



Agenzia Regionale per la Prevenzione
e Protezione Ambientale del Veneto



REGIONE DEL VENETO

Dipartimento Provinciale di Verona

CAMPAGNA DI MISURA DELL'INQUINAMENTO ATMOSFERICO

Comune di Verona
Via Ca' di Cozzi

20 luglio - 12 settembre 2012
6 novembre 2012 – 9 gennaio 2013

Relazione: Dr.ssa Francesca Predicatori
Dr. Paolo Frontero

Gestione Laboratorio Mobile: Andrea Salomoni

Direttore del Dipartimento: Ing. Giancarlo Cunego

Indice della relazione tecnica.

1	Periodo di indagine.....	3
2	Localizzazione del sito.....	3
3	Caratteristiche dei principali inquinanti	4
3.1	Polveri sottili - PM ₁₀	4
3.2	Polveri sottili - PM _{2,5}	4
3.3	Biossido di azoto- NO ₂	4
3.4	Biossido di zolfo- SO ₂	4
3.5	Monossido di carbonio- CO	5
3.6	Ozono – O ₃	5
3.7	Benzene – Toluene - Xilene	5
3.8	Metalli e metalloidi	5
3.9	Idrocarburi Policiclici Aromatici - IPA.....	6
4	Commento sulla situazione meteorologica	6
4.1	Campagna di misure 20 luglio - 12 settembre 2012.....	6
4.2	Campagna di misure 6 novembre 2012- 9 gennaio 2013	7
5	Analisi dei risultati per il PM ₁₀	9
6	Andamento inquinanti e confronto con le rilevazioni dei siti fissi	11
6.1	Biossido di azoto (NO ₂)	11
6.2	Biossido di zolfo (SO ₂).....	14
6.3	Monossido di carbonio (CO).....	15
6.4	Ozono (O ₃).....	15
6.5	Idrocarburi policiclici aromatici (IPA)	16
6.6	Metalli.....	17
7	Conclusioni	17
8	Concentrazioni medie giornaliere dei principali inquinanti.....	20
9	Riferimenti normativi.....	23

1 Periodo di indagine.

Il dipartimento ARPAV di Verona ha effettuato nei periodi 20 luglio - 12 settembre 2012, 6 novembre 2012 - 9 gennaio 2013 una campagna di misura con la stazione rilocabile a Verona in via Ca' di Cozzi al fine di valutare la qualità dell'aria in periodo invernale ed estivo.

L'indagine è volta a conoscere le concentrazioni di inquinanti su una delle principali direttrici di accesso alla città che attraversa zone densamente abitate.

La stazione rilocabile è dotata di analizzatori per il campionamento e la misura degli inquinanti chimici individuati dalla normativa inerente l'inquinamento atmosferico e più precisamente:

inquinanti convenzionali: monossido di carbonio (CO), anidride solforosa (SO₂), ossidi di azoto (NO_x), ozono (O₃);

inquinanti non convenzionali: benzene, toluene, xilene, (BTX), polveri sottili (PM₁₀), idrocarburi policiclici aromatici

Sono stati inoltre misurati in continuo alcuni parametri meteorologici quali temperatura, umidità relativa, pressione atmosferica, velocità del vento prevalente, direzione del vento prevalente e globale, sigma prevalente, radiazione solare netta e globale.

2 Localizzazione del sito.

Informazioni sulla località sottoposta a controllo	
Comune	Verona
Posizione	Via Ca' di Cozzi
Tipologia del sito	traffico urbano - Zona residenziale ¹

Figura 1: rappresentazione satellitare del sito di monitoraggio



¹Legenda:

Stazioni di traffico urbane (TU): sono stazioni urbane localizzate in aree con forti gradienti di concentrazione degli inquinanti. A titolo indicativo si può consigliare che l'area di rappresentatività sia almeno pari a 200 m., anche se sarebbe più opportuno descriverla in funzione della lunghezza della strada.

3 Caratteristiche dei principali inquinanti

3.1 Polveri sottili - PM₁₀

Con il termine polveri sottili o PM₁₀ si indica la componente con diametro aerodinamico inferiore a 10 µm del particolato aereodisperso. Si tratta di un insieme alquanto eterogeneo di composti che in parte derivano dall'emissione diretta causata dalle attività antropiche quali traffico, industria, riscaldamento. In parte (si stima per più dell'80%) è prodotto da reazioni chimico-fisiche che avvengono in atmosfera e coinvolgono i composti organici volatili, ammoniaca, gli ossidi di azoto, gli ossidi di zolfo. Inoltre, grazie alle ridotte dimensioni, le particelle di PM₁₀ possono rimanere in atmosfera per periodi di tempo anche relativamente lunghi prima di subire il processo di dilavamento o sedimentazione. Non è quindi possibile legare la concentrazione di PM₁₀ misurata localmente con una o più precise fonti emissive poiché essa è il risultato di un complesso insieme di fenomeni che implicano l'emissione di sostanze inquinanti, il loro ricombinarsi e coagularsi in atmosfera, il trasporto dovuto alle dinamiche dei bassi strati dell'atmosfera. Questo spiega la diffusione pressoché omogenea del PM₁₀ sul nostro territorio.

3.2 Polveri sottili - PM_{2.5}

Il PM_{2.5} è costituito dalla frazione con diametro aerodinamico inferiore a 2.5 µm delle polveri aereodisperse, costituisce circa il 60-70% del PM₁₀. Viene indicato come "frazione respirabile" delle polveri poiché a causa delle sue ridotte dimensioni penetra fino agli alveoli polmonari. Può essere originato sia per emissione diretta sia in seguito a reazioni nell'atmosfera di composti chimici quali ossidi di zolfo, ossidi di azoto, ammoniaca e composti organici. Le fonti antropiche possono essere ricondotte essenzialmente ai processi di combustione (traffico veicolare, utilizzo di combustibili nei processi industriali) e a emissioni industriali. Il tempo di residenza in atmosfera delle polveri fini in atmosfera può essere di diversi giorni

3.3 Biossido di azoto- NO₂

Con il termine ossidi di azoto si indica una famiglia di composti i più caratteristici dei quali sono il monossido (NO) ed il biossido di azoto (NO₂). Il monossido di azoto (NO) è un gas incolore e inodore che si forma in tutti i processi di combustione, indipendentemente dalla composizione chimica del combustibile, poiché l'azoto e l'ossigeno che lo costituiscono sono naturalmente presenti nell'atmosfera e si combinano in tutti i processi in cui si raggiungono temperature sufficientemente elevate (>1210°). Tali valori sono normalmente raggiunti nei motori a combustione interna. Nei processi di combustione si forma anche una piccola quantità di biossido (circa il 5%). Quest'ultimo è considerato un inquinante secondario perché deriva principalmente dall'ossidazione dell'ossido di azoto (NO), favorita dalla presenza di ossidanti quali l'ozono. Gli ossidi di azoto permangono in atmosfera per pochi giorni (4-5) e sono rimossi in seguito a reazioni chimiche che portano alla formazione di acidi e di sostanze organiche. Gli effetti negativi sull'ambiente dovuti ad alte concentrazioni di NO₂ sono legati alla formazione di smog fotochimico in presenza di irraggiamento solare, alla acidificazione delle piogge ed alla riduzione dell'ozono stratosferico.

3.4 Biossido di zolfo- SO₂

Il biossido di zolfo è un gas incolore dall'odore acre e pungente a temperatura ambiente derivante sia da fonti antropiche che da fonti naturali. L'origine naturale deriva principalmente dalle eruzioni vulcaniche mentre quella antropica deriva dalla combustione domestica degli impianti non metanizzati e dall'uso di combustibili liquidi e solidi nelle centrali termoelettriche. A causa dell'elevata solubilità in acqua l'SO₂ viene assorbito facilmente dalle mucose del naso e del tratto superiore dell'apparato respiratorio; quindi solo le piccolissime quantità raggiungono la parte più profonda del polmone. Gli ossidi di zolfo svolgono un'azione indiretta nei confronti della fascia di ozono stratosferico in quanto fungono da substrato per i clorofluorocarburi, principali responsabili del "buco" dell'ozono. Nel contempo si oppongono al fenomeno dell'effetto serra in quanto hanno la capacità di riflettere le radiazioni solari producendo un raffreddamento del pianeta.

3.5 Monossido di carbonio- CO

Qualsiasi processo di combustione incompleta provoca la produzione di monossido di carbonio (CO), un gas incolore ed inodore che a concentrazioni molto elevate, normalmente non riscontrabili nell'aria ambiente, è fortemente dannoso per la salute. Una quota notevole di CO deriva da processi naturali connessi all'ossidazione atmosferica di metano e di altri idrocarburi normalmente emessi nell'atmosfera, dalle emissioni degli oceani e paludi, da incendi forestali, da acqua piovana e tempeste elettriche.

Le fonti antropiche di monossido di carbonio sono rappresentate da tutte le attività che comportano l'utilizzo di combustibili fossili, in particolare il traffico stradale (motori a benzina) è la sorgente principale (60% circa su scala nazionale), seguito dall'industria metallurgica (16% circa) e dall'uso domestico e commerciale (14% circa). Il CO è un inquinante primario che solo lentamente viene ossidato a CO₂: il tempo di permanenza in atmosfera può arrivare a sei mesi.

3.6 Ozono – O₃

L'ozono è un inquinante di tipo secondario, prodotto da reazioni fotochimiche di trasformazione degli inquinanti primari, quali composti organici volatili e ossidi di azoto. Anche in questo caso, le condizioni meteorologiche hanno un'enorme influenza sull'andamento delle concentrazioni. In particolare il verificarsi di intensa radiazione solare, temperatura mite o alta e venti moderati favoriscono la formazione di smog fotochimico e l'aumento delle concentrazioni troposferiche di ozono; nell'arco della giornata, i livelli sono bassi al mattino (fase di innesco del processo fotochimico) raggiungono il massimo nel primo pomeriggio e si riducono progressivamente nelle ore serali con il diminuire della radiazione solare. Precursori sono i composti idrocarburi e gli ossidi di azoto presenti nell'aria, anche relativamente distanti dal punto di formazione dell'O₃. Dall'analisi dei dati effettuata l'inquinamento da ozono risulta particolarmente critico in tutta l'area pianeggiante del Veneto. L'ozono a livello del suolo è tossico per l'uomo anche a concentrazioni relativamente basse essendo un potente agente ossidante, tanto che rappresenta, insieme al particolato, uno degli inquinanti più rilevanti dal punto di vista della salute.

3.7 Benzene – Toluene - Xilene

Il benzene (formula bruta: C₆H₆) è il più semplice dei composti organici aromatici: è un liquido incolore dal caratteristico odore pungente che diventa irritante a concentrazioni elevate e che volatilizza facilmente a temperatura ambiente. Il benzene presente nell'aria ambiente è prevalentemente di origine antropica e deriva principalmente da processi di combustione incompleta (emissioni industriali, veicoli a motore, incendi). La più importante fonte emissiva è rappresentata dai veicoli a motore alimentati a benzina, i quali emettono benzene, oltre che dal tubo di scappamento, anche dal serbatoio e dal carburatore. In questi ultimi due casi si tratta di perdite dovute all'evaporazione legata cioè alla volatilità del combustibile ed ai fenomeni fisici che la favoriscono. L'industria petrolchimica in questi ultimi anni sta utilizzando in sostituzione del benzene il toluene (formula bruta: C₇H₈). Esso infatti presenta caratteristiche chimico-fisiche molto simili a quelle del benzene ma risulta meno tossico.

Lo xilene (formula bruta: C₈H₁₀) è un gruppo di tre derivati del benzene (isomeri: orto-, meta- e para-) e come quest'ultimo è contenuto naturalmente nel petrolio. Una delle sue possibili fonti in un contesto urbano è il gasolio per autotrazione.

3.8 Metalli e metalloidi

Nel particolato sono presenti metalli di varia natura, la cui origine è legata a una varietà di sorgenti: la normativa prevede il monitoraggio su base annuale di arsenico, nichel, cadmio e piombo.

La determinazione dei metalli e microelementi nel particolato viene effettuata per rispondere alla normativa vigente, ma anche per aumentare la conoscenza dei processi chimici e fisici che avvengono in atmosfera e che coinvolgono l'aerosol sia di origine antropica che naturale.

Il nichel è ampiamente presente nell'ambiente soprattutto come lega metallica o in combinazione con altri elementi (a dare ossidi principalmente). Fra le fonti di nichel sono annoverate: l'utilizzo di oli pesanti e di carbone, catalizzatori, acciaio e leghe non ferrose.

La principale fonte di piombo era rappresentata dall'utilizzo di questo elemento quali antidetonante nelle benzine: l'utilizzo della benzina verde ha portato ad una radicale diminuzione di questo inquinante nell'ambiente. Le rilevazioni effettuate sono inferiori agli 80 ng/m³ previsti dalla normativa.

L'inquinamento ambientale da arsenico deriva principalmente dalle industrie che utilizzano i suoi composti e dall'uso di combustibili fossili (come il petrolio ed il carbone) in cui esso è presente in quantità relativamente elevata.

I processi di formazione e lavorazione di leghe ferrose, prevedono l'utilizzo oltre che di minerali di ferro, di altri elementi quali vanadio, manganese, nichel, cobalto, cromo, molibdeno, rame e tungsteno. Tracce di questi elementi si possono ritrovare nell'aria ambiente, come componente del particolato fine.

3.9 Idrocarburi Policiclici Aromatici - IPA

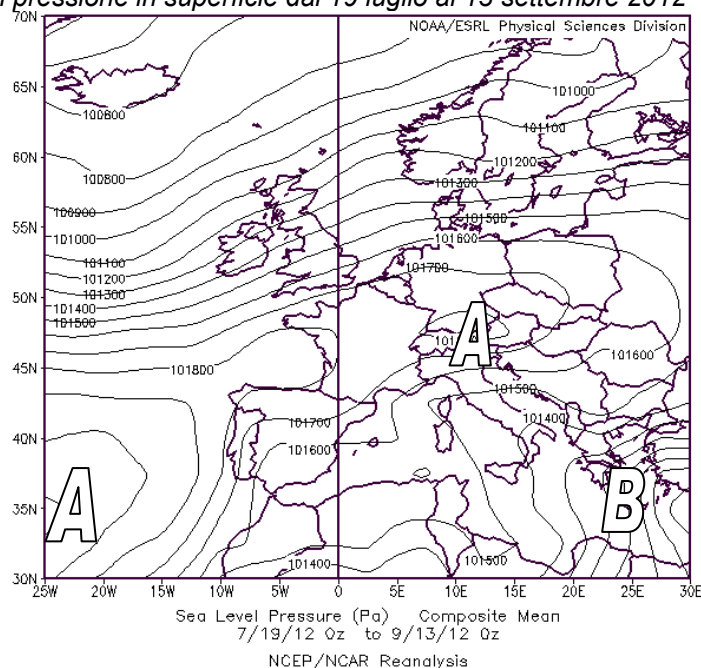
Gli Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA) sono una classe di composti organici formata da due o più anelli aromatici (es. benzene) condensati tra loro solitamente a formare una struttura piana. Si trovano naturalmente nel petrolio e la loro fonte antropica principale è data dalla combustione incompleta di legname, grassi, tabacco e combustibili fossili od organici in generale. I composti ad alto peso molecolare sono inoltre abbondantemente presenti negli asfalti, nei bitumi e nel carbone. Il comportamento degli IPA nell'ambiente è fortemente legato al numero di anelli aggregati: i composti a basso peso molecolare risultano particolarmente volatili e maggiormente solubili. La loro solubilità in acqua rimane comunque scarsa o addirittura nulla per le strutture con un maggior numero di anelli, mentre risultano particolarmente solubili nelle sostanze lipidiche (lipofilia), aspetto questo che ne determina il bioaccumulo. Solitamente in aria non si ritrovano mai composti singoli ma miscele formate anche da decine di IPA differenti. Molti di questi sono stati classificati dalla IARC (International Agency for Research on Cancer) come "probabili" o "possibili cancerogeni per l'uomo", eccezion fatta per il benzo(a)pirene che è stato classificato come "cancerogeno per l'uomo".

4 Commento sulla situazione meteorologica

4.1 Campagna di misure 20 luglio - 12 settembre 2012

La situazione meteorologica è stata caratterizzata, in prevalenza, dal dominio dell'anticiclone delle Azzorre che ha interessato il nord Italia con un possente promontorio, mentre le zone depressionarie si trovavano posizionate sul Mediterraneo orientale: in Figura 2 è riportato il campo medio di pressione in superficie nel periodo della campagna. Tale configurazione ha determinato quindi una certa ventilazione sia per l'avvezione prevalentemente orientale e sia per le tipiche brezze da riscaldamento differenziale. Solo due gli episodi di maltempo per lo più a carattere temporalesco, il primo il 21 luglio con 20 mm di pioggia, il secondo nei giorni 3 e 4 settembre con 31 mm di pioggia complessivi.

Figura 2 Campo medio di pressione in superficie dal 19 luglio al 13 settembre 2012

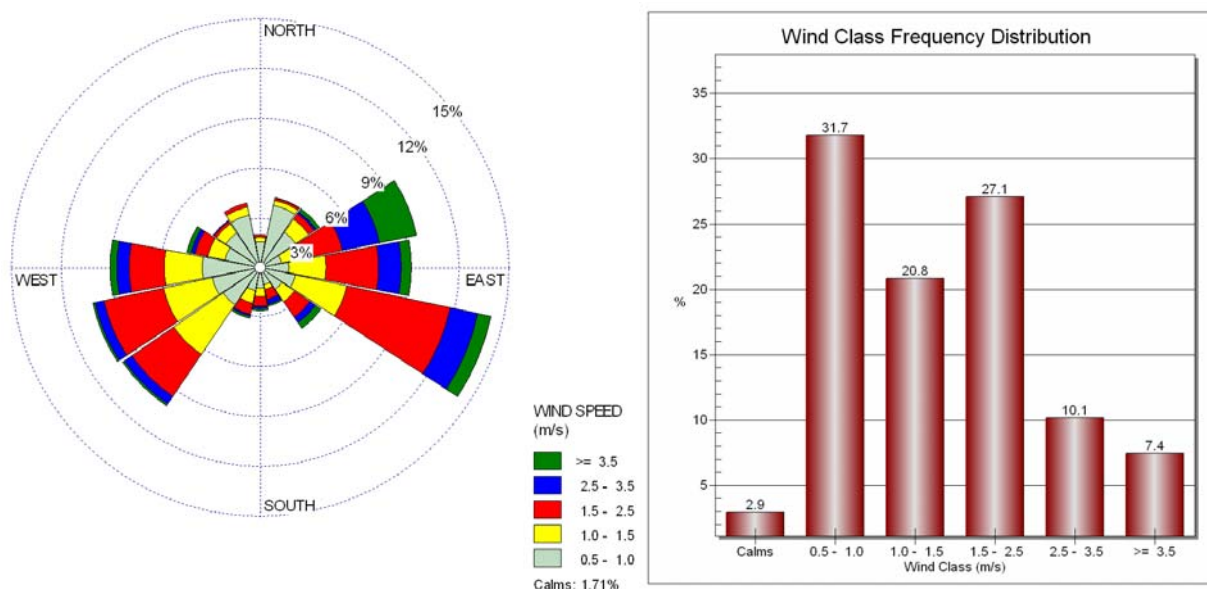


Analizziamo i dati orari di velocità e direzione prevalente del vento, rilevati dalla stazione meteorologica di Verona Via Dominutti, sede del Dipartimento Provinciale ARPA:

- Le direzioni prevalenti sono state: ESE (10.5% dei rilevamenti orari), WSW (7.6% dei rilevamenti orari), SW (8.1% dei rilevamenti orari)
- I valori orari di intensità del vento erano, nel 2.3% dei casi inferiori a 0.5 m/s (calma di vento), nel 36.1% dei casi compresi tra 0.5 ed 1.0 m/s, nel 21.8% dei casi compresi nell'intervallo fra 1.0 e 1.5 m/s; nel 25.6% dei casi nell'intervallo fra 1.5 e 2.5 m/s, nel 8.6% dei casi nell'intervallo fra 2.5 e 3.5 m/s, e 5.7% con velocità superiori ai 3.5 m/s. La velocità media dell'intero periodo è risultata di 1.48 m/s con il 74.1% di dati validi.

Nelle figure seguenti vengono rappresentate la rosa dei venti e la distribuzione per classe di frequenza della velocità del vento nel periodo della campagna di monitoraggio (Figura 3)

Figura 3: rosa dei venti e percentuale di incidenza a sx, distribuzione in frequenza dei valori di intensità del vento a dx, per il periodo 19 luglio - 13 settembre 2012)



4.2 Campagna di misure 6 novembre 2012- 9 gennaio 2013

La configurazione barica media del periodo di campagna di misura (Figura 4) è risultata prevalentemente ciclonica con frequenti passaggi di perturbazioni atlantiche associate a flussi sciroccali; ciò ha prodotto 19 giorni con pioggia. Particolarmente intense sono risultate le precipitazioni del giorno 11 novembre con 45.6 mm, il giorno 28 novembre con 52.8 mm ed il 15 dicembre 2013 con 23.4 mm. In

Analizziamo i dati orari di velocità e direzione prevalente del vento, rilevati dalla stazione meteorologica di Verona Via Dominutti, sede del Dipartimento Provinciale ARPA:

- Le direzioni prevalenti sono state: W (33.6% dei rilevamenti orari), E(10.5% dei rilevamenti orari), WNW (7.5% dei rilevamenti orari)
- I valori orari di intensità del vento sono risultati: nel 0.2 % dei casi inferiori a 0.5 m/s (calma di vento), nel 39.3% dei casi compresi tra 0.5 ed 1.0 m/s, nel 30.4% dei casi compresi nell'intervallo fra 1.0 e 1.5 m/s; nel 16.1% dei casi nell'intervallo fra 1.5 e 2.5 m/s, nel 6.2% dei casi nell'intervallo fra 2.5 e 3.5 m/s, e 7.7% per velocità superiori ai 3.5 m/s. La velocità media dell'intero periodo è risultata di 1.47 m/s con il 87.9% di dati validi.

Nelle figure seguenti vengono rappresentate la rosa dei venti e la distribuzione per classe di frequenza della velocità del vento nel periodo della campagna di monitoraggio (Figura 5)

Figura 4 Campo medio di pressione in superficie dal 5 novembre 2012 al 10 gennaio 2013

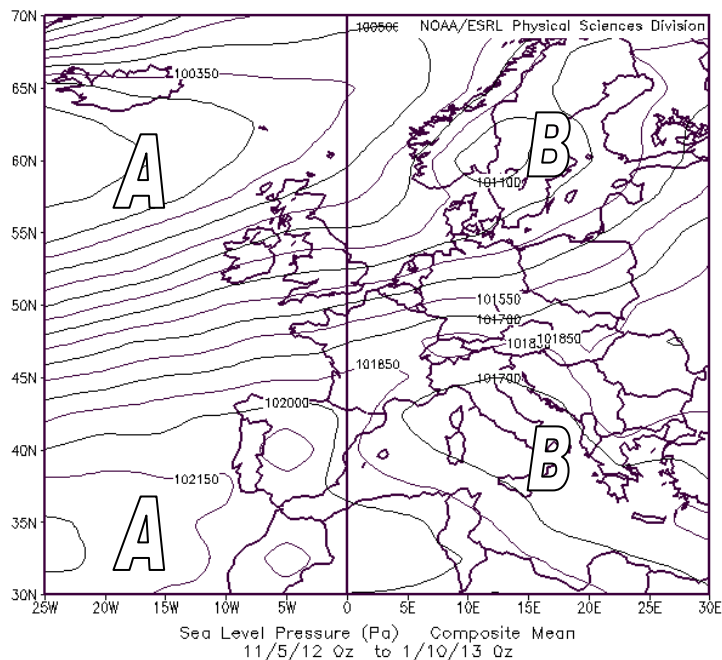
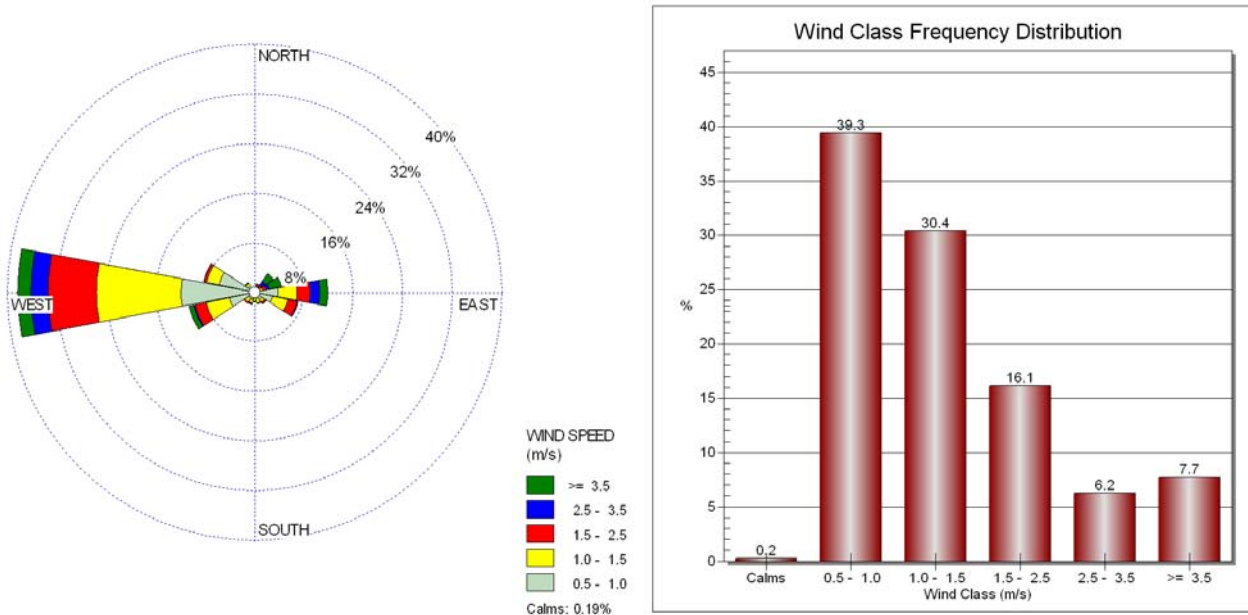


Figura 5 rosa dei venti e percentuale di incidenza a sx, distribuzione in frequenza dei valori di intensità del vento a dx, per il periodo 5 novembre 2012 - 10 gennaio 2013



5 Analisi dei risultati per il PM₁₀

Le concentrazioni di PM₁₀ misurate durante la campagna di monitoraggio effettuata a Verona in Via Ca di Cozzi sono state confrontate con quelle rilevate dalle stazioni fisse sempre di Verona. La stazione di Verona - Cason è una stazione di fondo urbano situata lontano da fonti emittive dirette quali strade e industrie, è quindi un punto di campionamento rappresentativo dei livelli d'inquinamento caratteristici dell'area risultanti dal trasporto degli inquinanti anche dall'esterno dell'area urbana e dalle emissioni dell'area urbana stessa. La stazione di Verona Borgo Milano è una stazione di traffico urbano, situata presso una strada ad alta intensità di traffico, ed è quindi rappresentativa di situazioni urbane caratterizzate prevalentemente da emissioni legate al traffico veicolare.

Sono stati calcolati per ogni periodo di misura il valore medio, il numero di giorni in cui è stato superato il valore limite di 50 µg/m³, la percentuale di giorni di superamento rispetto al numero di giorni di monitoraggio, la correlazione tra il sito di monitoraggio e le due stazioni di riferimento per la durata della campagna. I risultati sono riportati in tabella 1. Tra il sito oggetto del campionamento di PM₁₀ e le altre due stazioni di riferimento vi è una buona correlazione (superiore al 0.8).

Tabella 1: Risultati del monitoraggio del PM₁₀ (µg/m³) durante la campagna di monitoraggio a Verona in Via Ca' di Cozzi

21/07/12-23/08/12	Via Ca di Cozzi	Cason	B.go Milano
media periodo	22	23	19
Mediana	23	23	20
Minimo	7	5	2
Massimo	34	36	48
Deviazione standard	6	8	9
n. dati validi	32	34	33
n. sup. VL 50 ug/m3	0	0	0
correlazione		0.85	0.83
09/11/12-02/01/13	Via Ca di Cozzi	Cason	B.go Milano
media periodo	45	34	53
Mediana	44	33	53
Minimo	6	2	5
Massimo	108	88	116
Deviazione standard	24	18	23
n. dati validi	40	54	55
n. sup. VL 50 ug/m3	13	7	31
correlazione		0.89	0.94

In Figura 6 sono riportati gli andamenti delle concentrazioni di PM₁₀ rilevate in via Ca' di Cozzi e presso la stazione fissa di Cason, dell'intensità del vento e delle precipitazioni rilevate a Cason nel periodo della campagna di monitoraggio estiva: nei primi giorni di misura le condizioni meteo perturbate hanno favorito la diminuzione delle concentrazioni di inquinanti. Analogamente in altri periodi in cui il vento medio giornaliero è risultato superiore a 2 m/s. Il grafico sottostante rappresenta l'andamento delle concentrazioni di PM₁₀ e dei principali parametri meteo durante la campagna di monitoraggio invernale: si nota la rapida diminuzione delle concentrazioni di polveri nei periodi perturbati e l'aumento nei primi giorni dell'anno 2013.

Nel grafico a calendario di Figura 7 risulta evidente come nel periodo di monitoraggio estivo non sia mai stato superato il valore limite di 50 µg/m³.

Nel grafico a calendario di Figura 8 sono evidenziati in verde i giorni critici con concentrazioni di PM₁₀ superiori a 50 µg/m³.

Figura 6 andamento dei principali parametri meteorologici (vento e precipitazione) e concentrazione di PM₁₀ registrati in via Ca di Cozzi durante la campagna di misura estiva (sopra) ed invernale (sotto)

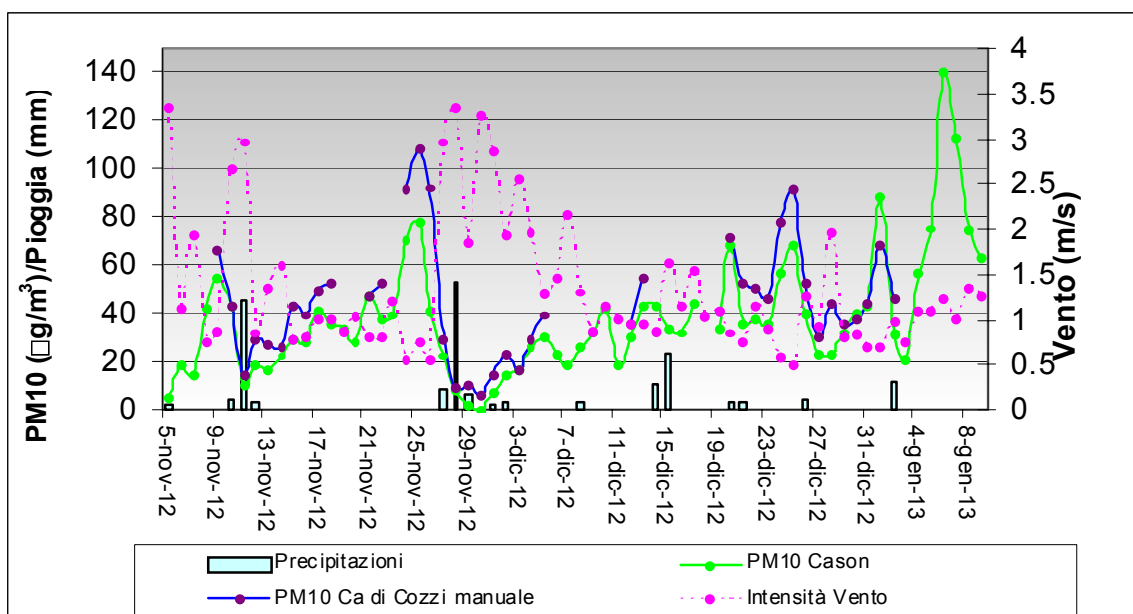
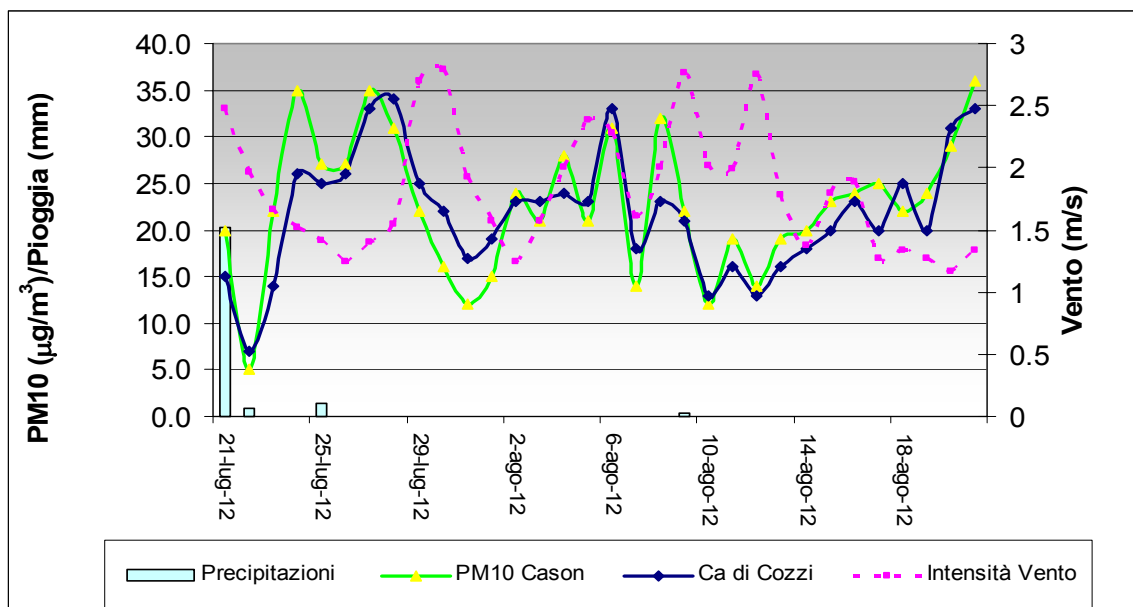


Figura 7: plot-calendario delle concentrazioni medie giornaliere di PM₁₀ e vettore vento medio giornaliero rilevati durante la campagna di misura estiva in via Ca di Cozzi

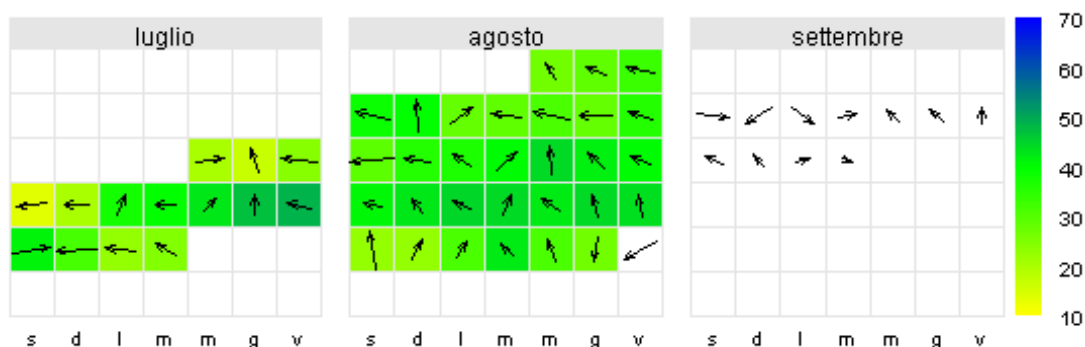
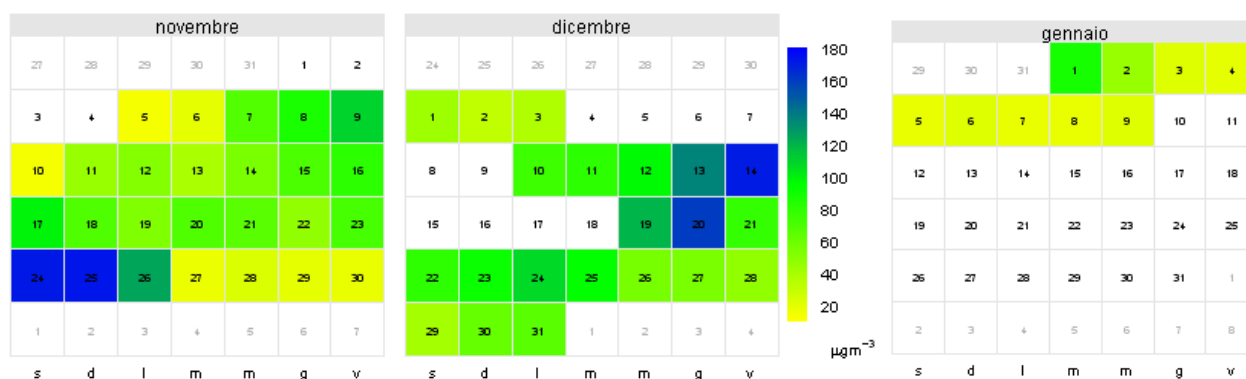


Figura 8: plot-calendario delle concentrazioni medie giornaliere di PM₁₀ rilevate durante la campagna di misura invernale in via Ca di Cozzi



6 Andamento inquinanti e confronto con le rilevazioni dei siti fissi

6.1 Biossido di azoto (NO₂)

Durante la campagna di monitoraggio non sono stati rilevati superamenti del limite orario pari a 200 µg/m³. Vi è da osservare come il valore medio di tale inquinante sia risultato superiore alle concentrazioni della stazione fissa di Cason e a quella di B.go Milano (Tabella 2) sia in periodo invernale che in periodo estivo.

In **Figura 9** sono riportati, secondo una scala colore, le concentrazioni medie giornaliere misurate durante la campagna estiva: come si può notare dal grafico la concentrazione media giornaliera non ha mai superato i 60 µg/m³.

Nel grafico di **Figura 10** è riportato l'andamento del giorno tipo estivo, nel grafico di **Figura 11** sono riportati i valori medi giornalieri di concentrazione e i valori massimi orari misurati durante la campagna estiva.

Nel grafico a calendario di **Figura 12** sono riportate le concentrazioni medie giornaliere: in particolare a dicembre molti giorni sono stati caratterizzati da concentrazioni superiori a 50 µg/m³.

In **Figura 13** è rappresentato il giorno tipo della campagna invernale e in **Figura 14** i valori medi giornalieri di concentrazione e i valori massimi orari misurati durante la campagna invernale.

Tabella 2: Media oraria, minimo e massima concentrazione oraria di NO₂ rilevata nelle campagne di monitoraggio effettuate a Verona in Ca di Cozzi e nello stesso periodo presso le stazioni fisse di Verona.

20/07/12-11/09/12	Via Ca di Cozzi	B.go Milano	Cason
media periodo	31	24	20
Mediana	27	20	17
Minimo	3	4	2
Massimo	106	84	102
Deviazione standard	18	13	13
percentuale dati validi	92	93	95

06/11/12-09/01/13	Via Ca di Cozzi	B.go Milano	Cason
media periodo	50	45	39
Mediana	49	42	38
Minimo	5	8	5
Massimo	144	113	131
Deviazione standard	20	16	17
percentuale dati validi	80	92	96

Figura 9: plot-calendario delle concentrazioni medie giornaliere di NO₂ e vettore vento medio giornaliero rilevati durante la campagna di misura estiva in via Ca di Cozzi



Figura 10: giorno tipo di NO₂ rilevata a Verona in via Ca di Cozzi durante la campagna di misura estiva

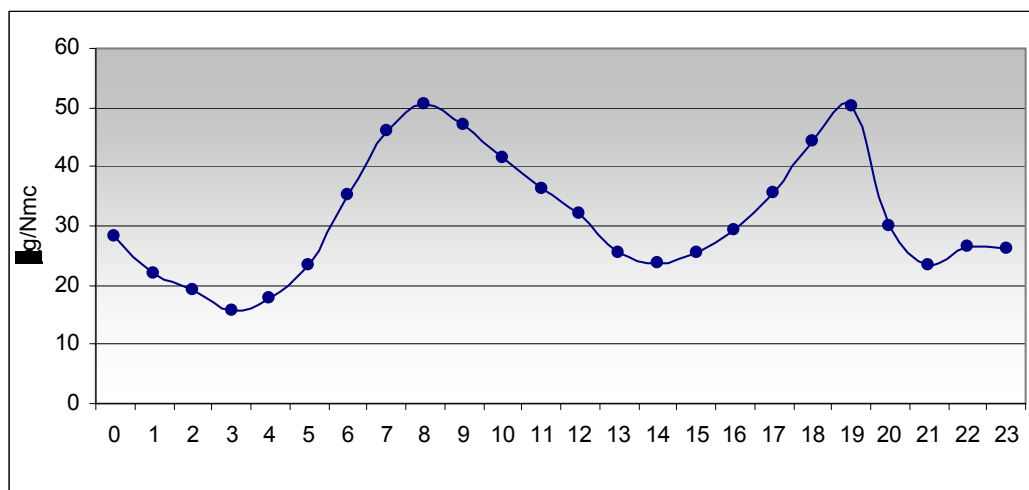


Figura 11: valori medi giornalieri e massimi orari, della concentrazione di NO₂ rilevata in via Ca di Cozzi durante la campagna di monitoraggio estiva

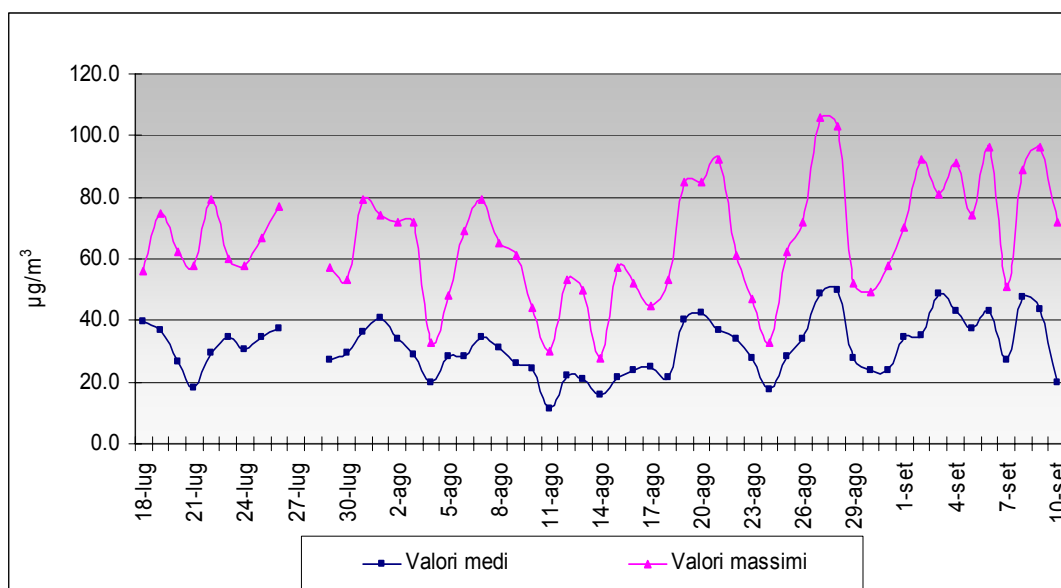


Figura 12: plot-calendario delle concentrazioni medie giornaliere di NO₂ rilevate durante la campagna di misura invernale in via Ca di Cozzi

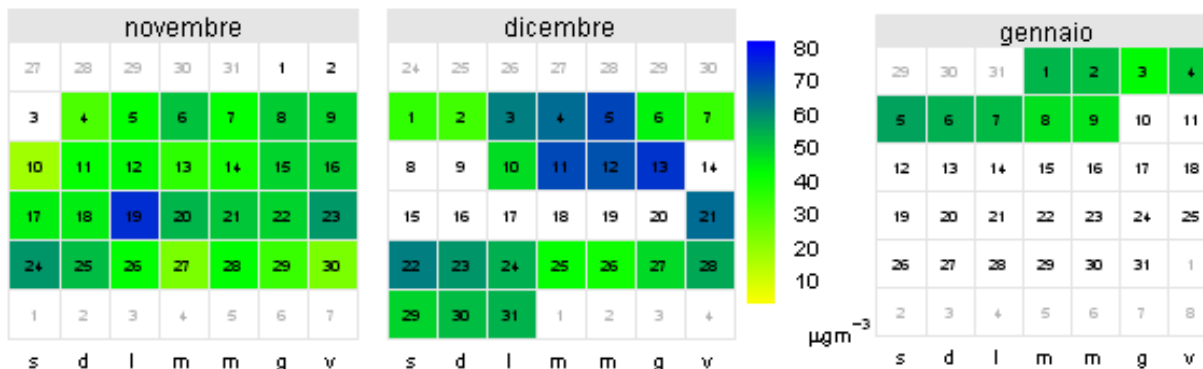


Figura 13: giorno tipo della concentrazione di NO₂ rilevata a Verona in via Ca di Cozzi durante la campagna di misura invernale

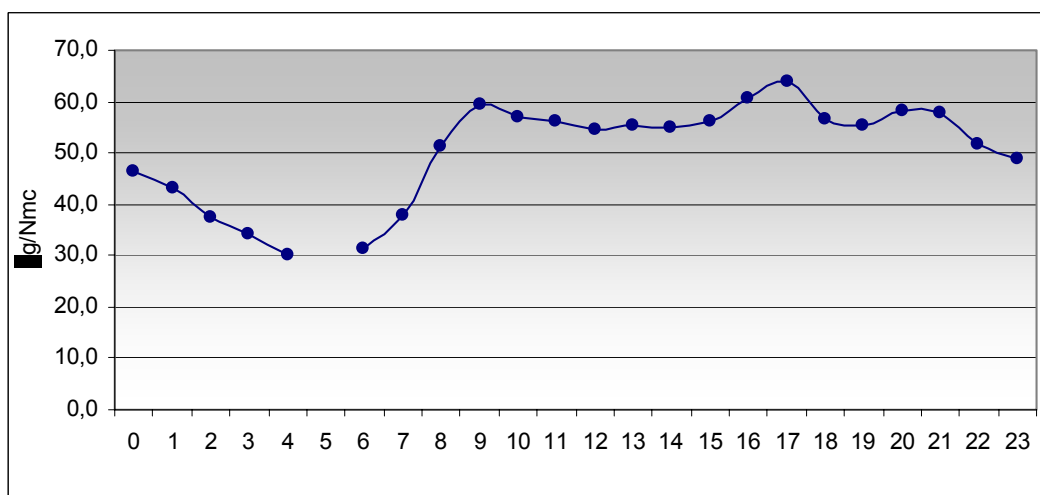
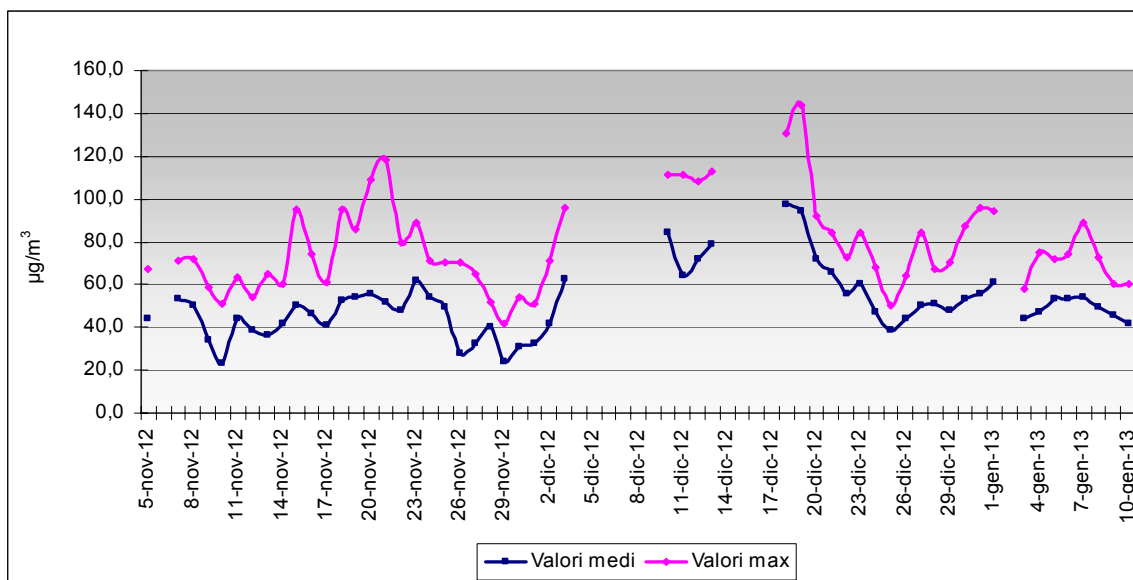


Figura 14: valori medi giornalieri e massimi orari della concentrazione di NO₂ rilevata in via Ca di Cozzi durante la campagna di monitoraggio invernale



6.2 Biossido di zolfo (SO₂)

In Tabella 3 sono riportati i valori medi, minimo e max orario misurati durante le campagne di misura in via Ca' di Cozzi e nello stesso periodo presso la stazione fissa di Verona Borgo Milano:

I valori medi misurati nella campagna di misura risultano superiori alla stazione di riferimento di B.go Milano pur risultando ampiamente inferiori ai limiti di legge.

Tabella 3: Media oraria, minimo e massima concentrazione oraria di SO₂ rilevata nelle campagne di monitoraggio effettuate a Verona in Via Ca di Cozzi e nello stesso periodo presso la stazione fissa di Verona.

periodo	Concentrazione SO ₂ (µg/m ³)	Via Ca di Cozzi	VR-B.go Milano
20/07/12 - 12/09/12	Media	4	2
	Minimo	2	2
	Max. orario	10	5

periodo	Concentrazione SO ₂ (µg/m ³)	Via Ca di Cozzi	VR-B.go Milano
05/11/12-10/01/13	Media	6	1.5
	Minimo	2	2
	Max. orario	15	5

6.3 Monossido di carbonio (CO)

I livelli di questo inquinante nell'aria ambiente sono fortemente legati alla presenza di flusso veicolare: nella campagna di misura non sono stati rilevati superamenti dei valori limite. Il valore massimo orario, rilevato durante la campagna, è stato pari a 0.4 mg/m³, inferiore al valore massimo di B.go Milano (Tabella 4).

Tabella 4: Media oraria, deviazione standard e massima concentrazione oraria di CO rilevata nella campagna di monitoraggio estiva effettuata in Via Ca di Cozzi e nello stesso periodo presso la stazione fissa di B.go Milano.

periodo	Concentrazione CO (mg/m ³)	Via Ca di Cozzi	VR-Corso Milano
20/07/12-12/09/12	Media	0.2	0.3
	Minimo	0.1	0.1
	Max. orario	0.8	0.6

periodo	Concentrazione CO (mg/m ³)	Via Ca di Cozzi	VR-Corso Milano
05/11/12-10/01/13	Media	1.9	0.8
	Minimo	1.6	0.2
	Max. orario	2.2	2.4

6.4 Ozono (O₃)

Il valore medio nella campagna di misura estiva è risultato pari a 72 µg/m³, il valore massimo orario è pari a 170 µg/m³, inferiore alla soglia d'informazione: il valore medio risulta allineato a quello della stazione fissa di Cason, mentre quello massimo risulta inferiore.

Tabella 5: Media oraria, deviazione standard e massima concentrazione oraria di O₃ (µg/m³) rilevata nella campagne di monitoraggio effettuata in Via Ca' di Cozzi e nello stesso periodo presso le stazioni fisse di Verona.

	20/07/12 - 12/09/12		06/11/12-09/01/13	
	Via Ca di Cozzi	Cason	Via Ca' di Cozzi	Cason
media periodo	72	74	8	11
Mediana	71	66	4	6
Minimo	5	6	2	3
Massimo	170	198	52	63
Deviazione standard	34	47	10	12
percentuale dati validi	98	99	80	95

Figura 15: plot-calendario delle concentrazioni medie giornaliere di O₃ rilevate durante la campagna di monitoraggio estiva



6.5 Idrocarburi policiclici aromatici (IPA)

Si riportano nella tabella sottostante oltre al Benzo(a)pirene anche le concentrazioni degli altri componenti IPA misurati nella campagna di misura in via Ca' di Cozzi ed analizzati nei laboratori ARPAV di Verona. Per confronto sono riportate le concentrazioni medie di IPA rilevate presso la stazione fissa di Cason nello stesso periodo.

Tabella 6: Concentrazione media dei vari componenti IPA (Idrocarburi Policiclici Aromatici) rilevata durante la campagna di misura invernale effettuata a Verona – confronto con i valori rilevati presso la stazione fissa di Verona Cason

21 luglio-23 agosto 2012	Verona via Ca' di Cozzi		Verona-Cason	
	<i>media $\mu\text{g}/\text{m}^3$</i>	<i>max $\mu\text{g}/\text{m}^3$</i>	<i>media $\mu\text{g}/\text{m}^3$</i>	<i>max $\mu\text{g}/\text{m}^3$</i>
Benzo(a)antracene	0.01	0.02	0.01	0.02
Benzo(a)pirene	0.01	0.03	0.02	0.03
Benzo(b)fluorantene	0.02	0.05	0.02	0.05
Benzo(ghi)perilene	0.02	0.04	0.02	0.04
Benzo(k)fluorantene	0.01	0.02	0.01	0.02
Crisene	0.02	0.05	0.04	0.05
Dibenzo(ah)antracene	0.01	0.01	0.01	0.01
Indeno(123-cd)pirene	0.01	0.02	0.01	0.02

9 novembre-22 dicembre 2012	Verona via Ca' di Cozzi		Verona-Cason	
	<i>media $\mu\text{g}/\text{m}^3$</i>	<i>max $\mu\text{g}/\text{m}^3$</i>	<i>media $\mu\text{g}/\text{m}^3$</i>	<i>max $\mu\text{g}/\text{m}^3$</i>
Benzo(a)antracene	0.68	1.90	1.27	3.08
Benzo(a)pirene	1.34	3.32	1.89	3.48
Benzo(b)fluorantene	1.38	3.43	1.99	4.20
Benzo(ghi)perilene	1.12	2.72	1.53	3.03
Benzo(k)fluorantene	0.61	1.55	0.90	1.85
Crisene	1.15	3.21	2.09	5.36
Dibenzo(ah)antracene	0.07	0.17	0.11	0.22
Indeno(123-cd)pirene	1.00	2.59	1.47	2.95

6.6 Metalli

I campioni di polveri sottili prelevati presso il sito di monitoraggio di Verona via Fincato sono stati analizzati per determinare la concentrazione di arsenico, nichel, cadmio e piombo. I risultati sono stati confrontati con le concentrazioni rilevate presso la stazione fissa di Verona-Cason negli stessi periodi: non vi sono differenze significative fra i valori determinati nel sito di monitoraggio e quelli della stazione fissa di Verona-Cason.

Tabella 7: Campagna di misura via Fincato Confronto tra le concentrazioni medie del periodo e le massime giornaliere dei metalli e metalloidi rilevate durante le campagne a Verona via Fincato e presso la centralina fissa di riferimento di Verona – Cason

Dal 24 agosto al 3 settembre 2012	Verona via Ca' di Cozzi		Verona - Cason	
	Conc. media (ng/m ³)	Conc. max (ng/m ³)	Conc. media (ng/m ³)	Conc. max (ng/m ³)
Arsenico	0.5	0.5	0.6	1.0
Cadmio	0.1	0.1	0.1	0.1
Nichel	2.9	4.7	3.6	3.8
piombo	4.0	4.4	5.2	6.4

Dal 23 dicembre 2012 al 2 gennaio 2013	Verona via Ca' di Cozzi		Verona - Cason	
	Conc. media (ng/m ³)	Conc. max (ng/m ³)	Conc. media (ng/m ³)	Conc. max (ng/m ³)
Arsenico	0.6	1.1	0.5	0.5
Cadmio	0.3	0.5	0.4	1.0
Nichel	2.8	4.1	2.4	2.9
piombo	12.6	30.3	10.3	12.3

7 Conclusioni

L'esecuzione delle campagne di monitoraggio in periodo estivo ed invernale, per un adeguato periodo di tempo, consente di considerare i dati acquisiti rappresentativi della qualità dell'aria della zona e di estrapolare il risultato su base annuale.

Il sito di rilevamento è stato classificato come traffico – urbano: i dati di qualità dell'aria sono quindi fortemente caratterizzati dai flussi di traffico su una delle principali direttrici di accesso alla città.

Il Coordinamento Mobilità e Traffico del Comune di Verona ha fornito i dati di traffico per le settimane dal 6 al 12 agosto e dal 6 al 13 settembre, rilevati presso il nodo semaforico di via Mameli/via Quinzano (immagine di Figura 16).

Il flusso di traffico in agosto nei giorni feriali è pari a circa 46.000 veicoli/giorno, e scende a circa 34000 veicoli/giorno nei giorni festivi. A settembre, sia nei giorni feriali che nei giorni festivi, si ha un aumento di circa il 20% rispetto ad agosto.

La concentrazione di NO₂ è ben correlata con l'andamento del flusso di traffico come si può notare dai grafici di Figura 17 in cui è riportato l'andamento della settimana tipo del traffico e della concentrazione di NO₂: sia ad agosto che a settembre si nota una diminuzione della concentrazione di NO₂ al sabato e alla domenica, corrispondente ad una diminuzione dei flussi di traffico.

In Figura 18 sono riportati gli andamenti del giorno tipo del traffico e dell'NO₂ per i due periodi di riferimento, le settimane dal 6 al 12 agosto e dal 6 al 13 settembre. Si noti la differenza fra le concentrazioni di NO₂ in agosto e in settembre, strettamente legata alla diminuzione del traffico veicolare.

Il massimo di NO₂ si ha al mattino e alla sera nei due momenti in cui anche il traffico veicolare è più elevato. I valori delle prime ore del mattino, dopo l'alba vengono influenzati anche dall'andamento del PBL, alla sera i

valori del massimo sono mediamente più bassi anche a causa dei fenomeni convettivi dell'atmosfera che favoriscono la dispersione.

Figura 16: posizione del nodo semaforico di via Mameli-via Quinzano, in verde. La posizione del laboratorio mobile è segnata in rosso

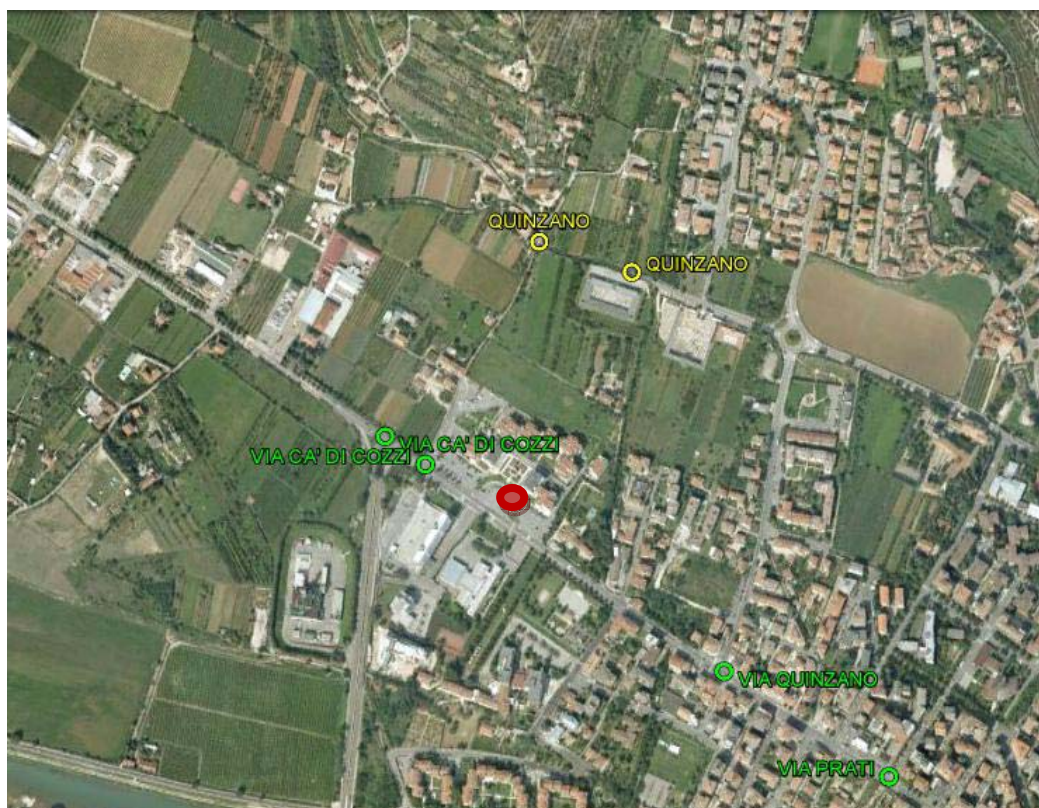
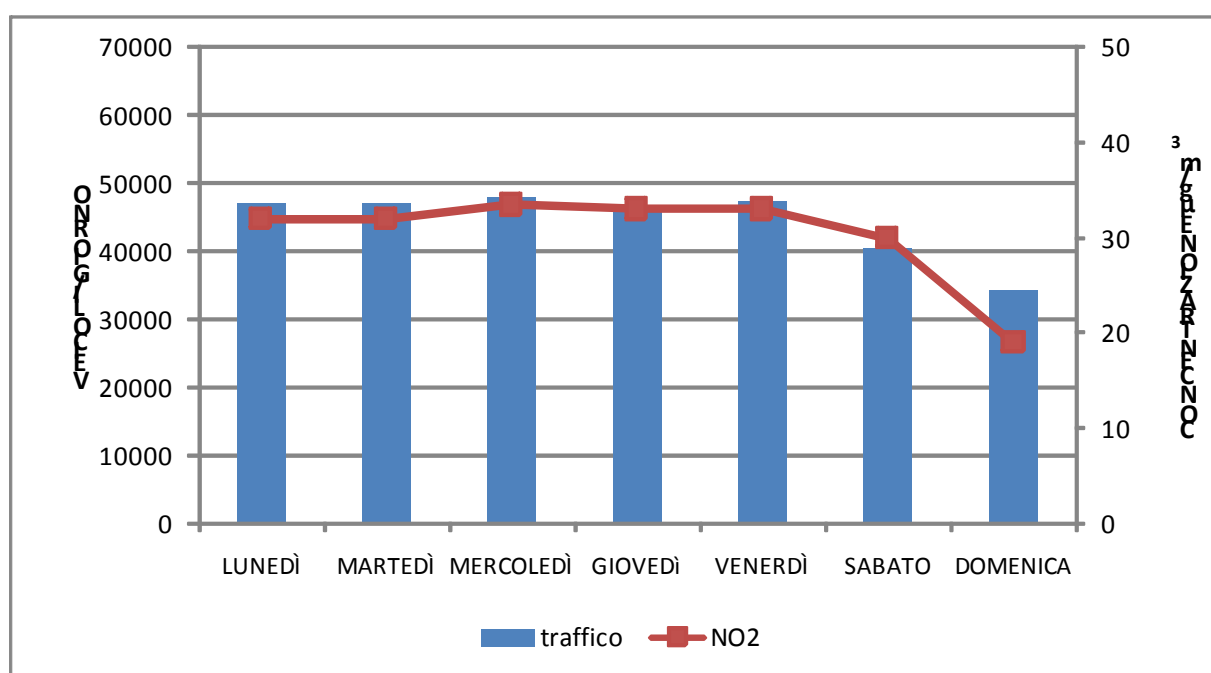


Figura 17: andamento della settimana tipo del traffico e della concentrazione di NO₂ in agosto (sopra) ed in settembre (sotto)



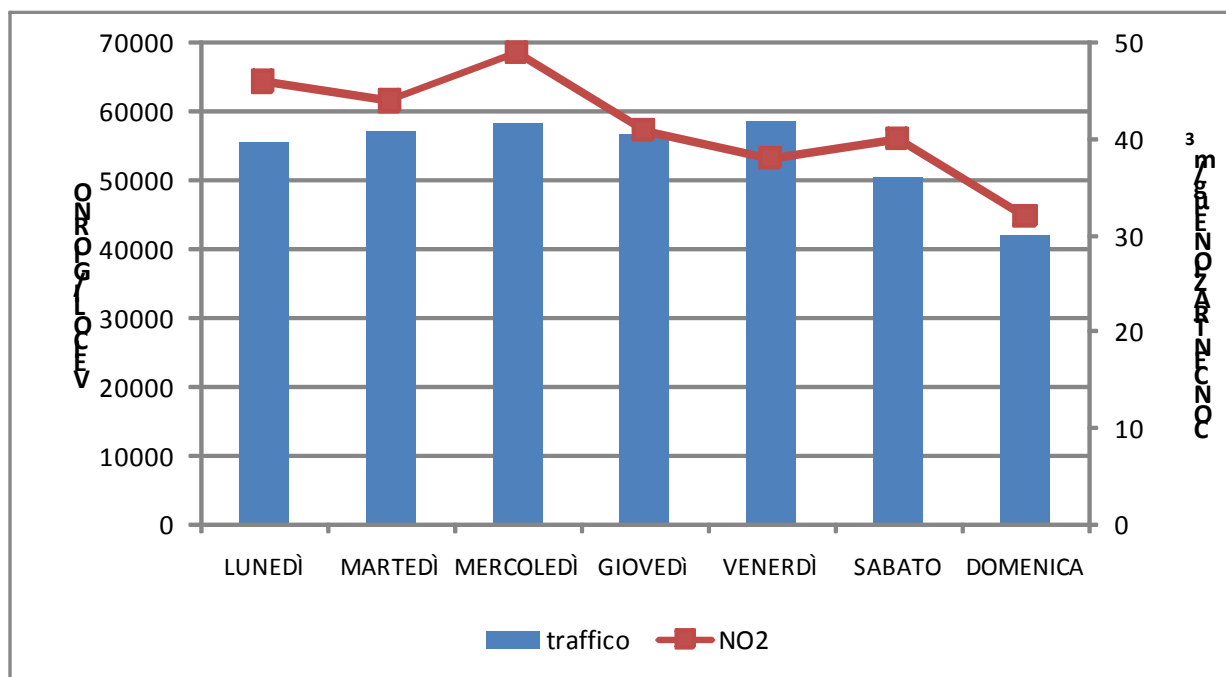
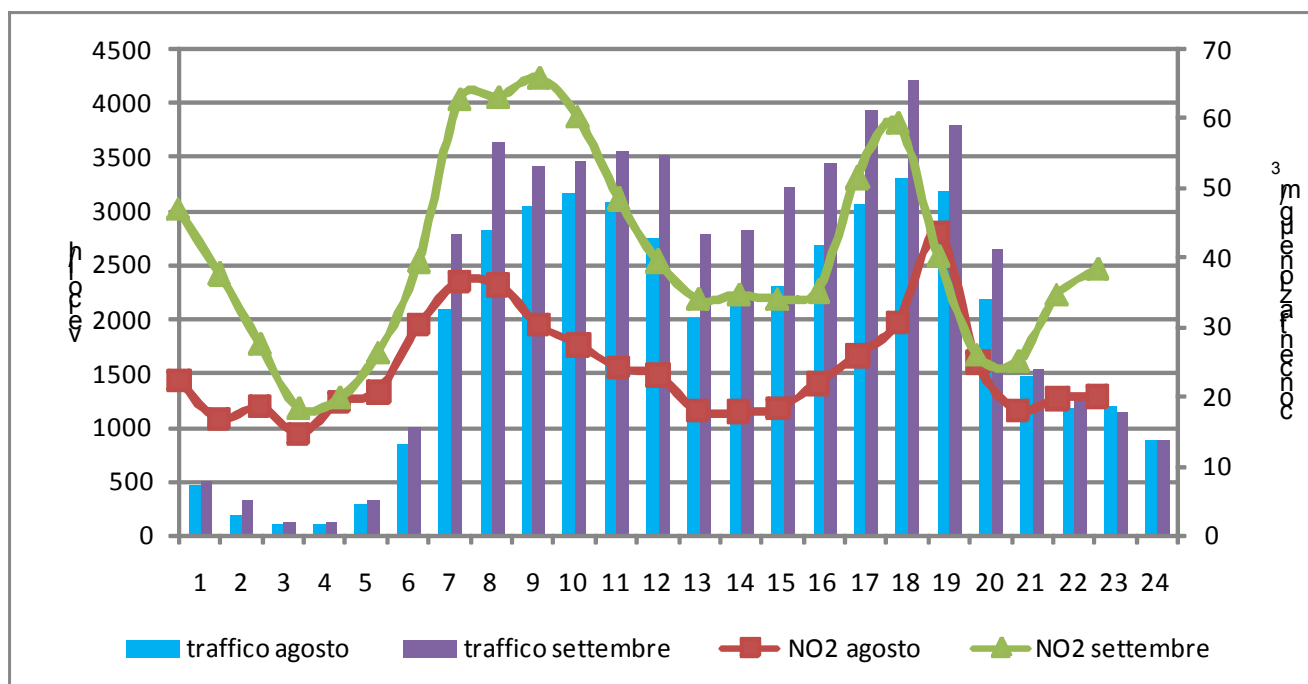


Figura 18: andamento del traffico e della concentrazione di NO₂ nei periodi 6 – 12 agosto e 6 – 13 settembre,



8 Concentrazioni medie giornaliere dei principali inquinanti.

Tabella 8– Concentrazioni giornaliere di biossido di azoto, monossido di carbonio e ozono in via Ca di Cozzi

parametro	Monossido di carbonio	Biossido di azoto	Ozono
unità di misura	mg/m ³	µg/m ³	µg/m ³
20/07/2012		37	
21/07/2012	0.2	27	42
22/07/2012	0	18	36
23/07/2012	0.1	30	43
24/07/2012	0.2	35	41
25/07/2012	0.3	31	57
26/07/2012	0.3	35	73
27/07/2012	0.3	38	100
28/07/2012	0.3		98
29/07/2012	0.1		86
30/07/2012	0.1		89
31/07/2012	0.2	30	82
01/08/2012	0.2	37	75
02/08/2012	0.2	41	74
03/08/2012	0.2	34	99
04/08/2012	0.3	29	100
05/08/2012	0.3	20	98
06/08/2012	0.3	28	69
07/08/2012	0.2	28	67
08/08/2012	0.3	35	78
09/08/2012	0.3	31	86
10/08/2012	0.2	26	73
11/08/2012	0.3	24	81
12/08/2012	0.2	11	86
13/08/2012	0.3	22	83
14/08/2012	0.3	21	89
15/08/2012	0.2	16	89
16/08/2012	0.3	22	85
17/08/2012	0.3	24	85
18/08/2012	0.3	25	100
19/08/2012	0.2	22	103
20/08/2012			
21/08/2012			
22/08/2012	0.3	40	98
23/08/2012	0.3	39	93
24/08/2012	0.2	34	87
25/08/2012	0.3	28	80
26/08/2012	0.2	18	64
27/08/2012	0.1	28	61
28/08/2012	0.1	33	69
29/08/2012	0.3	48	76
30/08/2012	0.3	50	74
31/08/2012	0.2	27	46
01/09/2012	0.1	25	42
02/09/2012	0.2	23	46

parametro	Monossido di carbonio	Biossido di azoto	Ozono
unità di misura	mg/m ³	µg/m ³	µg/m ³
03/09/2012	0.2	35	41
04/09/2012	0.2	36	51
05/09/2012	0.4	49	29
06/09/2012	0.2	41	62
07/09/2012	0.3	38	62
08/09/2012	0.2	40	66
09/09/2012	0.1	32	62
10/09/2012	0.2	46	54
11/09/2012	0.2	44	69
12/09/2012	0.2	37	46

parametro	Monossido di carbonio	Biossido di azoto	Biossido di zolfo
unità di misura	mg/m ³	µg/m ³	µg/m ³
05/11/2012	0.9	32	5
06/11/2012			
08/11/2012			
09/11/2012	1.3	50	7
10/11/2012	1.1	32	6
11/11/2012	1	25	4
12/11/2012	1.4	44	7
13/11/2012	1.3	38	6
14/11/2012	1.1	36	6
15/11/2012	1.1	43	7
16/11/2012	1.2	51	8
17/11/2012	1.2	46	8
18/11/2012	1.1	40	7
19/11/2012			
20/11/2012			
21/11/2012	1.4	56	8
22/11/2012	1.4	52	9
23/11/2012	1.4	49	6
24/11/2012	1.7	61	6
25/11/2012	1.7	53	5
26/11/2012	1.7	49	6
27/11/2012	1.2	27	3
28/11/2012	1	33	2
29/11/2012	1.1	40	2
30/11/2012	1	23	2
01/12/2012	1.1	32	3
02/12/2012	1.1	33	3
03/12/2012	1	43	3
04/12/2012	1.3	62	5
05/12/2012	1.5	72	7
06/12/2012			
11/12/2012			
12/12/2012	1.4	65	6
13/12/2012	1.6	71	8

parametro	Monossido di carbonio	Biossido di azoto	Biossido di zolfo
unità di misura	mg/m ³	µg/m ³	µg/m ³
19/12/2012			
20/12/2012	2.5	94	11
21/12/2012	1.9	71	8
22/12/2012	1.8	66	7
23/12/2012	2	55	8
24/12/2012	2.2	60	9
25/12/2012	2.1	47	9
26/12/2012	1.8	38	6
27/12/2012	1.5	45	6
28/12/2012	1.5	50	6
29/12/2012	1.5	52	6
30/12/2012	1.5	48	6
31/12/2012	1.6	53	7
01/01/2013	1.8	58	7
02/01/2013	1.7	50	7
03/01/2013	1.5	44	6
04/01/2013	1.7	48	7
05/01/2013	1.9	53	8
06/01/2013	2	53	8
07/01/2013	2.2	54	9
08/01/2013	2.1	49	7
09/01/2013	1.9	45	3

9 Riferimenti normativi.

Si fa riferimento al D.Lgs. 155/2010, che recepisce la Direttiva della Comunità Europea n. 50 del 2008.

Nelle tabelle seguenti viene riportata la normativa relativa all'esposizione acuta, all'esposizione cronica e per la protezione degli ecosistemi.

Tabella 1: soglie di informazione e di allarme.

Inquinante	Tipologia	Valore
SO ₂	Soglia di allarme	500 µg/m ³
NO ₂	Soglia di allarme	400 µg/m ³
O ₃	Soglia di informazione Media 1 h	180 µg/m ³
O ₃	Soglia di allarme Media 1 h	240 µg/m ³

Tabella 2: valori limite

Inquinante	Tipologia	Valore
SO ₂	Limite orario da non superare più di 24 volte per anno civile	350 µg/m ³
SO ₂	Limite di 24 h da non superare più di 3 volte per anno civile	125 µg/m ³
NO ₂	Da non superare più di 18 volte per anno civile	200 µg/m ³
NO ₂	Anno civile	40 µg/m ³
CO	Media massima giornaliera calcolata su 8 ore.	10 mg/m ³
PM ₁₀	Valore limite annuale - Anno civile	40 µg/m ³
PM ₁₀	Da non superare più di 35 volte per anno civile	50 µg/m ³

Tabella 3: Livelli critici.

Inquinante	Tipologia	Valore
SO ₂	Livello critico invernale (01/10 – 31/03)	20 µg/m ³
SO ₂	Livello critico annuale	20 µg/m ³
NO ₂	Livello critico annuale	30 µg/m ³
NO ₂	Livello critico annuale	30 µg/m ³

Tabella 4: valori obiettivo.

Inquinante	Tipologia	Valore
O ₃	Valore obiettivo per la protezione della salute umana. Media massima giornaliera calcolata su 8 ore. Da non superare più di 25 volte per anno civile come media su tre anni.	120 µg/m ³
O ₃	Valore obiettivo per la protezione della vegetazione. AOT40 su medie di 1 h da maggio a luglio. Da calcolare come media su 5 anni (altrimenti su tre anni)	18000 µg/m ³ h
O ₃	Obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana. Media massima giornaliera calcolata su 8 ore nell'arco di un anno civile.	120 µg/m ³
O ₃	Obiettivo a lungo termine per la protezione della vegetazione. AOT40 su medie di 1 h da maggio a luglio.	6000 µg/m ³ h
Arsenico	Media su anno civile – tenore sulla frazione PM10 del particolato	6,0 ng/m ³
Cadmio	Media su anno civile – tenore sulla frazione PM10 del particolato	5,0 ng/m ³
Nichel	Media su anno civile – tenore sulla frazione PM10 del particolato	20,0 ng/m ³
Benzo(a)pirene	Media su anno civile – tenore sulla frazione PM10 del particolato	1,0 ng/m ³