



ARPAT

Agenzia regionale
per la protezione ambientale
della Toscana

PROVINCIA DI SIENA

**CAMPAGNA DI MISURAZIONE DELLA
QUALITÀ DELL'ARIA
LABORATORIO MOBILE
ANNO 2014**

**VIA BORGACCIO
COMUNE DI POGGIBONSI**

**Area Vasta Toscana Costa –
Settore “Centro Regionale per la Tutela della Qualità
dell’Aria”**

**REGIONE
TOSCANA**





PROVINCIA DI SIENA

Campagna di Misurazione della qualità dell'aria. Laboratorio mobile.
Anno 2014

VIA BORGACCIO
COMUNE DI POGGIBONSI

A cura di :
Bianca Patrizia Andreini
Centro Regionale per la Tutela della Qualità dell'Aria

Autori:
David Magliacani
Guglielmo Tanganelli
Centro Regionale per la Tutela della Qualità dell'Aria

Ringraziamenti

Si ringraziano:

- Dipartimento di Siena per il supporto logistico;
- Settore Laboratorio – Area Vasta Sud per la determinazione gravimetrica del materiale particolato (PM10 e PM2,5).

31 MAGGIO 2015

SINTESI

La presente campagna di misurazione della qualità dell'aria di Via Borgaccio, è stata realizzata in attuazione del piano di utilizzo dell'autolaboratorio per l'anno 2014, programmato dall'Amministrazione Provinciale di Siena, Comune di Poggibonsi e Dipartimento ARPAT di Siena.

Il contesto messo in rilievo dalla campagna di misurazione è caratterizzato dalla conformità ai valori limite fissati a tutela della salute umana: in particolare, alcuni inquinanti quali il benzene ed il biossido di zolfo, registrano valori largamente inferiori al 50 % del relativo valore limite. Materiale particolato PM10 e PM2,5, si collocano su valori inferiori al valore limite mediamente del 55 %. Il biossido di azoto registra un valore medio annuale poco inferiore al relativo valore limite (-15 %).

Il raffronto con i valori degli indicatori elaborati nelle precedenti campagne di rilevamento indicative effettuate nel territorio comunale mediante mezzo mobile dall'anno 2010 all'anno 2013 (postazioni di misurazione di Via Gramsci, Via Colombaio e Via Monte Cervino), mette in evidenza, sotto il profilo temporale, una riduzione (-64 % scarto medio di tutti gli indicatori) dei valori degli indicatori rispetto all'anno 2010 (postazione di Via Gramsci), sotto il profilo spaziale invece, si rileva una sostanziale continuità dei livelli medi di concentrazione, in particolare per il biossido di azoto, per le postazioni di misurazione i cui livelli di inquinamento sono maggiormente influenzati dal traffico autoveicolare (Via Colombaio e Borgaccio).

Rispetto alla stazione di misurazione fissa di rete regionale di Poggibonsi - Via de Amicis (urbana-fondo), la valutazione dei dati puntuali (orari e giornalieri) e degli indicatori di qualità dell'aria (registrati nello stesso periodo di osservazione della presente campagna di misurazione indicativa), evidenzia, da una parte, livelli di concentrazione equivalenti di materiale particolato PM2,5, e dall'altra livelli più elevati di biossido di azoto (Borgaccio, valore medio annuale +113 %); il materiale particolato PM10 si colloca su una posizione intermedia poiché presenta un valore medio poco superiore alla stazione fissa di Via de Amicis (Borgaccio, valore medio annuale +13 %).

La valutazione dei valori medi di biossido di azoto e materiale particolato relativa alla serie di misurazioni effettuate su scala comunale mette in evidenza, da un lato, variazioni spaziali significative di biossido di azoto fra le postazioni di traffico e quelle di fondo (traffico +107 %) e dall'altro, un contesto sostanzialmente omogeneo per il materiale particolato, contraddistinto, da variazioni poco significative per il PM10 e da invarianza per il PM2,5.

Il biossido di azoto rappresenta l'inquinante più significativo per la postazione esaminata.

Sommario

Introduzione.....	5
1- Postazione di misurazione	5
2. Piano di utilizzo dell'autolaboratorio	7
3. Inquinanti monitorati	8
4. Riferimenti Normativi.....	9
5. Obiettivo di qualità dei dati	9
Raccolta minima dei dati.....	9
Periodo minimo di copertura	10
6. Dati rilevati nella campagna di misurazione.....	10
6.1 Confronto con i valori limite definiti dalla normativa.....	11
6.2 Confronto con i valori degli indicatori relativi alle precedenti campagne di misurazione indicative nel territorio comunale	13
6.3 Confronto con i livelli rilevati dalla stazione di misurazione di Via De Amicis.....	14
6.4 Materiale particolato PM2,5.....	15
7- Valutazione dei risultati.....	15
Raffronto con i livelli registrati dalla stazione di misurazione fissa di Via De Amicis - Poggibonsi.....	16
Andamenti temporali.....	16
Giorno tipo.....	17
Distribuzione dei livelli di concentrazione grafici box-plot.....	17
Distribuzione in classi di concentrazione.....	17
8 - Considerazioni riassuntive e finali	18
Allegato 1. Elaborazioni integrative.....	19
1.1 Distribuzione dei livelli di concentrazione – grafici box plot.....	19
1.2 Giorni tipo	23
1.3 Confronto con gli andamenti registrati dalla stazione fissa di Via De Amicis	24
Biossido di azoto NO ₂ – valori medi orari	24
Materiale particolato – valori medi giornalieri.....	24
1.4 Grafici a dispersione Borgaccio, Via De Amicis.....	25
Materiale Particolato PM10.....	25
Materiale Particolato PM2,5.....	26
Biossido di azoto – NO ₂	26
1.5 Distribuzione in classi	27
Allegato 2 elaborazione dei dati meteorologici	33
Allegato 3. Caratteristiche tecniche analizzatori/sensori.....	34
Allegato 4. Meccanismi di formazione degli inquinanti	34
Allegato 5. Limiti normativi	38

Introduzione

La presente campagna di misurazione di Via Borgaccio nel Comune di Poggibonsi, è stata realizzata in attuazione del piano di utilizzo dell'autolaboratorio per il periodo 2013-2014 programmato dall'Amministrazione Provinciale di Siena, Comune di Poggibonsi e Dipartimento ARPAT di Siena.

Il territorio del Comune di Poggibonsi, è stato monitorato in precedenza, anche mediante campagne di misurazione indicative, effettuate con il mezzo mobile presso le postazioni di Via Gramsci (periodo di osservazione 15 marzo – 06 dicembre 2010), Via Colombaio (periodo di osservazione 13 luglio 2011 – 01 marzo 2012) ed in Via Monte Cervino (periodo di osservazione 16 luglio 2012 – 07 aprile 2013). Per quanto attiene le stazioni di misurazione fisse, è in esercizio nel Comune di Poggibonsi la stazione di misurazione di rete regionale di Via Edmondo de Amicis, che in relazione alla zona di ubicazione ed alle relative fonti di emissione prevalenti, è classificata Urbana – Fondo.

Il processo di monitoraggio della qualità dell'aria è inserito nel sistema di gestione per la qualità di ARPAT mediante il documento di processo DP SGQ.099.016 "Monitoraggio della qualità dell'aria mediante reti di rilevamento".

Il sistema di gestione per la qualità di ARPAT è certificato dal CERMET (registrazione n° 3198-A) secondo le UNI EN ISO 9001:2008.

La valutazione dei dati raccolti nella presente campagna di misurazione è stata effettuata adottando una doppia chiave di lettura, ossia riferendosi:

- ai valori limite definiti dalla legislazione nazionale che disciplina la qualità dell'aria;
- ai valori degli indicatori di qualità dell'aria elaborati nello stesso periodo di osservazione dalla stazione di misurazione fissa di rete regionale di Poggibonsi Via de Amicis (stazione classificata urbana - fondo).

Questa metodologia di confronto permette di fornire informazioni con buona approssimazione sullo stato della qualità dell'aria della zona oggetto del rilevamento, giacché il contesto definito dal quadro di dati raccolti, viene messo a confronto con quello relativo alla stazione fissa di Via de Amicis, riferita ad una serie di misure più solide perché continuative nell'arco dell'anno.

1- Postazione di misurazione

L'autolaboratorio è stato posizionato in Via Borgaccio in area di parcheggio condominiale; il contesto urbano è di tipo residenziale, il traffico risulta sostenuto e la strada riceve anche i veicoli in uscita al raccordo autostradale Siena-Firenze (direzione est, distanza 70 metri dalla postazione di misurazione); la circolazione stradale è a senso unico.

Tabella 1.1 informazioni generali postazione di misurazione

Nome Postazione	Poggibonsi – Via Borgaccio
Coordinate Geografiche (gradi, minuti, secondi)	LONG E 11°, 09', 06.89 " LAT N 43°, 28', 22.56"
Quota (metri s.l.m.)	101
Altezza punto di campionamento (mt)	2,5
Tipologia della postazione di misurazione	urbana-traffico
Periodo Osservazione	30 gennaio – 12 ottobre 2014
Zona di riferimento fissata dalla legislazione regionale (DGRT 1025/2010)	Collinare e Montana

Mappa 1.1 – caratterizzazione geografica comunale



Mappa 1.2 – caratterizzazione geografica della postazione di misurazione



2. Piano di utilizzo dell'autolaboratorio

Al fine di ottenere dati rappresentativi che considerino le variazioni temporali in funzione delle condizioni meteorologiche, responsabili dei fenomeni di dispersione e di diluizione degli inquinanti, l'indagine è stata articolata in singole campagne stagionali dalla durata indicativa di circa 20 giorni, distribuite nelle quattro stagioni meteorologiche dell'anno. Tale pianificazione permette di ottenere un insieme minimo di dati, ma rappresentativo per essere confrontato con i valori limite degli indicatori di qualità dell'aria definiti dalla normativa, i quali si riferiscono ad un periodo di osservazione annuale continuativo.

Il piano di utilizzo dell'autolaboratorio, predisposto in accordo al documento di processo di ARPAT DP SGQ.99.016 "monitoraggio della qualità dell'aria mediante reti di rilevamento" è stato organizzato in conformità agli obiettivi di qualità dei dati definiti per le misure indicative, i quali prevedono un periodo minimo di copertura di almeno il 14 % (articolato su almeno 8 settimane di misurazioni distribuite equamente nell'arco dell'anno) ed una raccolta minima dei dati pari almeno al 90 %.

La legislazione che definisce le linee di indirizzo riguardanti le campagne di monitoraggio mediante mezzi mobili è la seguente:

- allegato I paragrafo 1, tabella 1 D.Lgs. n. 155/2010 e smi;
- punto 4 Deliberazione Giunta Regione Toscana N° 450/2009
- allegato I della Direttiva 2008/50/CE del Parlamento europeo e del Consiglio.

Relativamente alla postazione di Poggibonsi Via Borgaccio sono stati effettuati complessivamente 79 giorni di misurazione distribuiti nell'arco di un anno.

La tabella 2.1 mostra i periodi di osservazione della campagna di misurazione effettuata nella postazione di Borgaccio nell'intervallo temporale 30 gennaio - 12 ottobre 2014:

tabella 2.1 piano di utilizzo autolaboratorio postazione Poggibonsi - Borgaccio

Stagione	Periodo	numero giorni
Inverno	30/1 - 16/2/2014	18
Primavera	2 - 17/4/2014	16
Estate	19/6 - 13/7/2014	25
Autunno	23/9 - 12/10/2014	20
TOTALE		79

Il programma di campionamento del materiale particolato PM10 e PM2,5 e pertanto anche il relativo piano di campionamento, caratterizzato dalla sola attività di campionamento manuale, ha seguito una programmazione leggermente diversa da quella mostrata nella tabella sovrastante (che riguarda in maniera sostanziale la strumentazione automatica).

In dettaglio, per il materiale particolato, sono stati effettuati 61 giorni di campionamento nel periodo di osservazione 31 gennaio - 8 ottobre 2014.

3. Inquinanti monitorati

In relazione alle disposizioni della normativa che disciplina la qualità dell'aria ambiente (D.Lgs. 155/2010 e smi), sono stati monitorati i seguenti inquinanti:

- **ossidi di azoto (NO-NO_x-NO₂)** – EN 14211:2012 "Qualità dell'aria ambiente. Metodo normalizzato per la misurazione della concentrazione di diossido di azoto e monossido di azoto mediante chemiluminescenza;
- **materiale particolato con diametro aerodinamico inferiore a 10 µm (PM₁₀) ed a 2,5 µm (PM_{2,5})** - EN 12341:2014 Determinazione del particolato in sospensione PM₁₀ – Metodo di riferimento e UNI EN 14907:2005 Metodo normalizzato di misurazione gravimetrico per la determinazione della frazione massica PM_{2,5} del particolato in sospensione;
- **biossido di zolfo (SO₂)** - EN 14212:2012 "Qualità dell'aria ambiente. Metodo normalizzato per la misurazione della concentrazione di diossido di zolfo mediante fluorescenza ultravioletta;
- **idrocarburi aromatici - benzene (C₆H₆), toluene (C₇H₈), etilbenzene (C₈H₁₀) orto-meta xilene e para xilene** - UNI EN 14662:2012 - parte 3 "Qualità dell'aria ambiente. Metodo normalizzato per la misurazione della concentrazione di benzene. Campionamento per pompaggio automatizzato con gascromatografia in situ.

ed i parametri meteorologici di temperatura ed umidità dell'aria.

La scheda nell'allegato 4 alla presente relazione, riporta i meccanismi di formazione nonché il significato degli inquinanti misurati nella presente campagna di misurazione.

Per il **campionamento** del materiale particolato PM₁₀-PM_{2,5} è stato utilizzato lo strumento automatico bicanale SWAM Mod. D.C. 5a, n. serie 292, prodotto dalla ditta FAI, Italia impostato nella sola modalità di campionamento, mezzo di filtrazione rappresentato da membrane in fibra di vetro. Lo strumento non effettua il riscaldamento della linea di prelievo e del filtro di campionamento, i quali sono mantenuti alla temperatura ambiente.

Sono stati impiegati i dispositivi di separazione granulometrica PM₁₀ (FAI) e PM_{2,5} (Zambelli) conformi alle specifiche previste delle norme tecniche europee UNI EN 12341 e UNI EN 14907. La determinazione gravimetrica della massa campionata del particolato in sospensione nel mezzo di filtrazione, è stata effettuata in laboratorio mediante operazioni di condizionamento e pesatura effettuate, sia precedentemente, che successivamente al campionamento, secondo le specifiche prescrizioni previste delle norme tecniche europee UNI EN 12341 e UNI EN 14907 (72 ore a T = 20 °C e U.R. = 50%).

Il monitoraggio del benzene è stato effettuato mediante lo strumento automatico CHROMATOTEC Mod. AIRTOXIC basato sulla tecnica analitica della gascromatografia e rivelatore PID.

Le caratteristiche tecniche della strumentazione automatica di cui è dotato l'autolaboratorio sono indicate nell'allegato 3.

4. Riferimenti Normativi

La valutazione dei valori degli indicatori elaborati a partire dai dati raccolti dalla presente campagna di misurazione, è stata effettuata riferendosi ai valori limite fissati dal D.Lgs. n° 155/2010 e smi. Tale norma recepisce la Direttiva della Comunità Europea 2008/50/CE del 21/05/2008.

Relativamente al PM10, come stabilito dall'allegato I paragrafo 1, tabella 1 D.Lgs. n. 155/2010, al fine di verificare la conformità dell'indicatore della media giornaliera, è stato valutato il 90,4° percentile anziché il numero di superamenti; questo perché i superamenti sono fortemente influenzati dalla copertura temporale dei dati, che nelle misure indicative (come ad esempio la presente campagna di misurazione mediante mezzo mobile), non è effettuata in maniera continuativa per tutto l'anno civile.

Lo schema dei limiti previsti dalla normativa per ciascun inquinante è riportata nell'allegato 5.

5. Obiettivo di qualità dei dati

Raccolta minima dei dati

La tabella 5.1 presenta la raccolta minima dei dati per singolo analizzatore relativa al periodo di osservazione dell'intera campagna di misurazione (79 giorni).

La normativa che disciplina la qualità dell'aria (allegato I del D.Lgs. 155/2010) ed il documento "criteri di validazione ed elaborazione degli indicatori relativi agli inquinanti in aria ambiente" previsto dal Documento di Processo di ARPAT riguardante il monitoraggio della qualità dell'aria, richiede, al fine della significatività del dato prodotto da reti di misurazione fisse, una raccolta minima dei dati (che rappresenta l'efficienza dell'analizzatore) su base annuale non inferiore al 90 %.

Questo indice è elaborato per singolo analizzatore al netto delle attività di manutenzione ordinaria e di taratura periodica. Tale valore di riferimento è richiesto anche per le misure indicative a cui si riferiscono le misurazioni ottenute nella presente campagna.

La raccolta minima dei dati è calcolata come percentuale di dati generati e validati rispetto al totale teorico (per es. 24 dati orari per ogni giorno di monitoraggio, che nella presente campagna comportano 1.896 dati orari teorici). Una parte dei dati è inevitabilmente perduta per le attività di verifica automatica giornaliera di zero e span, per le tarature periodiche e per le operazioni di manutenzione ordinaria; la perdita dei dati dovuta alle sopracitate attività è stimabile in misura del 5 % sulla base dei dati validi raccolti.

tabella 5.1 raccolta minima dei dati % al netto delle attività di manutenzione e taratura

Postazione	NO ₂	PM10	PM2,5	C ₆ H ₆	SO ₂	TEMP	UMR
Poggibonsi Borgaccio	100	100	100	98	100	100	
Riferimento	≥ 90						

NO₂ = biossido di azoto PM10 - PM2,5 = materiale particolato PM10 - PM2,5
SO₂ = biossido di zolfo C₆H₆ = benzene TEMP = temperatura dell'aria
UMR = umidità dell'aria

Considerato che il valore di riferimento della raccolta minima dei dati per singolo analizzatore ($\geq 90\%$) si riferisce alle reti caratterizzate da stazioni di misurazione fisse, i singoli rendimenti forniti dalla strumentazione automatica della presente campagna di monitoraggio sono complessivamente da ritenersi buoni (rendimento totale medio della campagna 100 %) tenuto presente che trattasi di un'indagine articolata in singole campagne stagionali nel quale lo spegnimento, lo spostamento ed il riavvio della strumentazione rappresentano elementi di criticità per la componente elettronica della strumentazione. La raccolta minima dei dati elaborata per ogni analizzatore risulta, conforme ai criteri stabiliti dal D.Lgs. 155/2010 e smi.

Periodo minimo di copertura

Il periodo minimo di copertura (su base annuale) raggiunto in base al piano di utilizzo programmato per la postazione di misura in oggetto (79 giorni distribuiti nell'anno), pari al 22 %, risulta conforme ai criteri degli obiettivi di qualità dei dati definiti per le misure indicative dalla legislazione che disciplina la qualità dell'aria (allegato 1 del D.Lgs. 155/2010 e dall'allegato I della Direttiva 2008/50/CE del Parlamento e del Consiglio Europeo - periodo minimo di copertura di riferimento per le campagne indicative = 14 %). Per quanto attiene il materiale particolato, sono stati effettuati 61 giorni di campionamento, i quali hanno determinato un periodo minimo di copertura del 17 %.

Per misure indicative, si intendono misurazioni che rispettano obiettivi di qualità meno stringenti rispetto a quelli richiesti per le misurazioni in siti fissi.

6. Dati rilevati nella campagna di misurazione

Nella presente relazione sono riportati gli elaborati grafici relativi a:

- confronto dei risultati con i relativi limiti di legge;
- confronto con i valori rilevati nelle precedenti campagne di misurazione indicative effettuate nel territorio comunale postazioni di Via Gramsci (anno 2010), di Via Colombaio (2011 - 2012) e Via Monte Cervino (2012 - 2103);
- confronto con i valori degli indicatori registrati dalla stazione fissa di rete regionale di Poggibonsi Via de Amicis;
- giorni tipo benzene e biossido di azoto;
- grafici box-plot;
- distribuzione in classi di concentrazione.

Standardizzazione

Tutti i valori di concentrazione espressi in unità di massa (μg) per metro cubo di aria (m^3) sono riferiti alla temperatura di 293°K e alla pressione atmosferica di 101.3 kPa ad esclusione del materiale particolato PM10 e PM2,5 il cui volume di campionamento si riferisce alle condizioni ambiente in termini di temperatura e di pressione atmosferica alla data delle misurazioni.

La tabella sottostante, fornisce, quale premessa alla valutazione della qualità dell'aria, un'indicazione del livello medio registrato per ciascun inquinante nella postazione di misurazione.

Tabella 6.1 valori medi della postazione Borgaccio nell'intera campagna 2014

NO₂ $\mu\text{g}/\text{m}^3$	NO_x $\mu\text{g}/\text{m}^3$	PM10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	PM_{2,5} $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Benzene $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Toluene $\mu\text{g}/\text{m}^3$	SO₂ $\mu\text{g}/\text{m}^3$
34	63	18	10	1	6	2

NO₂ = biossido di azoto

NO_x = ossidi di azoto totali

PM10 = materiale particolato PM10

PM2,5= materiale particolato PM2,5

SO₂ = biossido di zolfo

6.1 Confronto con i valori limite definiti dalla normativa

Periodo di osservazione: dal 30 gennaio al 12 ottobre 2014.

Indicatori significativi per la salute umana

Tabella 6.1.1 indicatori di protezione della salute umana

INDICATORE	Poggibonsi Borgaccio 30/01 – 12/10/2014	LIMITE	Scarto % sul limite
NO ₂ Max Orario (µg/m ³)	96	200	-52
NO ₂ Media (µg/m ³)	34	40	-15
PM10 90,4° percentile valori medi giornalieri	25	50	-50
PM10 Media (µg/m ³)	18	40	-55
PM2,5 Media (µg/m ³)	10	25	-60
SO ₂ Max Media giornaliera (µg/m ³)	5	125	-96
SO ₂ Max Orario (µg/m ³)	8	350	-98
C ₆ H ₆ Media (µg/m ³)	1	5	-80

NO₂ = biossido di azoto

NO_x = ossidi di azoto totali

PM10 - PM2,5= materiale particolato PM10 - PM2,5

SO₂ = biossido di zolfo

C₆H₆ = benzene

La tabella 6.1.1 riassume gli indicatori significativi per la salute umana, le concentrazioni misurate ed i valori limite.

I valori limite si riferiscono al D.Lgs. 155/2010 e smi e sono confrontati visivamente nei Grafici 6.1.1 e 6.1.2 presentati nella pagina successiva.

Indicatori di protezione della vegetazione (NO_x)

Tabella 6.1.2 media annuale ossido di azoto NO_x espressi come NO₂

Postazione di misurazione	Borgaccio	LIMITE
NO _x media (µg/m ³)	63	30

Il valore limite relativo agli ossidi di azoto NO_x (espressi come NO₂) si riferisce alla protezione per la vegetazione ed ha valenza solamente per le stazioni rurali.

Grafico 6.1.1 istogramma valori degli indicatori di qualità dell'aria biossido di azoto, ossidi di azoto, materiale particolato PM10 e PM2,5, e benzene

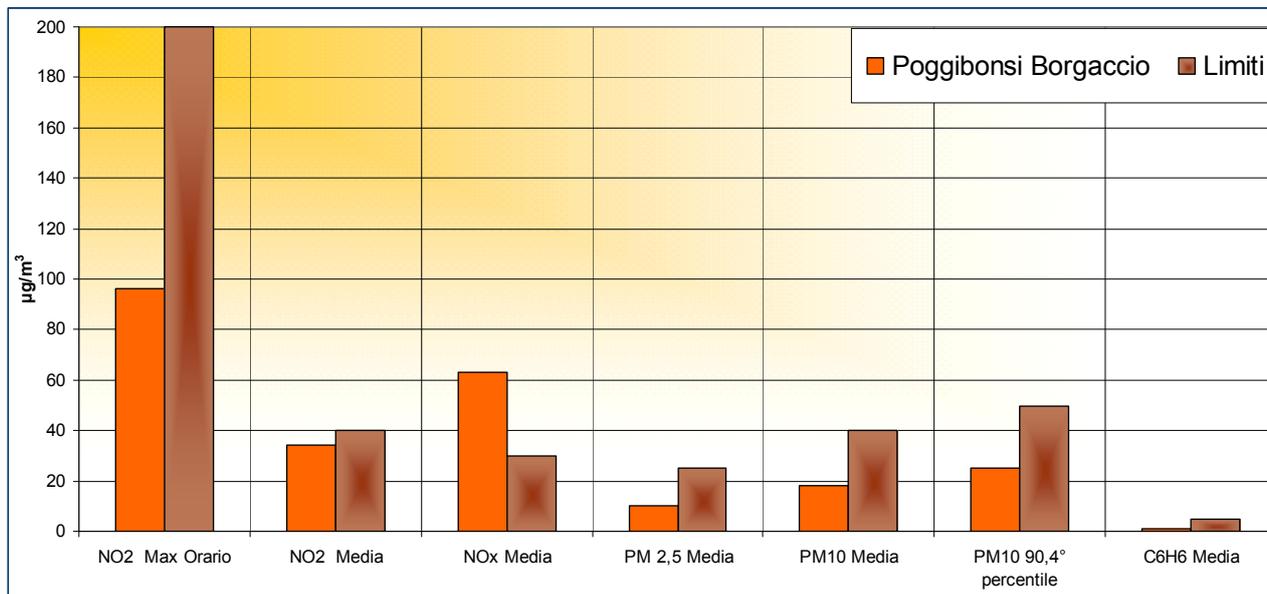
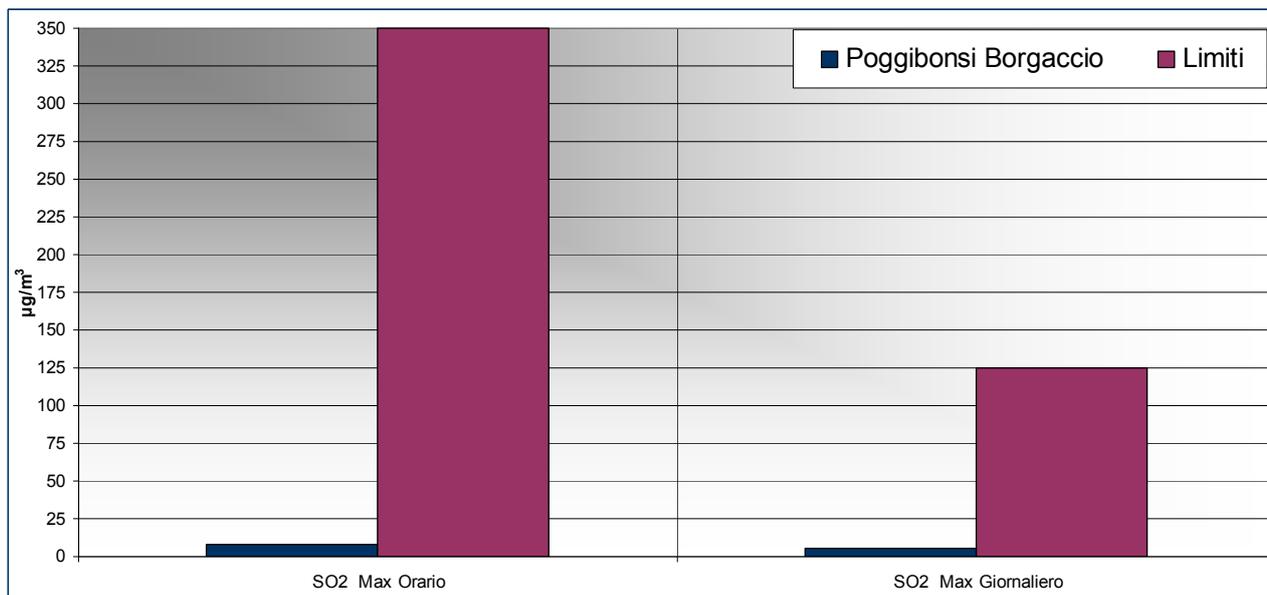


Grafico 6.1.2 istogramma valori degli indicatori di qualità dell'aria biossido di zolfo

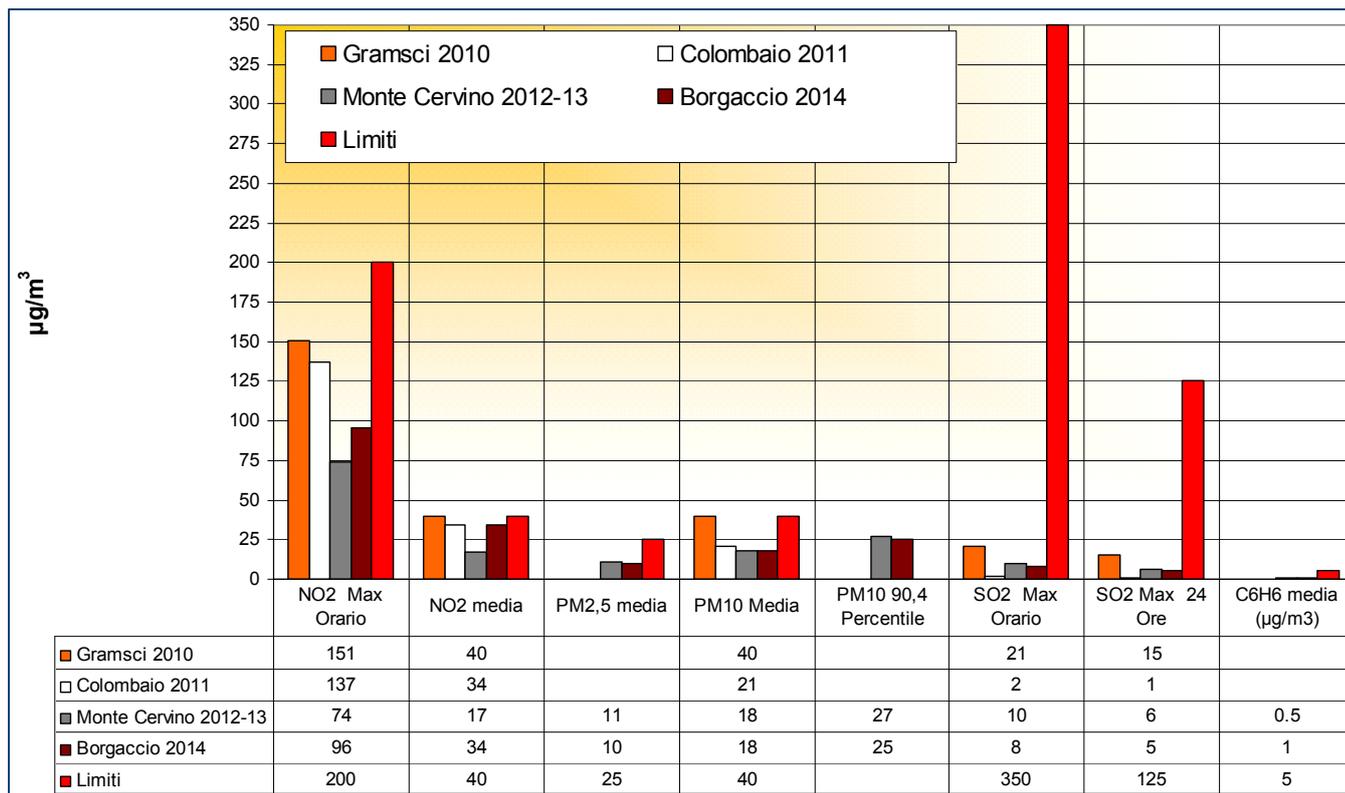


NO₂ = biossido di azoto
 NO_x = ossidi di azoto totali
 PM10 - PM2,5= materiale particolato PM10 - PM2,5
 SO₂ = biossido di zolfo
 C₆H₆ = benzene

6.2 Confronto con i valori degli indicatori relativi alle precedenti campagne di misurazione indicative nel territorio comunale

Nella tabella inclusa nel grafico sottostante è riportato in dettaglio il confronto tra gli indicatori di qualità dell'aria relativi alle campagne di misurazione indicative di Via Gramsci (13/3 – 6/12/2010) Via del Colombaio (13/7/2011 – 01/03/2012) e di Via Monte Cervino (16/7/2012 – 7/4/2013) effettuate con mezzo mobile.

Grafico 6.2.1 istogramma valori degli indicatori di qualità dell'aria Via Borgaccio e campagne Via Gramsci (2010) – Via Colombaio (2011-2012), Via Monte Cervino (2012-2013) – biossido di azoto, ossidi di azoto, materiale particolato PM10 – PM2,5, biossido di zolfo e benzene



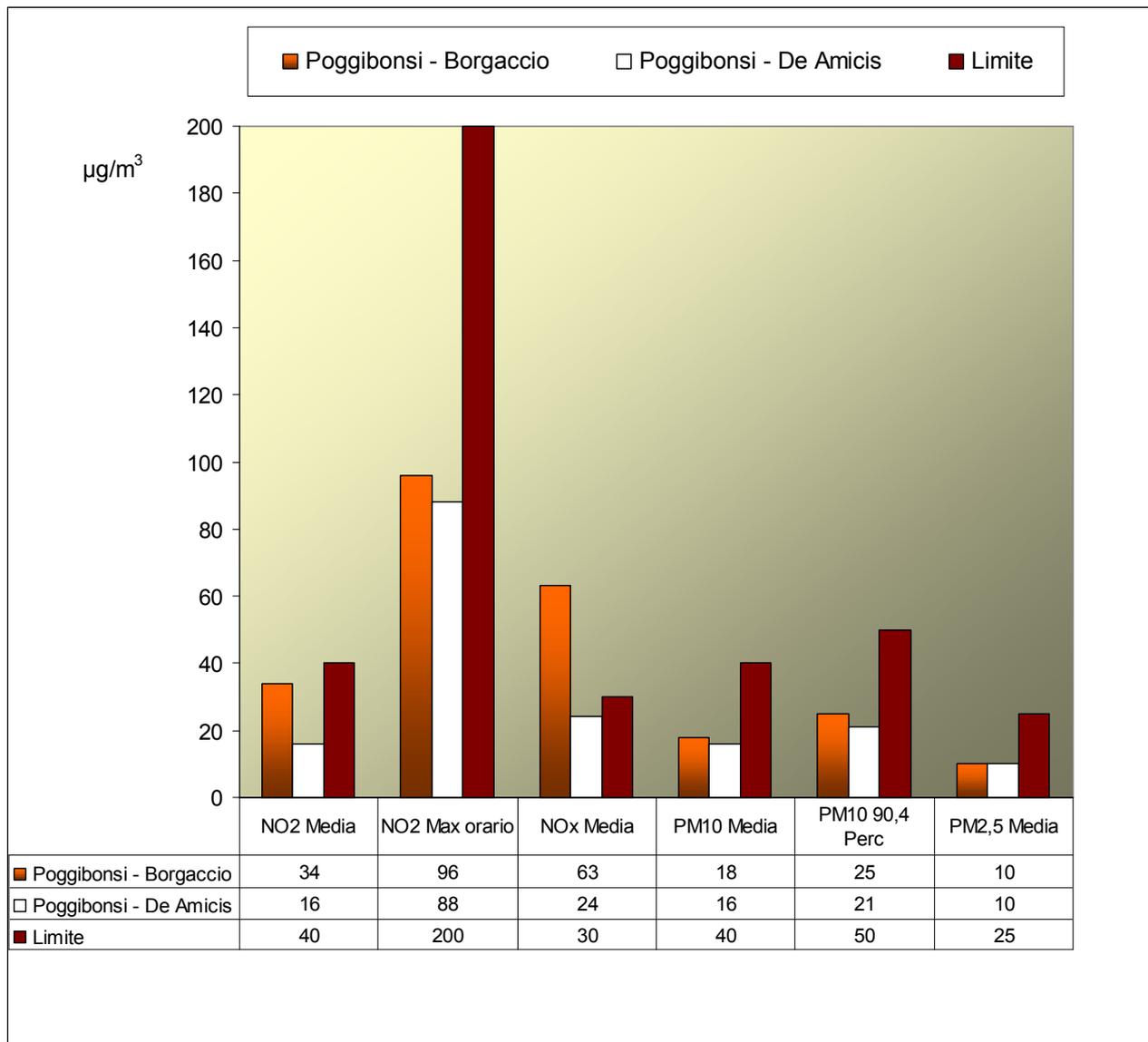
NO₂ = biossido di azoto
C₆H₆ = benzene

PM10 = materiale particolato PM10
PM2,5 = materiale particolato PM2,5

SO₂ = anidride solforosa

6.3 Confronto con i livelli rilevati dalla stazione di misurazione di Via De Amicis

grafico 6.3.1. istogramma valori degli indicatori di NO₂, NO_x, PM10, PM2,5 Via Borgaccio e Via De Amicis



NO₂ = biossido di azoto

NO_x = ossidi di azoto totali

PM10 - PM2,5 = materiale particolato PM10 e PM2,5

6.4 Materiale particolato PM2,5

Tabella 6.4.1 valori indicatori PM2,5 campagna 2014

Postazione di misurazione	media $\mu\text{g}/\text{m}^3$	valore massimo giornaliero $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Borgaccio - Poggibonsi	10	18

Il valore medio annuale di PM2,5 misurato, è inferiore, sia al valore limite ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$), sia al valore obiettivo ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) previsti dal D.Lgs. 155/2010. A differenza del materiale particolato PM10, la legislazione non definisce valori limite per l'indicatore relativo alla media giornaliera di PM2,5; per questo indice è stato fissato un valore guida dall'OMS pari a $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ finalizzato alla prevenzione delle malattie derivanti dall'esposizione di questo agente inquinante.

Nella postazione di Borgaccio, non sono stati registrati casi di superamento del valore Guida OMS. Nello stesso periodo di osservazione, anche la stazione di misurazione di Via De Amicis non ne ha registrato alcuno; se si considera invece l'intero anno civile, nell'anno 2012 la stazione di Via De Amicis ha registrato 8 giorni di superamento del Valore Guida, nell'anno 2013 i giorni di superamento sono stati 27 ed infine nell'anno 2014 i giorni di superamento sono stati 2.

Il rapporto tra i valori medi di PM 2,5 e PM 10 nella postazione di Via Borgaccio è di 0,55, rapporto tipico delle postazioni di traffico in regione toscana.

7- Valutazione dei risultati

Gli indicatori di qualità dell'aria a tutela della salute umana relativi alla campagna di misurazione della postazione di Borgaccio, sono conformi ai valori limite previsti dalla normativa vigente.

Si riscontra inoltre, che per alcuni inquinanti, quali **biossido di zolfo - SO₂** e **benzene**, l'ordine di grandezza dei livelli di concentrazione degli indicatori, significativamente inferiori ai relativi valori limite, si attesta oltre il 50 % (Tabella 6.1.1 indicatori di protezione della salute umana); gli indicatori di biossido di zolfo, ad esempio, presentano mediamente valori inferiori del 97 % rispetto ai relativi valori limite.

Il materiale particolato **PM10** (Tabella 6.1.1) registra valori di entrambi gli indicatori di protezione della salute umana distribuiti attorno al 50 % dei relativi limiti:

- scarto indicatore media annuale -55 % (media Borgaccio = $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - valore limite media annuale = $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$);
- scarto indicatore 90,4° percentile delle concentrazioni giornaliere: -50 % (90,4° percentile Borgaccio = $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - valore limite = $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Per quanto attiene il materiale particolato **PM2,5** (Tabella 6.4.1.), il valore medio dell'intera campagna di misurazione è inferiore (-60 %) sia al valore obiettivo (media annuale pari a $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) sia al valore limite (media annuale pari a $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Commenti specifici sul valore guida OMS relativo alla media giornaliera sono riportati al paragrafo 6.4.

Gli indicatori di **biossido di azoto** (Tabella 6.1.1), registrano da una parte, valori poco inferiori al 50 % del relativo limite (valore massimo orario -52 %) e dall'altra, un valore medio poco inferiore al limite (-15 %).

L'indicatore relativo alla media annuale degli **ossidi di azoto - NOx** (espressi come NO₂) - (Tabella 6.1.2) finalizzato alla **protezione della vegetazione** che ha valenza solo per le stazioni di misurazione suburbane, rurali e rurali di fondo è stato superato; al di fuori delle zone rurali, questo indicatore non solitamente è mai rispettato.

In merito alle precedenti campagne di misurazione indicative effettuate nel territorio comunale (Via Gramsci - periodo di osservazione 2010, Via Colombaio - periodo di osservazione 2011-2012 e Via Monte Cervino 2012-2013 - Tabella 6.2.1), si rileva una situazione di sostanziale equivalenza dei valori di biossido di zolfo e materiale particolato (PM10 e PM2,5) con i valori registrati nella postazione di Via Monte Cervino. Complessivamente il PM10 presenta variazioni poco significative per le ultime tre postazioni di misurazione attivate sul territorio comunale (Via Colombaio, Via Monte Cervino e Via Borgaccio). Rappresenta un caso diverso il biossido di azoto, il cui valore medio risulta equivalente alla postazione di traffico di Via del Colombaio, e conseguentemente più elevato della postazione di Via Monte Cervino (+100 % sul valore medio annuale).

La postazione di Via Gramsci presenta sostanzialmente livelli di concentrazione più elevati rispetto alle altre postazioni di misurazione esaminate.

Raffronto con i livelli registrati dalla stazione di misurazione fissa di Via De Amicis - Poggibonsi

Il raffronto dei valori degli indicatori di qualità dell'aria (grafico 6.3.1.) relativi alla postazione di Borgaccio con quelli relativi alla stazione appartenente alla rete regionale di Via de Amicis (stazione classificata urbana - fondo) ripropone quanto messo prima in evidenza nell'analisi dei dati delle campagne indicative, ovvero una discontinuità dei livelli di biossido di azoto fra postazioni di fondo e postazioni di traffico. Per quanto attiene i valori medi, in dettaglio, la postazione di Via Borgaccio registra valori più elevati (+113 %) di biossido di azoto, mentre, per quanto attiene il materiale particolato PM10, lo scarto è meno elevato (Borgaccio +13 %). Il materiale PM2,5 è rappresentato invece da una situazione di invarianza.

In relazione alle elaborazioni grafiche riguardanti il raffronto degli andamenti dei valori orari di biossido di azoto (Allegato 1, grafico 1.3.1.) e dei valori medi giornalieri di materiale particolato PM10-PM2,5 (Allegato 1, grafici delle differenze 1.3.2.-3), si rilevano andamenti simili, caratterizzati da un lato, dalla significativa differenza dei livelli di concentrazione (valori più elevati nella postazione di Borgaccio) di biossido di azoto, e dall'altro, da differenze meno evidenti per il materiale particolato PM10 e PM2,5. Dall'analisi dei valori di materiale particolato, traspare per la postazione di Borgaccio la tendenza a presentare livelli di concentrazione leggermente più elevati di De Amicis in una buona parte del periodo di osservazione; la media delle differenze risulta tuttavia orientata verso una situazione di equivalenza (media delle differenze PM10 = 1; media delle differenze PM2,5 = 0).

Le correlazioni (Allegato 1, grafico 1.4.1.-3), in particolare quelle di biossido di azoto mettono in evidenza una scarsa correlazione tra le due stazioni (coefficiente correlazione delle concentrazioni medie orarie Borgaccio/De Amicis NO₂: R² = 0,5).

Andamenti temporali

Gli andamenti dei valori orari e giornalieri (Allegato 1, grafici 1.1.2-7 e grafici 1.3.2-3), mettono in rilievo per alcuni agenti inquinanti, la presenza di livelli di concentrazione più elevati in determinate stagioni: in particolare si rileva la tendenza all'incremento nelle stagioni dell'inverno e dell'autunno per biossido di azoto, nella stagione della primavera per il materiale particolato PM10 e PM2,5, nell'inverno per il benzene ed il toluene e nell'autunno per il biossido di zolfo. In dettaglio, benzene e toluene (Allegato 1, grafico 1.1.6-7), registrano livelli di picco nei primi giorni di febbraio, il valore massimo è stato registrato il giorno 3 febbraio (benzene: 13 µg/m³ alle ore 9; **toluene: 65 µg/m³** alle ore 12). La legislazione nazionale ed europea che disciplina la qualità dell'aria, non ha fissato valori limite per il toluene; i valori misurati, sono tuttavia significativamente inferiori, sia ai valori guida fissati dall'OMS (WHO, "Air quality guidelines for Europe", Second edition, WHO Regional Publications, European Series, n. 91, 2000), sia al valore limite fissati dall'Horizontal Guidance note IPPC H1, UK Environment Agency 6/07/03. I valori limite OMS sono finalizzati, sia alla tutela sanitaria (valore guida = 260 µg/m³ riferito alla media settimanale; valore settimanale massimo registrato dalla campagna = 17 µg/m³), sia a tutela delle maleodoranze (valore guida = 1000 µg/m³ riferito alla media su 30 minuti). Relativamente a quest'ultimo indicatore, si precisa tuttavia che il

tempo di mediazione minimo in cui sono espressi i dati di qualità dell'aria dagli acquisitori locali di stazione (computer industriali che acquisiscono, memorizzano ed archiviano su base locale i dati misurati dagli analizzatori) appartenenti al sistema di misura della qualità dell'aria della toscana ed anche del mezzo mobile dell'Amministrazione provinciale di Siena, è di 60 minuti.

I valori limite indicati dall'Horizontal Guidance note IPPC H1, UK Environment Agency 6/07/03 sono finalizzati alla protezione della salute umana e si riferiscono ad un valore massimo orario di 8000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (valore massimo orario della campagna: 65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) e medio annuale di 1910 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (valore medio della campagna: 6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Giorno tipo

Dalle elaborazioni inerenti il giorno tipo (Allegato 1, grafici 1.2.1-2) si rileva:

- biossido di azoto – andamenti stagionali simili, nel quale sono ben evidenti i relativi livelli di concentrazione massimi (fasce orarie mattina 7 – 9 e pomeriggio 18 – 21). Si nota, da una parte, che i livelli di picco della mattina sono più elevati dei quelli della sera nelle stagioni dell'inverno, della primavera e dell'estate, e dall'altra, il contrario per la stagione dell'autunno. I livelli minimi sono registrati nella fascia orarie centrale della giornata 12-15 e nelle ore notturne;
- benzene – gli andamenti medi stagionali sono caratterizzati da livelli medi più elevati nelle stagioni dell'inverno, contraddistinti dalla tendenza all'incremento alla mattina (ore 8- 9) ed alla sera (ore 20-21); in questo caso, i livelli massimi più elevati sono sempre presenti nella fascia oraria della mattina.

Distribuzione dei livelli di concentrazione – grafici box-plot

Gli indicatori di sintesi (Allegato 1, tabella 1.2.1) mettono in evidenza una distribuzione dei dati asimmetrica per benzene, toluene, biossido di azoto e biossido di zolfo ad indicare, che probabilmente, sotto il profilo statistico, per questi inquinanti i valori estremi (o dati fuori linea), hanno un peso rilevante sull'andamento normale dei valori medi orari. Questa considerazione, è confermata, nella prevalenza dei casi, anche dall'osservazione che il valore medio è più elevato della mediana. Per quanto attiene il benzene, si rilevano valori di deviazione standard maggiore della media, ad indicare, dal punto di vista statistico, che gli andamenti di questi inquinanti sono caratterizzati da forte variabilità.

I grafici box-plot stagionali riferiti ad ogni agente inquinante (Allegato 1, grafici 1.1.1-7), mettono in rilievo la presenza di livelli massimi di materiale particolato nella stagione della primavera, di biossido di azoto in autunno e di benzene e di toluene in inverno.

Distribuzione in classi di concentrazione

La prevalenza degli inquinanti presenta andamenti asimmetrici caratterizzati dalla massima distribuzione dei livelli di concentrazione nelle categorie caratterizzate dai valori più bassi, significativamente distanti dalla classe di concentrazione che include anche il valore limite (Allegato 1, grafici 1.5.1-8). Non seguono questa distribuzione, materiale particolato PM_{2,5} e PM₁₀, dove, la distribuzione segue un andamento più omogeneo attorno alla classe di concentrazione dalla frequenza più elevata, tipicamente corrispondente al valore medio annuale.

8 - Considerazioni riassuntive e finali

Il contesto messo in rilievo dalla campagna di misurazione è caratterizzato dalla conformità ai valori limite fissati a tutela della salute umana: in particolare, alcuni inquinanti quali il benzene ed il biossido di zolfo, registrano valori largamente inferiori al 50 % del relativo valore limite. Materiale particolato PM10 e PM2,5, si collocano su valori inferiori al valore limite mediamente del 55 %. Il biossido di azoto registra un valore medio annuale poco inferiore al relativo valore limite (-15 %).

Il raffronto con i valori degli indicatori elaborati nelle precedenti campagne di rilevamento indicative effettuate nel territorio comunale mediante mezzo mobile dall'anno 2010 all'anno 2013 (postazioni di misurazione di Via Gramsci, Via Colombaio e Via Monte Cervino), mette in evidenza, sotto il profilo temporale, una riduzione (-64 % scarto medio di tutti gli indicatori) dei valori degli indicatori rispetto all'anno 2010 (postazione di Via Gramsci), sotto il profilo spaziale invece, si rileva una sostanziale continuità dei livelli medi di concentrazione, in particolare per il biossido di azoto, per le postazioni di misurazione i cui livelli di inquinamento sono maggiormente influenzati dal traffico autoveicolare (Via Colombaio e Borgaccio).

Rispetto alla stazione di misurazione fissa di rete regionale di Poggibonsi - Via de Amicis (urbana-fondo), la valutazione dei dati puntuali (orari e giornalieri) e degli indicatori di qualità dell'aria (registrati nello stesso periodo di osservazione della presente campagna di misurazione indicativa), evidenzia, da una parte, livelli di concentrazione equivalenti di materiale particolato PM2,5, e dall'altra livelli più elevati di biossido di azoto (Borgaccio, valore medio annuale +113 %); il materiale particolato PM10 si colloca su una posizione intermedia poiché presenta un valore medio poco superiore alla stazione fissa di Via de Amicis (Borgaccio, valore medio annuale +13 %).

La valutazione dei valori medi di biossido di azoto e materiale particolato relativa alla serie di misurazioni effettuate su scala comunale mette in evidenza, da un lato, variazioni spaziali significative di biossido di azoto fra le postazioni di traffico e quelle di fondo (traffico +107 %) e dall'altro, un contesto sostanzialmente omogeneo per il materiale particolato, contraddistinto, da variazioni poco significative per il PM10 e da invarianza per il PM2,5.

Il biossido di azoto rappresenta l'inquinante più significativo per la postazione esaminata.

Allegato 1. Elaborazioni integrative

1.1 Distribuzione dei livelli di concentrazione – grafici box plot

La tabella sottostante visualizza i dati di sintesi (comprensivi della media annuale) elaborati nell'intero periodo di osservazione, per biossido di zolfo, ossidi di azoto, biossido di azoto, benzene, toluene, biossido di zolfo (medie orarie) e materiale particolato PM10 – PM2,5 (medie giornaliere).

Tabella 1.1.1 dati di sintesi biossido di zolfo, ossidi di azoto totali, biossido di azoto, benzene, toluene materiale particolato PM10 e materiale particolato PM2,5

	SO ₂ µg/m ³	NO _x µg/m ³	NO ₂ µg/m ³	PM10 µg/m ³	PM2,5 µg/m ³	Benzene µg/m ³	Toluene µg/m ³
1 Quartile	1,3	29	21	15	7	0,2	3
Minimo	0,0	4	3	5	2	0,0	0
Media	2,0	63	34	18	10	1,0	6
Mediana	1,9	47	31	18	11	0,6	4
Massimo	7,7	353	96	36	18	13,0	65
3 Quartile	2,6	77	44	21	13	1,1	7
Deviazione standard	1	52	25	17	7	22	2

NO₂ = biossido di azoto NO_x = ossidi di azoto totali SO₂ = biossido di zolfo
 PM10 = materiale particolato PM10 PM2,5 = materiale particolato PM2,5

Grafico 1.1.1 Grafico Box Plot campagna di misurazione biossido di zolfo, biossido di azoto, materiale particolato PM10 e materiale particolato PM2,5, benzene e toluene

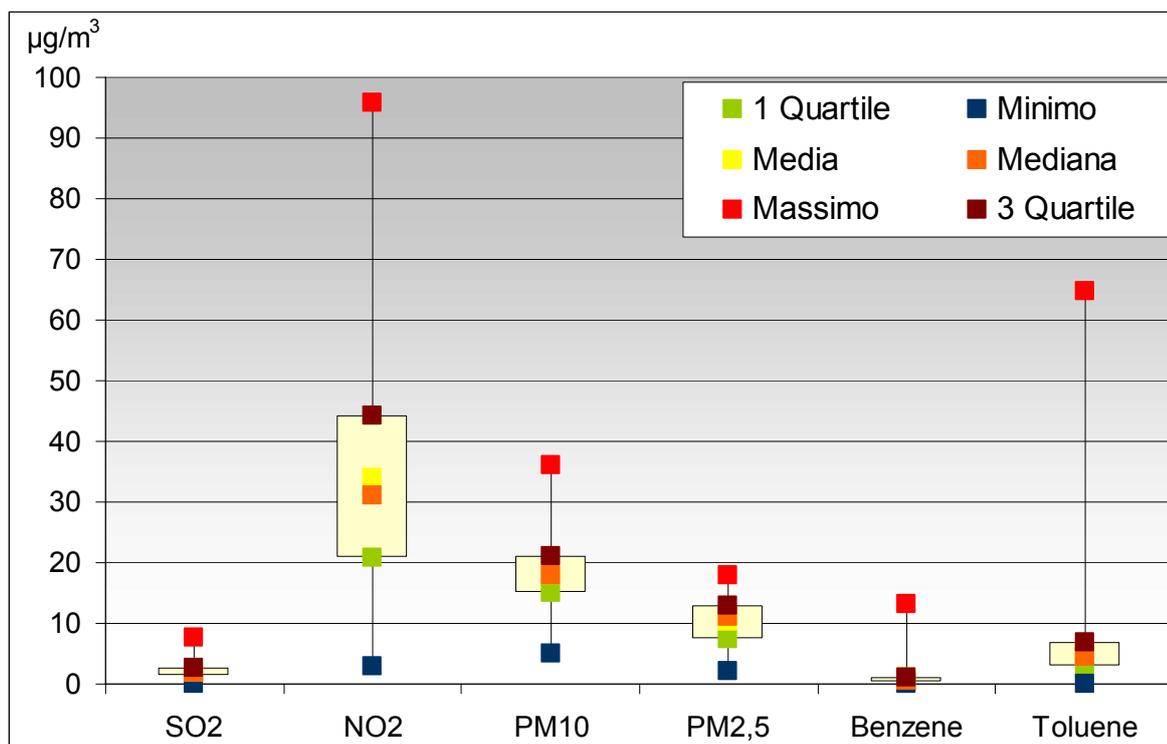


Grafico 1.1.2 Grafico Box Plot stagionale biossido di zolfo

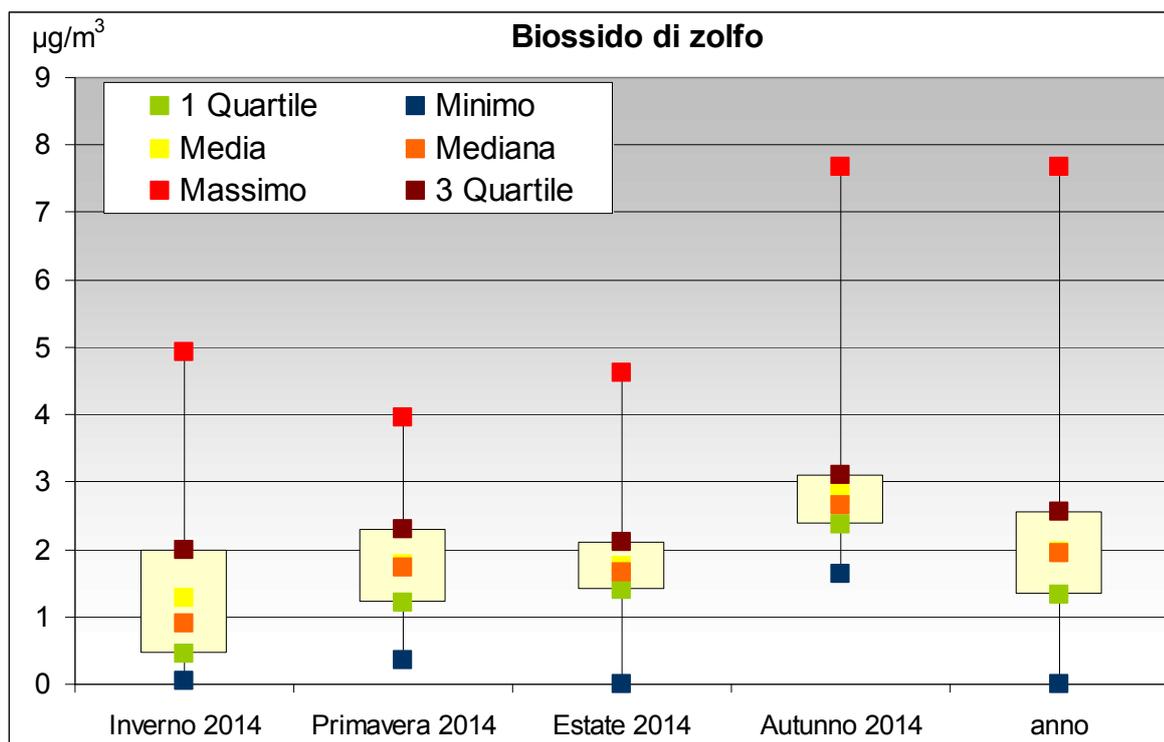


grafico 1.1.3 grafico box plot stagionale biossido di azoto

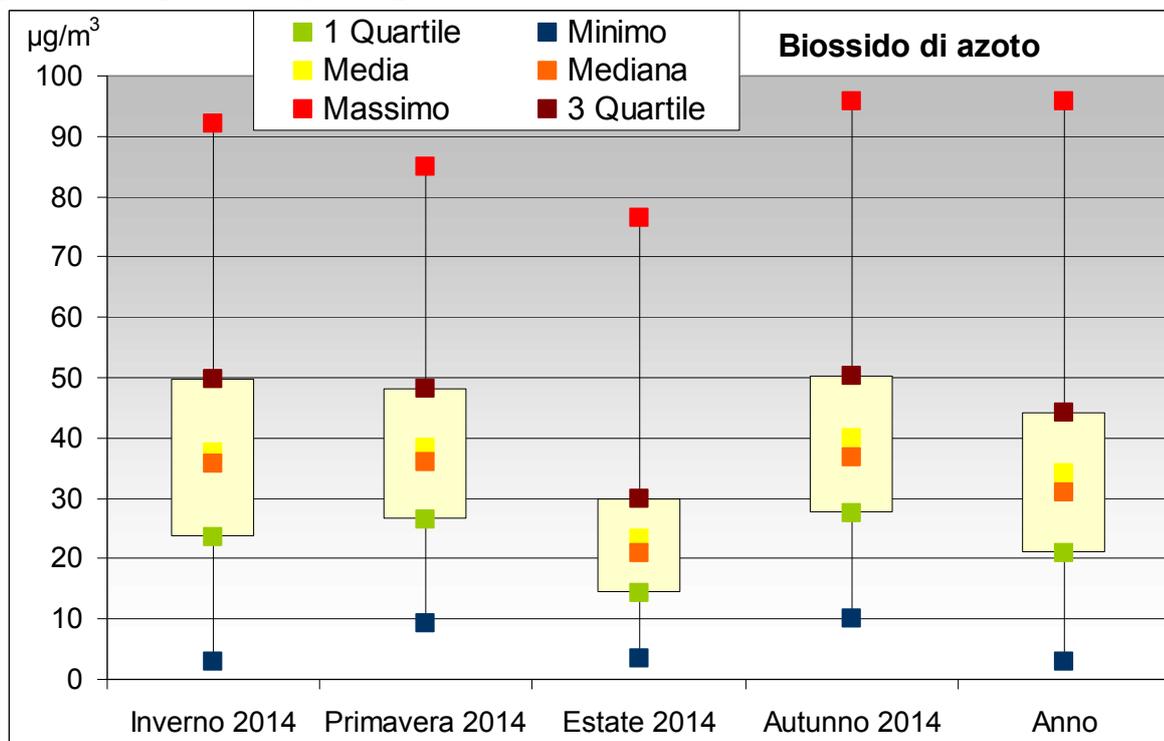


grafico 1.1.4 grafico box plot stagionale materiale particolato PM10

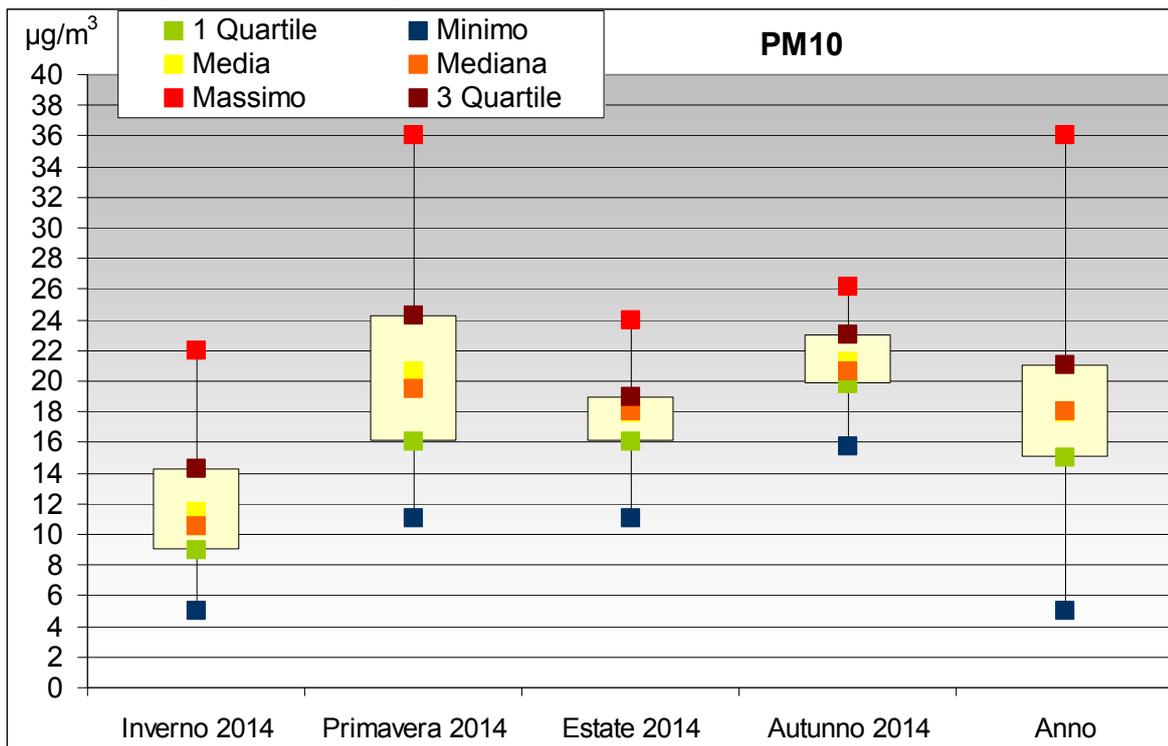


grafico 1.1.5 grafico box plot stagionale materiale particolato PM2,5

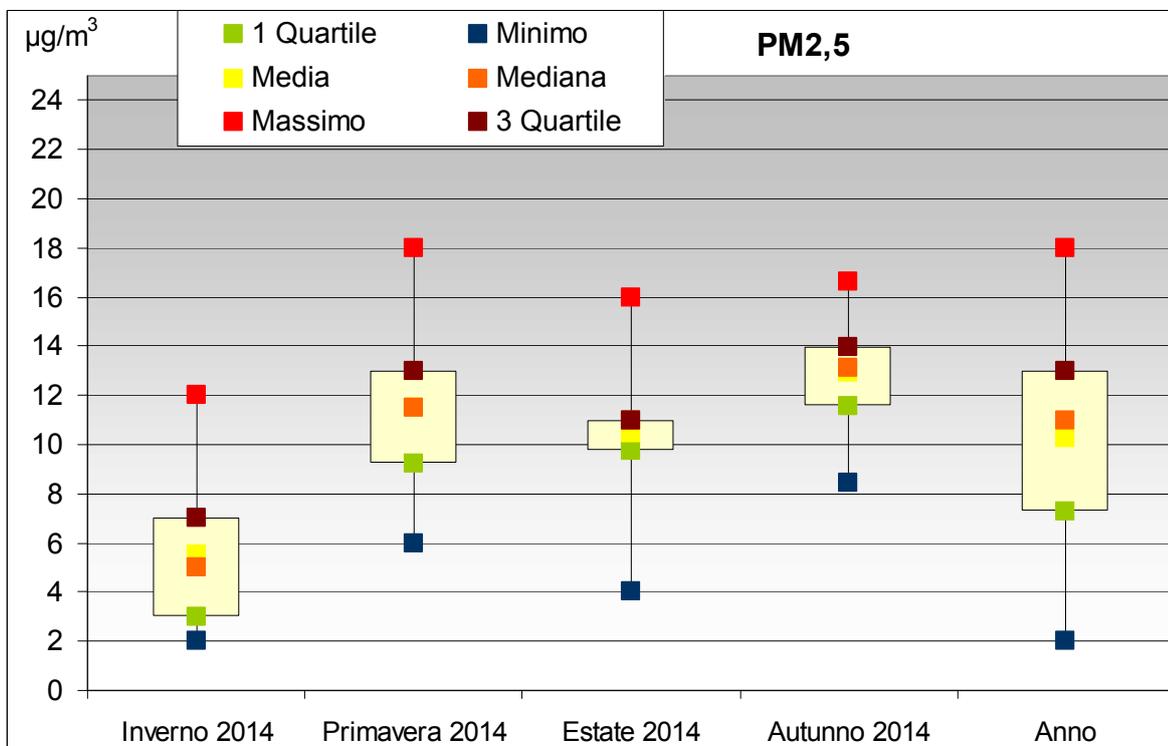


grafico 1.1.6 grafici box plot stagionale benzene

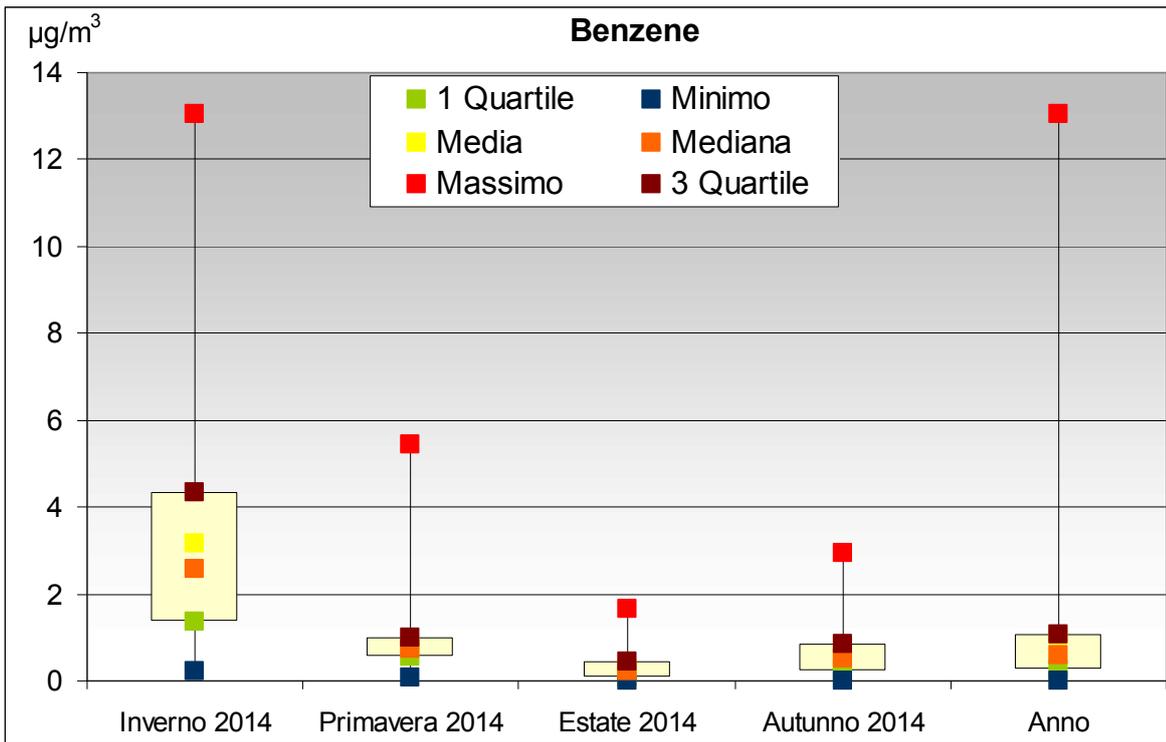
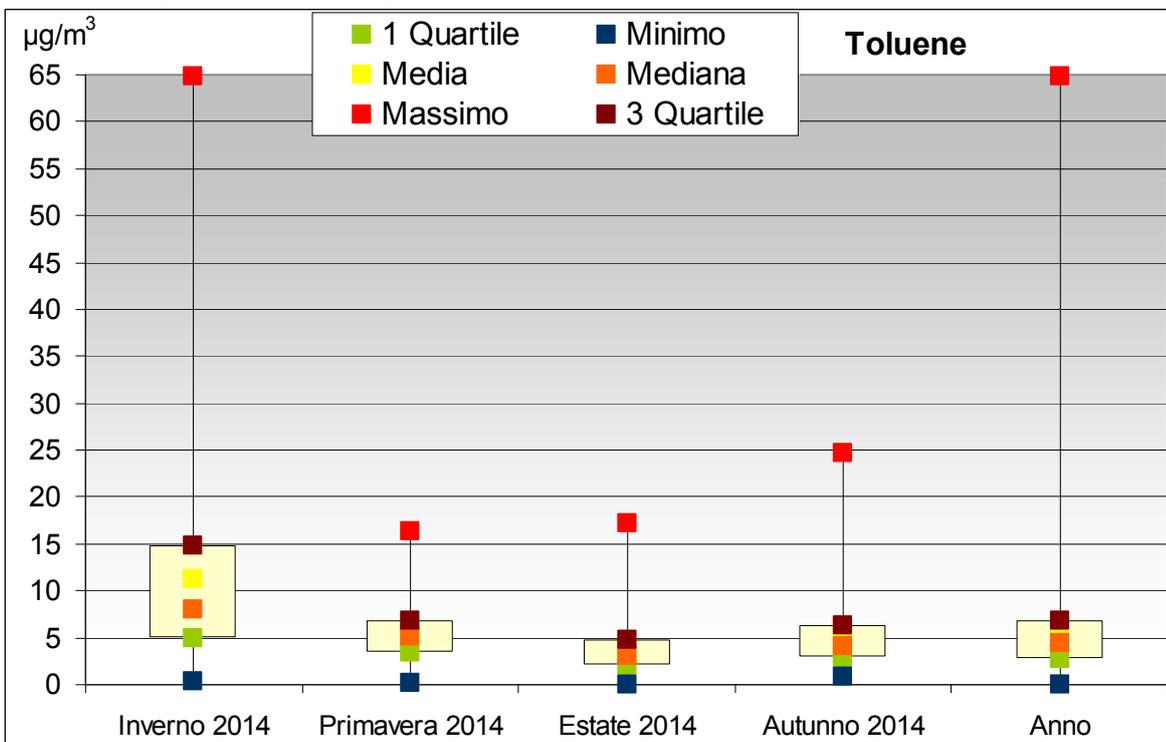


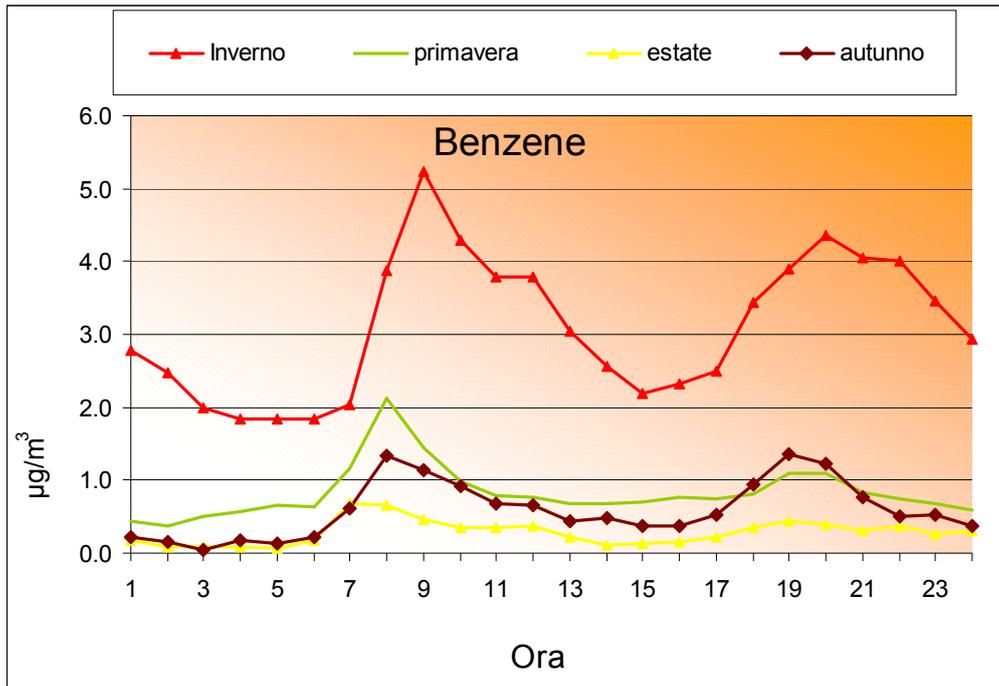
grafico 1.1.7 grafici box plot stagionale toluene



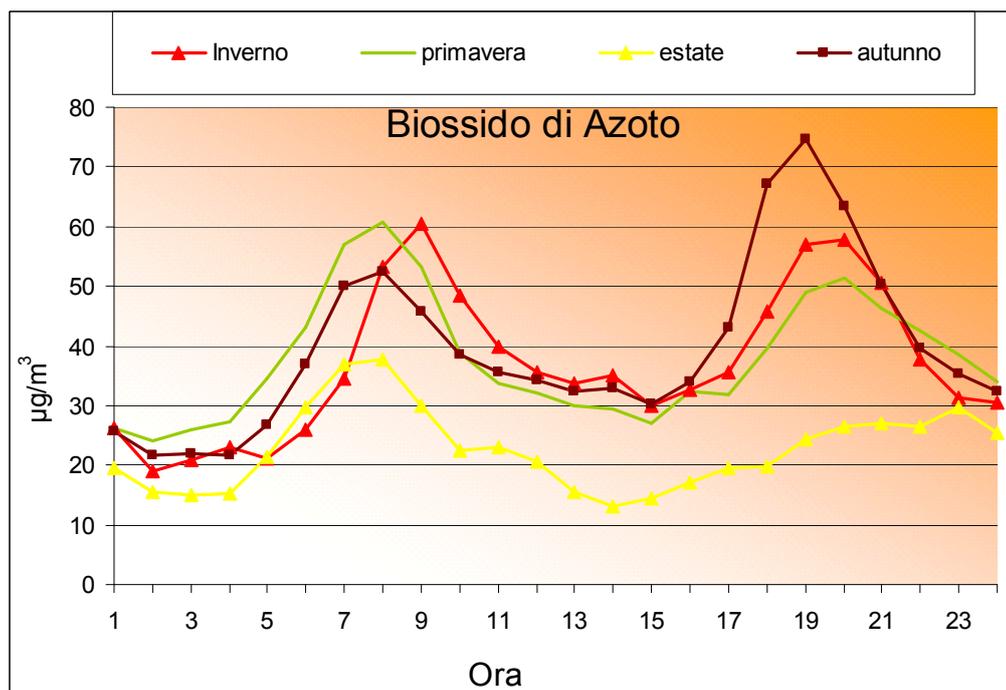
1.2 Giorni tipo

Le elaborazioni relative al giorno tipo, descrivono l'andamento temporale dell'inquinante in una giornata "media" che è l'espressione di tutto il periodo di osservazione esaminato, evidenziando la presenza di situazioni caratteristiche del contesto dell'aria ambiente della zona. In questa elaborazione, i valori relativi alle singole ore della giornata, rappresentano il valore medio del livello di concentrazione registrato alla stessa ora in tutta la campagna di misura (ad esempio il dato delle ore 1 è dato dalla media di tutti i valori rilevati all'ora 1 del periodo esaminato).

1.2.1 grafico giorno tipo benzene



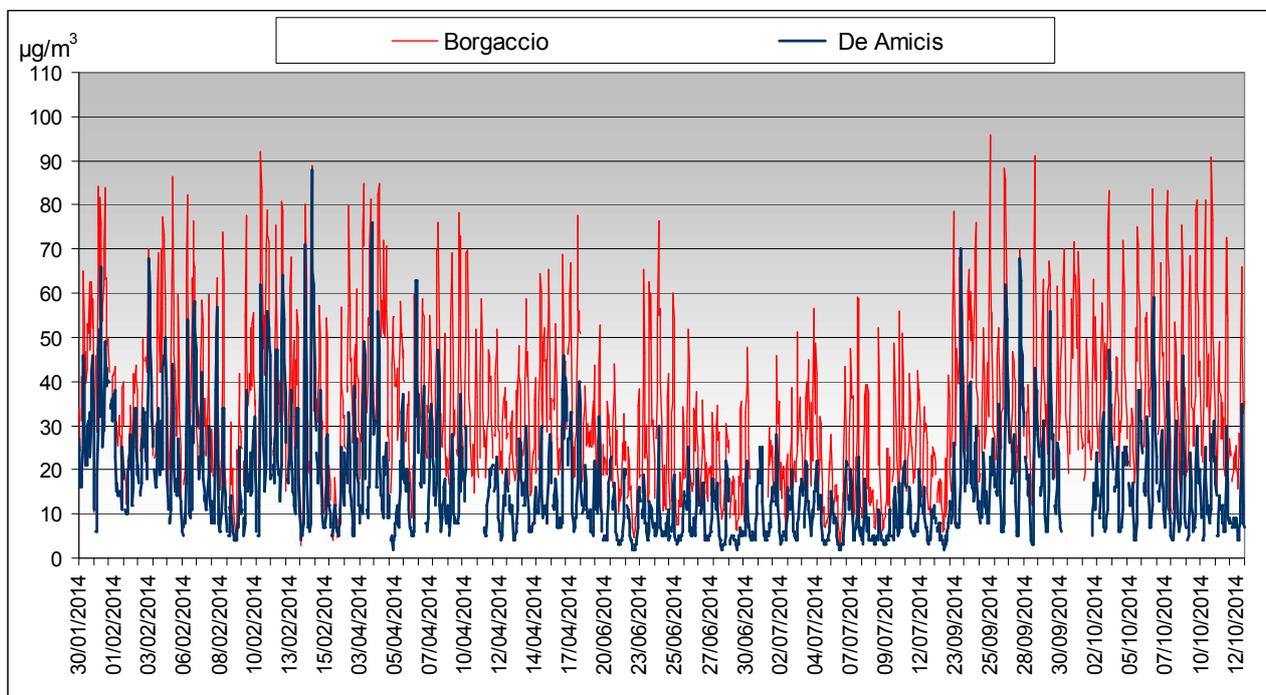
1.2.2 grafico giorno tipo biossido di azoto



1.3 Confronto con gli andamenti registrati dalla stazione fissa di Via De Amicis

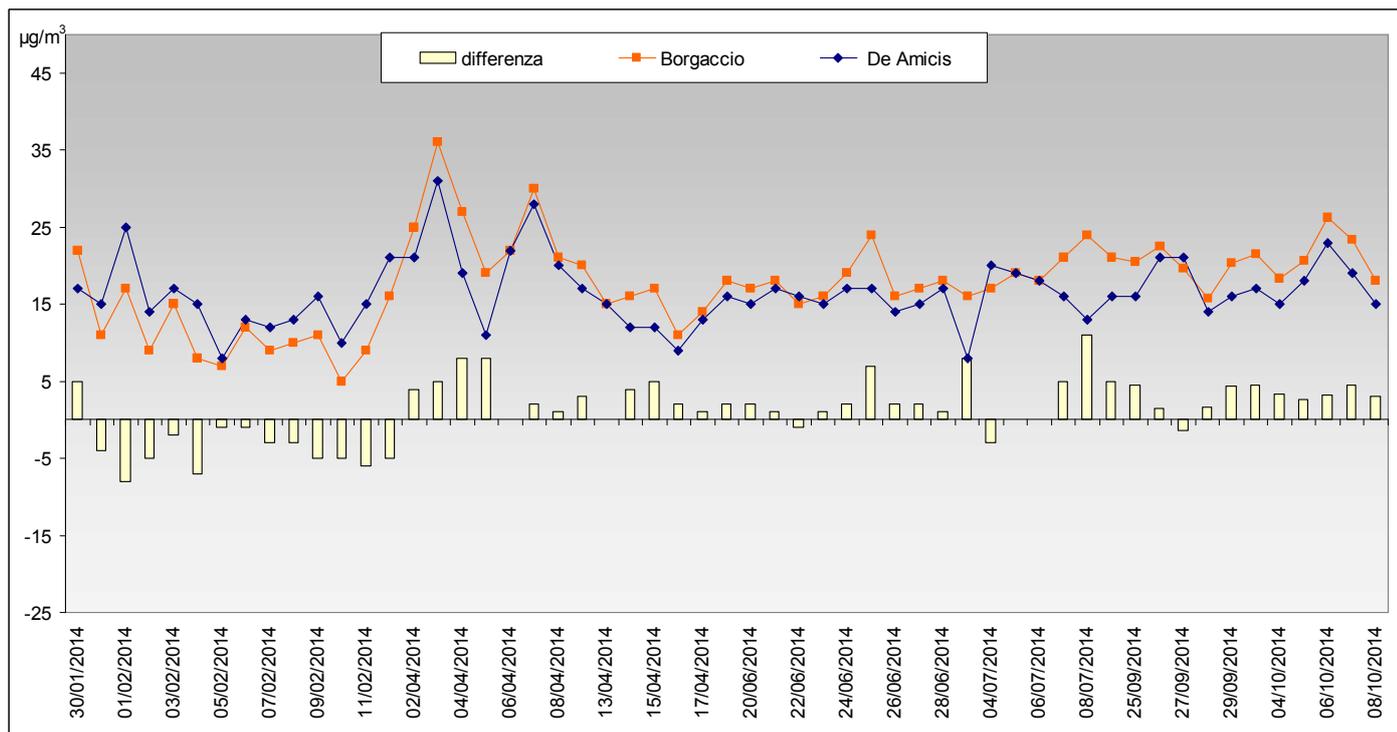
Biossido di azoto NO₂ - valori medi orari

grafico 1.3.1. andamenti orari 18 febbraio - 31 ottobre 2014

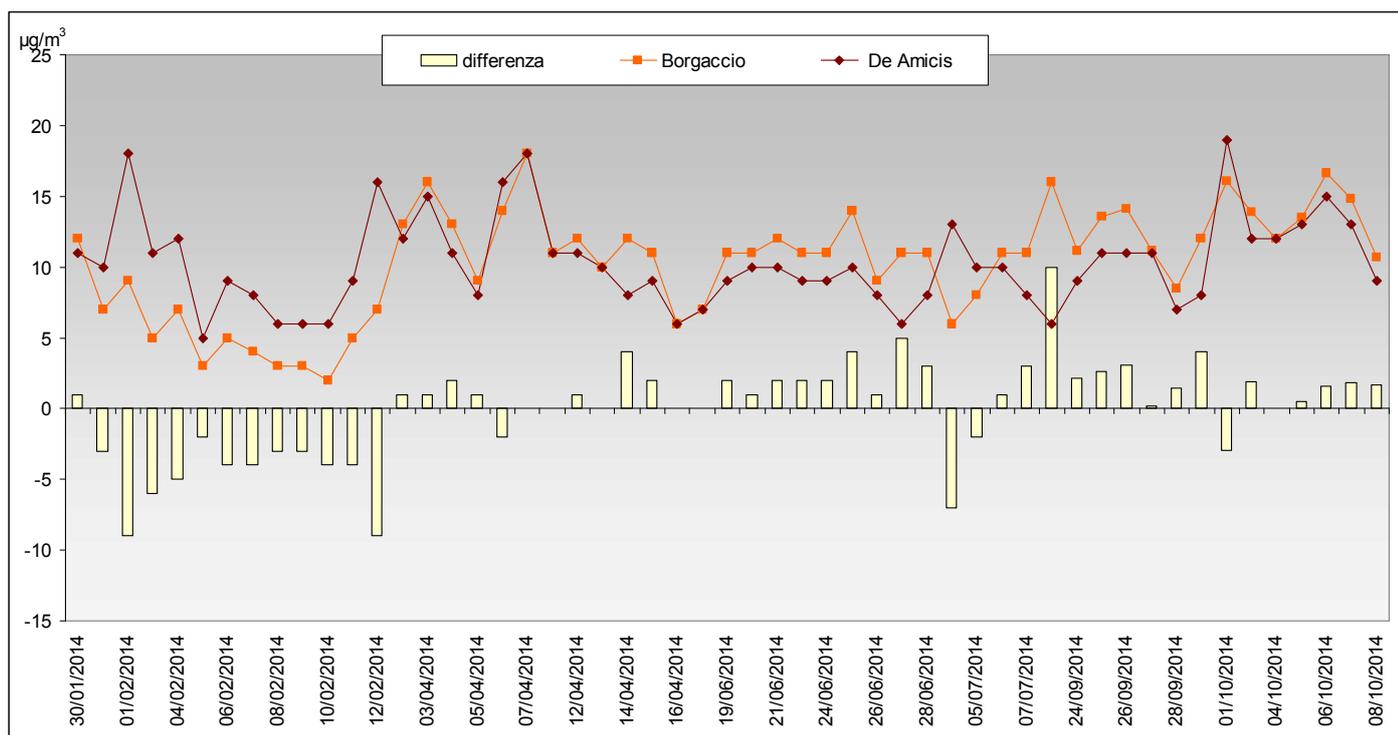


Materiale particolato - valori medi giornalieri (grafici delle differenze)

PM10 - grafico 1.3.2 andamenti giornalieri 21 febbraio - 29 ottobre 2014



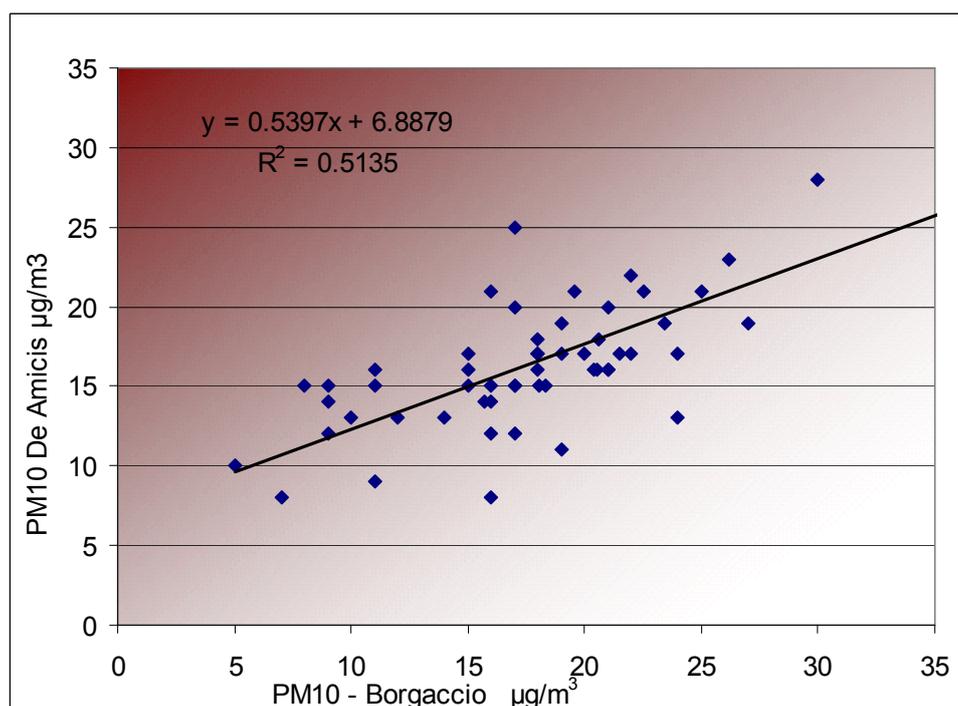
PM2,5 - grafico 1.3.3 andamenti giornalieri 21 febbraio - 29 ottobre 2014



1.4 Grafici a dispersione Borgaccio, Via De Amicis

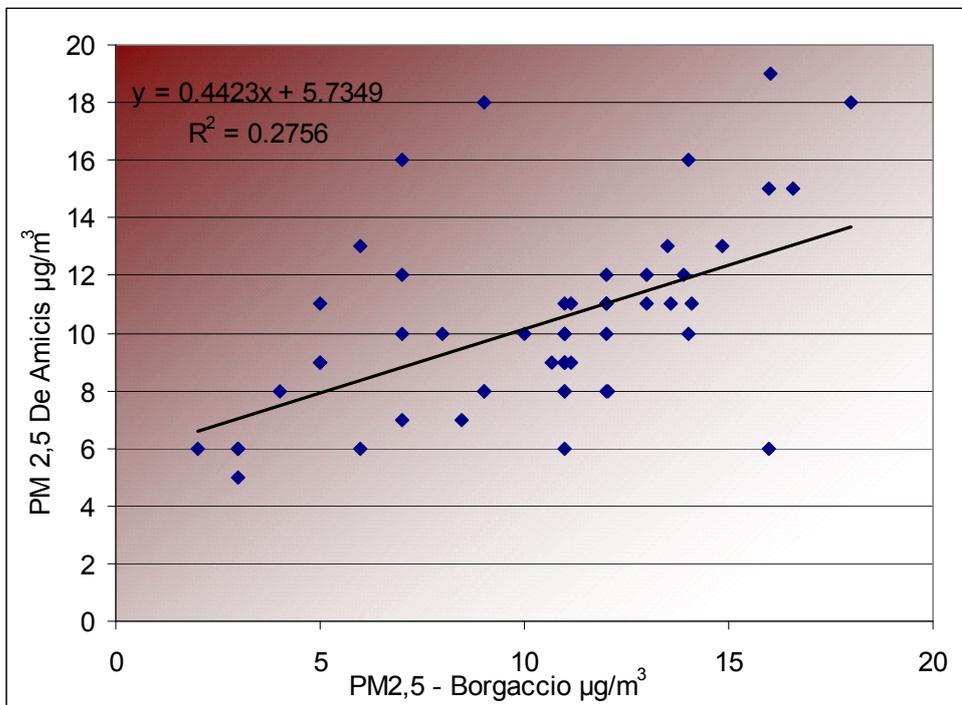
Materiale Particolato PM10

Grafico 1.4.1 dispersione valori giornalieri Borgaccio/Via De Amicis



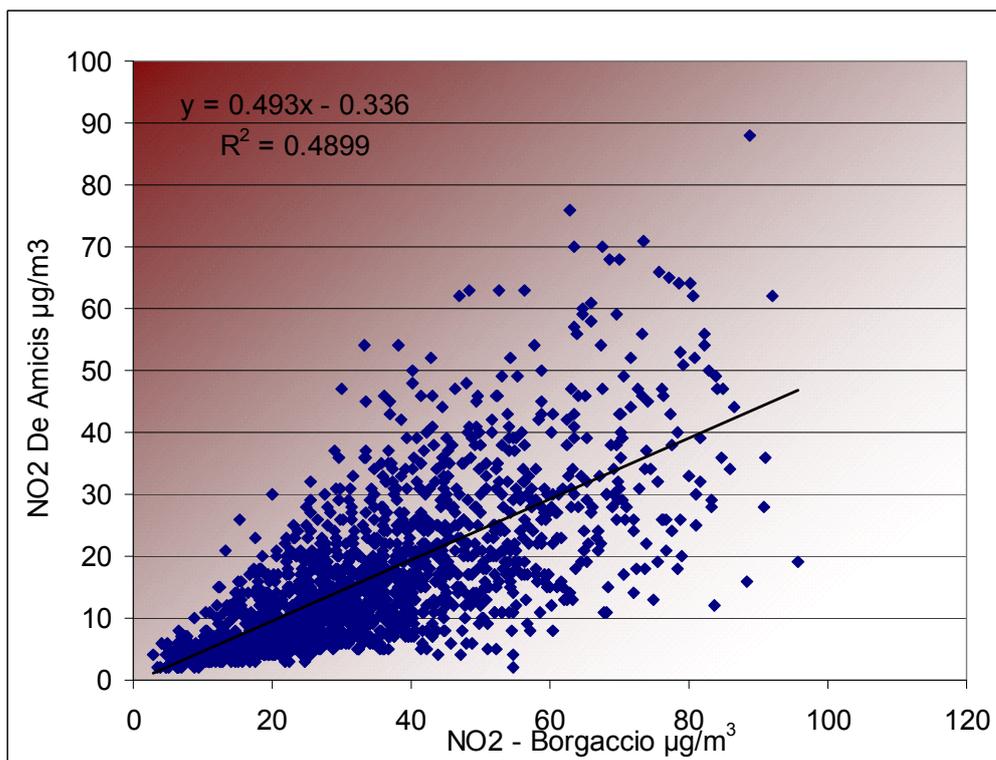
Materiale Particolato PM2,5

Grafico 1.4.2 dispersione valori giornalieri Borgaccio /Via De Amicis



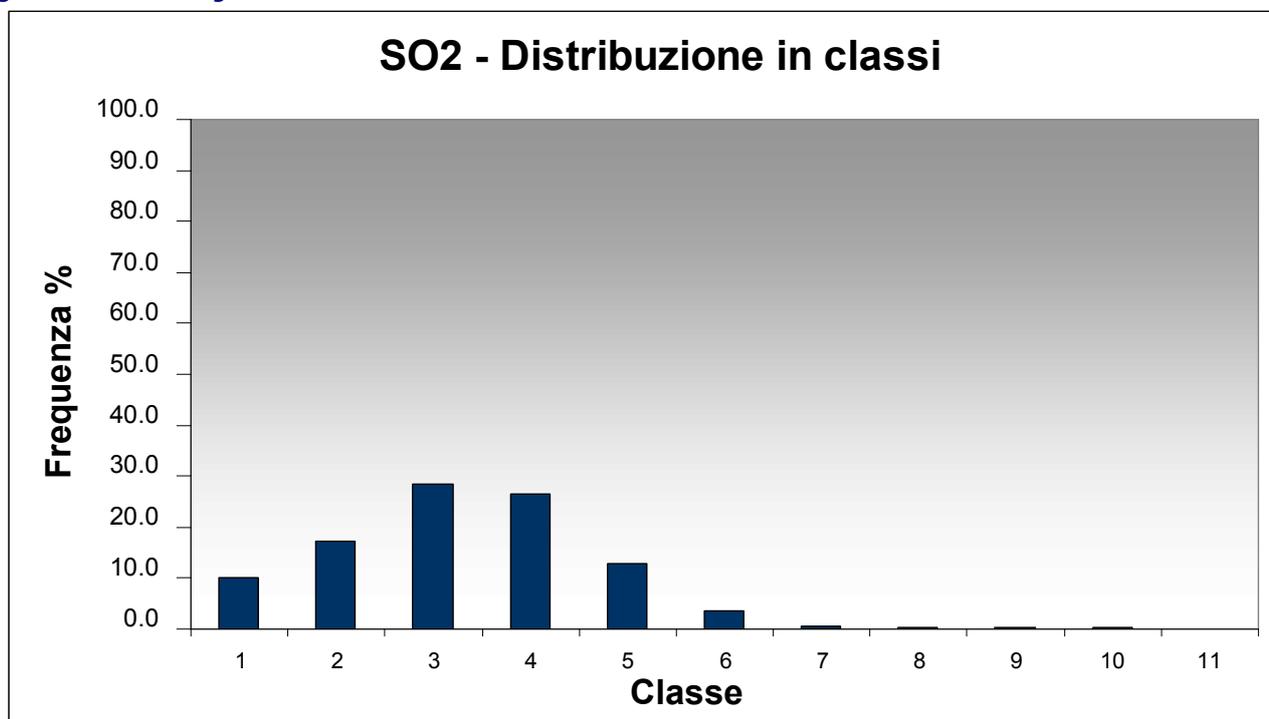
Biossido di azoto - NO₂

Grafico 1.4.3 dispersione valori orari Borgaccio /Via De Amicis



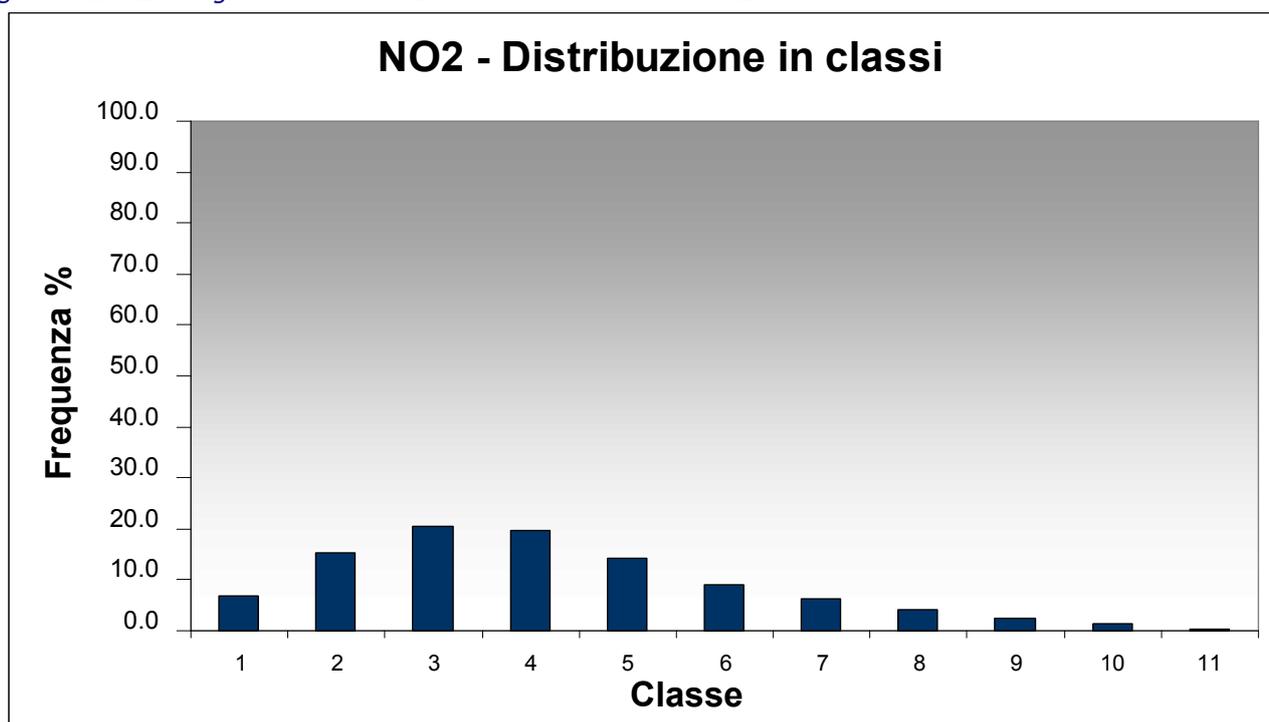
1.5 Distribuzione in classi

grafico 1.5.1. istogramma distribuzione in classi biossido di zolfo



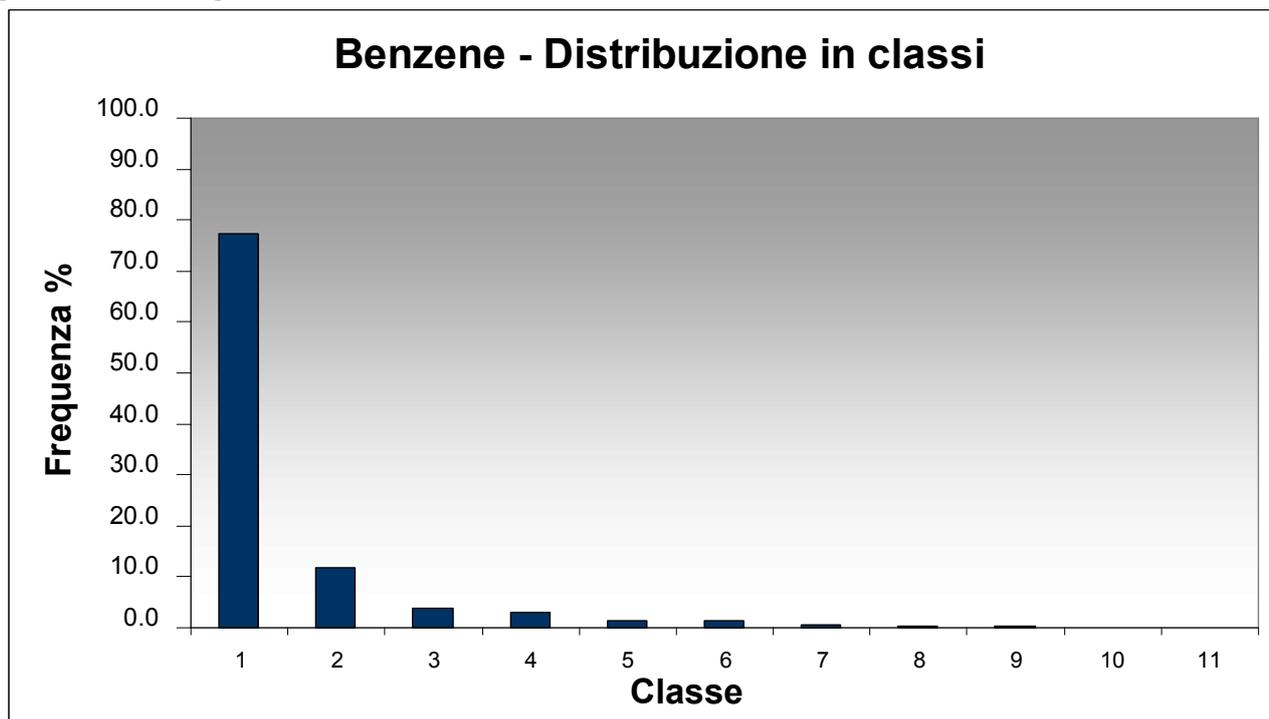
Estremi classe	Min ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Max ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1	0.0	0.7
2	0.7	1.4
3	1.4	2.1
4	2.1	2.8
5	2.8	3.5
6	3.5	4.2
7	4.2	4.9
8	4.9	5.6
9	5.6	6.3
10	6.3	7.0
11	7.0	7.7

grafico 1.5.2. istogramma distribuzione in classi biossido di azoto



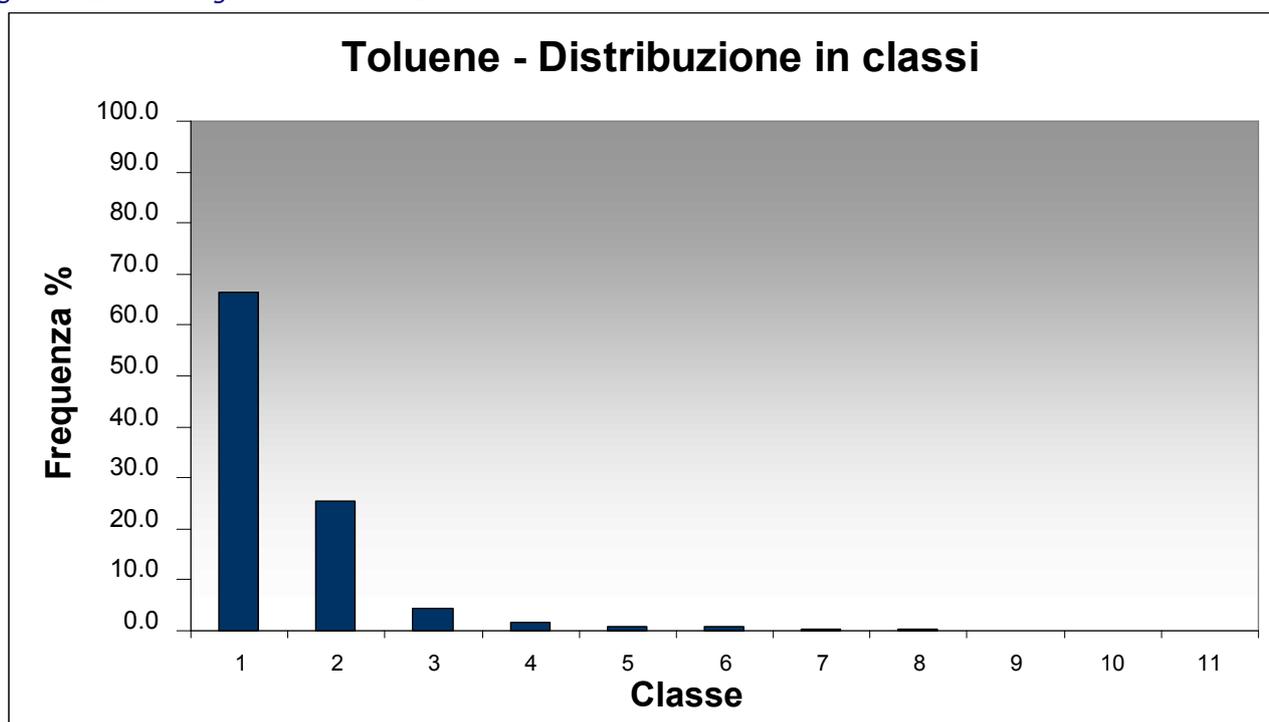
Estremi classe	Min ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Max ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1	3	11
2	11	20
3	20	28
4	28	37
5	37	45
6	45	54
7	54	62
8	62	70
9	70	79
10	79	87
11	87	96

grafico 1.5.3. istogramma distribuzione in classi benzene



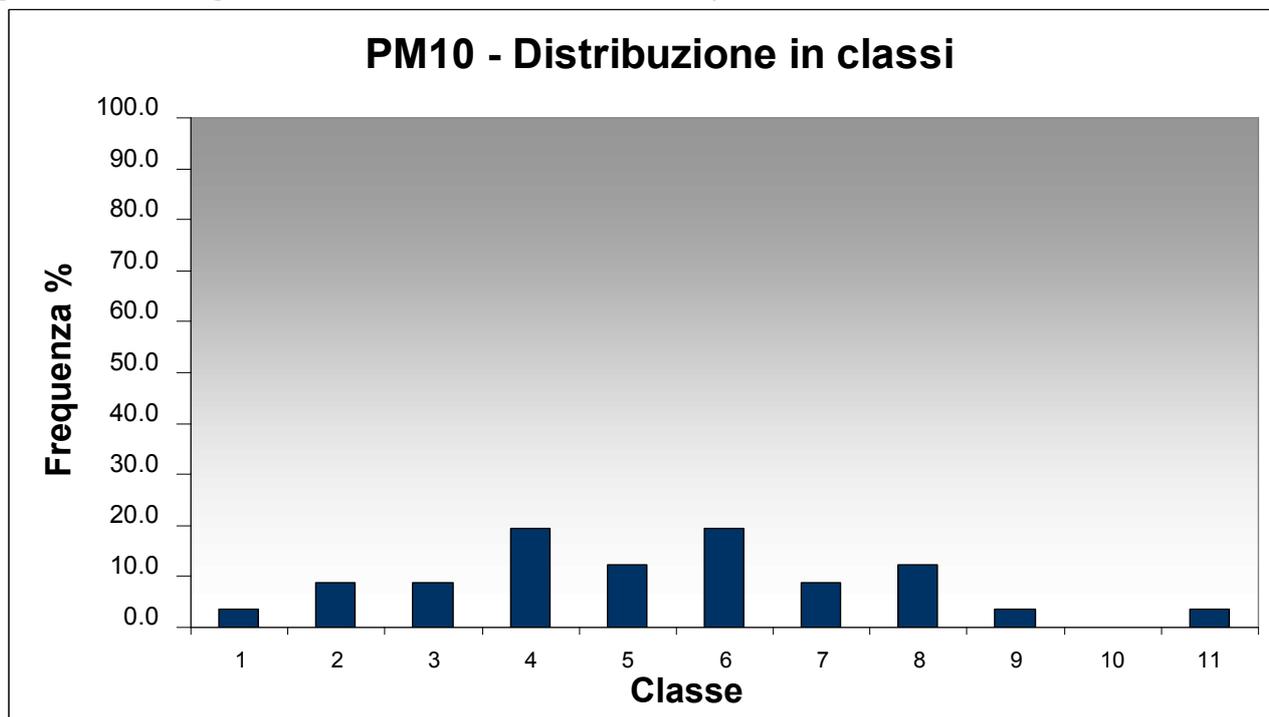
Estremi classe	Min ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Max ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1	0	1
2	1	2
3	2	4
4	4	5
5	5	6
6	6	7
7	7	8
8	8	9
9	9	11
10	11	12
11	12	13

grafico 1.5.4. istogramma distribuzione in classi toluene



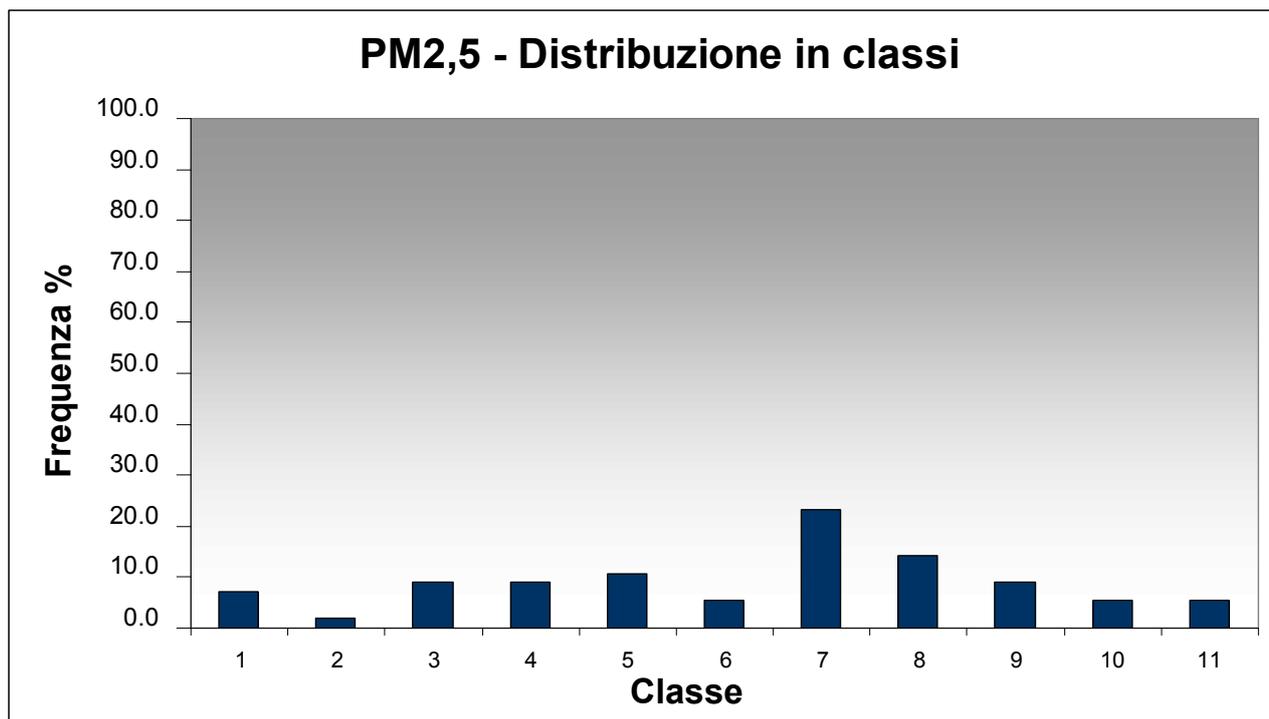
Estremi classe	Min ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Max ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1	0	6
2	6	12
3	12	18
4	18	24
5	24	29
6	29	35
7	35	41
8	41	47
9	47	53
10	53	59
11	59	65

grafico 1.5.5. istogramma distribuzione in classi materiale particolato PM10



Estremi classe	Min ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Max ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1	5	8
2	8	11
3	11	13
4	13	16
5	16	19
6	19	22
7	22	25
8	25	28
9	28	30
10	30	33
11	33	36

grafico 1.5.6. istogramma distribuzione in classi materiale particolato PM2,5



Estremi classe	Min ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Max ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1	2	3
2	3	5
3	5	6
4	6	8
5	8	9
6	9	11
7	11	12
8	12	14
9	14	15
10	15	17
11	17	18

Allegato 2 elaborazione dei dati meteorologici

grafico 2.1 andamenti valori medi orari – temperatura dell'aria

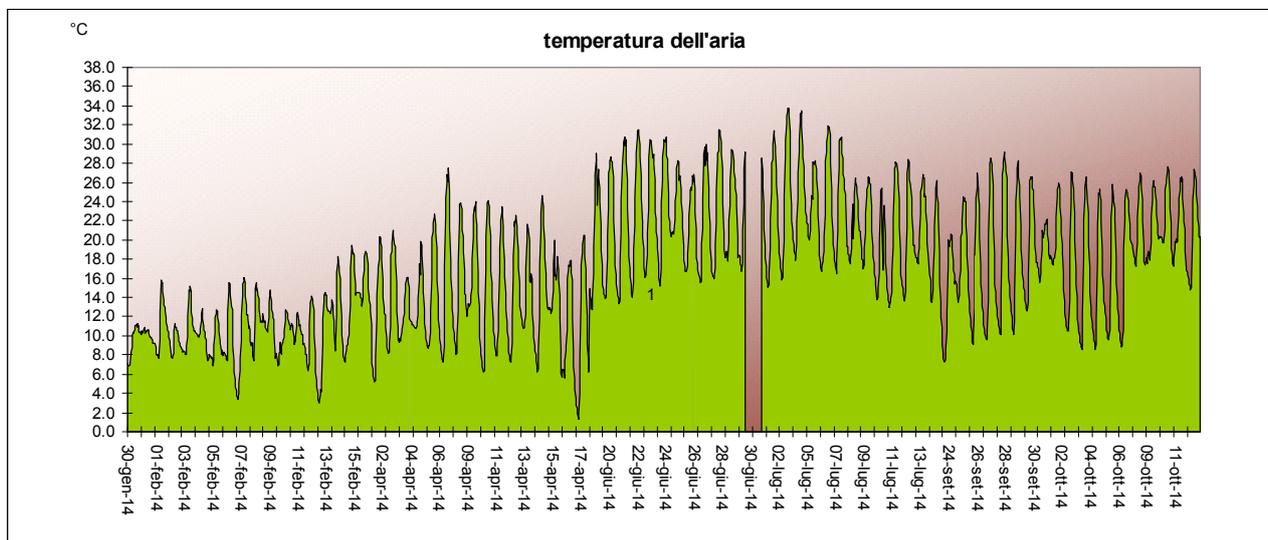


grafico 2.2 andamenti valori medi orari – umidità dell'aria

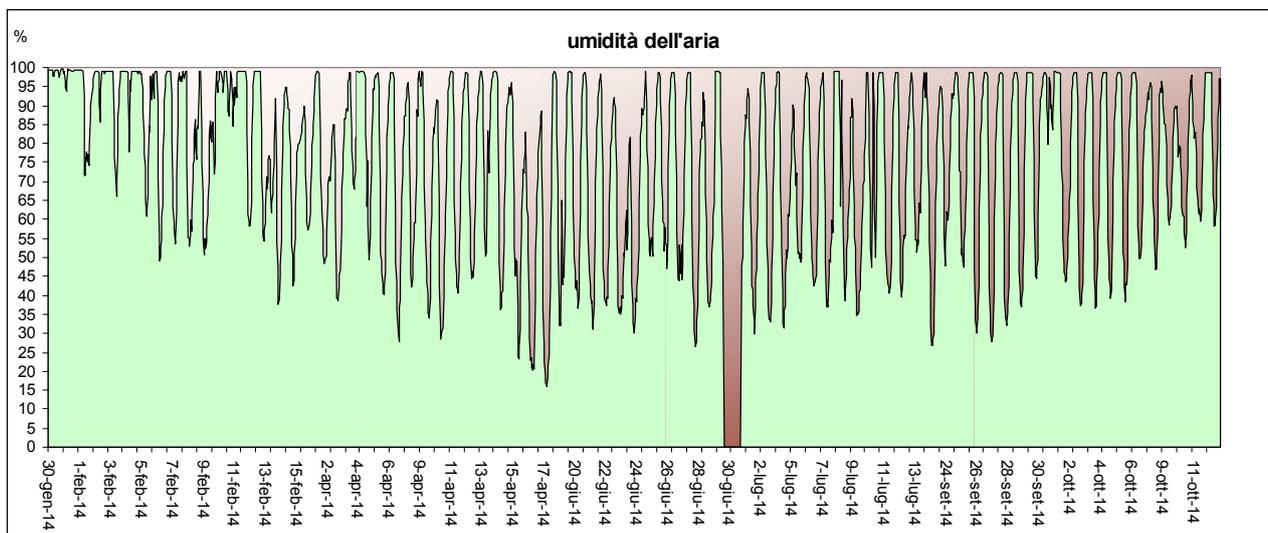


Tabella 2.1 indicatori di sintesi velocità del vento, temperatura ed umidità dell'aria

	TEMP (°C)	UMID. (%)
Minimo	1,3	16
Massimo	33,8	99,6
Mediana	16,8	81
Media	17,1	75

TEMP = temperatura dell'aria

UMID = umidità dell'aria

Allegato 3. Caratteristiche tecniche analizzatori/sensori

tabella 3.1 caratteristiche tecniche analizzatori e sensori meteo

Inquinante	Marca Modello	N. serie	Principio Misura	Limite Rilevabilità	Precisione
NOx	Thermo 42i	1289-074	Chemiluminescenza	0,40 ppb per misure mediate su 60 secondi	±0,4 ppb - campo 500 ppb
SO₂	PHILIPS K50206	28680-232	Fluorescenza UV	1 ppb con misure mediate su 60 secondi	% del valore letto o 1 ppb
PM10-PM2,5	FAI DC 5a	292	--	--	--
C₆H₆	Chromatec Air Toxic GC866	26881211	Gasromatografia PID	≤ 0,01 ppb (0,0325 µg/m ³ per il benzene)	< 2% su 48 ore a 1 ppb
TEMP/UMR	MTX FAR 091AA		termoresistenza al platino (Pt100) classe 1/3 DIN /capacitivo a polimeri igroscopici	risoluzione 0,01% U.R.	TEMP = +/- 0,1 °C UMR = da 5 a 95% u.r.: ± 1,5% u.r. < 5% u.r. e > 95% u.r.: ± 2% u.r

Allegato 4. Meccanismi di formazione degli inquinanti

OSSIDI DI AZOTO (NO/NO₂)

Il biossido di azoto (NO₂), è un gas di colore rosso bruno, di odore pungente ed altamente tossico, si forma in massima parte in atmosfera per ossidazione del monossido di azoto (NO), inquinante principale che si forma nei processi di combustione derivanti da autoveicoli, impianti di riscaldamento e impianti industriali; più elevata è la temperatura nella camera di combustione, più elevata è la produzione di NO. La concentrazione negli scarichi degli autoveicoli è maggiore in accelerazione e in marcia di crociera. Un'altra fonte di origine del biossido di azoto (NO₂), deriva, come peraltro già accennata per il monossido di azoto (NO), da processi di combustione ad alta temperatura per ossidazione dell'azoto presente nell'aria per il 78%. Il maggior contributo è dato dal traffico autoveicolare e, in ordine decrescente, da diesel pesanti, autovetture a benzina, diesel leggeri e autovetture catalizzate.

POLVERI con diametro aerodinamico < 2,5 µm (PM2,5)

Il particolato fine (PM) è un agente inquinante composto da un insieme di particelle che possono essere solide, liquide oppure solide e liquide insieme e che, sospese nell'aria, rappresentano una miscela complessa di sostanze organiche ed inorganiche. Queste particelle variano per dimensione, composizione ed origine. Le loro proprietà sono riassunte nel loro diametro aerodinamico, definito come dimensione della particella:

- la frazione con un diametro aerodinamico inferiore a 10 µm è chiamata PM10 e può raggiungere le alte vie respiratorie ed i polmoni;
- le particelle più piccole o fini sono chiamate PM2,5 (con un diametro aerodinamico inferiore a 2,5 µm); queste sono più pericolose perché penetrano più a fondo nei polmoni e possono raggiungere la regione alveolare.

La dimensione delle particelle determina anche la durata della loro permanenza nell'atmosfera. Mentre la sedimentazione e le precipitazioni rimuovono la frazione compresa tra 2,5 e 10 µm (PM10-2,5 detto anche frazione grossolana del PM10) dall'atmosfera nel giro di poche ore dall'emissione, il PM2,5 può rimanere nell'aria per giorni o perfino per settimane. Di conseguenza queste particelle possono percorrere distanze molto lunghe. I maggiori componenti del PM sono il solfato, il nitrato, l'ammoniaca, il cloruro di sodio, il carbonio, le polveri minerali e l'acqua. In base al meccanismo di formazione, le particelle si distinguono in primarie e secondarie.

Le particelle primarie sono direttamente immesse nell'atmosfera mediante processi naturali e prodotti dall'uomo (antropogenici). I processi antropogenici includono la combustione dei motori delle auto (sia diesel che a benzina); la combustione dei combustibili solidi (carbone, lignite, biomassa) di uso domestico; le attività industriali (attività edili e minerarie, lavorazione del cemento, ceramica, mattoni e fonderie); le erosioni del manto stradale causate dal traffico e le polveri provenienti dall'abrasione di freni e pneumatici; e le attività nelle cave e nelle miniere.

Le particelle secondarie si formano nell'aria a seguito di reazioni chimiche di inquinanti gassosi e sono il prodotto della trasformazione atmosferica del biossido di azoto, principalmente emesso dal traffico e da alcuni processi industriali, e del biossido di zolfo, che risulta dalla combustione di carburanti contenenti zolfo. Le particelle secondarie si trovano principalmente nella frazione del PM fine.

Il PM2,5 è la frazione più fine del PM10, costituita dalle particelle con diametro uguale o inferiore a 2,5 µm. Il PM 2,5 è il particolato più pericoloso per la salute e l'ambiente: questo particolato può rimanere sospeso nell'atmosfera per giorni o settimane.

Le particelle maggiori (da 2,5 a 10 µm) rimangono in atmosfera da poche ore a pochi giorni, contribuiscono poco al numero di particelle in sospensione, ma molto al peso totale delle particelle in sospensione. Sono significativamente meno dannose per la salute e l'ambiente.

Il PM 2,5 è una miscela complessa di migliaia di composti chimici e, alcuni di questi sono di estremo interesse a causa della loro tossicità. L'attenzione è rivolta agli idrocarburi aromatici policiclici (PHA) che svolgono un ruolo nello sviluppo del cancro. Alcuni nomi: Fluoranthene, Pyrene, Chrysene, Benz[a]anthracene, Benzo[b]fluoranthene, benzo[k]fluoranthene, Benzo[a]pyrene, Dibenz[a,h]anthracene.

La valutazione sistematica dei dati completata nel 2004 dall'OMS Europa, indica che:

- il PM aumenta il rischio dei decessi respiratori nei neonati al di sotto di 1 anno, influisce sullo sviluppo delle funzioni polmonari, aggrava l'asma e causa altri sintomi respiratori come la tosse e la bronchite nei bambini;
- il PM2,5 danneggia seriamente la salute aumentando i decessi per malattie cardio-respiratorie e cancro del polmone. La crescita delle concentrazioni di PM2,5 aumenta il rischio di ricoveri ospedalieri d'emergenza per malattie cardiovascolari e respiratorie;
- il PM10 ha un impatto sulle malattie respiratorie, come indicato dai ricoveri ospedalieri per questa causa.

Nell'ultimo decennio in molte città europee sono stati condotti alcuni studi sugli effetti del PM nel breve periodo, basati sull'associazione tra i cambiamenti giornalieri delle concentrazioni di PM10 e i vari effetti sulla salute. In generale, i risultati indicano che i cambiamenti di PM10 nel breve periodo ad ogni livello implicano cambiamenti nel breve periodo degli effetti acuti in termini di salute.

Gli effetti relativi all'esposizione nel breve periodo comprendono: infiammazioni polmonari, sintomi respiratori, effetti avversi nel sistema cardiovascolare, aumento della richiesta di cure mediche, dei ricoveri ospedalieri e della mortalità.

Poiché l'esposizione al PM causa nel lungo periodo una sostanziale riduzione dell'attesa di vita, gli effetti nel lungo periodo sono chiaramente più significativi per la salute pubblica di quelli nel breve periodo. Il PM2,5 si associa maggiormente alla mortalità, indicando un aumento del 6% del rischio di morte per tutte le cause per ogni aumento di 10µg/m³ nelle concentrazioni di PM2,5 sul lungo periodo.

Gli effetti relativi all'esposizione nel lungo periodo comprendono: aumento dei sintomi dell'apparato respiratorio inferiore e delle malattie polmonari ostruttive croniche, riduzione delle funzioni polmonari nei bambini e negli adulti, e riduzione dell'attesa di vita causata principalmente da mortalità cardiopolmonare e dal cancro al polmone.

Studi su larga scala mostrano gli effetti significativi del PM_{2,5} in termini di mortalità, ma non sono in grado di identificare una soglia al di sotto della quale il PM non ha effetti sulla salute: cosiddetto livello senza effetti. Dopo un'analisi completa dei nuovi dati scientifici, un gruppo di lavoro dell'OMS ha recentemente concluso che, se esiste un limite per il PM, questo è individuabile nella fascia più bassa delle concentrazioni di PM attualmente riscontrate nella Regione Europea.

BIOSSIDO DI ZOLFO (SO₂)

Uso di combustibili fossili (carbone e derivati del petrolio). Negli ultimi 10 anni si è osservata una netta tendenza alla diminuzione delle emissioni di SO₂, attribuibile alle modifiche nel tipo e nella qualità dei combustibili usati a minor contenuto di zolfo. Un contributo determinante per la diminuzione di emissioni di SO₂ è stato fornito dalla larga diffusione della metanizzazione.

BENZENE (H₆C₆)

Il benzene (comunemente chiamato benzolo) è un idrocarburo che si presenta come un liquido volatile, capace cioè di evaporare rapidamente a temperatura ambiente, incolore e facilmente infiammabile. E' il capostipite di una famiglia di composti organici che vengono definiti aromatici, per l'odore caratteristico. E' un componente naturale del petrolio (1-5% in volume) e dei suoi derivati di raffinazione.

Nell'atmosfera la sorgente più rilevante di benzene è rappresentata dal traffico veicolare, principalmente dai gas di scarico dei veicoli alimentati a benzina, nei quali viene aggiunto al carburante (la cosiddetta benzina verde) come antidetonante, miscelato con altri idrocarburi (toluene, xilene, ecc.) in sostituzione del piombo tetraetile impiegato fino a qualche anno fa. In piccola parte il benzene proviene dalle emissioni che si verificano nei cicli di raffinazione, stoccaggio e distribuzione della benzina. Durante il rifornimento di carburante dei veicoli si liberano in aria quantità significative del tossico, con esposizione a rischio del personale addetto ai distributori. Nell'industria il benzene ha trovato in passato largo impiego come solvente soprattutto a livello industriale e artigianale (produzione di calzature, stampa a rotocalco, ecc.), finché la dimostrazione della sua tossicità e della sua capacità di indurre tumori ha portato ad una legge che ne limita drasticamente la concentrazione nei solventi. Per lo stesso motivo l'utilizzazione in cicli industriali aperti e nella produzione di prodotti di largo consumo (plastiche, resine, detersivi, pesticidi, farmaci, vernici, collanti, inchiostri e adesivi) è stata fortemente limitata ed è regolata da precise normative dell'Unione Europea. Nei prodotti finali il benzene si può ritrovare in quantità molto limitate, anch'esse regolate per legge. Attualmente viene impiegato soprattutto come materia prima per la chimica di sintesi di composti organici come fenolo, cicloesano, stirene e gomma in lavorazioni a ciclo chiuso. Solo in piccola parte si forma per cause naturali come gli incendi di boschi o di residui agricoli o le eruzioni vulcaniche. E' presente in quantità significative nel fumo di sigaretta.

Il benzene è facilmente assorbito quasi esclusivamente per inalazione, mentre è trascurabile la penetrazione attraverso il contatto cutaneo. Si accumula nei tessuti ricchi di grasso (tessuto adiposo, midollo osseo, sangue e fegato), dove viene metabolizzato per essere poi rapidamente eliminato nelle urine e nell'aria espirata. Per esposizioni acute, anche di breve durata (possibili in passato negli ambienti di lavoro o accidentalmente nelle condizioni attuali), si manifestano sintomi di depressione del sistema nervoso centrale (nausea, vertigini, fino alla narcosi) e irritazione della pelle e delle mucose. Sicuramente dimostrata la capacità cancerogena del benzene, classificato dallo IARC (Agenzia Internazionale per la Ricerca sul

Cancro) in classe 1 come cancerogeno certo per l'uomo. E' stata infatti accertata la capacità di causare leucemie acute e croniche, alle concentrazioni presenti in passato negli ambienti di lavoro, con un rischio proporzionale alla dose cumulativa. L'effetto cancerogeno sembra essere legato, come per altre sostanze, all'azione di metaboliti intermedi che si formano nell'organismo. Alle concentrazioni di benzene presenti attualmente in ambiente urbano non sono stati osservati effetti tossici sulle cellule del sangue. Va comunque ribadito che per i cancerogeni non esistono limiti certi di sicurezza, vale a dire livelli soglia al di sotto dei quali vi sia la certezza che non si verifichi un'aumentata probabilità di contrarre la malattia. Tuttavia bisogna ricordare che nella valutazione del rischio va considerata non solo la concentrazione di benzene in atmosfera, in considerazione del limitato tempo di esposizione all'aperto, ma soprattutto l'esposizione in ambienti confinati (inquinamento indoor) e l'introduzione con i cibi. L'esposizione è soggetta a significative variazioni in rapporto alle stagioni, all'attività fisica all'aperto, alla residenza in prossimità di vie di grande traffico o di sorgenti puntiformi di benzene, ma soprattutto al fumo di sigaretta, attivo e passivo.

Allegato 5. Limiti normativi

La legenda sottostante fornisce alcune spiegazioni in merito ai termini indicati dal D.Lgs. 155/2010 e smi.

DATA DI CONSEGUIMENTO: data effettiva in cui il valore limite deve essere rispettato senza l'applicazione del relativo margine di tolleranza.

VALORE BERSAGLIO: livello di ozono fissato al fine di evitare a lungo termine (anno 2010) effetti nocivi sulla salute umana e sull'ambiente nel suo complesso, da conseguirsi per quanto possibile entro un dato periodo di tempo.

OBIETTIVO A LUNGO TERMINE: concentrazione di ozono nell'aria al di sotto della quale si ritengono improbabili, in base alle conoscenze scientifiche attuali, effetti nocivi diretti sulla salute umana e sull'ambiente nel suo complesso. Tale obiettivo è conseguito nel lungo periodo, sempreché sia realizzabile mediante misure proporzionate, al fine di fornire un'efficace protezione della salute umana e dell'ambiente.

SOGLIA DI ALLARME: livello di ozono oltre il quale vi è un rischio per la salute umana in caso di esposizione di breve durata e raggiunto il quale devono essere adottate le misure previste dall'articolo 10 del D.Lgs. 155/2010.

SOGLIA DI INFORMAZIONE: livello di ozono oltre il quale vi è un rischio per la salute umana in caso di esposizione di breve durata per alcuni gruppi particolarmente sensibili della popolazione e raggiunto il quale devono essere adottate le misure previste dall'articolo 10 del D.Lgs. 155/2010.

MEDIA MOBILE SU 8 ORE MASSIMA GIORNALIERA: è determinata esaminando le medie consecutive su 8 ore di ozono, calcolato in base a dati orari e aggiornate ogni ora. Ogni media su 8 ore in tal modo calcolata è assegnata al giorno nel quale la stessa termina; conseguentemente, la prima fascia di calcolo per ogni singolo giorno è quella compresa tra le ore 17:00 del giorno precedente e le ore 16:00 e le ore 24:00 del giorno stesso.

Tabella 1 all. 5 OSSIDI DI AZOTO – normativa e limiti (D.Lgs. 155/2010)

NO₂-NO_x	Periodo di Mediazione	Valore limite
Valore limite orario per la protezione della salute umana.	1 ora	200 µg/m ³ NO ₂ da non superare più di 18 volte per l'anno civile.
Valore limite annuale per la protezione della salute umana	Anno civile	40 µg/m ³ NO ₂
Valore limite annuale per la protezione della vegetazione	Anno civile	30 µg/m ³ NO _x
Soglia di allarme	Anno civile Superamento di 3 ore consecutive	400 µg/m ³ NO ₂

Tabella 2 all. 5 Materiale particolato PM_{2,5} – normativa e limiti (D.Lgs. 155/2010)

PM_{2,5}	Periodo di mediazione	Valori limite	Data alla quale il valore limite deve essere raggiunto
Valore limite annuale per la protezione della salute umana	Anno civile	25 µg/m ³ è applicato un margine di tolleranza del 20 % al giorno 11 giugno 2008, con riduzione il 1 gennaio successivo e successivamente ogni 12 mesi secondo una percentuale annua costante fino a raggiungere lo 0% il 1 gennaio 2015	1.01.2015
Obbligo di Concentrazione di esposizione per evitare effetti nocivi sulla salute umana	Anno civile	20 µg/m ³	1.01.2015
Valore Obiettivo per la protezione della salute umana	Anno civile	25 µg/m ³	01.01-2010

Tabella 3 all. 5 Materiale particolato PM10 – normativa e limiti (D.Lgs. 155/2010)

	Periodo di mediazione	Valori limite
Valore limite di 24 ore per la protezione della salute umana	24 ore	50 µg/m ³ PM10 da non superare più di 35 volte per anno civile
Valore limite annuale per la protezione della salute umana	Anno civile	40 µg/m ³ PM10

Tabella 4 all. 5 BISSIDO DI ZOLFO – normativa e limiti (D.Lgs. 155/2010)

	Periodo di mediazione	Valore limite
Valore limite orario per la protezione della salute umana.	1 ora	350 µg/ m ³ da non superare più di 24 volte per l'anno civile.
Valore limite di 24 ore per la protezione della salute umana	24 ore	125 µg/ m ³ da non superare più di 3 volte per anno civile
Livello critico per la protezione della vegetazione	Anno civile	20 µg/m ³
Livello critico per la protezione della vegetazione	Livello critico invernale (1 ottobre – 31 marzo)	20 µg/m ³
Soglia di allarme	Anno civile Superamento di 3 ore consecutive	500 µg/m ³

Tabella 5 all.5 BENZENE – Limiti di riferimento (D.Lgs. 155/2010 all. XI e s.m.i.).

VALORE DI RIFERIMENTO	Periodo di mediazione	Valori limite
Valore Limite annuale per la protezione della salute umana	Anno civile	5 µg/m ³

Tabella 6 all.5 TOLUENE – Valori di riferimento (Valori Guida OMS – UK Environment Agency)

VALORE DI RIFERIMENTO	Periodo di mediazione	Valori riferimento
Valore guida di tutela sanitaria	1 settimana	260 µg/m ³
Valore guida di tutela dalle maleodoranze	30 minuti	1000 µg/m ³
Soglia di rilevamento olfattivo	30 minuti	1000 µg/m ³
Soglia di riconoscimento olfattivo	30 minuti	10000 µg/m ³
Valore di protezione della salute umana	1 anno	1910 µg/m ³
Valore di protezione della salute umana	1 ora	8000 µg/m ³