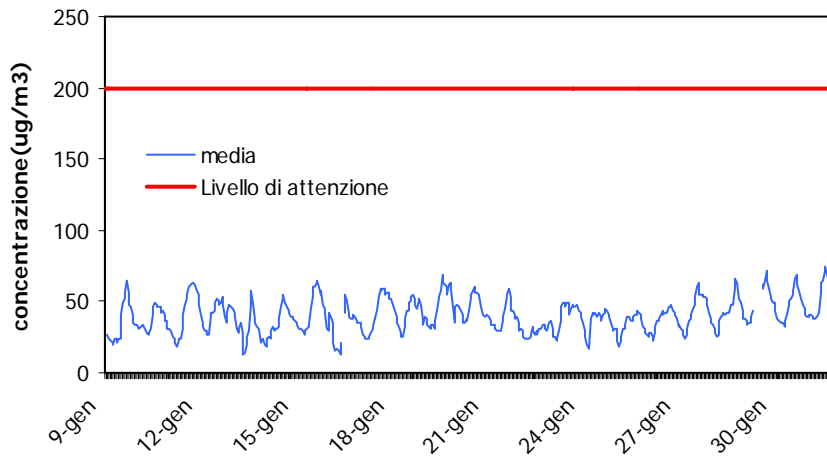
**S02**  
**Medie Giornaliere**



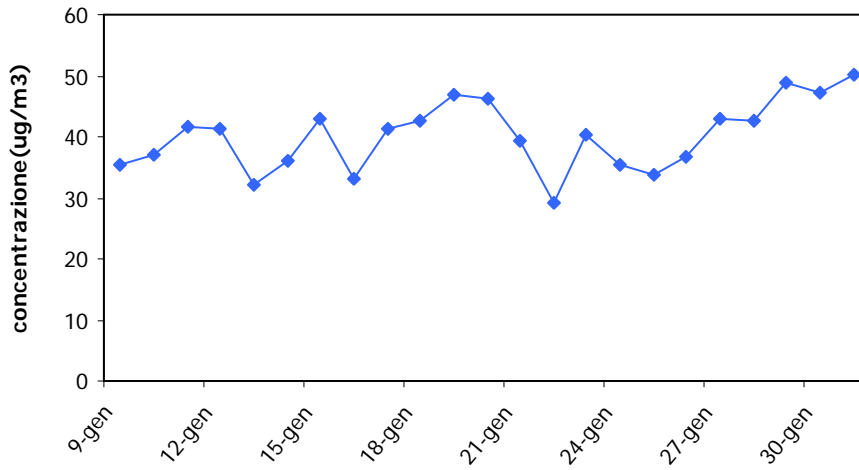
**S02**  
**Giorno Tipo**



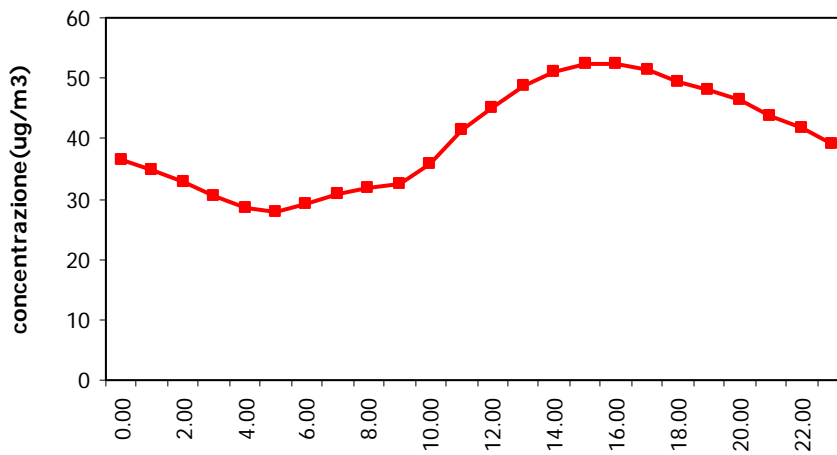
### NO2 Concentrazioni Orarie



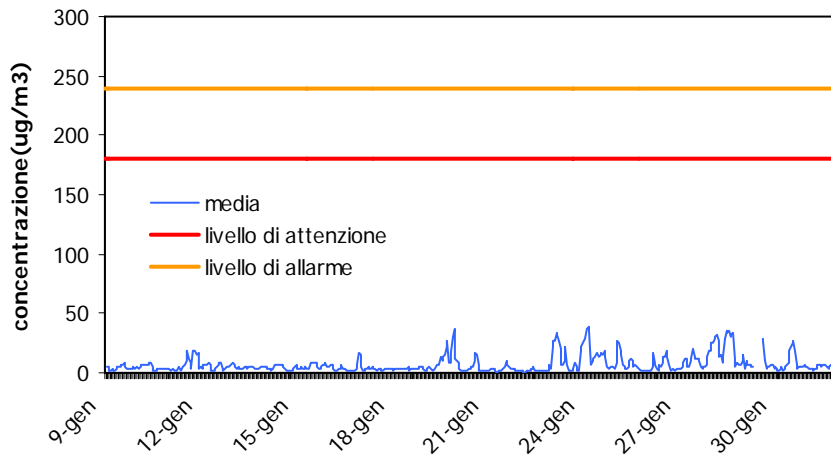
### NO2 Medie Giornaliere



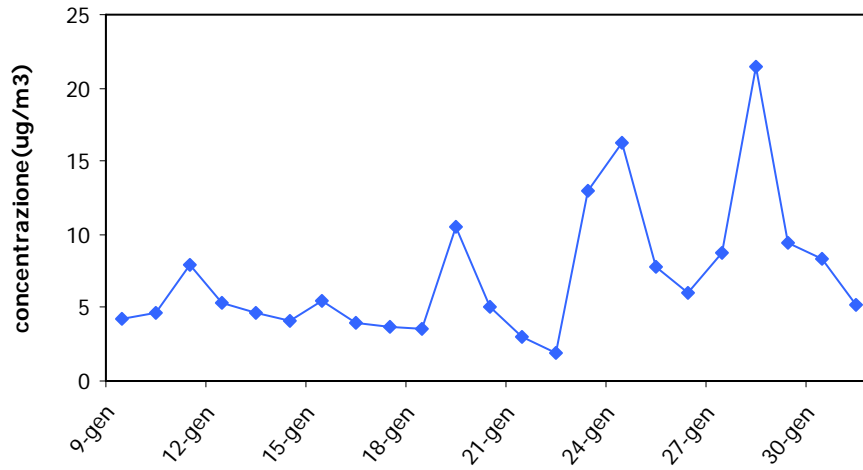
### NO2 Giorno Tipo



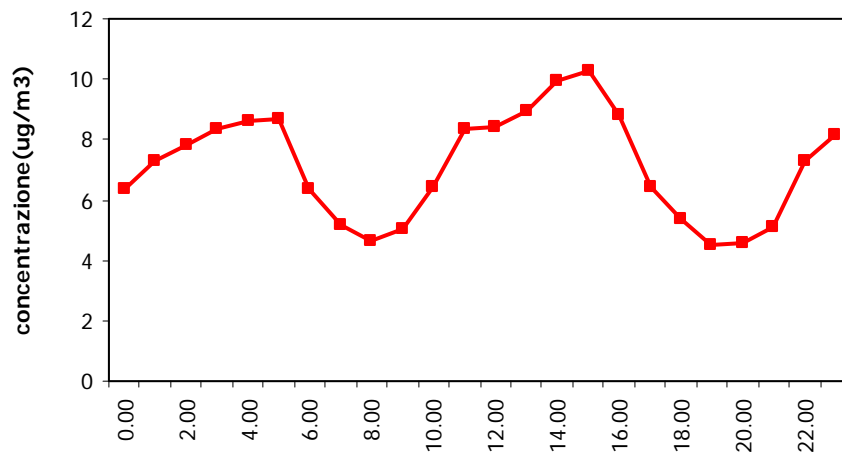
### Ozono Concentrazioni Orarie



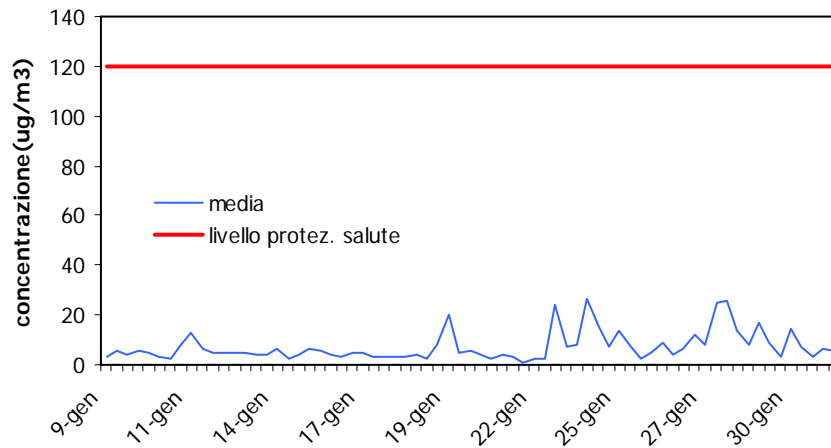
### Ozono Medie Giornaliere



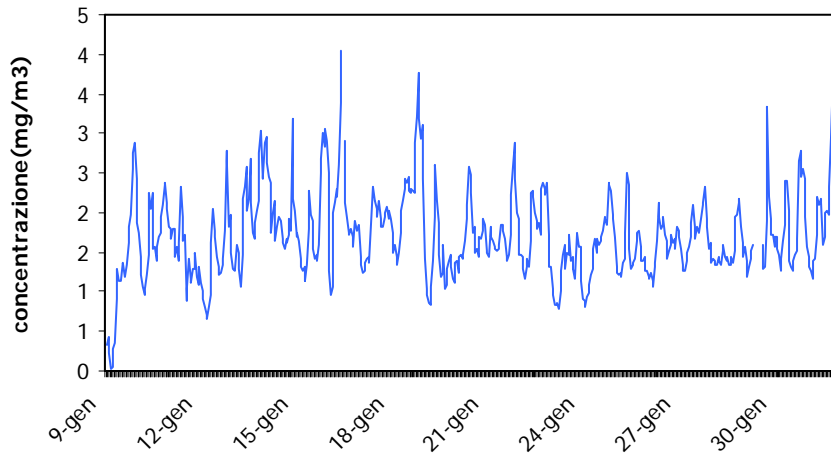
### Ozono Giorno Tipo



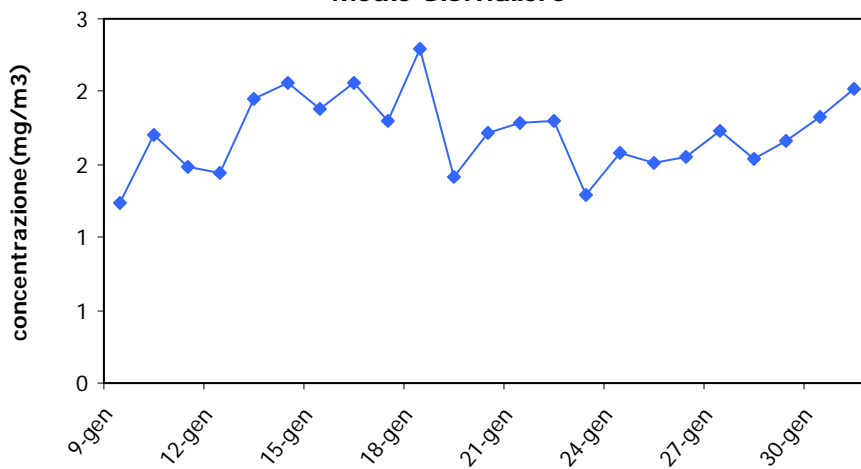
### Ozono Concentrazioni Media 8 ore



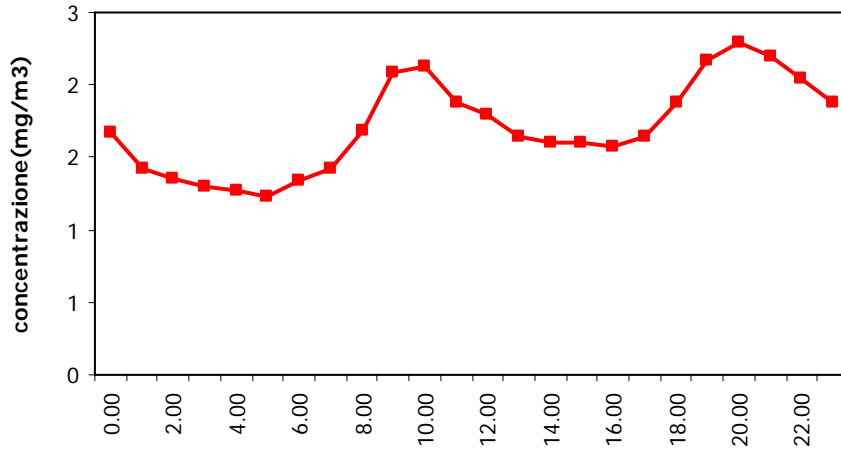
### CO Concentrazioni Orarie



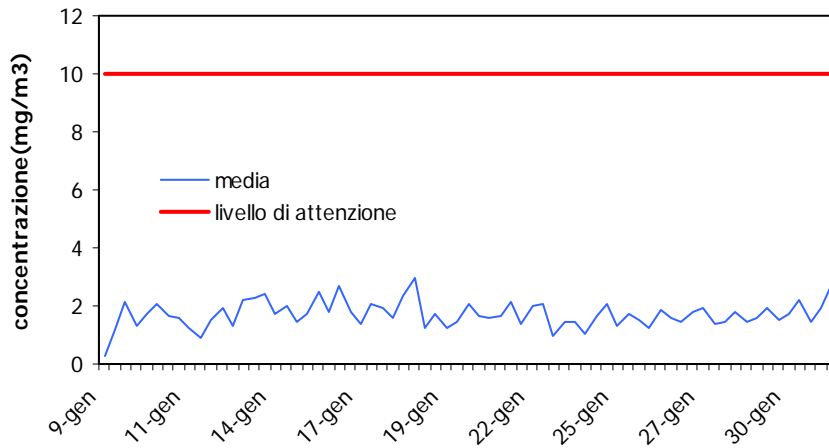
### CO Medie Giornaliere



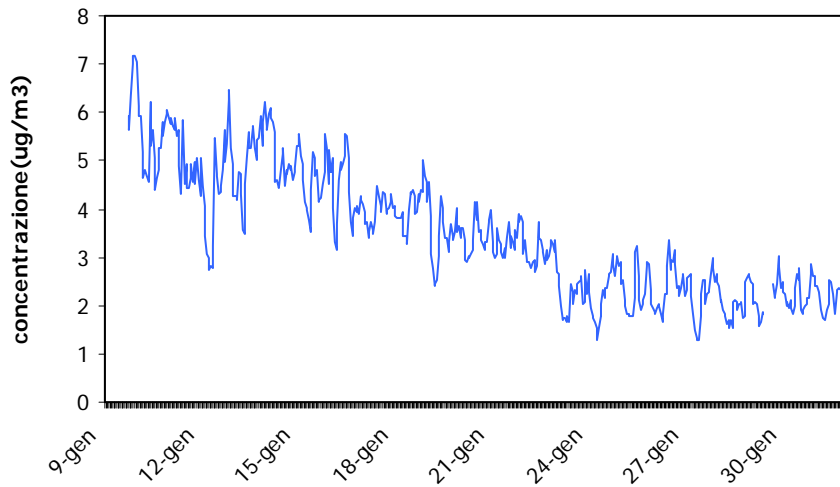
### CO Giorno Tipo

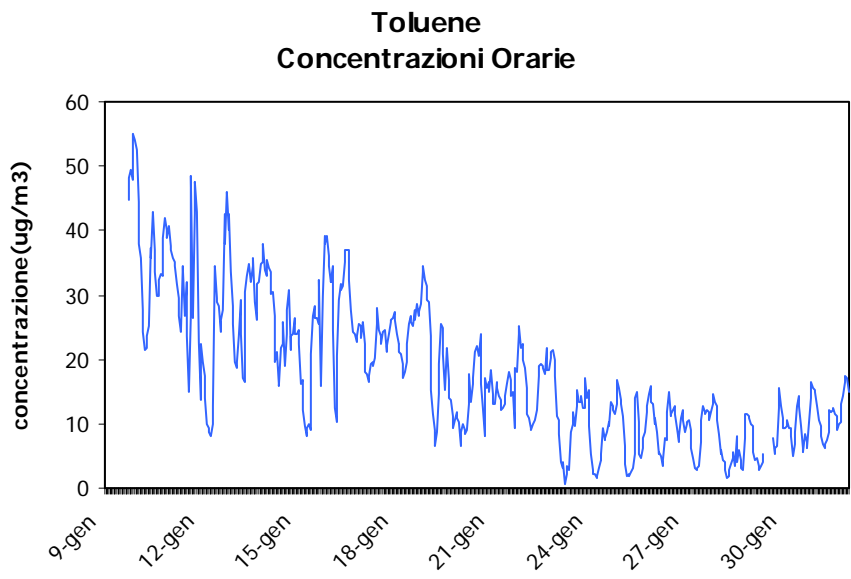
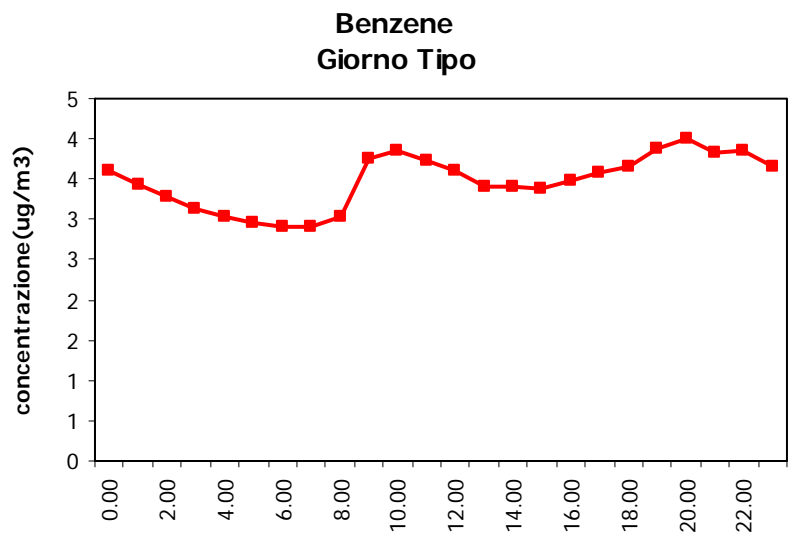
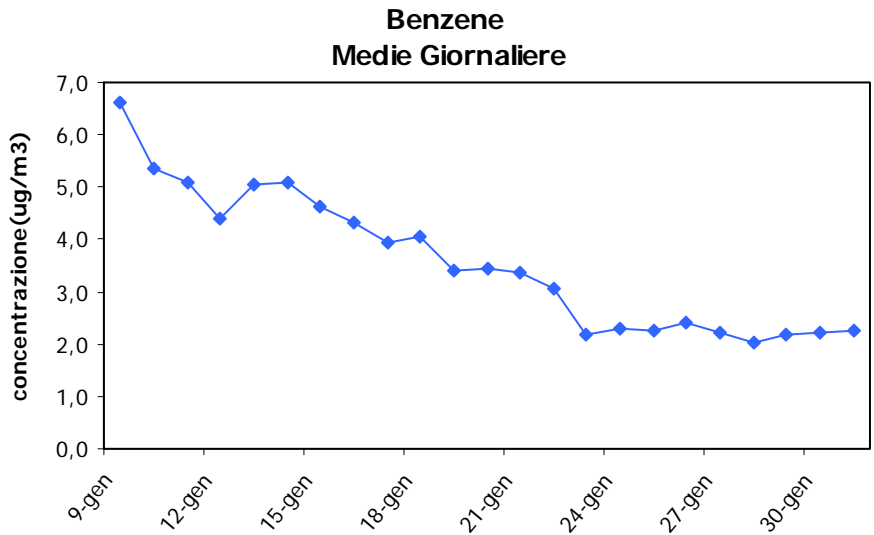


### CO Concentrazioni Media 8 ore

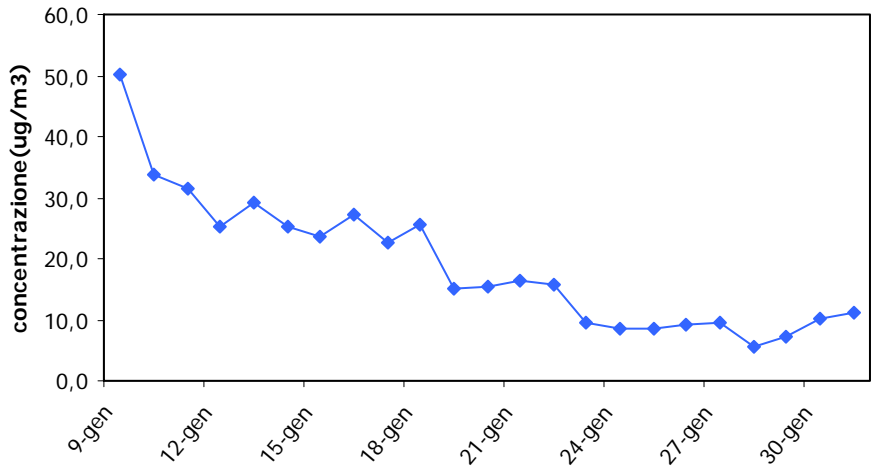


### Benzene Concentrazioni Orarie

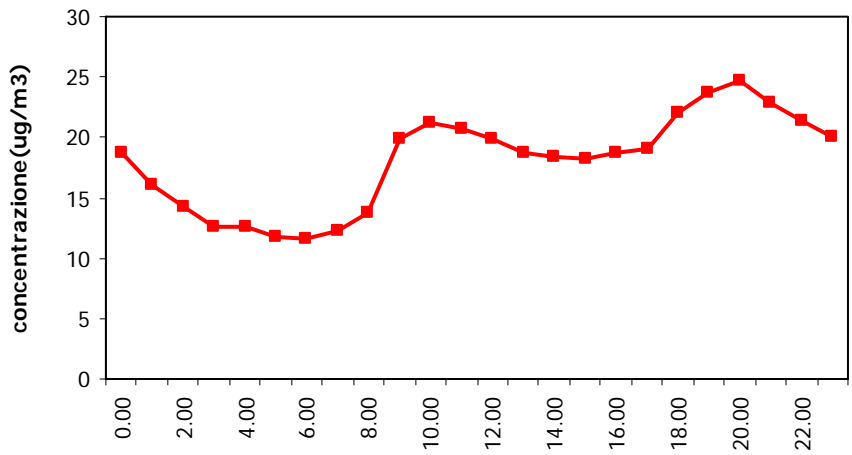




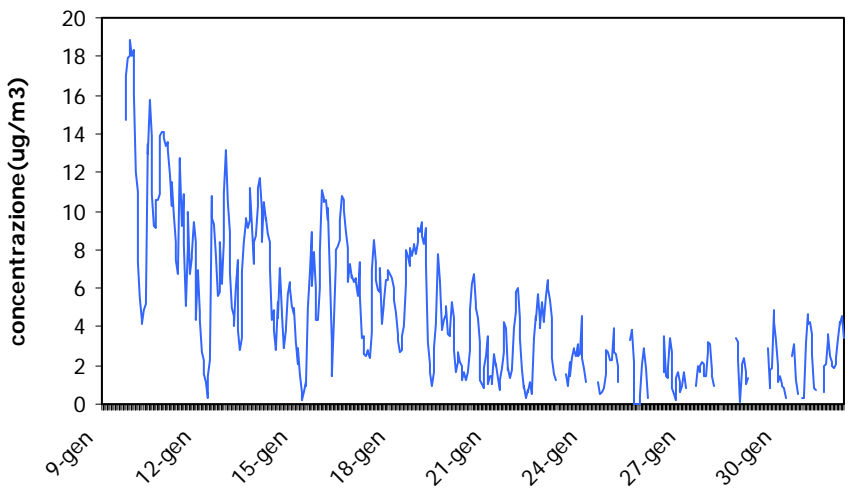
**Toluene**  
**Medie Giornaliere**



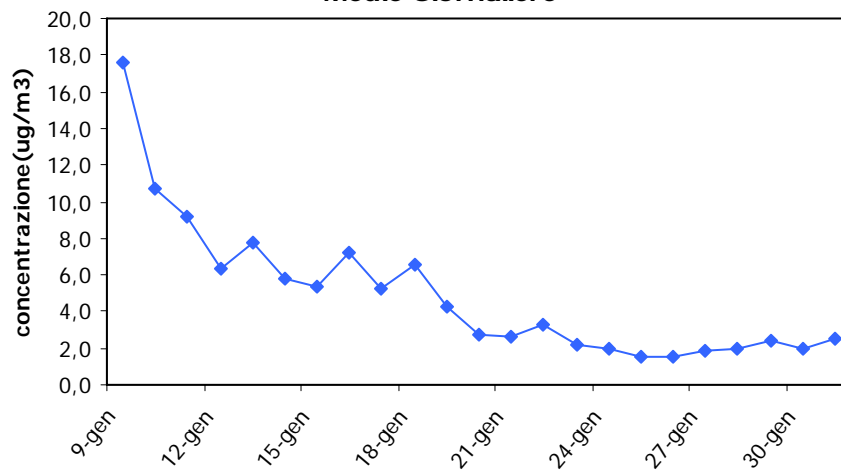
**Toluene**  
**Giorno Tipo**



**Xilene**  
**Concentrazioni Orarie**



**Xilene**  
**Medie Giornaliere**



**Xilene**  
**Giorno Tipo**

