



Agenzia Regionale
per la Protezione dell'Ambiente
della Lombardia

DIPARTIMENTO DI BERGAMO
U.O. MONITORAGGI E SISTEMI AMBIENTALI
RESPONSABILE: Dott. GUIDO PEZZERA

Laboratorio Mobile
Campagna di Misura Inquinamento Atmosferico
COMUNE DI BERGAMO-COLOGNOLA (SACBO-AEROPORTO)
22/07/2010 - 08/08/2010

Campagna di Misura della Qualità dell'Aria

COMUNE DI BERGAMO-COLOGNOLA(SACBO-AEROPORTO)

Gestione e Manutenzione Tecnica del Laboratorio Mobile

P.Ch. Rosario Efrem Gamba

P.I. Saverio Bergamelli

Relazione redatta : Ing. Augusto Musitelli

Responsabile U.O. Monitoraggi e Sistemi Ambientali :

Dott. Guido Pezzerà

Campagna di Misura della Qualità dell'Aria

COMUNE DI BERGAMO(SACBO-AEROPORTO)

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| <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 di Bergamo a nome della Società per l'Aeroporto Civile di Bergamo (SACBO). Lo scopo della campagna era il monitoraggio della qualità dell'aria nel comune di Bergamo interessati dal sorvolo degli aeromobili.

A tale fine, in accordo con il Comune e i tecnici della SACBO, il laboratorio mobile è stato posizionato presso il quartiere Colognola nell'area interna dell'Asilo Nido di Via Linneo (vedi piantina) tra il 22 luglio e il 8 agosto 2010.

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

- Biossido di Zolfo (SO₂);
- Monossido di Carbonio (CO);
- Ossidi di Azoto (NO_x, NO e NO₂);
- Particolato Fine (PM10 e PM2,5);
- Ozono (O₃).
- 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 SO₂, NO_x, NO, NO₂, PM10, O₃, 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 (SO₂)** 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, la concentrazioni più alte si osservano soprattutto nelle zone extraurbane sottovoento 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 risolleamento 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 | 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).

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.

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 | 1 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 |
| | 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 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | | Periodo di mediazione | Legislazione |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|------------|----------------------------------------|----------------------|
| | Valore limite protezione salute umana (da non superare più di 24 volte per anno civile) | 350 | 1 h | D.M. 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 |

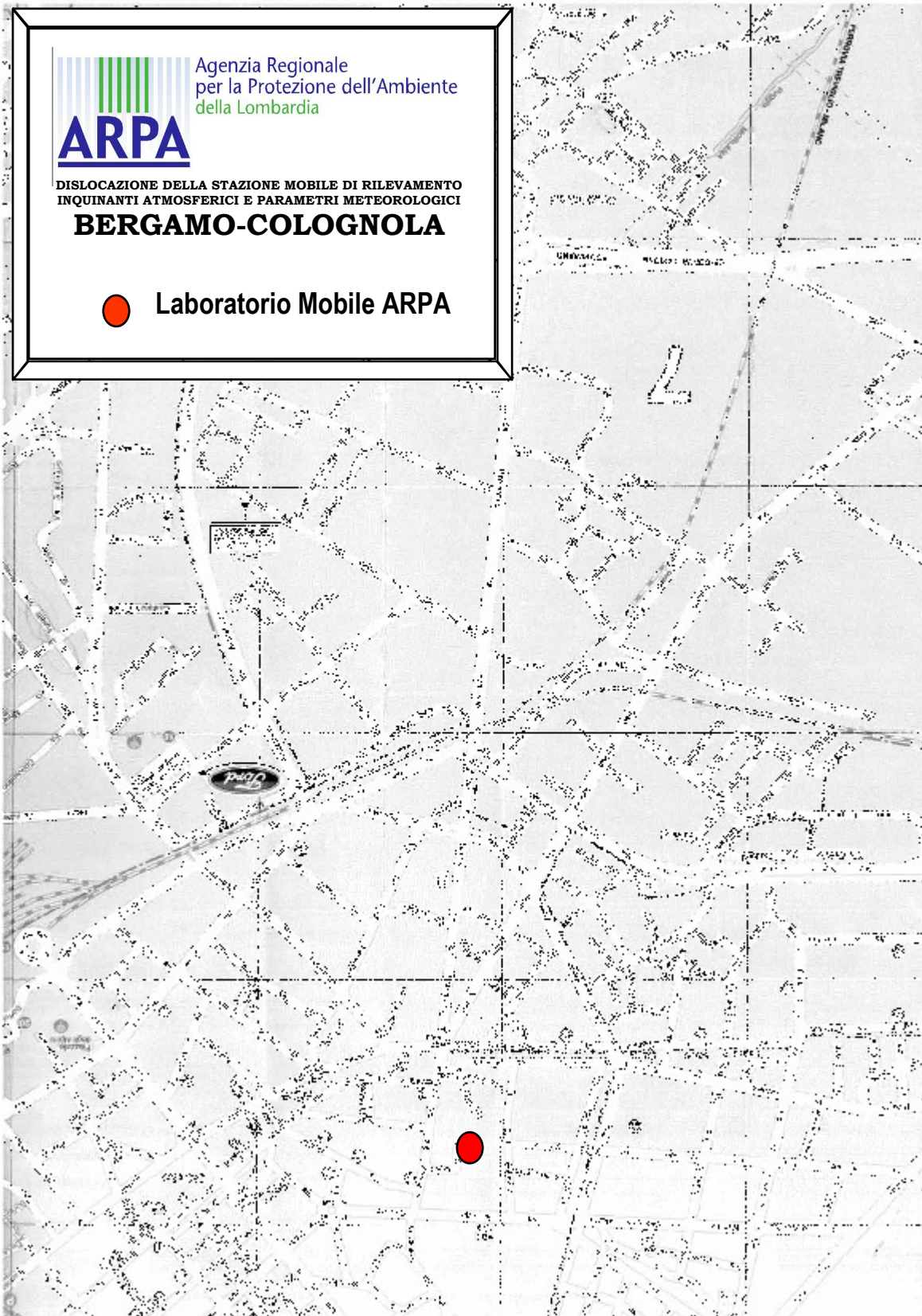
| Particolato Fine PM10 | Valore Obiettivo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | | Periodo di mediazione | Legislazione |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|------------------------------|----------------------|
| | 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 | 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)

Campagna di Misura

Sito di Misura



Periodo di Misura: 22 luglio – 08 agosto 2010

Sito di misura: **Comune di Bergamo**

Il laboratorio mobile è stato posizionato presso il quartiere Colognola nell'area interna dell'Asilo Nido di Via Linneo (vedi piantina) tra il 22 luglio e il 8 agosto 2010.

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 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.

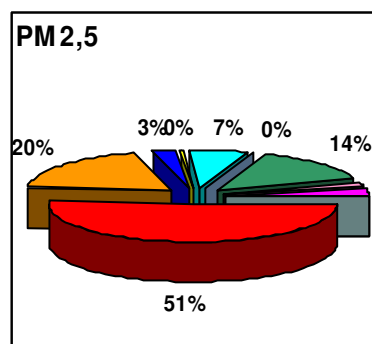
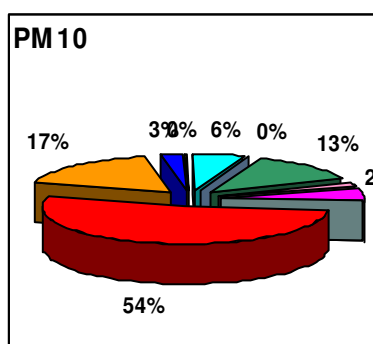
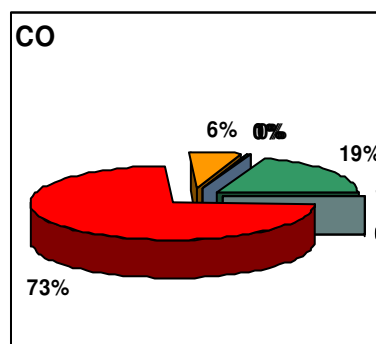
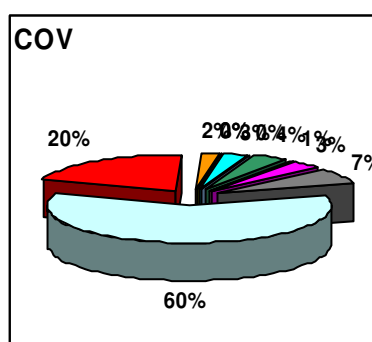
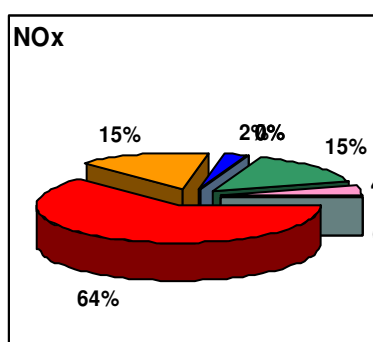
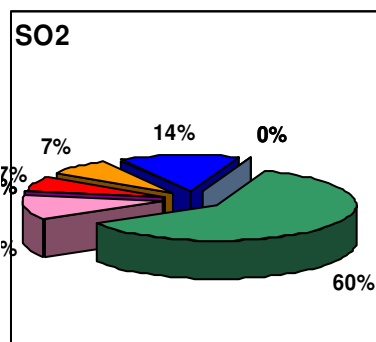
Comune di Bergamo

| 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 | 40,6 | 174,6 | 67,1 | 322,0 | 12,8 | 12,4 |
| Combustione nell'industria | 7,8 | 49,0 | 9,8 | 17,2 | 2,2 | 1,5 |
| Processi produttivi | 0,0 | 0,0 | 51,2 | 0,0 | 5,3 | 3,0 |
| Estrazione e distribuzione combustibili | 0,0 | 0,0 | 122,7 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Uso di solventi | 0,0 | 0,0 | 997,8 | 0,0 | 0,2 | 0,1 |
| Trasporto su strada | 4,6 | 719,4 | 340,0 | 1266,6 | 53,4 | 44,3 |
| Altre sorgenti mobili e macchinari | 4,8 | 174,0 | 30,2 | 95,6 | 17,1 | 17,1 |
| Trattamento e smaltimento rifiuti | 9,2 | 27,4 | 1,0 | 2,3 | 2,5 | 2,5 |
| Agricoltura | 0,0 | 0,3 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,0 |
| Altre sorgenti e assorbimenti | 0,0 | 0,0 | 45,7 | 9,2 | 5,9 | 5,9 |

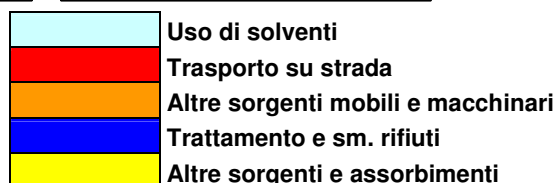
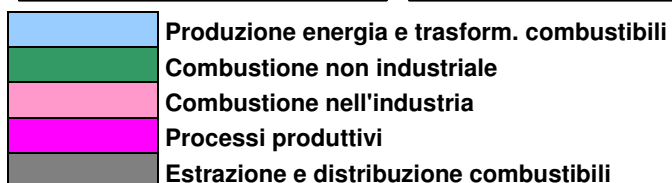
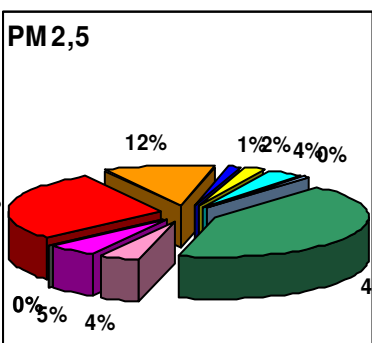
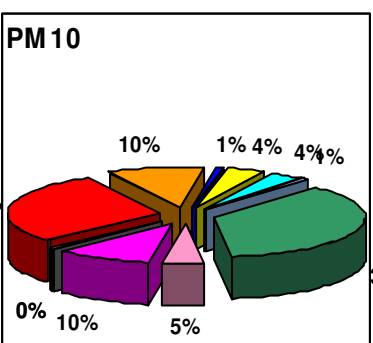
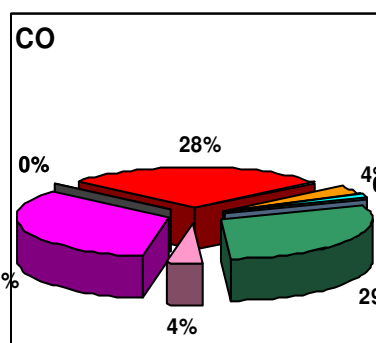
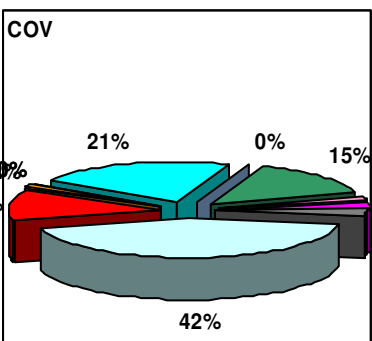
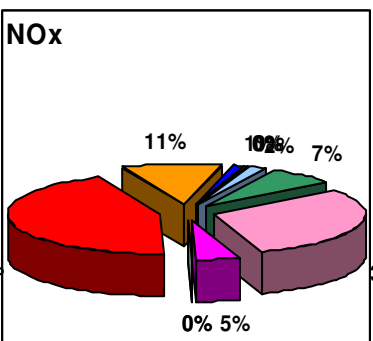
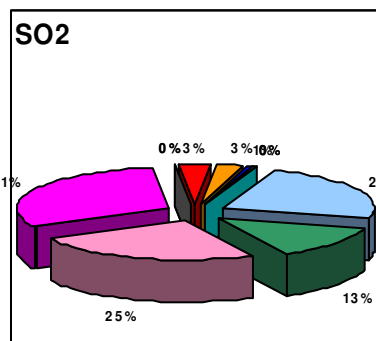
Provincia di Bergamo

| 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 | 493 | 396 | 10 | 71 | 16 | 10 |
| Combustione non industriale | 270 | 1564 | 4319 | 17021 | 897 | 868 |
| Combustione nell'industria | 511 | 6391 | 460 | 2209 | 113 | 84 |
| Processi produttivi | 649 | 1043 | 817 | 19502 | 250 | 108 |
| Estrazione e distrib.di combustibili fossili | 0 | 0 | 904 | 0 | 0 | 0 |
| Uso di solventi | 0 | 7 | 12758 | 14 | 8 | 5 |
| Trasporto su strada | 67 | 9336 | 3432 | 16434 | 723 | 578 |
| Altre sorgenti mobili e macchinari | 58 | 2363 | 480 | 2098 | 253 | 248 |
| Trattamento e smaltimento rifiuti | 19 | 220 | 11 | 34 | 22 | 21 |
| Agricoltura | 0 | 31 | 17 | 10 | 105 | 46 |
| Altre sorgenti e assorbimenti | 5 | 23 | 6164 | 732 | 88 | 86 |

COMUNE DI BERGAMO-STIME EMISSIONI 2007



PROVINCIA DI BERGAMO-STIME EMISSIONI 2007



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 ad Bergamo-Colognola è stata condotta dal 22 luglio al 8 agosto 2010. Il periodo del monitoraggio è stato contraddistinto da una situazione meteo prettamente estiva. Il periodo di misura è stato caratterizzato da precipitazioni medie (5 giorni di precipitazioni su 18 giorni di campionamento) ma concentrate in brevi periodi.

La velocità del vento ha superato i 1.5 m/sec. solo per brevi periodi con valore massimo orario di 2.1 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 999 mBAR e un valore orario minimo di 985 mBAR.

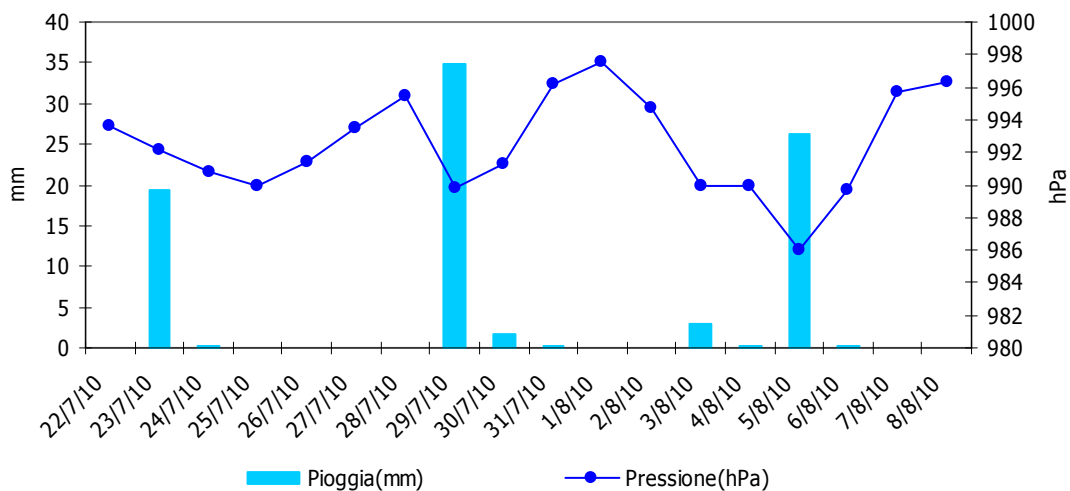
L'andamento della temperatura mette in evidenza la forte escursione termica tra il giorno e la notte (temperatura minima di 13.2° C registrata il 06.08.2010 e temperatura massima di 34.2° C registrata il 22.07.2010).

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.

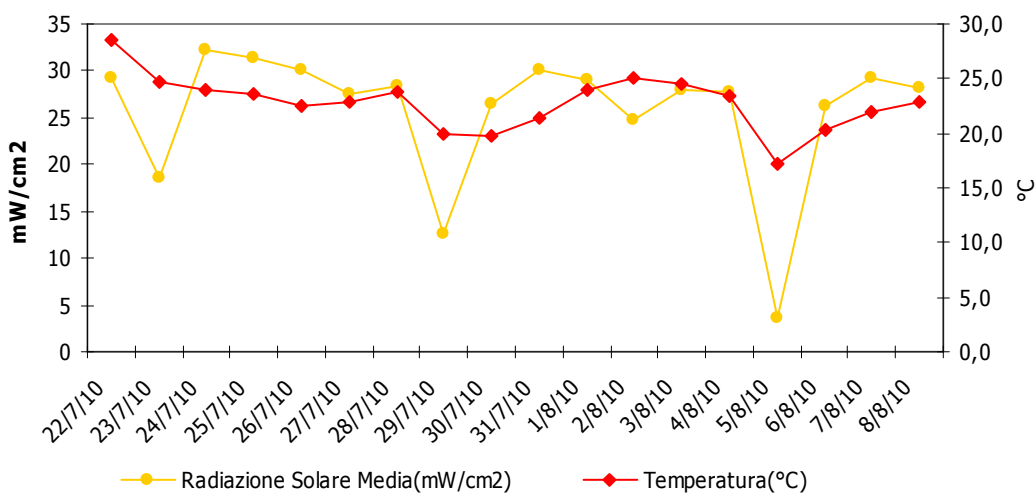
Si riportano gli andamenti relativi ai principali parametri meteorologici rilevati nel periodo di misura del Laboratorio Mobile e della centralina di Bergamo Via Goisis*:

- Precipitazione (mm) * e Pressione (hPa)
- Radiazione solare media (W/m²) e Temperatura (C°)
- Velocità Vento (m/s) e Umidità Relativa (%)

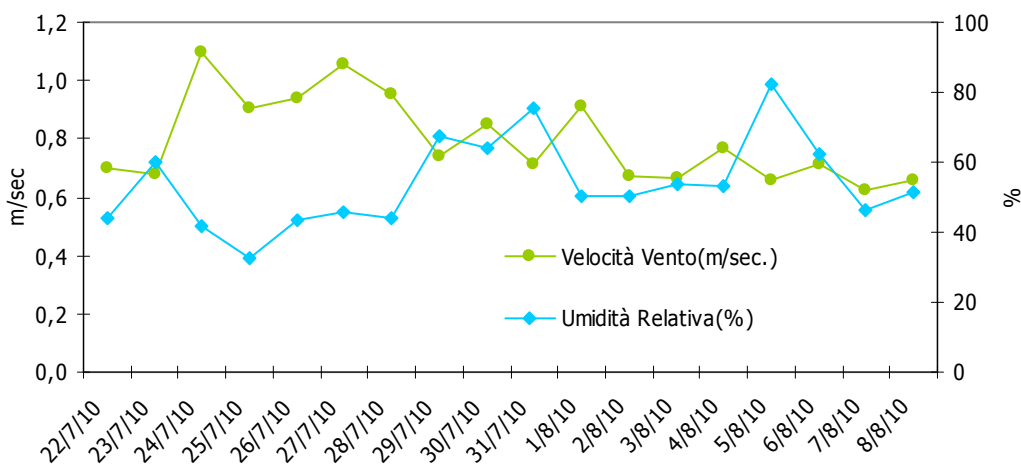
Precipitazioni e Pressione



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 2009.

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 ad Bergamo-Colognola 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 del periodo in questione.

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-Colognola, sono di $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per la media aritmetica e di $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per la media massima giornaliera.

Le concentrazioni di **monossido di carbonio (CO)**, registrate durante il periodo di misura nella postazione del Comune di Bergamo-Colognola, sono di $0.6 \text{mg}/\text{m}^3$ per la media massima oraria e di $0.5 \text{mg}/\text{m}^3$ 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-Colognola, sono di $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per la media aritmetica oraria e di $63 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per la media massima oraria.

Le concentrazioni di **Ozono (O_3)**, registrate durante il periodo di misura nella postazione del Comune di Bergamo-Colognola, sono di $170 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per la media massima oraria e di **$134 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 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-Colognola, sono di 17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per la media aritmetica e di 34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per la media massima giornaliera.

Le concentrazioni del **Particolato Fine (PM2,5)**, registrate durante il periodo di misura nella postazione del Comune di Bergamo-Colognola, sono di 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per la media aritmetica e di 23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 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-Colognola, sono di 0.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per il Benzene, di 0.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per il Toluene e di 0.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per lo Xilene per la media aritmetica.

Conclusioni

Le misure effettuate sul territorio del Comune di Bergamo-Colognola hanno consentito una caratterizzazione generale della qualità dell'aria nelle zone abitative interessate da sorvoli di aeromobili provenienti dall'Aeroporto di Orio al Serio nel periodo estivo.

- i valori di **NO₂** hanno presentato andamenti di concentrazione simili a quelli misurati presso le postazioni urbane ma con valori assoluti più bassi alla stazione di Garibaldi(BG) e superiori alle stazioni di Meucci(BG) e Goisis(BG);
- i valori medi di **CO** sono inferiori a quelli misurati nelle postazioni della rete (simili a Goisis(BG)) e risultano inferiori ai limiti di legge;
- anche per quanto riguarda **SO₂**, i valori e gli andamenti sono comparabili alle altre centraline della rete fissa e con valori simili a quelli delle centraline della rete
- i valori e gli andamenti dell'**O₃** sono inferiori a quelli rilevati presso le centraline della rete fissa;
- le polveri sottili (**PM10**) mostrano un andamento del tutto simile a quanto rilevato nella provincia di Bergamo con valori medi paragonabili.
- il **PM2,5** mostra un andamento del tutto sovrapponibile a quanto rilevato nella provincia di Bergamo, con valori medi giornalieri superiori alle centraline di Meucci(BG), Seriate e Calusco.
- i valori medi di **Benzene** sono in linea a quelli misurati nelle centraline della rete ; risultano comunque più bassi dei limiti di legge

Durante il periodo di misura a Bergamo-Colognola la maggior parte degli inquinanti monitorati (SO₂, NO₂, CO, PM10 e Benzene) non ha fatto registrare superamenti dei limiti normativi.

L'Ozono ha superato il valore limite di legge come superi del valore bersaglio della salute umana (media di 8 ore) per 3 giorni sui 18 giorni del periodo di monitoraggio. Tali superi sono dovuti principalmente al periodo estivo che con la forte insolazione favorisce la formazione di ozono.

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.

Tabelle centraline

| | rete | Tipo zona | Tipo stazione | Quota s.l.m. (metri) | Periodo di misura |
|--------------------------------------|------|------------------|----------------------------------|----------------------|------------------------------|
| | | Dec. 2001/752/CE | Decisione 2001/752/CE | | |
| Bergamo-Colognola (Lab. Mob.) | PUB | URBANA | TRAFFICO STRADALE E AEROPORTUALE | 249 | dal 22.07.2010 al 08.08.2010 |
| Meucci(BG) | PUB | URBANA | FONDO-URBANO | 249 | Centralina Fissa |
| Garibaldi(BG) | PUB | URBANA | TRAFFICO | 249 | Centralina Fissa |
| Goisis(BG) | PUB | SUBURBANA | FONDO | 290 | Centralina Fissa |
| Osio Sotto | PRIV | SUBURBANA | FONDO | 182 | Centralina Fissa |
| Calusco | PRIV | URBANA | INDISTR. | 273 | Centralina Fissa |
| Seriate | PUB | URBANA | FONDO-URBANO | 247 | Centralina Fissa |
| Lallio | PRIV | URBANA | TRAFFICO | 207 | Centralina Fissa |
| Treviglio | PUB | URBANA | TRAFFICO | 125 | Centralina Fissa |
| Dalmine | PUB | URBANA | FONDO-URBANO | 207 | 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 |
|--------------------------------------|---------|---------------------------------------|---------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Bergamo-Colognola (Lab. Mob.) | 91.0 | 22 | 9 | 63 | 0 |
| Garibaldi(BG) | 100.0 | 28 | 15 | 77 | 0 |
| Meucci(BG) | 100.0 | 16 | 7 | 50 | 0 |
| Goisis(BG) | 90.0 | 7 | 6 | 37 | 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-Colognola (Lab. Mob.) | 97.0 | 6 | 1.7 | 9 | 0 |
| Lallio | 99.8 | 7 | 0.4 | 8 | 0 |
| Garibaldi(BG) | 100.0 | 8 | 2.2 | 10 | 0 |
| Treviglio | 100.0 | 12 | 0.2 | 13 | 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-Colognola (Lab. Mob.) | 98.8 | 17 | 7.8 | 34 | 0 |
| Garibaldi(BG) | 100.0 | 18 | 9.8 | 31 | 0 |

| | | | | | |
|-------------------|-------|----|------|----|----------|
| Meucci(BG) | 100.0 | 15 | 5.7 | 26 | 0 |
| Dalmine | 100.0 | 14 | 22.7 | 24 | 0 |

Particolato Fine (PM2,5)

| | % Rend. | Media ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Dev St. | Max Media 24 h ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | |
|--------------------------------------|---------|---------------------------------------|---------|------------------------------------------------|--|
| Bergamo-Colognola (Lab. Mob.) | 88.9 | 15 | 5.0 | 23 | |
| Meucci(BG) | 94.4 | 12 | 4.4 | 21 | |
| Seriate | 100.0 | 9 | 5.7 | 28 | |
| Dalmine | 100.0 | 10 | 3.5 | 18 | |

Benzene

| | % Rend. | Media ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Dev St. | Max Media 24 h ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | |
|--------------------------------------|---------|---------------------------------------|---------|------------------------------------------------|--|
| Bergamo-Colognola (Lab. Mob.) | 96.8 | 0.3 | 0.1 | 0.4 | |
| Garibaldi(BG) | 100.0 | 0.5 | 0.1 | 0.6 | |
| Calusco | 100.0 | 0.2 | 0.1 | 0.4 | |

Toluene

| | % Rend. | Media ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Dev St. | Max Media 24 h ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | |
|--------------------------------------|---------|---------------------------------------|---------|------------------------------------------------|--|
| Bergamo-Colognola (Lab. Mob.) | 96.8 | 0.9 | 0.2 | 1.3 | |
| Garibaldi(BG) | 100.0 | 2.5 | 0.7 | 3.4 | |
| Calusco | 100.0 | 2.1 | 1.3 | 5.9 | |

Xilene

| | % Rend. | Media ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Dev St. | Max Media 24 h ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | |
|--------------------------------------|---------|---------------------------------------|---------|------------------------------------------------|--|
| Bergamo-Colognola (Lab. Mob.) | 96.8 | 0.2 | 0.1 | 0.5 | |
| Garibaldi(BG) | 100.0 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | |
| Calusco | 100.0 | 0.7 | 0.4 | 1.9 | |

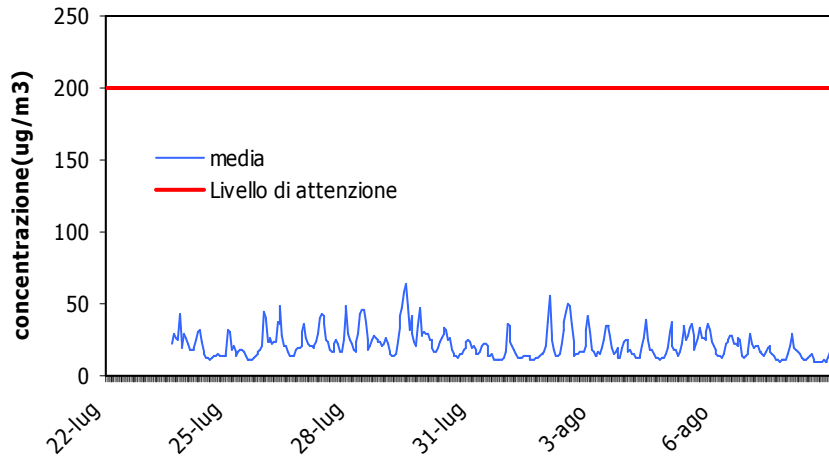
Monossido di Carbonio

| | % 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-Colognola (Lab. Mob.) | 97.2 | 0.3 | 0.1 | 0.6 | 0.5 | 0 |
| Garibaldi(BG) | 100.0 | 1.1 | 0.2 | 1.7 | 1.5 | 0 |
| Meucci(BG) | 100.0 | 1.0 | 0.4 | 3.0 | 2.5 | 0 |
| Goisis(BG) | 94.9 | 0.3 | 0.1 | 0.5 | 0.4 | 0 |

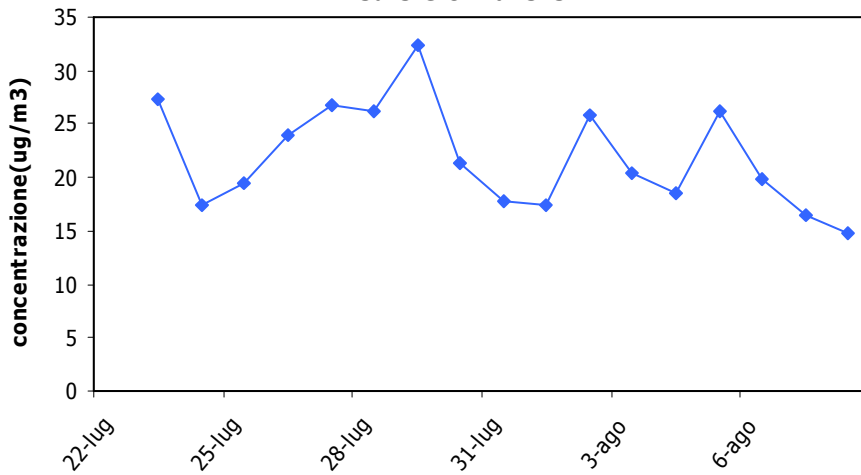
Ozono

| | % 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-Colognola (Lab. Mob.) | 99.8 | 80 | 34.6 | 170 | 0 | 134 | 3 |
| Osio Sotto | 100.0 | 82 | 39.8 | 174 | 0 | 157 | 11 |
| Goisis(BG) | 94.9 | 96 | 32.7 | 195 | 1 | 165 | 10 |
| Calusco | 100.0 | 92 | 36.9 | 192 | 2 | 168 | 11 |

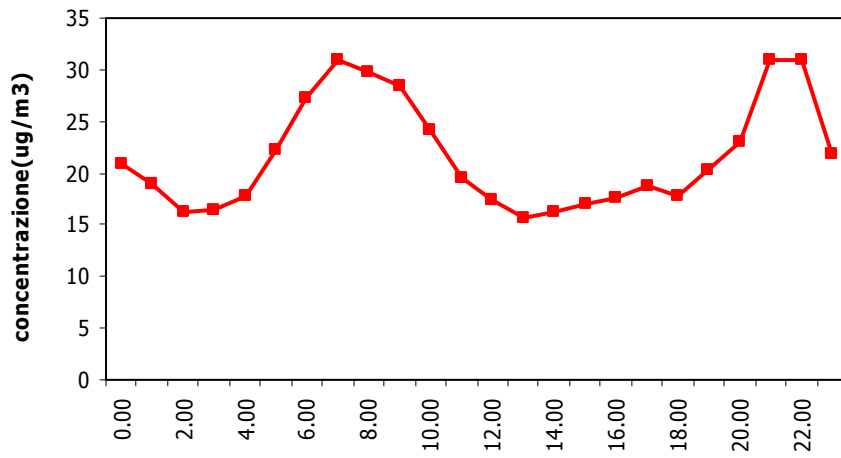
NO2 Concentrazioni Orarie



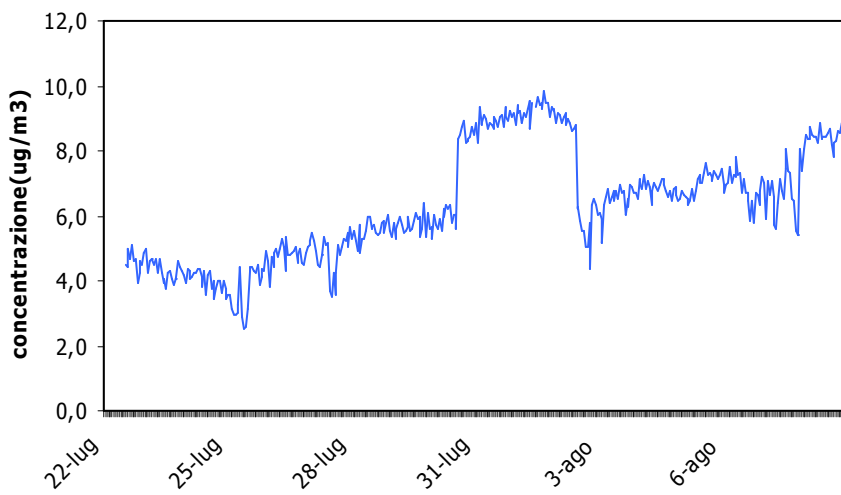
NO2 Medie Giornaliere



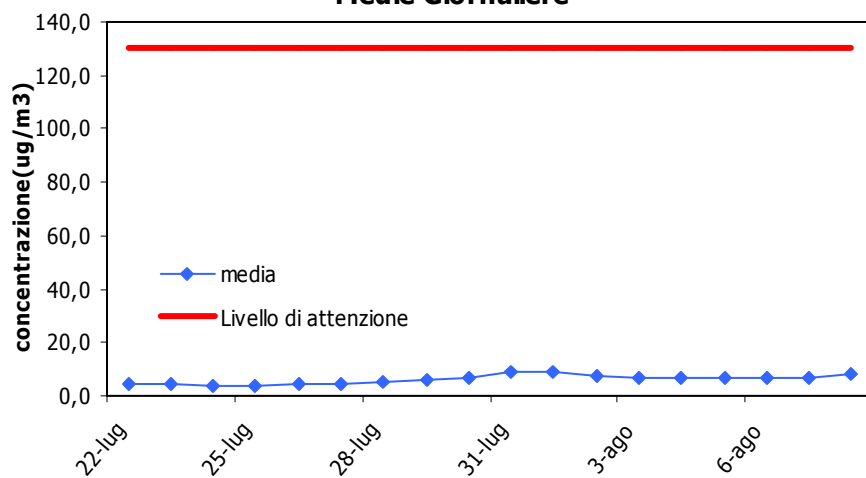
NO2 Giorno Tipo



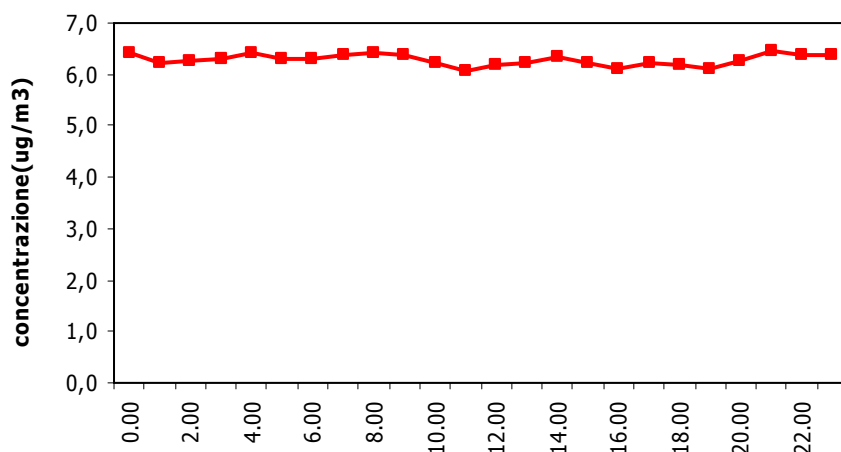
SO2 Concentrazioni Orarie



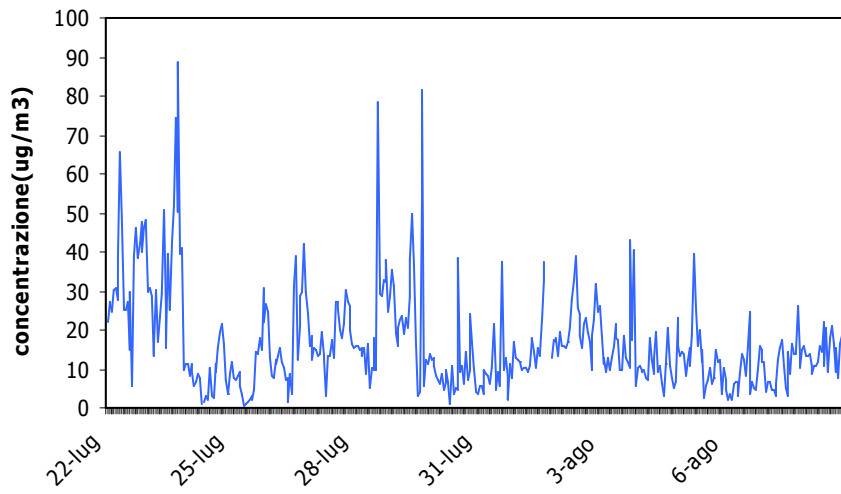
S02 Medie Giornaliere



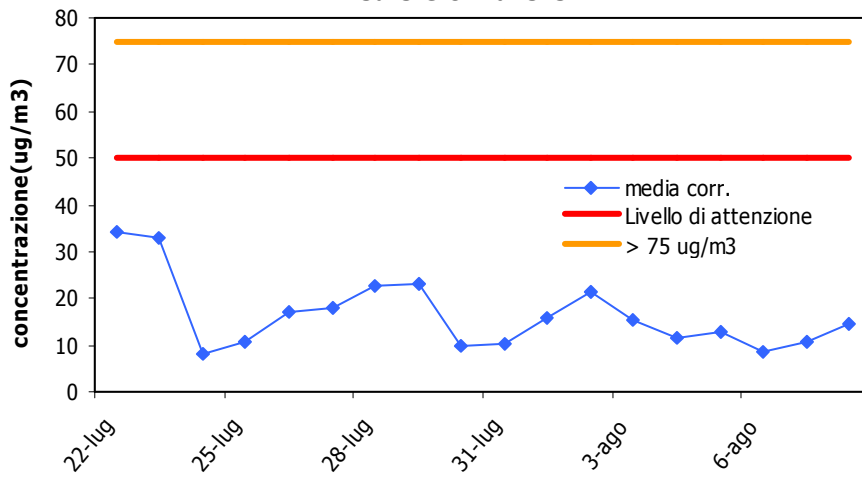
S02 Giorno Tipo



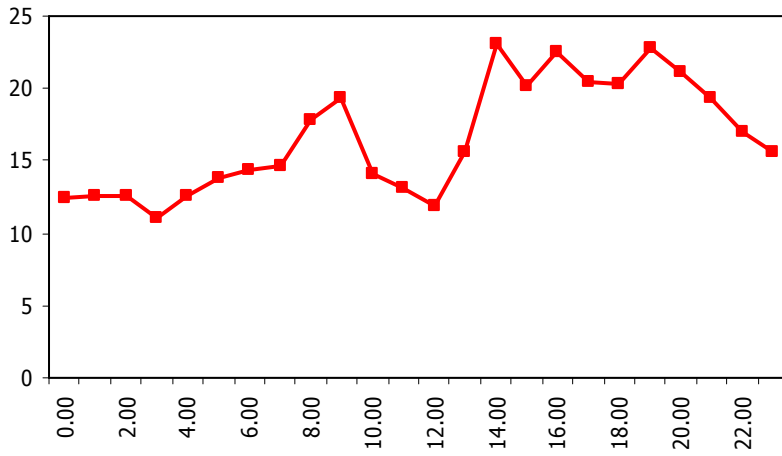
PM-10 Concentrazioni Orarie



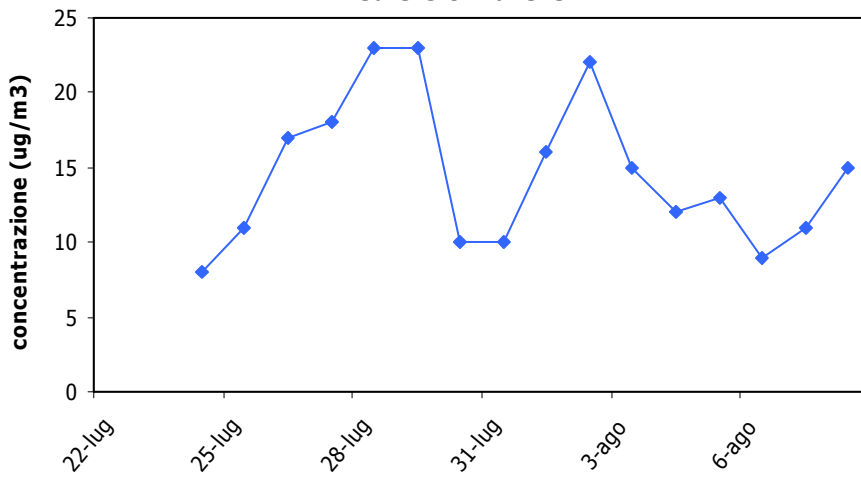
PM-10 Medie Giornaliere



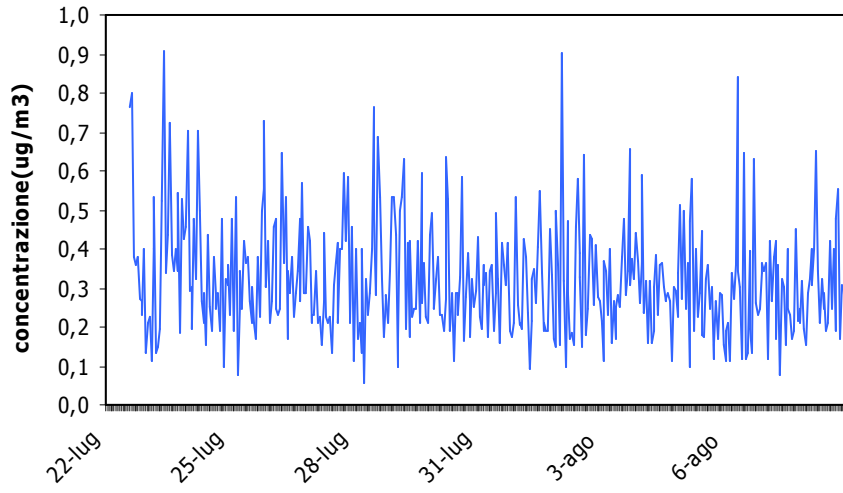
**PM-10
Giorno Tipo**



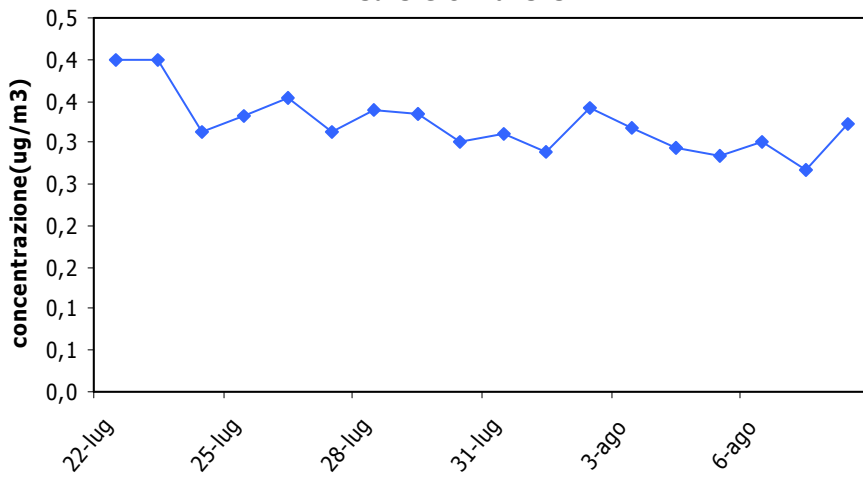
**Polveri Totali Sospese
Medie Giornaliere**



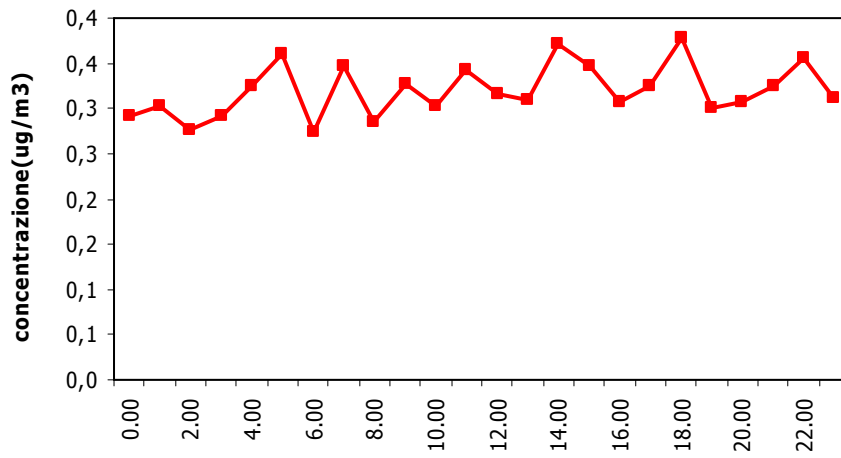
Benzene Concentrazioni Orarie



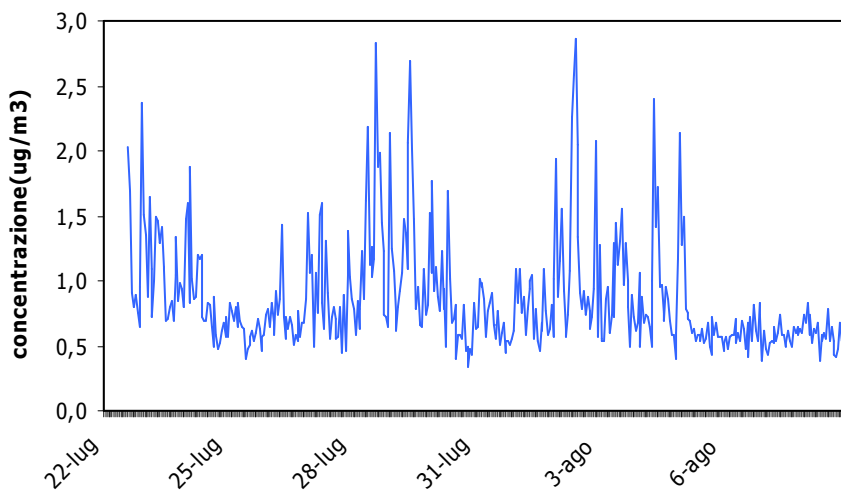
Benzene Medie Giornaliere



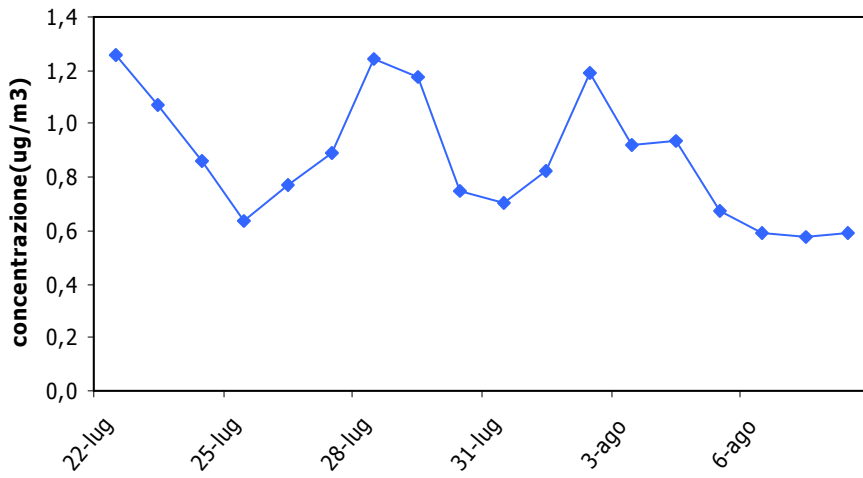
Benzene Giorno Tipo



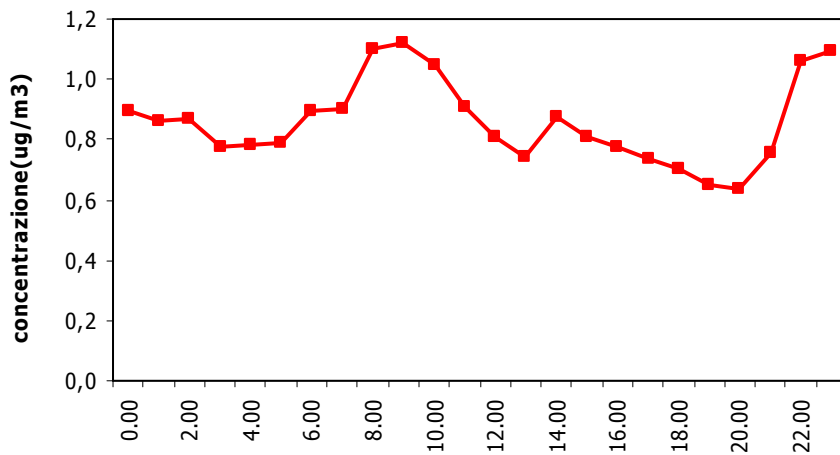
Toluene Concentrazioni Orarie



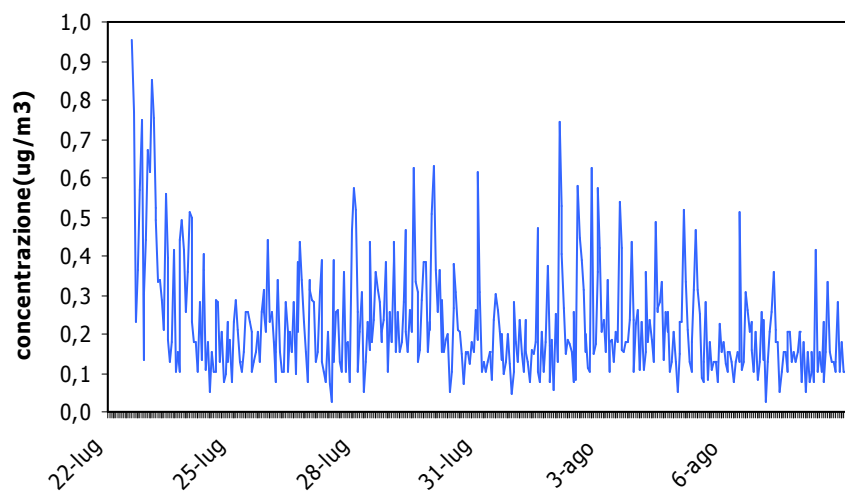
Toluene
Medie Giornaliere



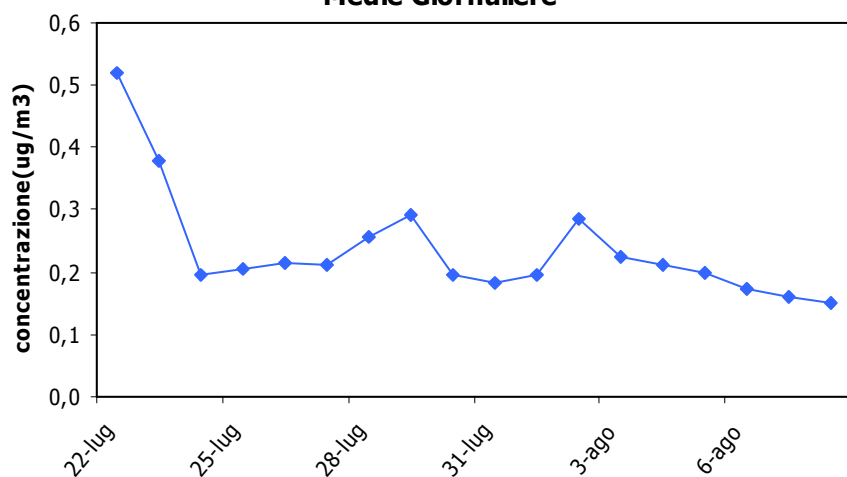
Toluene
Giorno Tipo



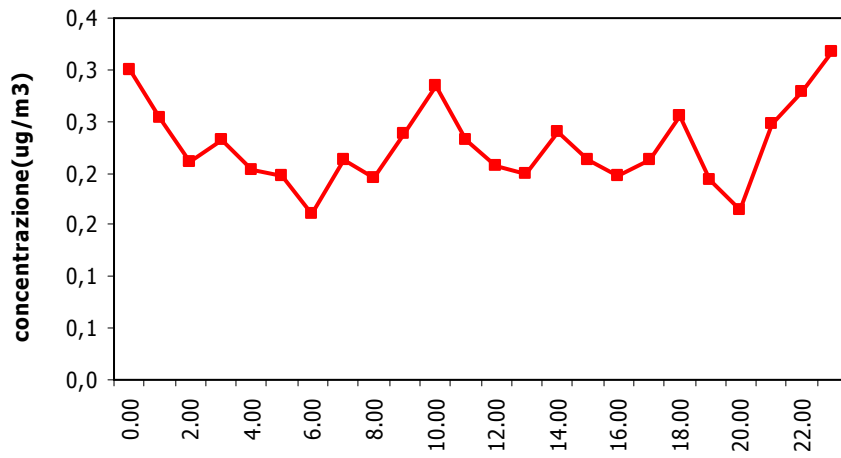
Xilene Concentrazioni Orarie



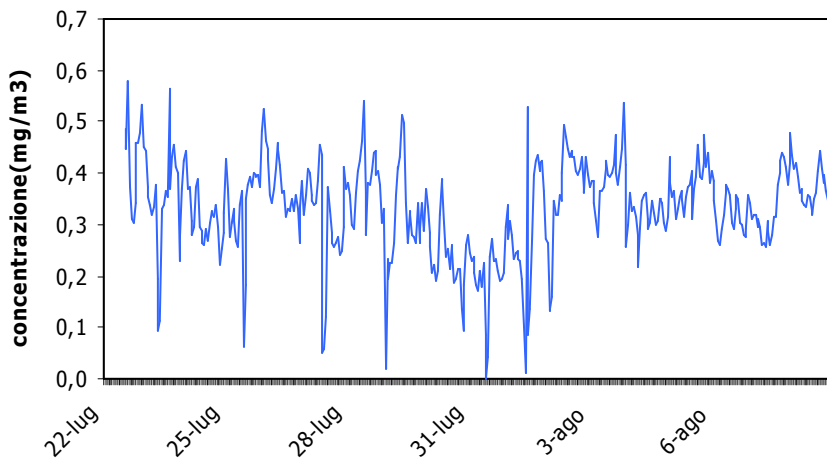
Xilene Medie Giornaliere



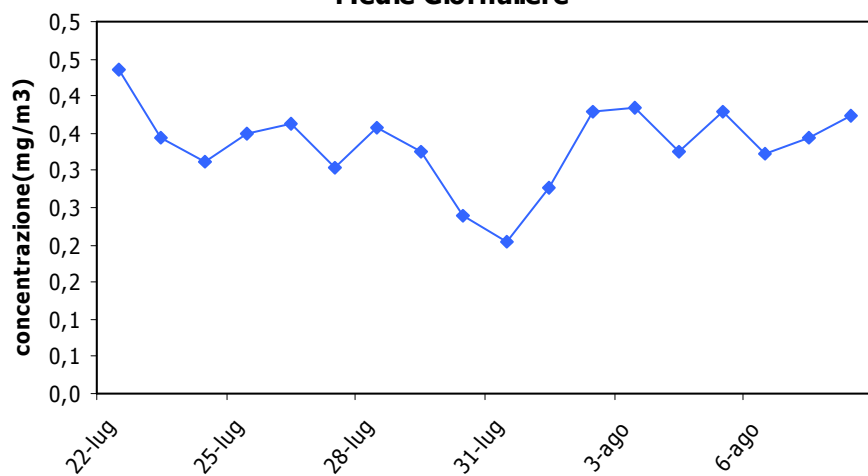
Xilene Giorno Tipo



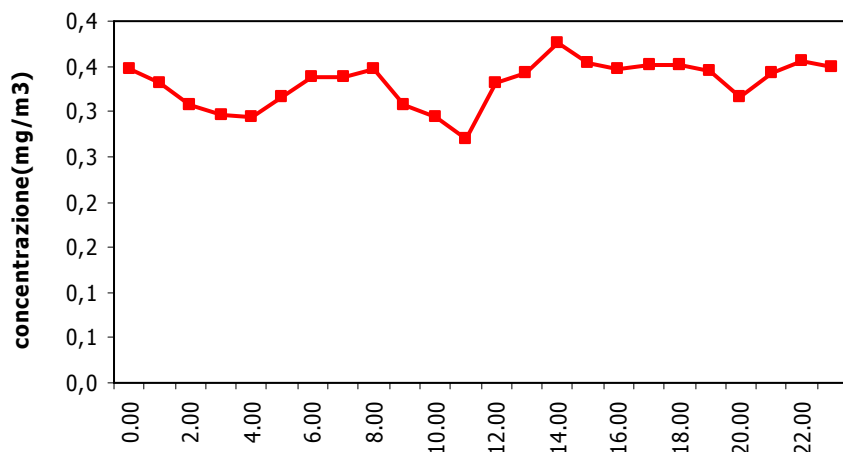
CO Concentrazioni Orarie



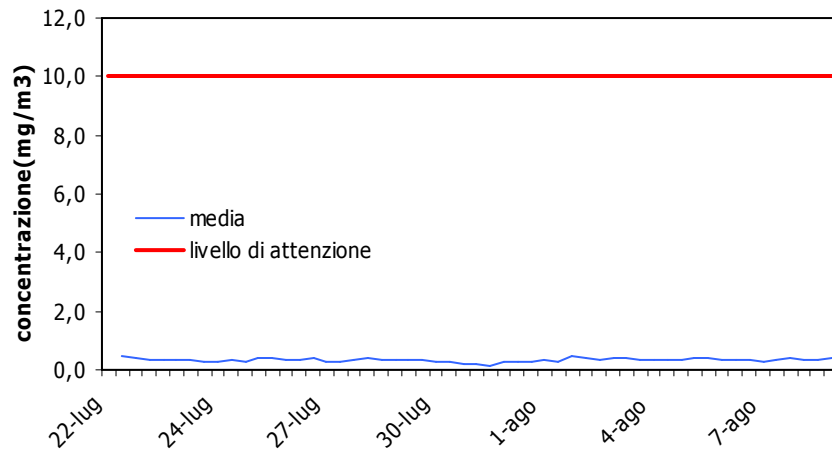
CO
Medie Giornaliere



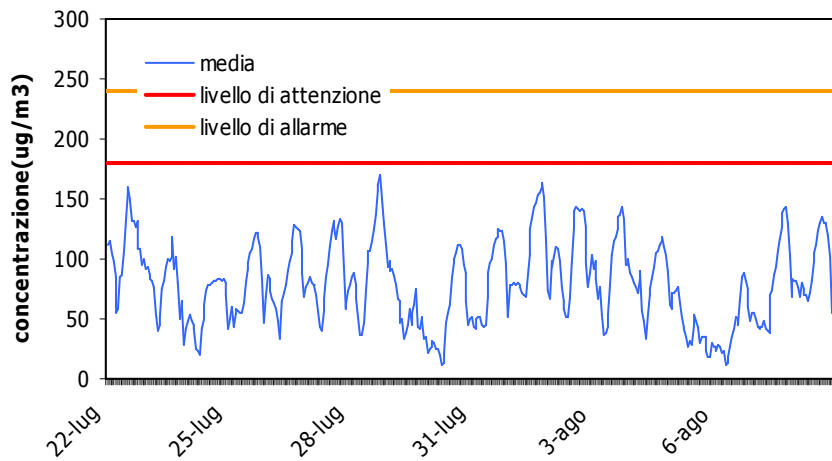
CO
Giorno Tipo



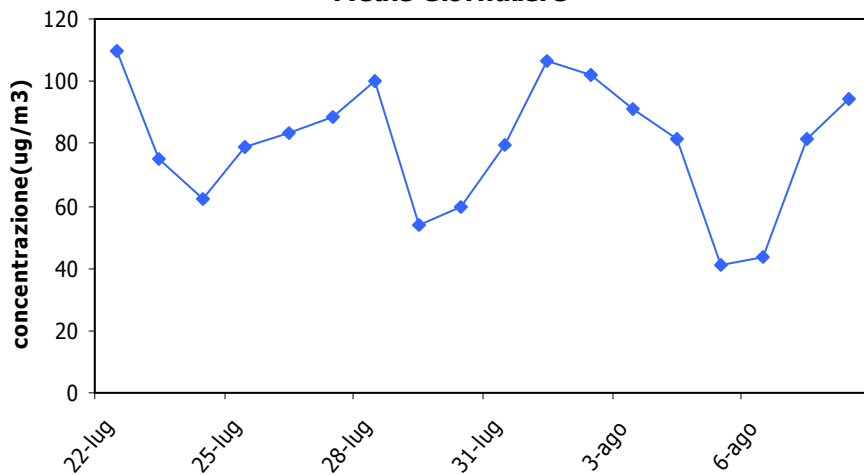
CO Concentrazioni Media 8 ore



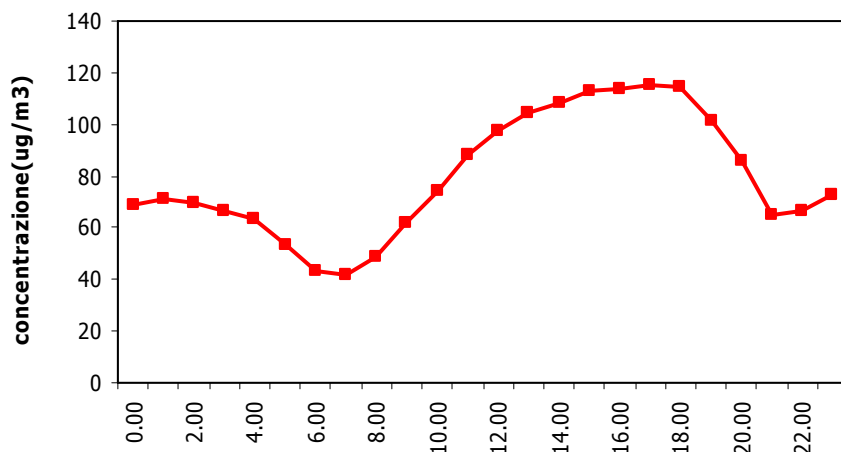
Ozono Concentrazioni Orarie



**Ozono
Medie Giornaliere**



**Ozono
Giorno Tipo**



Ozono Concentrazioni Media 8 ore

