

# 2010

## Campagna di rilevamento della qualità dell'aria



Comune di Mezzago

Via per Bellusco

05/03/2010 – 06/04/2010

## Campagna di rilevamento della qualità dell'aria

---

*Comune di Mezzago*

*Via per Bellusco*

Monza 20/05/2010

---

**Gestione e Manutenzione Tecnica del Laboratorio Mobile**

p.i. Davide Paladini

**Relatore**

dott. Raffaella Marigo

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

dott. Simona Invernizzi

**INDICE**

PREMESSA	3
INTRODUZIONE	4
NORMATIVA	5
SITO DI MISURA	6
FATTORI METEOROLOGICI	12
INQUINANTI ATMOSFERICI MONITORATI CON LABORATORIO MOBILE	16
IDROCARBURI POLICICLICI AROMATICI (IPA)	23
CONCLUSIONI	31
BIBLIOGRAFIA	33

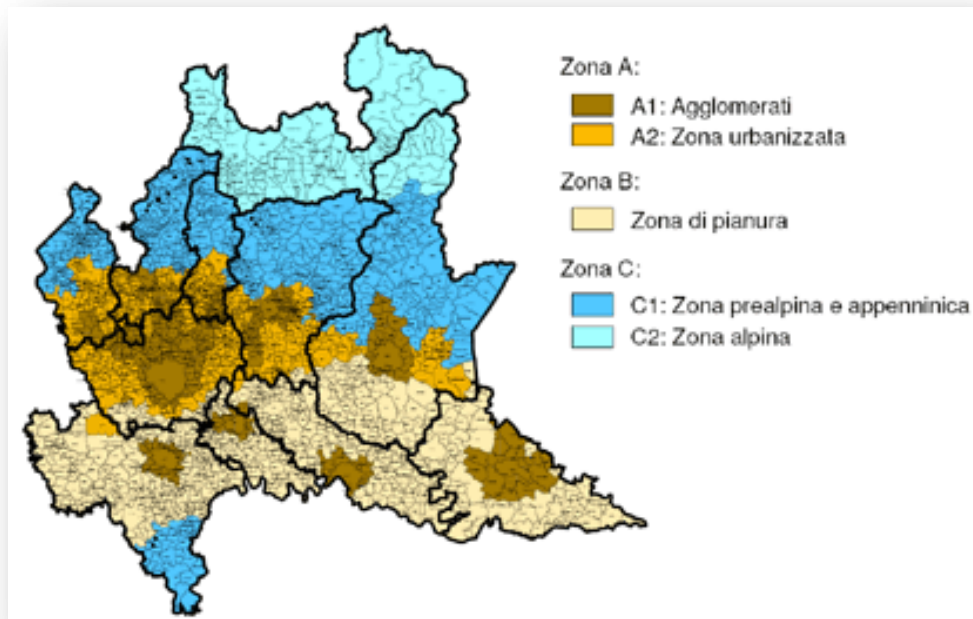
## PREMESSA

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

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

La Regione Lombardia con D.G.R. 2 agosto 2007, n.5290 ha aggiornato la zonizzazione del territorio suddividendolo in 3 zone:

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



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

## INTRODUZIONE

L'obiettivo delle campagne di monitoraggio, di breve periodo, è quello di poter disporre di dati che permettano di stimare il livello medio delle principali sostanze inquinanti all'interno di un comune.

Il Laboratorio Mobile è stato posizionato lungo la via per Bellusco, a bordo strada in prossimità di un parcheggio. Il sito di misura rispetta i criteri di rappresentatività indicati per il posizionamento delle cabine fisse di rilevamento (Allegato VIII del D.M. 60/02).

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

- Ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>);
- Monossido di carbonio (CO);
- Ozono (O<sub>3</sub>);
- Particolato fine (PM10);

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

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

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

- il monossido di carbonio viene prelevato a 1.6 m dal suolo (altezza uomo) e a non più di 5 metri dal ciglio della strada;
- la sonda per il prelievo di NO<sub>x</sub> e O<sub>3</sub> è posta a tra 1.5 e 4 m di quota;
- i sensori meteorologici sono posizionati all'altezza di circa 8 m dal suolo.

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

**NORMATIVA**

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

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

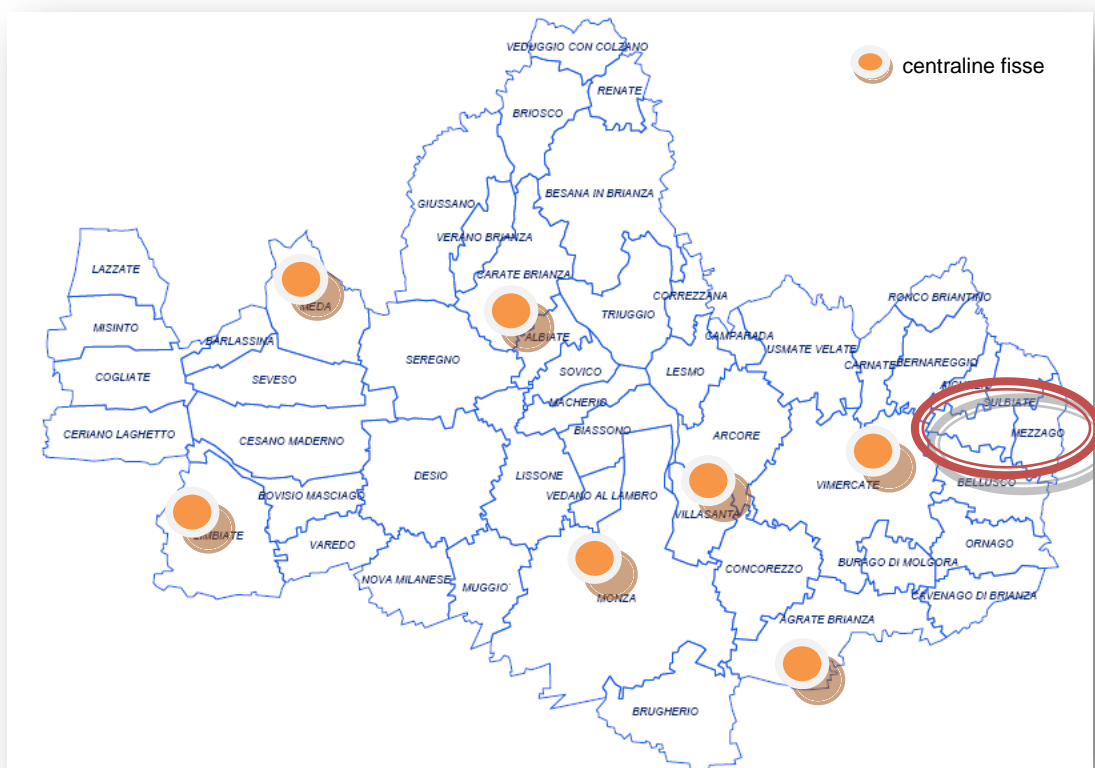
<b>SO<sub>2</sub></b>	<b>Valore Limite (µg/m<sup>3</sup>)</b>		<b>Periodo mediazione</b>	<b>Legislazione</b>
	Valore limite protezione salute umana (da non superare più di 24 volte per anno civile)	<b>350</b>	1 h	D.M. 60 2/4/02
	Valore limite protezione salute umana (da non superare più di 3 volte per anno civile)	<b>125</b>	24 h	D.M. 60 2/4/02
	Valore limite protezione ecosistemi	<b>20</b>	anno civile e inverno (1 ott – 31 mar)	D.M. 60 2/4/02
	Soglia di allarme	<b>500</b>	1 h (rilevati su 3 ore consecutive)	D.M. 60 2/4/02
<b>NO<sub>2</sub></b>	<b>Valore Limite (µg/m<sup>3</sup>)</b>		<b>Periodo mediazione</b>	<b>Legislazione</b>
	Standard di qualità (98° percentile rilevato durante l'anno civile)	<b>200</b>	1 h	D.P.R. 24/5/88
	Valore limite protezione salute umana (da non superare più di 18 volte per anno civile)	<b>200</b>	1 h	D.M. 60 2/4/02
	Valore limite protezione salute umana	<b>40</b>	Anno civile	D.M. 60 2/4/02
	Soglia di allarme	<b>400</b>	1 h (rilevati su 3 ore consecutive)	D.M. 60 2/4/02
<b>NOx</b>	<b>Valore Limite (µg/m<sup>3</sup>)</b>		<b>Periodo mediazione</b>	<b>Legislazione</b>
	Valore limite protezione vegetazione	<b>30</b>	Anno civile	D.M. 60 2/4/02
<b>CO</b>	<b>Valore Limite (mg/m<sup>3</sup>)</b>		<b>Periodo mediazione</b>	<b>Legislazione</b>
	Standard di qualità	<b>40</b>	1 h	D.P.C.M. 28/3/83
	Standard di qualità	<b>10</b>	8 h	D.P.C.M. 28/3/83
	Valore limite protezione salute umana	<b>10</b>	8 h	D.M. 60 2/4/02
	Soglia di attenzione	<b>10</b>	8 h	D.G.R. 28/10/02
<b>O<sub>3</sub></b>	<b>Valore Limite (µg/m<sup>3</sup>)</b>		<b>Periodo mediazione</b>	<b>Legislazione</b>
	Valore bersaglio per la protezione della salute umana	<b>120</b>	8 h	D.L. 21/5/04
	Valore bersaglio per la protezione della vegetazione	<b>18000</b>	AOT40 (mag – lug) su 5 anni	D.L. 21/5/04
	Soglia di informazione	<b>180</b>	1 h	D.L. 21/5/04
	Soglia di allarme	<b>240</b>	1 h	D.L. 21/5/04
<b>PM<sub>10</sub></b>	<b>Valore Obiettivo (µg/m<sup>3</sup>)</b>		<b>Periodo 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. 2/4/02
	Valore limite protezione salute umana	<b>40</b>	Anno civile	D.M. 2/4/02
<b>IPA B[a]P</b>	<b>Valore Obiettivo (ng/m<sup>3</sup>)</b>		<b>Periodo mediazione</b>	<b>Legislazione</b>
	Valore limite protezione salute umana e per l'ambiente	<b>1</b>	Anno civile	D.L. 152 03/08/07
	- Il valore obiettivo è riferito al tenore totale dell'inquinante presente nella frazione PM <sub>10</sub> del materiale particolato, calcolato come media sull'anno civile. - La media annuale calcolata deve essere espressa con una cifra decimale. - Il valore obiettivo di intende superato anche se pari a quello indicato nella tabella, ma seguito da qualsiasi cifra decimale diversa da zero			

## SITO DI MISURA

**La rete fissa di monitoraggio di qualità dell'aria sul territorio di competenza di ARPA  
Dipartimento Provinciale di Monza e Brianza**

Il territorio di competenza di ARPA Dipartimento Provinciale di Monza e Brianza comprende 55 comuni situati a nord del capoluogo lombardo.

All'interno dell'area di competenza sono dislocate 7 centraline della rete fissa di monitoraggio della qualità dell'aria che permettono un continuo e costante monitoraggio dei principali inquinanti atmosferici.



**Figura 1: centraline della rete provinciale di monitoraggio della qualità dell'aria sul territorio di competenza di ARPA Dipartimento di Monza e Brianza**

**Il Territorio Comunale di Mezzago**

Mezzago è un centro abitato che conta circa **3500** abitanti (al 31/12/2007) distribuiti su una superficie di circa **4.2 Km<sup>2</sup>** e dista circa 36 Km dal capoluogo lombardo in direzione Nord Est; esso confina a sud con Bellusco, a nord ovest con il comune di Sulbiate e a Ovest con Cornate d'Adda.

La mappa del comune

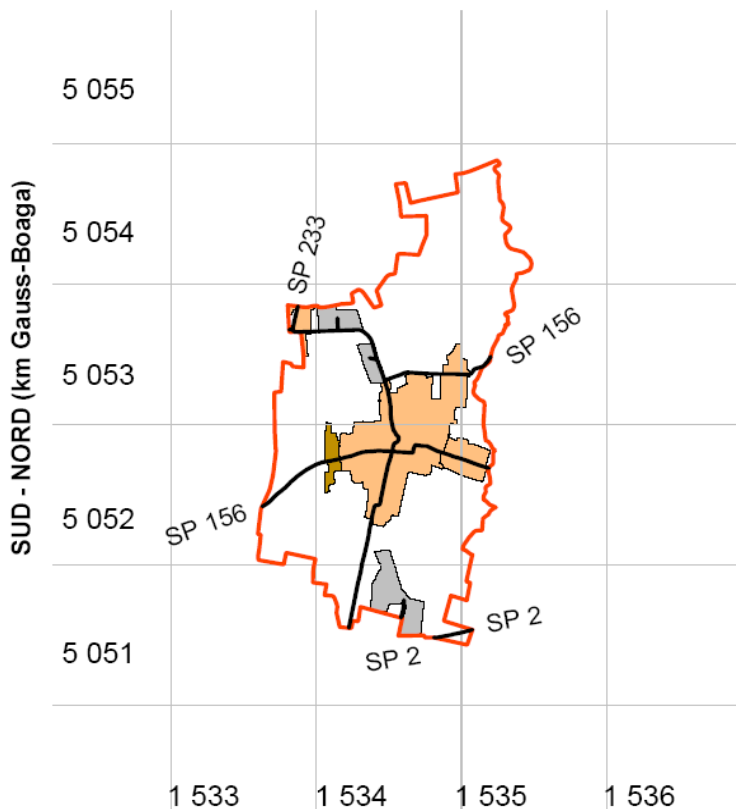


Figura 2: suddivisione del territorio comunale e principali arterie viabilistiche

Il comune è interessato da tre importanti assi viari di attraversamento:

- SP n. 2 (Monza-Trezzo) lungo l'asse Est-Ovest
- SP n. 233 (Sulbiate-Mezzago) lungo l'asse Nord-Sud
- SP n. 156 (Bellusco-Cornate) lungo l'asse Est-Ovest

Le imprese

Le imprese censite sul territorio del comune sono **198** per un totale di 854 addetti (censimento 2001). Di queste il **31%** appartiene al **comparto dell'industria manifatturiera**; il **24%** al comparto delle costruzioni e dei servizi e il **21%** al comparto del commercio.

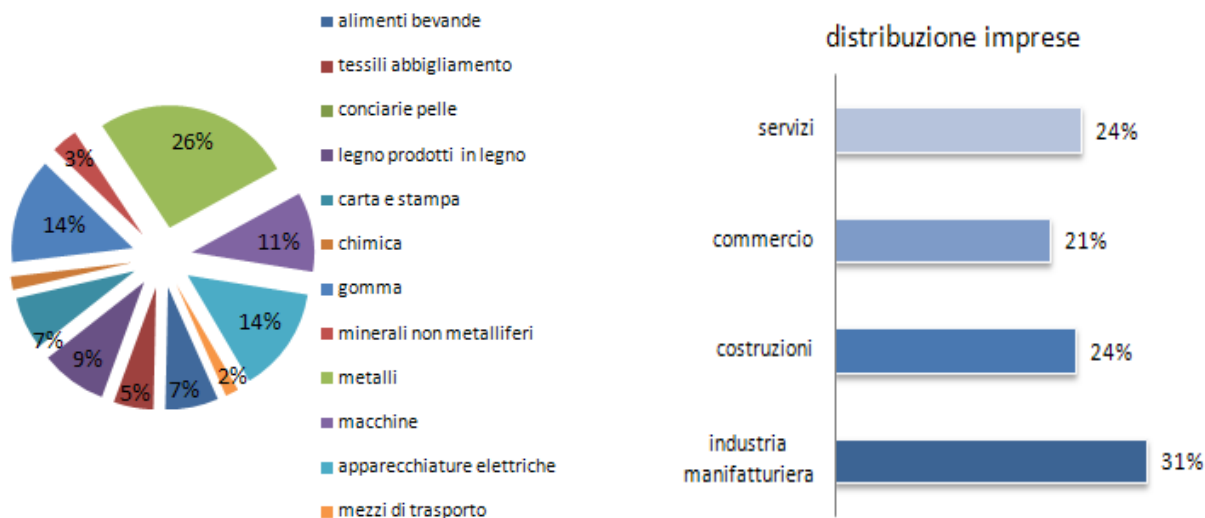
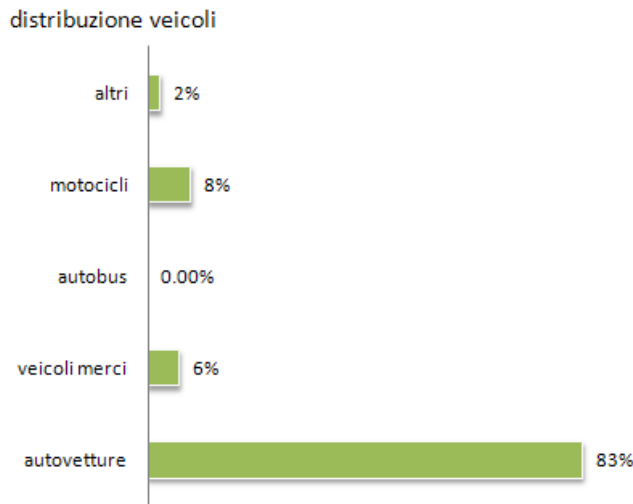


Figura 3: distribuzione delle imprese nel Comune di Mezzago (censimento 2001)

Nel comparto dell'industria le aziende maggiormente presenti sul territorio comunale sono l'industria per la lavorazione e fabbricazione del metallo (25%) quella per la fabbricazione di componenti elettronici, gomma e plastica (13%) e le aziende del legno per la fabbricazione di mobili (8%).

### Il parco veicolare



Dal grafico emerge come più dell'80% del parco veicolare comunale sia costituito da autovetture private mentre non risultano veicoli per il trasporto pubblico all'interno del comune.

**Figura 4: distribuzione del parco veicolare nel Comune di Mezzago (dati ACI 2000).**

### Principali sorgenti emissive nel territorio Comunale di Mezzago

Sulla base delle informazioni relative al territorio, per un apporto all'interpretazione dei dati raccolti sul campo, è stata fatta una stima preliminare delle principali sorgenti emissive all'interno del territorio comunale di Mezzago attraverso l'inventario regionale INEMAR<sup>1</sup> (Inventario Emissioni Aria), nella sua 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 (Coordination Information Air).

- Combustione non industriale
- Combustione nell'industria
- Processi produttivi
- Estrazione e distribuzione combustibili
- Uso di solventi
- Trasporto su strada
- Altre sorgenti mobili
- Agricoltura
- Altre sorgenti e assorbimenti

Per ciascun macrosettore vengono presi in considerazione diversi inquinanti: sia quelli che fanno riferimento alla salute, sia quelli per i quali è posta particolare attenzione in quanto considerati gas ad effetto serra. In particolare qui sono stati presi in considerazione:

- Ossidi di azoto (NOX)
- Composti organici volatili (COV)
- Monossido di carbonio (CO) Biossido di carbonio (CO<sub>2</sub>)
- polveri con diametro inferiore ai 10 µm (PM10) e inferiore a 2.5 (PM2.5)

<sup>1</sup> Maggiori informazioni e una descrizione più dettagliata in merito all'inventario regionale sono disponibili sul sito web: <http://www.ambiente.regione.lombardia.it/inemar/inemarhome.htm>.

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

A partire dai dati riguardanti il territorio comunale caratterizzato prevalentemente dalla presenza dell'industria manifatturiera in particolare nel campo della lavorazione del metallo e in minor misura nel campo della fabbricazione di mobili, da importanti arterie viabilistiche di attraversamento e da un elevato numero di autovetture, sono stati individuati i tre macrosettori ritenuti maggiormente responsabili delle principali sorgenti emissive:

- Combustione non industriale (principalmente riscaldamento residenziale)
- Combustione nell'industria
- Trasporto su strada

In figura 5 vengono forniti i contributi delle singole sorgenti; dei tre macrosettori selezionati, il trasporto su strada è la principale sorgente impattante.

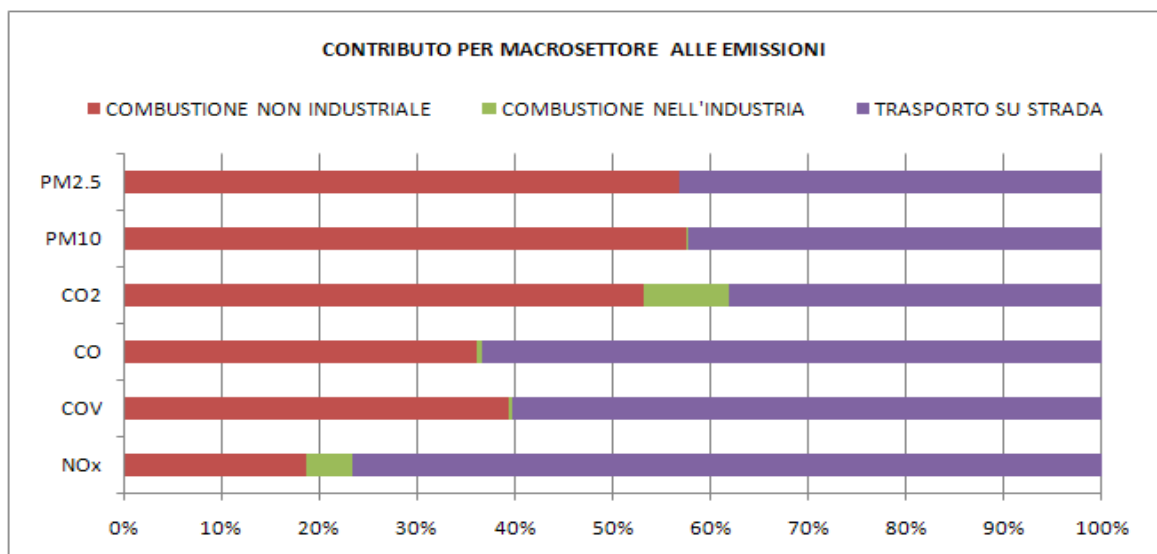


Figura 5: contributo per macrosettole alle emissioni

In figura 6 a,b,c vengono invece evidenziati i contributi all'inquinamento atmosferico dei singoli combustibili per macrosettole.

Si può osservare come **il traffico veicolare** contribuisca per il 77% alla formazione degli ossidi di azoto e per il 63% a quella del monossido di carbonio; per quanto riguarda il PM10 ed il PM2.5 tale sorgente contribuisce rispettivamente per il 42% ed il 43%.

I combustibili che maggiormente contribuiscono all'emissione di questi inquinanti per quanto riguarda la componente traffico, risultano essere la benzina verde che contribuisce alla produzione del 85% del totale di CO, al 9% di NO<sub>x</sub> ed al 12% per quanto riguarda PM10 e PM2.5. Il combustibile che contribuisce in larga misura alla produzione di PM10 e PM2.5 (88% del totale) è il carburante diesel. GPL e gas metano contribuiscono invece in percentuali molto ridotte.

**La combustione non industriale** incide sulla qualità dell'aria, contribuendo per il 19% all'emissione in atmosfera di NO<sub>x</sub> per il 39% a quella di CO, per il 57% alla formazione di PM10 e PM2.5.

In questo caso il combustibile che maggiormente incide alle emissioni è la legna che è responsabile della produzione del 92% del totale di CO e del 98% di PM10 e PM2.5; mentre il gas metano è il principale responsabile delle emissioni di NO<sub>x</sub> (88%).

**La combustione nell'industria** incide sulla qualità dell'aria, contribuendo per il 5% all'emissione in atmosfera di ossidi di azoto, per meno dell'1% al CO e per il 95% per formazione di PM10 e di PM2.5.

In questo caso i combustibili che maggiormente incidono alle emissioni sono la legna in termini di PM10 (58%) e PM2.5 (55%) ed il gas metano in termini di NO<sub>x</sub> (99%) e CO (94%).

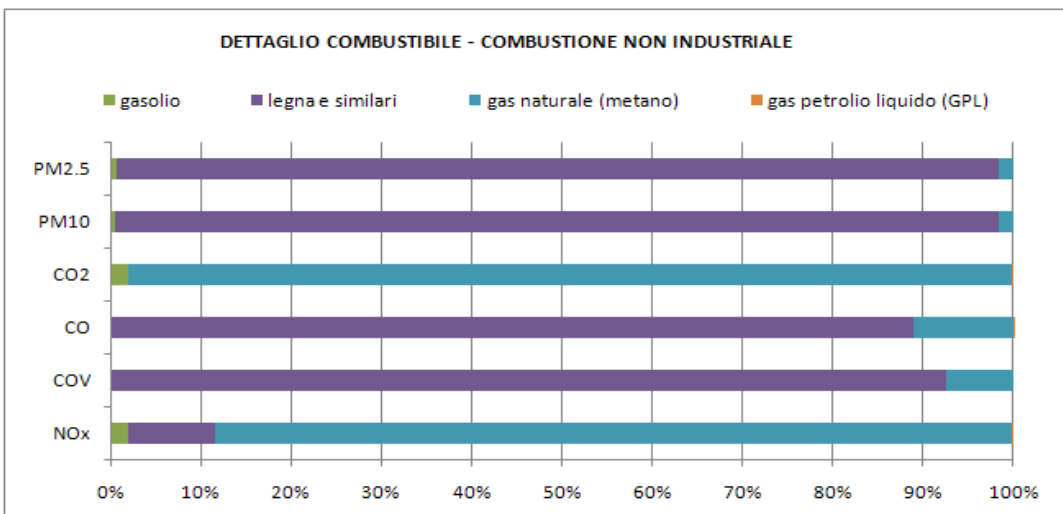


Figura 6a: combustione non industriale - contributo delle singole sorgenti alle emissioni

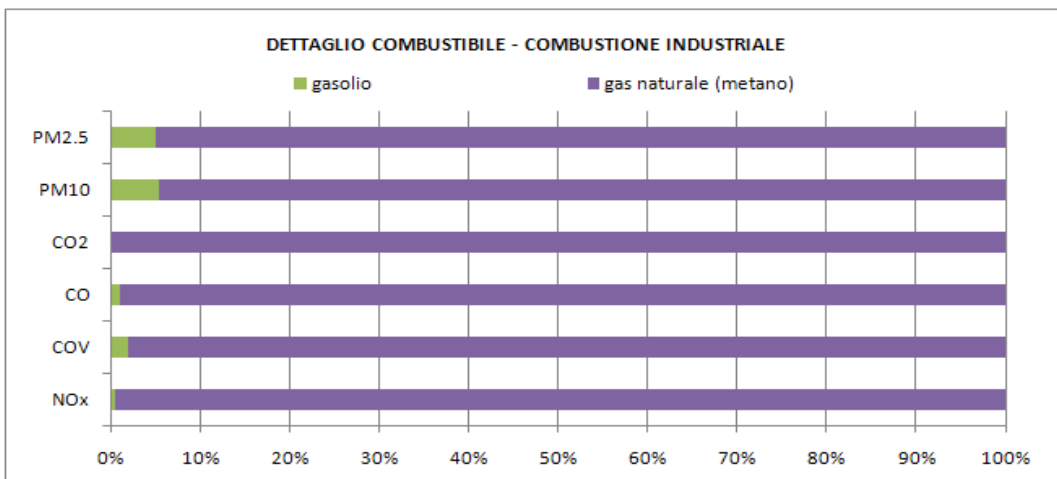


Figura 6b: combustione industriale - contributo delle singole sorgenti alle emissioni

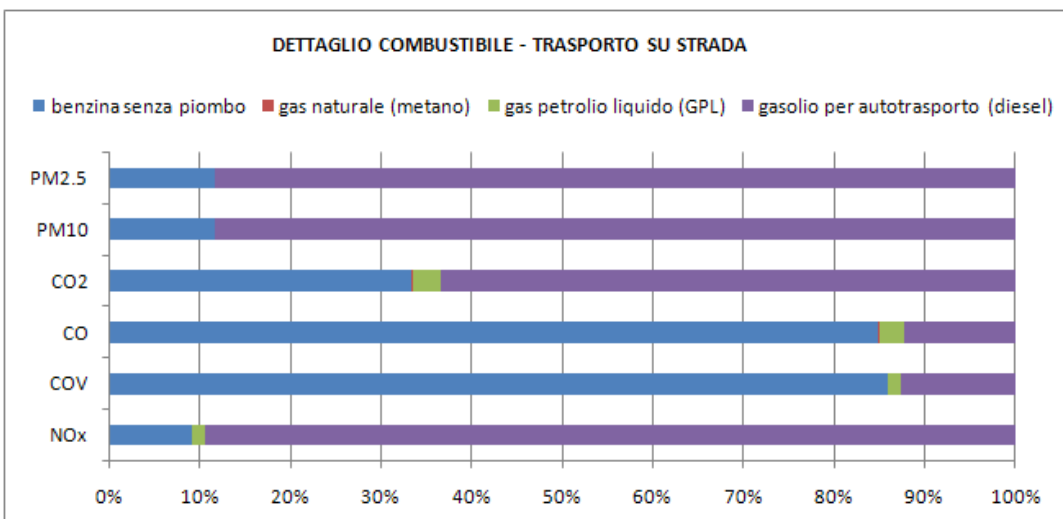
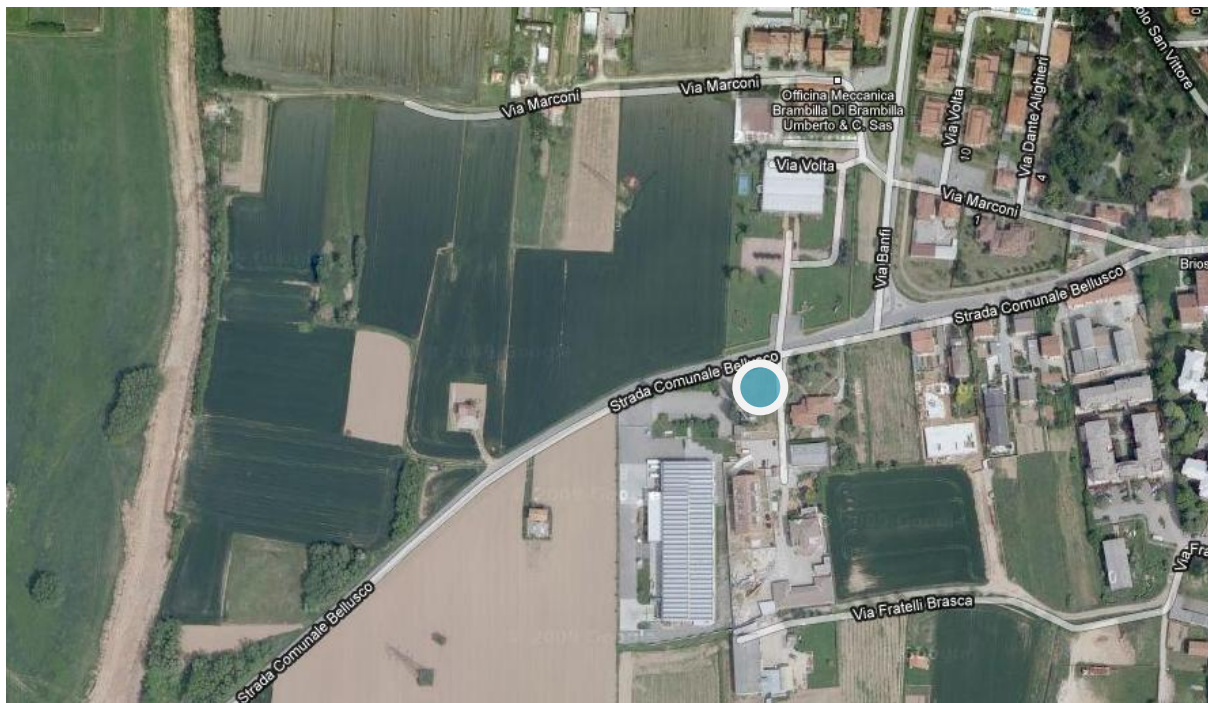


Figura 6c: trasporto su strada - contributo delle singole sorgenti alle emissioni

## Caratterizzazione del sito di misura

Scopo dell'attuale campagne di misura svolta in un periodo significativi dell'anno, è stata la raccolta di una base di dati atta a caratterizzare la qualità dell'aria del comune.



**Figura 7: punto di posizionamento del Laboratorio mobile nel Comune di Mezzago**

Il laboratorio mobile è stato posizionato in area mista a prevalenza residenziale.

Il contesto alterna zone residenziali, in prevalenza villette e piccoli condomini, con aree agricole ed industriali. La postazione di misura si trova a ridosso della strada per Bellusco, una strada a due corsie ridotte, una per senso di marcia, che collega Mezzago con Bellusco, lungo la direttrice Est-Ovest.

Si tratta di una strada caratterizzata principalmente da traffico veicolare sia leggero che pesante di tipo residenziale e di attraversamento, che risulta maggiore durante le ore di punta mattutina e serale.

## FATTORI METEOROLOGICI

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

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

Le caratteristiche diffusive dell'atmosfera fanno sì che le polveri e gli inquinanti in generale risentono fortemente della meteorologia del momento.

I maggiori processi atmosferici che condizionano l'inquinamento sono:

- sistemi sinottici: tipi di masse d'aria, passaggi frontali, presenza di strutture cicloniche o anticicloniche che favoriscono il ricambio o la stagnazione dell'aria alla mesoscala (300 Km);
- l'intensità e la direzione del vento che determinano trasporto e diffusione degli inquinanti;
- precipitazioni e nebbie che agiscono sul dilavamento degli inquinanti, le prime, e sulla rimozione umida, le seconde;
- l'altezza dello strato di rimescolamento<sup>2</sup> che indica l'altezza del "contenitore" aria nel quale vengono dispersi i vari inquinanti emessi dalla superficie;
- la temperatura che è un indicatore dei processi turbolenti in prossimità della superficie.

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

### **Situazione meteorologica del periodo rilevata dalla stazione meteo del Laboratorio Mobile**

I livelli di concentrazione degli inquinanti osservati, sono stati valutati anche alla luce delle condizioni meteorologiche registrate nel periodo del monitoraggio dalla stazione meteo del Laboratorio Mobile.

Si riassumono in tabella 1 i dati salienti dei parametri meteorologici rilevati durante la campagna di monitoraggio:

- tabella 1: dati salienti e statistica descrittiva dei parametri meteorologici campagna di misura invernale

La tabella evidenzia come durante il periodo di misura si sia verificata una situazione meteorologica generalmente abbastanza instabile, favorevole alla dispersione degli inquinanti, con variabilità barica discreta (3%) ma con una scarsa attività anemologica.

A conferma di questo è possibile osservare (tabella 2 e figura 2) dall'analisi in frequenza dei dati registrati con la stazione meteo del Laboratorio Mobile come l'attività anemologica sia stata quasi del

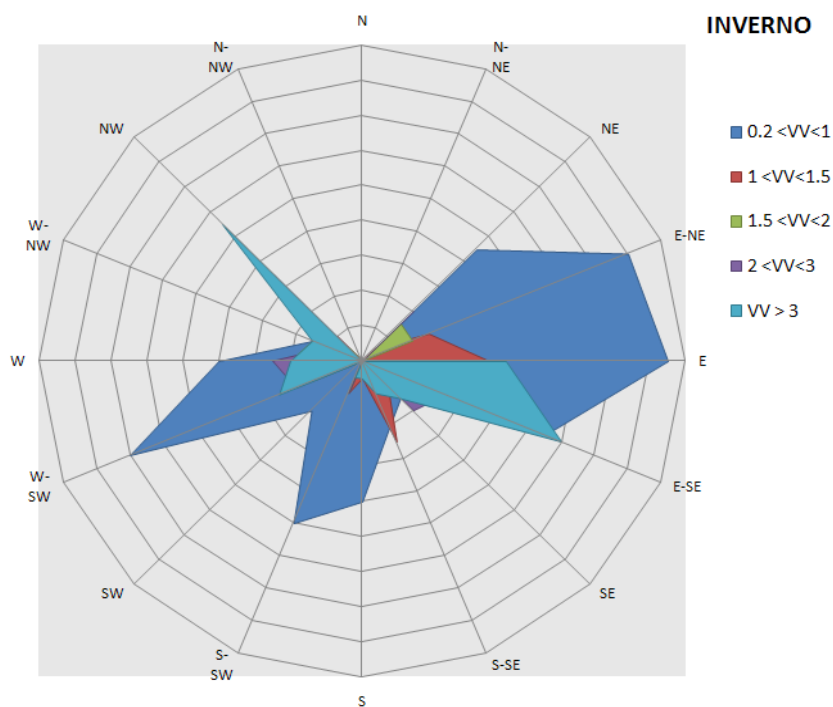
<sup>2</sup> Lo strato di rimescolamento è influenzato da processi sinottici e alla mesoscala che producono moti verticali e avvezioni orizzontali ove si diffondono tutti gli inquinanti e particolarmente le polveri che possono essere viste come un buon indicatore dello stato di inquinamento. I processi che influenzano il rimescolamento sono: la turbolenza meccanica determinata dal vento negli strati più vicini alla superficie e la turbolenza termica risultato del trasferimento di calore dalla superficie o del raffreddamento radiativo di strati d'aria più elevati dell'atmosfera. L'altezza di rimescolamento o mixing height risente della struttura verticale dell'atmosfera che presenta variazioni nelle 24 ore (ciclo giorno-notte) e stagionali (stagione calda-fredda). Tale altezza agisce come parete mobile di un contenitore: in corrispondenza di basse altezze del mixing layer, polveri ed altri inquinanti hanno così a disposizione un volume più piccolo per la loro dispersione e ciò favorisce di conseguenza un aumento della loro concentrazione.

tutto assente con il 69% di casi di calma di vento anche se non sono mancati eventi di una certa entità come nelle giornate del 16, 26 e 30 marzo con fenomeni di brezza tesa e vento teso.

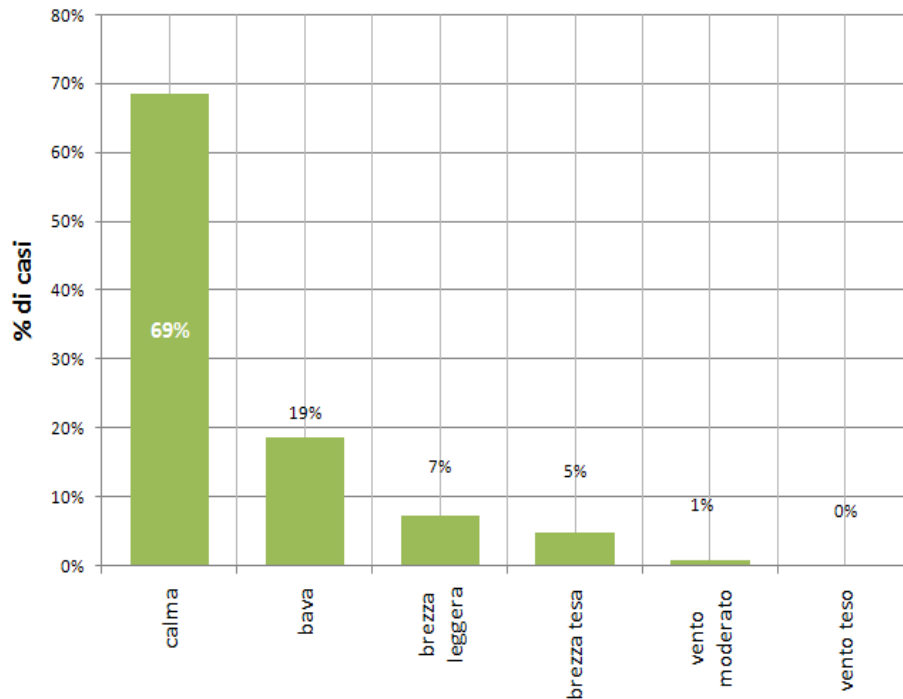
**Tabella 1a**

	Temperatura (°C)	Umidità (%)	Pressione (hPa)	Rad. Sol (W/m <sup>2</sup> )	VV (m/s)	Pioggia (mm)
Media	8.5	69.6	992.3	132.6	0.6	--
Mediana	9	72.35	992.5	--	--	--
SD	4.9	22.0	6.3	202.4	1.2	1.6
Intervallo	22.44	79.8	31	798	6.35	43
Minimo	-2.3	20.2	974.7	0	0	0
Massimo	20.14	100	1005.7	798	6.35	43
Somma	--	--	--	--	--	121
Conteggio	776	776	776	776	776	776
CV	57%	32%	1%	--	--	--

L'andamento anemologico registrato, mostra poi come la direzione del vento abbia interessato un po' tutti i settori, con direzione prevalente da E-SE (9%) e da W-SW (8%).

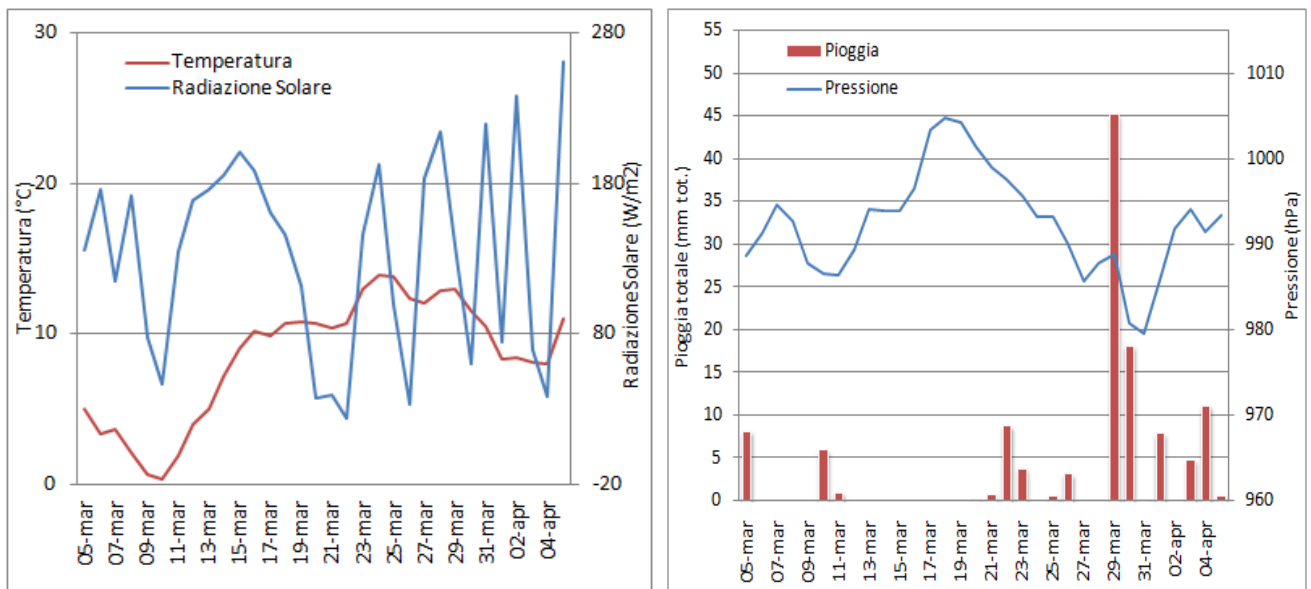

**Figura 1: rosa dei venti relativa al periodo di campionamento di campionamento e classi di frequenza**
**TABELLA 2**

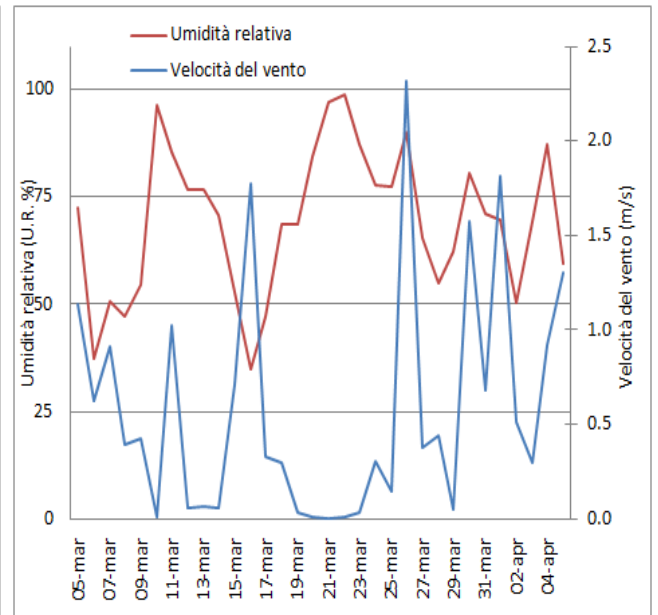
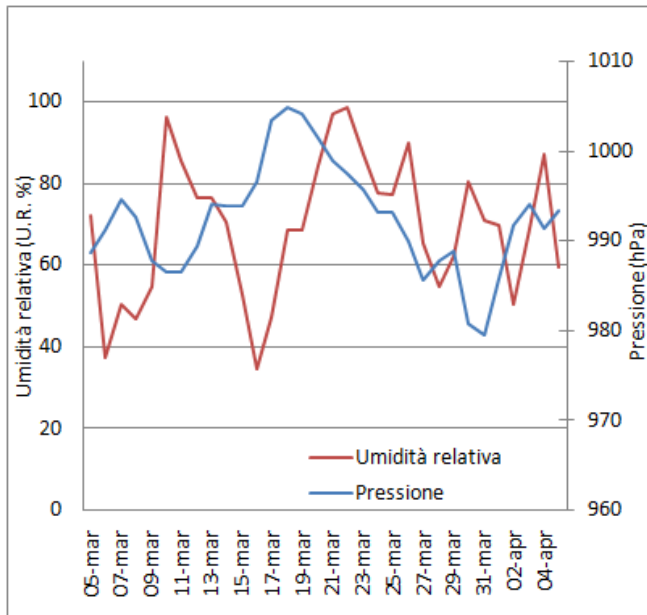
	Classi di vento (m/s)	Freq. (% di casi)
<b>Scala Beaufort</b>	<b>Velocità Beaufort</b>	<b>Inverno</b>
Calma	0.3	69%
Bava	1.5	19%
Brezza leggera	3.3	7%
Brezza tesa	5.4	5%
Vento moderato	7.9	1%
Vento teso	> 7.9	0%

**VV - classi di frequenza**

**Figura 2: classi di frequenza velocità del vento**

Gli alti valori dell'umidità ( $UR\%_{media} = 70\%$ ) nei bassi strati dell'atmosfera ed i periodi di bassa pressione, in particolare nella terza decade del mese di marzo, hanno determinato durante la campagna di misura effetti diluitivi dell'inquinamento in atmosfera con periodi di instabilità che hanno portato rovesci e temporali diffusi su tutto il territorio provinciale così come nel sito oggetto di studio in cui si sono registrati 16 giorni di precipitazioni su 32 giorni di misura, per un totale di 121 mm di pioggia caduti.

La presenza di intervalli di stabilità seppur modesti, ha fatto registrare dei superamenti del limite normativo per quanto riguarda il PM10.





andamento meteorologia durante la campagna di misura

## INQUINANTI ATMOSFERICI MONITORATI CON LABORATORIO MOBILE

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

### Formazione dei principali inquinanti in atmosfera

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

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. Al momento dell'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 limite, riassunti nelle tabelle di seguito riportate.

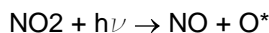
Il **monossido di carbonio (CO)** ha origine da processi di combustione incompleta di composti contenenti carbonio. E' un gas la cui origine, soprattutto nelle aree urbane, è da ricondursi prevalentemente al traffico autoveicolare, soprattutto ai veicoli a benzina, in particolare quando sono in fase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

L'**ozono (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), perossiacetilnitrate (PAN), acido nitrico e altro ancora, che nell'insieme costituiscono il tipico inquinamento estivo detto smog fotochimica.

A differenza degli inquinati primari, le cui concentrazioni dipendono direttamente dalle quantità emesse delle sorgenti presenti nell'area, la formazione di ozono è quindi più complessa. Le concentrazioni di ozono raggiungono i valori più elevati nelle ore pomeridiane delle giornate estive soleggiate.

Inoltre, dato che l'ozono si forma durante il trasporto delle masse d'aria contenenti i suoi precursori, emessi soprattutto nelle aree urbane, le concentrazioni più alte si osservano soprattutto nelle zone extraurbane sottovento rispetto ai centri urbani principali.

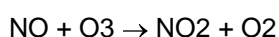
La chimica dell'ozono ha come punto di partenza la presenza di ossidi di azoto, che vengono emessi in grande quantità nelle aree urbane. Sotto l'effetto della radiazione solare (rappresentata di seguito con  $h\nu$ ), la formazione di ozono avviene in conseguenza della fotolisi del biossido di azoto:



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



Una volta generato l'ozono reagisce con l'NO e rigenera  $\text{NO}_2$ :



Le tre reazioni descritte formano un ciclo chiuso che da solo non sarebbe sufficiente a causare gli alti livelli di ozono che possono essere misurati in condizioni favorevoli alla formazione di smog fotochimica. 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  $\text{NO}_2$  senza consumare ozono, di fatto spostando l'equilibrio del ciclo visto sopra e consentendo l'accumulo di  $\text{O}_3$ .

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

Attualmente la legislazione europea e nazionale ha definito valori limite sulle concentrazioni giornaliere e sulle medie annuali del PM10.

Nella seguente tabella sono riassunte, per ciascuno dei principali inquinanti atmosferici, le maggiori sorgenti di emissione.

Inquinanti	Principali sorgenti
<b>Biossido di zolfo*</b> $\text{SO}_2$	Impianti riscaldamento, centrali di potenza, combustione di prodotti organici di origine fossile contenenti zolfo (gasolio, carbone, oli combustibili)
<b>Biossido di azoto**</b> $\text{NO}_2$	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)
<b>Monossido di carbonio*</b> $\text{CO}$	Traffico autoveicolare (processi di combustione incompleta dei combustibili fossili)
<b>Ozono**</b> $\text{O}_3$	Non ci sono significative sorgenti di emissione antropiche in atmosfera
<b>Polveri totali sospese*</b> <b>PTS</b>	Particelle solide o liquide aerodisperse di origine sia naturale (erosione dal suolo, ecc.) che antropica (soprattutto processi di combustione)
<b>Particolato fine */**</b> <b>PM10</b>	Insieme di particelle con diametro aerodinamico inferiore ai $10 \mu\text{m}$ , provenienti principalmente da processi di combustione
<b>IPA</b>	Traffico autoveicolare (processi di combustione incompleta, in particolare di combustibili derivati dal petrolio), evaporazione dei carburanti, alcuni processi industriali, riscaldamento domestico, combustione della legna

\* = Inquinante primario

\*\* = Inquinante secondario

## Andamento degli inquinanti nel periodo di misura

Gli inquinanti considerati nello studio sono quelli usualmente monitorati nelle aree urbane: monossido di carbonio (CO), ossidi di azoto (NO, NO<sub>2</sub>), ozono (O<sub>3</sub>) e polveri sottili (PM<sub>10</sub>).

La strumentazione presente sul Laboratorio mobile ha permesso il monitoraggio a cadenza oraria degli inquinanti gassosi (NO, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub>); per quanto riguarda il PM<sub>10</sub>, la misura ha permesso di avere un valore medio giornaliero.

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

## Raccolta ed analisi dei dati

Si riportano nelle sottostanti tabelle i dati salienti delle apparecchiature montate sul Laboratorio Mobile.

**Tabella 1: caratteristiche campionatore NO<sub>x</sub>**

<i>Strumento di campionamento</i>	THERMO	42C
<i>Metodo di campionamento</i>	conforme DM60/02	chemiluminescenza
<i>Periodo di campionamento</i>	orario	dal giorno successivo all'accensione
<i>Tempo di stabilizzazione</i>	dall'accensione	12 ore
<i>Unità di misura</i>	PPB	converti in µg/m <sup>3</sup>
<i>Efficienza di campionamento</i>	su tutti i dati	75%
<i>Zero/span check</i>	purafilm/bombola	½ settimana
<i>Limite accettabilità zero/span</i>	deriva di zero -10ppb < x < 10ppb	deriva di span -10%ppb < x < 10% ppb se NO < 250ppb -50ppb < x < 50ppb

**Tabella 2: caratteristiche campionatore CO**

<i>Strumento di campionamento</i>	THERMO	48C
<i>Metodo di campionamento</i>	conforme DM60/02	assorbimento infrarosso
<i>Periodo di campionamento</i>	orario	dal giorno successivo all'accensione
<i>Tempo di stabilizzazione</i>	dall'accensione	12 ore
<i>Unità di misura</i>	PPM	converti in mg/m <sup>3</sup>
<i>Efficienza di campionamento</i>	su tutti i dati	75%
<i>Zero/span check</i>	pompa/bombola	½ settimana
<i>Limite accettabilità</i>	deriva di zero -1ppm < x < 1ppm	deriva di span -10%ppm < x < 10%ppm se CO < 10ppm -2ppm < x < 2ppm

**Tabella 3: caratteristiche campionatore O<sub>3</sub>**

<i>Strumento di campionamento</i>	TEI	Model 49I
<i>Metodo di campionamento</i>	conforme DM60/02	assorbimento UV
<i>Periodo di campionamento</i>	orario	dal giorno successivo all'accensione
<i>Tempo di stabilizzazione</i>	dall'accensione	12 ore
<i>Unità di misura</i>	PPM	converti in µg/m <sup>3</sup>
<i>Efficienza di campionamento</i>	su tutti i dati	75%

**Tabella 4: caratteristiche campionatore PM<sub>10</sub>**

<i>Strumento di campionamento</i>	campionatore a basso volume	SKY Post PM
<i>Metodo di campionamento</i>	conforme DM60/02	gravimetrico
<i>Periodo di campionamento</i>	1440 min ± 60 min	dalle 00.05 alle 00.05
<i>Flusso di campionamento</i>	per tutti i campioni	16.67 litri/min
<i>Efficienza di campionamento</i>	per tutti i campioni	99%
<i>Tipo di risultato</i>	per pesate successive	µg/m <sup>3</sup> normalizzati a T ambiente
<i>Tipo di filtro</i>	borosilicato	
<i>Conservazione dei filtri</i>	camera climatizzata	T = 20 °C - Ur = 50%

I dati sono stati raccolti alla migliore risoluzione temporale permessa dagli strumenti. Ove i dati fossero disponibili su base oraria, si è provveduto a calcolare le medie giornaliere a condizione che fosse presente almeno il 75% dei dati per ogni giorno.

Per “giorno tipo” o “giorno medio” si intende l'andamento delle concentrazioni medie orarie mediate su tutti i giorni feriali (o su tutti i giorni pre-festivi o festivi) del periodo in questione.

I giorni feriali, pre-festivi e festivi sono stati considerati separatamente nel calcolo del giorno tipo per mettere in evidenza le eventuali diverse caratteristiche emissive, legate al traffico o alle attività produttive.

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

## Risultati e discussione

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

Si riportano nella sottostante tabella e nei successivi grafici, i dati salienti relativi al periodo di osservazione

	NO $\mu\text{g}/\text{m}^3$	NO <sub>2</sub> $\mu\text{g}/\text{m}^3$	CO $\text{mg}/\text{m}^3$	CO 8h $\text{mg}/\text{m}^3$	O <sub>3</sub> $\mu\text{g}/\text{m}^3$	O <sub>3</sub> 8h $\mu\text{g}/\text{m}^3$	PM10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Media sul periodo	6	28	0.2	0.2	46	46	34
Mediana sul periodo	3	24	0.2	0.2	48	47	32
SE	0.5	0.6	0.01	0.01	0.8	0.7	3.7
SD	13	18	0.2	0.2	22	18	20
Intervallo	190	111	1.8	0.7	108	83	84
Minimo	0	0	0	0	0	8	2
Massimo	190	111	1.8	0.7	108	91	86
n. campioni	788	788	788	781	781	781	30
<b>n. superamenti</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>4</b>

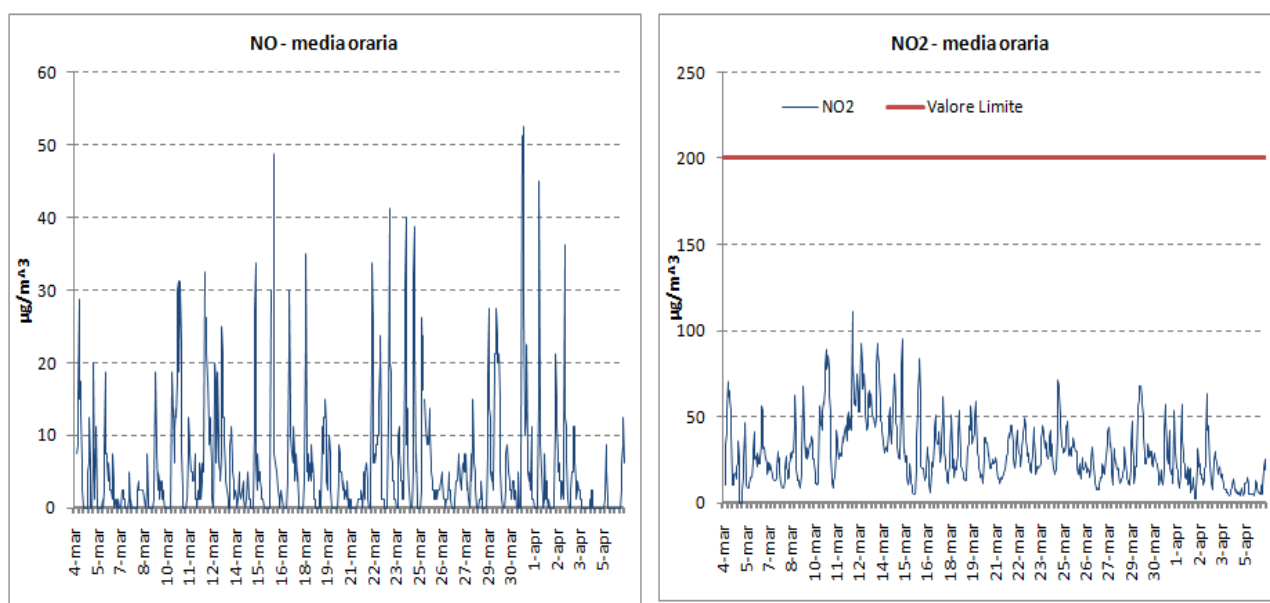


Figura 3: andamento orario ossidi di azoto nel periodo di osservazione

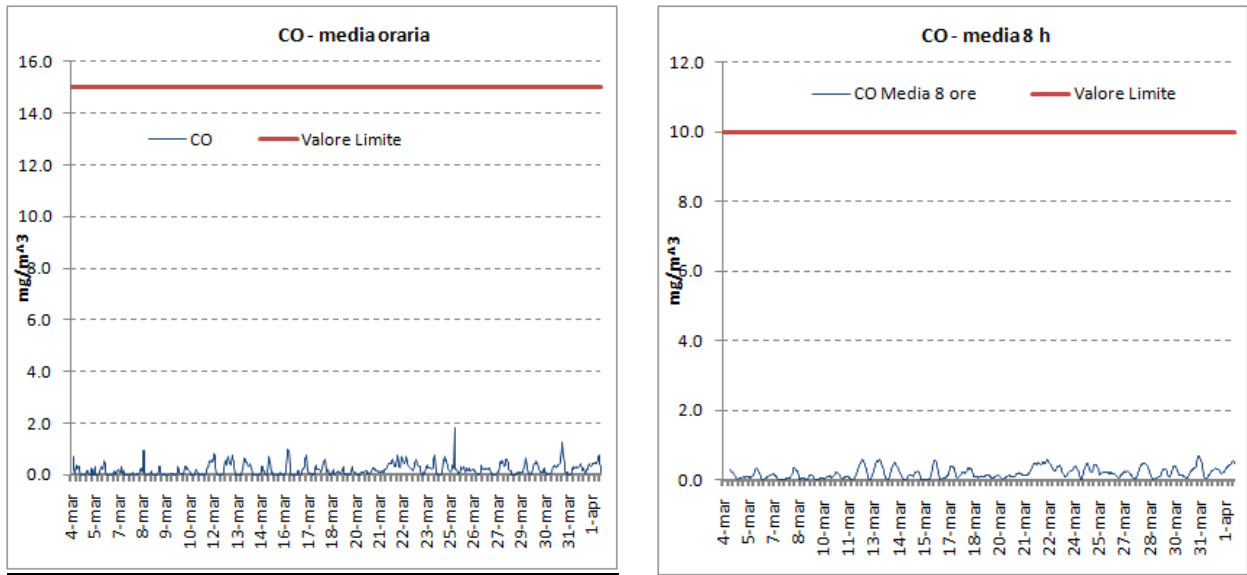


Figura 4: andamento CO nel periodo di osservazione

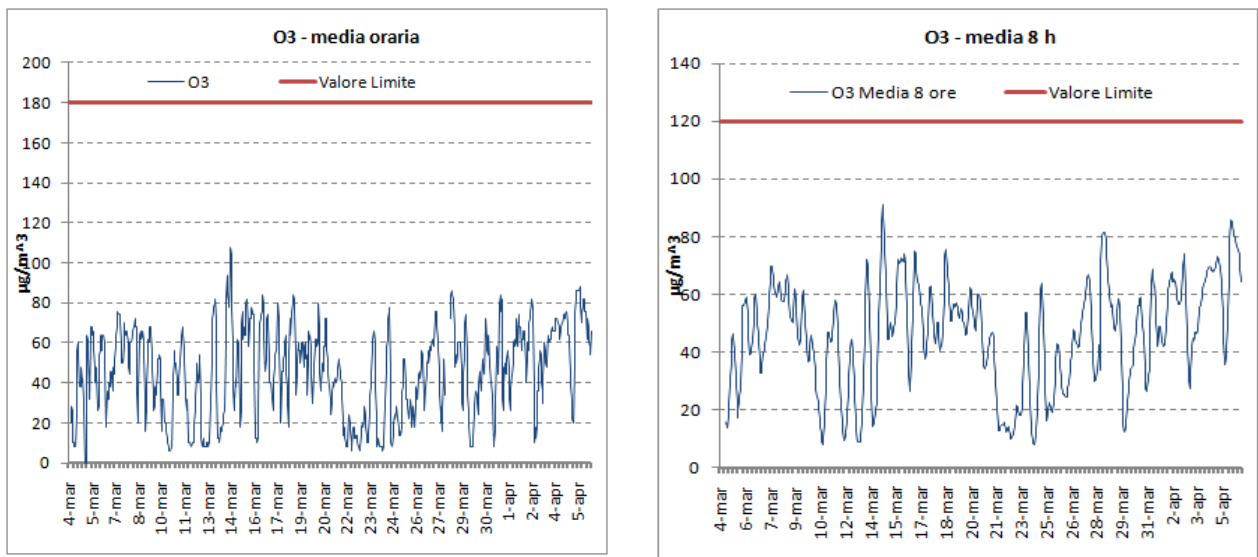


Figura 5: andamento O3 nel periodo di osservazione

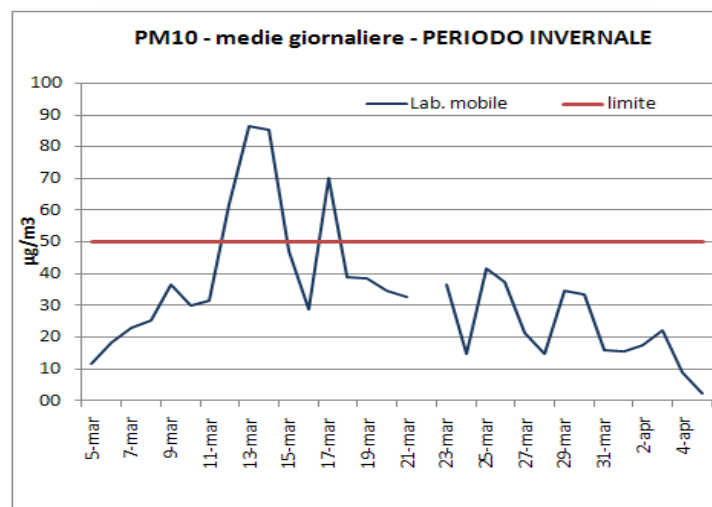
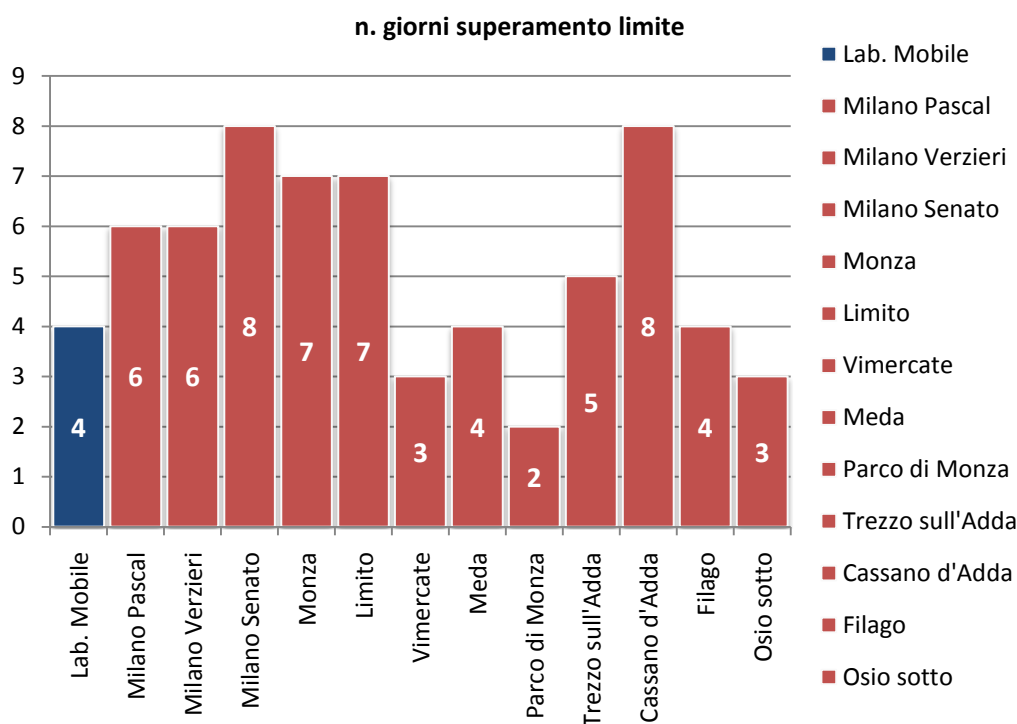


Figura 6: andamento PM10 nel periodo di osservazione

Sebbene le precipitazioni (16 giorni di precipitazioni su 32 giorni di misura, per un totale di 121 mm di pioggia caduti) anche di una certa entità (45 mm di pioggia caduti il 29 marzo in sole 2 ore), abbiano favorito la dispersione degli inquinanti, la presenza di intervalli di stabilità, con attività anemologica pressoché assente, hanno fatto registrare **4 giorni di superamento del limite normativo per quanto riguarda il PM10**.

La peculiarità del PM10 è quella di essere un inquinante di tipo ubiquitario, presenta cioè andamenti delle concentrazioni analoghe in diverse località del Bacino Padano, pertanto tale situazione registrata durante la campagna invernale, non ha interessato unicamente il comune di Mezzago; come evidenziato infatti in figura 7, le postazioni della Rete fissa Provinciale di monitoraggio prese a riferimento, hanno tutte registrato diversi superamenti del limite fissato a 50 µg/m<sup>3</sup>.



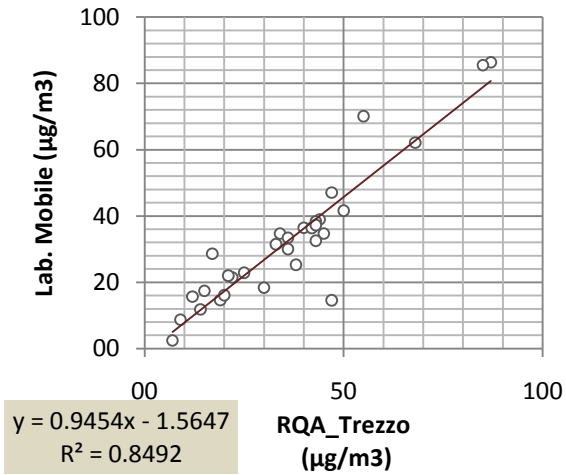
**Figura 7: n. superamenti registrati nel sito e dalla RQA**

A conferma di quanto detto è possibile osservare come, in periodo invernale, la matrice di Pearson<sup>3</sup> mostri una buona correlazione con quasi tutte le centraline prese a riferimento, in particolare con le centraline di Trezzo sull'Adda e Osio Sotto ( $R > 0.9$ ).

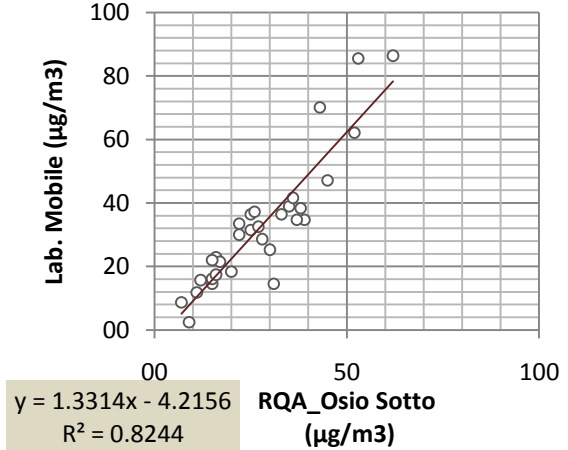
	Lab. Mobile	Milano Pascal	Milano Verzieri	Milano Senato	Monza	Limite	Vimercate	Meda	Parco di Monza	Trezzo sull'Adda	Cassano d'Adda	Filago	Osio sotto
Lab. Mobile	1.00												
Milano Pascal	0.78	1.00											
Milano Verzieri	0.90	0.85	1.00										
Milano Senato	0.90	0.88	0.96	1.00									
Monza	0.88	0.86	0.92	0.96	1.00								
Limite	0.90	0.87	0.96	0.97	0.95	1.00							
Vimercate	0.87	0.82	0.87	0.90	0.90	0.91	1.00						
Meda	0.85	0.79	0.84	0.86	0.85	0.86	0.94	1.00					
Parco di Monza	0.87	0.81	0.88	0.93	0.97	0.91	0.87	0.78	1.00				
Trezzo sull'Adda	0.92	0.80	0.87	0.92	0.96	0.92	0.90	0.87	0.95	1.00			
Cassano d'Adda	0.89	0.85	0.92	0.95	0.96	0.96	0.87	0.80	0.94	0.93	1.00		
Filago	0.87	0.81	0.83	0.89	0.96	0.88	0.82	0.74	0.95	0.95	0.95	1.00	
Osio sotto	0.91	0.78	0.88	0.89	0.88	0.93	0.96	0.90	0.86	0.92	0.89	0.83	1.00

<sup>3</sup> Il coefficiente di correlazione di Pearson (R) misura il grado di correlazione lineare tra due variabili x e y calcolando il rapporto tra la loro covarianza ed il prodotto delle rispettive deviazioni standard ( $0 < R < 1$ , più R si avvicina a 1 più i valori sono correlati).

○ RQA\_Trezzo - Lab. Mobile - INVERNALE  
 — Lineare (RQA\_Trezzo - Lab. Mobile - INVERNALE)

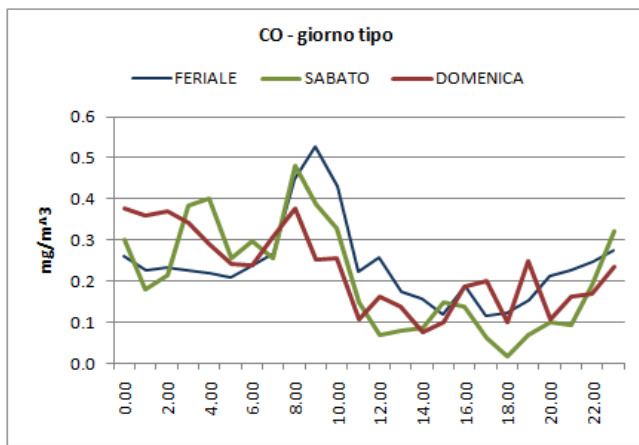
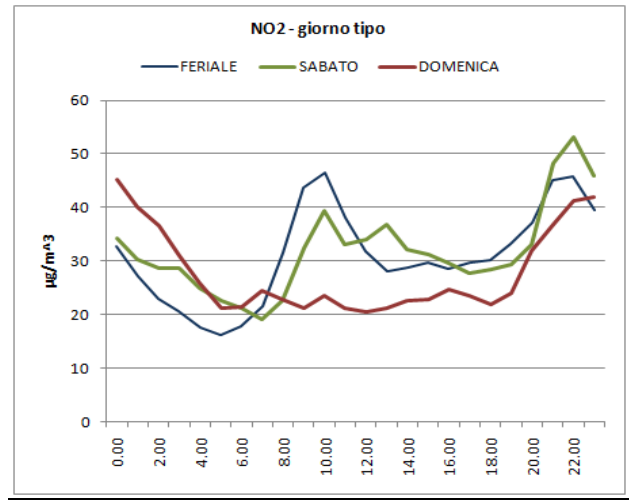
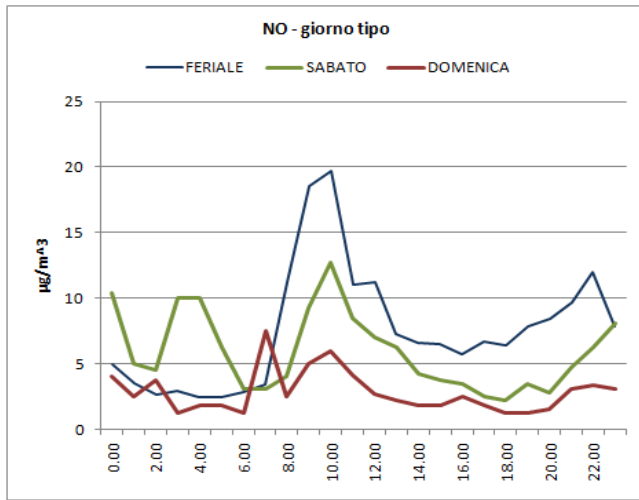


○ RQA\_Osio - Lab. Mobile - INVERNALE  
 — Lineare (RQA\_Osio - Lab. Mobile - INVERNALE)



Attraverso il monitoraggio degli inquinanti considerati marker caratteristici del traffico, quali NO, NO<sub>2</sub>, e CO è stato possibile poi acquisire una serie di conoscenze sui flussi di traffico all'interno del comune di Mezzago.

Osservandone infatti il grafico del giorno tipo è possibile evidenziare come i trend nel periodo di misura presentino i picchi di concentrazione maggiormente significativi nei periodi 07.00 - 12.00 e 18.00 - 22.00 in corrispondenza delle ore di punta mattutina e serale.



## IDROCARBURI POLICICLICI AROMATICI (I.P.A.)

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

In accordo con l'Amministrazione comunale durante il periodo di osservazione (10/03/2010 – 19/03/2010) è stata svolta la determinazione di 14 IPA estratti da campioni di PM10 raccolti nel sito di misura.

Il campionamento per la misura degli IPA in atmosfera è stato eseguito secondo quanto previsto dal D.Lgs 152/07 con prelievi giornalieri di particolato: la metodica analitica per la determinazione dei vari Idrocarburi Policiclici Aromatici nei campioni prelevati è stata standardizzata nel 2007.

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

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

### La formazione degli IPA

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

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

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

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

Nel caso dei veicoli il parametro più importante che incide sulla variabilità della quota emissiva di IPA è la temperatura del motore. Per gli autoveicoli alimentati a benzina i dati di letteratura (Combet et al. - 1993) parlano di emissioni di IPA venti volte superiori durante la partenza a freddo piuttosto che durante la marcia con motore caldo. Per gli autoveicoli con motore diesel è stato verificato il medesimo comportamento ma con emissioni in proporzioni minori. L'anno di fabbricazione del veicolo poi, la velocità media e l'uso di marmitte catalitiche influenzano in maniera significativa l'emissione di IPA in ambiente (Schauer et al., 1993 – Paurterel et al., 1996).

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

Le emissioni dei veicoli a benzina sono caratterizzate principalmente da IPA con elevato peso molecolare come il B[gli]P, il I[123cd]P ed il COR<sup>4</sup>, rispetto ai gas di scarico dei motori diesel. Questo

<sup>4</sup> Coronene

fatto sembra legato alle temperature operative del motore (Rogge et al. – 1993). Le emissioni di veicoli diesel invece si distinguono da quelle dei veicoli a benzina per l'elevata concentrazione di B[b]F, B[k]F e CHR<sup>5</sup> (Li Kamens – 1993).

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


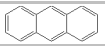


Di questi tre IPA quello che risulta presente in concentrazione maggiore durante la combustione di biomasse è il CHR. In caso di molteplici sorgenti risulta comunque difficile sulla base dei soli IPA distinguere il profilo chimico dovuto alla combustione di biomasse da quello dei veicoli diesel. In questi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

### Caratteristiche chimico fisiche degli IPA oggetto di studio

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

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











I primi 4 IPA della tabella qui di seguito proposta si trovano principalmente in fase vapore, la frazione in fase particolata ( $\leq 5\%$ <sup>6</sup>) varia con la temperatura e con le caratteristiche chimico fisiche del particolato presente in atmosfera. Per tale motivo non è possibile stimarne la concentrazione totale presente a partire dalla sola concentrazione misurata in fase particolata. Gli altri 9 IPA invece tendono ad essere presenti in atmosfera in fase particolata.

Tabella 1	SIGLA	IARC <sup>7</sup>	N. ANELLI	PESO MOLECOLARE	STRUTTURA
<i>IPA IN FASE GASSOSA</i>					
<b>FENANTRENE</b>	PhA	3	3	178.24	
<b>ANTRACENE</b>	Ant	3	3	178.24	
<b>FLUORANTENE</b>	Flu	3	4	202.26	
<b>PIRENE</b>	Pyr	3	4	202.26	

<sup>5</sup> Crisene

<sup>6</sup> Park et al., 2001.

<sup>7</sup> **Gruppo 1:** cancerogeno per l'uomo – **gruppo 2A:** probabile cancerogeno per l'uomo – **gruppo 2B:** possibile cancerogeno per l'uomo – **gruppo 3:** non classificabile come cancerogeno per l'uomo – **gruppo 4:** probabilmente non cancerogeno per l'uomo.

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

### Raccolta ed analisi dei campioni

*In breve:* il particolato PM10, dal quale, con processi di laboratorio sono stati estratti gli IPA, è stato raccolto con un campionatore a basso<sup>8</sup> volume ( $Q_a=16.67$  l/min), su filtri in borosilicato.

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

Dopo la raccolta i filtri sono stati conservati, fino all'analisi, in camera climatizzata a 20°C e Ur del 50%, chiusi in pellicola di alluminio.

L'estrazione degli analiti dal filtro è avvenuta mediante bagno ad ultrasuoni con acetonitrile e successiva analisi in HPLC.

In tabella 2 viene riportata la soglia di rilevabilità del metodo per singolo IPA:

Tabella 2	PhA	Ant	Flu	Pyr	BaA	Chr	BbF	BkF	BaP	BgP	dBA	IP	BeP	COR
	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>
	0.008	0.008	0.08	0.01	0.007	0.008	0.008	0.007	0.008	0.008	0.02	0.04	0.04	0.008

### Risultati e discussione

La determinazione degli IPA, in concomitanza alle misure di PM10 durante le campagne di misura condotte nel comune di Mezzago, sono servite per cercare di verificare quale sorgente antropica incida maggiormente sulla qualità dell'aria del comune. In accordo con l'Amministrazione comunale è stata svolta la determinazione di 14 IPA estratti da 10 campioni di PM10, raccolti nel sito di misura in un periodo significativo dell'anno. In tabella 3 viene riportato il periodo di prelievo dei campioni:

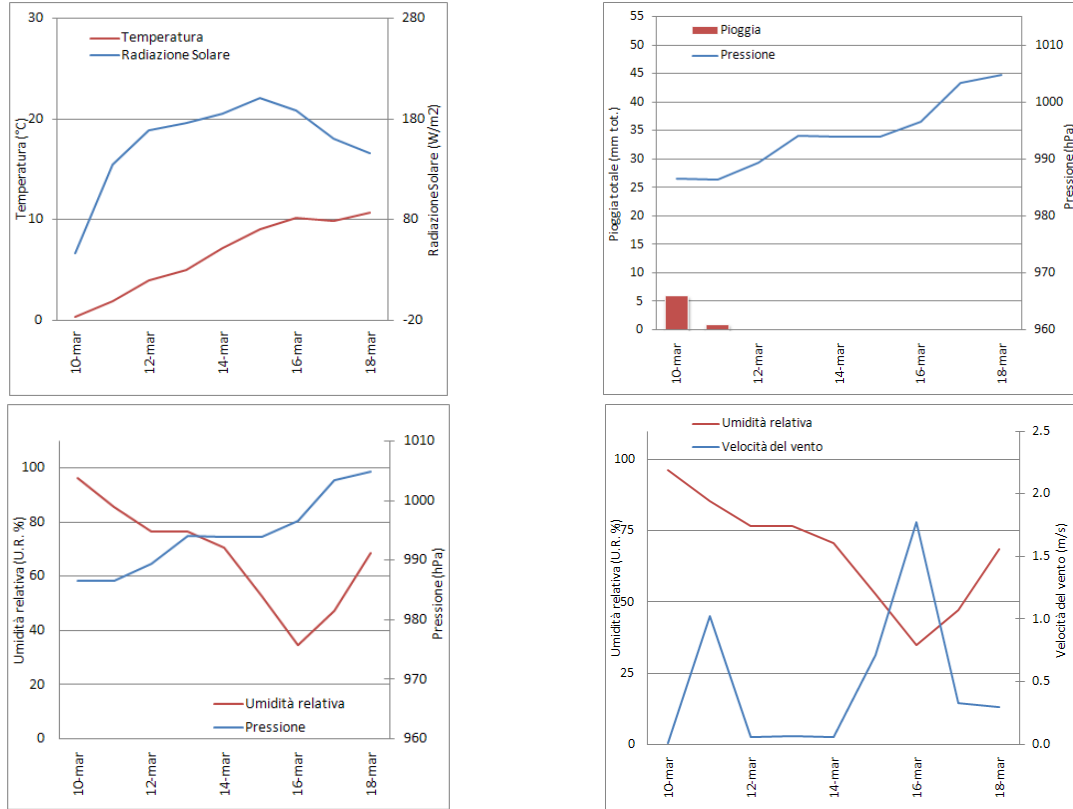
TABELLA 3				
Comune	sigla	stagione	Periodo	n. campioni
Mezzago	M <sub>1</sub>	inverno	10/3/10-19/03/10	10

Durante l'attività di monitoraggio, le temperature hanno fatto registrare valori in un range tra -1°C e 17°C, con direzione prevalente del vento nel settore W W-SW (12%) e periodi di calma di vento pari al 74%. I dati salienti delle condizioni atmosferiche del periodo sono riportati in tabella 4.

<sup>8</sup> Vedi tabella 4 pag. 18

Tabella 4: condizioni atmosferiche durante i giorni di campionamento

sito	periodo	VV media (m/s)	direz. prevalente V	T media (°C)	Prec tot (mmH2O)
M <sub>1</sub>	10/03-18/03	0.5		6	7 (2 eventi piovosi)


 Meteorologia sito M<sub>1</sub>

In tabella 5<sup>9</sup> e nel grafico di figura 8, sono riportate le concentrazioni degli IPA espresse in ng/m<sup>3</sup>, riscontrate nel periodo di osservazione.

 Tabella 5a: concentrazioni IPA serie M<sub>1</sub>

SITO M <sub>1</sub>	PhA ng/m <sup>3</sup>	Ant ng/m <sup>3</sup>	Flu ng/m <sup>3</sup>	Pyr ng/m <sup>3</sup>	BaA ng/m <sup>3</sup>	Chr ng/m <sup>3</sup>	BbF ng/m <sup>3</sup>	BkF ng/m <sup>3</sup>	BaP ng/m <sup>3</sup>	BgP ng/m <sup>3</sup>	dBA ng/m <sup>3</sup>	IP ng/m <sup>3</sup>	BeP ng/m <sup>3</sup>	COR ng/m <sup>3</sup>
10/03/2010 dom	0.17	<0.008	0.25	0.30	0.29	0.52	1.06	0.43	0.61	0.76	0.09	0.60	0.55	0.24
11/03/2010 lun	0.13	<0.008	0.15	0.19	0.21	0.36	0.81	0.33	0.54	0.59	0.08	0.59	0.43	0.15
12/03/2010 mar	0.22	<0.008	0.17	0.24	0.32	0.68	1.74	0.69	0.77	1.21	0.11	2.11	0.76	0.35
13/03/2010 merc	0.22	<0.008	0.26	0.24	0.29	0.71	1.88	0.76	0.87	1.31	0.12	2.35	0.78	0.39
14/03/2010 giov	0.15	<0.008	0.14	0.21	0.24	0.60	1.85	0.67	0.79	1.15	0.17	2.21	0.77	0.36
15/03/2010 ven	0.07	<0.008	0.14	0.18	0.13	0.22	0.58	0.22	0.31	0.38	0.05	0.54	0.26	0.13
16/03/2010 sab	0.15	<0.008	0.26	0.33	0.34	0.52	1.03	0.39	0.63	0.68	0.11	1.28	0.56	0.23
17/03/2010 dom	0.09	<0.008	0.15	0.19	0.14	0.29	0.65	0.25	0.35	0.43	0.05	0.79	0.31	0.14
18/03/2010 lun	0.05	<0.008	0.12	0.15	0.08	0.20	0.44	0.15	0.23	0.27	0.03	0.42	0.20	0.08
19/03/2010 mar	0.06	<0.008	<0.08	0.13	0.07	0.21	0.38	0.13	0.17	0.22	0.03	0.30	0.16	0.06
<b>MEDIA</b>	0.13	--	0.18	0.22	0.21	0.43	1.04	0.40	0.53	0.70	0.08	1.12	0.48	0.21
min	0.05	--	0.12	0.13	0.07	0.20	0.38	0.13	0.17	0.22	0.03	0.30	0.16	0.06
max	0.22	--	0.26	0.33	0.34	0.71	1.88	0.76	0.87	1.31	0.17	2.35	0.78	0.39
n. campioni	10	10	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
n. camp. >DL	10	--	9	10	8	10	10	10	10	10	10	10	10	8

<sup>9</sup> In rosso sono evidenziati i dati che sono risultati al di sotto della soglia di rilevabilità del metodo.

**Dai riscontri analitici effettuati sui filtri della serie M<sub>1</sub> è emerso come le concentrazioni di tutti gli IPA siano molto basse.** In particolare le concentrazioni di benzo(a)pirene, preso a riferimento dalla normativa come marker degli IPA, sono risultate costantemente inferiori all'obiettivo di qualità (1 ng/m<sup>3</sup>).

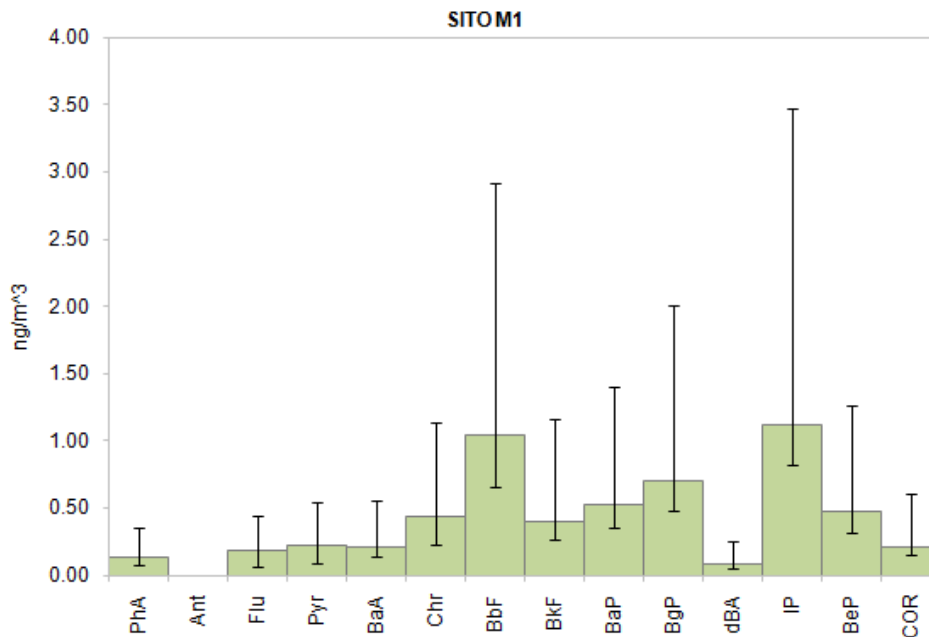


Figura 5: concentrazione media degli IPA nella campagna di misura

#### Profilo chimico degli IPA

In figura 9 ed in tabella 6 viene riportato il profilo chimico medio degli IPA relativo al periodo di osservazione, inteso come rapporto dei singoli IPA, presenti in fase particolata, con  $\Sigma^{10}$ .

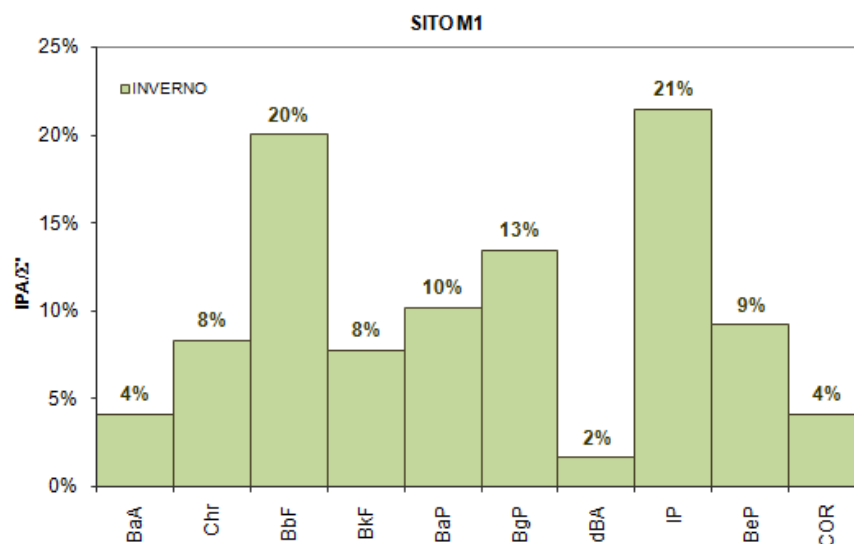


Figura 6: profilo chimico degli IPA relativo al periodo di osservazione

<sup>10</sup> Con  $\Sigma$  si intende il valore degli IPA totali. Con  $\Sigma'$  si intende il valore degli IPA totali senza considerare il fenantrene l'antracene il fluorantene ed il pirene in quanto questi sono presenti in atmosfera in fase particolata ed in fase gassosa. Poiché la ripartizione in fase particolata e gassosa di questi IPA ha una forte dipendenza dalla temperatura, si potrebbero generare grosse incertezze nel rapporto con gli IPA totali, in quanto fortemente legati alle condizioni atmosferiche e non alle sorgenti di emissione (ad es. a  $T=20^{\circ}\text{C}$   $C_{\text{particolata}}/C_{\text{gas}} = 0.36\%$  e  $5.6\%$  per FLU e PYR rispettivamente - Seinfeld and Pandis, 1998).

<b>Tabella 6</b>		<b>BaA/Σ'</b>	<b>Chr/Σ'</b>	<b>BbF/Σ'</b>	<b>BkF/Σ'</b>	<b>BaP/Σ'</b>	<b>BgP/Σ'</b>	<b>dBA/Σ'</b>	<b>IP/Σ'</b>	<b>BeP/Σ'</b>	<b>Cor/Σ'</b>
profilo medio M <sub>1</sub>	M <sub>1</sub> /Σ'	4%	8%	20%	8%	10%	13%	2%	21%	9%	4%

L'analisi del profilo chimico evidenzia come gli IPA presenti in maggior concentrazione risultano essere il BbF ed il Pirene il BaP è presente con una percentuale inferiore della metà..

### Diagnostic Ratio and source apportionment

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

**La letteratura più recente<sup>11</sup> però ha mostrato qualche perplessità nell'utilizzo di tale metodo.** Si ritiene infatti che questi composti siano sottoposti, una volta emessi in atmosfera, a processi più o meno elevati di foto - ossidazione con conseguente alterazione del parametro DR. **Le diverse proprietà chimico-fisiche dei diversi IPA poi possono ulteriormente modificare questi rapporti (Simò et al., 1997).** Tale approccio deve pertanto essere utilizzato con cautela.

A causa della stretta dipendenza dalla temperatura della pressione di vapore, che controlla la partizione gas/particella degli IPA, ed a causa della forte reattività degli IPA in presenza di ossidanti atmosferici (specialmente O<sub>3</sub> particolarmente presente nei periodi estivi in quanto inquinante fotochimico), che contribuiscono a diminuirne la permanenza in aria, si è ritenuto opportuno non considerare i campioni della serie M<sub>1</sub> per il calcolo dei DR. Si pensa infatti che i bassi valori di concentrazione in fase particolata, rilevati in periodo estivo sottostimino i reali valori di IPA ritenendo che possa essere consistente la frazione in fase gas.

Innanzitutto è stato calcolato il rapporto con gli IPA totali, della somma delle concentrazioni dei 9 IPA (C<sub>IPA</sub>) maggiormente implicati, secondo i dati di letteratura<sup>12</sup>, in processi di combustione (Flu, Pyr, Chr, B(a)A, B(e)P, B(a)P, B(ghi)P, B(b)F, B(k)F), con gli IPA totali.

Tale rapporto calcolato per la serie M<sub>1</sub> è risultato pari al 73% della massa totale degli IPA.

Questo dato (0.73 ± 0.63) è risultato in linea con i valori di letteratura<sup>13</sup> riferiti agli autoveicoli con o senza marmitta catalitica e veicoli pesanti alimentati a gasolio e sembra indicare che la combustione piuttosto che i combustibili fossili incombusti, sia la principale sorgente degli IPA.

Per cercare di ottenere maggiori informazioni sulle sorgenti emissive che maggiormente influenzano la qualità dell'aria nell'area di studio sono stati ricavati ulteriori rapporti diagnostici<sup>14</sup>:

1. **[Flu]/[Flu] + [Pyr]** secondo i dati di letteratura<sup>15</sup> questo rapporto è di:
  - 0.41 per le emissioni da veicoli a benzina senza marmitta catalitica
  - 0.51 per le emissioni da veicoli a benzina con marmitta catalitica
  - 0.30 per le emissioni dei veicoli pesanti con motore diesel
  
2. **[IcdP]/[IcdP] + [BghiP]** secondo i dati di letteratura questo rapporto è di:
  - 0.18 per le emissioni da benzine<sup>16</sup>
  - 0.37 per le emissioni di diesel
  - 0.56 per le emissioni dovute alla combustione del carbone<sup>17</sup>
  - 0.62 per le emissioni dovute alla combustione di legna<sup>18</sup>

<sup>11</sup> Assemo O. Barakat: "Pahs petroleum markers in the atmospheric environment of Alexandria City, Egypt" – Water, Air and soil Pollution 139: 289-310 - 2002.

<sup>12</sup> Rogge et al., 1993 : "Sources of fine organic aerosol", Environmental Science and Thecnology, **27**, 1892-1904.

<sup>13</sup> Cfr. nota 14.

<sup>14</sup> Evangelopoulos et al., "PAHs in fine and coarse particles", Global Nest Journal, vol 12, n. 1, pp 63-70, 2010.

<sup>15</sup> Cfr. nota 14.

<sup>16</sup> K'avouras et al., 1999; Pio et al., 2001; Alveas et al. 2001.

<sup>17</sup> Pio et al., 2001.

3. **[BaA]/[BaA]+[Chr]** e **[BeP/BaP]** tali DR sono indicativi del possibile trasporto di IPA da sorgenti lontane<sup>19</sup>. Infatti il primo DR è caratteristico del rapido decadimento del B(a)A in confronto al Chr che risulta molto più stabile. Mentre nel secondo DR è il BaP a risultare maggiormente reattivo esso infatti presenta un tempo di dimezzamento di 5.3 ore<sup>20</sup> mentre il BeP risulta relativamente più stabile, con una vita media di 21.1 ore;
4. **[BbF]+[BkF]/[BghiP]** questo rapporto<sup>21</sup> viene utilizzato per discriminare il contributo alle emissioni delle autovetture (0.21÷0.28) da quello dovuto alla combustione della legna e del carbone (2.6÷14).

In tabella 8 vengono riportati i risultati dei quattro rapporti sopra citati riferiti alla serie M<sub>1</sub>:

Tabella 8		M <sub>1</sub>	
Flu/Flu+Pyr	0.44	combustibili liquidi fossili (veicoli)	
I(123cd)P/I(123cd)P+B(ghi)P	0.59	legna e carbone	
B(a)A/B(a)A+Chr	0.33	sorgenti vicine	
B(e)P/B(a)P	0.90	sorgenti lontane	
B(b)F+B(k)F/BghiP	2.09	legna e carbone	

Una chiara immagine dei risultati è resa in figura 10 e 11.

La distribuzione di Flu/Flu+Pyr lungo l'asse x di figura 10 risulta chiusa nell'area relativa alla combustione del petrolio, così come la distribuzione di IP/IP+BghiP lungo l'asse y risulta chiusa nell'area relativa alla combustione del petrolio con qualche implicazione derivante dalla combustione di legna e carbone.

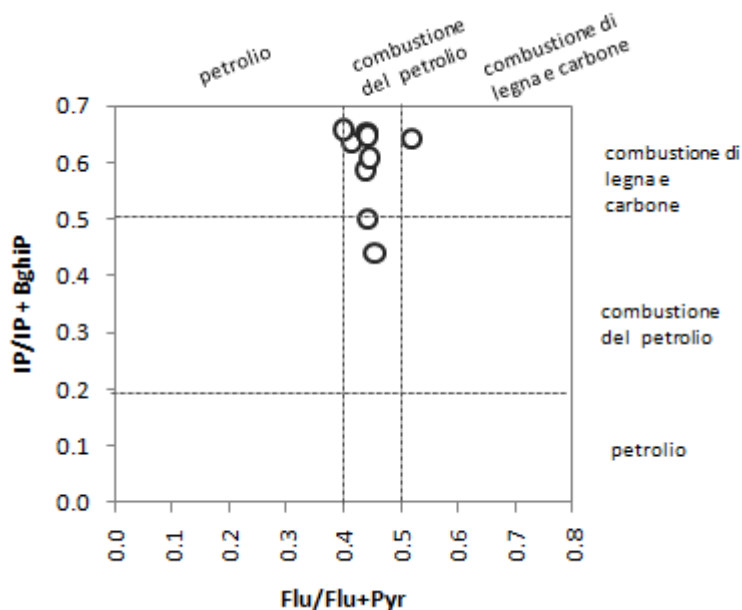


Figura 7: IPA cross-plot per il rapporto I(123cd)P/I(123cd)P+B(ghi)P versus Flu/Flu+Pyr

La distribuzione poi di B(a)A/B(a)A+Chr lungo l'asse y di figura 11 risulta chiusa nell'area relativa alle sorgenti lontane, mentre la distribuzione di B(e)P/B(a)P lungo l'asse x risulta chiusa nell'area relativa sia alle sorgenti lontane che alle sorgenti vicine.

<sup>18</sup> Gogou et al., 1996.

<sup>19</sup> Pantere t al., 1999.

<sup>20</sup> Sotto condizione di luce solare simulata.

<sup>21</sup> Cretney et al., 1985.

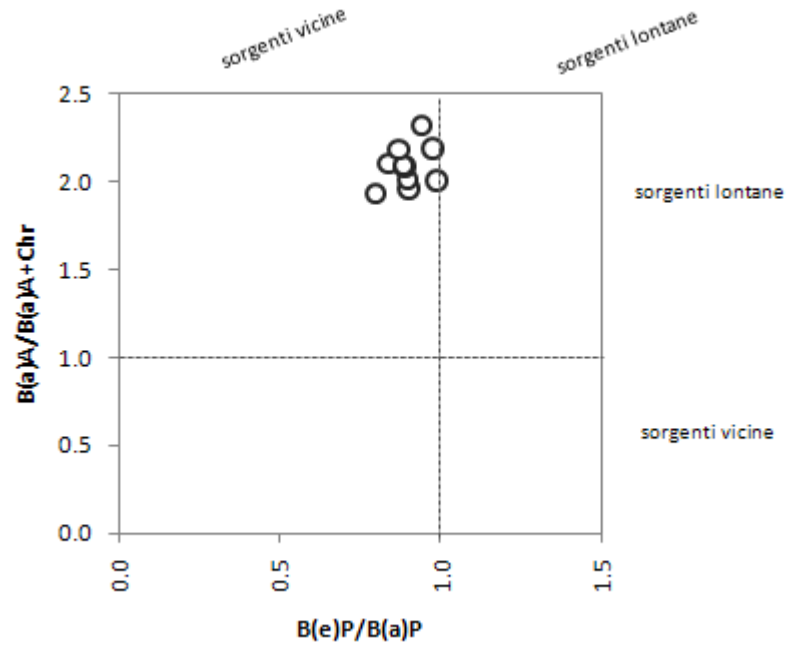


Figura 8:IPA cross-plot per il rapporto B(a)A/B(a)A+Chr versus B(e)P/B(a)P

Dall'analisi dei DR pertanto risulta che le sorgenti emmissive nell'area sono sia di tipo locale che dovute a fenomeni di trasporto da aree lontane e sono essenzialmente legate alle emissioni veicolari con qualche implicazione derivante dalla combustione di legna e carbone.

## CONCLUSIONI

L'obiettivo della campagna di monitoraggio, svolta in un periodo significativo dell'anno (04/03/2010 – 06/04/2010), è stato quello di poter disporre di dati che permettessero di stimare il livello medio delle principali sostanze inquinanti all'interno del comune.

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

Il laboratorio mobile è stato posizionato in area mista a prevalenza residenziale. Il contesto alterna zone residenziali, in prevalenza villette e piccoli condomini, con aree agricole ed industriali. La postazione di misura si trova a ridosso della strada per Bellusco, una strada a due corsie ridotte, una per senso di marcia, che collega Mezzago con Bellusco, lungo la direttrice Est-Ovest.

Si tratta di una strada caratterizzata principalmente da traffico veicolare sia leggero che pesante di tipo residenziale e di attraversamento, che risulta maggiore durante le ore di punta mattutina e serale.

Durante il periodo di misura si è verificata una situazione meteorologica generalmente abbastanza instabile, favorevole alla dispersione degli inquinanti, con variabilità barica discreta (3%) ma con una scarsa attività anemologica. L'analisi in frequenza dei dati registrati con la stazione meteo del Laboratorio Mobile mostrano infatti come l'attività anemologica sia stata quasi del tutto assente con il 69% di casi di calma di vento anche se non sono mancati eventi di una certa entità come nelle giornate del 16, 26 e 30 marzo con fenomeni di brezza tesa e vento teso che hanno favorito la dispersione degli inquinanti.

Gli alti valori dell'umidità ( $UR\%_{media} = 70\%$ ) nei bassi strati dell'atmosfera poi ed i periodi di bassa pressione, in particolare nella terza decade del mese di marzo, hanno determinato durante la campagna di misura effetti diluitivi dell'inquinamento in atmosfera con periodi di instabilità che hanno portato rovesci e temporali diffusi su tutto il territorio provinciale così come nel sito oggetto di studio in cui si sono registrati 16 giorni di precipitazioni su 32 giorni di misura, per un totale di 121 mm di pioggia caduti.

La presenza di intervalli di stabilità seppur modesti, ha **però favorito il verificarsi di superamenti del limite normativo per quanto riguarda il PM10 (4 giorni di superamento del limite su 32 giorni di misura)**, registrati nella seconda decade di marzo.

La peculiarità del PM10 è quella di essere un inquinante di tipo ubiquitario, presenta cioè andamenti delle concentrazioni analoghe in diverse località del Bacino Padano, pertanto tale situazione registrata durante la campagna invernale, non ha interessato unicamente il comune di Mezzago; infatti anche le postazioni della Rete fissa Provinciale di monitoraggio prese a riferimento, hanno tutte registrato diversi superamenti del limite fissato a  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Attraverso il monitoraggio degli inquinanti considerati marker caratteristici del traffico, quali NO, NO<sub>2</sub>, e CO è stato possibile poi acquisire una serie di conoscenze sui flussi di traffico all'interno del comune di Mezzago, evidenziando due fasce orarie di maggior traffico (07.00 - 12.00 e 18.00 - 22.00) in corrispondenza delle ore di punta mattutina e serale.

**Dai riscontri analitici effettuati sui filtri della serie M<sub>1</sub> è emerso come le concentrazioni di tutti gli IPA siano risultate basse. In particolare le concentrazioni di benzo(a)pirene, preso a riferimento dalla normativa come marker degli IPA, sono risultate costantemente inferiori all'obiettivo di qualità (1 ng/m<sup>3</sup>).**

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

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

Dall'analisi dei DR pertanto risulta che le sorgenti emissive nell'area sono sia di tipo locale che dovute a fenomeni di trasporto da aree lontane e sono principalmente legate alle emissioni veicolari con qualche implicazione legata alla combustione della legna.

Tale risultato è in linea con quanto previsto per via teorica all'interno del comune di Mezzago, attraverso l'inventario delle emissioni INEMAR e suggerisce quale principale sorgente emissiva il traffico veicolare particolarmente intenso lungo la vicina SP2 Monza - Trezzo.

**BIBLIOGRAFIA**

**Bierbaum, U. M., Filley, J., DePuy, C. H.** 1994. Kinetic Isotope Effect in Gas-Phase induced elimination reactions. *American Chemical Society*, 107, 2818.

**Cassoni F., Bocchi C. ARPA Emilia Romagna.** “Monitoraggio della mutagenicità del particolato atmosferico urbano: Rete Regionale dell’Emilia Romagna – Aggiornamento anno 2004.

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

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

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

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

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

**Gualdi R., Lanzani G. e Cazzuli O. (2003)** – “Razionalizzazione del monitoraggio della qualità dell’aria”. ARPA Lombardia.

**Harrison, R. M., Smith, D. J. T., Luhana, L.** 1996. Source apportionment of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons collected from an urban location in Birmingham, UK. *Env. Sci. Tec.*, 3 0, 825-832.

**Meylan, W. M., Howard, P. H.** 1993. Computer estimation of the atmospheric gas-phase reaction rate of organic compounds with hydroxyl radicals and ozone. *Chemosphere*, 26, n. 12, 2293.

**Mitchell, D. N., Wayne, R. P., Allen, P. J., Harrison, R. P., Twin, R. J.** 1980. Kinetics and photochemistry of NO<sub>3</sub>. *J.C.S. Faraday II* , 785.

**Norma ISO 9359 (edizione 1989)** “Air quality. Stratified sampling method for assessment of ambient air quality”.

**Norma UNI EN ISO 9001 (2000)** “Sistemi di gestione della qualità - Requisiti”.

**Norma UNI EN ISO 14001 (1996)** “Sistemi di gestione ambientale - Requisiti e guida per l’uso”.

**Penning, T. M., Ohnishi, S. T., Harvey R. G.** 1996; Generation of reactive oxygen species during the enzymatic oxidation of PAH trans-dihydrodiols catalyzed by dihydrodiol dehydrogenase. *C h e m . Res.*

**Progetto SINA – Area di Epidemiologia Ambientale ARPA Emilia Romagna.** “Analisi statistiche a supporto del monitoraggio della qualità dell’aria in Emilia Romagna”.

**Ziemacki G, Viviano G, Merli F.** Heavy metals: sources and environmental presence. *Ann Ist Super Sanità* 1989;25(3): 531-6.