

COMUNE DI FORLÍ

Campagna di monitoraggio 2015 con campionatori passivi per la determinazione di benzene e biossido di azoto in ambito urbano

Responsabile di progetto: *Paolo Veronesi*

Gruppo di lavoro: *Cristina Mariotti, Maria Cristina Verna, Paolo Vittori.*

Giugno 2016

Indice

1.Introduzione

2.Riferimenti normativi

3.Metodologia

4.Analisi dei dati

5.Analisi dei dati storici

6.Conclusioni

1.Introduzione

La presente relazione si colloca nell'ambito di una serie di monitoraggi che, avviata nel 2006 sulla base di una specifica convenzione stilata tra la scrivente sezione Arpa e l'Amministrazione Comunale di Forlì, è proseguita negli anni andando a costituire un utile supporto per la determinazione delle criticità del territorio.

L'ubicazione ed il numero di campionatori passivi utilizzati fu inizialmente definito in base ad un protocollo tecnico, concordato con il Settore Tutela dell'Ambiente e del Territorio del Comune di Forlì; rispetto al protocollo iniziale, nel 2008 fu aggiunto il punto di monitoraggio di via Quarantola su richiesta del Comune, dato il particolare interesse dei residenti nella zona.

In seguito, la rete di monitoraggio è stata riorganizzata sia riducendo il numero di postazioni da 35 a 30, sia modificando l'ubicazione di alcune di esse, mantenendo comunque i punti più significativi sulla base dei dati storici raccolti ed integrandoli con nuovi individuati al fine di verificare l'impatto del traffico in funzione delle modifiche intervenute sulla viabilità urbana a seguito dell'apertura di un tratto della nuova tangenziale. Nel 2013, d'intesa con il Comune di Forlì, il monitoraggio è stato esteso anche alle aree interessate dai flussi di traffico derivanti dall'apertura di un ulteriore tratto di tangenziale, inserendo nella rete di monitoraggio quattro nuove postazioni.

2.Riferimenti normativi

D.Lgs. n°155 del 13 agosto 2010 "Attuazione della Direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa" e successive modifiche ed integrazioni (**DLgs n°250 del 24.12.2012**).

Il Decreto, entrato in vigore il 30/09/2010, recepisce la direttiva 2008/50/CE e sostituisce le disposizioni di attuazione della direttiva 2004/107/CE; i precedenti riferimenti normativi risultano abrogati a partire dalla data di entrata in vigore del Decreto.

BENZENE

- **Valore limite per la *protezione della salute umana* (media annua): 5,0 µg/m³**

Soglia di valutazione superiore : 3,5 µg/m³ (70% del valore limite annuale)

Soglia di valutazione inferiore : 2 µg/m³ (40% del valore limite annuale)

BIOSSIDO D'AZOTO

- **Valore limite orario per la *protezione della salute umana* (media oraria da non superare più di 18 volte nel corso dell'anno): 200 µg/m³**

Soglia di valutazione superiore : 140 µg/m³ (70% del valore limite orario)

Soglia di valutazione inferiore : 100 µg/m³ (50% del valore limite orario)

- **Valore limite annuale per la *protezione della salute umana* (media annua): 40 µg/m³**

Soglia di valutazione superiore : 32 µg/m³ (80% del valore limite annuale)

Soglia di valutazione inferiore : 26 µg/m³ (65% del valore limite annuale)

- **Soglia di allarme (media oraria): 400 µg/m³**

- **Valore limite annuale per la *protezione della vegetazione* (media annua NOx) 30 µg/m³**

Soglia di valutazione superiore : 24 µg/m³ (80% del livello critico annuale)

Soglia di valutazione inferiore : 19.5 µg/m³ (65% del livello critico annuale)

3. Metodologia

I metodi di campionamento passivi sono basati sul campionamento diretto della specie inquinante in atmosfera tramite la diffusione gassosa su di un mezzo opportuno realizzato.

I metodi di campionamento passivo si differenziano dai metodi tradizionali "attivi" in quanto non fanno uso di pompe (campionatori). Nelle tecniche di campionamento attivo, (vedi ad esempio i tubi di diffusione anulari o i filterpack) l'analisi delle soluzioni contenenti la specie corrispondente all'inquinante campionato, ad un flusso tipicamente di un litro al minuto, permette di risalire alla quantità della specie in osservazione, e quindi alla sua concentrazione in aria durante il periodo di campionamento, essendo conosciuto il volume di aria prelevato. Nel

caso del campionamento passivo il flusso equivalente di campionamento corrisponde a pochi centimetri cubici di aria al minuto.

Il funzionamento di un campionatore passivo può, in generale, essere descritto facendo riferimento alla prima legge di Fick, che stabilisce che il flusso diffusionale (J) di una determinata specie è direttamente proporzionale al coefficiente di diffusione del gas in aria (D) e alla differenza di concentrazione attraverso la barriera di diffusione, mentre è inversamente proporzionale al cammino diffusionale.

$$J = -DA \frac{dc}{dl}$$

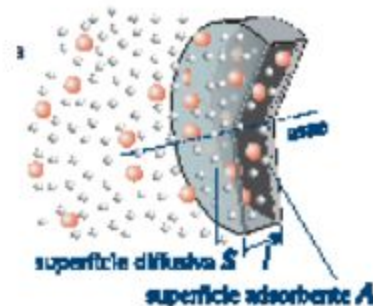
J : flusso diffusionale

D : coefficiente di diffusione del gas

A : superficie adsorbente

S : superficie diffusiva

dc/dl : gradiente di concentrazione



Assumendo che la concentrazione dell'inquinante sia zero sulla superficie delle reticelle impregnate e che la concentrazione all'ingresso del tubo sia la concentrazione in ambiente da determinare, si può parlare di un flusso di campionamento (direttamente proporzionale al coefficiente di diffusione e all'area della superficie esposta ed inversamente al cammino diffusionale) anche se non si ha a che fare con un movimento di masse d'aria vero e proprio.

I vantaggi offerti da tale tecnica sono immediatamente evidenti e comprendono il basso costo, l'assenza di manutenzione di strumentazione altrimenti costosa, lo scarso ingombro, la silenziosità, la possibilità di campionare senza bisogno di alimentazione elettrica e infine la possibilità di monitorare più punti contemporaneamente per ottenere una "mappatura" dell'inquinante in una determinata area.

L'uso dei campionatori passivi per lo studio dell'inquinamento in ambienti interni o in ambienti di lavoro è conosciuto da lungo tempo. Lo studio dei principi della diffusione gassosa nei solidi, nei liquidi e nei gas risale del resto agli anni '30. Solo successivamente, all'incirca agli inizi degli anni '70, cominciarono ad apparire in letteratura esempi di campionamenti effettuati utilizzando la metodica del campionamento passivo. Negli anni successivi, numerosi altri dispositivi per il campionamento passivo sono stati studiati in laboratorio e quindi applicati in indagini di campo, principalmente per l'analisi di inquinanti organici negli ambienti di lavoro.

In considerazione dei limiti di rilevabilità piuttosto alti che questo metodo possiede (occorre considerare infatti, come già detto, che il flusso di campionamento di un campionatore passivo corrisponde a pochi centimetri cubici di aria al minuto), i campionatori passivi hanno inizialmente conosciuto una certa popolarità e applicazione soprattutto in ambito di igiene del lavoro, ovvero per il monitoraggio della esposizione del singolo lavoratore in ambienti industriali che possono essere caratterizzati da concentrazioni di inquinanti 2 o 3 ordini di

grandezza più elevate rispetto a quelle caratteristiche dell'aria ambiente. L'attrattiva esercitata dall'aver a disposizione un sistema con caratteristiche così favorevoli ha dato impulso allo studio di sistemi passivi per il campionamento di numerosi inquinanti in aria ambiente. Gli inquinanti per i quali sono stati studiati sistemi di campionamento sono numerosi, tra questi ricordiamo NO₂, NO_x, O₃, benzene, formaldeide e acidi organici. Vari studi effettuati sia in laboratorio che durante campagne di misura, hanno dimostrato che l'applicabilità di un metodo passivo, oltre che dipendere dal limite di rilevabilità, è fortemente influenzata da un certo numero di fattori, che vanno dalla temperatura all'umidità relativa e soprattutto alla velocità del vento. Queste cause di errore, se non riconosciute, rendono il campionamento critico e soggetto ad errori inaccettabili.

Il D.Lgs. n°155 del 13 agosto 2010 stabilisce gli obiettivi di qualità del dato per le misure in continuo, per i modelli e per le misure indicative, categoria questa alla quale appartiene il campionamento diffusivo.

In merito a quest'ultimo tipo di misure, il decreto indica un valore massimo di incertezza, pari al 25% per il biossido di azoto e al 30% per il benzene; stabilisce inoltre il periodo minimo di copertura pari al 14%, ottenibile mediante una misura in un giorno fisso di ogni settimana per un anno oppure otto settimane distribuite uniformemente in un anno.

Nel definire operativamente le campagne di misura, sin dal 2006 si è scelto di optare per la riduzione del periodo di copertura in favore di un maggior numero di punti di monitoraggio. La copertura, infatti è inferiore al 14% uniformemente distribuito nel corso dell'anno previsto dalla normativa, ma raggiunge circa il 6% distribuito su tre campagne annuali, due delle quali in periodi critici per l'accumulo di inquinanti (autunno e inverno), ed una in periodo primaverile. Il privilegiare, a parità di investimento, l'utilizzo di un maggior numero di punti di misura ha lo scopo di poter disporre di sufficienti dati per poter giungere, mediante l'uso della modellistica, all'individuazione di aree nel territorio comunale con livelli di inquinamento omogenei.

Campionamento ed analisi di laboratorio

Sono stati impiegati i campionatori RADIELLO, la cui tecnica è stata sviluppata dalla Fondazione Salvatore Maugeri di Pavia. Questo campionatore nella sua formulazione base è costituito da:



- una cartuccia adsorbente lunga 60 mm con diametro di 4,8 mm,
- un corpo diffusivo,
- una piastra di supporto in policarbonato che serve sia da tappo che da sostegno del corpo diffusivo; è dotata di filetto per l'avvitamento;

I siti di campionamento sono scelti in modo da assicurare intorno ai campionatori un ampio movimento d'aria, evitando superfici dove una possibile alta velocità di deposizione possa creare, vicino all'estremità aperta del tubo, un decremento locale della concentrazione di inquinante. Analogamente sono evitati i siti dove l'aria è stagnante, perché in questo modo si accresce il percorso diffusionale del gas.

Nel momento in cui i campionatori vengono aperti o inseriti viene annotata la data, l'ora e il sito. Alla fine del campionamento i tubi vengono richiusi con i tappi trasparenti e viene segnata la data e l'ora; vengono quindi inviati al Laboratorio integrato della sezione provinciale Arpa di Ravenna insieme alle specifiche relative al sito e alla durata del campionamento.

Criteri per la scelta dei siti e della durata del campionamento

Un primo aspetto critico per l'utilizzo dei campionatori passivi è la scelta del sito di monitoraggio. Il criterio generale deve essere l'identificazione dei siti tra quelli in cui l'esposizione all'inquinante è significativa per la salute ovvero in quelli in cui:

- la concentrazione è più elevata
- il tempo di esposizione è più elevato
- il numero dei soggetti esposti è più elevato

Le tre caratteristiche sono tipiche in ambiente urbano nelle zone residenziali ad elevato traffico veicolare, ed è appunto in questo contesto che l'utilizzo dei campionatori passivi ha avuto grande applicazione. Al fine di ottenere risultati affidabili è opportuno seguire alcune precauzioni riguardo la scelta dei siti dove effettuare l'esposizione dei campionatori passivi. In particolare occorre:

1. Suddividere l'area da monitorare in un grigliato. Sebbene non sia possibile dare indicazioni assolute, si può indicare in generale che la larghezza della griglia debba essere variabile da 0.5 a 3 km. Nel caso di studio la scelta è stata, come detto, di considerare maglie di 1000 m di lato.
2. Selezionare per ciascuna cella uno o più siti rappresentativi della qualità dell'aria nella cella. È importante che la concentrazione nella postazione scelta sia rappresentativa della concentrazione di fondo in quella determinata cella.
3. Selezionare alcuni hot spot in prossimità di fonti emissive. La densità dei punti di campionamento nella griglia può variare in funzione delle fonti emissive.
4. Installare alcuni duplicati per la QA/QC.

Un altro aspetto importante nell'uso dei campionatori passivi risiede nella determinazione della durata e del periodo di campionamento. In particolare regole del tutto generali indicano che la durata e il periodo di campionamento sono determinati dai seguenti fattori:

- Il limite di rilevabilità del metodo determina la durata del campionamento. Un parametro che risulta importante è la capacità massima operativa di campionamento. Alcuni campionatori ottimizzano i parametri relativi al rapporto tra velocità di captazione e capacità di carico e sono in grado di lavorare entro un intervallo di concentrazioni elevate e per lunghi periodi, mentre altri privilegiano bassi limiti di rilevabilità.
- Periodi più brevi aumentano la risoluzione temporale, ma fanno aumentare il numero delle misure e quindi il supporto logistico per la esposizione e per la raccolta dei tubi di diffusione deve essere attentamente

valutato. Un campionamento effettuato per un periodo troppo breve comporta il rischio di avere dati difficilmente interpretabili in quanto non rappresentativi.

- Ogni inquinante ha sue caratteristiche temporali. Ad esempio per il biossido d'azoto si consiglia un campionamento invernale durante il quale si ha l'influenza del traffico e del riscaldamento in regimi meteo di inversione e un campionamento in estate durante il quale si ha preminente l'effetto del traffico e della attività fotochimica.

I campionatori Radiello vengono lasciati a campionare per un periodo di una settimana ed hanno pertanto una equivalente copertura temporale.

Criteri per l'interpretazione dei risultati

E' opportuno premettere che i valori ottenuti dalle analisi effettuate con i campionatori passivi non sono riconducibili ai valori di legge; la metodologia impiegata è infatti diversa da quanto previsto dal DLgs. 155/2010, inoltre la copertura temporale delle misure è di molto inferiore a quella annuale cui sono riferiti i limiti normativi. L'uso dei campionatori passivi effettuato seguendo le raccomandazioni di cui ai precedenti punti permette tuttavia di stimare i livelli di fondo dell'inquinamento ai quali la popolazione è esposta in quanto consente di costruire una rappresentazione spaziale dei punti critici delle zone urbane al fine di poter mettere in atto misure di miglioramento.

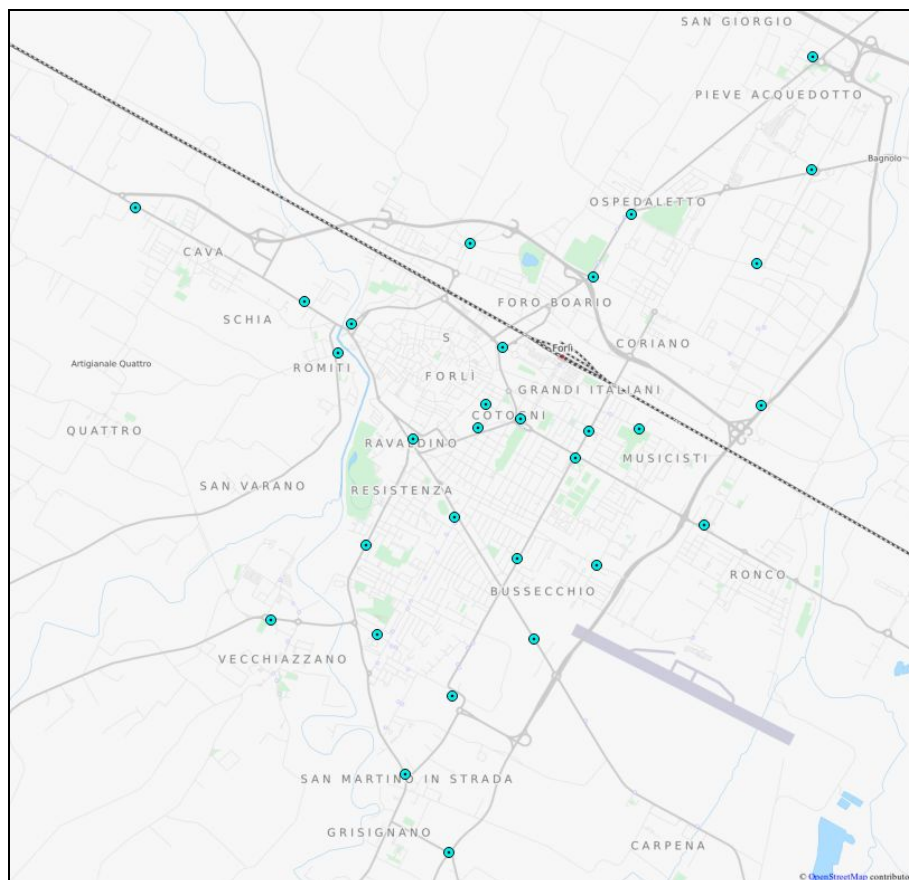
Ubicazione dei siti di monitoraggio con campionatori passivi

La campagna di monitoraggio primaverile si è dimostrata nel corso degli anni quella meno significativa sia perché i valori riscontrati sono sempre stati radicalmente inferiori rispetto a quelli riscontrati nel resto dell'anno sia perché su valori così bassi i siti più critici non sono necessariamente quelli che poi mantengono la criticità nel resto dell'anno. Per questi motivi nel corso del 2015 le campagne sono state ridotte a due. Sono stati rimossi due siti, il numero 9 (via Andrea Costa) e il numero 24 (via Balzella). Al loro posto sono stati individuati i siti di Via Cerchia e via Monda al fine di monitorare nella sua interezza le entrate e le uscite nella tangenziale. Il sito di via Golfarelli è stato ricollocato a qualche metro di distanza al fine di un più agevole prelievo.

Campagne di monitoraggio 2015

Parametro	Tipo di campionario	Periodo misura	n° siti
BTX	Radiello	febbraio, dicembre 2015	30
NO ₂	Radiello	febbraio, dicembre 2015	30

Nella mappa seguente e nella tabella successiva sono indicati i punti di monitoraggio del 2015.



ID	Localizzazione
1	V.le Roma
2	Viale Italia
3	P.le Ravaldino
4	Via Campo di Marte
5	P.le della Vittoria
6	Via Ravegnana – Ospedaletto
7	V.le Bologna
8	Via Dragoni
9	Via Cerchia
10	Via Placucci
11	Via Risorgimento
12	Via dell'Appennino
13	Via Roma
14	Via Quarantola
15	Via C. degli Svizzeri
16	Viale Italia
17	Via Ravegnana – rotonda A14
18	Via Correcchio
19	Viale Bologna
20	Via Cadore - Rotonda
21	Via Decio Raggi
22	Via Ravegnana (cimitero)
23	Via Golfarelli
24	Via Monda
25	Viale della Libertà
26	C.so Repubblica
27	Via Corridoni
28	Via Firenze
29	Via del Partigiano
30	Via Costanzo II

I valori ottenuti dalle analisi effettuate con i campionatori passivi non sono riconducibili ai valori di legge, ma permettono di avere, abbastanza facilmente, una rappresentazione spaziale dei punti critici delle zone urbane al fine di poter mettere in atto misure di miglioramento.

4. Analisi dei dati

L'andamento dei valori minimo, medio e massimo nel corso dell'anno viene evidenziato nelle tabelle e nei grafici seguenti. I campionatori di NO₂ del mese di dicembre hanno riscontrato valori del tutto anomali, in parte riconducibili all'elevata umidità riscontrata durante il ritiro degli stessi. Alla luce dei valori riscontrati, spesso del tutto non in linea con quanto atteso per i siti esaminati, si riportano unicamente nelle tabelle seguenti i valori numerici della campagna di dicembre, ma tali dati non sono poi utilizzati nelle elaborazioni grafiche successive.

Tab.n°1 – Valori statistici di base del benzene (C₆H₆)

Benzene (µg/m³)	Febbraio	Dicembre
Valore minimo	1.0	2.0
Valore medio	1.4	2.8
Valore massimo	1.7	3.6

Tab.n°2 – Valori statistici di base del biossido di azoto (NO₂)

Biossido di azoto (µg/m³)	Febbraio	Dicembre
Valore minimo	17	6
Valore medio	26	25
Valore massimo	34	48

Nelle tabelle 3 e 4 sono riportati i valori, in µg/m³, delle concentrazioni ottenute per ogni sito monitorato. I colori di fondo mostrano lo scostamento dalla media del periodo (in rosso i valori più alti della media, in verde i valori più bassi).

Tab. n°3 - Concentrazione benzene in $\mu\text{g}/\text{m}^3$

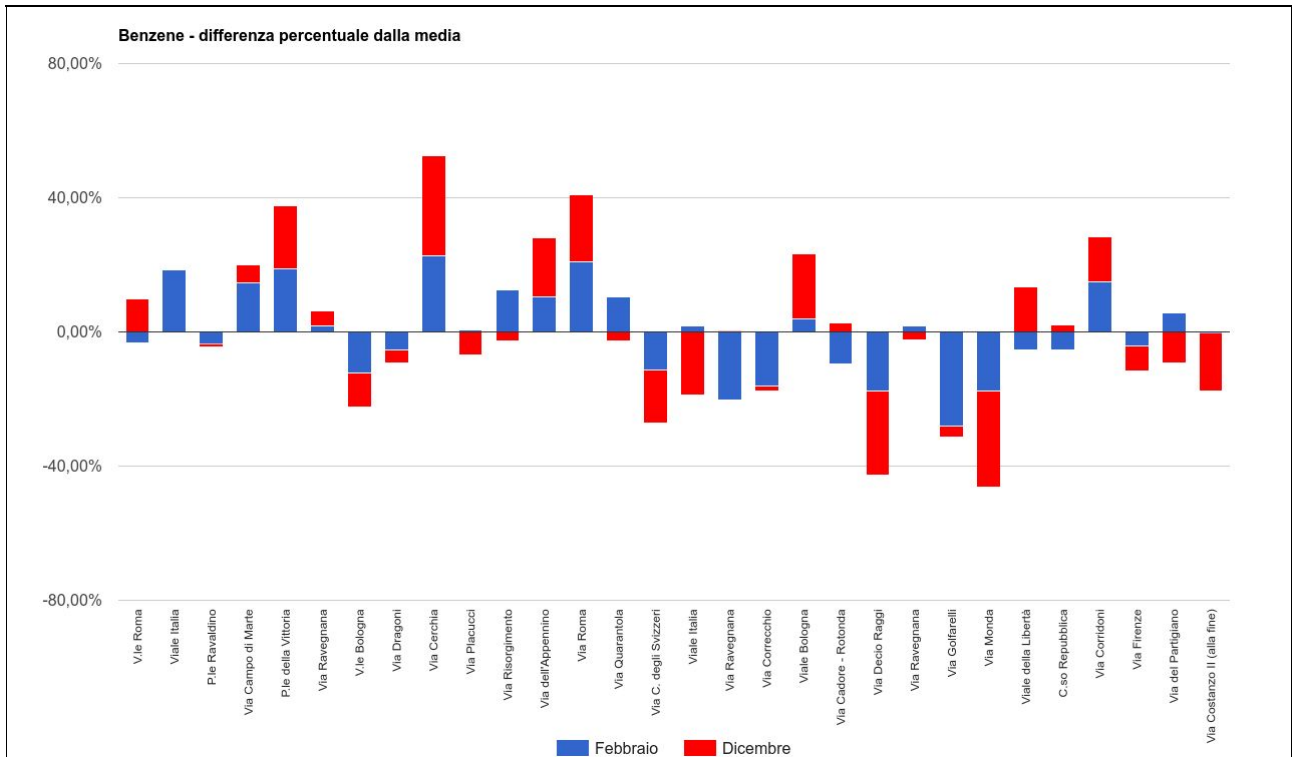
ID	Via	Ubicazione	Febbraio	Dicembre	Media
1	V.le Roma	Davanti ex Marcopolo	1,3	3,0	2,2
2	Viale Italia	Angolo Via Isonzo	1,6	2,8	2,2
3	P.le Ravaldino	Vicino all'edicola	1,3	2,7	2,0
4	Via Campo di Marte	Vicino all'edicola (civico n. 200)	1,6	2,9	2,2
5	P.le della Vittoria	Lato ex cartelloni Cinema	1,6	3,3	2,4
6	Via Ravegnana	Rotonda Ospedaletto	1,4	2,9	2,1
7	V.le Bologna	Rotonda Albero delle ruote	1,2	2,5	1,8
8	Via Dragoni	Sede Circostrizione	1,3	2,6	2,0
9	Via Cerchia	vicino rotonda tangenziale	1,7	3,6	2,6
10	Via Placucci	Parcheggio cinema Saffi	1,4	2,6	2,0
11	Via Risorgimento	Liceo Scientifico	1,5	2,7	2,1
12	Via dell'Appennino	Rosticceria pesce	1,5	3,2	2,4
13	Via Roma	Cabina RRQA	1,7	3,3	2,5
14	Via Quarantola	Angolo Via Bordoni	1,5	2,7	2,1
15	Via C. degli Svizzeri	Cimitero San Martino	1,2	2,3	1,8
16	Viale Italia	Rotonda Romagna Acque	1,4	2,2	1,8
17	Via Ravegnana	Rotonda A14	1,1	2,8	1,9
18	Via Correcchio	Consorzio Agrario	1,1	2,7	1,9
19	Viale Bologna	Mac Donald's	1,4	3,3	2,4
20	Via Cadore - Rotonda	Parcheggio Bar Zattoni	1,2	2,8	2,0
21	Via Decio Raggi	Ristorante Vecchio Lampione	1,1	2,1	1,6
22	Via Ravegnana	Parcheggio Cimitero monumentale	1,4	2,7	2,0
23	Via Golfarelli	Rotonda vicino ditte	1,0	2,7	1,8
24	Via Monda	vicino rotonda uscita tangenziale	1,1	2,0	1,5
25	Viale della Libertà	Davanti ITIS	1,3	3,1	2,2
26	C.so Repubblica	Davanti ex sede Vigili Urbani	1,3	2,8	2,1
27	Via Corridoni	Campus Universitario	1,6	3,1	2,3
28	Via Firenze	Chiesa Romiti	1,3	2,6	1,9
29	Via del Partigiano	Campo sportivo Vecchiazano	1,4	2,5	2,0
30	Via Costanzo II	Rotonda Via Cervese	1,4	2,3	1,8

Tab. n° 4 - Concentrazioni di Biossido d'azoto in $\mu\text{g}/\text{m}^3$

ID	Via	Ubicazione	Febbraio	Dicembre
1	V.le Roma	Davanti ex Marcopolo	24	18
2	Viale Italia	Angolo Via Isonzo	32	33
3	P.le Ravaidino	Vicino all'edicola	29	8
4	Via Campo di Marte	Vicino all'edicola (civico n. 200)	29	16
5	P.le della Vittoria	Lato ex cartelloni Cinema	34	14
6	Via Ravennana	Rotonda Ospedaletto	34	12
7	V.le Bologna	Rotonda Albero delle ruote	25	33
8	Via Dragoni	Sede Circostrizione	23	48
9	Via Cerchia	vicino rotonda tangenziale	26	35
10	Via Placucci	Parcheggio cinema Saffi	19	8
11	Via Risorgimento	Liceo Scientifico	27	21
12	Via dell'Appennino	Rosticceria pesce	21	25
13	Via Roma	Cabina RRQA	32	35
14	Via Quarantola	Angolo Via Bordoni	21	7
15	Via C. degli Svizzeri	Cimitero San Martino	22	31
16	Viale Italia	Rotonda Romagna Acque	30	35
17	Via Ravennana	Rotonda A14	30	22
18	Via Correcchio	Consorzio Agrario	28	32
19	Viale Bologna	Mac Donald's	25	29
20	Via Cadore - Rotonda	Parcheggio Bar Zattoni	21	13
21	Via Decio Raggi	Ristorante Vecchio Lampione	21	39
22	Via Ravennana	Parcheggio Cimitero monumentale	33	37
23	Via Golfarelli	Rotonda vicino ditte	27	36
24	Via Monda	vicino rotonda uscita tangenziale	17	9
25	Viale della Libertà	Davanti ITIS	28	30
26	C.so Repubblica	Davanti ex sede Vigili Urbani	31	6
27	Via Corridoni	Campus Universitario	25	38
28	Via Firenze	Chiesa Romiti	24	10
29	Via del Partigiano	Campo sportivo Vecchiazzano	25	45
30	Via Costanzo II	Rotonda Via Cervese	25	19

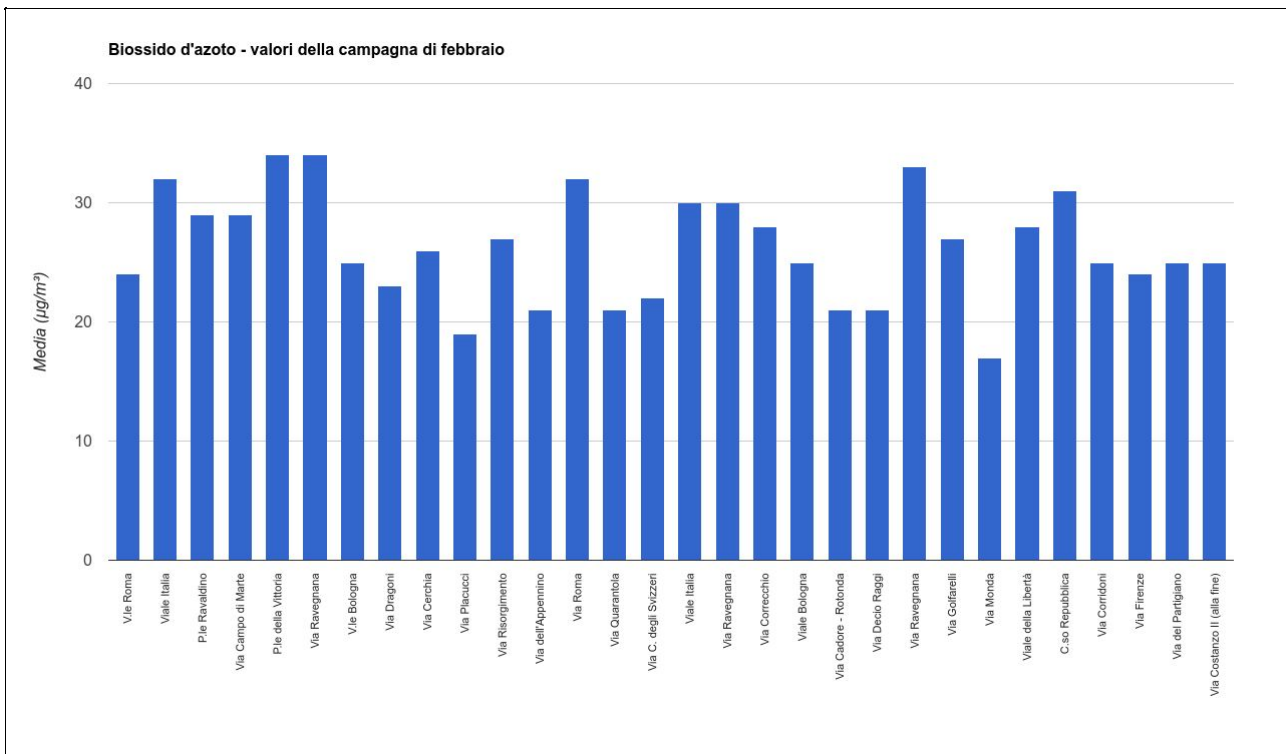
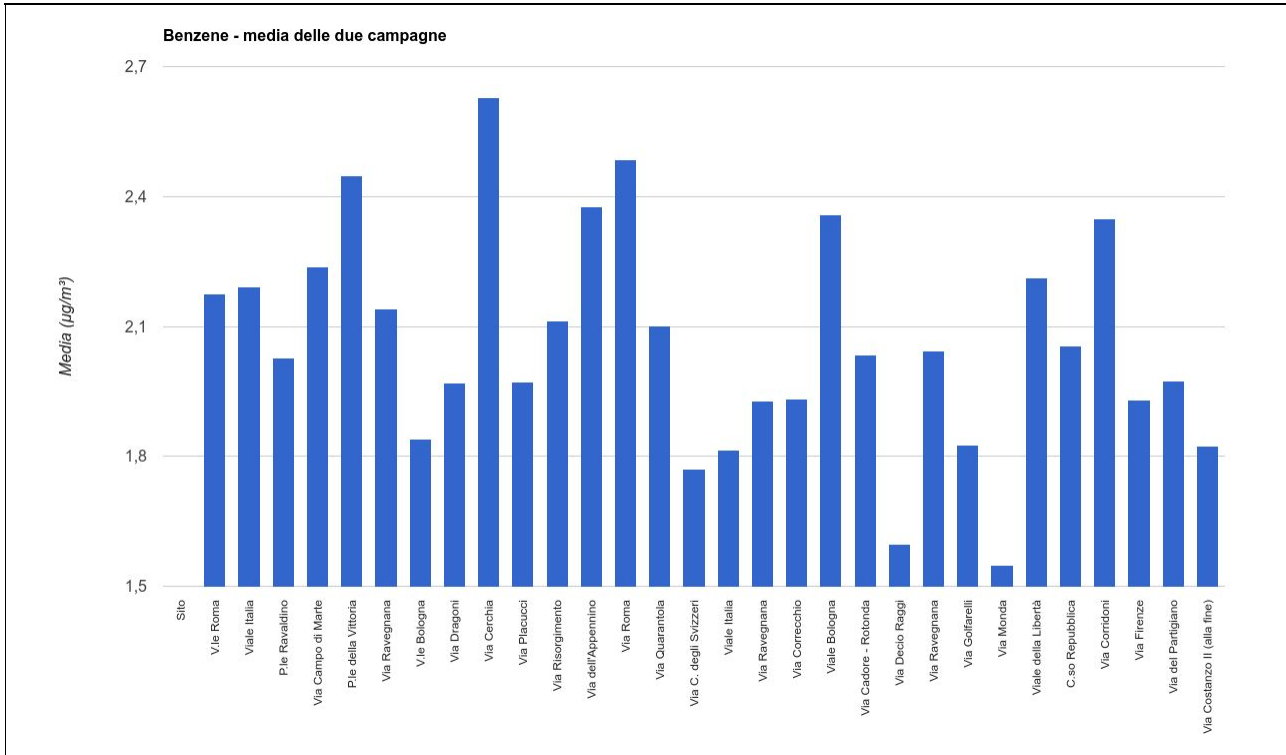
I grafici seguenti mostrano la variazione percentuale (in positivo o in negativo) delle concentrazioni di benzene e di biossido d'azoto rilevate in ogni punto di indagine rispetto alla media dei valori per ciascuna campagna. Il nuovo sito di via Cerchia risulta il peggiore in entrambe le campagne per quanto riguarda il benzene. In tale sito si è superata la soglia di valutazione superiore nella campagna di febbraio e la media delle due campagne è risultata pari a $2,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Altri siti critici per il benzene sono risultati quelli di Viale Roma e Piazzale della Vittoria con medie molto simili a quelle di via Cerchia. Il nuovo sito di via Monda si è dimostrato, invece, uno dei migliori sia per quanto riguarda il benzene che il biossido d'azoto. Per quanto riguarda il solo biossido d'azoto,

tenendo conto della sola campagna di febbraio, i siti peggiori sono risultati quelli di via Ravegnana e quelli di piazzale della Vittoria.



Per quanto le medie calcolate su tre campagne di monitoraggio non possano avere la valenza di dati raccolti in continuo per un intero anno, i grafici che seguono riportano la media dei valori di benzene e biossido d'azoto calcolate sulle due campagne in tutti i punti dell'indagine. Per quanto riguarda il benzene, In nessun punto si sono raggiunti i valori limiti di legge e nemmeno il valore soglia di valutazione superiore.

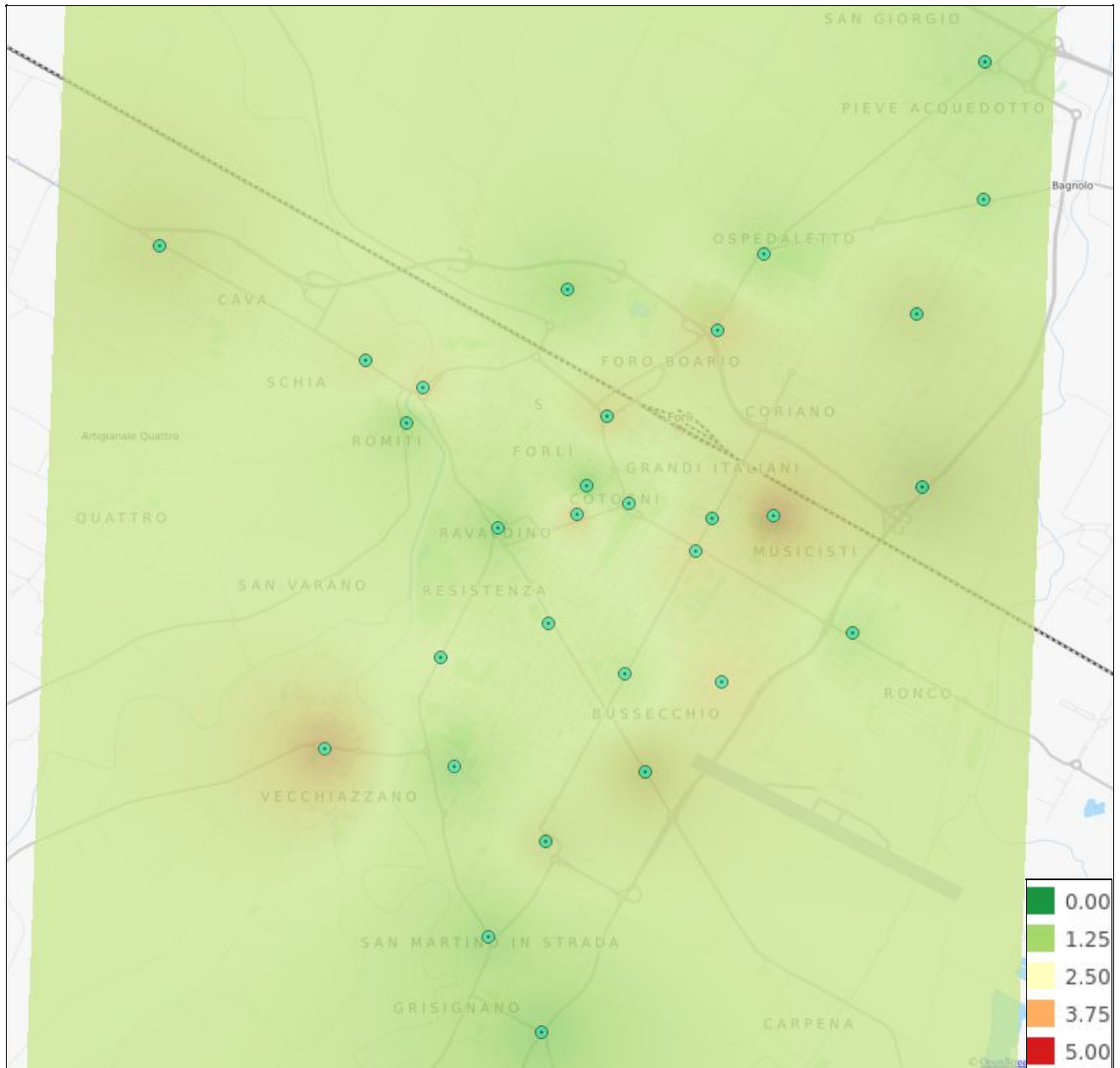
Per quanto riguarda il biossido d'azoto, nessun sito supera il limite fissato per la concentrazione media annuale ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) calcolata sulla sola base della campagna di febbraio e 3 siti superano la soglia di valutazione superiore ($32 \mu\text{g}/\text{m}^3$) nella campagna di febbraio.



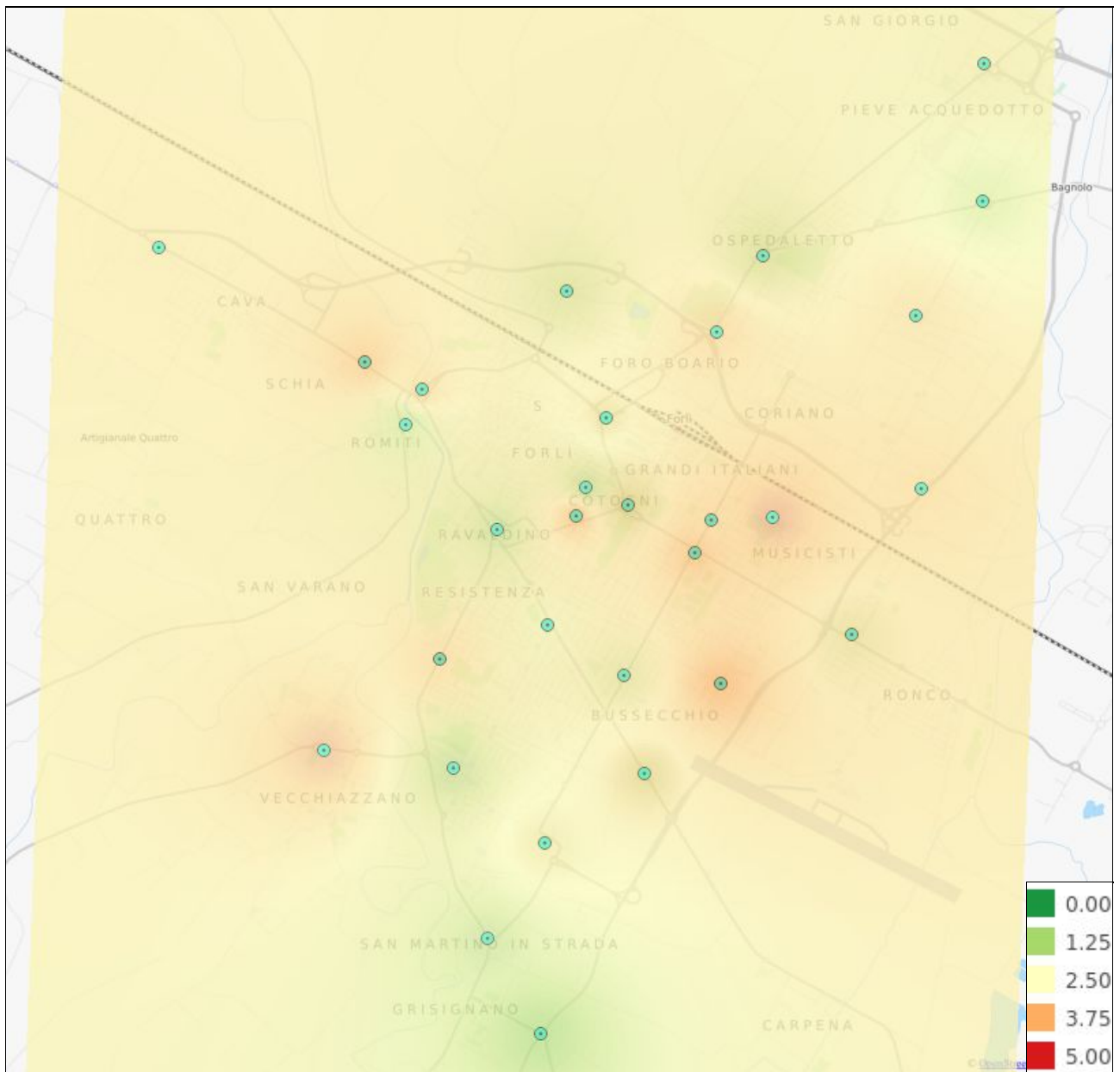
Di seguito si riportano le mappe di distribuzione dei due inquinanti realizzate utilizzando l'algoritmo di interpolazione geostatistica IDW (inverso della distanza). Per le elaborazioni 2015 si sono utilizzati esclusivamente strumenti opensource (QGIS con algoritmo di interpolazione IDW, dimensione cella di 30 metri e coefficiente di distanza pari a 2). La cartografia di base (OCM public transport) è anch'essa open. L'algoritmo utilizzato interpola i valori degli inquinanti riscontrati nei singoli punti considerando i dodici punti più vicini al

punto in esame e pesando i loro valori a seconda della distanza. I punti più isolati risultano pertanto rappresentativi di porzioni più ampie di territorio. Eventuali punti particolarmente critici, circondati da molti altri punti meno critici, diventano rappresentativi di una porzione molto più piccola di territorio e possono essere considerati quali "hot spots" di inquinamento localizzato. I valori di concentrazione degli inquinanti nelle legende sono espressi in $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Non è riportata la mappa di distribuzione del biossido d'azoto in dicembre in quanto i dati sono risultati anomali.

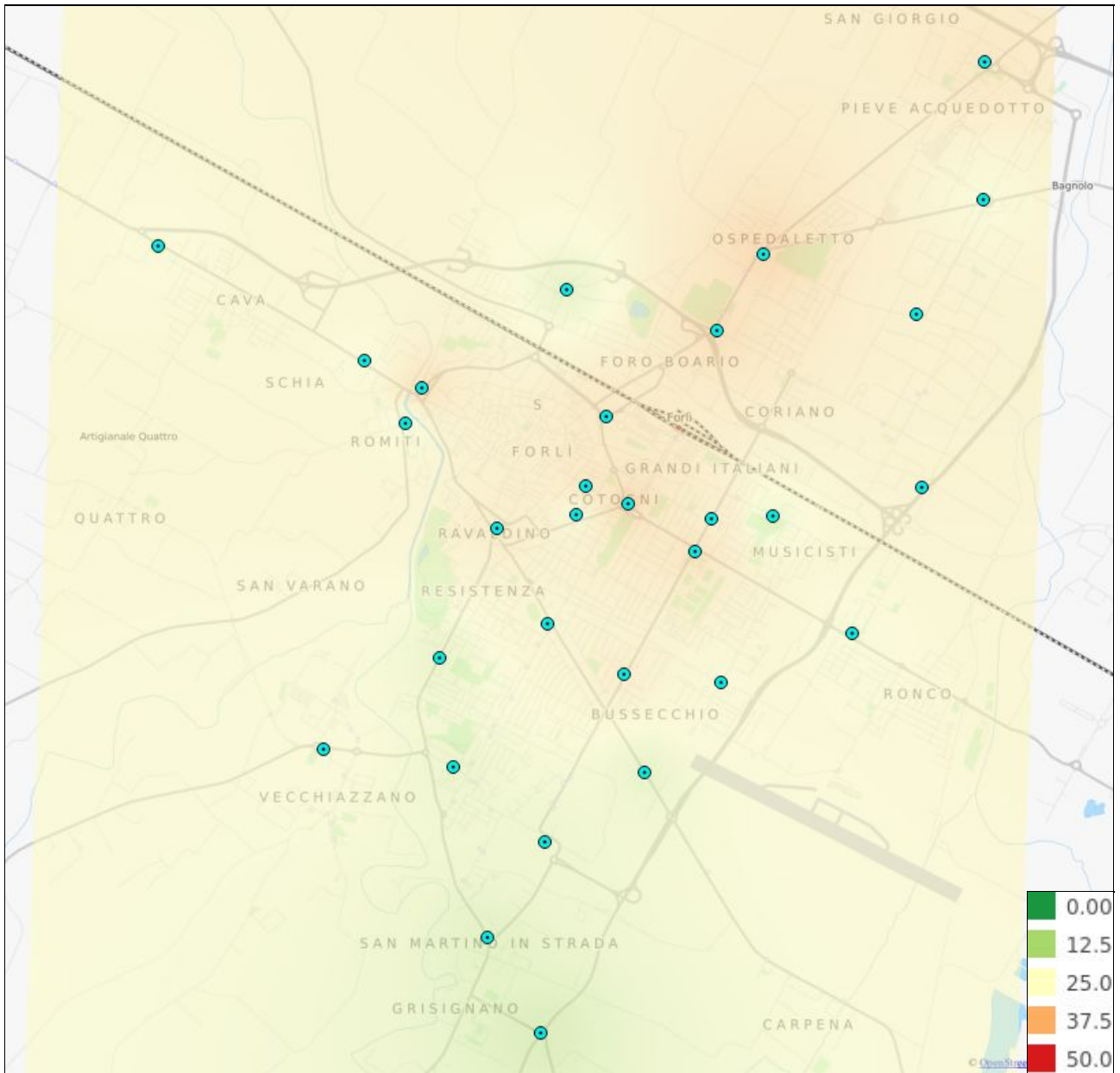
Mappa di distribuzione di Benzene - febbraio 2015



Mappa di distribuzione di Benzene - dicembre 2015



Mappa di distribuzione di biossido d'azoto - febbraio 2015



Di seguito (tabelle 5 e 6) sono messi a confronto, punto per punto, i risultati del 2015 con i risultati del 2014. La tabella mostra le variazioni percentuali tra il 2014 e il 2015 rispetto al 2014. Valori positivi indicano diminuzioni dei valori riscontrati, valori negativi indicano aumento dei valori riscontrati. Il confronto fra le campagne di febbraio evidenzia un generale peggioramento per il benzene (e più limitatamente per l'NO2) nel 2015. La campagna di febbraio è risultata generalmente migliore rispetto a quella del 2014 per il benzene e in minor misura anche per il biossido d'azoto. La campagna di dicembre è risultata, invece, decisamente peggiore per il benzene e non è stata considerata per il biossido d'azoto. Nel complesso le medie sono risultate peggiori per entrambi gli inquinanti nel 2015.

Tab. n° 5 – Differenze percentuali nei valori di Benzene (2014-2015)

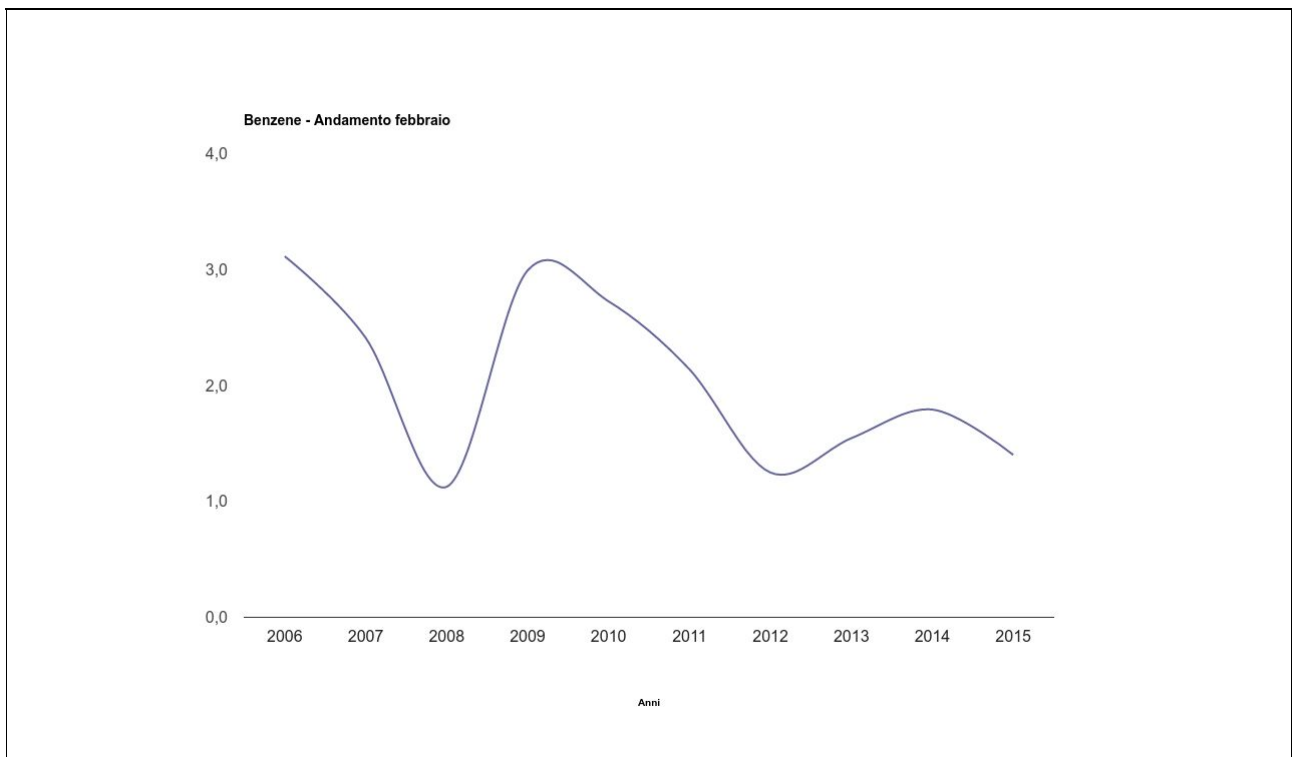
ID	Via	FEB14-FEB15 BENZENE %	DIC14-DIC15 BENZENE %	MEDIA14-MEDIA15 BENZENE %
1	V.le Roma	22%	-78%	-28%
2	Viale Italia	26%	-45%	-7%
3	P.le Ravaldino	22%	-71%	-23%
4	Via Campo di Marte	22%	-71%	-21%
5	P.le della Vittoria	14%	-118%	-44%
6	Via Ravegnana	34%	-52%	-7%
7	V.le Bologna	25%	-65%	-19%
8	Via Dragoni	19%	-89%	-31%
9	Via Cerchia			
10	Via Placucci	14%	-60%	-23%
11	Via Risorgimento	19%	-92%	-28%
12	Via dell'Appennino	24%	-80%	-25%
13	Via Roma	17%	-84%	-31%
14	Via Quarantola	28%	-58%	-11%
15	Via C. degli Svizzeri	24%	-55%	-14%
16	Viale Italia	30%	-49%	-4%
17	Via Ravegnana	27%	-98%	-33%
18	Via Correcchio	28%	-94%	-29%
19	Viale Bologna	21%	-83%	-31%
20	Via Cadore - Rotonda	-3%	-89%	-51%
21	Via Decio Raggi	34%	-48%	-3%
22	Via Ravegnana	18%	-68%	-24%
23	Via Golfarelli	42%	-105%	-22%
24	Via Monda			
25	Viale della Libertà	32%	-123%	-34%
26	C.so Repubblica	24%	-76%	-25%
27	Via Corridoni	17%	-84%	-30%
28	Via Firenze	23%	-96%	-29%
29	Via del Partigiano	-11%	-67%	-41%
30	Via Costanzo II (alla fine)	-14%	-76%	-46%

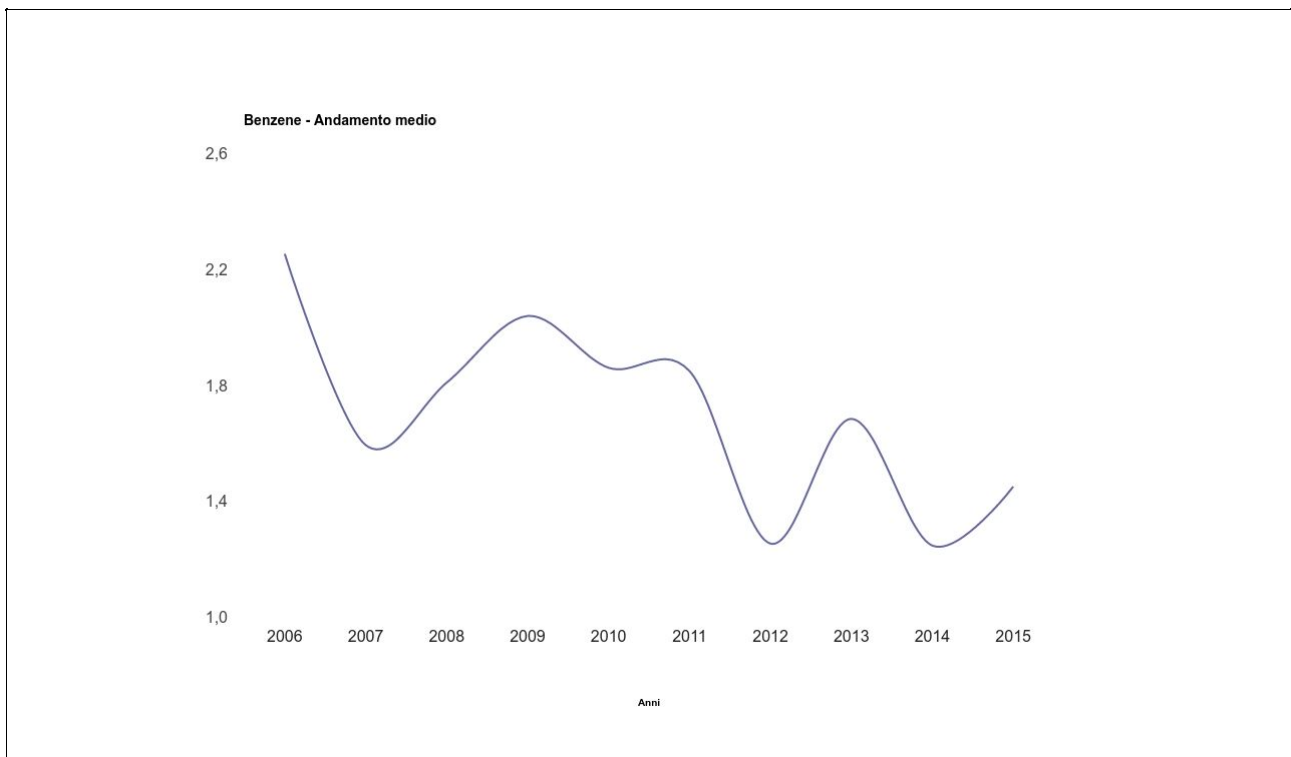
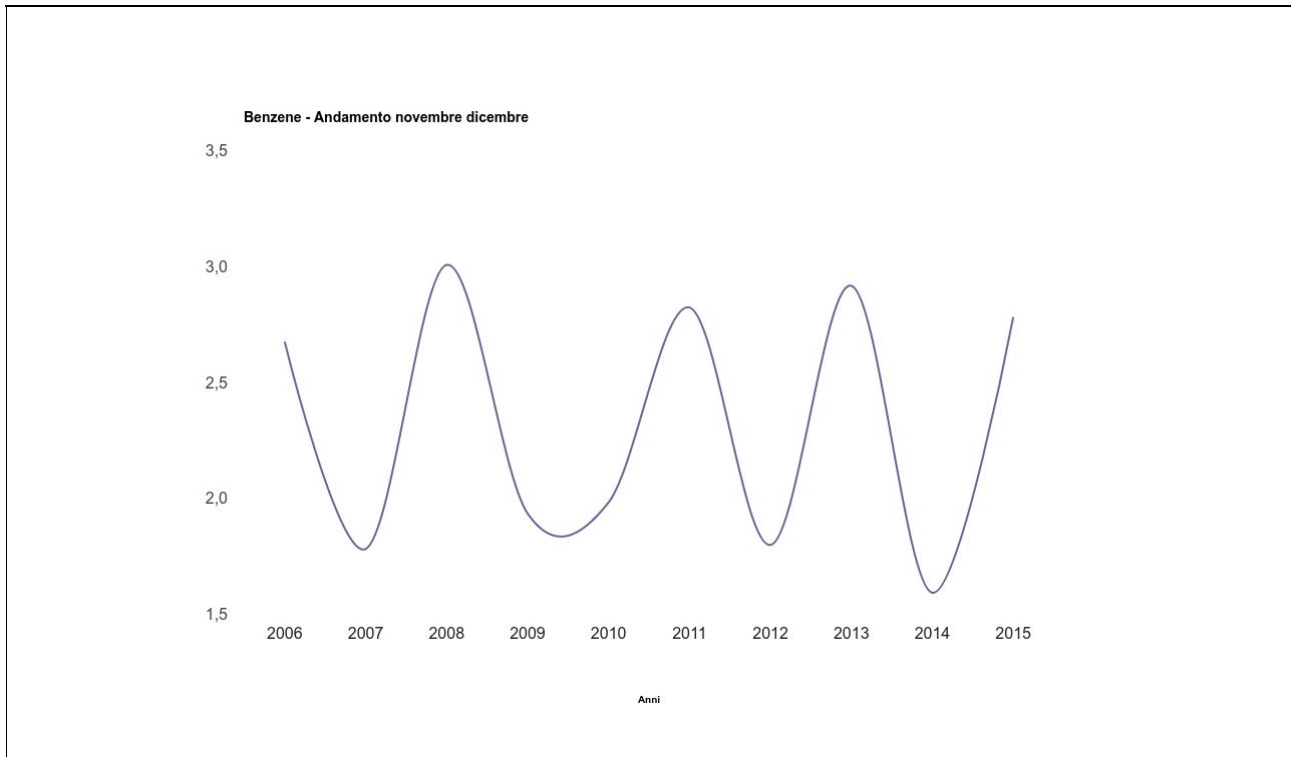
Tab. n° 6 – Differenze percentuali nei valori di Biossido d'azoto (2014-2015)

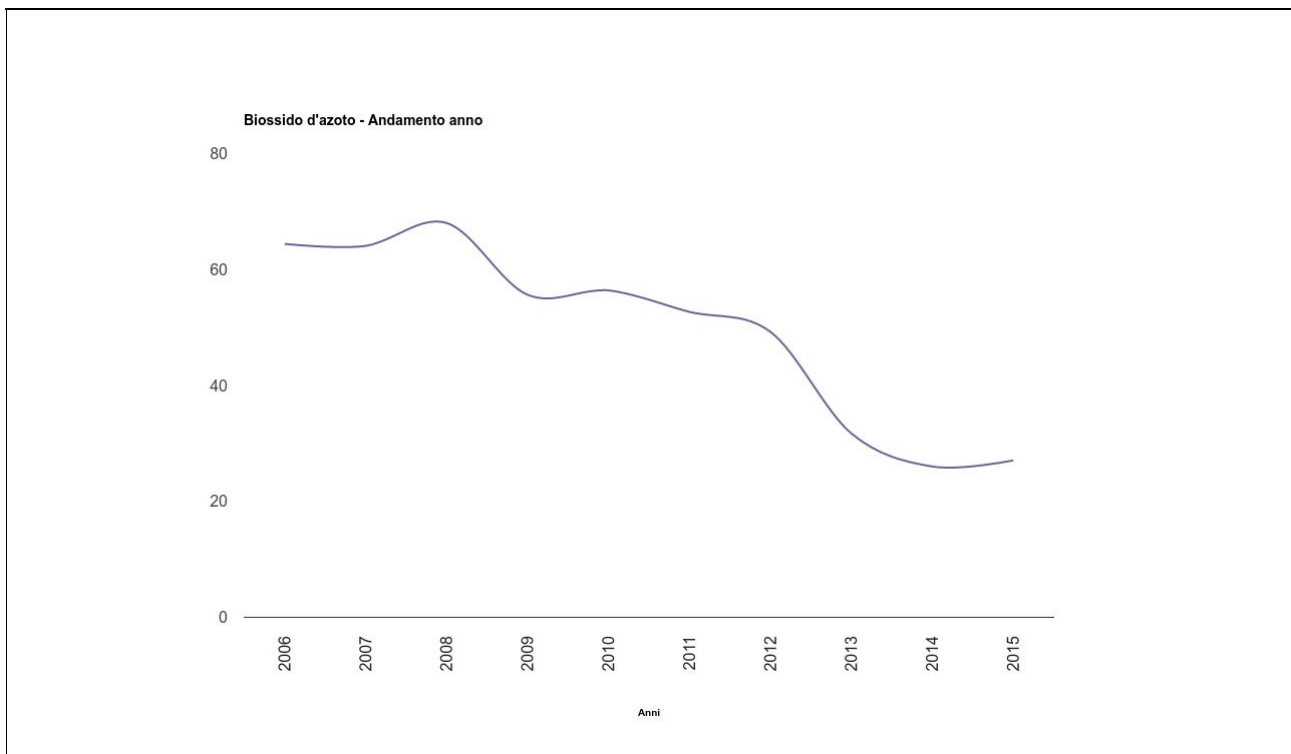
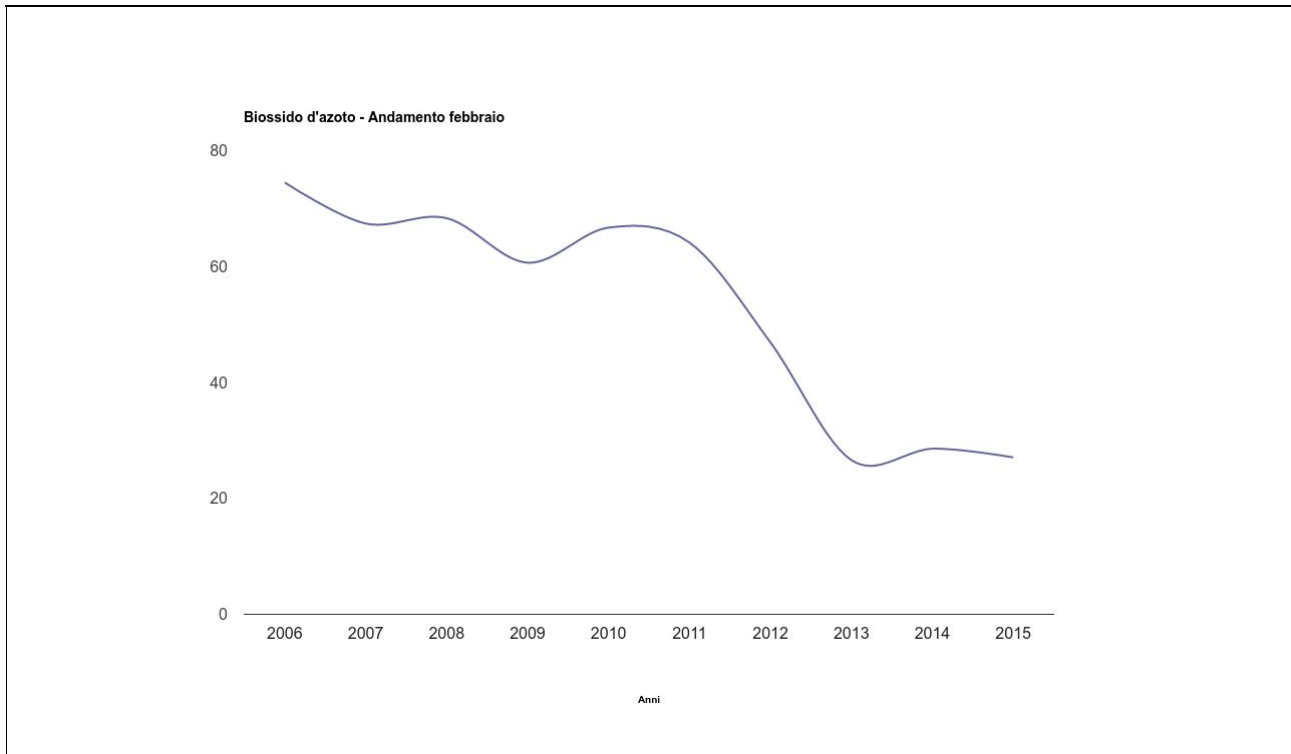
ID	Via	FEB14-FEB15 NO2 %	MEDIA14-FEB15 NO2%
1	V.le Roma	10%	-1%
2	Viale Italia	10%	-14%
3	P.le Ravaldino	-39%	-48%
4	Via Campo di Marte	-7%	-4%
5	P.le della Vittoria	17%	18%
6	Via Ravegnana	27%	8%
7	V.le Bologna	-27%	-20%
8	Via Dragoni	15%	13%
9	Via Cerchia	21%	10%
10	Via Placucci	-23%	-5%
11	Via Risorgimento	24%	-1%
12	Via dell'Appennino	11%	13%
13	Via Roma	-7%	-30%
14	Via Quarantola	35%	34%
15	Via C. degli Svizzeri	18%	7%
16	Viale Italia	21%	5%
17	Via Ravegnana	31%	20%
18	Via Correcchio	12%	2%
19	Viale Bologna	-6%	3%
20	Via Cadore - Rotonda	15%	-2%
21	Via Decio Raggi	-7%	-9%
22	Via Ravegnana	20%	10%
23	Via Golfarelli	29%	19%
24	Via Monda	43%	42%
25	Viale della Libertà	5%	2%
26	C.so Repubblica	-33%	-31%
27	Via Corridoni	-9%	-2%
28	Via Firenze	-10%	-14%
29	Via del Partigiano	-11%	-6%
30	Via Costanzo II (alla fine)	-39%	-28%

5. Analisi dei dati storici

Tredici punti di indagine non sono stati spostati significativamente nel corso degli anni. Utilizzando i dati raccolti in questi punti, si sono costruite le medie per i vari periodi di campagna e per l'intero anno nel corso degli anni e si sono prodotti i grafici seguenti. Le campagne 2015 del benzene hanno mostrato dati in calo in febbraio e in aumento in dicembre. Nel complesso l'anno è stato peggiore del precedente per quanto riguarda il benzene. Il trend storico è comunque in miglioramento rispetto ai primi anni 2000. I dati del biossido d'azoto hanno mostrato, invece, un andamento nel complesso simile a quello dell'anno precedente con il consolidamento di un trend in diminuzione, nonostante la media sia calcolata esclusivamente sui dati di febbraio. Nei grafici seguenti sono indicati anche i valori medi indicati in $\mu\text{g}/\text{m}^3$.







6. Conclusioni

Il 2015 è stato un anno meteorologicamente meno favorevole alla dispersione degli inquinanti rispetto al 2014. Le condizioni meteo sono evidenziate dai dati finali in aumento per il benzene e sostanzialmente in linea con l'anno precedente per il biossido d'azoto. Il trend storico di diminuzione delle concentrazioni di inquinanti è comunque consolidato. Significativi si sono dimostrati i nuovi punti di monitoraggio in corrispondenza delle uscite della Secante di via Cerchia e di via Monda. Nel caso di via Cerchia si è evidenziata una criticità nelle concentrazioni rilevate, mentre il sito di via Monda è risultato in linea con i siti meno trafficati della città. Al fine di evitare le problematiche riscontrate nella campagna di dicembre, si propone di inserire due campionatori per punto nelle prossime campagne e fornire il risultato come medie dei due valori riscontrati in ogni sito.