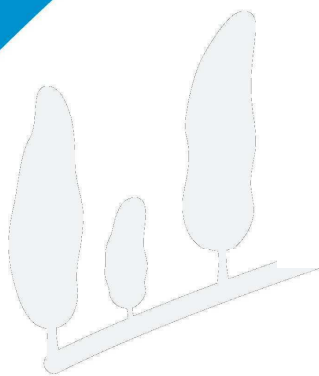




CAMPAGNA DI MISURAZIONE DELLA QUALITÀ DELL'ARIA AUTOLABORATORIO ANNO 2016-2017

**ZONA VALDARNO ARETINO E VALDICHIANA E
ZONA COLLINARE MONTANA**



**REGIONE
TOSCANA**



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

Campagna di Misurazione della qualità dell'aria Autolaboratorio.
Anno 2015-2017.

SCUOLA LA PIRA
COMUNE DI SAN GIOVANNI VALDARNO (AREZZO)

PIAZZALE JOHN LENNON
COMUNE DI BIBBIENA (AREZZO)

PIAZZA NIGRA – CHIUSI SCALO
COMUNE DI CHIUSI (SIENA)

LOC. LA ROTA (EX MATTATOIO COMUNALE)
COMUNE DI PIANCASTAGNAIO (SIENA)

MONTECERBOLI
COMUNE DI POMARANCE (PISA)

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

Autori:
Dennis Dalle Mura
Roberto Fruzzetti
David Magliacani
Guglielmo Tanganelli
Centro Regionale per la Tutela della Qualità dell'Aria

Hanno collaborato

- Laboratorio CRRQA - per la determinazione gravimetrica del materiale particolato PM10;
- Comuni di Bibbiena, Chiusi, San Giovanni Valdarno, Piancastagnaio e Pomarance per gli aspetti logistici.

30 Giugno 2017

SINTESI

La campagna di misurazione della qualità dell'aria in cinque postazioni dell'area sud-est della Regione Toscana è stata realizzata in attuazione del piano di utilizzo dei mezzi mobili per il triennio 2015-2017 al fine di approfondire la valutazione dell'esposizione della popolazione agli inquinanti disciplinati dal D.Lgs. 155/2010 e s.m.i. Sono state individuate due postazioni nella Zona del Valdarno aretino e Valdichiana (San Giovanni Valdarno e Chiusi Scalo) e tre nella Zona Collinare e Montana (Bibbiena, Piancastagnaio e Montecerboli) riferite a siti urbani e suburbani di fondo. Le misurazioni sono state effettuate mediante due laboratori mobili.

Per quanto attiene le postazioni urbane (San Giovanni Valdarno, Chiusi Scalo e Bibbiena), la prevalenza degli indicatori di qualità dell'aria è conforme ai valori limite fissati a tutela della salute umana. In questo contesto tuttavia, l'indicatore relativo al 90,4° percentile delle concentrazioni giornaliere di PM10 risulta superato. Le informazioni di dettaglio sulla distribuzione temporale dei casi di superamento, evidenziano che tali eventi si sono verificati nel periodo invernale, analogamente a quanto registrato dalla vicina stazione di misurazione fissa ENEL di Via Gramsci – San Giovanni Valdarno. Relativamente a questa stazione di misura fissa però, tali eventi non sono risultati sufficienti a determinare il superamento dei casi ammessi dalla normativa nell'intero anno civile (anno 2016: 26 giorni di superamento su 35 ammessi). Il numero di superamenti del valore limite giornaliero di PM10 è fortemente influenzato dalla copertura temporale, la quale determina pertanto una maggiore incertezza per le campagne di misurazione indicative caratterizzate, in questo caso, da un campione di 60 giorni/anno.

Le medie annuali di materiale particolato PM10 e PM2,5, si collocano su valori inferiori al relativo valore limite con scarti compresi tra il 25 ed il 40 %.

Il Biossido di azoto presenta valori degli indicatori della media annuale caratterizzati da scarti sul limite tra il -30 ed il -60 %.

Le postazioni suburbane di Piancastagnaio e Montecerboli registrano valori degli indicatori modesti, con scarti sul valore limite ben oltre il 50 % (media annuale PM10 e PM2,5 = attorno al -70 %; media annuale benzene = attorno al -93 %). Relativamente alla postazione di Piancastagnaio, il benzene mostra una forte stagionalità degli andamenti, in particolare nelle stagioni dell'inverno e dell'autunno. Le elaborazioni relative ai diagrammi polari, mettono in evidenza contributi più significativi relativi ai settori nord occidentali e sud per il benzene, e sud orientali per il biossido di azoto.

L'analisi comparativa sul PM10 riferita alla stazione di misurazione fissa di Arezzo Acropoli (urbana fondo) assunta come riferimento, mette in evidenza la presenza di alcune aree con livelli più elevati rispetto ai livelli medi di zona, sia per la zona del Valdarno aretino e Valdichiana, sia per la zona Collinare e Montana.

Le aree con gli scarti maggiori, presentano una media annuale di $5-6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ superiore rispetto alla stazione presa a riferimento (AR-Acropoli media annua 2016 = $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$) che equivarrebbe a medie nell'intorno di $24-25 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Anche le medie autunno-inverno delle tre postazioni urbane configurano uno scenario simile, con scarti sulla stazione di AR-Acropoli compresi fra il +25 % ed il +46 %.

In dettaglio:

Lo scarto misurato tra le campagne indicative di San Giovanni Valdarno e Chiusi Scalo e la stazione di AR-Acropoli è pari a $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Per tali postazioni urbane, si potrebbe ipotizzare una componente legata alla specifica morfologia del territorio, che, favorendo l'accumulo degli inquinanti in alcune condizioni e periodi dell'anno, contribuisce all'innalzamento dei livelli medi.

In conclusione, la campagna di misura ha messo in rilievo che anche la zona collinare montana, pur essendo mediamente caratterizzata da scarse pressioni e bassi valori di fondo di PM10, presenta aree di fondovalle nel quale l'accumulo degli inquinanti al suolo può essere favorito, e pertanto in base al relativo grado di antropizzazione, possono diventare critiche. In questo caso, potrebbe essere interessante ripetere le campagne in siti prossimi a quelli indagati o anche nello stesso sito aumentando il numero dei giorni di campionamento e quindi la rappresentatività sull'anno solare.

Sommario

| | |
|---|-----------|
| Introduzione..... | 5 |
| 1- Postazione di misurazione | 6 |
| 2. Piano di utilizzo dell'autolaboratorio..... | 6 |
| 3. Inquinanti monitorati | 7 |
| 4. Riferimenti Normativi | 8 |
| 5. Obiettivo di qualità dei dati..... | 8 |
| Raccolta minima dei dati | 8 |
| Periodo minimo di copertura..... | 9 |
| 6. Dati rilevati nelle campagne di misurazione | 9 |
| 6.1 Confronto con i valori limite definiti dalla normativa..... | 11 |
| 6.2 Elaborazioni del Materiale Particolato | 13 |
| 6.3 Diagrammi delle differenze materiale particolato e biossido di azoto..... | 15 |
| 6.4 Diagrammi a scatola materiale particolato, benzene e toluene..... | 31 |
| 6.5 Giorni tipo biossido di azoto e benzene | 37 |
| 6.6 Analsi dei dati meteorologici rilevati durante la campagna di monitoraggio..... | 41 |
| 7- Valutazione dei risultati..... | 48 |
| Giorno tipo..... | 50 |
| Diagrammi a scatola..... | 50 |
| Elaborazione con i dati meteorologici..... | 50 |
| 8 - Considerazioni riassuntive e finali | 50 |
| Allegato 1. Elaborazione dei dati meteorologici..... | 53 |
| Allegato 2. Caratteristiche tecniche analizzatori/sensori | 56 |
| Allegato 3. Meccanismi di formazione degli inquinanti | 57 |
| Allegato 4. Limiti normativi | 60 |

Introduzione

Le aree interne della zona sud est della Toscana appartengono dal punto di vista della qualità dell'aria, alla zona collinare montana e alla zona del Valdarno aretino e Valdichiana, in cui sono presenti due stazioni fisse di fondo urbano per la valutazione dell'esposizione della popolazione agli inquinanti previsti dal D.Lgs. 155/10 e smi.

Per ampliare le informazioni sulla reale esposizione media della popolazione al particolato e suoi precursori in questo vasto territorio, nel triennio 2015-2017 sono state condotte cinque campagne di misurazione indicative con due laboratori mobili finalizzate al monitoraggio del Particolato PM 10 e PM2,5 e dei loro precursori.

Le misurazioni hanno riguardato cinque postazioni di misurazione ubicate nell'area sud-est della Regione Toscana appartenenti alle Zone "Valdarno aretino e Valdichiana" e "Collinare Montana". Le postazioni riportate in tabella 1, sono state individuate secondo criteri stabiliti dalla normativa riguardanti siti urbani e suburbani riferiti a contesti di fondo. I siti di fondo, piuttosto che essere interessati da una fonte di emissione prevalente, esprimono la sintesi di tutte le sorgenti che influenzano il sito di misura. Pertanto, forniscono una misura di valenza più generale, meno dipendente dal contesto specifico in cui la misura stessa viene effettuata e per questo motivo la normativa sulla qualità dell'aria vi attribuisce particolare rilevanza. Il monitoraggio è stato articolato attraverso campagne di misurazioni indicative dalla durata di circa 60 giorni (per il materiale particolato) distribuiti, in relazione ai criteri definiti dalla legislazione che disciplina la qualità dell'aria, equamente nelle stagioni meteorologiche dell'anno (15 giorni per stagione). Tale metodologia di misurazione restituisce pertanto un campione rappresentativo dell'intera popolazione di dati ottenibile su base annuale.

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". Tale sistema di gestione di ARPAT è certificato dal RINA con registrazione n° 32671/15/S secondo le UNI EN ISO 9001:2015. Pertanto, tutti i dati misurati dai laboratori mobili, sono stati acquisiti, elaborati e validati secondo le procedure disciplinate dal DP suddetto.

La valutazione dei dati raccolti nella presente indagine 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 della campagna indicativa dalle stazioni di misurazione fisse di:
 - Zona Collinare e Montana – stazione urbana fondo di Poggibonsi Via De Amicis, stazione rurale di fondo di Casa Stabbi – Chitignano (Ar), stazione rurale di fondo di Montecerboli – Pomarance (Pi);
 - Zona Valdarno aretino e Valdichiana stazione ubicata nell'area urbana di Arezzo – Arezzo - Acropoli (stazione classificata urbana - fondo), Fi - Figline (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 alle stazioni fisse, le quali sono riferite ad una serie di misure più rappresentative perché continuative nell'arco dell'anno.

1- Postazioni di misurazione

Tabella 1.1 informazioni generali postazioni di misurazione

| Postazione | Comune | Provincia | Zona | tipo | EGB | NGB |
|--------------------------------------|-----------------------|-----------|--------------------------------|-----------------|---------|---------|
| Piazzale John Lennon | Bibbiena | Arezzo | Collinare-Montana | urbana-fondo | 1727218 | 4841752 |
| Scuola La Pira | San Giovanni Valdarno | Arezzo | Valdarno aretino e Valdichiana | urbana-fondo | 1704210 | 4827209 |
| Piazza Nigra - Chiusi Scalo | Chiusi | Siena | Valdarno aretino e Valdichiana | urbana-fondo | 1700966 | 4765325 |
| Loc. La Rota (Ex Mattatoio Comunale) | Piancastagnaio | Siena | Collinare-Montana | suburbana-fondo | 1720456 | 4747844 |
| Montecerboli | Pomarance | Pisa | Collinare-Montana | suburbana-fondo | 1652719 | 4789948 |

La campagna di misurazione indicativa di Montecerboli è stata effettuata mediante autolaboratorio posizionato a fianco della stazione di misurazione fissa appartenente alla rete regionale.

2. Piano di utilizzo dell'autolaboratorio

Al fine di ottenere dati rappresentativi che tengano conto delle variazioni temporali in funzione delle condizioni meteorologiche, responsabili dei fenomeni di dispersione e di diluizione degli inquinanti in aria ambiente, l'indagine è stata articolata in singole campagne stagionali dalla durata indicativa di 15 giorni (materiale particolato), distribuite nelle quattro stagioni meteorologiche dell'anno. Tale pianificazione permette di ottenere un campione rappresentativo di dati, sufficiente 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, 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 tabella 2.1 mostra i periodi di osservazione della campagna di misurazione effettuata nelle postazioni in oggetto nel triennio 2015 – 2017:

Tabella 2.1 piano di utilizzo autolaboratorio 2015 – 2017 inquinanti gassosi

| Postazione | Inverno | Primavera | Estate | Autunno | numero giorni |
|---|------------------|------------------|-----------------|-------------------|---------------|
| Piazzale John Lennon Bibbiena | 19/12/15–11/1/16 | 13/4/ – 2/5/2016 | 1 – 15/6/2016 | 19/10 – 7/11/2016 | 79 |
| Scuola La Pira San Giovanni Valdarno | 13/1 – 8/2/2016 | 24/3 – 11/4/2016 | 7/7 – 3/8/2016 | 7 – 27/9/2016 | 95 |
| Piazza Nigra – Chiusi Scalo Chiusi | 11-30/01/2017 | 4 – 23/5/2016 | 17/6 – 5/7/2016 | 29/9 – 17/10/2016 | 78 |
| Loc. La Rota (Ex Mattatoio Comunale) Piancastagnaio | 1/12/16 – 7/2/17 | 5-31/5/2016 | 1-21/06/2016 | 4-30/11/2016 | 144 |
| Montecerboli Pomarance | 11-28/02/2017 | 15-31/03/2017 | 14-31/07/2016 | 26/09-13/10/2016 | 71 |

Il piano di monitoraggio del materiale particolato PM10-PM2,5, caratterizzato dalla sola attività di campionamento in campo, ha seguito una programmazione leggermente diversa da quella degli inquinanti gassosi dovuta alla gestione delle membrane filtranti. In dettaglio, sono stati effettuati 61 giorni di campionamento per la postazione di Bibbiena (19 dicembre 2015 – 3 novembre 2016), 57 giorni di campionamento per le postazioni di San Giovanni Valdarno (18 gennaio – 23 settembre 2016) e Montecerboli (21 luglio 2016 – 18 marzo 2017), e 60 giorni di campionamento per le postazioni di Chiusi Scalo (4 maggio 2016 – 25 gennaio 2017) e Piancastagnaio (6 maggio – 20 dicembre 2016).

Le misurazioni sono state effettuate con due diversi laboratori mobili.

3. Inquinanti monitorati

In relazione alle disposizioni della normativa che disciplina la qualità dell'aria ambiente, sono stati monitorati i seguenti parametri (Allegato I D.M.A. 26/01/2017):

- **ossidi di azoto (NO-NOx-NO₂)** – UNI 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 (**PM2,5**) – UNI EN 12341:2014 Determinazione del particolato in sospensione PM10-PM2,5;
- **biossido di zolfo (SO₂)** – UNI EN 14212:2012 "Qualità dell'aria ambiente. Metodo normalizzato per la misurazione della concentrazione di diossido di zolfo mediante fluorescenza ultravioletta;
- **monossido di carbonio – (CO)** – UNI EN 14626:2012 - "Qualità dell'aria ambiente. Metodo normalizzato per la misurazione della concentrazione di monossido di carbonio mediante spettroscopia a raggi infrarossi non dispersiva;
- **ozono – (O₃)** – UNI EN 14625:2012 "Qualità dell'aria ambiente. Metodo normalizzato per la misurazione della concentrazione di ozono mediante fotometria ultravioletta".

Per quanto attiene le postazioni di Piancastagnaio e Montecerboli, è stata effettuata anche la misurazione degli **idrocarburi aromatici (BTEX)** mediante il metodo UNI EN 14662-3:2015 "Qualità dell'aria ambiente. Metodo normalizzato per la misurazione delle concentrazioni di benzene – Parte 3: campionamento per pompaggio automatizzato con gascromatografia in situ.

Relativamente ai parametri meteorologici, sono state rilevate le grandezze anemometriche di direzione e velocità del vento; i sensori meteorologici sono stati installati, compatibilmente agli aspetti logistici di posizionamento dei laboratori mobili, in campo aperto, su palo telescopico avente un'altezza di circa 10 metri da terra.

La scheda nell'allegato 3 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-PM2,5 sono stati utilizzati i campionatori automatici Hydra dual channel e SWAM dual channel (configurato in modalità di solo campionamento), prodotti dalla ditta FAI, Italia, mezzo di filtrazione rappresentato da membrane in fibra di quarzo. 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 e PM2,5 (FAI - Zambelli) conformi alle specifiche previste della norma tecnica europea UNI EN 12341. La determinazione gravimetrica della massa campionata di particolato in sospensione nel mezzo di filtrazione, è stata effettuata in laboratorio mediante operazioni di condizionamento e pesata effettuate, sia precedentemente, che successivamente al campionamento, secondo le specifiche prescrizioni previste della norma tecnica europea UNI EN 12341 (72 ore a T = 20 °C e U.R. da 45 a 50 %).

Le caratteristiche tecniche della strumentazione automatica con cui sono equipaggiati i laboratori mobili utilizzati nella presente campagna sono indicate nell'allegato 2.

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 l'indicatore del 90,4° percentile anziché il numero di superamenti; questo perché i superamenti sono fortemente influenzati dalla copertura temporale dei dati, la quale nelle misure indicative, non è continuativa per tutto l'anno civile.

Lo schema dei limiti previsti dalla normativa per ciascun inquinante è riportata nell'allegato 4.

5. Obiettivi di qualità dei dati

Raccolta minima dei dati

La tabella 5.1 presenta la raccolta minima dei dati per singolo analizzatore ottenuta nelle campagne di misurazione.

La normativa che disciplina la qualità dell'aria (allegato I del D.Lgs. 155/2010) ed il documento tecnico "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 indagine.

La raccolta minima dei dati, è calcolata come percentuale di dati registrati e validati rispetto al totale teorico (per es. 24 dati orari per ogni giorno di monitoraggio). Una parte dei dati è inevitabilmente perduta per le attività di controllo giornaliero di zero e span, per le tarature periodiche e per le operazioni di manutenzione ordinaria e preventiva; 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 | CO | NO ₂ | PM10 | PM2,5 | O ₃ | SO ₂ | C ₆ H ₆ | DV | VV |
|---|-----|-----------------|------|-------|----------------|-----------------|-------------------------------|-----|-----|
| Piazzale John Lennon Bibbiena | 87 | 99 | 100 | 100 | 100 | 89 | -- | 100 | 100 |
| Scuola La Pira San Giovanni Valdarno | 98 | 96 | 100 | 100 | 98 | 88 | -- | 100 | 99 |
| Piazza Nigra – Chiusi Scalo Chiusi | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 99 | -- | 100 | 100 |
| Loc. La Rota (Ex Mattatoio Comunale) Piancastagnaio | 99 | 99 | 100 | 100 | 100 | 95 | 97 | 100 | 100 |
| Montecerboli Pomarance | 96 | 95 | 95 | 92 | 98 | 95 | 95 | 96 | 100 |

NO₂ = biossido di azoto PM10 – PM2,5 = Materiale particolato PM10 o PM2,5 VV = velocità vento
CO = monossido di carbonio SO₂ = biossido di zolfo O₃ = ozono
DV = direzione vento

I rendimenti ottenuti dagli analizzatori di monossido di carbonio e biossido di zolfo relativi alle postazioni di Bibbiena e San Giovanni Valdarno risultano poco sotto il valore di riferimento. Considerato tuttavia che il valore di riferimento della raccolta minima dei dati per singolo analizzatore ($\geq 90\%$) si riferisce alle reti con stazioni di misurazione fisse, che le campagne indicative sono articolate in singole campagne stagionali, nel quale lo spegnimento, lo spostamento ed il riavvio della strumentazione, rappresentano elementi di criticità per la strumentazione, e che comunque i rendimenti medi per campagna sono buoni (Bibbiena e San Giovanni Valdarno = 97 %), è da ritenere che il quadro delle informazioni evidenziate dai dati sia comunque sufficiente per identificare lo stato della qualità dell'aria di queste due postazioni. Si ricorda inoltre che il monossido di carbonio ed il biossido di zolfo rappresenta attualmente inquinanti non significativi.

Per le altre postazioni di misura, la raccolta minima dei dati elaborata per singolo analizzatore risulta conforme ai criteri definiti per gli obiettivi di qualità dei dati stabiliti dal D.Lgs. 155/2010 e smi.

Periodo minimo di copertura

Il periodo minimo di copertura su base annuale raggiunto dalle postazioni di misurazione è strettamente connesso al piano di utilizzo dei laboratori mobili. Per questo aspetto, i criteri relativi agli obiettivi di qualità dei dati definiti per le misure indicative (allegato 1 del D.Lgs. 155/2010 e dall'allegato I della Direttiva 2008/50/CE del Parlamento e del Consiglio Europeo) prevedono un valore di riferimento pari al 14 %.

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

La tabella sottostante, mostra i periodi minimi di copertura raggiunti dalle postazioni di misurazione esaminate, riferiti sia agli inquinanti gassosi, i quali sono stati misurati per periodi di osservazione più lunghi, sia al materiale particolato PM₁₀-PM_{2,5}.

tabella 5.2 periodo minimo di copertura campagne di misurazione indicative 2015-2017

| Postazione | Periodo minimo di copertura % inquinanti gassosi | Periodo minimo di copertura % materiale particolato |
|--|---|--|
| Piazzale John Lennon Bibbiena | 22 | 17 |
| Scuola La Pira S. Giovanni Valdarno | 26 | 16 |
| Piazza Nigra - Chiusi Scalo Chiusi | 21 | 16 |
| Loc. La Rota Piancastagnaio | 39 | 16 |
| Montecerboli Pomarance | 19 | 16 |

6. Dati rilevati nelle campagne di misurazione

Nella presente relazione sono riportati gli elaborati grafici relativi a:

- confronto dei risultati con i relativi valori limite;
- confronto con i valori degli indicatori registrati dalle stazioni fisse di rete regionale ubicate nella Zona Collinare e Montana (Poggibonsi – Via De Amicis, Casa Stabbi – Chitignano, e Montecerboli - Pomarance), nella Zona del Valdarno aretino e Valdichiana (Arezzo Acropoli e via Morandi Figline Valdarno);
- giorni tipo biossido di azoto, e benzene*;
- box-plot PM e benzene*;
- diagrammi polari biossido di azoto e benzene*.

*solo per postazioni di Montecerboli e Piancastagnaio

Standardizzazione

Tutti i valori di concentrazione espressi in unità di massa (μg o mg) 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, 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 nelle postazioni di misurazione.

Tabella 6.1 valori medi delle postazioni campagne 2015- 2017

| POSTAZIONE | NO ₂ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | NO _x $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | PM10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | PM2,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | CO mg/m^3 | Benzene $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | O ₃ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | SO ₂ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |
|--|---|---|----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|--|---|
| Piazzale John Lennon Bibbiena (Ar) | 16 | 24 | 24 | 17 | 0,4 | -- | 43 | 3 |
| Scuola La Pira San Giovanni Valdarno (Ar) | 28 | 55 | 28 | 19 | 0,4 | -- | 46 | 5 |
| Piazza Nigra - Chiusi Scalo Chiusi (Si) | 19 | 30 | 23 | 16 | 0,4 | -- | 52 | 4 |
| Loc. La Rota (Ex Mattatoio Comunale) Piancastagnaio (Si) | 4 | 5 | 13 | 8 | 0,3 | 0,4 | 64 | 1 |
| Montecerboli Pomarance (Pi) | 5 | 6 | 11 | 8 | 0,2 | 0,3 | 76 | 0,2 |

NO₂ = biossido di azoto

NO_x = ossidi di azoto totali

PM10 = materiale particolato PM10

CO = monossido di carbonio

O₃ = ozono

SO₂ = biossido di zolfo

6.1 Confronto con i valori limite definiti dalla normativa

Periodo di osservazione 2015 - 2017.

Indicatori significativi per la salute umana

| INDICATORE | S. Giovanni Valdarno La Pira 13/01/2016 - 27/09/2016 | Bibbiena P.za John Lennon 19/12/2015 07/11/2016 | Chiusi Scalo P.za Nigra 04/05/2016 30/01/2017 | Piancastagnaio La Rota 05/05/2016 – 07/02/2017 | Montecerboli 14/07/2016- 31/03/2017 | LIMITE |
|---|--|--|--|---|---|------------------|
| NO ₂ Max Orario (µg/m ³) | 104 | 47 | 81 | 44 | 45 | 200 |
| NO ₂ Media (µg/m ³) | 28 | 16 | 19 | 4 | 5 | 40 |
| CO media mobile 8 ore max (mg/m ³) | 2.3 | 1,7 | 1,4 | 0,9 | 0,5 | 10 |
| O ₃ media mobile 8 ore max (µg/m ³) | 143 | 103 | 116 | 112 | 129 | 120 ¹ |
| O ₃ Max Orario (µg/m ³) | 161 | 112 | 121 | 117 | 138 | 180 ² |
| PM10 Media (µg/m ³) | 28 | 24 | 23 | 13 | 11 | 40 |
| PM10 90,4° percentile (µg/m ³) | 51 | 51 | 58 | 18 | 16 | 50 |
| PM2,5 Media (µg/m ³) | 19 | 17 | 16 | 8 | 8 | 25 |
| SO ₂ Max Media giornaliera (µg/m ³) | 8 | 9 | 9 | 5 | 1 | 125 |
| SO ₂ Max Orario (µg/m ³) | 70 | 15 | 15 | 18 | 4 | 350 |
| C ₆ H ₆ Media (µg/m ³) | ND | ND | ND | 0.4 | 0,3 | 5 |

NO₂ = biossido di azoto
SO₂ = biossido di zolfo

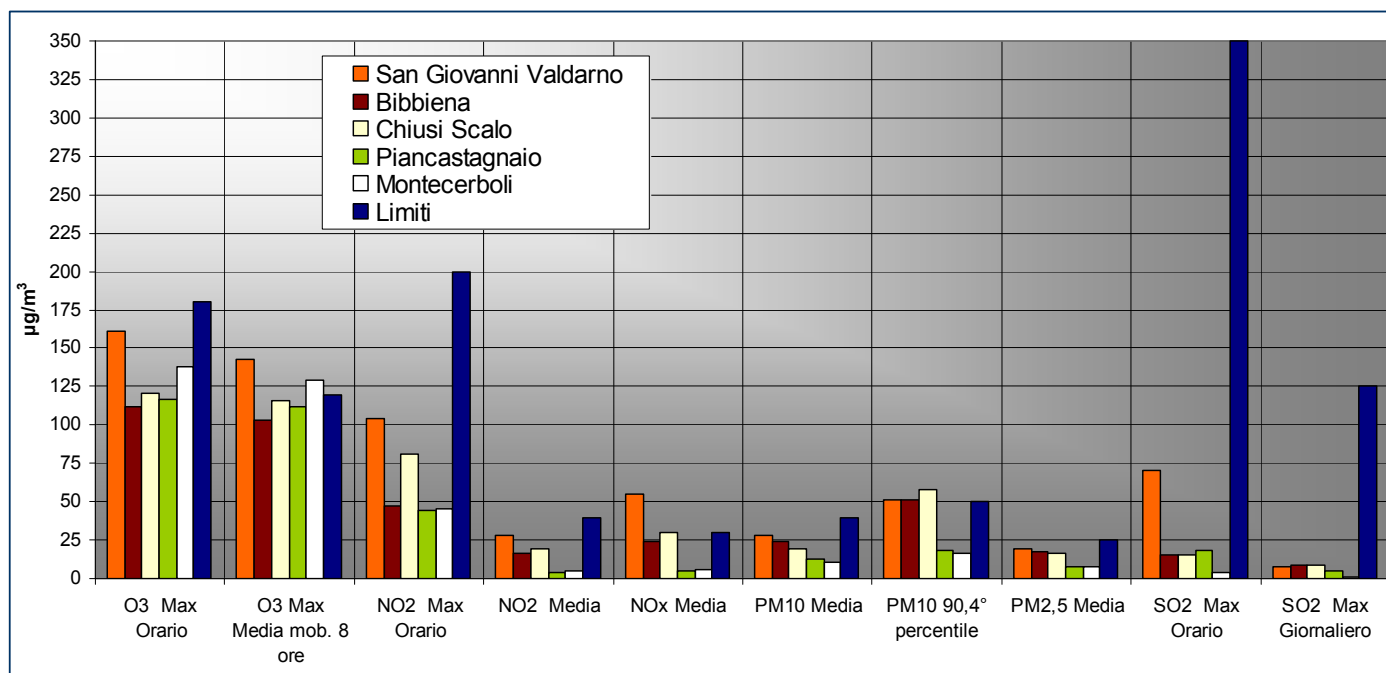
NO_x = ossidi di azoto totali
C₆H₆ = benzene

PM10 = materiale particolato PM10
CO = monossido di carbonio

¹ i superamenti relativi all'indicatore relativo alla media mobile di 8 ore massima giornaliera di ozono sono riferiti ad un numero massimo consentito per anno civile mediato su tre anni (25) e pertanto non è valutabile con la presente campagna di misurazione indicativa, caratterizzata da una copertura temporale limitata.

² valore relativo alla soglia di informazione

Figura 6.1.1 istogramma valori degli indicatori di qualità dell'aria ozono, biossido di azoto, ossidi di azoto, materiale particolato PM10 e biossido di zolfo



NO₂ = biossido di azoto NOx = ossidi di azoto totali PM10-PM2,5 = Materiale particolato PM10-PM2,5
 SO₂ = biossido di zolfo O₃ = ozono

Il valore limite relativo agli ossidi di azoto NOx segnato dalla relativa barra nel diagramma ad istogrammi si riferisce alla tutela della vegetazione ed è calcolato solo per le stazioni che rispettano i parametri di rappresentatività per la protezione della vegetazione. Le postazioni urbane non rientrano in tali criteri.

6.2 Elaborazione materiale particolato

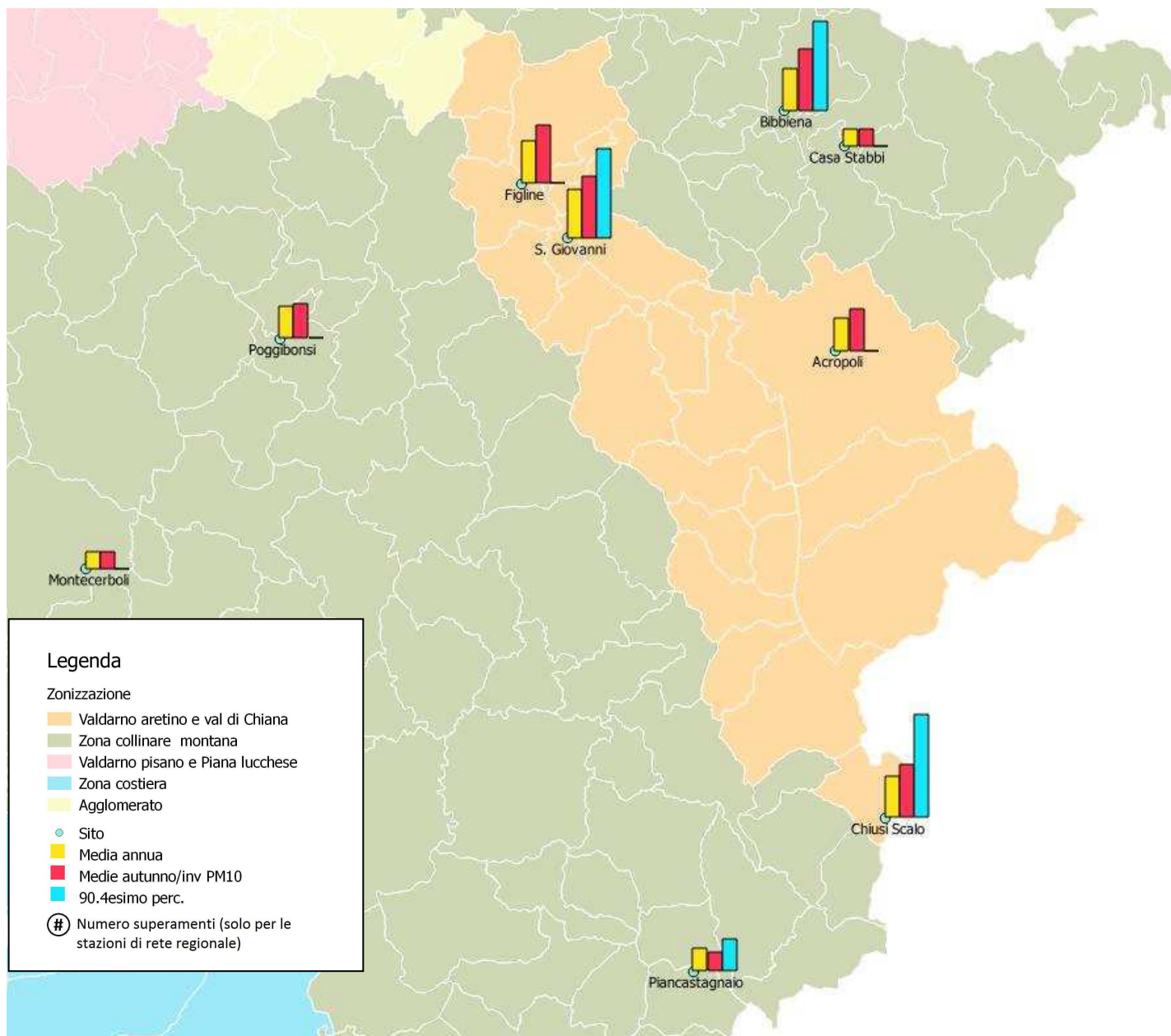
Tabella 6.2.1 Materiale Particolato – Raffronto con i dati registrati dalle stazioni di fisse

| POSTAZIONE | Media annuale PM10 | Media delle differenze di PM10 rispetto a AR-Acropoli durante le campagne | Media annuale PM2,5 | Media autunno-inverno PM10 | Numero superamenti VL media giornaliera PM10 | 90,4° percentile media giornaliera PM10 |
|---|--------------------|---|---------------------|----------------------------|--|---|
| AR-San Giovanni - La Pira 2016 | 28 | +5 | 19 | 35 | -- | 51 |
| AR-San Giovanni – ENEL Via Gramsci 2016 | 23 | +6 | 16 | 31 | 26 | -- |
| FI-Figline Valdarno – 2016*° | 24 | +6 | -- | 33 | 28 | -- |
| AR-Acropoli °2016 | 19 | -- | 13 | 24 | 8 | -- |
| SI-Chiusi Scalo - 2016-17 | 23 | +6 | 16 | 30 | -- | 58 |
| AR-Bibbiena – 2015-16 | 24 | +0,3 | 17 | 35 | -- | 51 |
| AR-Rassina – Castel Focognano COLACEM Via Turati 2016 | -- | -- | 13 | -- | -- | -- |
| AR-Rassina – Castel Focognano COLACEM Via Regina Elena 2016 | -- | -- | 13 | -- | -- | -- |
| AR-Casa Stabbi° - 2016 | 10 | -9 | -- | 10 | 1 | -- |
| SI-Poggibonsi° - 2016 | 18 | -1 | 12 | 20 | 0 | -- |
| SI-Piancastagnaio - 2016-17 | 13 | -9 | 8 | 11 | -- | 18 |
| PI-Montecerboli° - 2016 | 10 | -9 | -- | 10 | 0 | -- |

* attiva dal 11 febbraio 2016, ° stazione fissa con monitoraggio in continuo annuale

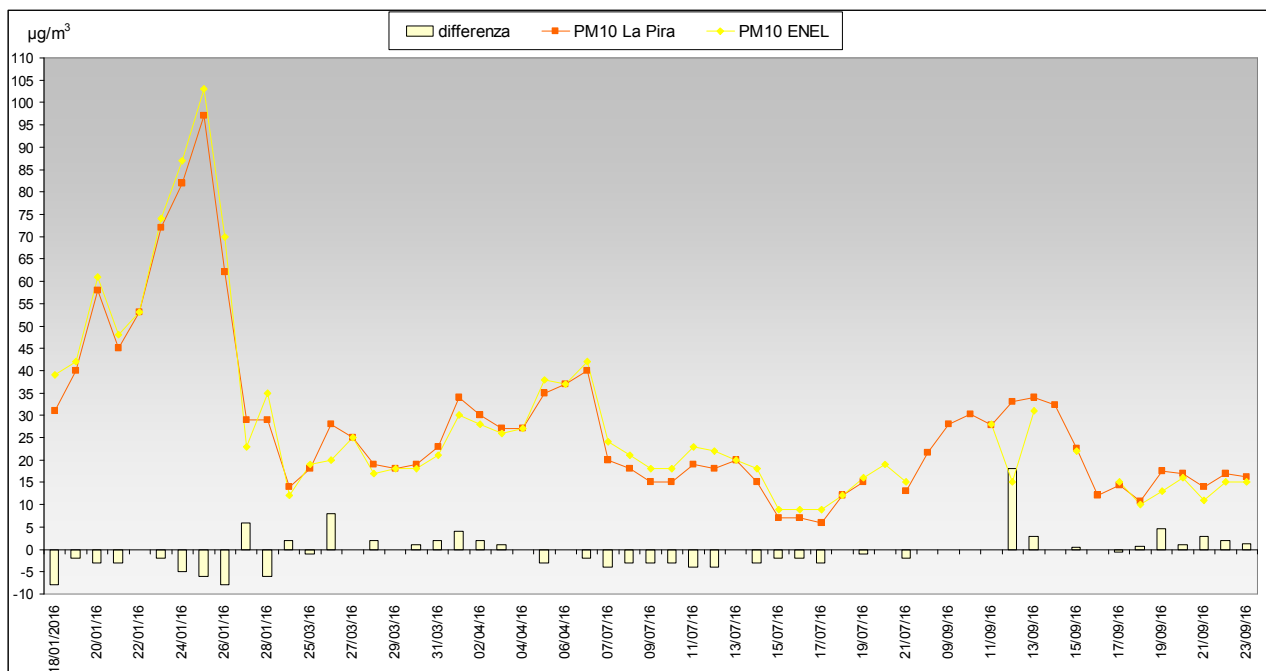
La presente tabella fornisce un quadro sulla distribuzione del materiale particolato PM10-PM2,5 nell'area sud – est della Toscana; sono mostrati i dati (media annuale, differenza rispetto alla stazione di Acropoli, media autunno-inverno, 90,4° percentile PM10 e numero giorni di superamento valore limite media giornaliera PM10) registrati dalle cinque postazioni di misura indicative (Bibbiena, Chiusi Scalo, Montecerboli, Piancastagnaio e San Giovanni Valdarno) oggetto della presente campagna e le stazioni di misurazione fisse ubicate nell'area di studio, sia pubbliche (Arezzo-Acropoli, Firenze-Figline, Chitignano-Casa Stabbi, Poggibonsi-De Amicis, Pisa-Montecerboli) che private (ENEL San Giovanni Valdarno Via Gramsci e COLACEM Via Regina Elena e Via Turati).

Figura 6.2.1. mappa medie annuali, autunno-inverno e 90,4° percentile PM10



6.3 Diagrammi delle differenze materiale particolato e biossido di azoto.

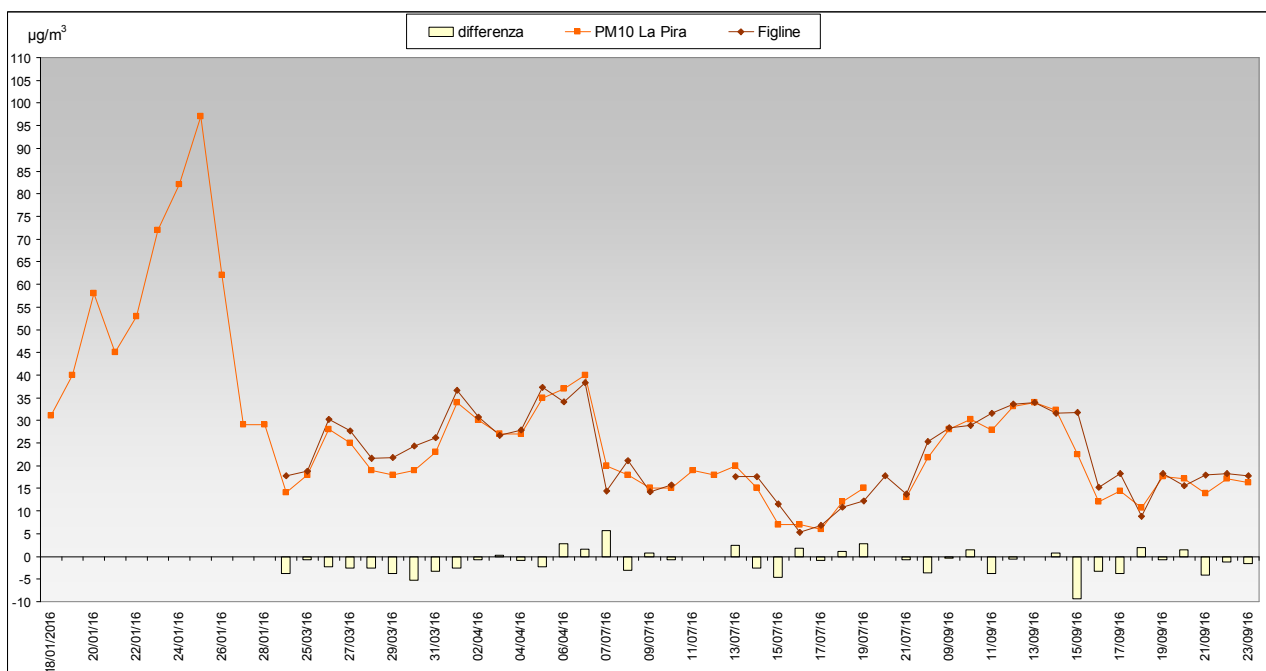
Figura 6.3.1. andamenti temporali medie giornaliere e delle differenze, materiale particolato PM10 San Giovanni Valdarno La Pira e San Giovanni Valdarno – stazione ENEL Via Gramsci



Media delle differenze = 0

$R^2 = 0,96$

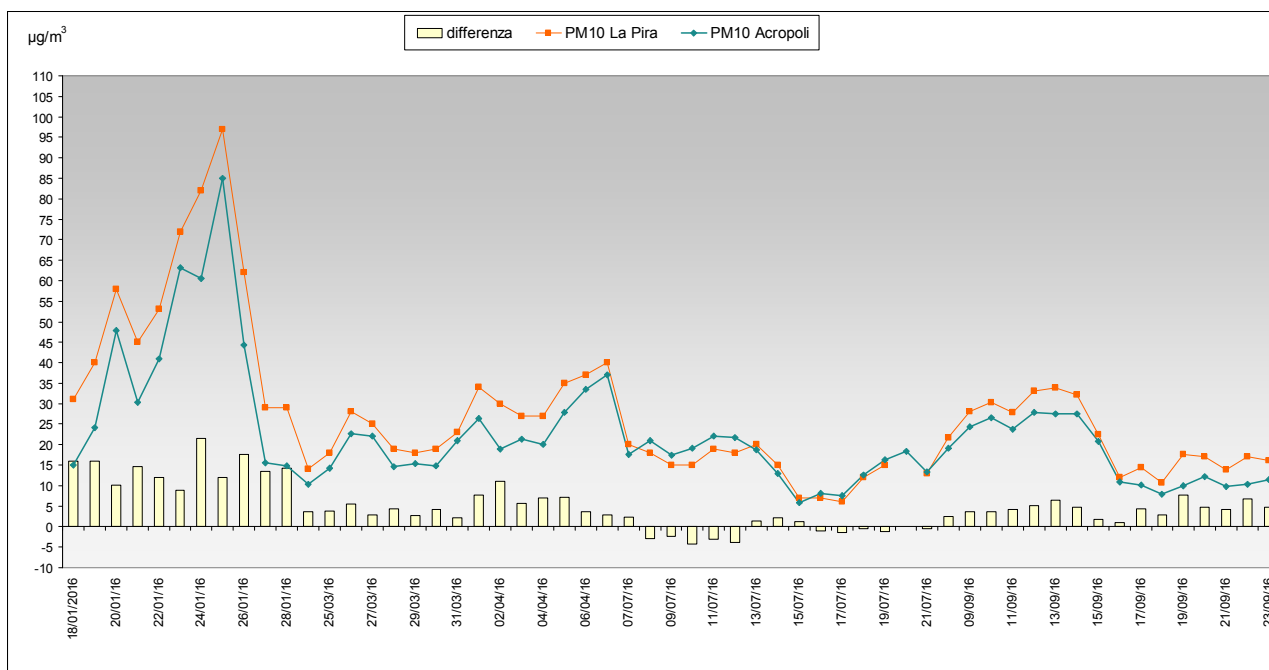
Figura 6.3.2. andamenti temporali medie giornaliere e delle differenze, materiale particolato PM10 San Giovanni Valdarno La Pira e stazione Figline Valdarno Via Morandi



Media delle differenze = -1

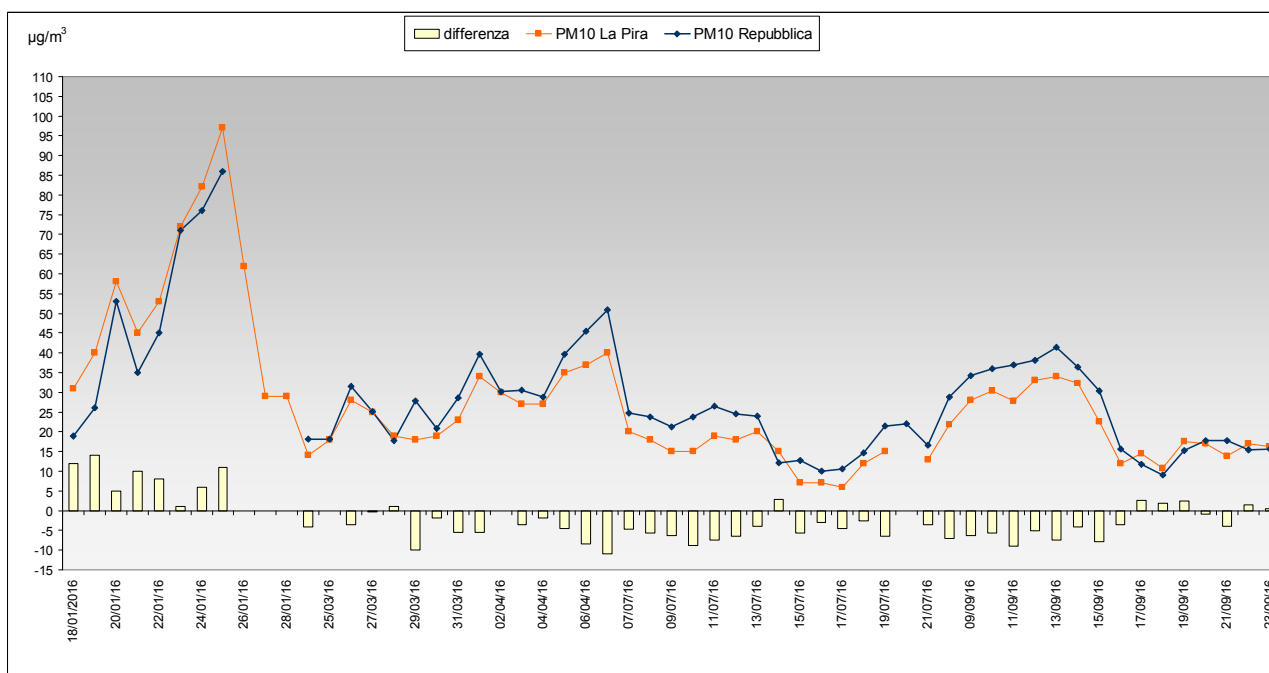
$R^2 = 0,91$

Figura 6.3.3. andamenti temporali medie giornaliere e delle differenze, materiale particolato PM10 San Giovanni Valdarno La Pira e stazione Arezzo Acropoli



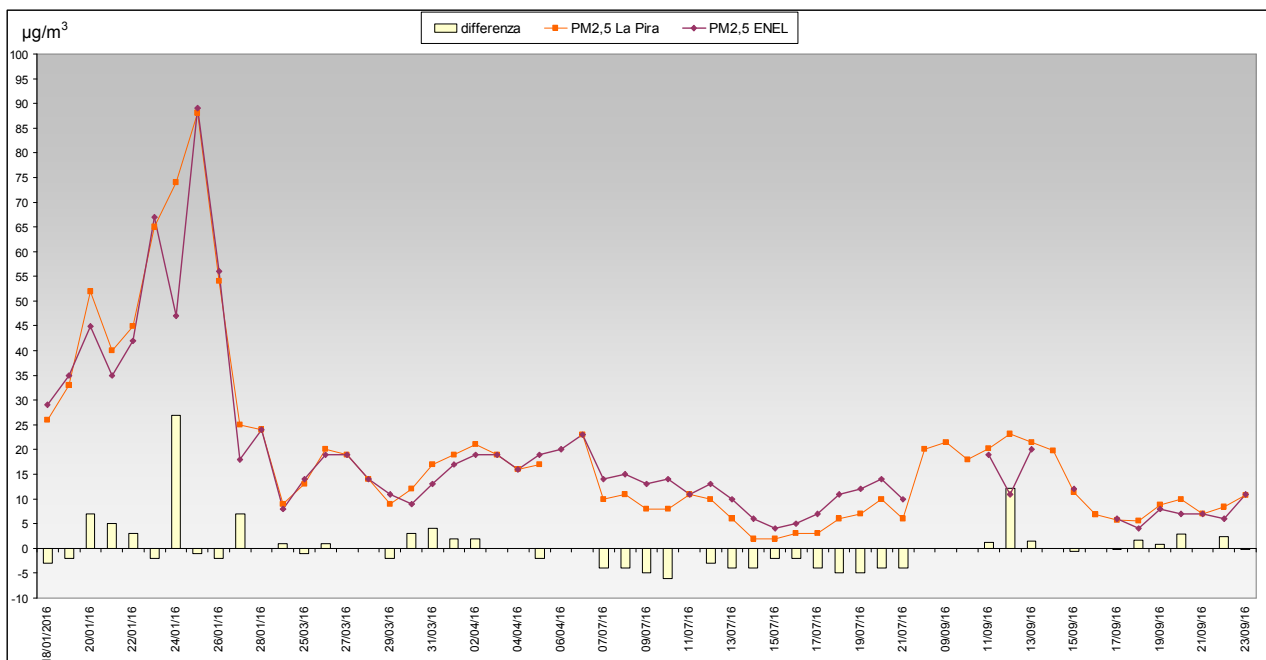
Media delle differenze = 5
 $R^2 = 0,93$

Figura 6.3.4. andamenti temporali medie giornaliere e delle differenze, materiale particolato PM10 San Giovanni Valdarno La Pira e stazione Arezzo Repubblica



Media delle differenze = -2
 $R^2 = 0,90$

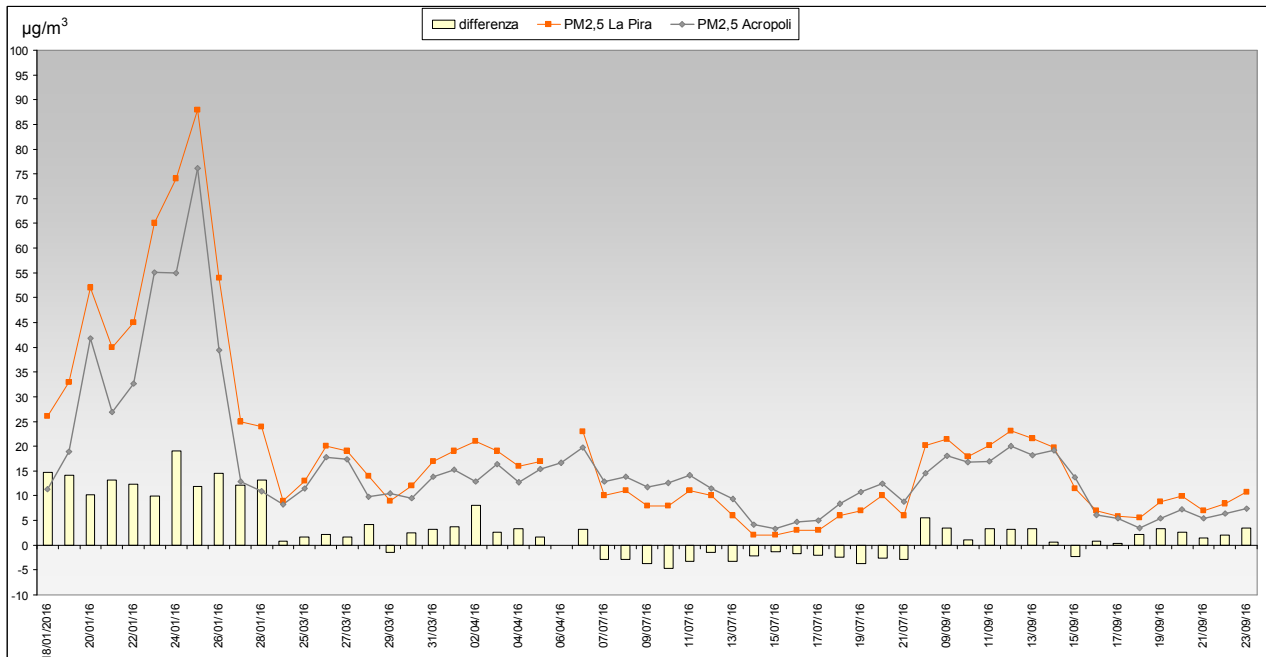
Figura 6.3.5. andamenti temporali medie giornaliere e delle differenze, materiale particolato PM2,5 San Giovanni Valdarno La Pira e San Giovanni Valdarno – stazione ENEL Via Gramsci



Media delle differenze = 0

$R^2 = 0,93$

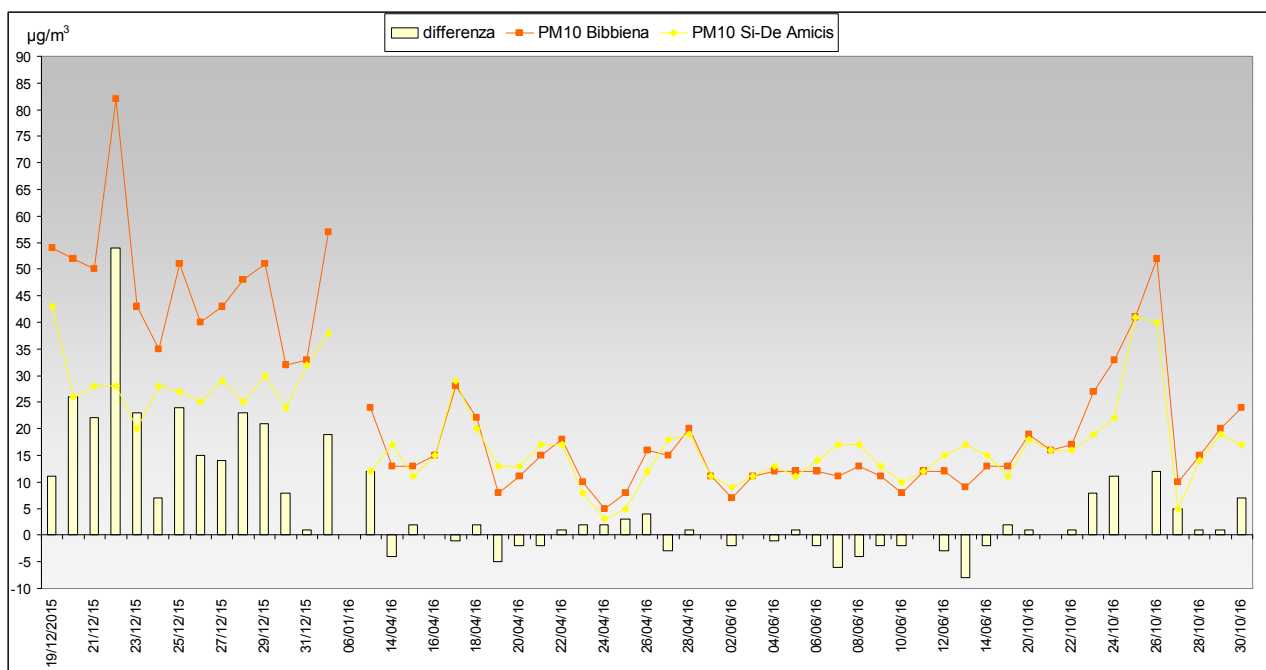
Figura 6.3.6. andamenti temporali medie giornaliere e delle differenze, materiale particolato PM2,5 San Giovanni Valdarno La Pira e – stazione Arezzo Acropoli



Media delle differenze = 3

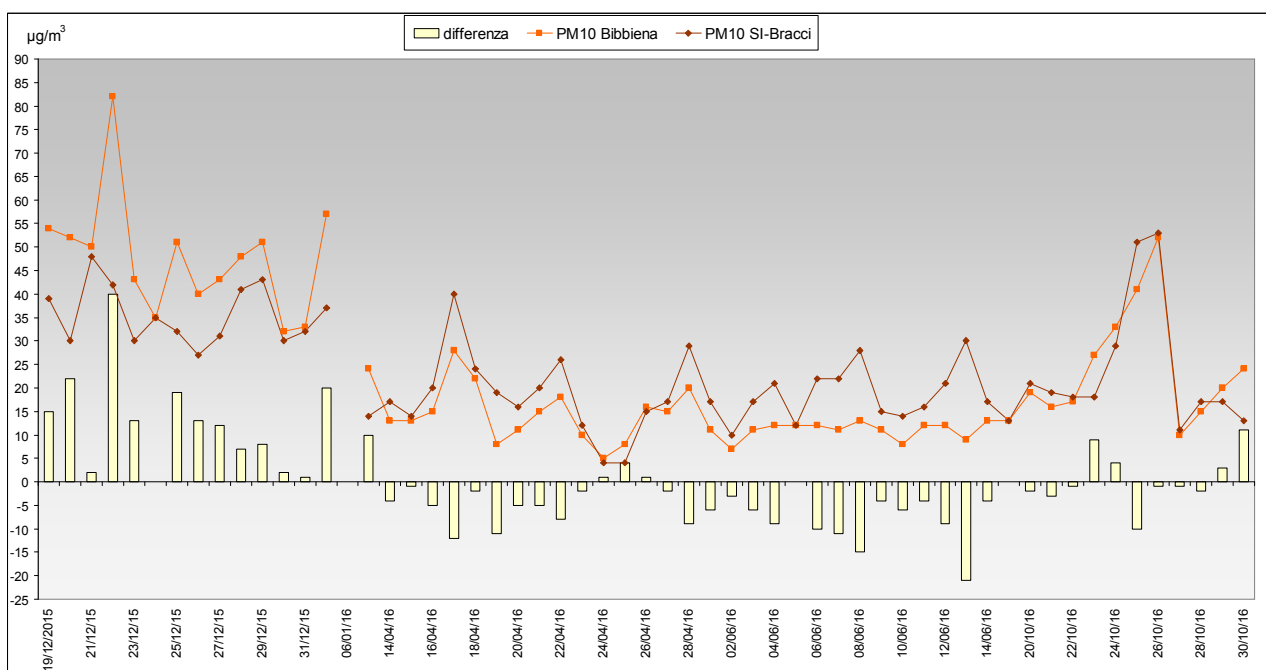
$R^2 = 0,94$

Figura 6.3.7. andamenti temporali medie giornaliere e delle differenze, materiale particolato PM10 Bibbiena e – stazione Poggibonsi De Amicis



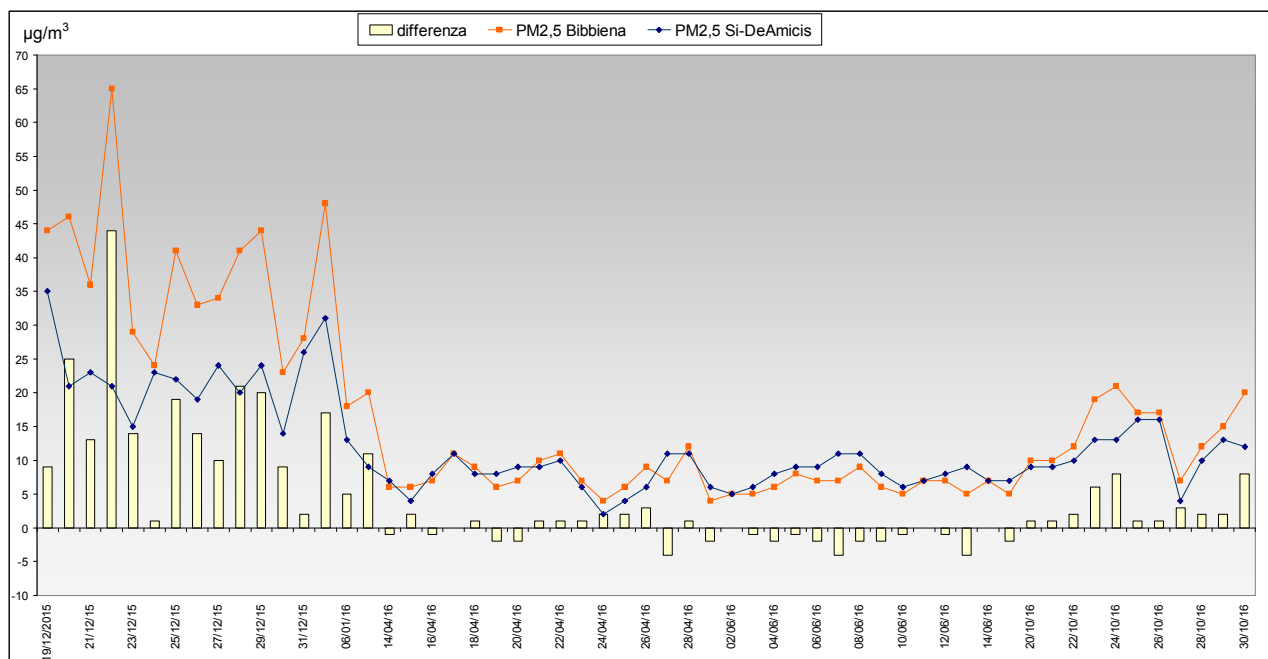
Media delle differenze = 5
 $R^2 = 0,69$

Figura 6.3.8. andamenti temporali medie giornaliere e delle differenze, materiale particolato PM10 Bibbiena e – stazione Siena Bracci



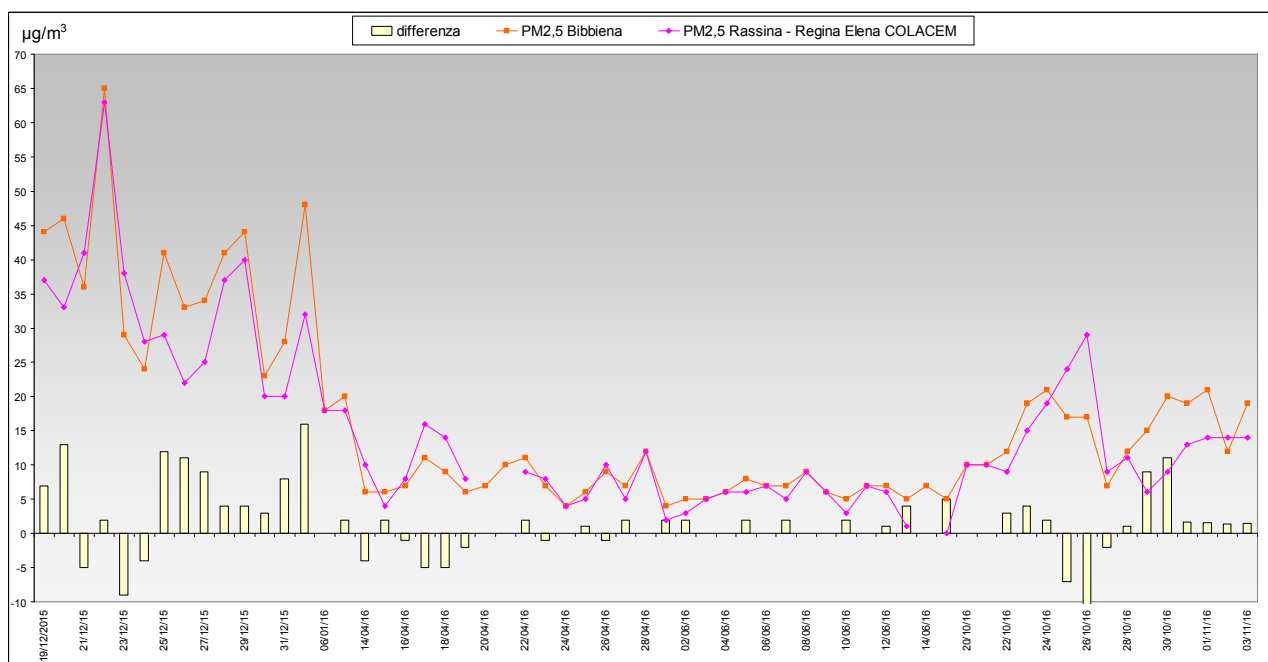
Media delle differenze = 1
 $R^2 = 0,65$

Figura 6.3.9. andamenti temporali medie giornaliere e delle differenze, materiale particolato PM_{2,5} Bibbiena e stazione Poggibonsi De Amicis



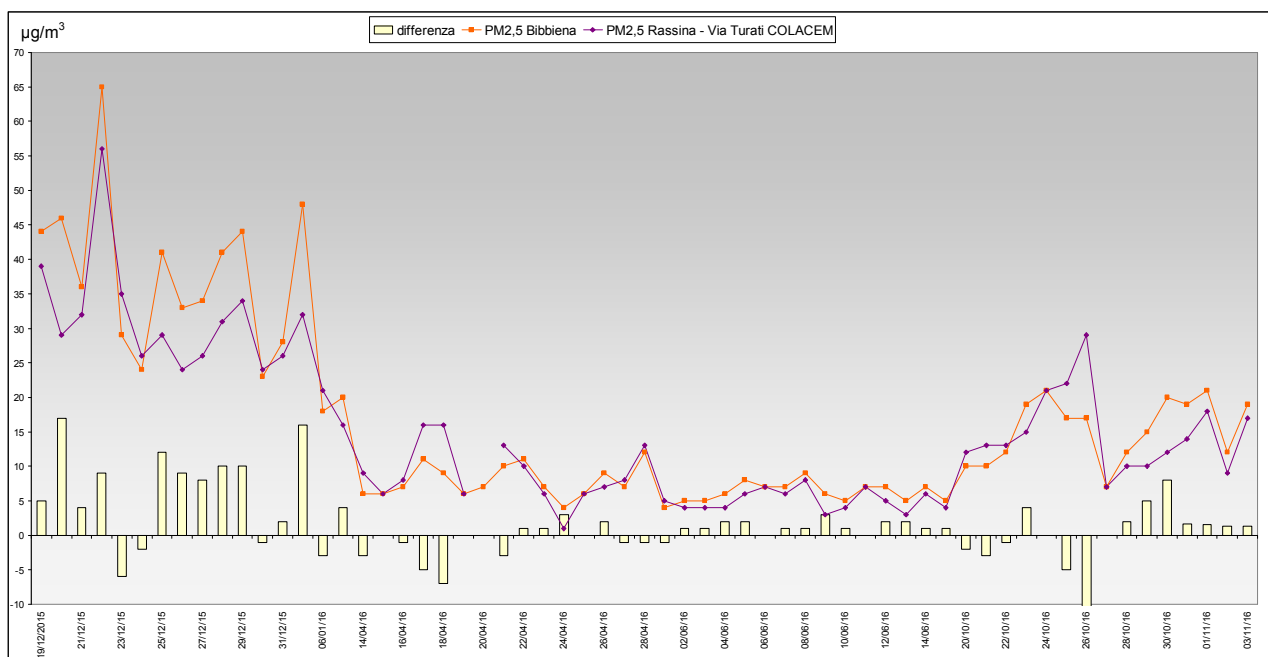
Media delle differenze = 4
 $R^2 = 0,77$

Figura 6.3.10. andamenti temporali medie giornaliere e delle differenze, materiale particolato PM_{2,5} Bibbiena e – stazione COLACEM Rassina – Castel Focognano Via Regina Elena



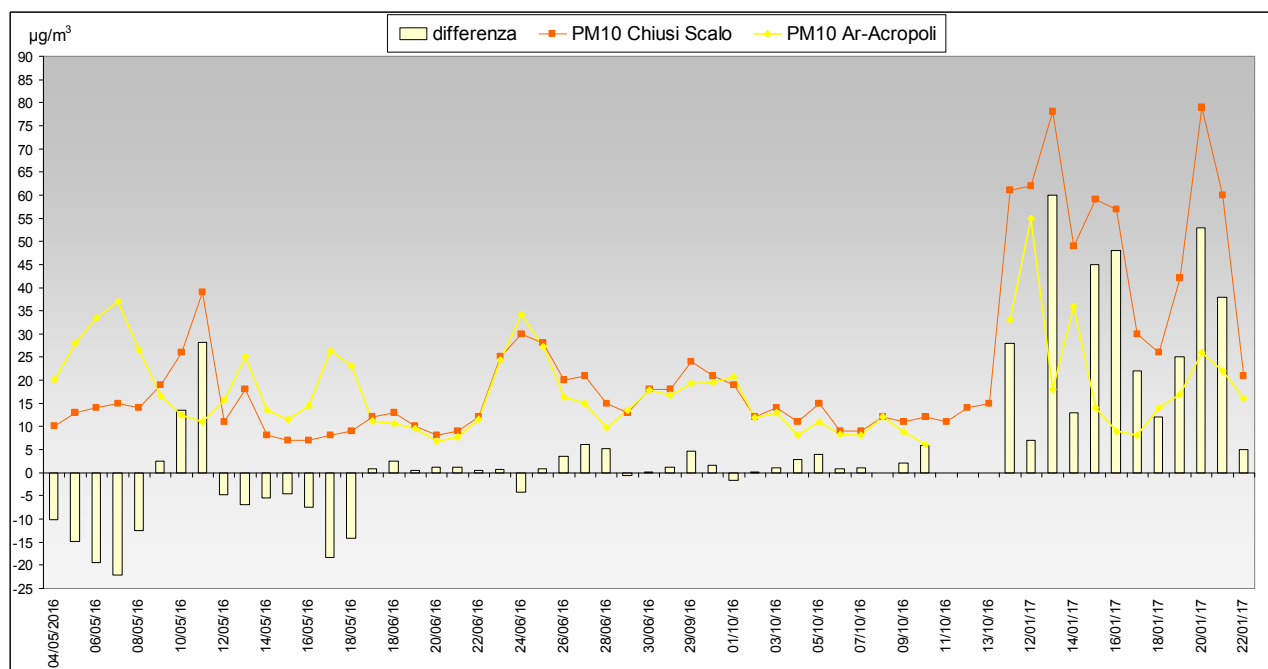
Media delle differenze = 2
 $R^2 = 0,86$

Figura 6.3.11. andamenti temporali medie giornaliere e delle differenze, materiale particolato PM_{2,5} Bibbiena e – stazione COLACEM Rassina – Castel Focognano Via Turati



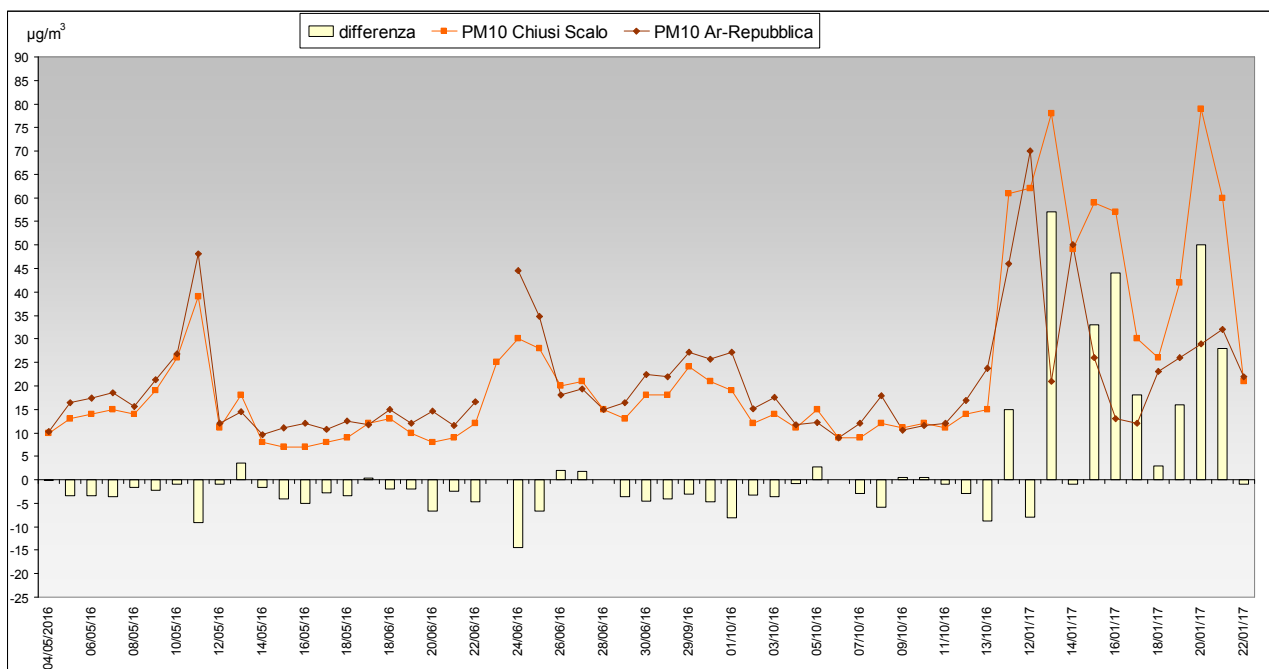
Media delle differenze = 2
 $R^2 = 0,88$

Figura 6.3.12. andamenti temporali medie giornaliere e delle differenze, materiale particolato PM₁₀ Chiusi Scalo e – stazione Arezzo Acropoli



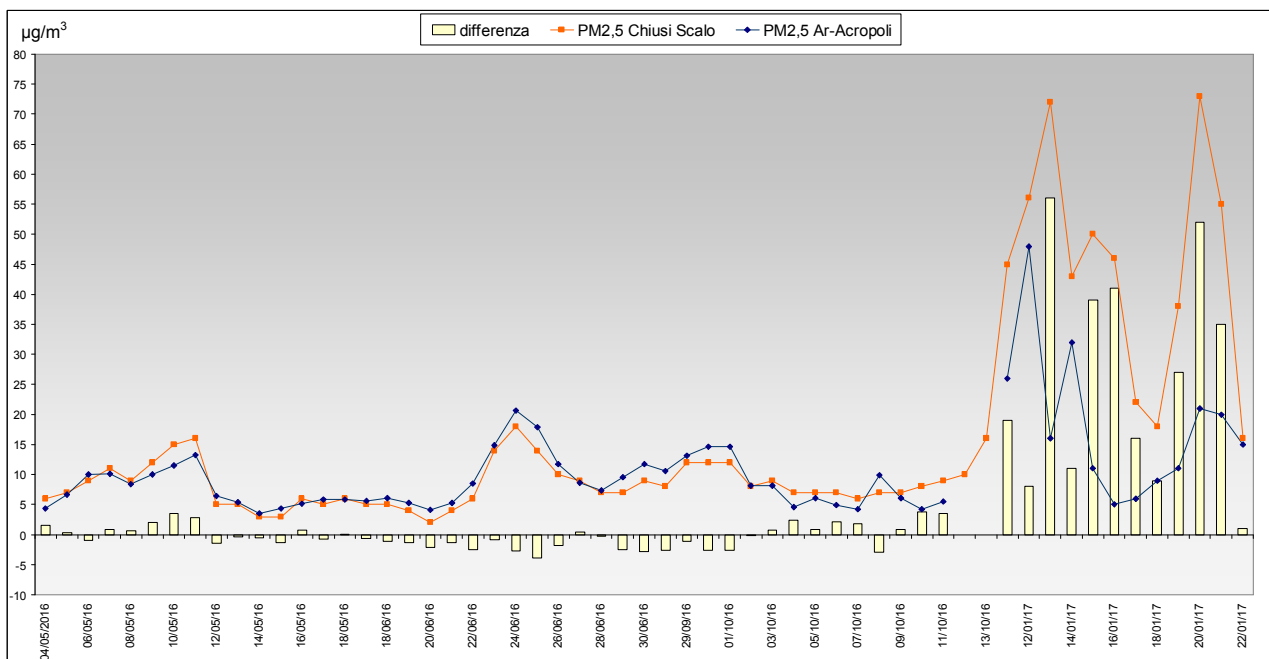
Media delle differenze = 6
 $R^2 = 0,12$

Figura 6.3.13. andamenti temporali medie giornaliere e delle differenze, materiale particolato PM10 Chiusi Scalo e – stazione Arezzo P.za Repubblica



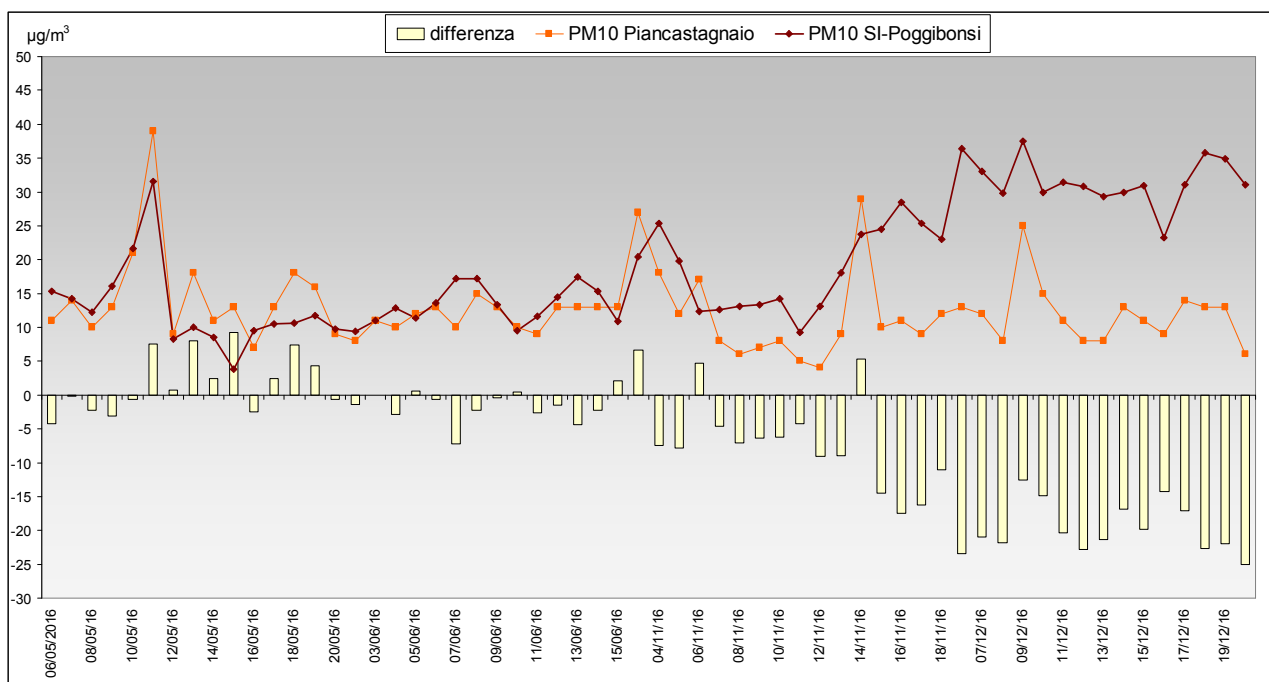
Media delle differenze = 2
 $R^2 = 0,34$

Figura 6.3.14. andamenti temporali medie giornaliere e delle differenze, materiale particolato PM2,5 Chiusi Scalo e – stazione Arezzo Acropoli



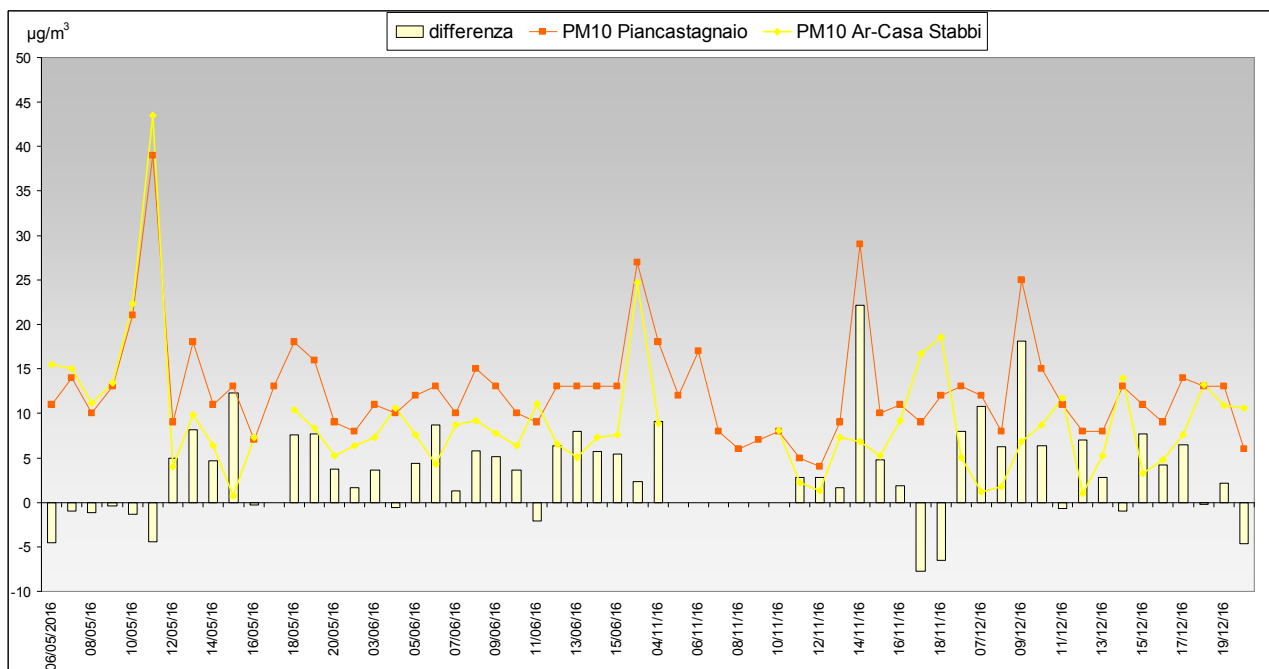
Media delle differenze = 5
 $R^2 = 0,38$

Figura 6.3.15. andamenti temporali medie giornaliere e delle differenze, materiale particolato PM10 Piancastagnaio e – stazione Poggibonsi De Amicis



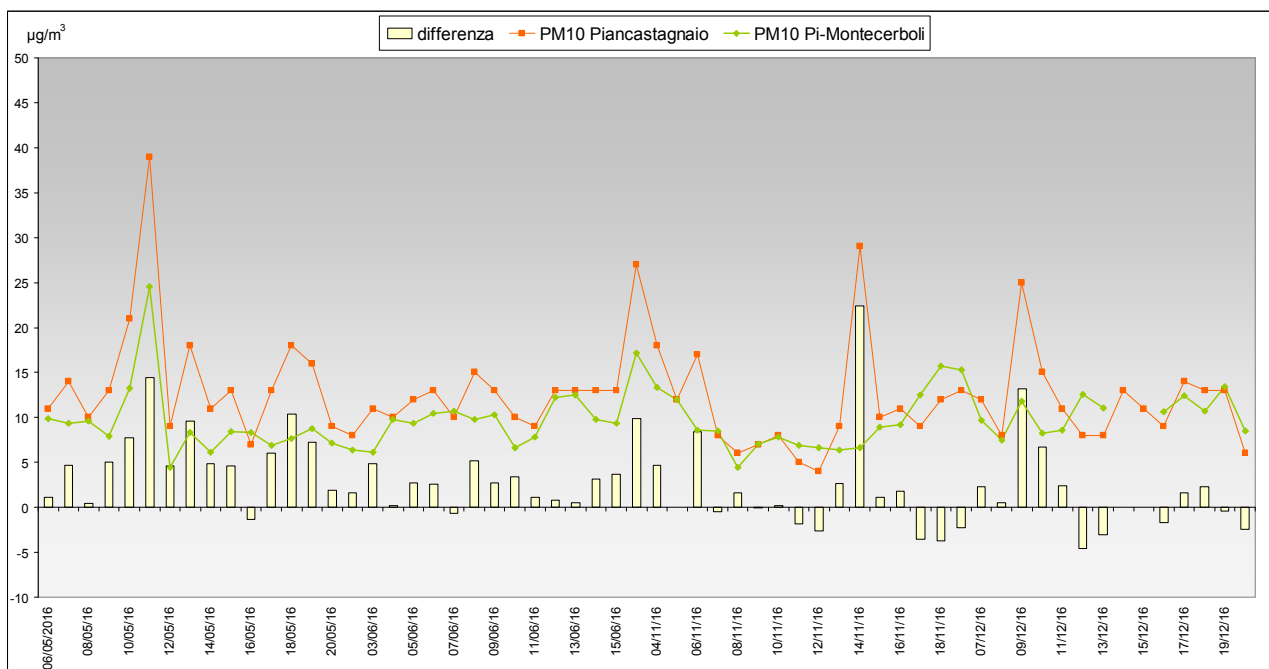
Media delle differenze = -7
 $R^2 = 0,06$

Figura 6.3.16. andamenti temporali medie giornaliere e delle differenze, materiale particolato PM10 Piancastagnaio e – stazione Casa Stabbi – Chitignano



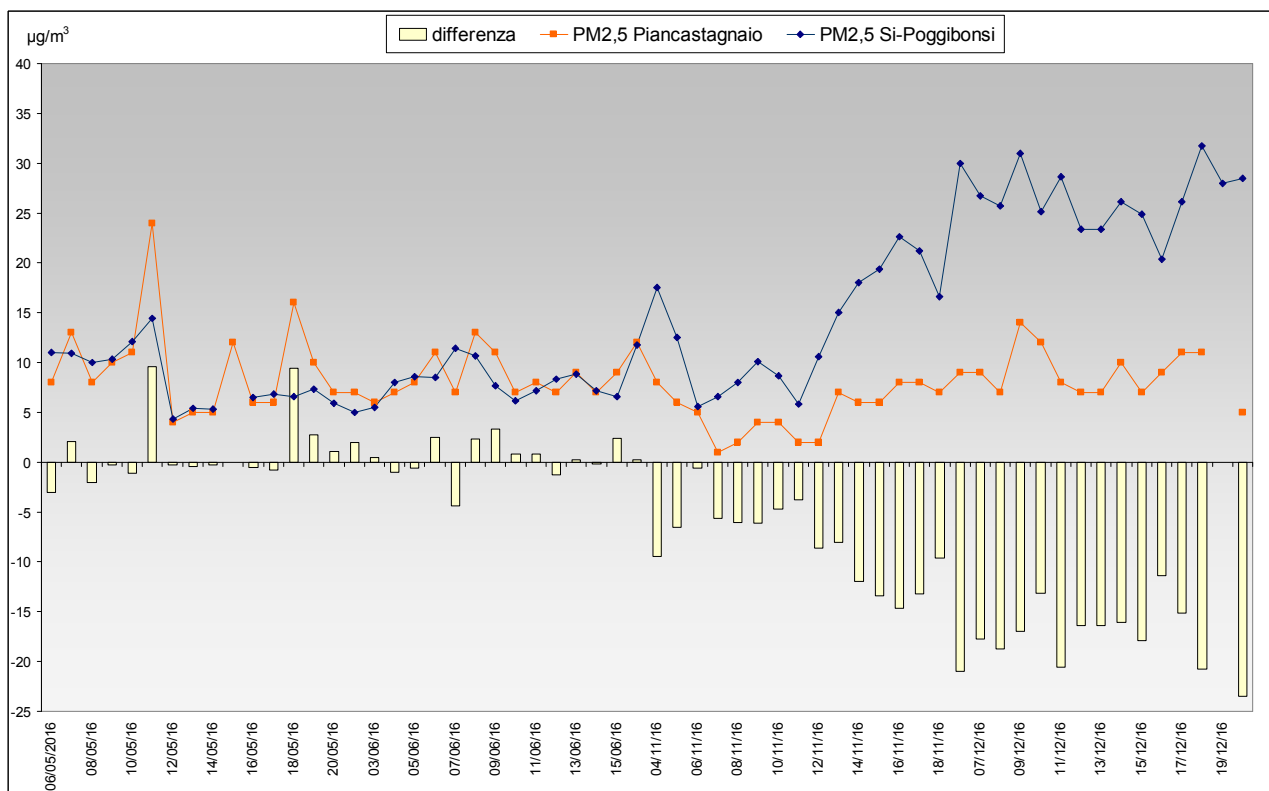
Media delle differenze = 4
 $R^2 = 0,42$

Figura 6.3.17. andamenti temporali medie giornaliere e delle differenze, materiale particolato PM10 Piancastagnaio e – stazione Montecerboli Pomarance



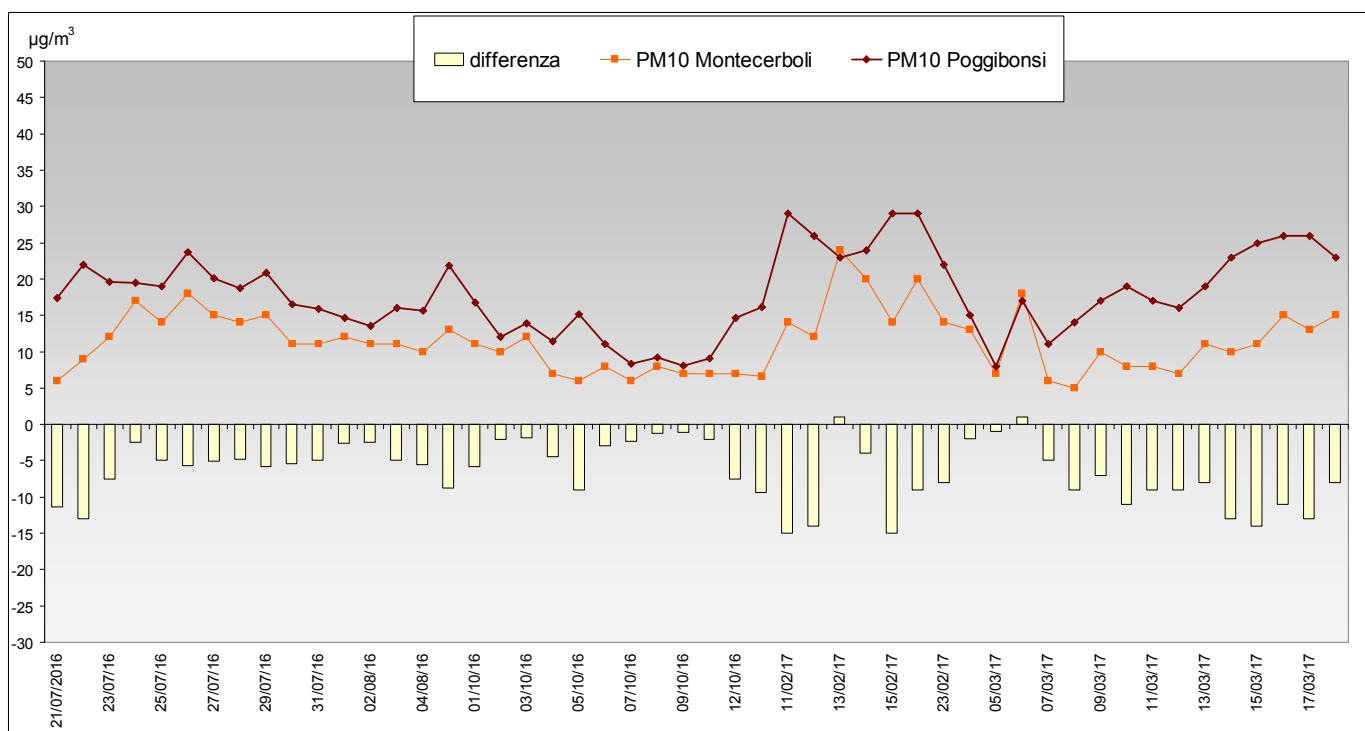
Media delle differenze = 3
 $R^2 = 0,36$

Figura 6.3.18. andamenti temporali medie giornaliere e delle differenze, materiale particolato PM2,5 Piancastagnaio e – stazione Poggibonsi De Amicis



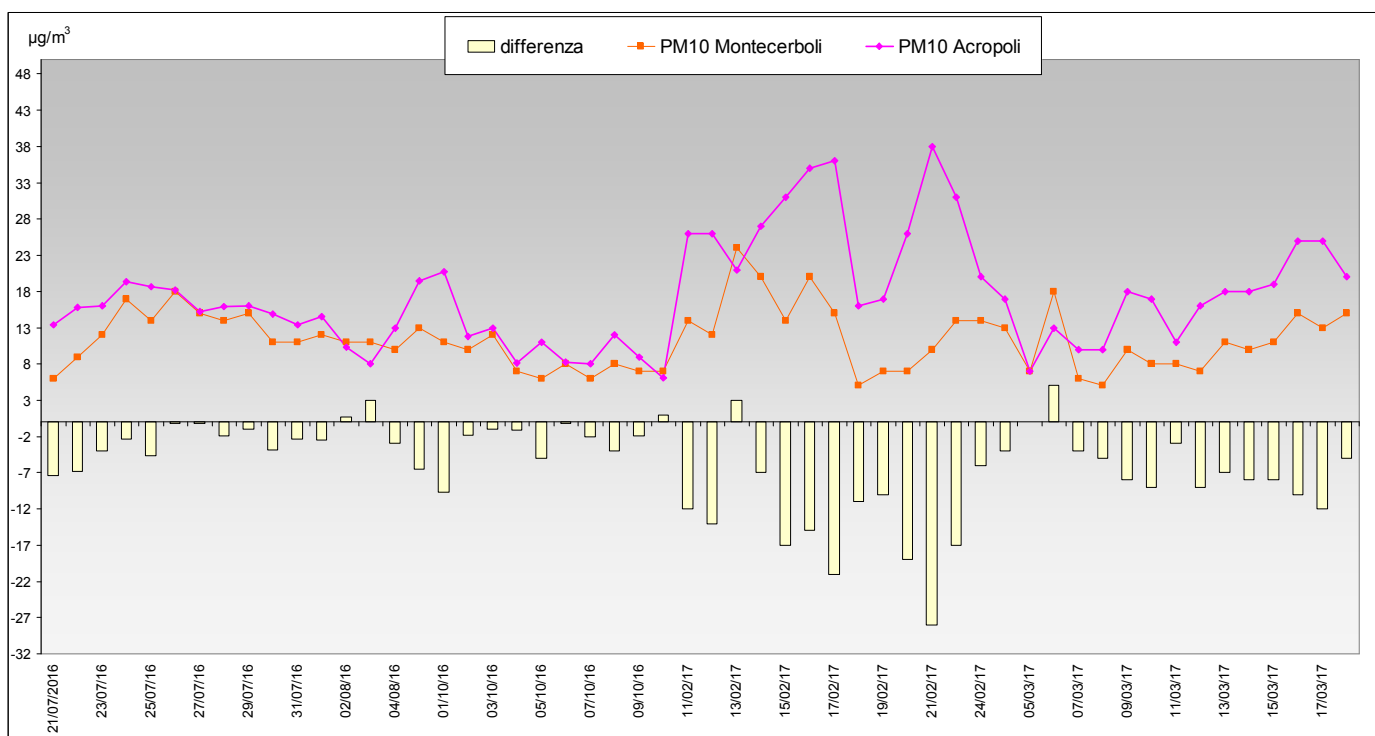
Media delle differenze = -6
 $R^2 = 0,06$

Figura 6.3.19. andamenti temporali medie giornaliere e delle differenze, materiale particolato PM10 Montecerboli e – stazione Poggibonsi De Amicis



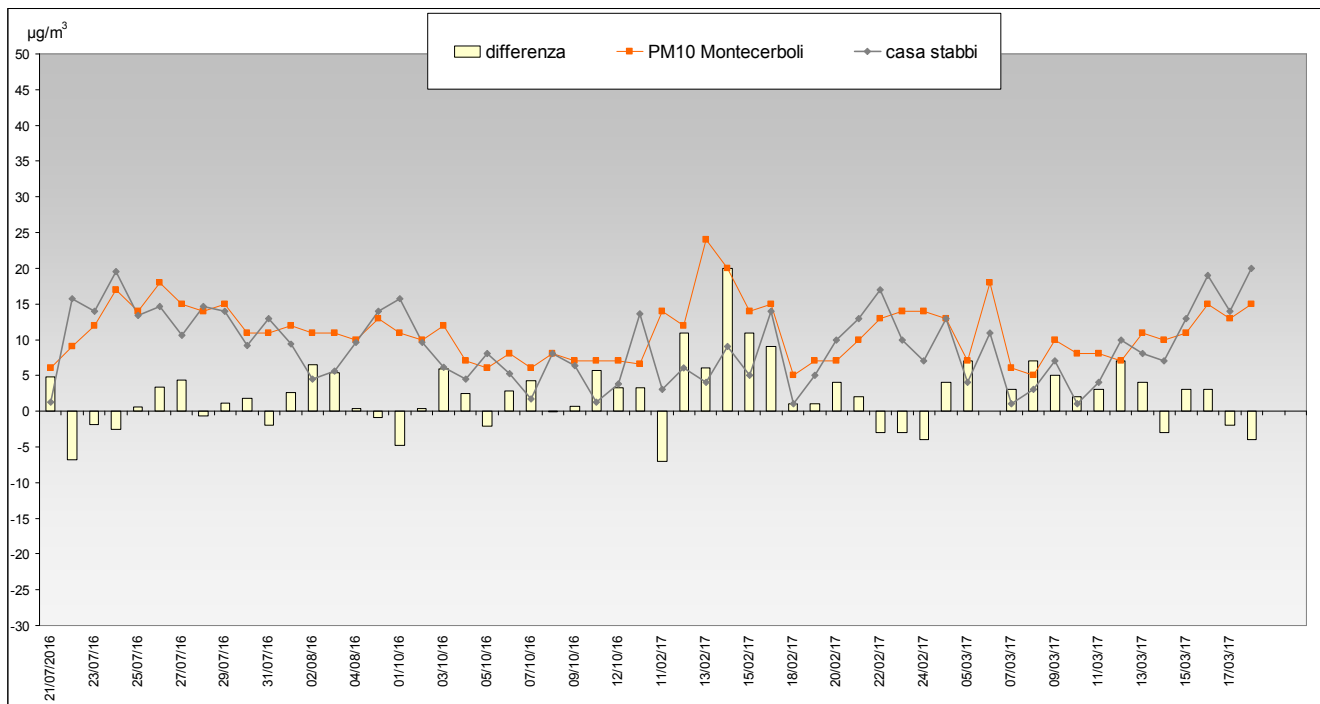
Media delle differenze = -8
 $R^2 = 0,44$

Figura 6.3.20. andamenti temporali medie giornaliere e delle differenze, materiale particolato PM10 Montecerboli e – stazione Arezzo Acropoli



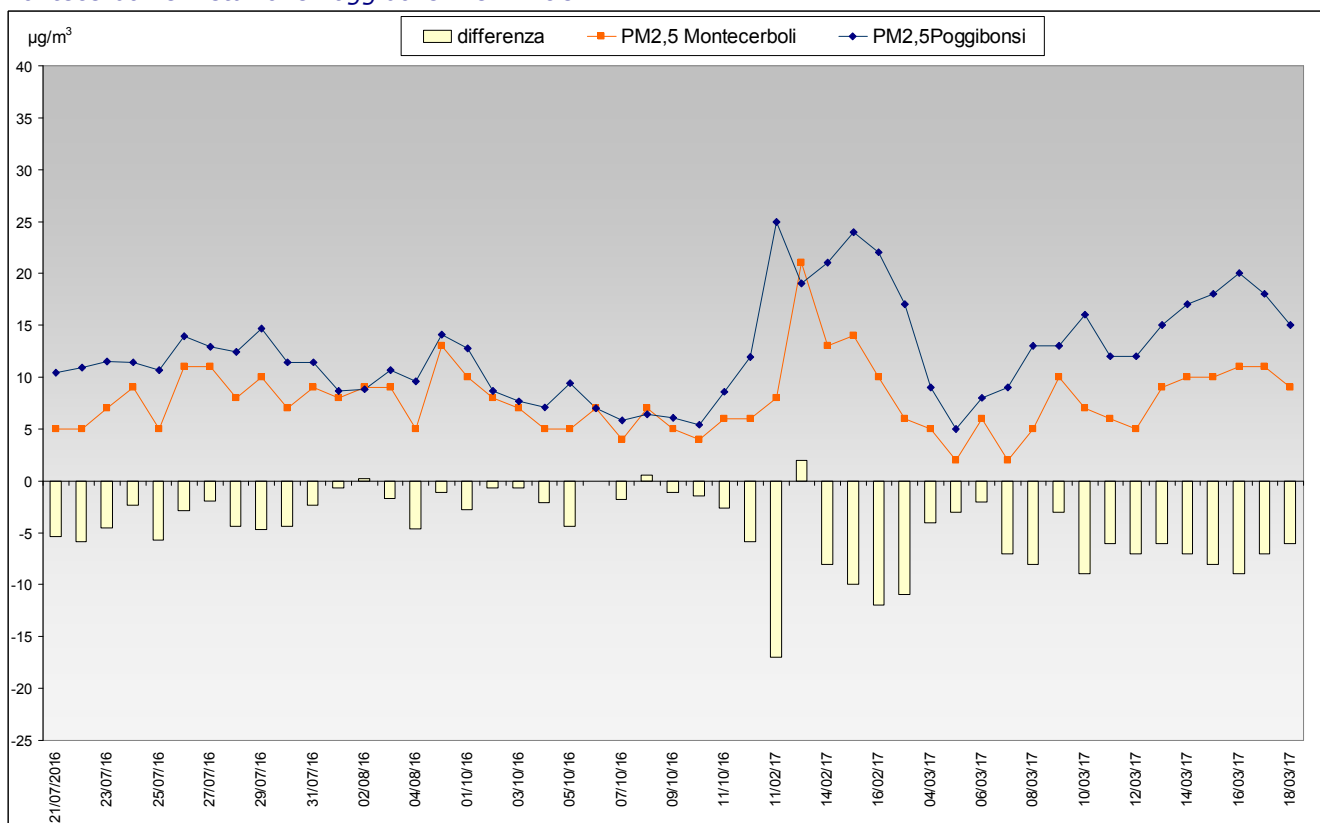
Media delle differenze = -6
 $R^2 = 0,28$

Figura 6.3.21. andamenti temporali medie giornaliere e delle differenze, materiale particolato PM10 Montecerboli e – stazione Chitignano Casa Stabbi



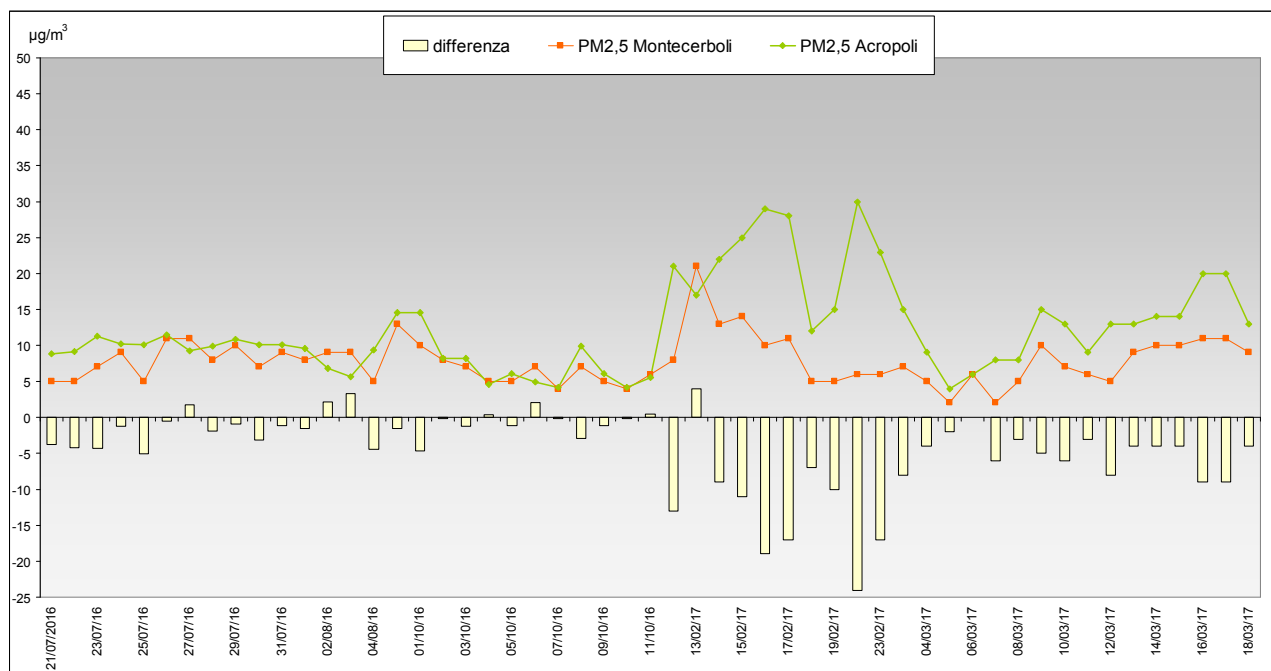
Media delle differenze = 2
 $R^2 = 0,23$

Figura 6.3.22. andamenti temporali medie giornaliere e delle differenze, materiale particolato PM2,5 Montecerboli e – stazione Poggibonsi De Amicis



Media delle differenze = -5
 $R^2 = 0,43$

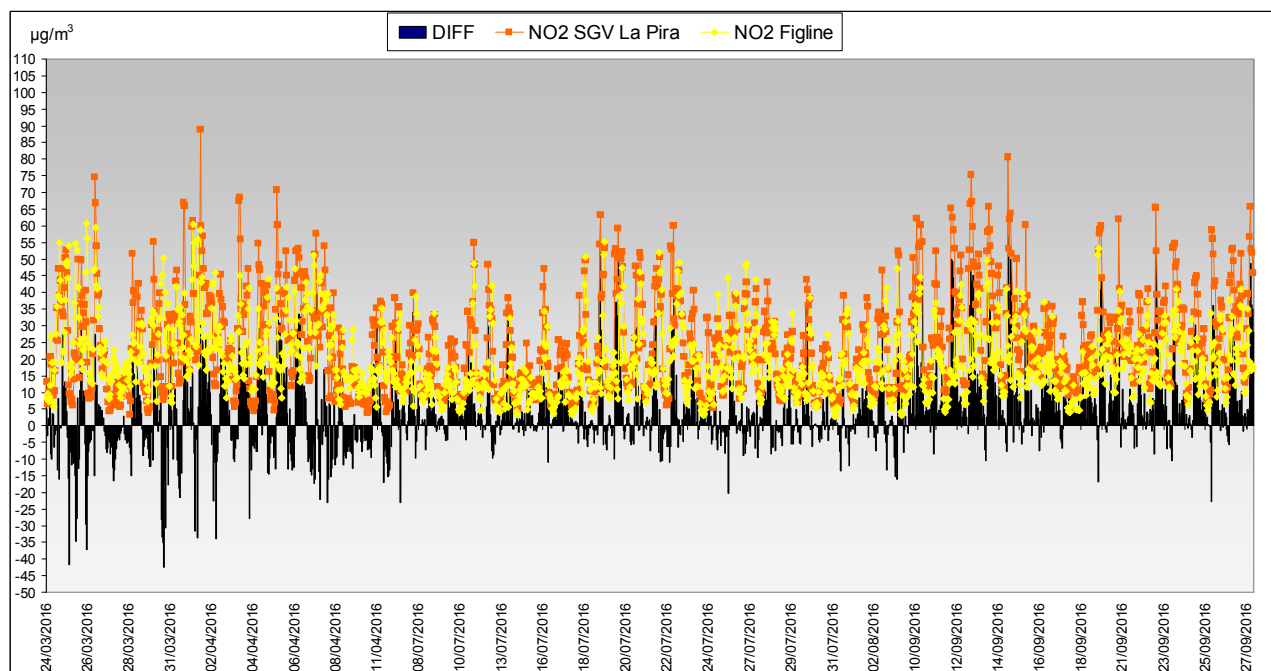
Figura 6.3.23. andamenti temporali medie giornaliere e delle differenze, materiale particolato PM2,5 Montecerboli e – stazione Arezzo Acropoli



Media delle differenze = -4
 $R^2 = 0,24$

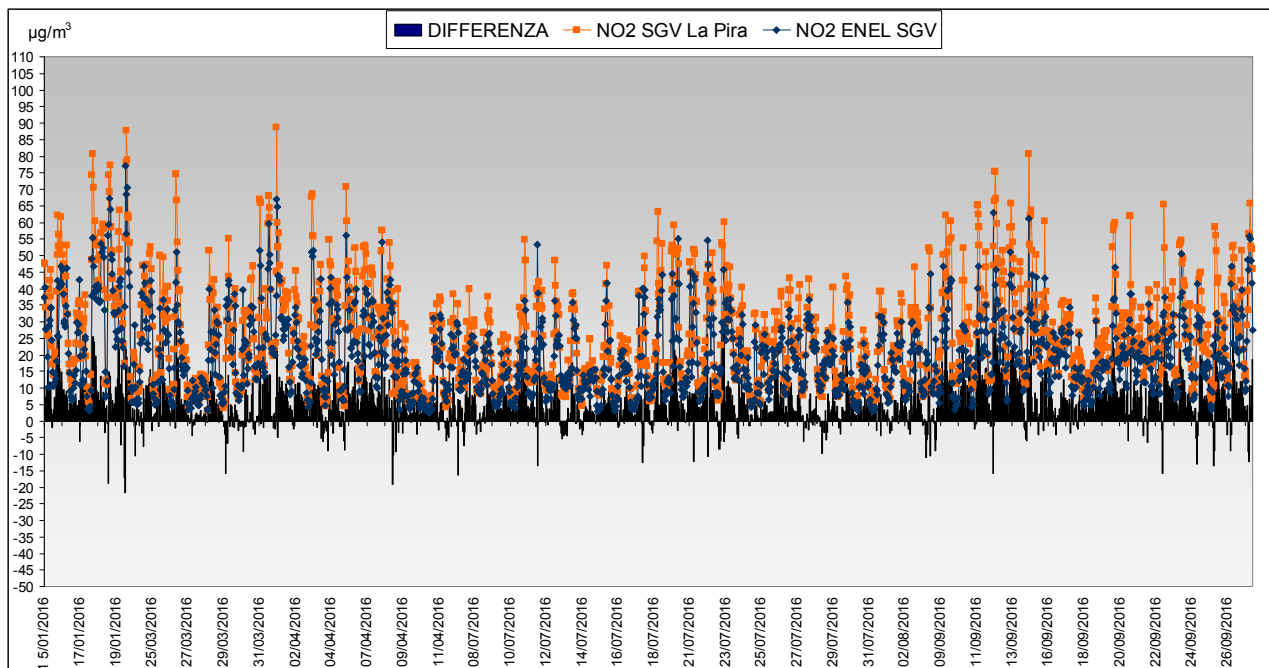
Biossido di azoto

Figura 6.3.24. andamenti temporali medie orarie e delle differenze, biossido di azoto San Giovanni – La Pira e stazione Figline Valdarno



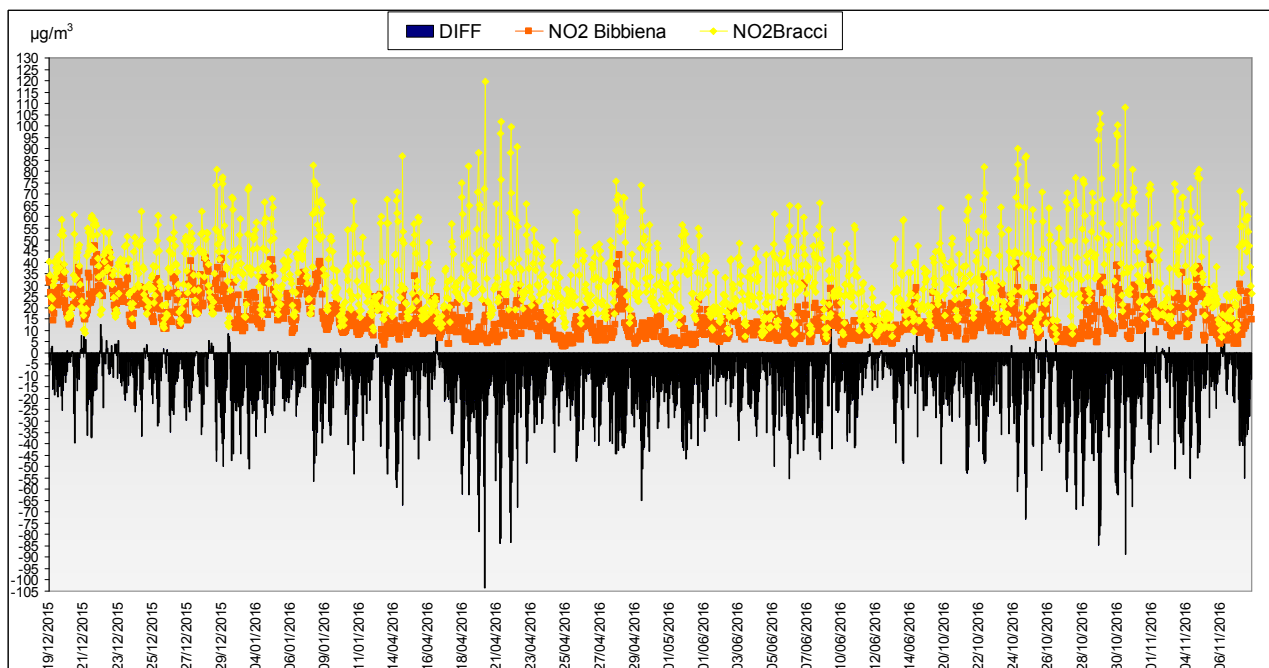
Media delle differenze = 5

Figura 6.3.25. andamenti temporali medie orarie e delle differenze, biossido di azoto San Giovanni – La Pira e stazione ENEL San Giovanni Valdarno Via Gramsci



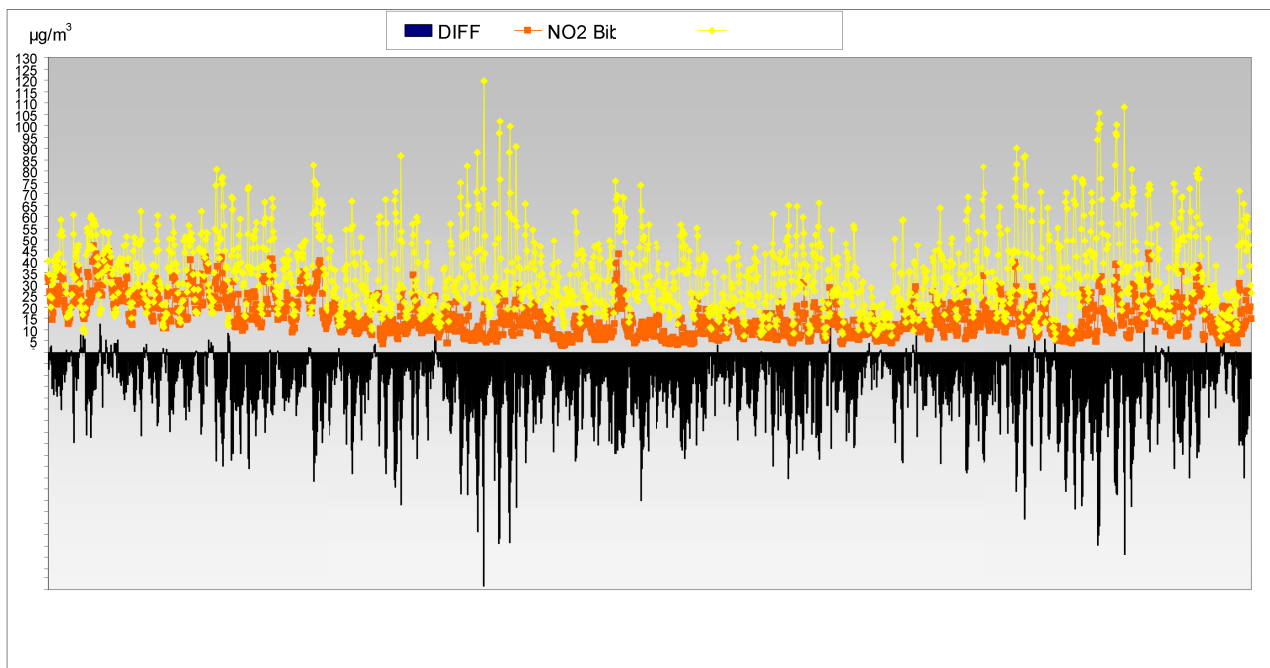
Media delle differenze = 6

Figura 6.3.26 andamenti temporali medie orarie e delle differenze, biossido di azoto Bibbiena e stazione Siena Bracci



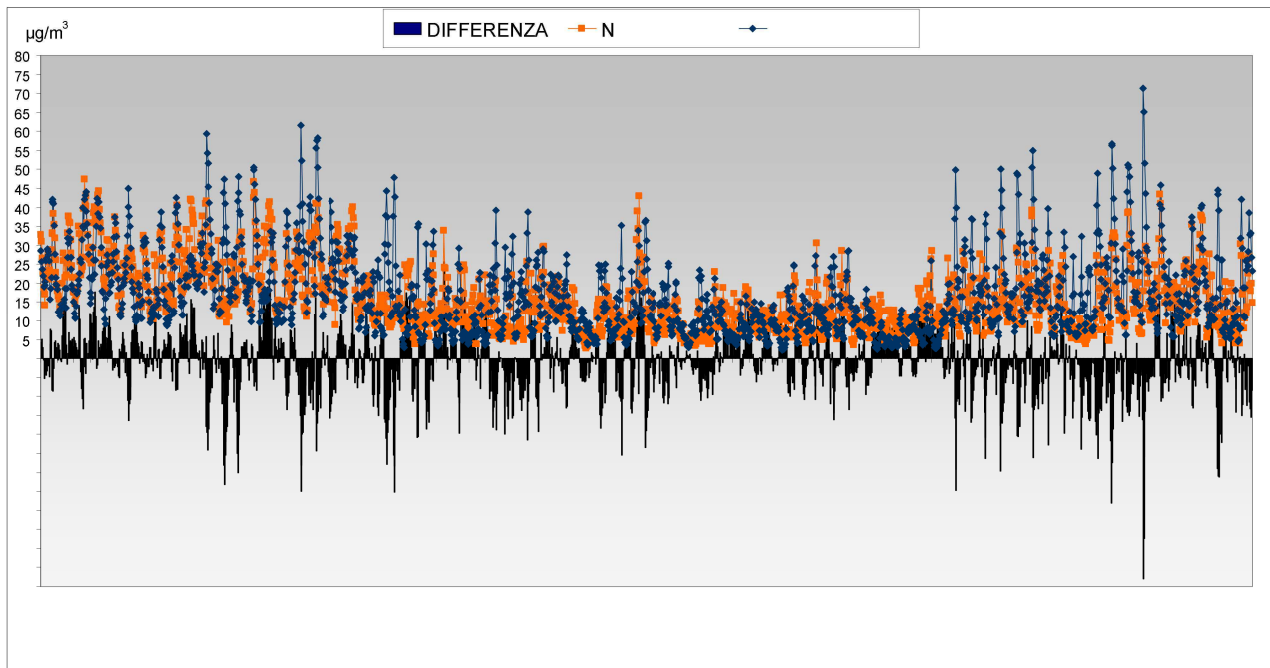
Media delle differenze = -103

Figura 6.3.26 andamenti temporali medie orarie e delle differenze, biossido di azoto Bibbiena e stazione Siena Bracci



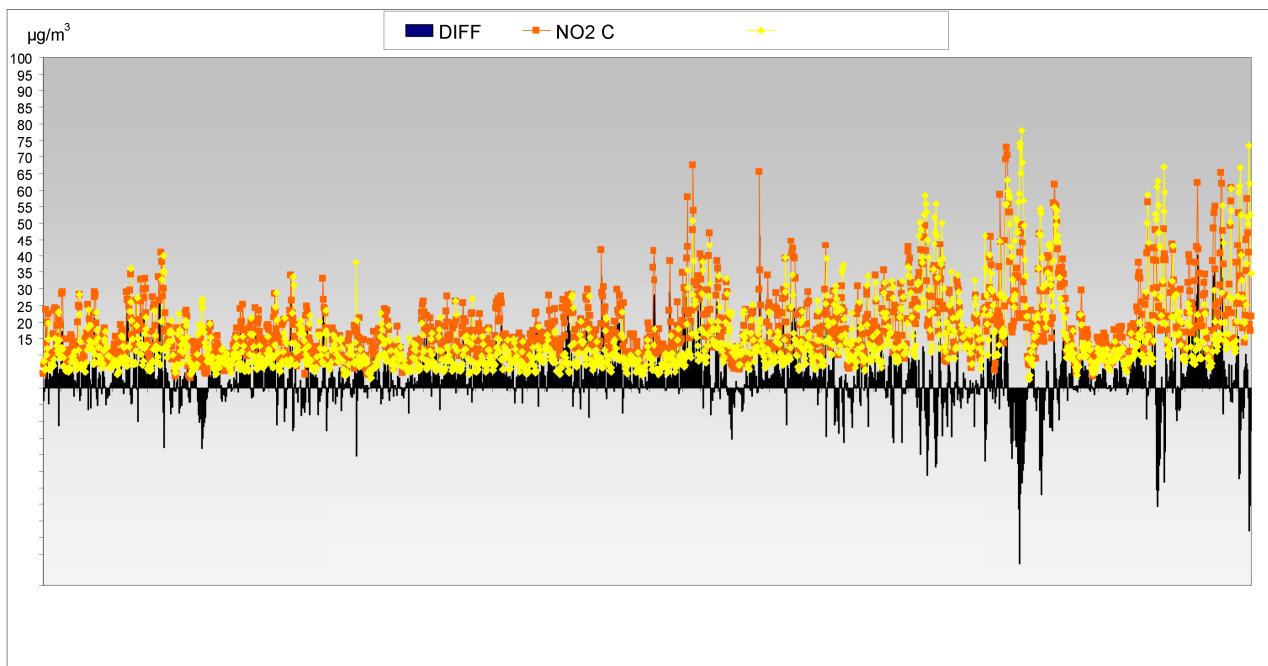
Media delle differenze = -103

Figura 6.3.27. andamenti temporali medie orarie e delle differenze, biossido di azoto Bibbiena e stazione Poggibonsi De Amicis



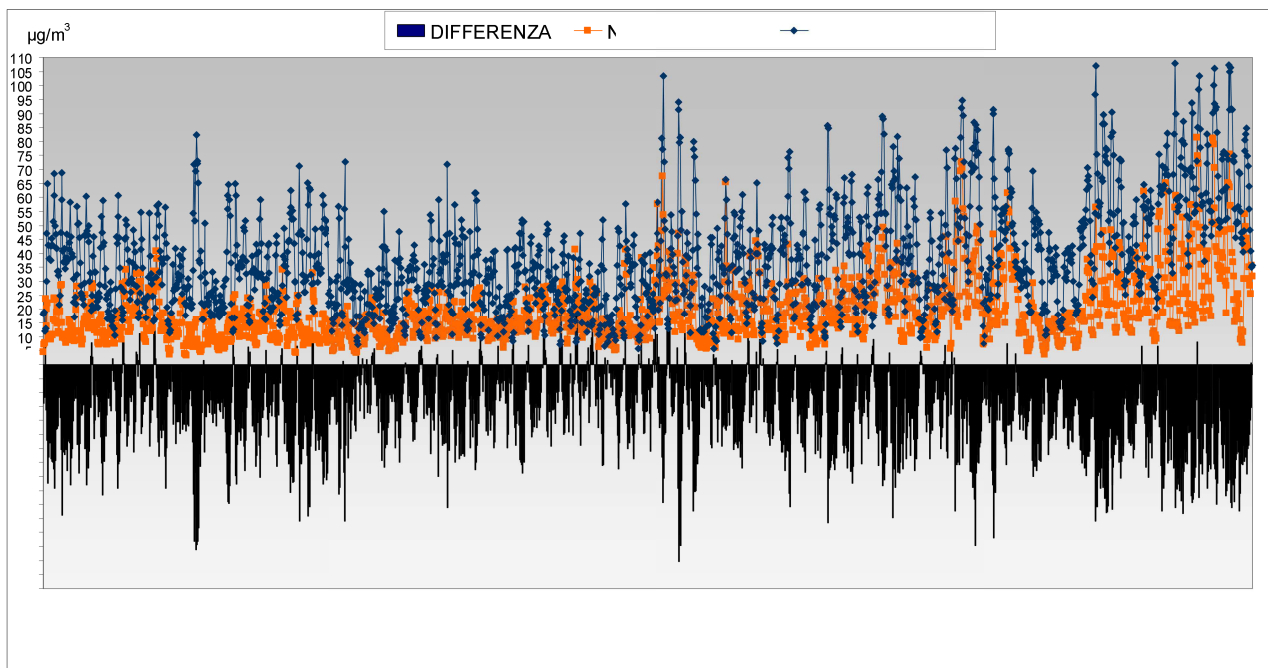
Media delle differenze = -14

Figura 6.3.28 andamenti temporali medie orarie e delle differenze, biossido di azoto Chiusi Scalo e stazione Arezzo Acropoli



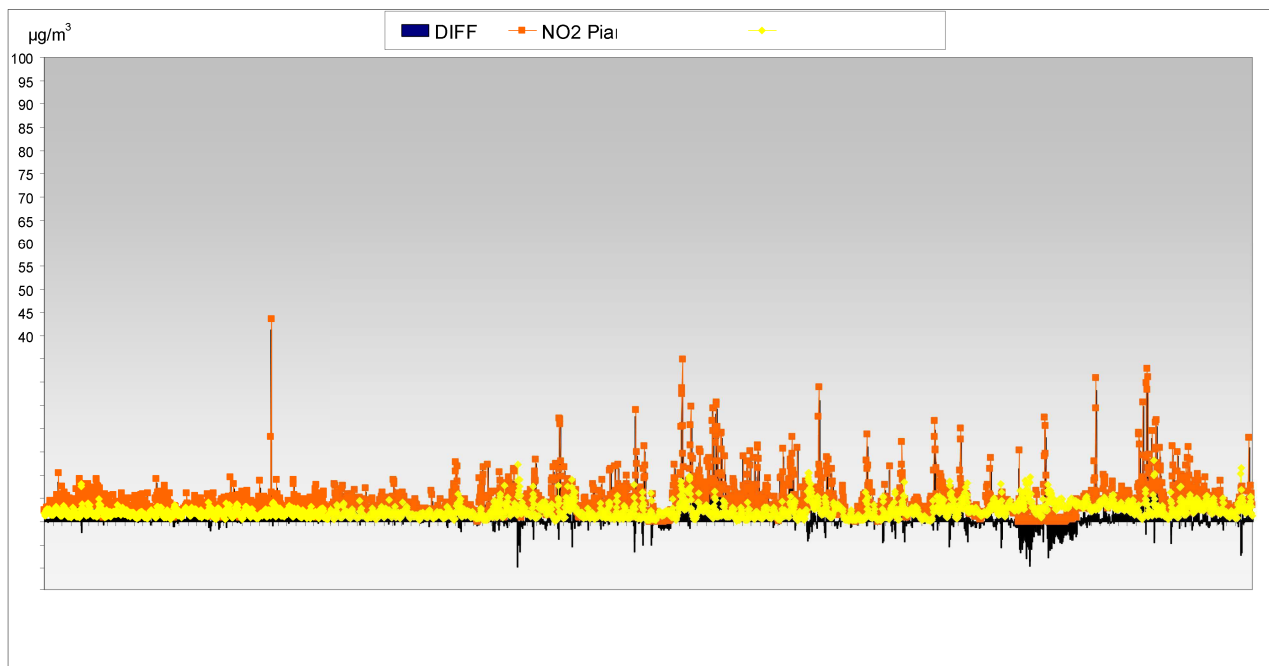
Media delle differenze = 3

Figura 6.3.29 andamenti temporali medie orarie e delle differenze, biossido di azoto Chiusi Scalo e stazione Arezzo P.za Repubblica



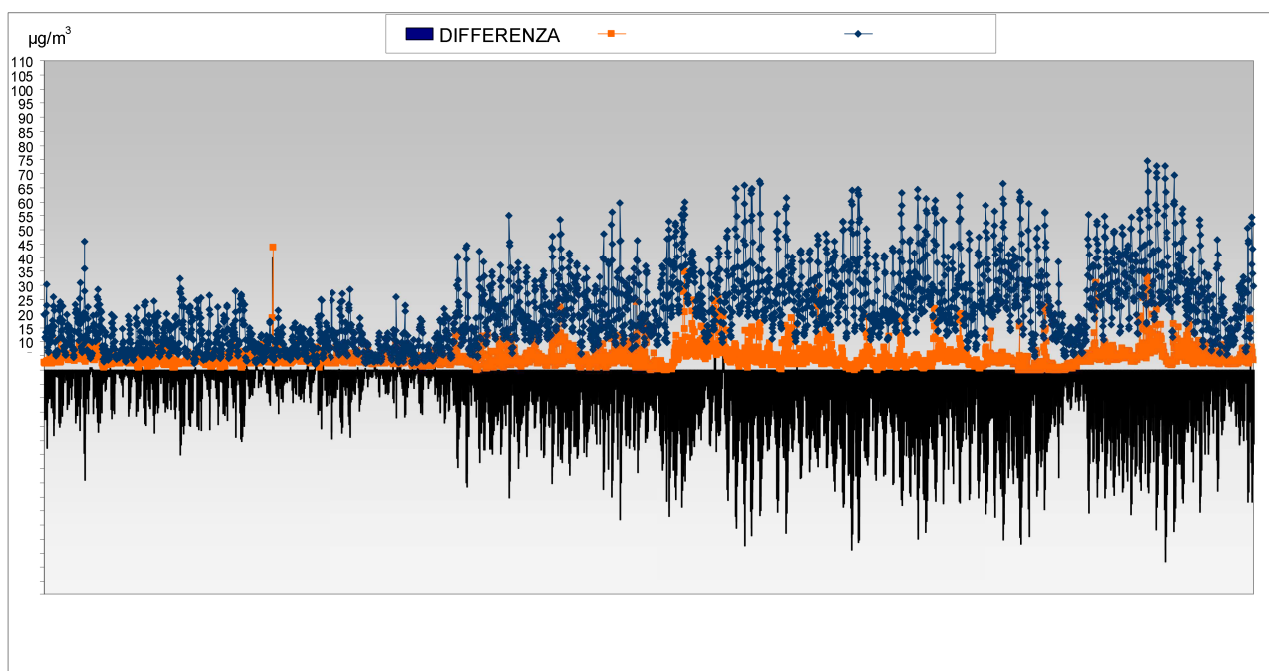
Media delle differenze = -14

Figura 6.3.30 andamenti temporali medie orarie e delle differenze, biossido di azoto Piancastagnaio e stazione Chitignano Casa Stabbi



Media delle differenze = 2

Figura 6.3.31 andamenti temporali medie orarie e delle differenze, biossido di azoto Piancastagnaio e stazione Poggibonsi De Amicis



Media delle differenze = -17

6.4 Box-plot materiale particolato e benzene

Figura 6.4.1 Box-plot PM10 San Giovanni Valdarno – La Pira

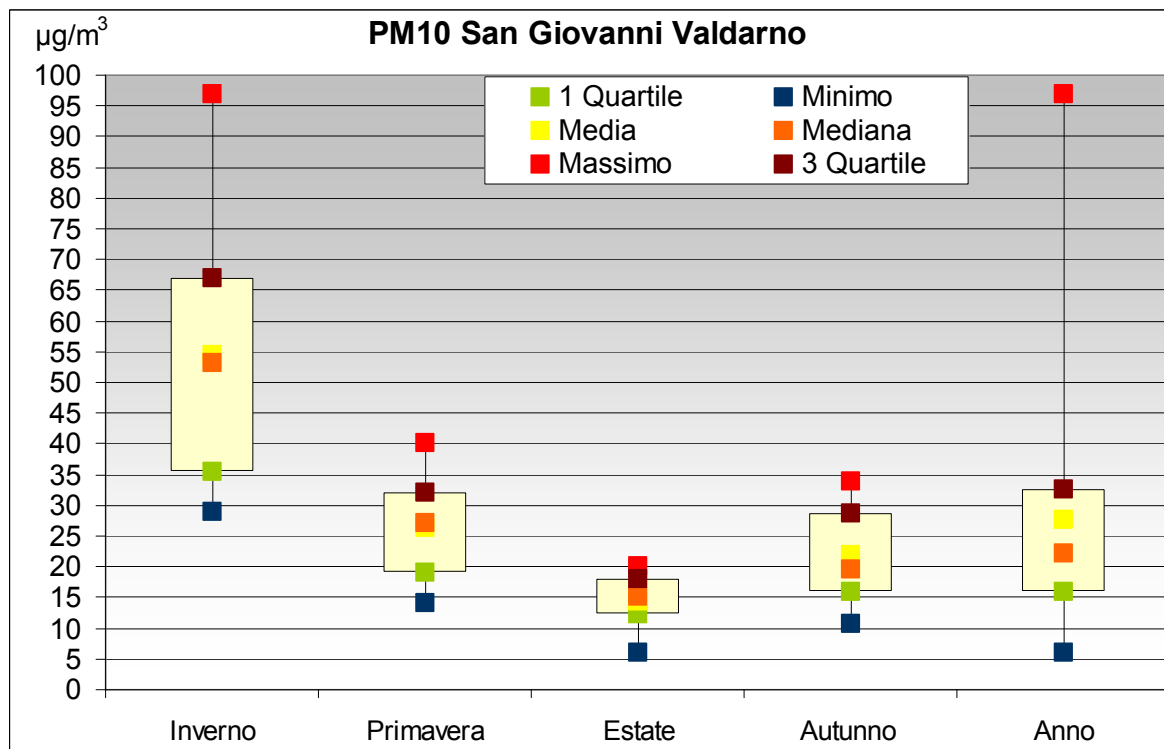


Figura 6.4.2 Box-plot PM2,5 San Giovanni Valdarno – La Pira

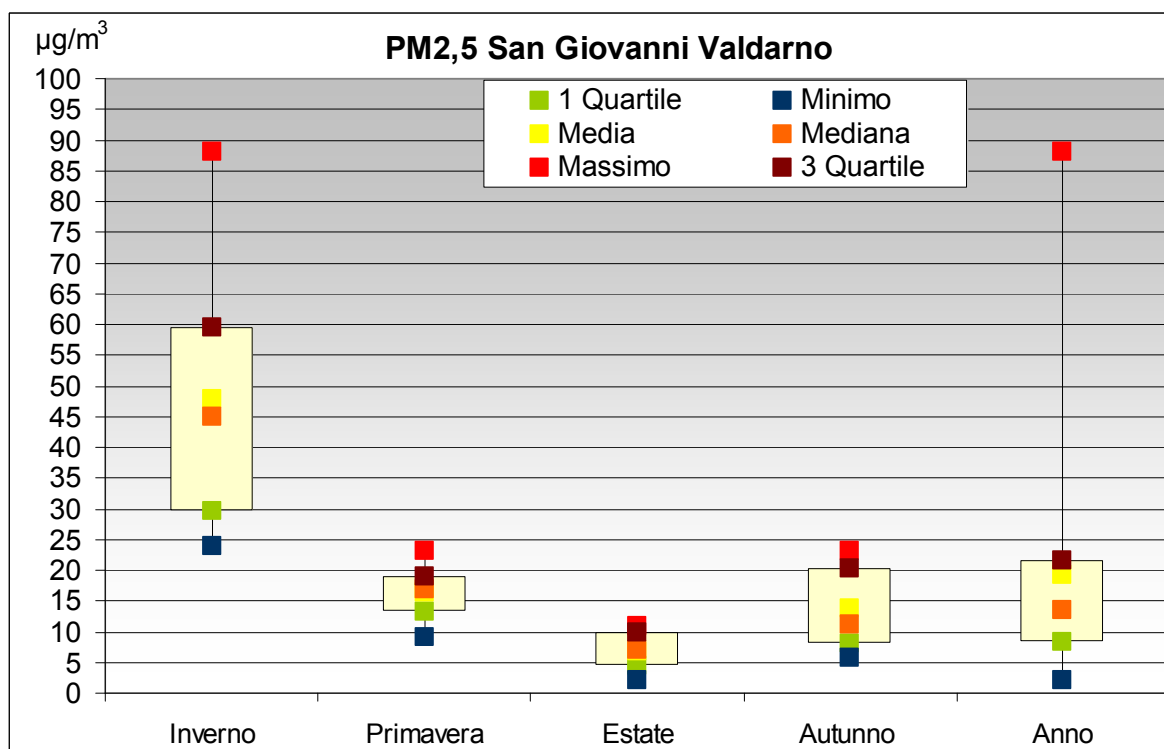


Figura 6.4.3 Box-plot PM10 Bibbiena – Piazzale John Lennon

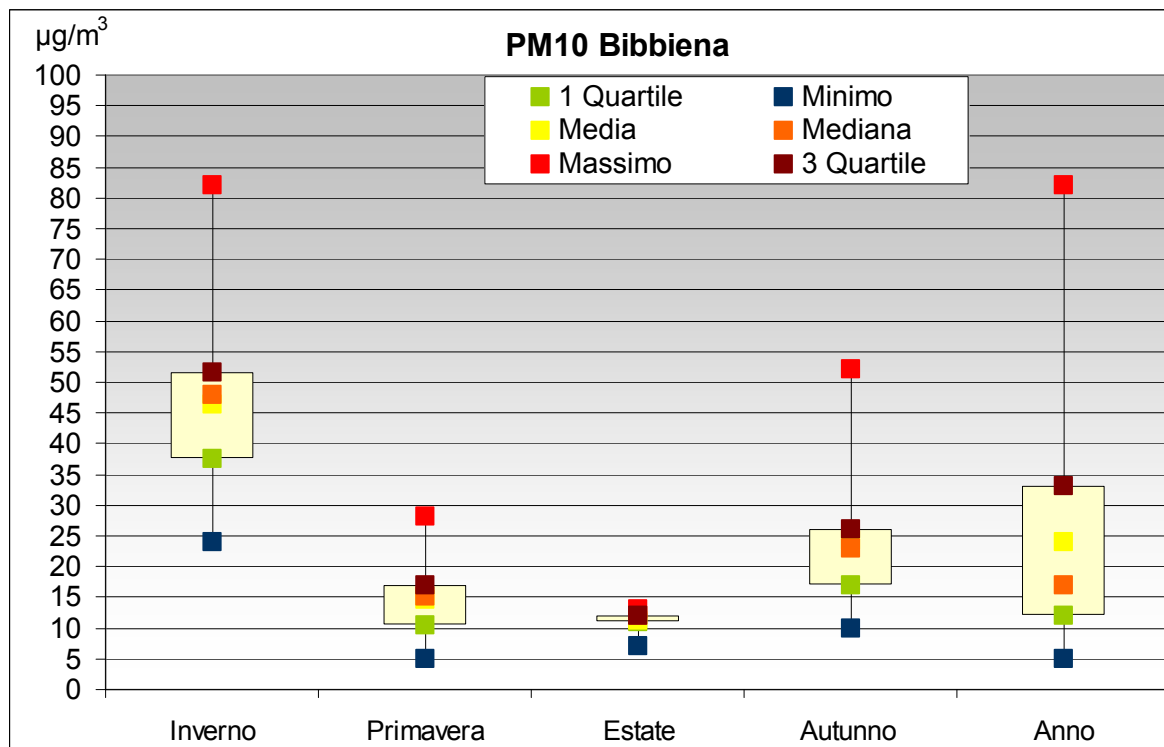


Figura 6.4.4 Box-plot PM2,5 Bibbiena – Piazzale John Lennon

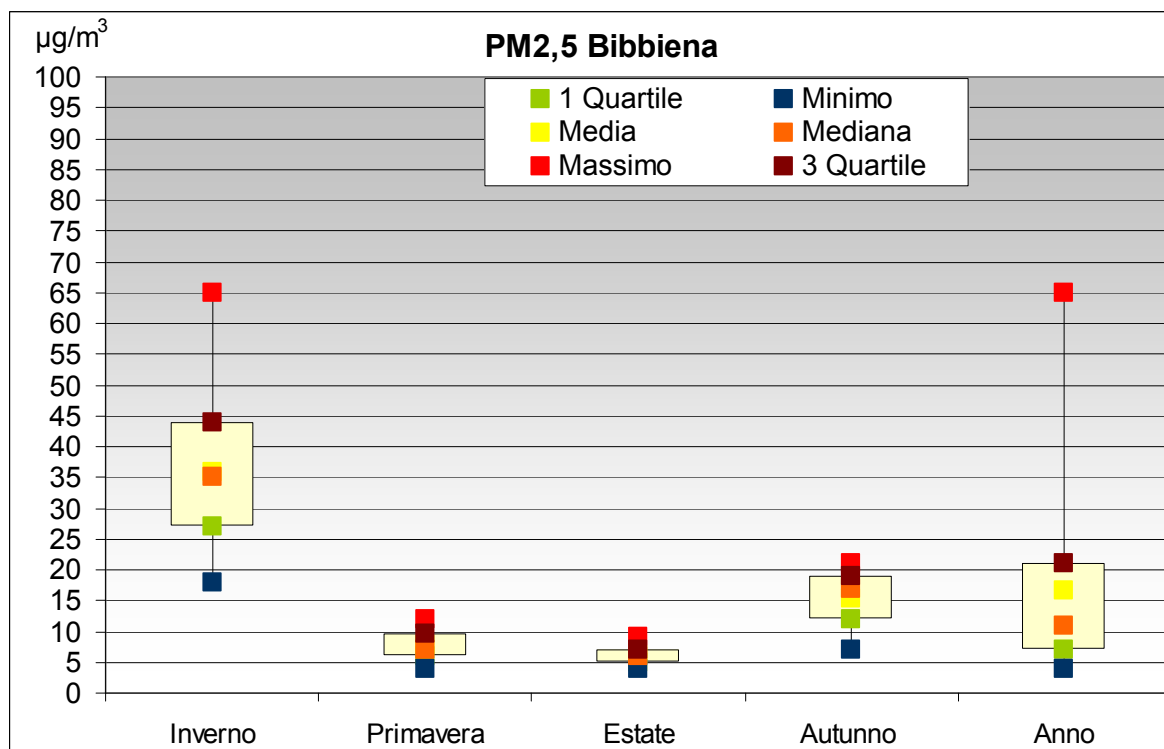


Figura 6.4.5 Box-plot PM10 Chiusi Scalo – P.za Nigra

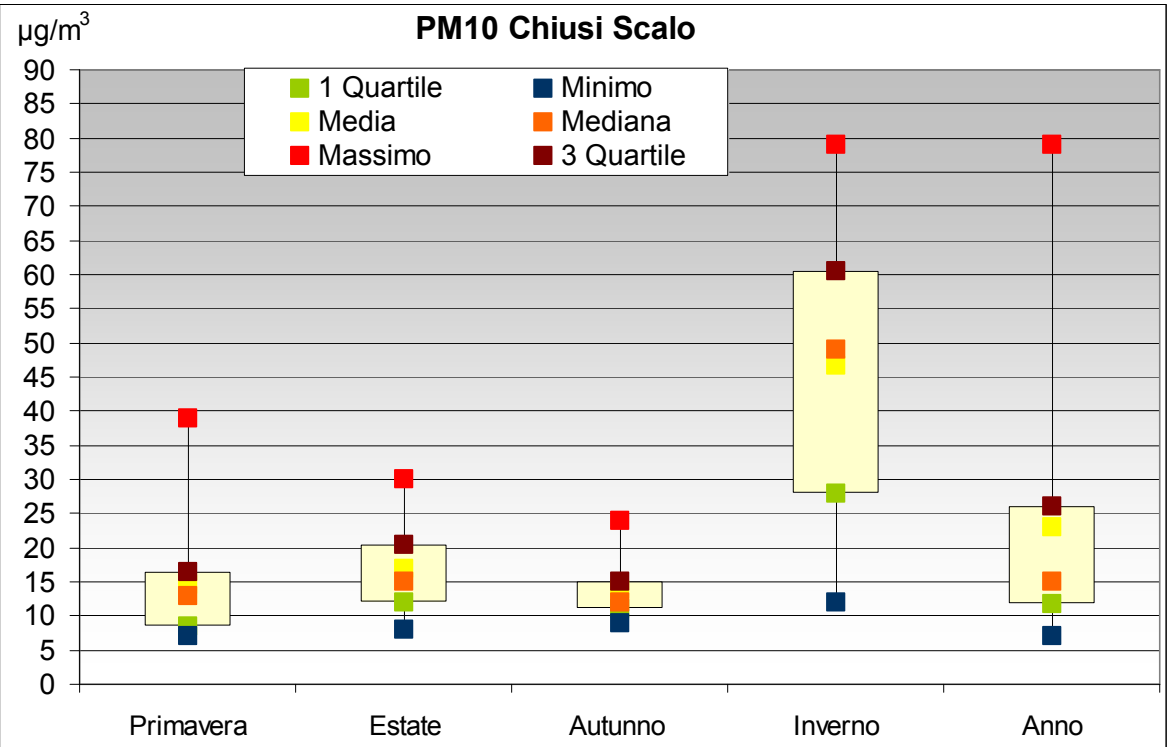


Figura 6.4.6 Box-plot PM2,5 Chiusi Scalo – P.za Nigra

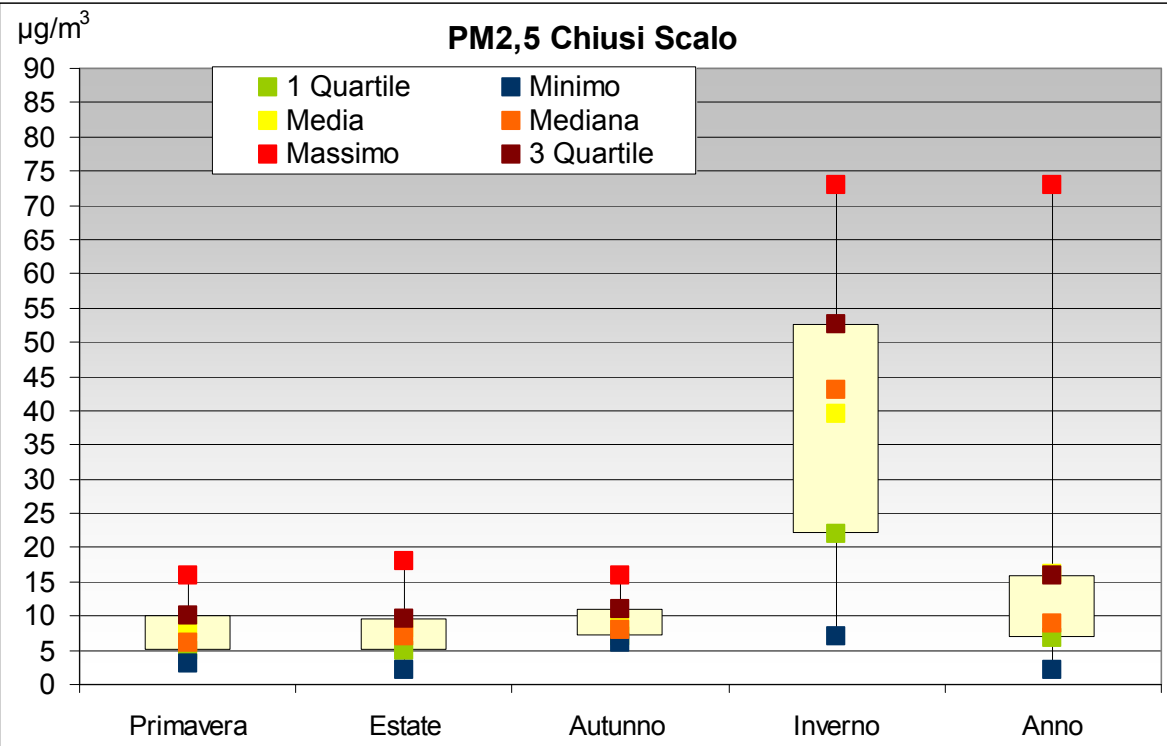


Figura 6.4.7 Box-plot PM10 Piancastagnaio – Loc. La Rota

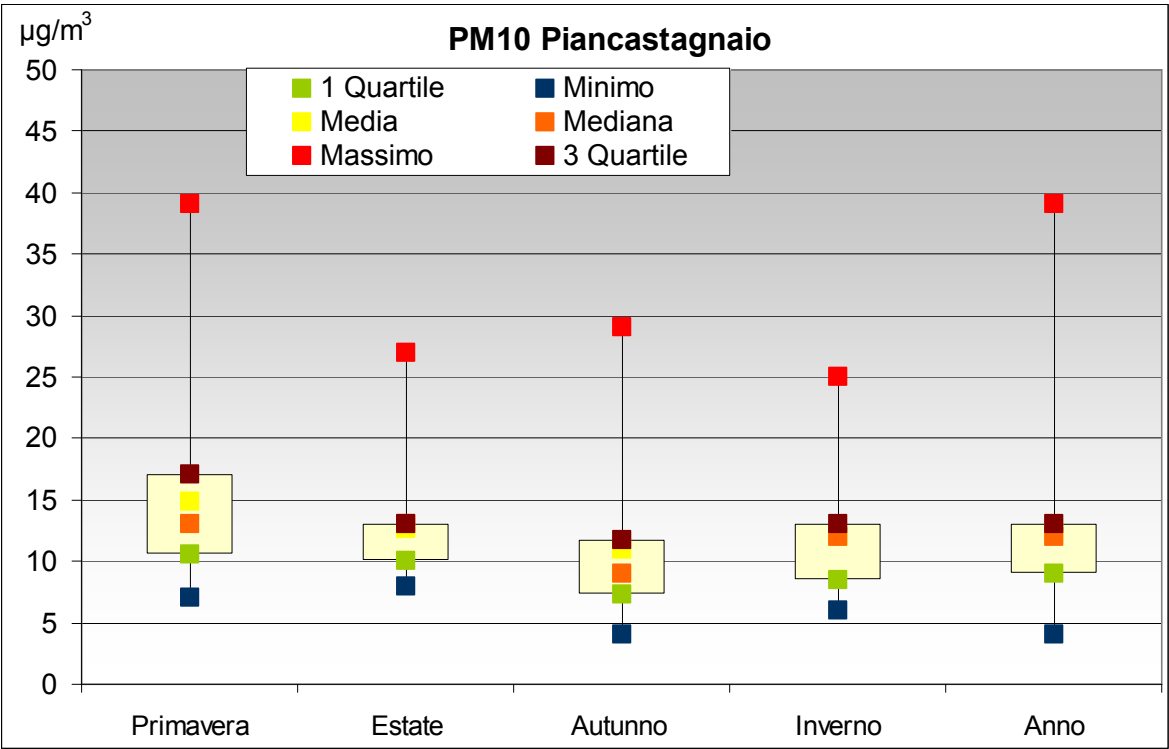


Figura 6.4.8 Box-plot PM2,5 Piancastagnaio – Loc. La Rota

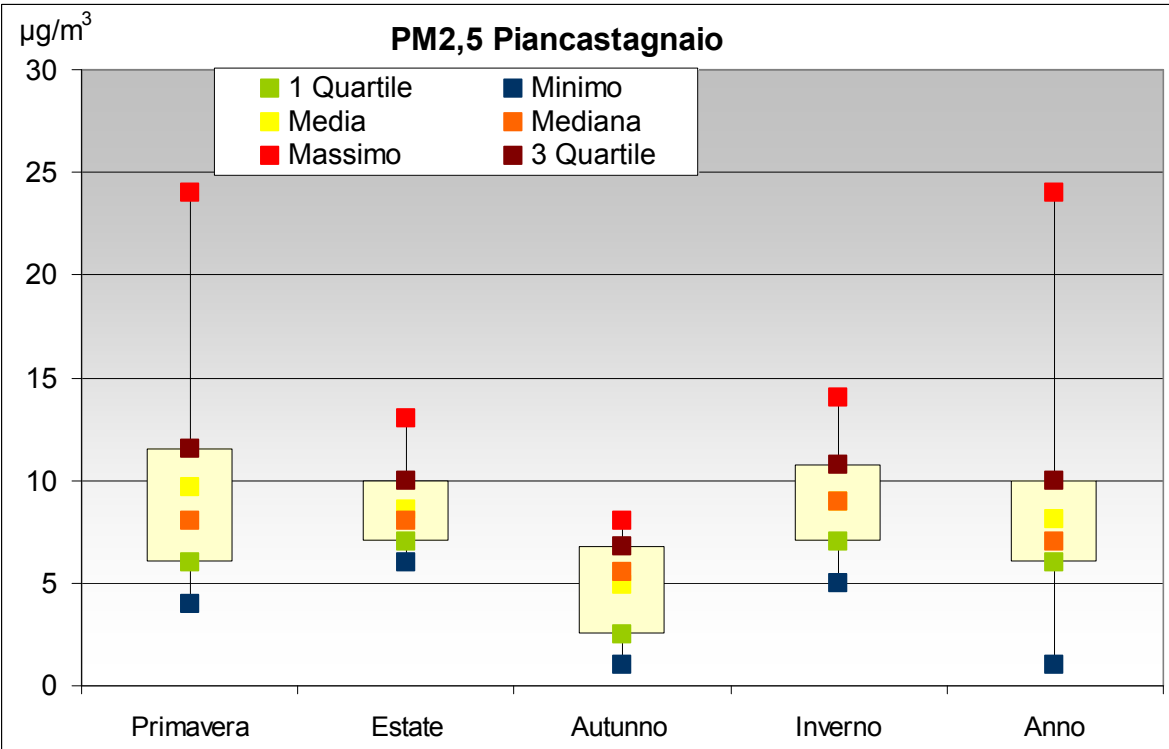


Figura 6.4.9 Box-plot benzene Piancastagnaio – Loc. La Rota

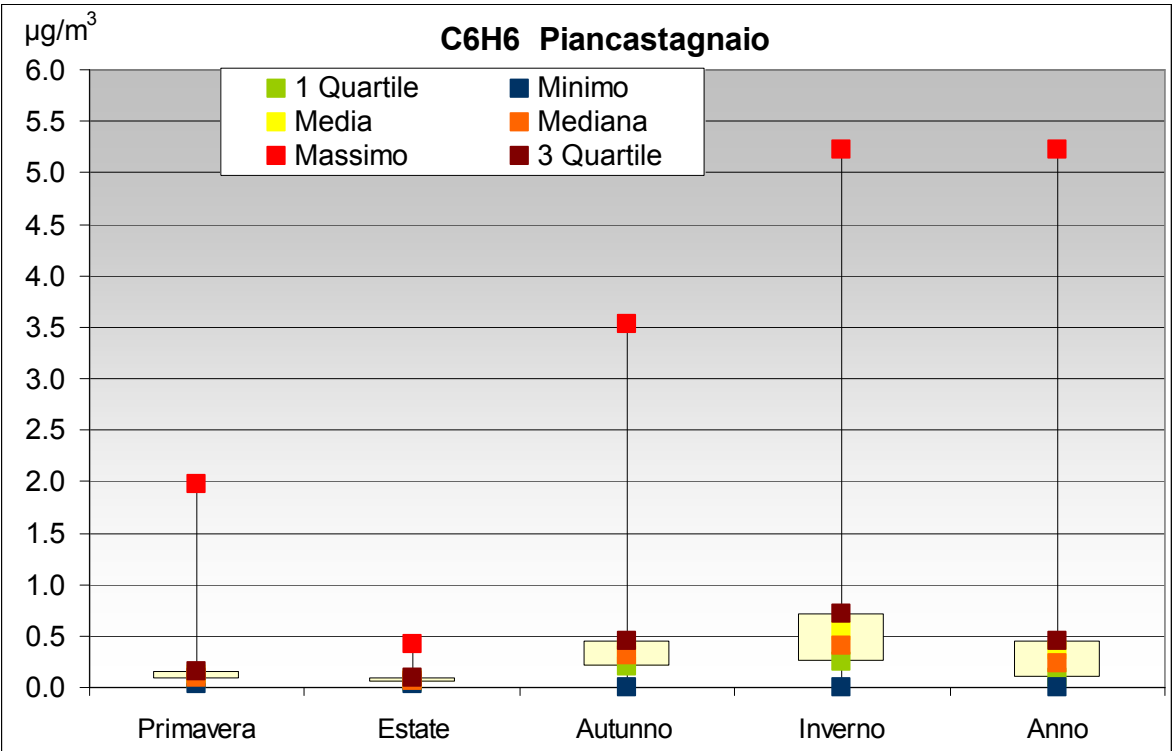


Figura 6.4.10 Box-plot PM10 Montecerboli

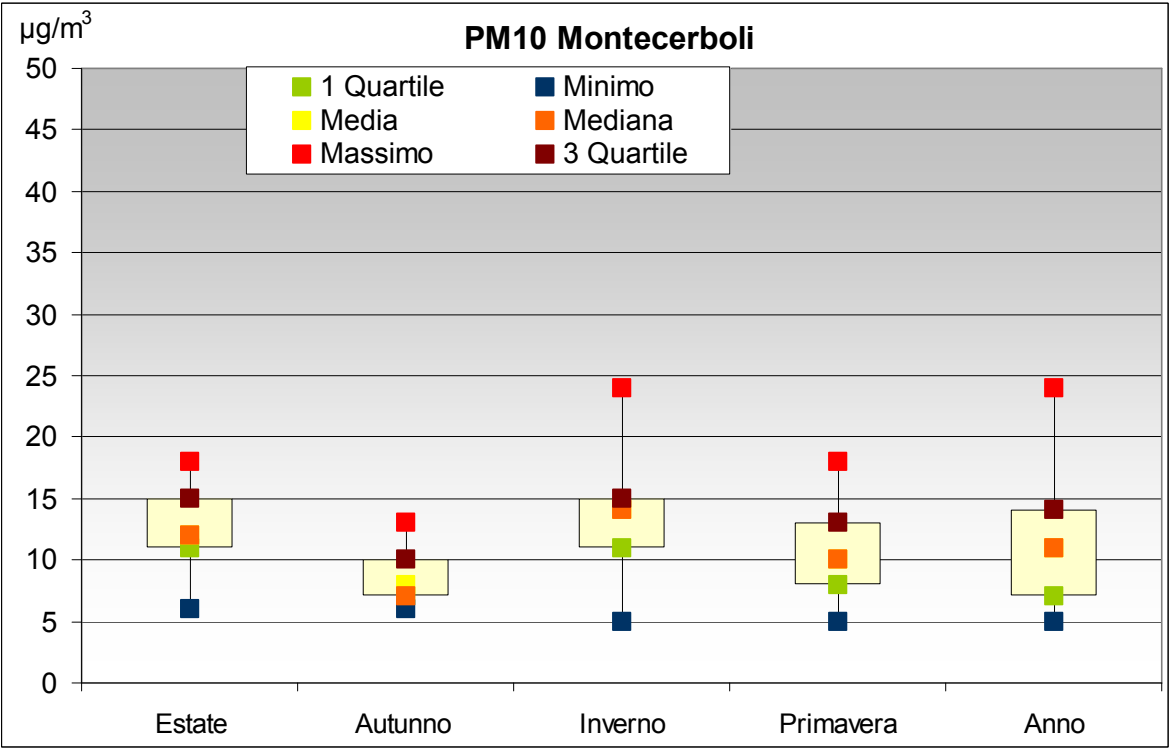


Figura 6.4.11 Box-plot PM2,5 Montecerboli

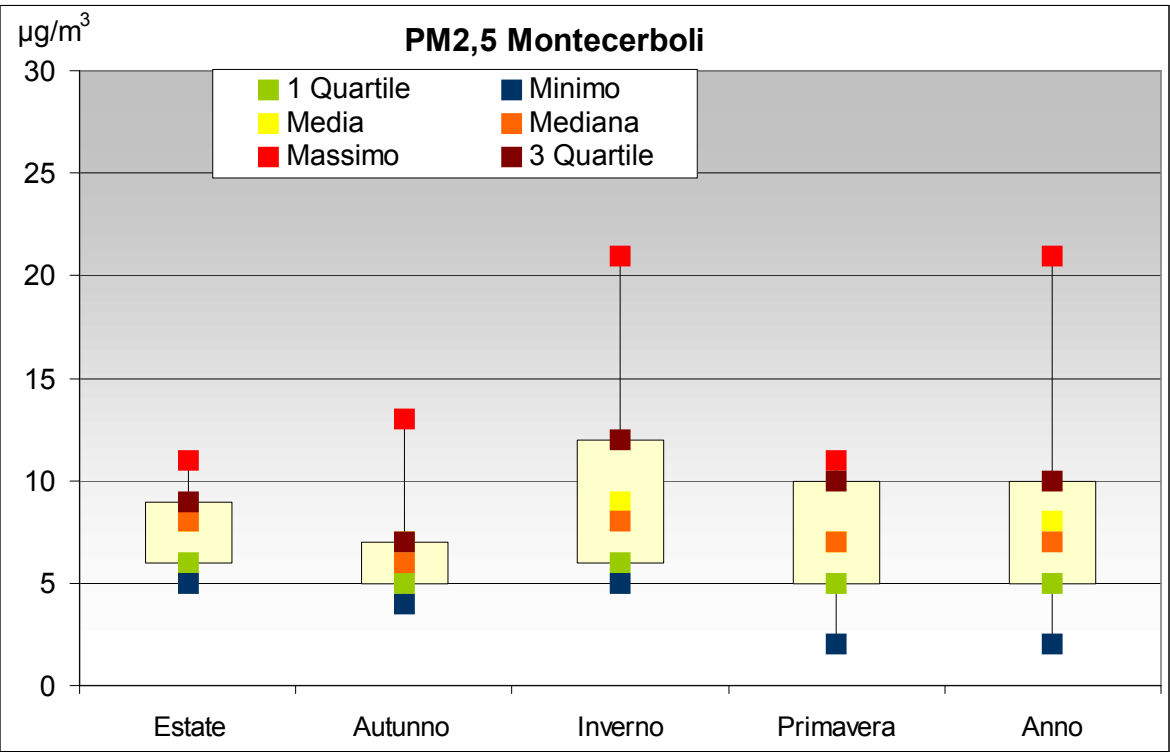
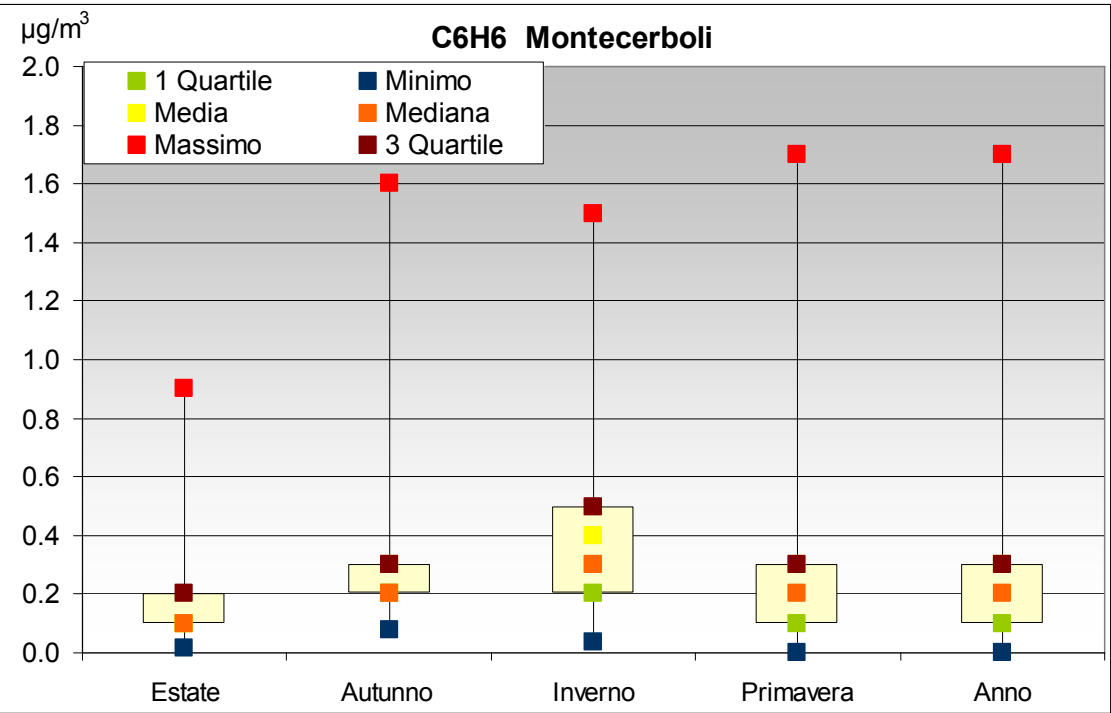


Figura 6.4.12 Box-plot benzene Montecerboli



6.5 Giorni tipo biossido di azoto e benzene

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, evidenziandone le situazioni caratteristiche. In questa diagramma, 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).

Figura 6.5.1 giorno tipo biossido di azoto - San Giovanni Valdarno

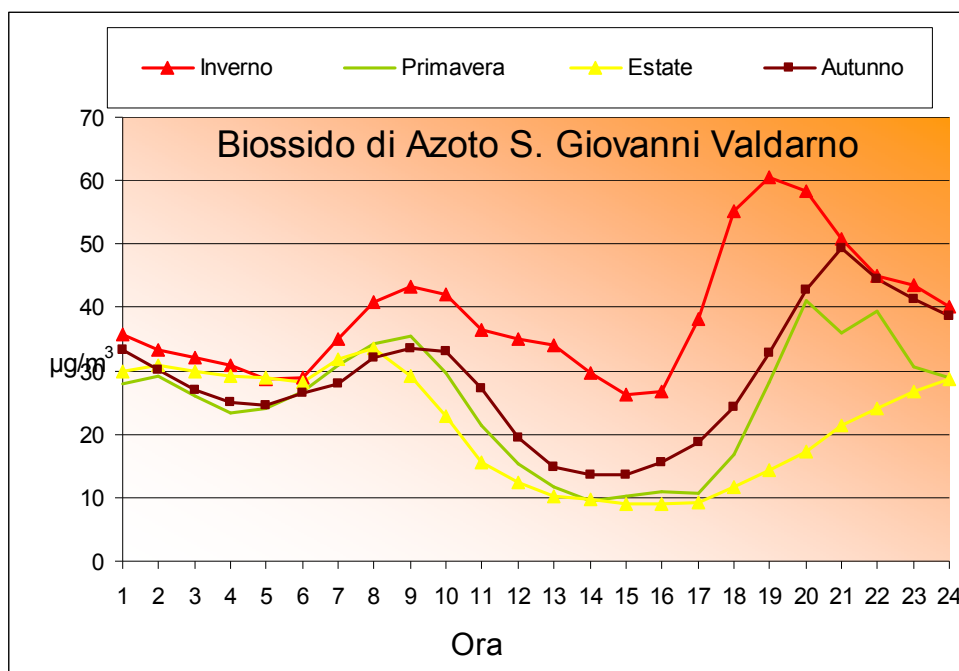


Figura 6.5.2 giorno tipo biossido di azoto - Bibbiena

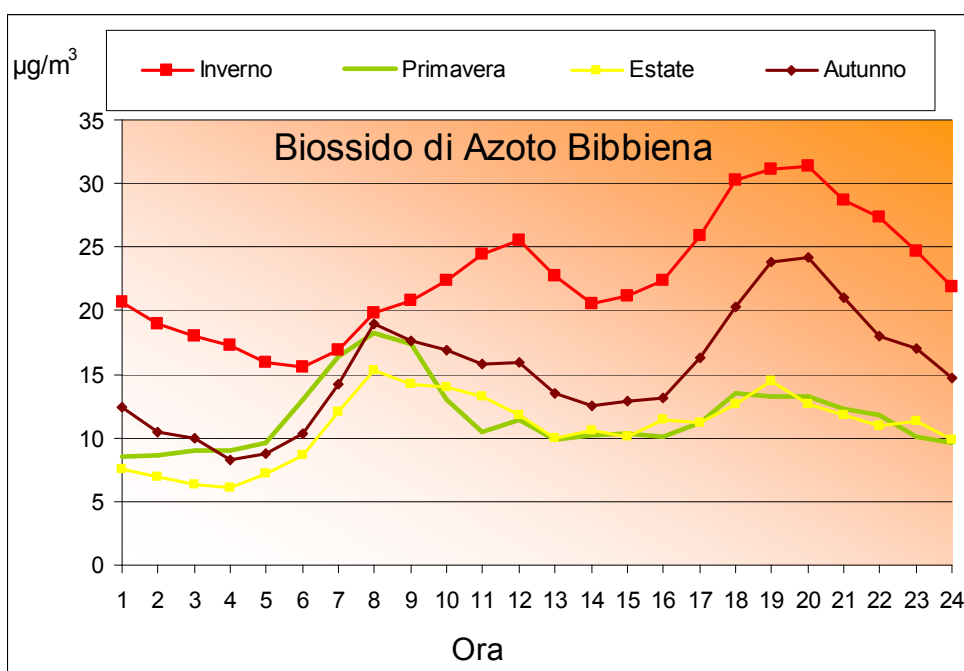


Figura 6.5.3 giorno tipo biossido di azoto – Chiusi Scalo

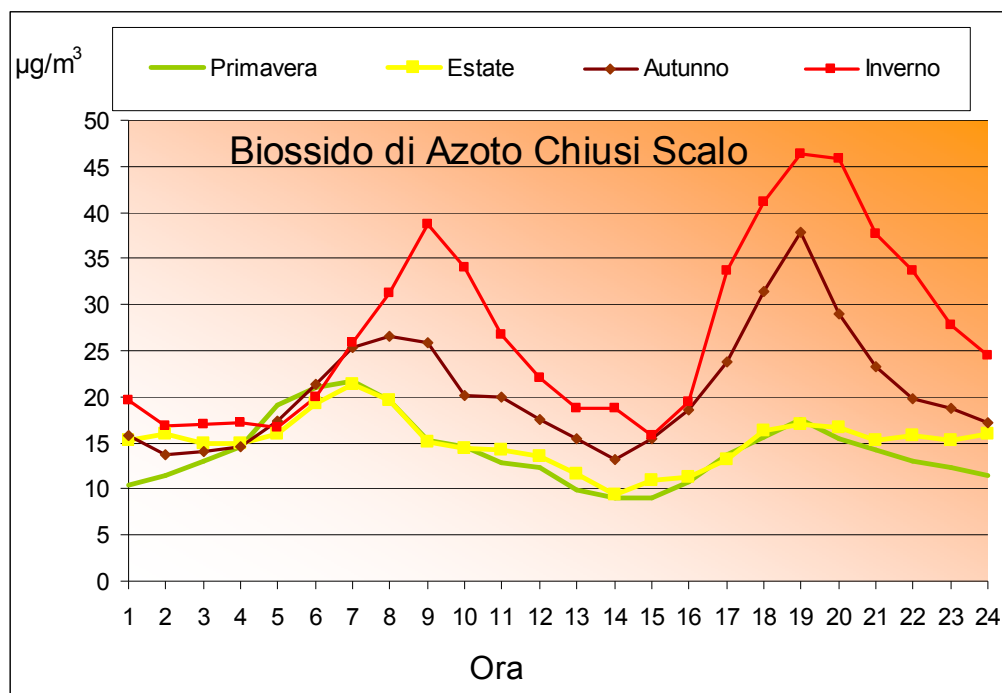


Figura 6.5.4 giorno tipo biossido di azoto – Piancastagnaio

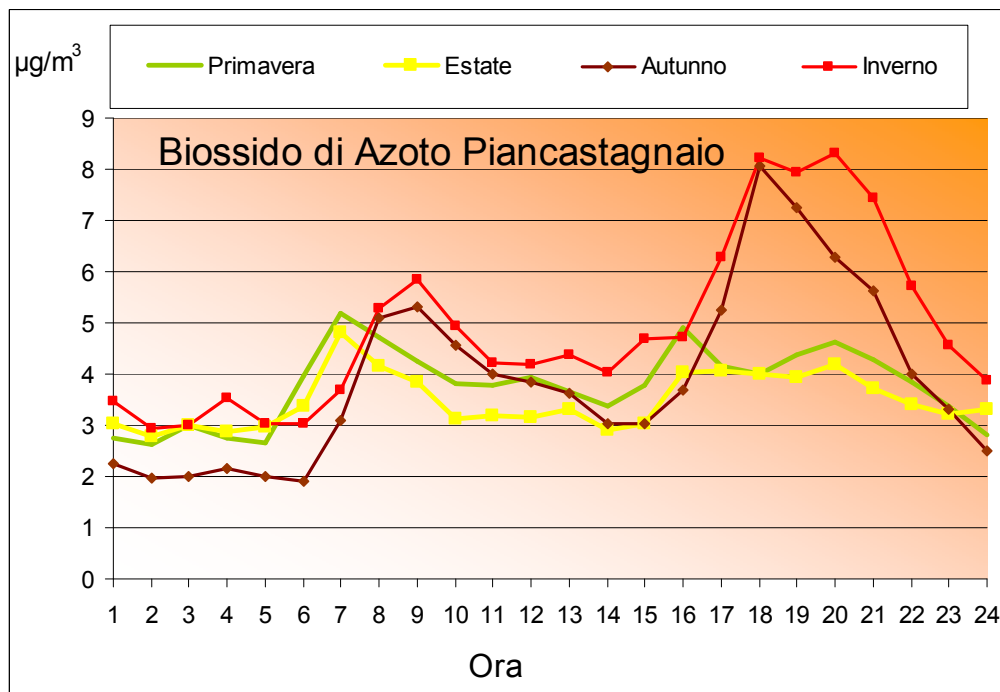


Figura 6.5.5 giorno tipo benzene – Piancastagnaio

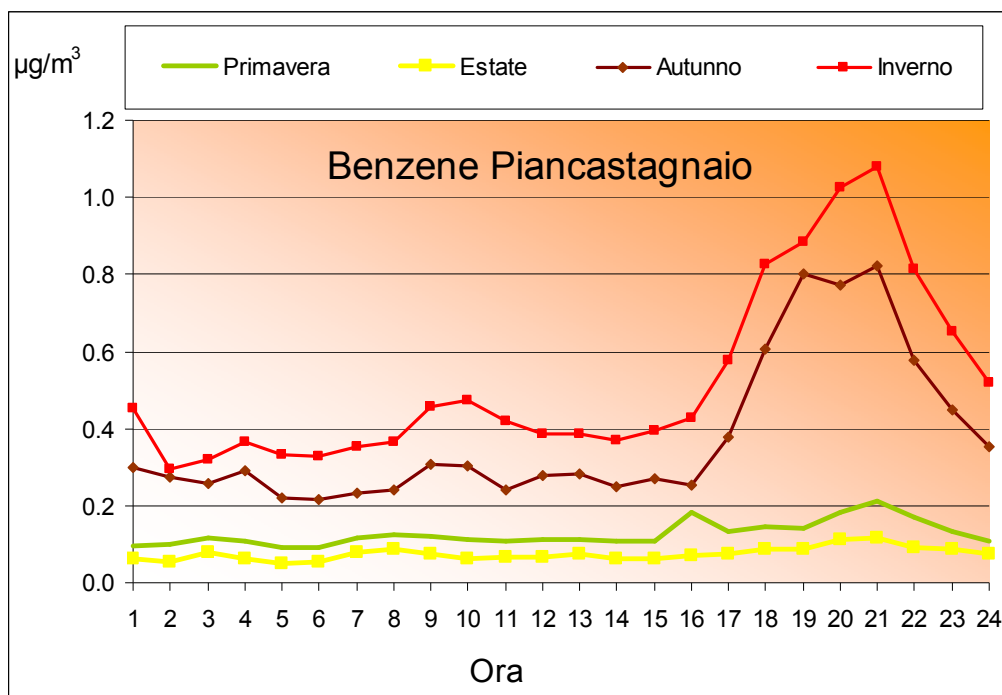


Figura 6.5.6 giorno tipo benzene – Montecerboli

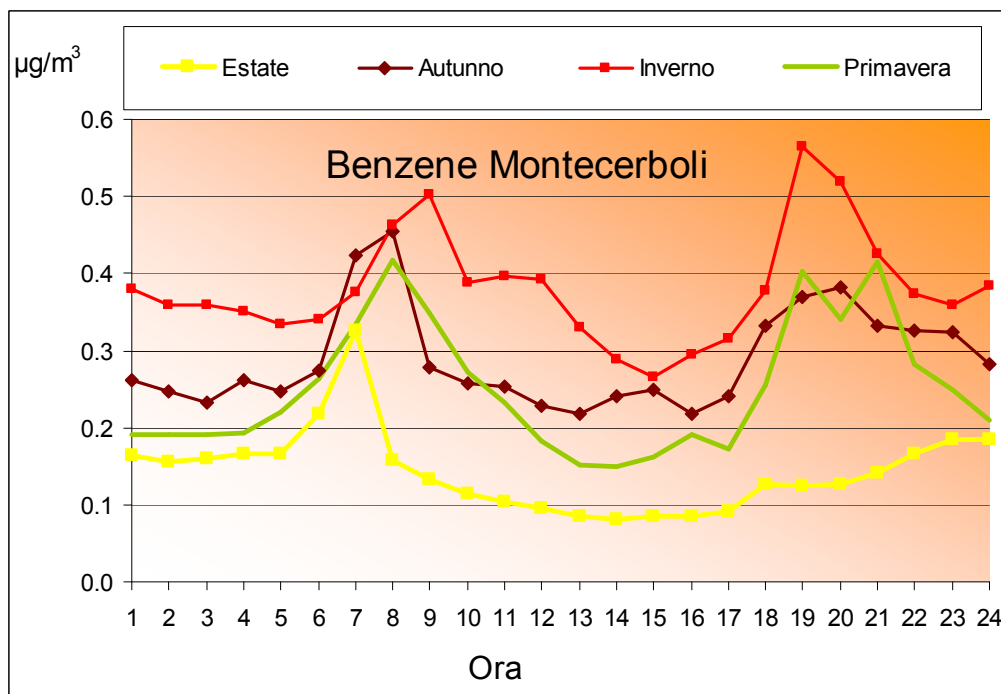
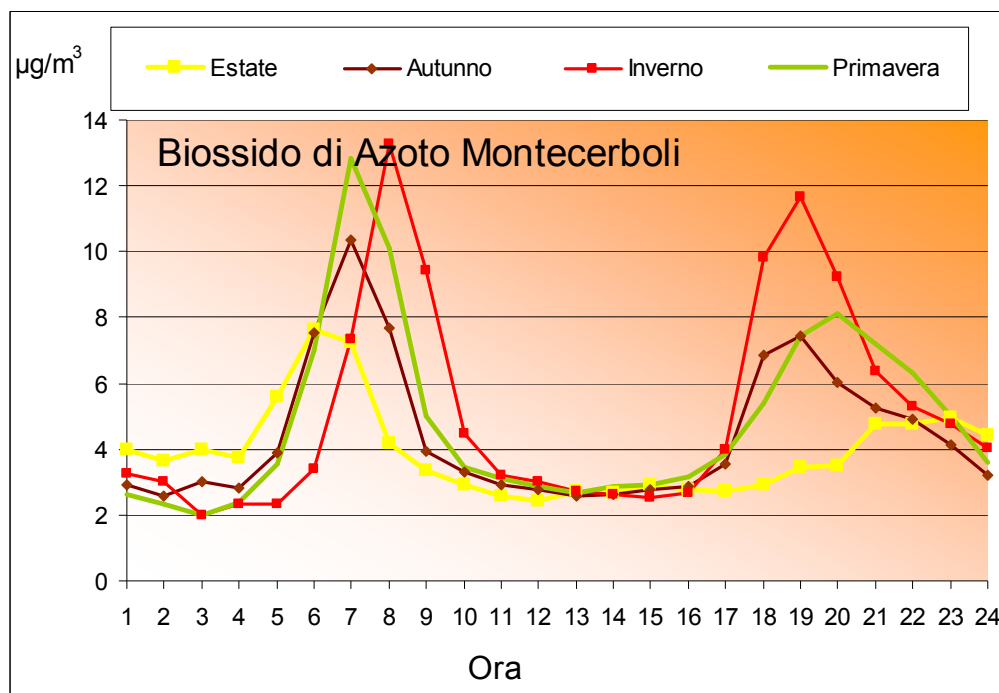


Figura 6.5.7 giorno tipo biossido di azoto – Montecerboli



6.6 Analisi dati meteorologici rilevati durante la campagna di monitoraggio

In relazione ai dati registrati dai sensori meteo di direzione del vento, sono stati elaborati i diagrammi polari, ai quali sono state sovrapposte le mappe delle zone relative alle postazioni di misura. In dettaglio, i diagrammi polari mostrati nelle pagine successive, mettono in relazione la direzione del vento e le concentrazioni (mediana e media delle concentrazioni medie orarie rilevate) di biossido di azoto e di benzene (solo per le postazioni di Piancastagnaio e Montecerboli). La mediana è un indicatore della distribuzione che esprime meno informazioni rispetto alla media, giacché non tiene conto del valore effettivo di ogni misura, bensì considera solo la posizione ordinale di ciascun dato all'interno della distribuzione (rango); tuttavia offre il vantaggio di essere meno influenzata dai valori estremi (outliers o dati fuori linea). Per queste sue caratteristiche viene spesso preferita come indicatore della tendenza centrale quando occorre trattare dati che presentano una distribuzione fortemente asimmetrica, come nei casi relativi alla presente campagna di monitoraggio.

Nelle figure sono rappresentati i valori delle mediane (linea blu) e delle medie (linea rossa) di biossido di azoto e benzene relativi dallo stesso settore di provenienza del vento; a titolo di confronto, sono riportati anche i valori delle rispettive mediane (linea tratteggiata arancione) e medie (linea tratteggiata gialla) relative però all'intero campione di dati rilevati della campagna di misurazione; poiché tale valore non è riferito a nessun settore di provenienza del vento, risulta distribuito uniformemente ad ogni settore della rosa dei venti.

Figura 6.6.1 – diagramma polare medie e mediane NO₂ San Giovanni Valdarno – La Pira

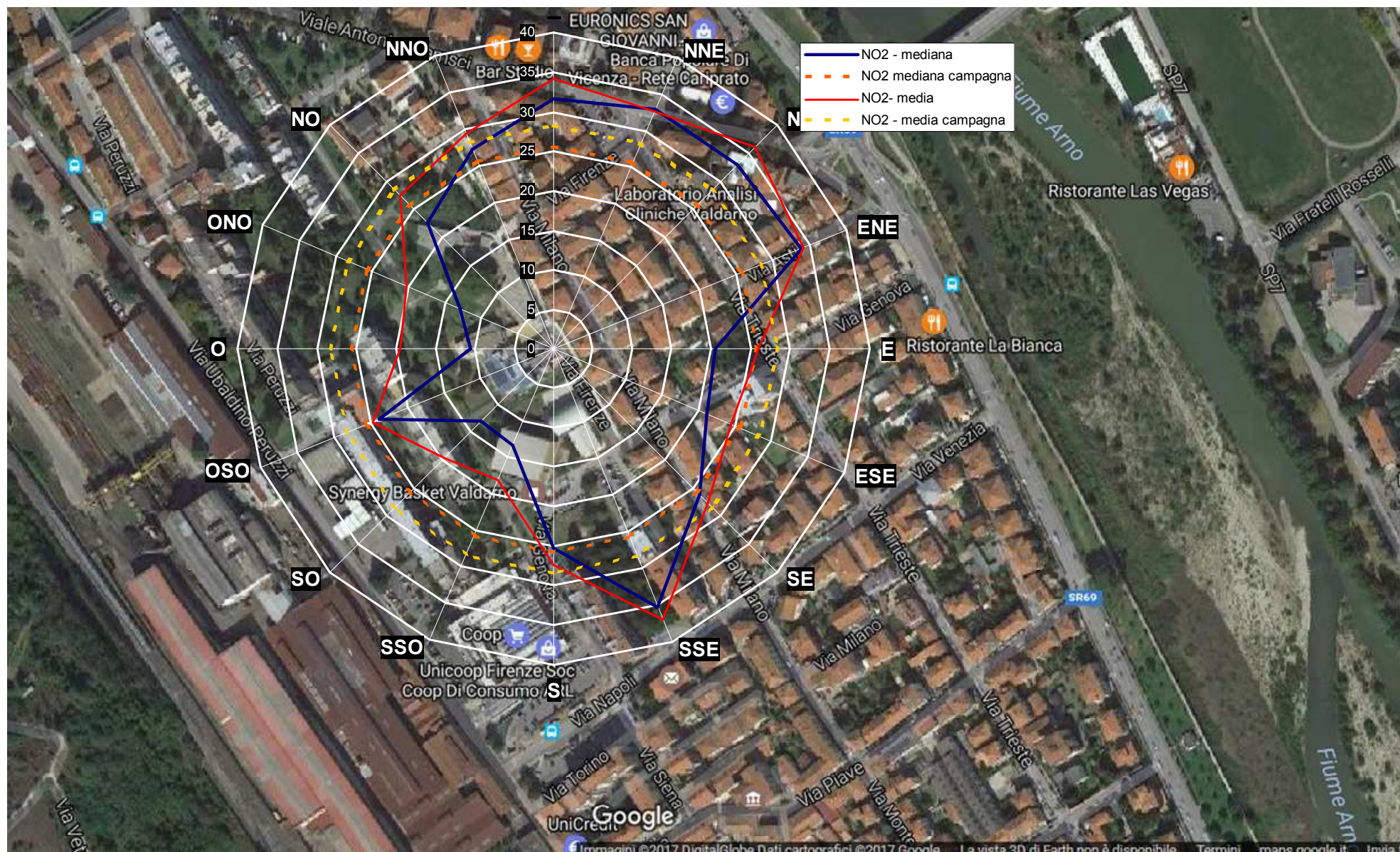


Figura 6.6.2– diagramma polare medie e mediane NO₂ Bibbiena – Piazzale John Lennon

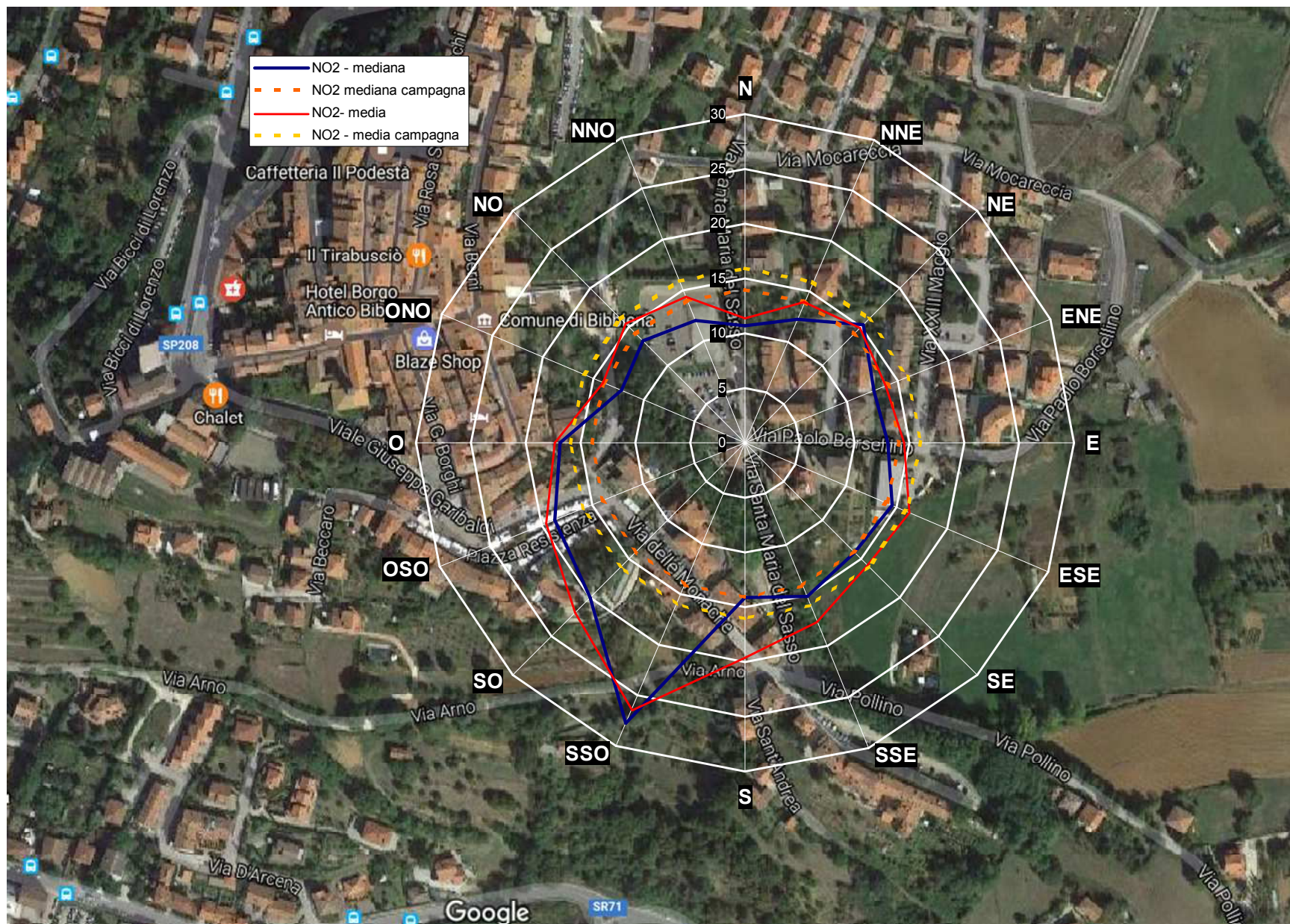


Figura 6.6.3 – diagramma polare medie e mediane NO₂ Piancastagnaio – Loc. La Rota

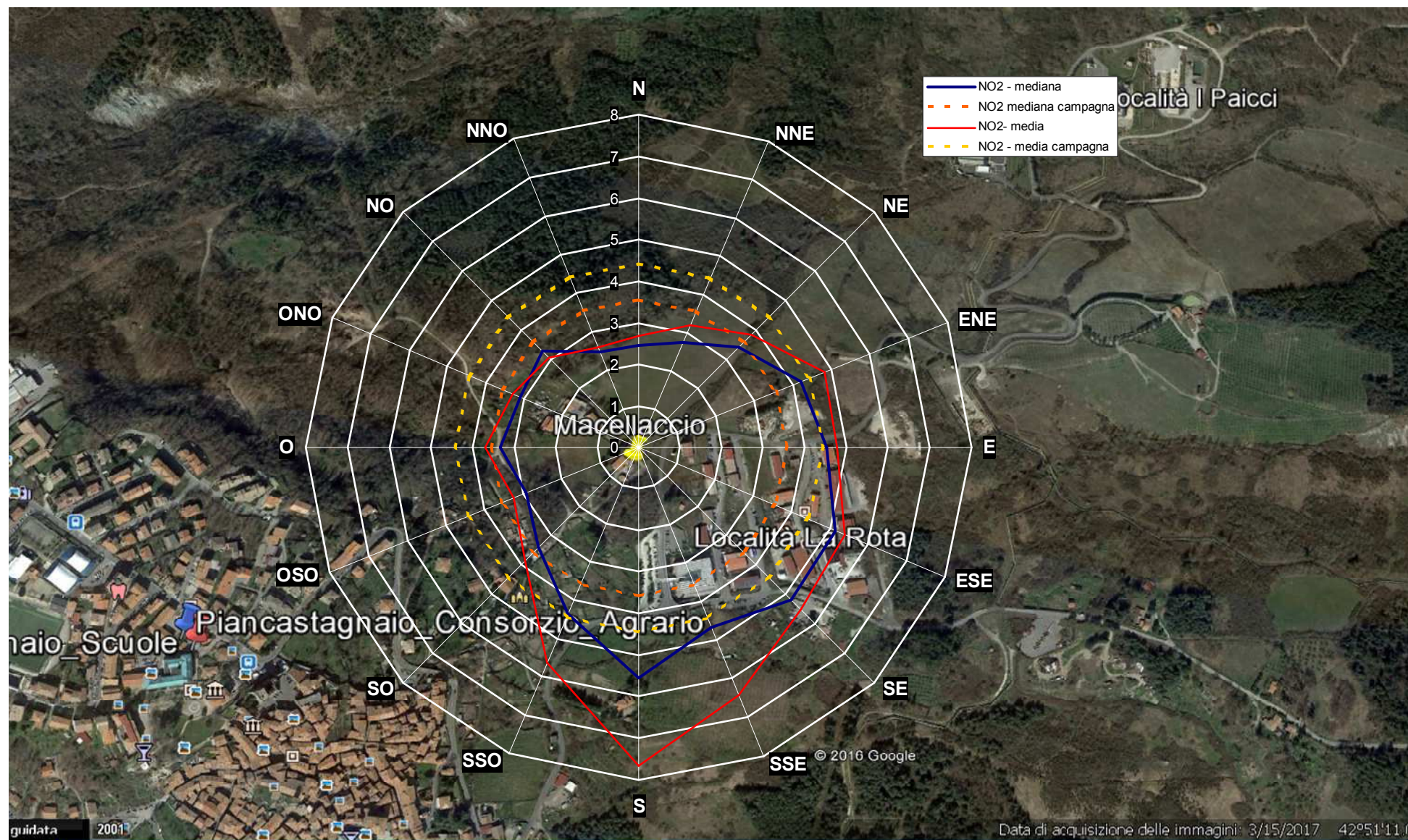


Figura 6.6.4 – diagramma polare medie e mediane benzene Piancastagnaio – Loc. La Rota

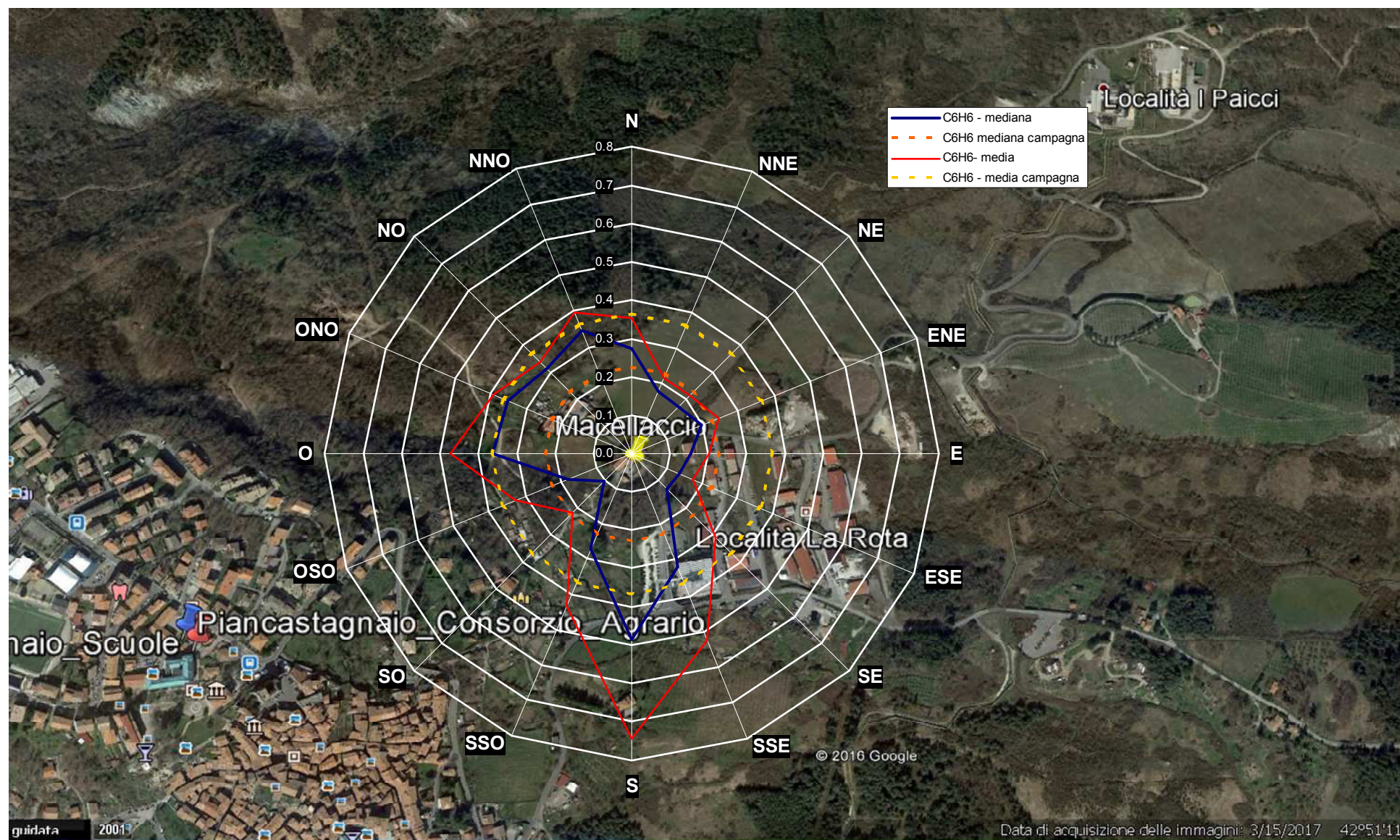


Figura 6.6.5 – diagramma polare medie e mediane benzene Montecerboli

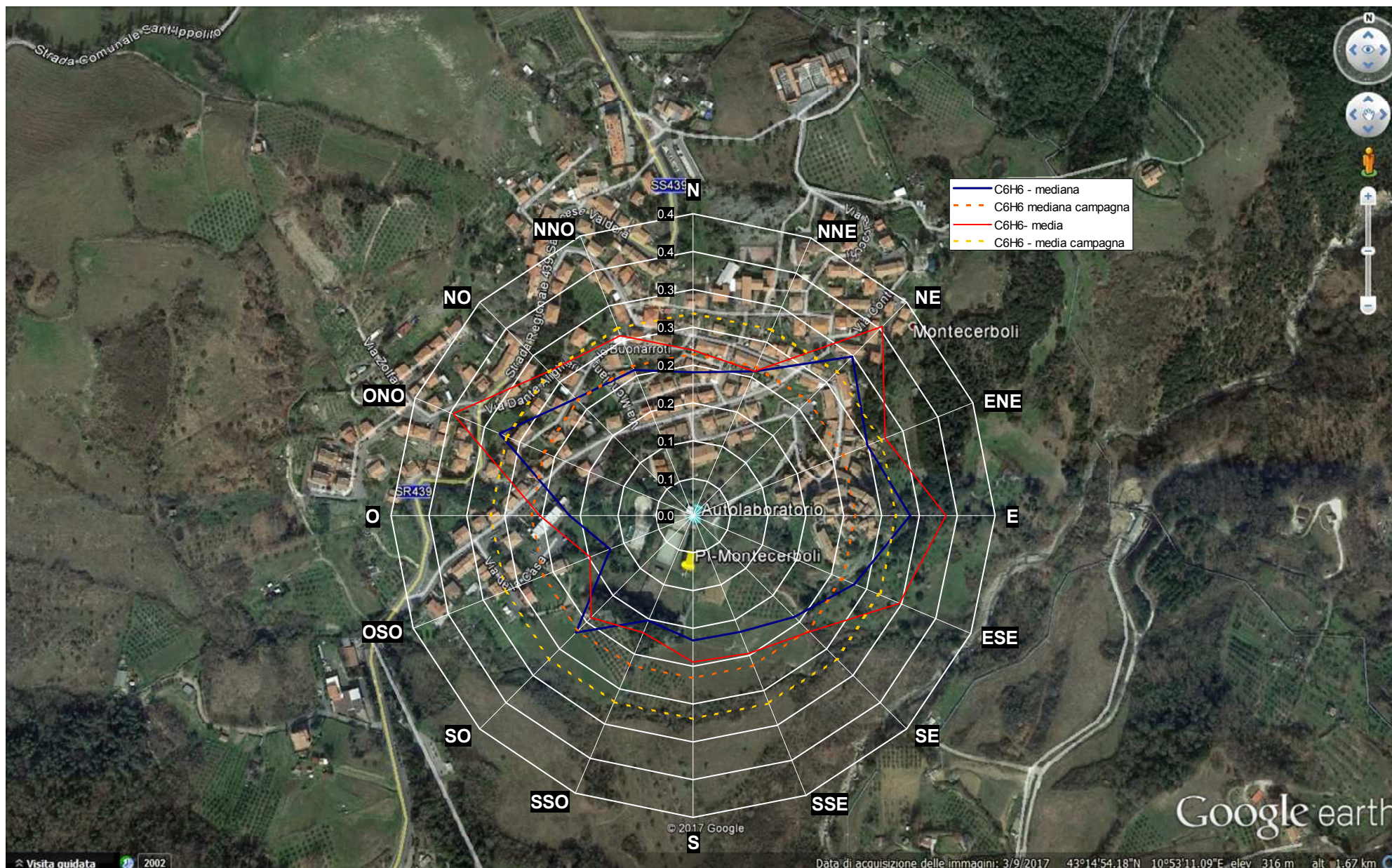


Figura 6.6.6 – diagramma polare medie e mediane biossido di azoto Montecerboli



7- Valutazione dei risultati

Il quadro informativo riferito ai dati di qualità dell'aria evidenzia, da una parte, valori confrontabili fra le postazioni urbane nel quale i livelli più elevati sono registrati dalla postazione di San Giovanni Valdarno, e dall'altra, livelli decisamente più bassi per tutti gli indicatori delle postazioni suburbane di Piancastagnaio e Montecerboli.

La prevalenza degli indicatori di qualità dell'aria finalizzati alla tutela della salute umana risulta conforme ai valori limite previsti alla normativa vigente.

In questo contesto, **biossido di zolfo, monossido di carbonio e benzene** (limitatamente alle due postazioni suburbane nel quale è stato determinato) sono caratterizzati da valori degli indicatori modesti, con scarti sul limite oltre -75 %.

Relativamente alle stazioni urbane, gli inquinanti più significativi sono rappresentati dal materiale particolato PM10 e dal biossido di azoto, i cui valori degli indicatori (media annuale) si distribuiscono, in relazione alla stazione, su scarti percentuali dal limite attorno al -40 % per il PM10 e compresi fra il -30 ed il -60 % per il biossido di azoto.

Sempre per le aree urbane, il materiale particolato PM2,5 registra scarti sul limite (media annuale) compresi fra il -24 ed il -36 %.

L'indicatore relativo al 90,4° percentile delle medie giornaliere di PM10 registra invece il superamento del limite in tutte le postazioni di tipo urbano.

Si mette in rilievo che le campagne indicative (circa 60 giorni distribuiti nelle stagioni dell'anno), si riferiscono ad un campione (rappresentativo) dell'intera popolazione di dati su base annuale, e che in queste condizioni l'incertezza risulta più significativa per gli indicatori caratterizzati da tempi di mediazione brevi (superamenti Valore Limite media giornaliera) che per gli indicatori caratterizzati da tempi di mediazione lunghi (medie annuali) perché i primi sono fortemente influenzati dalla copertura temporale dei dati. Pertanto, è necessario che le valutazioni di conformità degli indicatori riferiti a tempi di mediazione brevi (90,4° Percentile), siano supportate da altre informazioni relative a serie temporali di dati complete, registrate ad esempio in stazioni fisse ubicate in zone limitrofe e rappresentative della postazione in esame.

Nelle campagne indicative effettuate nelle tre postazioni di misurazione urbane (S. Giovanni Valdarno, Bibbiena e Chiusi Scalo), sono stati riscontrati durante le campagne invernali, 6 superamenti del Valore Limite della media giornaliera del PM10 a San Giovanni Valdarno e 7 casi a Bibbiena ed a Chiusi Scalo. Le elaborazioni relative all'indicatore del 90,4° percentile delle concentrazioni giornaliere, mettono in evidenza il superamento del valore limite in tutte e tre le postazioni; in alcuni casi, come per le postazioni di Bibbiena e San Giovanni Valdarno, i valori dell'indicatore superano di poco il valore di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ che rappresenta il limite normativo. Si rileva da una parte che, nelle misurazioni indicative i casi di superamento sono distribuiti unicamente nel periodo invernale e rappresentano l'11 - 12 % della popolazione dei dati, e dall'altra, che nelle stazioni di misurazione fisse, la distribuzione temporale dei casi di superamento è più ampia, determinando un peso minore nell'intera serie temporale annuale: ENEL San Giovanni Valdarno ed Arezzo Repubblica = 8 %, Arezzo Acropoli = 2 %. In questo contesto, gli indicatori che esprimono una posizione ordinale come il 90,4 percentile risentono maggiormente del peso che hanno i casi di superamento nella serie temporale esaminata.

La stazione di misurazione fissa di ENEL di Viale Gramsci, ubicata in prossimità alla stazione di San Giovanni Valdarno La Pira, ha registrato nell'anno 2016, 26 casi di superamento del valore limite relativo alla media giornaliera (numero superamenti ammessi dalla normativa = 35/anno).

Il peso della campagna invernale nell'intera campagna di misurazione indicativa è messo in evidenza anche dalle medie autunno-inverno di PM10, le quali per le stazioni urbane, si distribuiscono nell'intervallo $30\text{-}35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ risultando più elevate della rispettiva media annuale

(Bibbiena: +46 %; San Giovanni Valdarno: +25 %; Chiusi: +30 %). Rispetto alla stazione di AR-Acropoli, le medie autunno-inverno di PM10 sono più elevate del 46 % per Bibbiena e San Giovanni Valdarno e del 25 % per Chiusi Scalo.

In sintesi, relativamente all'indicatore del 90,4° percentile, è da ritenere che l'incertezza sul valore nonché la distribuzione temporale dei casi di superamento, fortemente influenzati dalla copertura temporale, non consentano di trarre conclusioni esaustive in merito alla valutazione di conformità al limite della media giornaliera riferito ad un intero anno civile e che sarebbe preferibile integrare queste informazioni con quelle fornite da vicine stazioni di misurazione fisse.

Analisi per Zona

All'interno della zona Valdarno aretino e Valdichiana, le medie annue di particolato sono abbastanza omogenee per dell'area del Valdarno (postazione San Giovanni Valdarno – La Pira) sia in relazione alla stazione di misurazione di Figline (media delle differenze $-1 \mu\text{g}/\text{m}^3$), che alla stazione ENEL di San Giovanni Valdarno Via Gramsci (media delle differenze $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$); sono rilevate invece differenze significative con la postazione di Arezzo Acropoli (media delle differenze $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Per quanto attiene l'analisi di correlazione, la postazione di San Giovanni Valdarno presenta un'ottima correlazione (PM10 e PM2,5), sia con le stazioni di Figline e San Giovanni Valdarno - Via Gramsci, sia con la stazione di Acropoli.

Spostandosi in direzione sud, la postazione di Chiusi Scalo è caratterizzata invece da medie annue di particolato più elevate rispetto alla stazione di fondo di Arezzo Acropoli (media delle differenze $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Se si esaminano nel dettaglio gli andamenti temporali delle differenze fra i valori medi giornalieri delle due stazioni, si rileva che a Chiusi i valori sono più bassi nel periodo estivo e sostanzialmente equivalenti in primavera ed in autunno e che solo nel periodo invernale sono registrati livelli di concentrazione più elevati di Acropoli. In questo caso le correlazioni con la stazione di Acropoli sono invece scarse ad evidenziare una situazione di non correlazione con questa stazione regionale.

Per quanto riguarda la zona collinare montana, la gamma delle differenze riscontrate fra campagne indicative e stazioni fisse è in alcuni casi nettamente superiore. Il fondo regionale di PM10, rappresentato dalle stazioni fisse di AR-Casa Stabbi e di PI-Montecerboli, corrisponde ad una media annua attorno a $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Nelle campagne indicative effettuate a Piancastagnaio ($13 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e Montecerboli ($11 \mu\text{g}/\text{m}^3$) sono stati registrati valori medi confrontabili od equivalenti al fondo regionale. Il sito fisso di SI-Poggibonsi essendo di tipo urbano, somma al fondo dell'area naturale un contributo caratteristico delle pressioni locali del tessuto urbano (media annuale PM10 = $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Sul versante appenninico della zona collinare montana, ad est della zona Valdarno aretino e Valdichiana, i livelli riscontrati nella postazione urbana di Bibbiena sono superiori sia quelli della vicina stazione di AR-Casa Stabbi che a quelli della stazione urbana di Poggibonsi. Per quanto attiene il PM2,5 i valori medi annuali di Bibbiena sono confrontabili ($+2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) con i valori rilevati dalle stazioni fisse appartenenti alla rete COLACEM di Rassina – Castel Focognano (AR). La campagna indicativa effettuata a Montecerboli ha registrato valori medi annuali allineati a quelli rilevati dalla stazione di misurazione fissa.

Giorno tipo

Biossido di azoto – gli andamenti medi stagionali mettono in evidenza per tutte le postazioni il tipico carattere di stagionalità nel quale i livelli più elevati sono registrati nelle stagioni dell'inverno e dell'autunno. Sono ben evidenziati anche i contributi antropici per la presenza di valori massimi riferiti alla mattina (fascia oraria 8 – 9) ed alla sera (fascia oraria 18 - 20); tendenzialmente i livelli di picco serali presentano valori più elevati.

Benzene – si manifestano gli stessi tratti essenziali degli andamenti osservati per il biossido di azoto, in questo caso sono però più evidenti sia le differenze fra le stagioni dell'inverno e dell'autunno rispetto alle altre stagioni, sia i livelli di picco serali rispetto a quelli della mattina.

Box-plot

I dati di sintesi relativi al materiale particolato (dato giornaliero) e benzene (dato orario) mettono in evidenza, in particolare per le postazioni urbane, una distribuzione dei dati asimmetrica caratterizzata dalla presenza di baffi sbilanciati verso i valori più elevati, ad indicare, che probabilmente, sotto il profilo statistico, i valori estremi (o dati fuori linea) hanno un peso rilevante sull'andamento normale dei valori di questi inquinanti. Questa considerazione, è confermata anche dai valori della media, che tendenzialmente sono più elevati della mediana.

I box-plot stagionali rilevano la presenza di livelli massimi di materiale particolato PM10 nella stagione dell'inverno, nelle stagioni intermedie dell'autunno e della primavera, la distribuzione assume invece una connotazione più simmetrica.

Le serie di dati stagionali relative alla postazione suburbana di Piancastagnaio seguono invece distribuzioni specifiche, nel quale il benzene registra distribuzioni asimmetriche e livelli più elevati nella stagione invernale, mentre il materiale particolato nella primavera.

L'altra postazione suburbana di Montecerboli mette in evidenza una distribuzione meno asimmetrica per quanto riguarda il materiale particolato (i livelli più elevati sono registrati nella stagione dell'inverno), ed una distribuzione asimmetrica per il benzene, nel quale i baffi sono fortemente sbilanciati verso i valori massimi.

Le distribuzioni in classi sono tuttavia rappresentate da maggiori frequenze nelle classi di concentrazione dai valori più bassi, significativamente distanti dal relativo valore limite.

Elaborazioni con i dati meteorologici

I diagrammi polari riguardanti il biossido di azoto e benzene mettono in rilievo contributi più significativi riconducibili ai settori:

biossido di azoto

San Giovanni Valdarno: nord, sud-sud-est e est-nord-est;

Bibbiena: settori sud-occidentali (sud-sud-ovest e sud-ovest);

Chiusi Scalo: settori sud-occidentali (sud e sud-sud-ovest) e nord;

Piancastagnaio: settori sud-orientali (sud, sud-est e est-sud-est).

Montecerboli: settore nord-nord-est

La presenza di più settori significativi indica che non è presente una sorgente di emissione predominante attorno alla stazione, ma piuttosto il contributo di più sorgenti.

benzene

Piancastagnaio: settori nord-occidentali (nord, nord-nord-ovest, nord-ovest ed ovest) e sud. L'impianto geotermico di ENEL è ubicato rispetto alla postazione di misurazione di Piancastagnaio in direzione nord-est.

Montecerboli: settori nord-orientali (nord-est, est) e settore ovest-nord-ovest (direzione dell'impianto geotermico: Sud)

8 - Considerazioni riassuntive e finali

La prevalenza degli indicatori di qualità dell'aria risulta conforme ai valori limite fissati a tutela della salute umana. In questo contesto, si evidenzia, in particolare per le postazioni urbane, il superamento dell'indicatore relativo al 90,4° percentile delle concentrazioni giornaliere di PM10. Tuttavia, per quanto attiene la postazione di La Pira – San Giovanni Valdarno, il raffronto con la stazione di misurazione fissa di ENEL San Giovanni Valdarno-Via Gramsci, mette in evidenza, nello stesso periodo di osservazione invernale, un numero di superamenti del valore limite della media giornaliera equivalente che però non è risultato sufficiente a determinare il superamento dei casi ammessi dalla normativa sull'intero anno civile (2016: 26 giorni su 35 ammessi). E' da ritenere pertanto che il peso dell'incertezza relativa all'indicatore del numero dei superamenti del valore limite giornaliero riferito alle campagne indicative e la distribuzione temporale dei dati, non permettano di effettuare la valutazione di conformità al limite della media giornaliera riferito all'esposizione a breve termine di PM10.

I valori medi annuali di materiale particolato sono caratterizzati da scarti sul limite compresi tra il -30 ed il -40 % per il PM10 e scarti fra il -25 ed il -36 % per il PM2,5.

I valori annuali di biossido di azoto sono contraddistinti da scarti sul limite compresi tra il -30 ed il -60 %.

Biossido di zolfo, monossido di carbonio e benzene (nelle postazioni dove è stato misurato) rappresentano gli inquinanti meno significativi poiché registrano uno scarto rispetto al valore limite sopra il 75 %.

I livelli più elevati delle postazioni urbane sono stati registrati dalla postazione di San Giovanni Valdarno, i cui valori risultano sostanzialmente in linea sia alla stazione di misurazione fissa di ENEL (San Giovanni Valdarno Via Gramsci), sia alla stazione di rete regionale di Figline Valdarno.

Le postazioni suburbane di Piancastagnaio e Montecerboli registrano livelli degli indicatori modesti con scarti sul limite ben oltre il 50 % (Piancastagnaio: media annuale PM10 e PM2,5 = -68 %, media annuale benzene = -92 %; Montecerboli: media annuale PM10 e PM2,5 = -70 %, media annuale benzene = -95 %).

Le postazioni urbane sono caratterizzate da andamenti stagionali degli indicatori variabili nel quale i livelli più elevati di materiale particolato sono registrati nella stagione dell'inverno. Differentemente, la postazione suburbana di Piancastagnaio presenta valori più elevati di materiale particolato nella primavera e di benzene nella stagione invernale.

Il benzene relativo alla postazione di Piancastagnaio mostra una spiccata stagionalità (livelli più elevati nella stagione invernale ore 19-20).

I diagrammi polari riferiti a biossido di azoto e direzione del vento (per le postazioni di Piancastagnaio e Montecerboli è disponibile anche il diagramma per il benzene), mettono in evidenza, per quanto riguarda i contributi delle postazioni di San Giovanni Valdarno e Piancastagnaio, che i settori più significativi si sovrappongono sostanzialmente alla locale rosa dei venti. In particolare, per quanto attiene la postazione suburbana di Piancastagnaio, sono evidenziati i settori sud orientali per il biossido di azoto e nord occidentali e sud per il benzene, non coincidenti con la posizione dell'impianto relativo alla centrale geotermica (direzione nord-est rispetto all'autolaboratorio).

Le presenti campagne effettuate nel territorio sud-est della Toscana hanno permesso di integrare le informazioni raccolte in precedenza ed effettuare una stima della distribuzione spaziale del PM10 nella zona del Valdarno aretino e Valdichiana e nella parte sud della zona collinare montana. Lo studio della distribuzione spaziale ha messo in evidenza la presenza di alcune aree con livelli più elevati rispetto ai livelli medi di zona, sia per la zona del Valdarno aretino e Valdichiana che per la zona collinare montana.

Le aree con gli scarti maggiori si riferiscono alle postazioni urbane e presentano una media annuale di 5-6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ superiore rispetto alla stazione presa a riferimento (AR-Acropoli media annua 2016 = 19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), che equivarrebbe a medie nell'intorno di 24-25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Le medie autunno inverno di PM10 si distribuiscono nell'intervallo 30-35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e risultano più elevate della rispettiva media della stazione di AR-Acropoli (anno 2016) del 46 % in un caso (Bibbiena e San Giovanni Valdarno) e del 25 % nell'altro (Chiusi Scalo).

Alcune di queste aree danno conferma di situazioni locali già note (area del Valdarno aretino – San Giovanni Valdarno), mentre per le altre, occorre supportare i dati con altri tipi di valutazione o altre indagini appropriate. In particolare:

- Area del Valdarno: la postazione di S. Giovanni Valdarno conferma la criticità di questa area valliva (media delle differenze con la stazione di Acropoli +6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), già rappresentata in rete regionale dalla stazione di FI-Figline. I dati di materiale particolato registrati da questa postazione correlano, sia con la stazione fissa di ENEL ubicata a San Giovanni Valdarno (Via Gramsci), sia con la stazione di rete regionale di Figline Valdarno (Via Morandi).

- Chiusi Scalo: lo scarto misurato tra questa campagna indicativa e la stazione di AR-Acropoli è pari, anche in questo caso, a 6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Anche per questo sito si potrebbe ipotizzare una componente legata alla morfologia dell'area che, favorendo l'accumulo degli inquinanti in alcune condizioni e periodi dell'anno, contribuisce all'innalzamento dei livelli medi.

- Bibbiena: la media annuale è all'interno della fascia più significativa dei valori medi annuali registrati nell'indagine relativa alle zone Valdarno aretino e Valdichiana e Collinare e Montana. La postazione è riferita alla valle del Casentino, nel quale i fenomeni di accumulo degli inquinanti al suolo possono essere favoriti. I dati di materiale particolato PM2,5 registrati dalla postazione hanno una buona correlazione con quelli rilevati dalle stazioni COLACEM di Rassina – Castel Focognano.

In questi ultimi due casi, potrebbe essere significativo, al fine di inquadrare meglio in contesto dell'aria ambiente dell'area, ripetere le campagne di misurazione in siti prossimi a quelli monitorati o anche negli stessi siti aumentando il numero dei giorni di campionamento e quindi la rappresentatività sull'anno solare.

Allegato 1. elaborazione dei dati meteorologici

Figura 1.1 rosa dei venti San Giovanni Valdarno

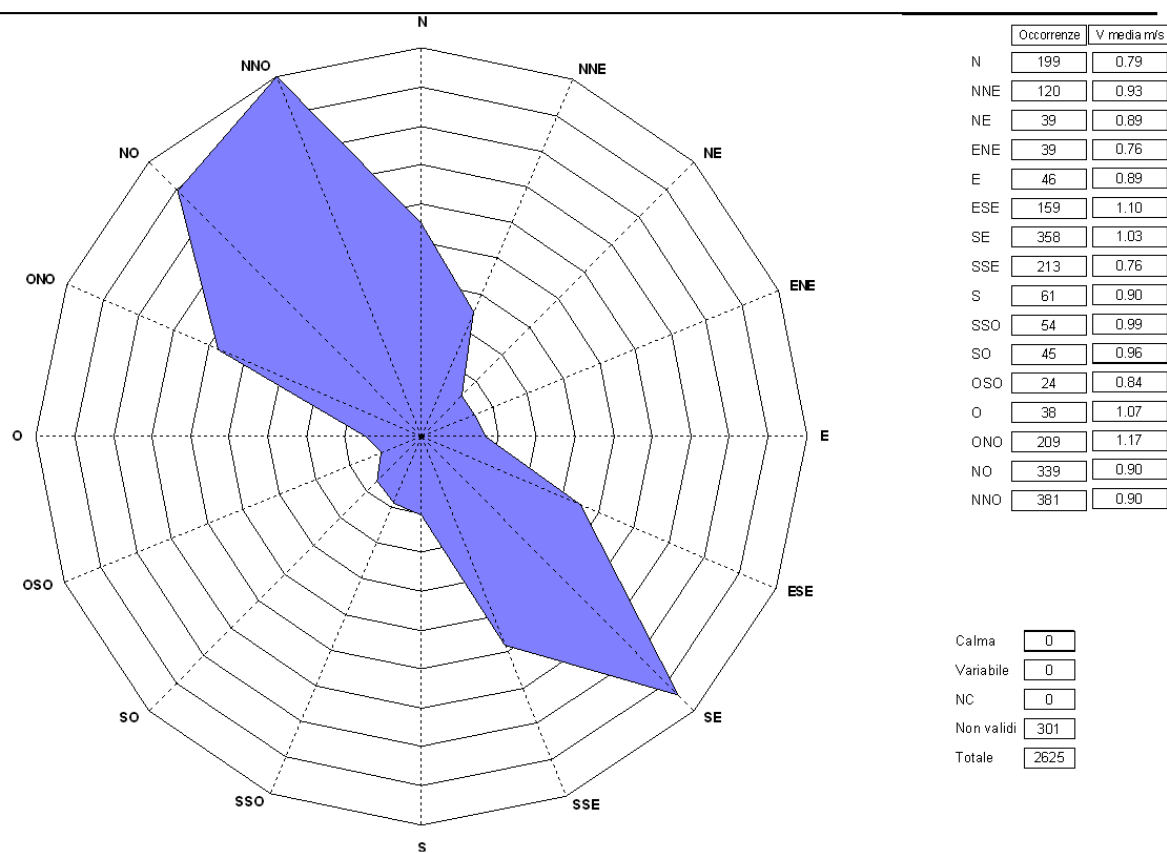


Figura 1.2 rosa dei venti Bibbiena

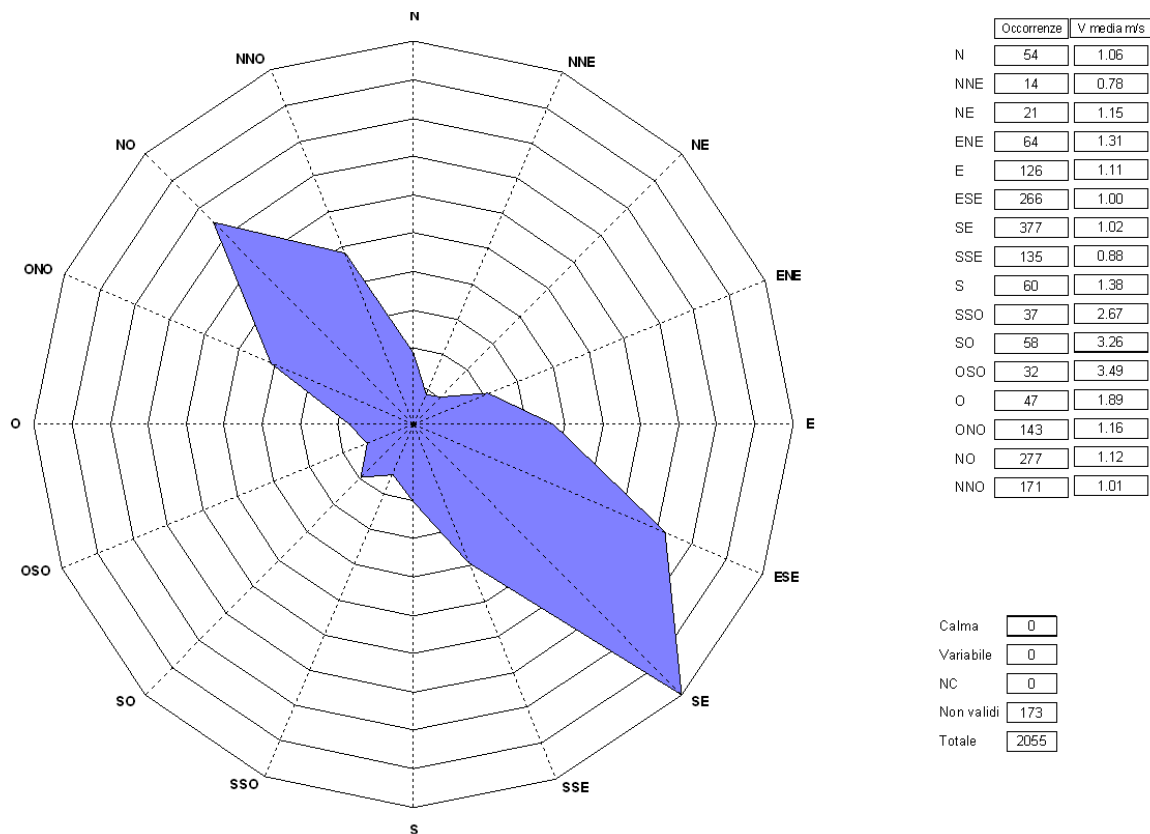


Figura 1.3 rosa dei venti Chiusi Scalo

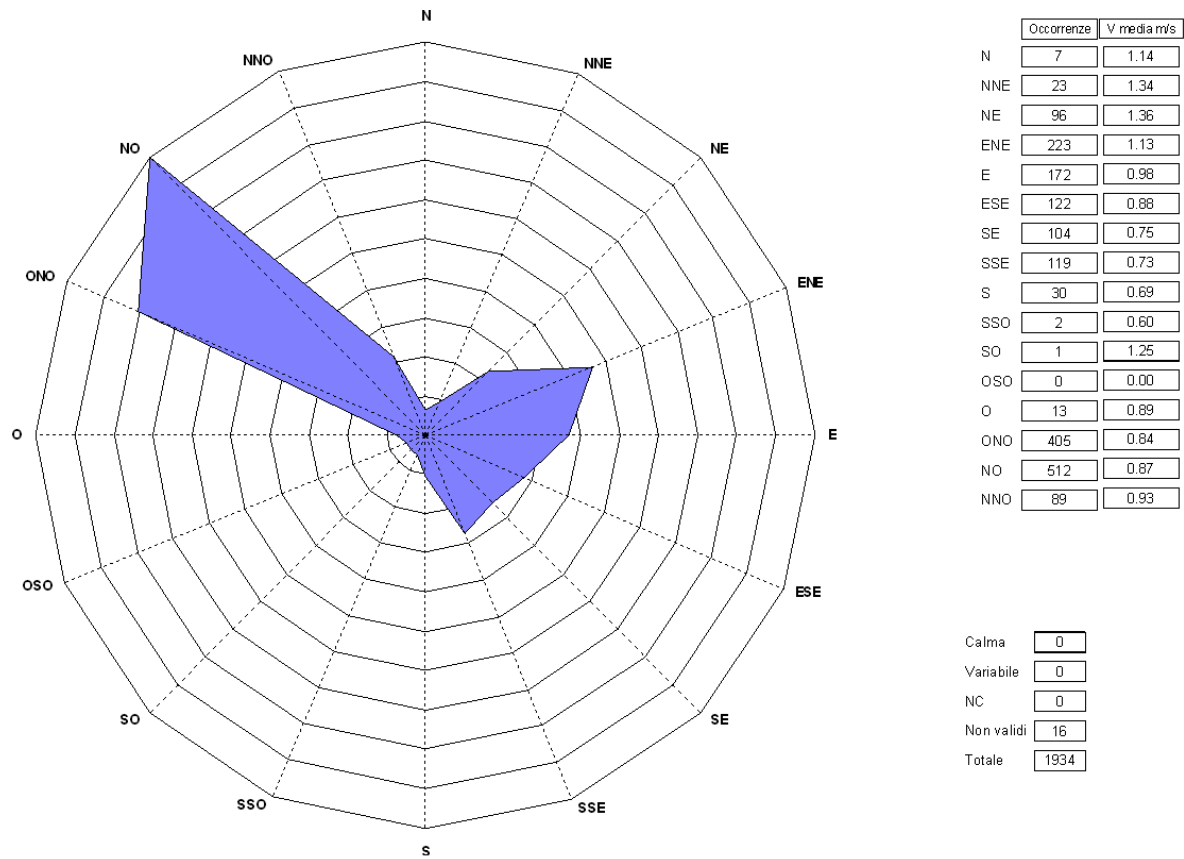


Figura 1.4 rosa dei venti Piancastagnaio

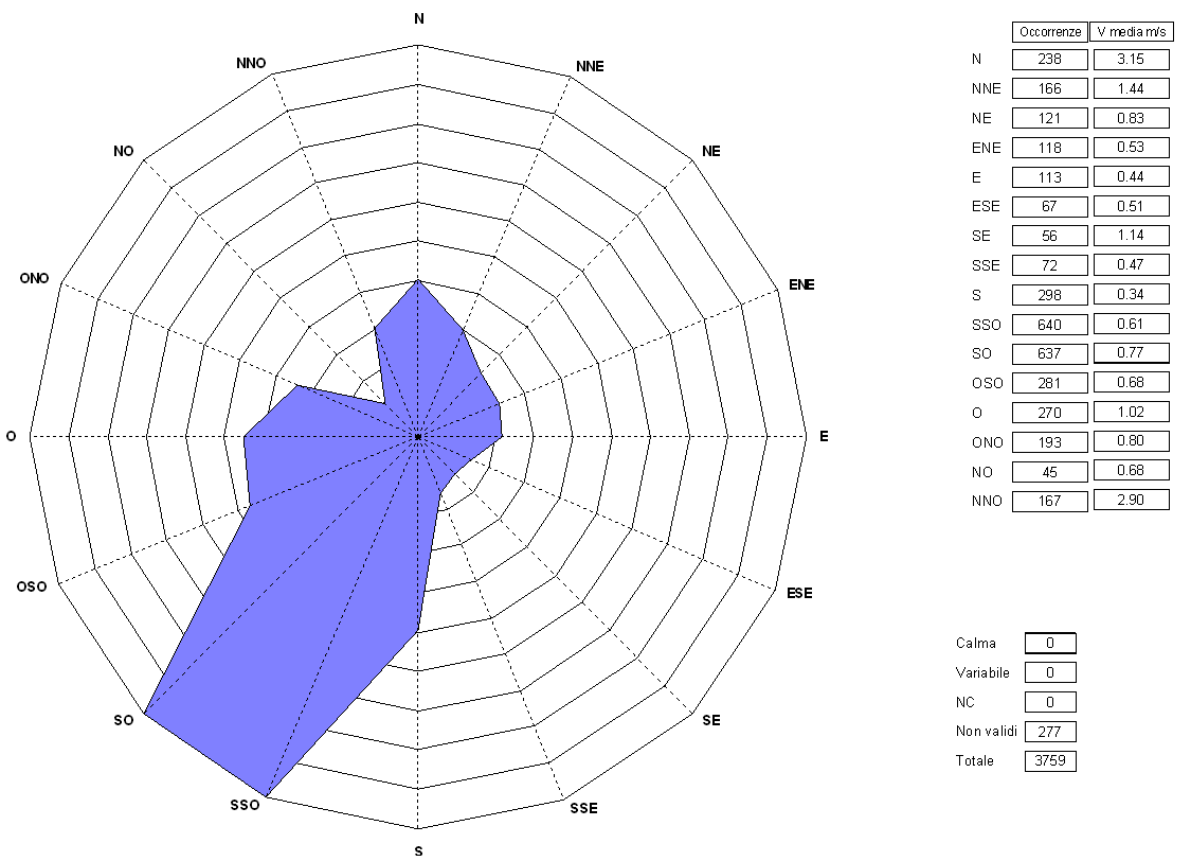
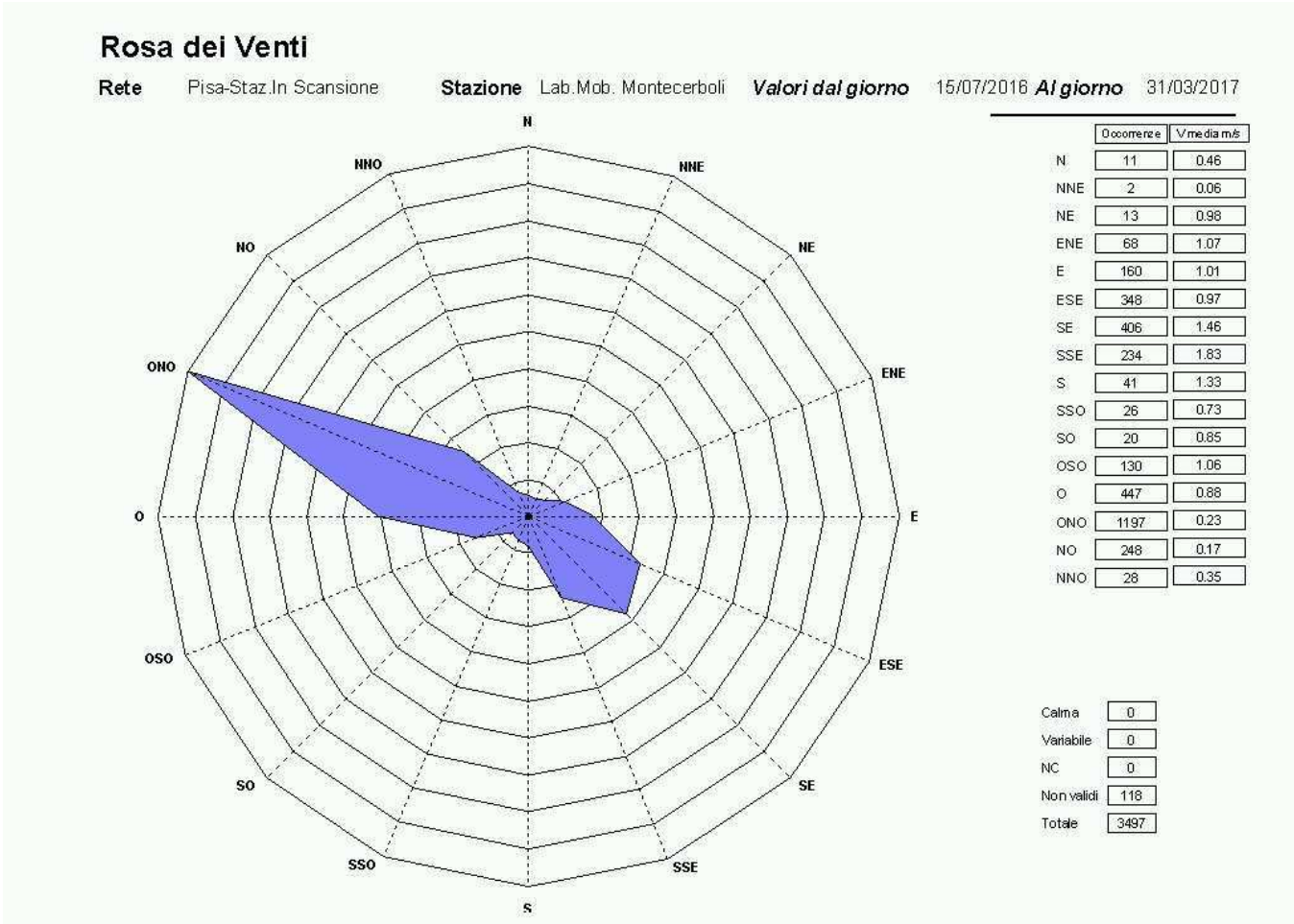


Figura 1.5 rosa dei venti Montecerboli



Allegato 2 Caratteristiche tecniche analizzatori/sensori

tabella 2.1 caratteristiche tecniche analizzatori e sensori meteo

| Inquinante | Marca Modello | Numero serie | Principio Misura | Limite Rilevabilità | Precisione | identificazione Autolaboratorio |
|-----------------|---------------------------|--------------|--|---|---|---------------------------------|
| O ₃ | API 400 A | 362 | Assorbimento UV | < 0,6 ppb | 0,5 % della lettura | AR431615 |
| O ₃ | THERMO ELECTRON 49 C | 0503110375 | Assorbimento UV | 0,2 ppb | 1,0 ppb | SI408060 |
| NO _x | API 200 A | 444-1048 | Chemiluminescenza | 0,7 µg/m ³ | 0,5 % della lettura | AR431615 SI408060 |
| SO ₂ | API 100 A | 1108 | Fluorescenza UV | 2,6 µg/m ³ (come SO ₂) | Al 20% del campo di misura ≤ 1,6 µg/m ³ All'80% del campo di misura ≤ 6 µg/m ³ | AR431615 |
| SO ₂ | API 100 E | 740 | Fluorescenza UV | 2,6 µg/m ³ | Al 20% del campo di misura ≤ 1,6 µg/m ³ All'80% del campo di misura ≤ 6 µg/m ³ | SI408060 |
| CO | API 300 A | 403 | Correlazione Infrarosso | < 0,05 ppm | 0,5 % della lettura | AR431615 |
| CO | API 300 E | 758 | Correlazione Infrarosso | 0,04 ppm | 0,5 % della lettura | SI408060 |
| BTEX | Chromatec Air Toxic GC866 | 26881211 | Gascromatografia PID | ≤ 0,01 ppb (0,0325 µg/m ³ per il benzene) | < 2 % su 48 ore a 1 ppb | SI408060 |
| DV | Micros SVDV | 4699 | Sistema a banderuola ad uscita potenziometrica | 0,3 m/sec | 1% | AR431615 |
| VV | Micros SVDV | 4699 | rotazione a sistema magneti toroidale, sonda ad effetto Hall | 0,25 m/sec | +/- 0,25 nel campo 0-20 m/sec +/- 0,7 oltre i 20 m/sec | AR431615 |

Allegato 3 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 (PM_{2,5})

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 PM_{2,5} (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 (PM_{10-2,5} detto anche frazione grossolana del PM₁₀) dall'atmosfera nel giro di poche ore dall'emissione, il PM_{2,5} 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 PM_{2,5} 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 PM_{2,5} danneggia seriamente la salute aumentando i decessi per malattie cardio-respiratorie e cancro del polmone. La crescita delle concentrazioni di PM_{2,5} 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 PM_{2,5} si associa maggiormente alla mortalità, indicando un aumento del 6% del rischio di morte per tutte le cause per ogni aumento di 10 µg/m³ nelle concentrazioni di PM_{2,5} 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, detergenti, 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 4. 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. 4 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. 4 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 | 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. 4 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. 4 BIOSSIDO 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. 4 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 |