



**ARPAT**

Agenzia regionale  
per la protezione ambientale  
della Toscana

**PM10**

**RAPPRESENTATIVITÀ NELLA ZONA DEL  
VALDARNO ARETINO E VAL DI CHIANA**

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

**REGIONE  
TOSCANA**



## **ZONA DEL VALDARNO ARETINO E VALDICHIANA**

Valutazione della rappresentatività spaziale dei dati di PM10 delle stazioni di rete regionale relativa alla zona del Valdarno aretino e Valdichiana

*(Attività INO Regione toscana- Allegato C - DGRT 1089 del 27/12/2012 Rappresentatività spaziale delle stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria: verifiche, misure, implementazioni e messa a punto)*

A cura di :

Bianca Patrizia Andreini

*Centro Regionale per la Tutela della Qualità dell'Aria*

Autori:

Chiara Collaveri

David Magliacani

Guglielmo Tanganelli

*Centro Regionale per la Tutela della Qualità dell'Aria*

Si ringraziano :

- i Comuni di Castiglion Fiorentino e Cortona per la collaborazione ed supporto logistico nella realizzazione delle campagne di misurazione indicative con l'autolaboratorio;
- il Dipartimento di Arezzo per la collaborazione all'installazione dell'autolaboratorio;
- il Laboratorio Area Vasta Sud per le analisi dei BTX
- ENEL UB Santa Barbara Cavriglia - per la trasmissione dei dati meteorologici e di qualità dell'aria registrati dalla rete di misurazione di qualità dell'aria di Santa Barbara.
- ENEA- Bologna per il supporto nell'applicazione del metodo  $\beta$ : Righini G., Vitali L., Piersanti A., Cremona G.

**28 FEBBRAIO 2015**

## Premessa e sintesi dei contenuti

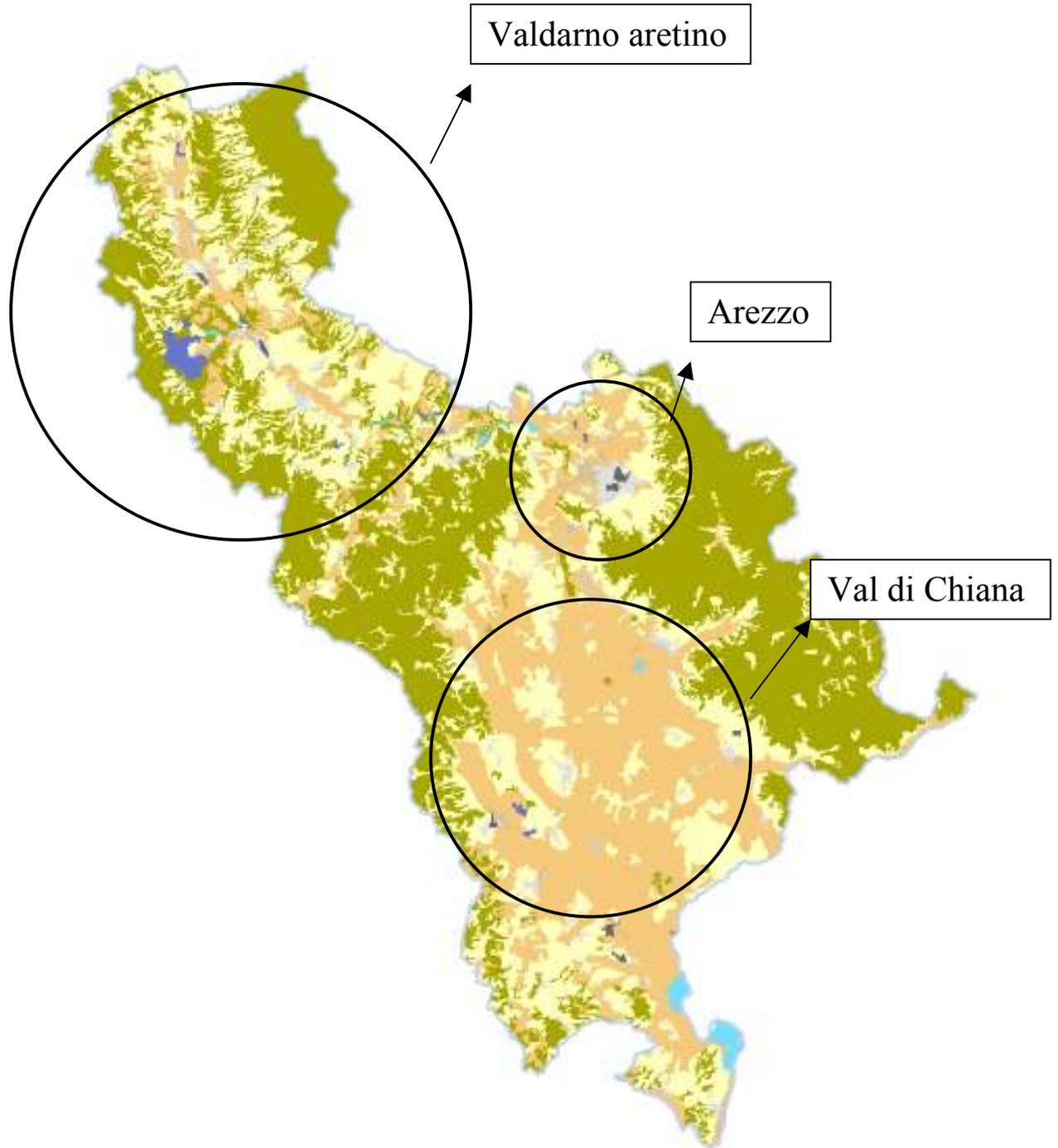
All'interno del progetto di verifica della rappresentatività della rete regionale per il PM10, l'analisi della zona del Valdarno Aretino e Val di Chiana (VdA) è da considerarsi prioritaria, sia perché in rete regionale è prevista una sola stazione di fondo urbano, sia perché non esistono consistenti dati pregressi, fatti salvi quelli della stazione provinciale di Incisa, dismessa nel 2013.

La zona del VdA ha la sua massima sovrapposizione con la provincia di Arezzo fatta eccezione per le aree del Casentino e della Valtiberina che appartengono interamente alla zona collinare montana. I comuni appartenenti alla zona, si ripartiscono tra quelli della Val di Chiana, suddivisi tra la Provincia di Arezzo e quella di Siena e quelli del Valdarno superiore, suddivisi tra la provincia di Arezzo e quella di Firenze.

Figura 1 – zona del Valdarno aretino e Val di Chiana e confini provinciali



Figura 2 – aree urbanizzate all'interno della zona

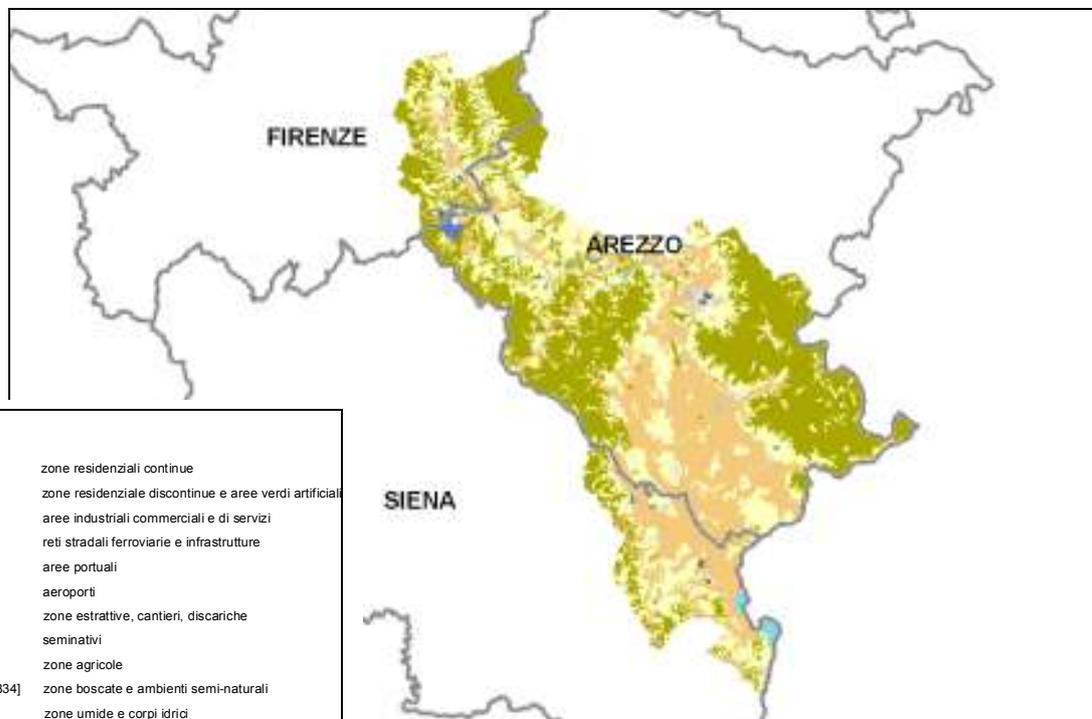
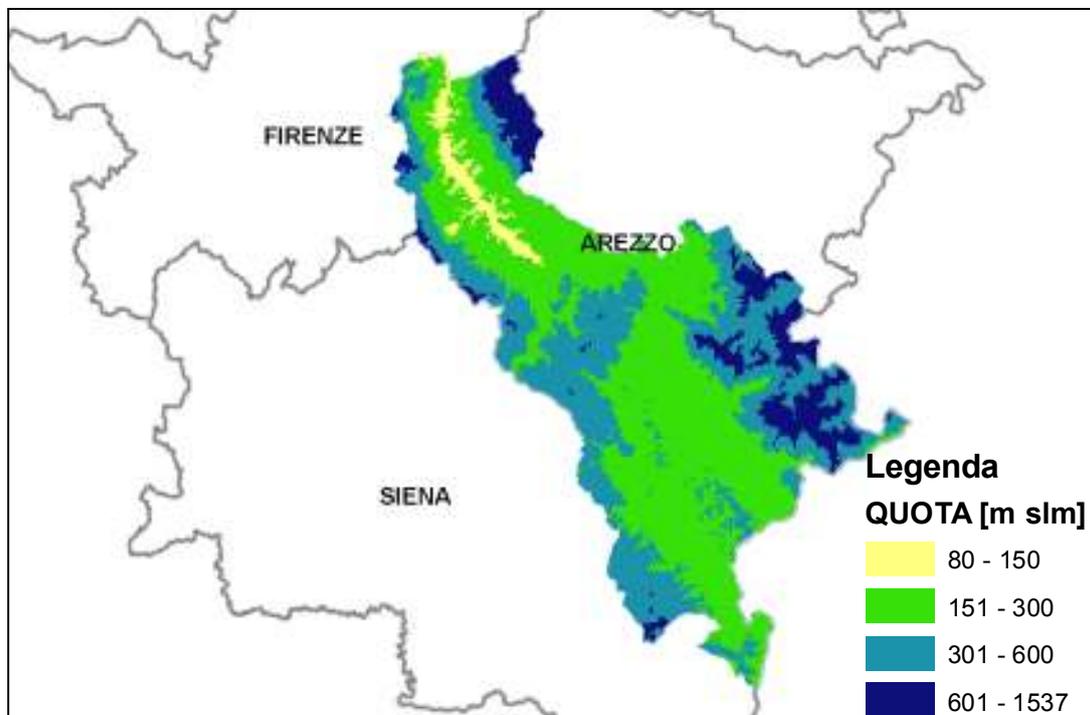


**CORINE3**

<ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #333; margin-right: 5px;"></span> [111]</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #ccc; margin-right: 5px;"></span> [112; 141; 142]</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #a52a2a; margin-right: 5px;"></span> [121]</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #66b3ff; margin-right: 5px;"></span> [122]</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #ff69b4; margin-right: 5px;"></span> [123]</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #90ee90; margin-right: 5px;"></span> [124]</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #4169e1; margin-right: 5px;"></span> [131-133]</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #ffa500; margin-right: 5px;"></span> [211-213]</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #ffff00; margin-right: 5px;"></span> [22-223; 231; 241-243]</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #808000; margin-right: 5px;"></span> [311-313; 321-324; 331-334]</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #00bfff; margin-right: 5px;"></span> [411; 421; 511-512; 521]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>zone residenziali continue</li> <li>zone residenziale discontinue e aree verdi artificiali</li> <li>aree industriali commerciali e di servizi</li> <li>reti stradali ferroviarie e infrastrutture</li> <li>aree portuali</li> <li>aeroporti</li> <li>zone estrattive, cantieri, discariche</li> <li>seminativi</li> <li>zone agricole</li> <li>zone boscate e ambienti semi-naturali</li> <li>zone umide e corpi idrici</li> </ul>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Esaminando la mappa di uso del suolo di figura 2, al netto delle aree naturali, si possono individuare chiaramente 3 aree di riferimento. Quella del comune di Arezzo, caratterizzata dalla maggiore componente di area urbana di tutta la zona, l'area centrale della Valdichiana e l'area del Valdarno.

Figura 3 - zona distribuzione del territorio per quote altimetriche e confronto con l'uso del suolo



Confrontando la mappa relativa all'uso del suolo e quella relativa alla quota (figura 3), in cui sono evidenziate le fasce altimetriche di pianura (distinta tra 0-150 m e 150-300 m) collina (300-600 m) e montagna (>600 m), si può notare una sovrapposizione quasi totale tra le aree ad uso del suolo naturale e le altimetrie relative alla collina o montagna.

Per questo motivo, si ritiene che l'intera zona sia rappresentata quando siano riprodotti i possibili livelli di fondo riscontrabili all'interno delle aree descritte ed evidenziate in figura 2, al netto delle aree collinari e montane di ciascun comune, che sono in generale assimilabili al fondo regionale.

La rete regionale prevede per questa zona una stazione di fondo urbano situata nel comune di Arezzo (Arezzo Acropoli). La scelta effettuata si basa sulle misure e sulle campagne storiche disponibili, ed è confermata dall'analisi dell'uso del suolo, secondo la quale il comune di Arezzo costituisce in assoluto l'area a maggior potenziale emissivo per la zona. Non essendo quindi critici i livelli di qualità dell'aria misurati in quest'area è stato ritenuto sufficiente mantenere il fondo urbano di Arezzo come unico riferimento per tutta la zona. Il presente studio ha specificamente lo scopo di aggiungere elementi di valutazione, di cui non era possibile disporre al momento della definizione della rete regionale, attraverso i quali sia possibile verificare se la zona sia completamente rappresentata.

La verifica della rappresentatività e, contemporaneamente, della copertura informativa del dato della rete regionale, è stata pertanto strutturata in 3 fasi:

- verifica della rappresentatività della stazione di Acropoli rispetto all'area urbana di Arezzo;
- verifica dei livelli riscontrabili in Val di Chiana attraverso campagne di misura progettate per lo specifico scopo e confronto con i livelli misurati nella stazione di rete regionale di Acropoli;
- verifica dei livelli riscontrabili nell'area del Valdarno aretino effettuata attraverso l'analisi statistica delle misure storiche da stazioni delle reti provinciali (stazioni di Incisa e Pontassieve) e le stazioni della rete privata ENEL di Santa Barbara, e confronto con i livelli misurati nella stazione di rete regionale di Acropoli.

Tale suddivisione è mantenuta nella struttura del documento che si articola pertanto in 3 sezioni.

La Sezione 1 riguarda l'analisi della rappresentatività della stazione di Arezzo Acropoli e riporta quanto già esposto nel documento di rappresentatività delle stazioni di PM10 di rete regionale, in particolare, le elaborazioni effettuate si riferiscono all'indice  $\beta$  [1]. Vengono inoltre presi in esame i livelli caratteristici misurati da questa stazione, attiva per il PM10 solo dal 2013, e la loro relazione con le misure storiche della stazione di traffico di Arezzo Repubblica.

La Sezione 2 descrive l'area della Val di Chiana principalmente attraverso le campagne indicative effettuate con l'autolaboratorio, di cui è riportato un resoconto completo che comprende l'analisi dei dati di tutti gli inquinanti misurati, il confronto con la stazione di Acropoli, e l'analisi meteorologica dei giorni di campagna. Ciò si inserisce in un esame generale del contesto con relativa valutazione della rappresentatività dei siti di monitoraggio attraverso l'indice  $\beta$ .

Lo scopo di questa sezione è quello di individuare i livelli medi di PM10 per l'area della Val di Chiana e verificare se possano risultare descritti, anche solo in maniera cautelativa, dalla stazione di rete regionale di Arezzo Acropoli.

La Sezione 3 si propone il raggiungimento di un risultato equivalente per quanto riguarda l'area del Valdarno aretino. In questo caso ad essere presi in esame sono i dati storici di alcune stazioni di misurazione distribuite lungo la valle appartenenti rispettivamente, sia alla rete ENEL, sia alla rete provinciale (Incisa e Pontassieve) preesistente la definizione della rete regionale. I dati di PM10 esaminati nel loro complesso costituiscono un quadro di riferimento per l'area da valutare con quanto emerge dai dati della stazione di fondo urbana di Acropoli, ubicata ad Arezzo, unico riferimento per il monitoraggio di tutta la zona.

In tutto il documento, si fa ricorso a rappresentazioni cartografiche delle aree prese in esame attraverso la classificazione dell'uso del suolo secondo le aggregazioni del Corine Land Cover, [2], [3] utilizzate, fra l'altro, per il calcolo dell'indice  $\beta$ .

I principali risultati ottenuti sono sintetizzati di seguito:

#### Area Aretina

Per quanto attiene le zone di fondo dell'area urbana di Arezzo, nel primo biennio di misurazione del materiale particolato PM10 nella stazione di Acropoli, i relativi valori medi hanno presentato valori conformi ai relativi valori limite (media annuale 2013: -48 % del relativo valore limite) ed una forte coerenza ai valori registrati nella precedente campagna di misurazione indicativa effettuata con l'autolaboratorio nel periodo di osservazione 2005-2006. Si rileva inoltre una buona correlazione con la stazione di traffico di P.za Repubblica; si sottolinea tuttavia che la stazione da traffico risente in maniera significativa dei livelli di picco relativi alle sorgenti di emissione riferiti al traffico autoveicolare.

Attraverso il calcolo dell'indice  $\beta$ , la stazione di Acropoli, risulta rappresentativa in un raggio di 5 km; il valore dell'indice, decresce all'aumentare del raggio del buffer mantenendosi entro il 30% del valore iniziale, fino a 5 km. Il buffer è interamente contenuto entro i confini del comune di Arezzo e copre la parte più popolata dell'estesa superficie comunale, in una percentuale pari al 20% del totale. L'area di rappresentatività così stimata è interamente contenuta entro i confini del comune di Arezzo e copre la parte più popolata dell'estesa superficie comunale, di cui costituisce il 20%, comprendendo interamente l'area urbana del capoluogo.

#### Valdichiana

Il contesto di aria ambiente messo in rilievo dalle due campagne di misurazione indicative (Castiglion Fiorentino e Camucia - Cortona) effettuate nella Valdichiana con l'autolaboratorio è caratterizzato dalla piena conformità ai valori limite fissati a tutela della salute umana per tutti i parametri misurati. Materiale particolato PM10 e biossido di azoto, mediamente, si collocano su valori, inferiori compresi tra il -40 % (media annuale PM10 di Castiglion Fiorentino) ed il -63 % (media annuale biossido di azoto di Camucia - Cortona) del relativo valore limite.

Il raffronto con i valori degli indicatori elaborati nelle precedenti campagne di rilevamento effettuate nei territori comunali di Castiglion Fiorentino e Cortona mediante mezzo mobile, mette in rilievo la presenza di variazioni spaziali significative, riguardanti le zone interessate dai flussi veicolari e le zone di fondo (zona di traffico +47 % a Castiglion Fiorentino e +152 % a Camucia - Cortona); per quanto attiene le postazioni di fondo relative al territorio comunale di Cortona, si rileva una sostanziale continuità dei contesti dell'aria ambiente.

Per entrambi i siti di misura è stato effettuato il calcolo dell'indice  $\beta$ . Questo indice consente di valutare la rappresentatività dei siti individuati in Valdichiana mediante la relativa analisi e la determinazione della variabilità spaziale su raggi crescenti (o buffer) dai 2 a 10 chilometri. L'analisi ha messo in evidenza la somiglianza nel valore dell'indice  $\beta$  tra le due postazioni (es.: buffer 5 Km: Castiglion Fiorentino = 0,030 - Camucia Cortona = 0,032), riconducibili sostanzialmente a due fattori: da una parte l'uniformità dell'uso del suolo nell'area, e dall'altra, l'utilizzo degli stessi potenziali emissivi per ciascuna classe di uso del suolo che è diretta conseguenza dell'appartenenza alla stessa zona individuata dalla DGRT 1025/2010 (Valdarno aretino e Valdichiana). La postazione di Arezzo Acropoli, che rappresenta il sito di riferimento del presente studio, si colloca su valori di  $\beta$  più alti per il maggior peso delle sorgenti di emissione presenti nell'area urbana (es.: buffer 5 Km = 0,056).

I dati di PM10 delle misurazioni indicative forniscono una prima base di informazioni sui livelli medi di materiale particolato PM10, i quali risultano praticamente simili a quelli registrati dalla stazione fissa di rete regionale di Arezzo - Acropoli; questa assimilazione è da ritenersi cautelativa per quanto riguarda l'area della Valdichiana, in particolare per quanto riguarda i livelli massimi, perché l'area urbana di Arezzo e le relative zone di fondo, è contraddistinta da sorgenti di emissione più significative. Effettivamente, nei giorni caratterizzati dall'incremento rilevante dei livelli di concentrazione, in entrambe le postazioni di misurazione della Valdichiana sono stati registrati valori medi giornalieri di PM10 sempre inferiori a quelli della stazione fissa di Arezzo - Acropoli (mediamente -21 %). Se pertanto gli indicatori di materiale particolato PM10 sono conformi ai relativi valori limite nella stazione di Arezzo Acropoli

(popolazione di Arezzo è circa 100.000 abitanti su una superficie comunale di 386,25 km<sup>2</sup> e urbana di 15,135 km<sup>2</sup>) è fondato ritenere che siano rispettati, a maggior ragione, anche nell'area della Valdichiana.

### Valdarno

Per questa area è stata effettuata una valutazione statistica relativa alle correlazioni tra i dati delle stazioni provinciali e della rete ENEL, ed i dati delle stazioni di rete regionale.

È risultata ottima la correlazione dei parametri statistici (Pearson = 0,83 - Lin = 0,83; riferimento = 1. Differenza-Media = 0,02 Riferimento = più vicino a 0) registrata nel biennio 2013-2014 fra la stazione di San Giovanni Valdarno (stazione urbana-traffico appartenente alla rete ENEL Santa Barbara - Cavriglia) e quella di rete regionale di Arezzo - Acropoli; si evidenzia tuttavia, che la coerenza si riferisce solo all'ultimo biennio, e che precedentemente, la correlazione era significativa con la stazione di P.za Repubblica, stazione influenzata dalle emissioni del traffico autoveicolare e pertanto caratterizzata da livelli di concentrazione più elevati.

La base di dati iniziale raccolta al fine delle conclusioni presentate sopra, fornisce prime indicazioni sulle correlazioni dei livelli medi di PM10 del Valdarno, sarebbe pertanto necessario, al fine di concludere che la zona del Valdarno aretino possa essere rappresentata dalla stazione di Arezzo Acropoli, ampliare le serie di dati relative allo studio con ulteriori misurazioni negli stessi siti fissi.

E' da considerare inoltre, che la zona del Valdarno aretino è densamente abitata (circa 4,5 volte più elevato dell'intera Provincia di Arezzo) e che pertanto, a prescindere dalla correlazione con l'area urbana di Arezzo, al fine di valutare l'esposizione media agli agenti inquinanti dell'aria ambiente della popolazione del Valdarno, sarebbe auspicabile l'attivazione di almeno un sito fisso nella zona (Rete ENEL / stazione Incisa), in particolare, in zona di fondo urbano.

# INDICE

<b>Sezione 1 - Area urbana di Arezzo</b> .....	<b>11</b>
<b>1.1. Quadro generale</b> .....	<b>11</b>
<b>1.2. Alcuni dati sul comune di Arezzo</b> .....	<b>12</b>
<b>1.3. Il sito di misura</b> .....	<b>13</b>
<b>1.4. Calcolo indice <math>\beta</math></b> .....	<b>15</b>
<b>1.5. Analisi degli indicatori di PM10</b> .....	<b>16</b>
<b>Sezione 2 - Valdichiana</b> .....	<b>20</b>
<b>2.1. Quadro generale</b> .....	<b>20</b>
<b>2.2 Selezione dei siti di misura</b> .....	<b>22</b>
<b>2.3 Rapporto sulla campagna di monitoraggio a Castiglion Fiorentino</b> .....	<b>26</b>
Postazione di misurazione .....	26
Caratterizzazione del contesto territoriale .....	26
Piano di utilizzo Via Giuseppe Ghizzi .....	29
Raccolta minima dei dati .....	29
Periodo minimo di copertura .....	30
Dati rilevati nella campagna di misurazione .....	30
Confronto con i valori limite definiti dalla normativa .....	30
Confronto con i valori degli indicatori relativi alle precedenti campagne di misurazione nel territorio comunale .....	32
Confronto con i livelli rilevati dalle stazioni di misurazione di Acropoli e P.za Repubblica .	33
Valutazione dei risultati .....	34
<b>2.4 Rapporto sulla campagna di monitoraggio a Camucia-Comune di Cortona</b> .....	<b>37</b>
Postazione di misurazione .....	37
Caratterizzazione del contesto territoriale .....	37
Piano di utilizzo Via di Murata - Camucia .....	40
Raccolta minima dei dati .....	40
Periodo minimo di copertura .....	41
Dati rilevati nella campagna di misurazione .....	41
Confronto con i valori limite definiti dalla normativa .....	42
Confronto con i valori degli indicatori relativi alle precedenti campagne di misurazione nel territorio comunale .....	43
Confronto con i livelli rilevati dalle stazioni di misurazione di Acropoli e P.za Repubblica .	45
Valutazione dei risultati .....	46
Analisi dati meteorologici rilevati durante le campagne di monitoraggio .....	49
Considerazioni riassuntive e finali sull'area della Val di Chiana .....	53
<b>Sezione 3 - Area del Valdarno</b> .....	<b>59</b>
<b>3.1 Esame del contesto</b> .....	<b>60</b>
Inquinanti aria ambiente .....	60
Situazione meteorologica .....	67
<b>3.2 Valutazione statistica PM10 2009 - 2014</b> .....	<b>72</b>
Valutazioni conclusive .....	78

<b>Conclusioni.....</b>	<b>79</b>
<b>Allegato 1 Elaborazioni integrative dati campagne .....</b>	<b>81</b>
<b>I.1 Confronto con gli andamenti registrati dalle stazioni fisse .....</b>	<b>81</b>
<b>I.2 Distribuzione dei livelli di concentrazione – grafici box plot.....</b>	<b>85</b>
<b>I.3 Distribuzione in classi di concentrazione.....</b>	<b>94</b>
<b>I.4 Elaborazione dei dati meteorologici .....</b>	<b>104</b>
<b>Allegato 2 Indici statistici - valutazione su base annuale.....</b>	<b>109</b>
<b>Allegato 3 Elaborazioni dati meteorologici Valdarno .....</b>	<b>131</b>
<b>Bibliografia.....</b>	<b>138</b>

## Sezione 1 - Area urbana di Arezzo

### 1.1. Quadro generale

Per quanto riguarda le emissioni PM10 per unità di superficie l'intera zona del Valdarno aretino e della Valdichiana (fig 1.1), si colloca subito dopo la zona collinare montana, unica zona al di sotto della media regionale; in particolare, il contributo delle 3 aree di Arezzo, Valdichiana e Valdarno aretino, varia di poco intorno alla media di zona dell'indice (fig 1.2).

Figura 1.1 Emissioni PM10 (t/anno per unità di superficie [m<sup>2</sup>])

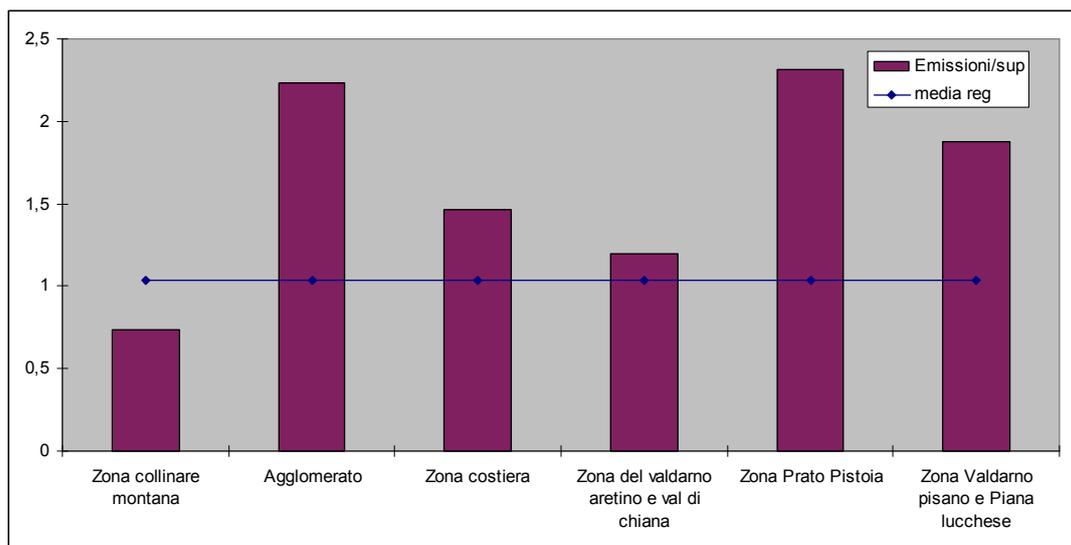
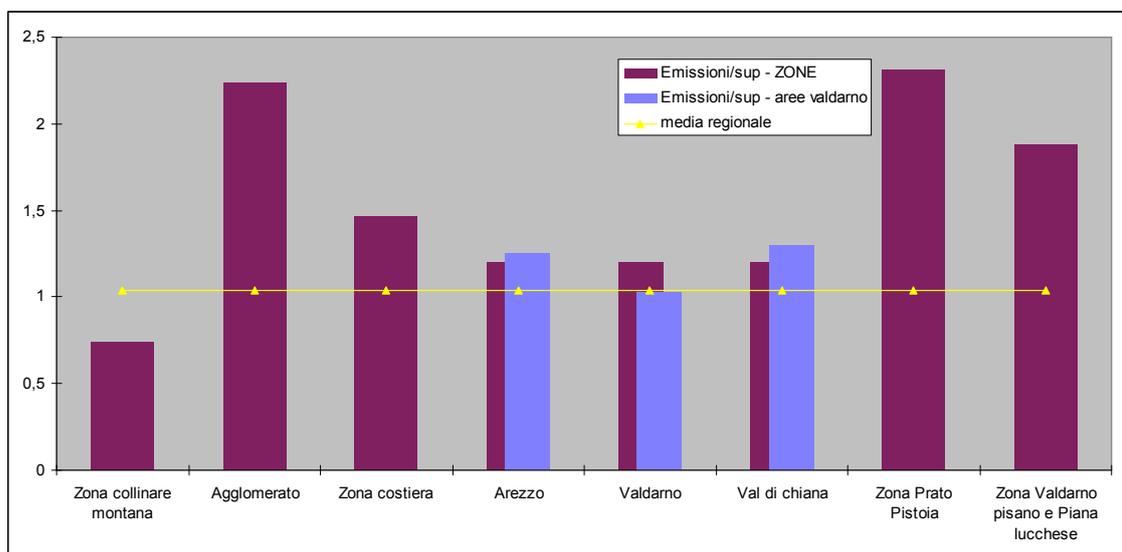
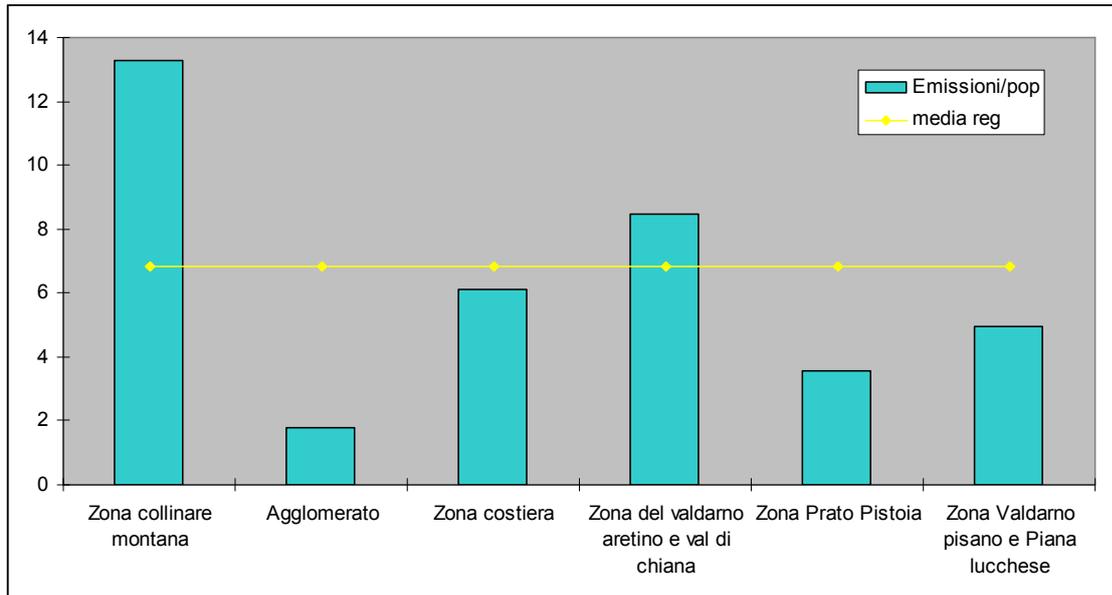


Figura 1.2 Emissioni PM10 (t/anno per unità di superficie [m<sup>2</sup>])



Un risultato speculare si ottiene per l'indice emissioni per unità di popolazione (fig. 1.3).

Figura 1.3 Emissioni PM10 (t/anno per unità di popolazione [abitanti])



Da un esame degli indicatori di superficie e di popolazione la Zona del Valdarno aretino e Val di Chiana, risulta piuttosto simile alla media regionale.

## 1.2. Alcuni dati sul comune di Arezzo

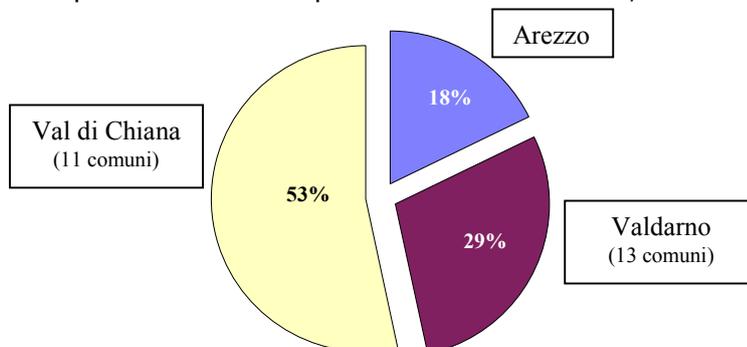
La città di Arezzo è situata su una dorsale alla confluenza delle vallate della Val di Chiana, del Valdarno superiore e del Casentino. Il clima della città di Arezzo e delle zone limitrofe presenta le caratteristiche di continentalità più accentuate di tutta la Toscana, vista la posizione a cavallo tra il Valdarno e la Val di Chiana con la dorsale appenninica nelle relative vicinanze. La popolazione è di circa 100.000 abitanti su una superficie comunale di 386,25 km<sup>2</sup> e urbana di 15,135 km<sup>2</sup>.

La configurazione della rete stradale dell'area urbana di Arezzo risponde alla tradizionale tipologia radiale. Lo standard di accessibilità della città di Arezzo risulta particolarmente ridotto a causa di una rete stradale che presenta un livello di servizio ormai insufficiente, dovuto all'elevata concentrazione dei flussi di gravitazione urbana sulla tangenziale e per l'elevato utilizzo degli assi di penetrazione (SR71 - Via Romana/Via Casentinese, SR69 - Via Fiorentina, SR 73 superstrada dei due Mari, e raccordo con l'autostrada A1). La struttura della mobilità stradale riferita alle autovetture, è caratterizzata da 322.000 spostamenti al giorno, di cui 220.000 (68%) nell'area urbana, 49.000 (15%) in ingresso, 42.000 (13 %) in uscita e 11.000 (3%) esterni all'area urbana. Per quanto attiene i veicoli commerciali, la struttura della mobilità stradale è contraddistinta da 20.000 spostamenti al giorno (di cui la quota traffico relativa al traffico merci è pari al 6,2%), ripartita in 7.200 spostamenti (36%) nell'area urbana, 5.500 (27%) in ingresso, 3.500 (17 %) in uscita e 3.800 (19%) esterni all'area urbana. Le strade a circolazione più elevata, si riferiscono agli assi di penetrazione dell'area urbana (SR71 - Via Romana 38.900 veicoli giorno, Via Casentinese 25.900 veicoli giorno), SR69 - Via Fiorentina 22.300 veicoli/giorno, tangenziale 36.400 veicoli giorno), sia alcune strade interne all'area urbana (Viale Michelangelo 28.700 veicoli giorno, Via Tarlati 14.500 veicoli giorno). Queste informazioni sono state estrapolate dalla presentazione preliminare del Piano Urbano di Mobilità e dai dati trasmessi dall'Ufficio Mobilità e Traffico del Comune di Arezzo.

Le emissioni comunali di PM10 (fonte IRSE2010) sono dovute principalmente al riscaldamento domestico, in una quota del 68%. Contribuiscono in maniera significativa i trasporti stradali (con il 15% delle emissioni comunali) e non sono trascurabili le emissioni da agricoltura (7%) e da processi produttivi (9%).

A livello quantitativo, le emissioni di PM10 primario del solo comune di Arezzo costituiscono il 18% del totale di emissioni dell'intera zona del Valdarno aretino e Val di Chiana.

Figura 1.4 contributi percentuali PM10 primario aree di Arezzo, Valdichiana e Valdarno aretino



Rispetto al totale regionale l'intera zona del Valdarno aretino e Val di Chiana dà un contributo alle emissioni di PM10 primario dell'11%.

### 1.3. Il sito di misura

Figura 1.5 area urbana di Arezzo – stazioni di misurazione Acropoli e P.za Repubblica



Figura 1.6 foto stazione di misurazione stazione Arezzo Acropoli



Figure 1.7, 1.8, 1.9 e 1.10 Viste del territorio circostante la stazione Acropoli

Vista NORD



Vista EST



Vista SUD



Vista OVEST



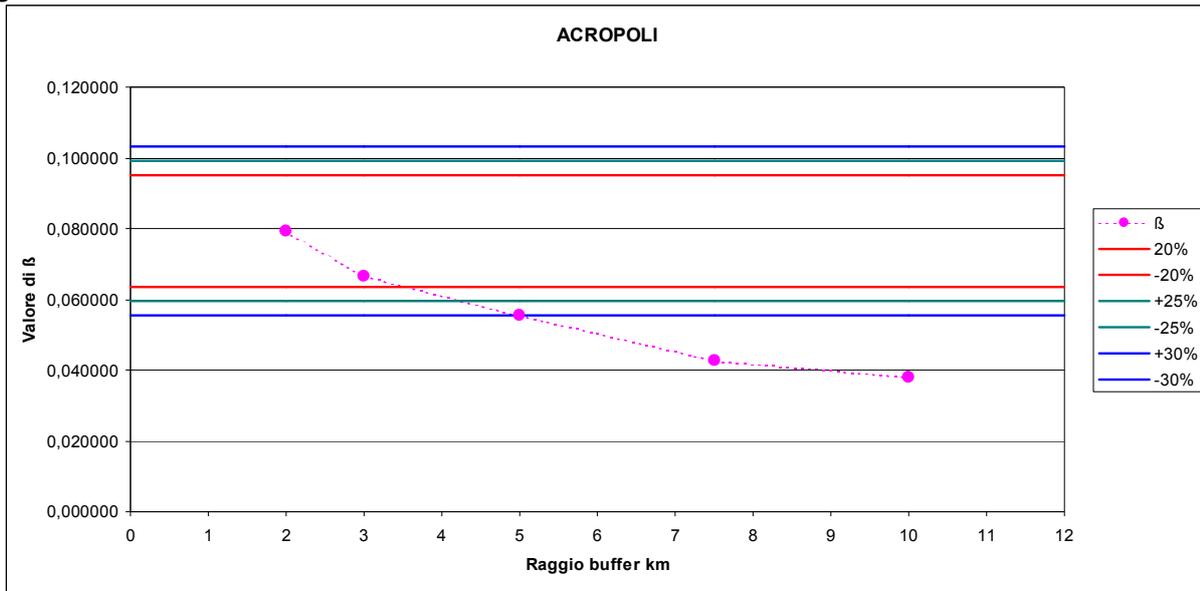
### 1.4. Calcolo indice $\beta$

La rappresentatività delle stazioni di PM10 della rete regionale è stata stimata ad un tavolo di lavoro regionale da ARPAT, attraverso il calcolo dell'indice  $\beta$ , e da LAMMA attraverso un metodo basato sulla catena modellistica regionale [4], [5].

La stazione di Arezzo Acropoli, attraverso il calcolo dell'indice  $\beta$ , risulta rappresentativa in un raggio di 5 km.

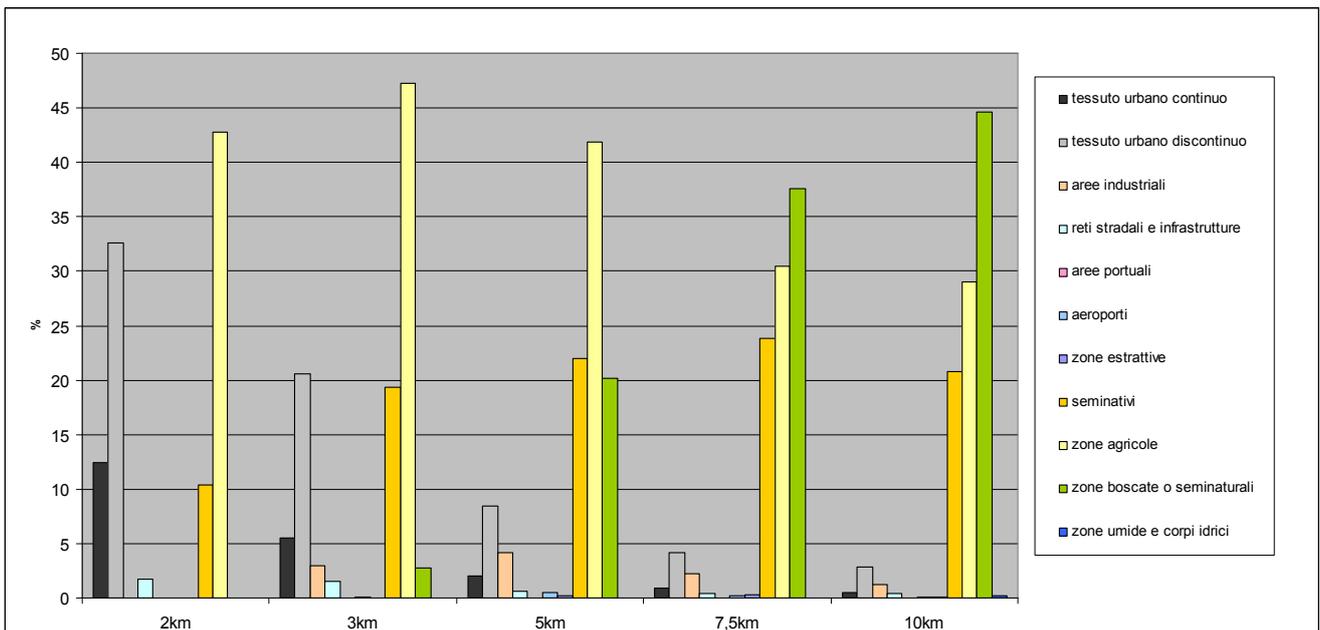
Il valore dell'indice decresce all'aumentare del raggio del buffer mantenendosi entro il 30% del valore iniziale fino a 5 km (fig 1.11).

Figura 1.11 variazione di  $\beta$  all'estendersi del buffer



I contributi dell'area urbana (tessuto continuo e discontinuo) vengono integrati, all'estendersi del buffer, dai seminativi e delle aree industriali e di servizi; l'indice  $\beta$  decresce abbastanza rapidamente, in virtù del minore contributo emissivo di queste aree, fino a che le aree naturali del comune raggiungono una percentuale del 20% (in corrispondenza del buffer di 5 km) portando il valore di  $\beta$  sull'estremo inferiore dell'intervallo di accettabilità.

Figura 1.12 classi di uso del suolo che contribuiscono al valore di  $\beta$  – distribuzione % al variare del buffer



Il buffer è interamente contenuto entro i confini del comune di Arezzo e copre la parte più popolata dell'estesa superficie comunale, in una percentuale pari al 20% del totale. L'area di rappresentatività così stimata è interamente contenuta entro i confini del comune di Arezzo e copre la parte più popolata dell'estesa superficie comunale, di cui costituisce il 20%, comprendendo interamente l'area urbana del capoluogo.

Anche attraverso il metodo sviluppato da LAMMA con la catena modellistica, la stazione di Arezzo Acropoli risulta avere per il PM10 una buona rappresentatività. L'area coperta in questo caso ha un profilo che si estende verso sud con una percentuale del 10% sul comune di Arezzo, del 7% sul comune di Castiglion Fiorentino e dell'1% del comune di Cortona.

### 1.5. Analisi degli indicatori di PM10

Nella stazione di Arezzo Acropoli la misura del PM10 è attiva dall'agosto del 2013 pertanto i relativi indicatori non possono essere utilizzati al fine della verifica di conformità dei limiti normativi.

È tuttavia possibile effettuare alcune considerazioni prendendo in esame il primo anno solare di funzionamento e precisamente la finestra temporale che va dal 09/08/2013 (giorno del primo dato valido) al 08/08/2014.

Come è possibile notare in fig. 1.13 e fig 1.14, l'andamento della stazione molto ben correlato con quello della stazione di traffico di Arezzo Repubblica e si attesta come previsto su valori più bassi.

Figura 1.13 – Andamento temporale PM10 09/08/2013-08/08/2014

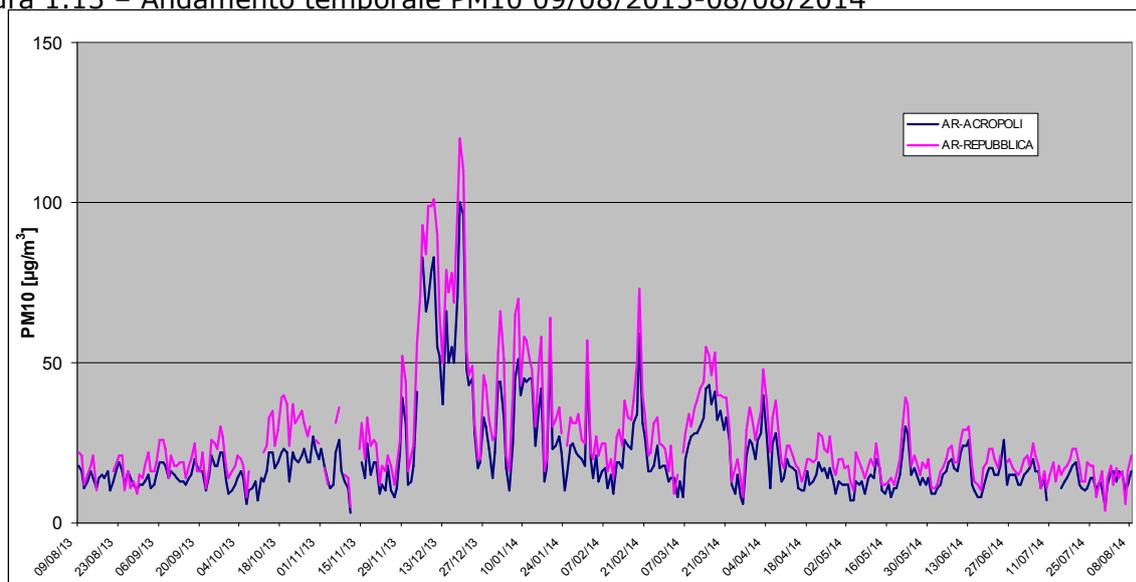
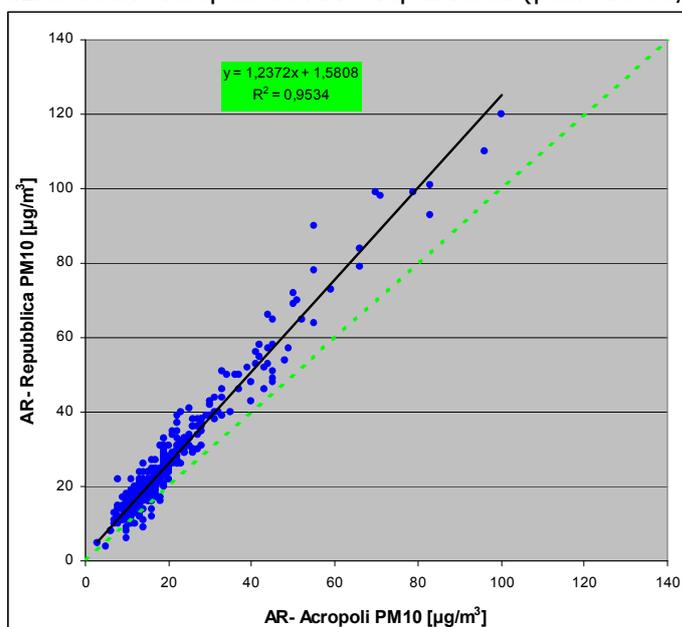
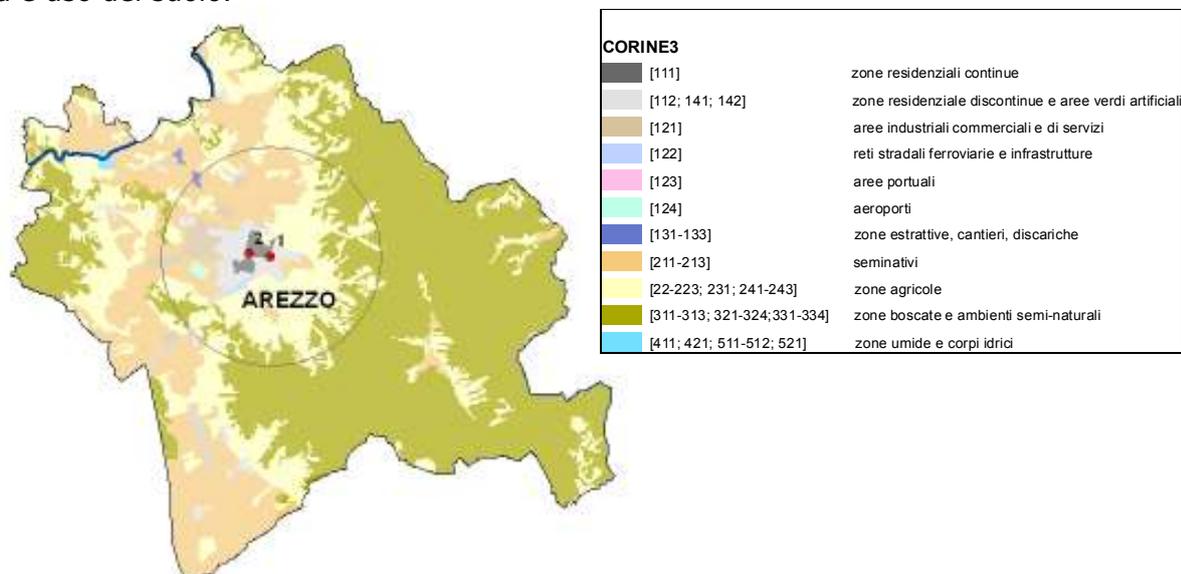


Figura 1.14 – Correlazione AR-Acropoli vs AR- Repubblica (periodo 09/08/2013-08/08/2014)



La corrispondenza tra i dati delle due stazioni è particolarmente buona, con un  $R^2$  superiore a quello generalmente ottenuto su serie annuali di dati di siti diversi, anche nel tipo di classificazione. Le due stazioni distano in linea d'aria 1 km, per cui la stazione di traffico rientra ampiamente nell'area di rappresentatività della stazione di Acropoli (fig1.15).

Figura 1.15 – Comune di Arezzo. Localizzazione delle stazioni di Acropoli e Repubblica. Area di rappresentatività e uso del suolo.



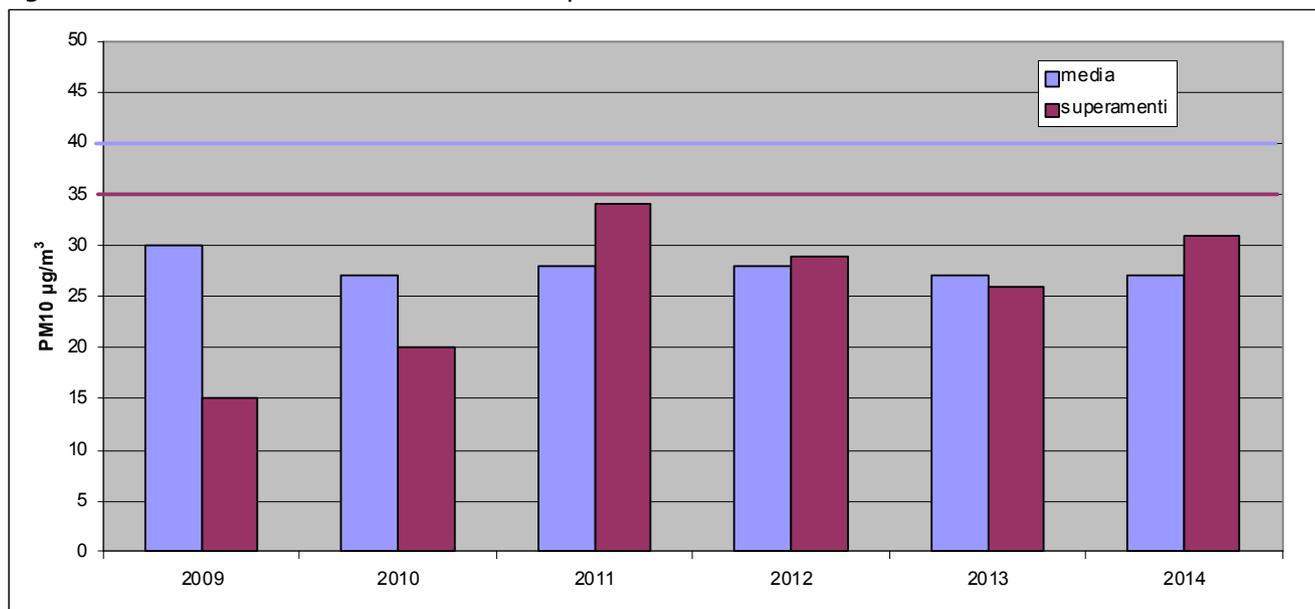
Il calcolo di alcuni parametri statistici per l'intera annualità considerata (a cavallo tra il 2013 ed il 2014) dà i seguenti risultati.

Tabella 1.1 valori di PM10 nell'area urbana di Arezzo

$\mu\text{g}/\text{m}^3$	ACROPOLI 2013-2014	REPUBBLICA 2013-2014	REPUBBLICA 2013	REPUBBLICA 2014	ACROPOLI 2014
media	21	27	27	27	21
Limite Media	40				
massimo	100	120	120	111	100
minimo	3	4	5	4	5
mediana	16	21	21	22	17
superamenti	15	33	26	31	9
superamenti consentiti	35				

La media ed il numero di superamenti di Arezzo Repubblica sono confrontati con i valori degli indicatori di legge calcolati per gli anni 2013 e 2014. Come si può vedere il valore della media è piuttosto stabile; anche il numero di superamenti, pur essendo un indicatore più suscettibile di variazioni, è stato sempre inferiore al valore limite dei 35 episodi annui. Ciò è confermato dal trend (fig. 1.16) della stazione Repubblica negli ultimi sei anni mostrato nella pagina successiva.

Figura 1.16 – Trend indicatori stazione Repubblica anni 2009 - 2014



Per quanto riguarda il fondo dell'area urbana di Arezzo, la media stimata con i primi dati disponibili della stazione di Acropoli, pari a 21 µg/m<sup>3</sup>, trova conferma anche nei risultati di una campagna di misurazione indicativa (145 giorni di misurazione distribuiti nelle quattro stagioni dell'anno) effettuata con autolaboratorio presso la medesima stazione di Acropoli nel periodo di osservazione 2005 e 2006. I risultati della campagna sono di seguito riportati e confrontati con la media, calcolata per lo stesso periodo, nella stazione di P.za Repubblica.

Tabella 1.2 valori di PM10 campagna di misurazione indicativa Acropoli 2005-2006

Periodi di osservazione	Media Acropoli [µg/m <sup>3</sup> ]	Media Repubblica [µg/m <sup>3</sup> ]
01/03/2005 - 31/03/2005	20	30 (media anno 2005 = 31)
02/08/2005 - 31/08/2005		
01/09/2005 - 12/10/2005		
29/11/2005 - 09/01/2006		

In conclusione si può ragionevolmente affermare che l'area urbana di Arezzo si colloca su valori medi di PM10 lontani dai valori limite, pur con picchi di concentrazione anche molto superiori a 50 µg/m<sup>3</sup> come media giornaliera (massimo registrato 120 µg/m<sup>3</sup>), strettamente limitati nel numero e concentrati esclusivamente nel periodo invernale.

I dati misurati nell'anno 2013 dalle due stazioni di misurazione fisse ubicate nell'area urbana di Arezzo mettono in evidenza un contesto che, raffrontato a quello degli anni precedenti è da ritenere in leggero miglioramento. A prescindere che nell'anno 2013 non sono stati registrati superamenti dei valori limite, i parametri più significativi per l'area sono rappresentati dal biossido di azoto e dal materiale particolato PM10, in particolare nelle zone caratterizzate dal maggior flusso di traffico autoveicolare.

Il materiale particolato PM10 presenta una situazione di conformità ai valori limite definiti dal D.Lgs. 155/2010 per entrambi gli indicatori previsti per la protezione della salute umana; l'indicatore riferito alla media annuale è inferiore del 32 % al valore limite (risulta inoltre sostanzialmente stabile dall'anno 2010), mentre, per quanto riguarda l'indicatore della media giornaliera, sono stati registrati 26 casi di superamento del valore limite, a fronte dei 35 per anno ammessi dalla normativa. Se esaminiamo il numero di superamenti registrati negli anni precedenti per questo indicatore, si osserva che nell'anno 2012 erano 29, nell'anno 2011 erano 34 e nell'anno 2010 erano 20. In sintesi, si rileva che negli ultimi tre anni il numero di superamenti del valore limite dell'indicatore della media giornaliera ha registrato un andamento in diminuzione, che comunque resta più elevato (+27 %) rispetto ai superamenti registrati nel triennio 2007-2009.

Per quanto attiene il biossido di azoto la situazione è contraddistinta, da un lato da una piena conformità per la stazioni di fondo urbano di Acropoli (media annuale inferiore del 50 % rispetto al limite e nessun caso di superamento del valore limite stabilito per l'indicatore della media oraria) e dall'altro, da una situazione caratterizzata da un valore annuale poco inferiore al limite per la stazione di traffico urbana di P.za della Repubblica. Tale stazione di misurazione ha registrato un valore medio annuale pari a  $39 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (valore limite =  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) e nessun caso di superamento del valore limite della media oraria (valore massimo orario =  $126 \mu\text{g}/\text{m}^3$  - Valore Limite =  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Una situazione sostanzialmente equivalente è stata rilevata anche nell'anno 2014.

In relazione all'anno 2012, la stazione di traffico di P.za della Repubblica è contraddistinta da un decremento, sia del valore medio annuale (- 13 %), sia del valore massimo orario (-34 %); si evidenzia inoltre che dall'anno 2007 il valore medio annuale misurato da questa stazione di misurazione è stato sempre superiore al valore limite e che solo nell'anno 2013 si è registrata una situazione di conformità, anche se caratterizzata da margini ridotti.

Analogo trend si riscontra per la stazione di fondo urbano di Acropoli giacché i valori di biossido di azoto registrano, in relazione all'anno precedente, la riduzione di entrambi gli indicatori fissati dalla legislazione che disciplina la qualità dell'aria (media annuale = -20 %; valore massimo orario = -31 %).

## Sezione 2 - Valdichiana

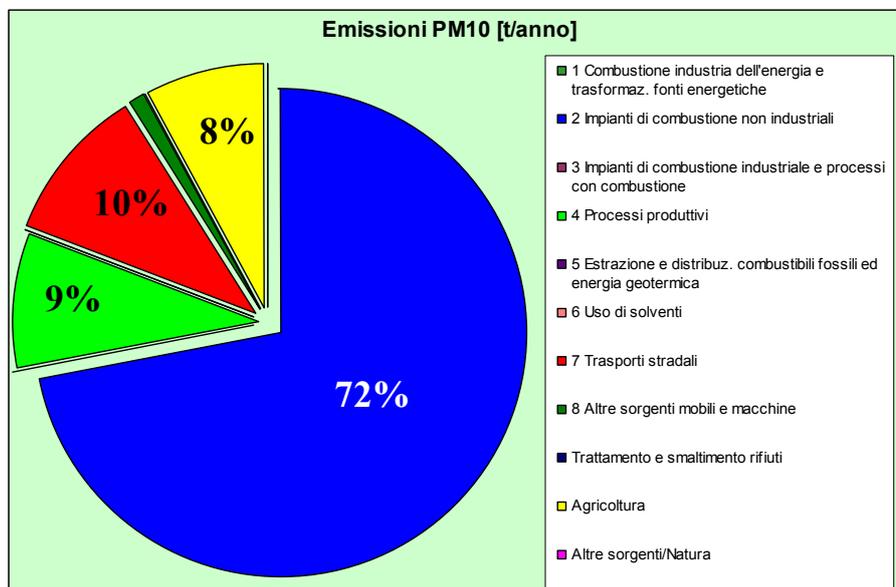
### 2.1. Quadro generale

In questa sezione, riferendosi ai comuni della Valdichiana si intende l'insieme dei comuni della Valle facenti parte della zona VdA, escluso il comune di Arezzo. Quest'ultimo è infatti solo in parte compreso nel territorio della Valdichiana.

Le emissioni nei comuni della Valdichiana sono per la maggior parte dovute al riscaldamento domestico, che da solo, contribuisce per il 72% del PM10 primario totale. Altre sorgenti non trascurabili, sono il traffico, al quale contribuisce anche il tratto di autostradale A1, che attraversa i Comuni di Foiano della Chiana, Marciano della Chiana, Lucignano, Monte San Savino, Civitella in Val di Chiana ed Arezzo, con un peso totale del 10%, e l'agricoltura (8%), a cui è associato il contributo del macrosettore 8 dovuto alla movimentazione di mezzi agricoli (1%).

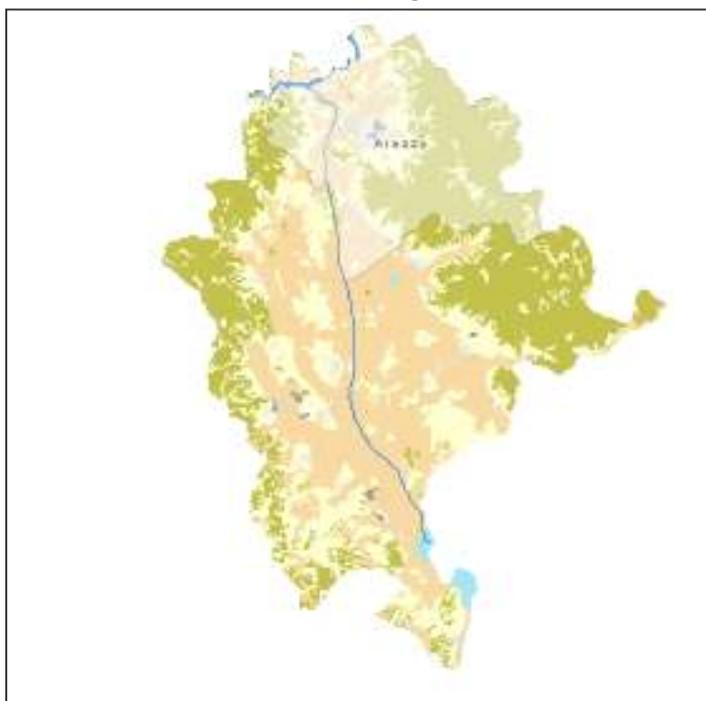
Il restante 9% deriva da un impianto di produzione laterizi ubicato nel comune di Sinalunga.

Figura 2.1 – Emissioni di PM10 per sorgente – totale comuni della Val di Chiana (escluso Arezzo)



L'area si presenta, sia morfologicamente, che come uso del suolo, in continuità con il territorio del comune di Arezzo.

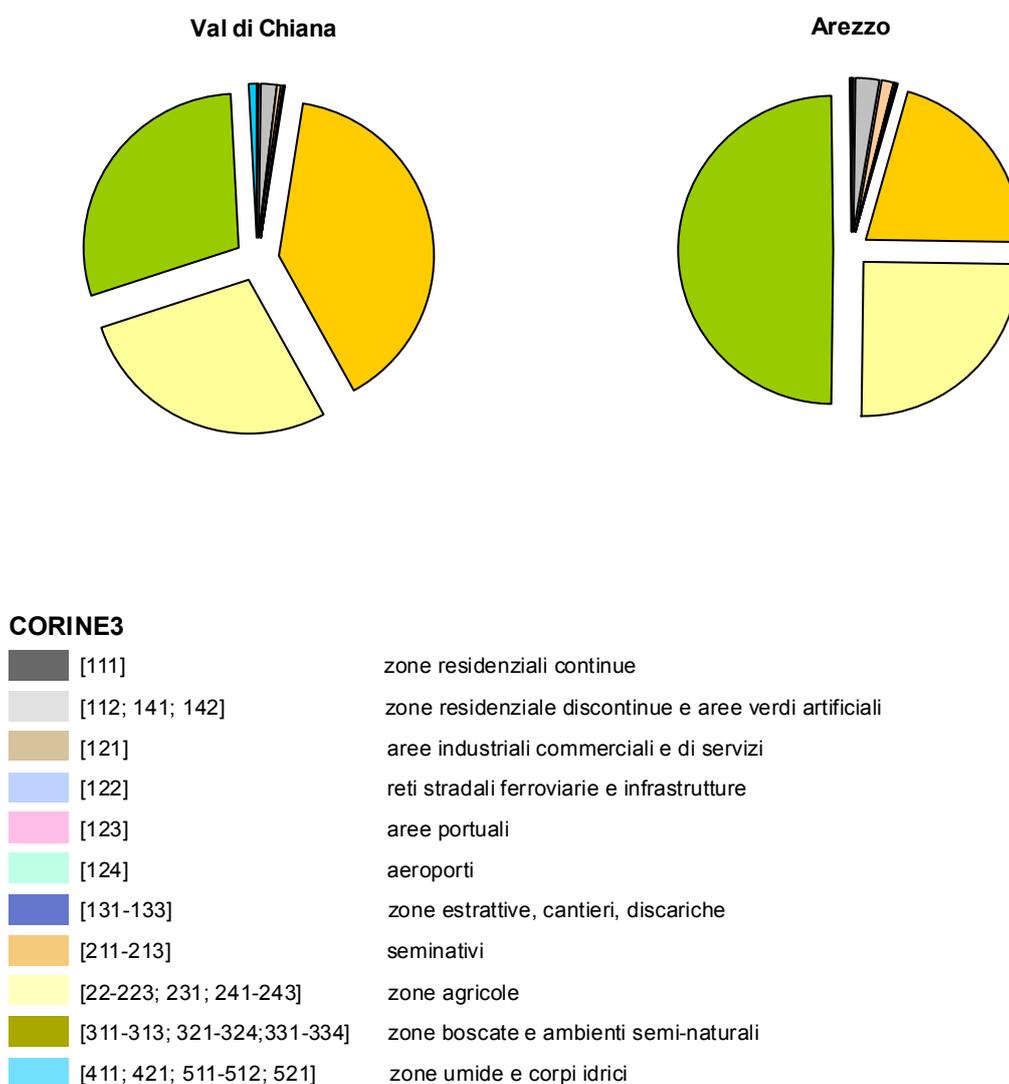
Figura 2.2 Val di Chiana uso del suolo



CORINE3	
[111]	zone residenziali continue
[112; 141; 142]	zone residenziale discontinue e aree verdi artificiali
[121]	aree industriali commerciali e di servizi
[122]	reti stradali ferroviarie e infrastrutture
[123]	aree portuali
[124]	aeroporti
[131-133]	zone estrattive, cantieri, discariche
[211-213]	seminativi
[22-223; 231; 241-243]	zone agricole
[311-313; 321-324; 331-334]	zone boscate e ambienti semi-naturali
[411; 421; 511-512; 521]	zone umide e corpi idrici

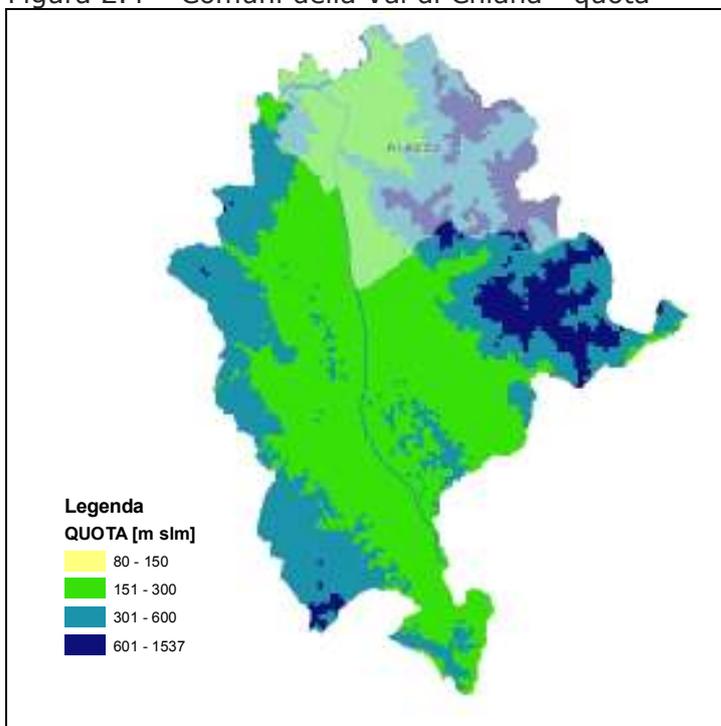
Nei comuni della Valdichiana l'uso del suolo è quasi esclusivamente ripartito in 3 classi: aree naturali (29%), seminativi (40%) e aree agricole (28%). La stessa prevalenza si riscontra nel territorio del comune di Arezzo in cui l'area naturale copre la metà esatta della superficie ed il resto è ripartito quasi equamente tra seminativi (21%) e aree agricole (25%). Il peso percentuale delle aree urbane è solo il 2%, sia nel comune di Arezzo che, complessivamente, nei comuni della Val di Chiana.

Figura 2.3 – ripartizione dell'uso del suolo nei Comuni della Valdichiana e nel Comune di Arezzo



Tutte le aree al di sopra dei 300 m sono aree naturali; il paesaggio nel suo complesso è prevalentemente collinare, con una lunga fascia pianeggiante in prossimità del Canale Maestro della Chiana. L'altitudine media è di circa 405 m s.l.m.

Figura 2.4 – Comuni della Val di Chiana - quota



## 2.2 Selezione dei siti di misura

Come sempre avviene, dovendo effettuare campagne di misurazione per la determinazione della qualità dell'aria, la selezione dei siti di misura è stata effettuata prendendo in considerazione diversi aspetti ed in primo luogo la normativa.

In relazione ai criteri definiti dall'allegato V del D.Lgs. 155/2010 nel quale è indicato il numero minimo di stazioni di misurazione in relazione alla popolazione della zona, sono stati individuati i comuni ubicati nella Valdichiana aretina caratterizzati da maggiore popolazione (ad esclusione del Capoluogo di Provincia Arezzo); in particolare, i Comuni di Cortona e di Castiglion Fiorentino.

Per l'individuazione della tipologia di zona di monitorare, sono stati presi a riferimento gli indirizzi del MATTM relativi alla predisposizione delle reti di monitoraggio della qualità dell'aria, che raccomandano di privilegiare le stazioni di fondo urbano e suburbano poste in aree residenziali (giacché tali siti sono maggiormente rappresentativi dell'esposizione media agli inquinanti della popolazione) e la norma che disciplina la qualità dell'aria (D.Lgs. 155/2010 – All. 3 comma 2 punto 5) la quale specifica che l'esposizione media della popolazione è valutata attraverso le stazioni di misurazione di fondo nei siti urbani. Le due postazioni di misurazione identificate, relative sostanzialmente a zone di fondo urbano, si riferiscono a Via Giuseppe Ghizzi (presso Scuola Primaria Brogi) a Castiglion Fiorentino ed in Via di Murata a Camucia (presso Istituto Comprensivo Berrettini Pancrazi) nel Comune di Cortona.

Le relative campagne di misurazione indicative, sono state realizzate in attuazione del piano di utilizzo dell'autolaboratorio per il periodo 2013-2014 programmato dal CRTQA di ARPAT.

Inoltre, la zona dei Comuni di Cortona e di Castiglion Fiorentino, è stata monitorata in precedenza mediante mezzo mobile, sia mediante campagne di misurazione puntuali, sia mediante campagne di misurazioni indicative come indicato nell'elenco sottostante:

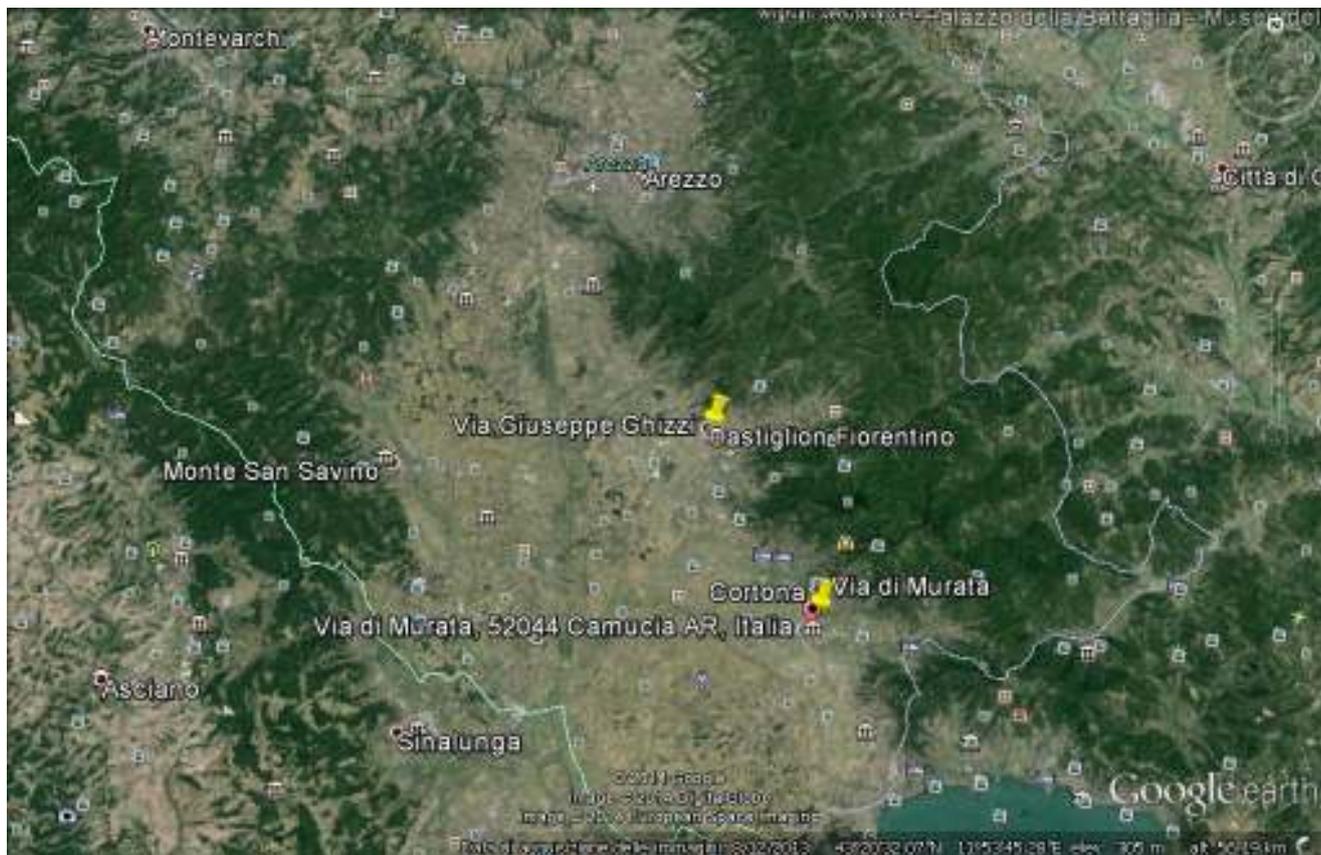
- campagne misurazione puntuali

- Castiglion Fiorentino, Via del Passaggio 24 febbraio - 8 marzo 1999 (polveri totali);
- Castiglion Fiorentino, Via Arno - 9 marzo - 28 aprile 2002 (polveri totali);
- Castiglion Fiorentino, Via Arno - 24 maggio - 02 giugno 2003 (PM10).

- campagne misurazione indicative

- Camucia (P.za Sergardi), Cortona (Largo Beato Angelico), La Fratta (Ospedale Santa Margherita) - 21 aprile 2004 - 24 gennaio 2005 - (PM10);
- Camucia (P.za Sergardi), La Fratta (Ospedale Santa Margherita) - 22 agosto 2007 - 19 maggio 2008 - (PM10);
- Castiglion Fiorentino, Corso Italia - 18 luglio 2007 - 21 aprile 2008 - (PM10).

Figura 2.5 - Mappa delle postazioni di misurazione Castiglion Fiorentino e Camucia Cortona campagna 2013-2014



Per ciascuna delle postazioni identificate è stato calcolato l'indice  $\beta$  e la sua variabilità su buffer crescenti dai 2 ai 10 km per avere una prima approssimazione della rappresentatività dei siti selezionati. I risultati sono riportati nella tabella seguente.

Tabella 2.1 indice  $\beta$  e relativa variabilità su buffer crescenti dai 2 ai 7,5 km - postazioni di Camucia, Castiglion Fiorentino ed Arezzo Acropoli

Camucia	2 km	3 km	5 km
$\beta$	0,053	0,043	0,033
$\Delta\beta$	-	-17%	-38%

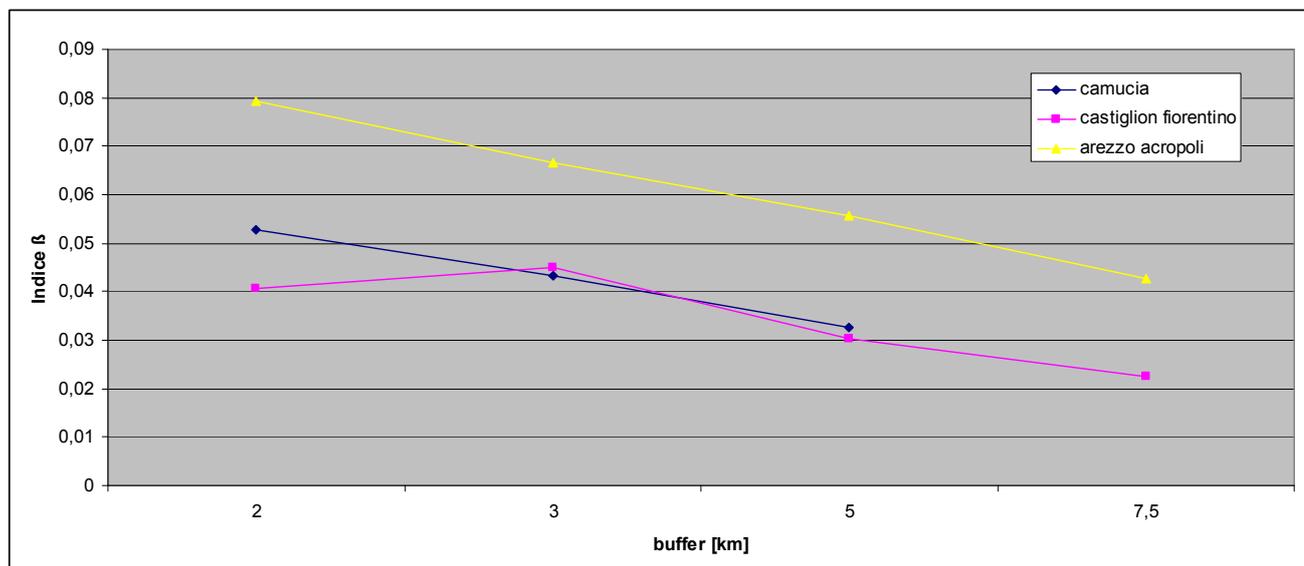
Cartiglion Fiorentino	2 km	3 km	5 km	7,5 km
$\beta$	0,041	0,045	0,030	0,022
$\Delta\beta$	-	11%	-25%	-44%

Arezzo Acropoli	2 km	3 km	5 km	7,5 km
$\beta$	0,079	0,067	0,056	0,043
$\Delta\beta$	-	-16%	-30%	-46%

Per quanto attiene la variabilità su buffer dell'indice  $\beta$  ( $\Delta\beta$ ), si mette in evidenza, che il valore di riferimento del  $\Delta\beta$  per valutare rappresentatività è del 30 %, e pertanto, dati superiori a tale valore, essendo incongrui, non sono mostrati nella tabella 2.1.

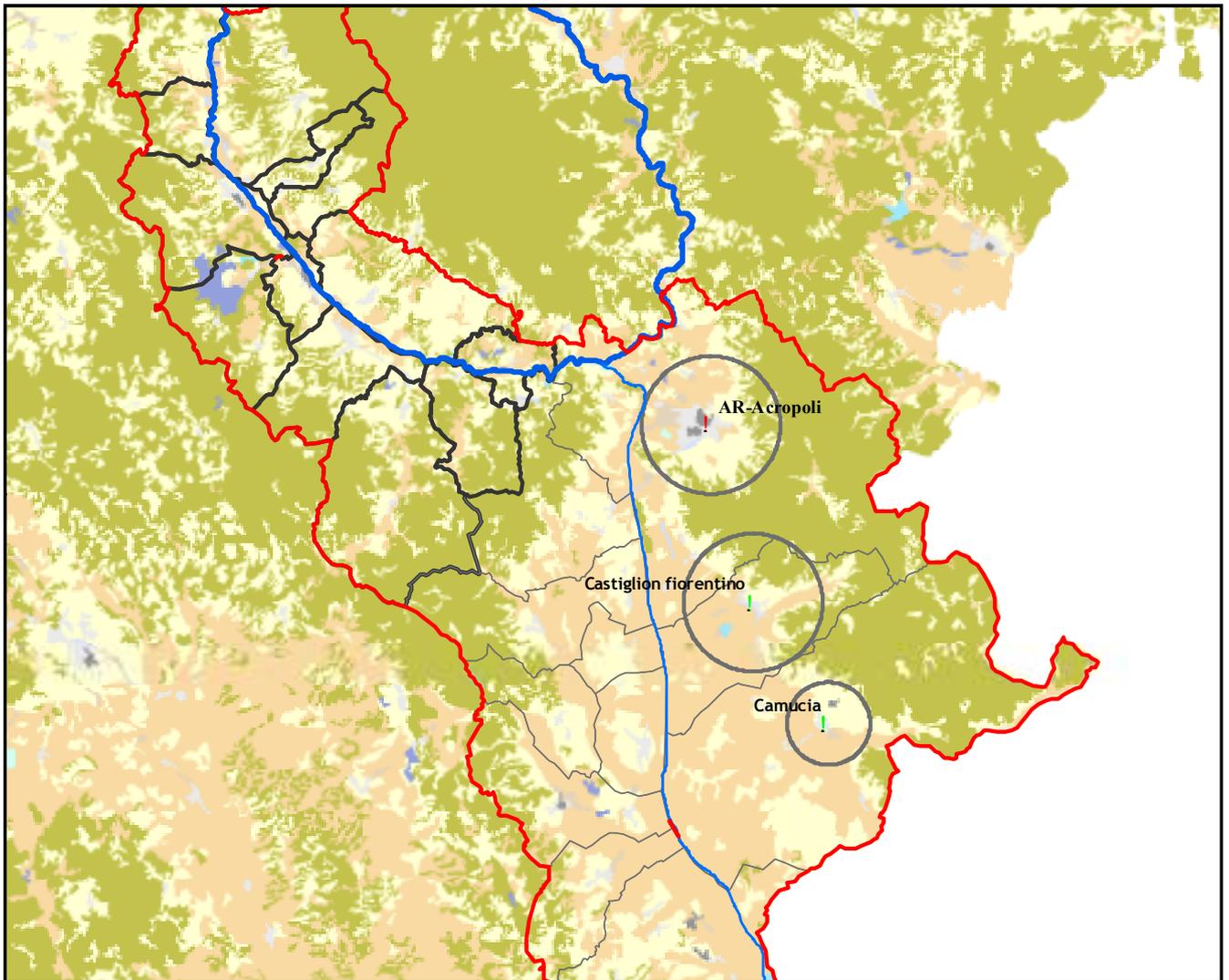
E' interessante notare la somiglianza nel valore dell'indice tra le due postazioni identificate, che è dovuta a due fattori: da una parte, l'uniformità dell'uso del suolo nell'area, e dall'altra, l'utilizzo degli stessi potenziali emissivi per ciascuna classe di uso del suolo, che è diretta conseguenza dell'appartenenza alla stessa zona (VdA). La postazione di Arezzo Acropoli, che è precisamente il sito con il quale si intende confrontarsi, si colloca su valori di  $\beta$  più alti per il maggior peso dell'area urbana.

Figura 2.8 Valore dell'indice  $\beta$  nei diversi siti - variazione al variare del buffer



Le stazioni della Valdichiana risultano pertanto abbastanza rappresentative, in particolare quella di Castiglion Fiorentino la quale possiede un raggio di rappresentatività a 5 km equivalente a quello calcolato per la stazione di Arezzo - Acropoli.

Figura 2.9 Buffer  $\beta$  nei diversi siti



## 2.3 Rapporto sulla campagna di monitoraggio a Castiglion Fiorentino

### Postazione di misurazione

L'autolaboratorio è stato posizionato a Castiglion Fiorentino in Via Giuseppe Ghizzi all'interno del piazzale della scuola Primaria Brogi, in zona urbana caratterizzata dalla presenza di abitazioni civili ed edifici pubblici (plessi scolastici ed impianti sportivi); la viabilità della zona è riferita al solo traffico locale.

Tabella 2.2 informazioni generali postazione di misurazione

Nome Postazione	Via Giuseppe Ghizzi – Castiglion Fiorentino
Coordinate Geografiche (Gauss Boaga)	LONG E 1736717 LAT N 4803089
Quota (metri s.l.m.)	277
Altezza punto di campionamento (mt)	2,5
Tipologia della postazione di misurazione	urbana
Periodo Osservazione	4 settembre 2013 – 3 agosto 2014

### Caratterizzazione del contesto territoriale

Le informazioni riportate nella tabella che segue forniscono una caratterizzazione del contesto territoriale e ne delineano le principali condizioni al contorno.

Tabella 2.3 informazioni generali del contesto territoriale

INFORMAZIONI GENERALI	
Territorio	area residenziale
Popolazione residente nel Comune	13 630
Estensione dell'area (Km <sup>2</sup> )	0,78

Figura 2.10 Caratterizzazione geografica della zona da Google earth



Figura 2.11 ubicazione autolaboratorio



VISTE DEL TERRITORIO CIRCOSTANTE LA POSTAZIONE

Figura 2.12 viste nord, sud, est ed ovest del territorio circostante la postazione

VISTA NORD



VISTA EST



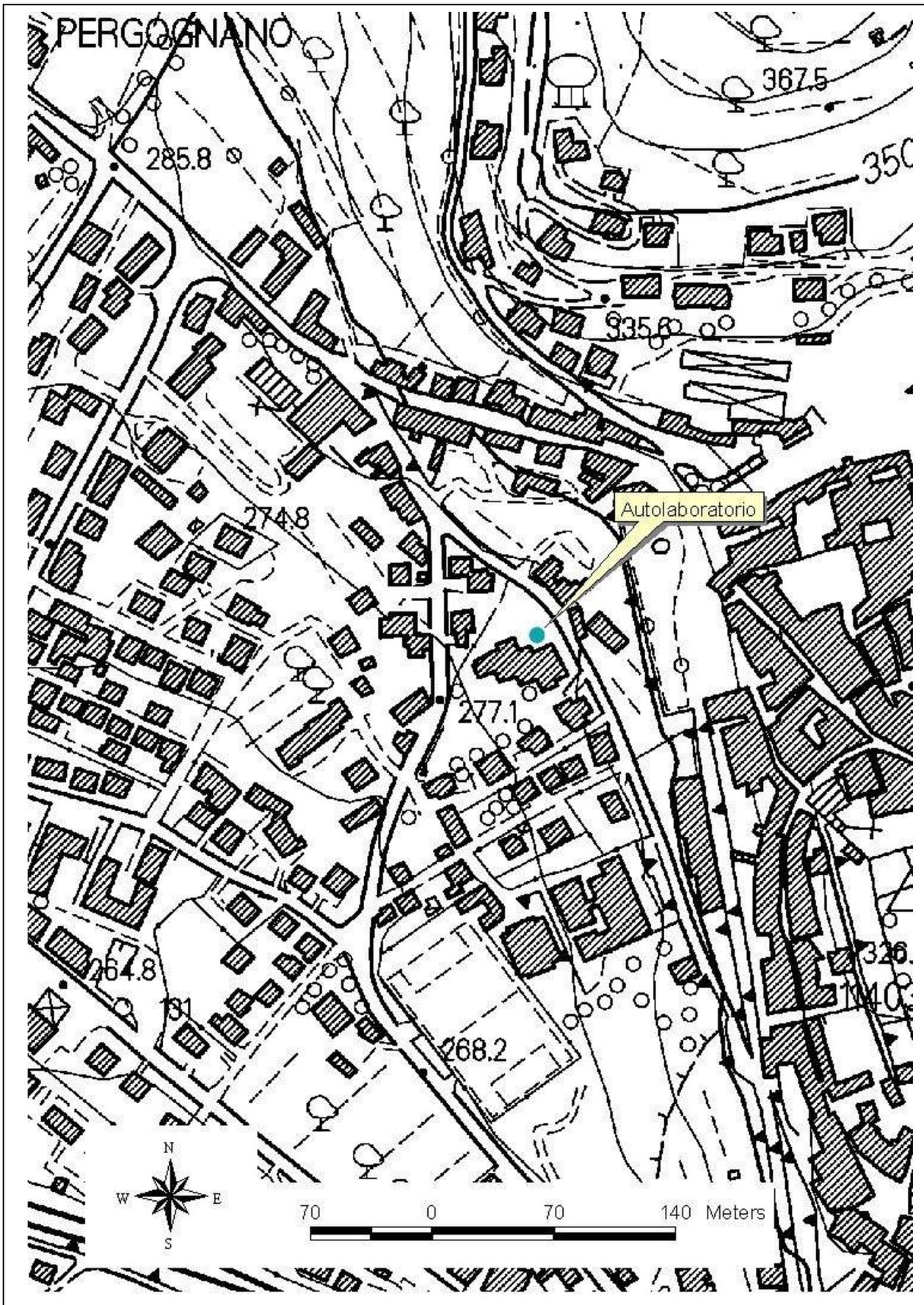
VISTA SUD



VISTA OVEST

**Localizzazione della postazione di misurazione**  
INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Figura 2.13 localizzazione della postazione di misurazione



## Piano di utilizzo Via Giuseppe Ghizzi

Relativamente alla postazione di Castiglion Fiorentino Via Giuseppe Ghizzi, sono stati effettuati complessivamente, 70 giorni di misurazione distribuiti nell'arco di un anno.

La tabella 2.4 mostra i periodi di osservazione stagionali della campagna di misurazione effettuata nella postazione di Via Giuseppe Ghizzi nell'intervallo temporale 4 settembre 2013 – 3 agosto 2014:

Tabella 2.4 piano di utilizzo autolaboratorio postazione Via Giuseppe Ghizzi – Castiglion Fiorentino

<b>Stagione</b>	<b>Periodo</b>	<b>numero giorni</b>
<b>Autunno 2013</b>	<b>4 – 18/09/2013</b>	<b>15</b>
<b>Inverno 2013</b>	<b>3 – 18/12/2013</b>	<b>16</b>
<b>Primavera 2014</b>	<b>5 – 26/3/2014</b>	<b>22</b>
<b>Estate 2014</b>	<b>18/7 – 3/08/2014</b>	<b>17</b>
<b>TOTALE</b>		<b>70</b>

### Raccolta minima dei dati

La tabella 2.5 presenta la raccolta minima dei dati per singolo analizzatore relativa al periodo di osservazione dell'intera campagna di misurazione (70 giorni).

Tabella 2.5 raccolta minima dei dati % al netto delle attività di manutenzione e taratura

<b>Postazione</b>	<b>CO</b>	<b>NO<sub>2</sub></b>	<b>O<sub>3</sub></b>	<b>PM10</b>	<b>SO<sub>2</sub></b>	<b>DV</b>	<b>VV</b>
<b>Via Giuseppe Ghizzi Castiglion Fiorentino</b>	<b>88</b>	<b>94</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>99</b>	<b>55</b>	<b>74</b>
<b>Riferimento</b>	<b>≥ 90</b>						

### **Legenda inquinanti**

CO = monossido di carbonio

NO<sub>2</sub> = biossido di azoto

O<sub>3</sub> = ozono

PM10 = materiale particolato PM10

SO<sub>2</sub> = biossido di zolfo

DV = direzione vento

VV = velocità vento

Considerato che il valore di riferimento della raccolta minima dei dati per singolo analizzatore ( $\geq 90\%$ ) si riferisce alle reti caratterizzate da stazioni di misurazione fisse, i singoli rendimenti forniti dalla strumentazione automatica della presente campagna di monitoraggio sono complessivamente da ritenersi accettabili (rendimento totale medio della campagna  $96\%$ ), tenuto presente che trattasi di un'indagine articolata in singole campagne stagionali nel quale lo spegnimento, lo spostamento ed il riavvio della strumentazione rappresentano elementi di criticità per la componente elettronica della strumentazione.

Nello specifico, la raccolta minima dei dati elaborata per ogni analizzatore risulta, per la prevalenza dei casi, conforme ai criteri stabiliti dal D.Lgs. 155/2010 e smi., ad esclusione del monossido di carbonio il quale presenta un rendimento di poco inferiore a causa di una serie di anomalie strumentali che si sono susseguite durante la campagna di misurazione. Anche per quanto attiene i parametri meteorologici di direzione e velocità del vento la percentuale di validità dei dati è bassa a causa da un guasto non riparabile occorso al relativo sensore; per questo tipo di misure non è comunque richiesta una raccolta minima dei dati superiore od uguale al  $90\%$ .

### Periodo minimo di copertura

In relazione al piano di utilizzo dell'autolaboratorio per il periodo di osservazione 2013 – 2014, il periodo minimo di copertura della postazione di Via Giuseppe Ghizzi è caratterizzato da un valore percentuale del 17 %. Per quanto attiene le misurazioni indicative, l'allegato 1 del D.Lgs. 155/2010 stabilisce periodo minimo di copertura pari al 14 %; il periodo minimo di copertura relativo alla campagna di misurazione di Via Giuseppe Ghizzi risulta pertanto conforme a quanto definito dalla normativa.

### Dati rilevati nella campagna di misurazione

Nella presente valutazione sono riportati gli elaborati grafici relativi a:

- confronto dei risultati con i relativi limiti di legge;
- confronto con i valori rilevati nelle precedenti campagne di misurazione effettuate nel territorio comunale, postazioni Via Del Passaggio (1999), Via Arno (2002), Via Arno (2003), Corso Italia (2007-2008);
- confronto con i valori degli indicatori registrati dalle stazioni fisse di Arezzo Acropoli e P.za Repubblica;
- grafici box-plot;
- distribuzione in classi di concentrazione.

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

Tabella 2.6 valori medi della postazione Via Giuseppe Ghizzi nell'intera campagna 2013- 2014

CO	NO <sub>2</sub>	NOx	PM10	Benzene	SO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>
mg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>					
<b>0,4</b>	<b>19</b>	<b>32</b>	<b>24</b>	<b>1,7</b>	<b>2</b>	<b>52</b>

### Confronto con i valori limite definiti dalla normativa

Periodo di osservazione: dal 4 settembre 2013 al 3 agosto 2014.

Indicatori significativi per la salute umana

Tabella 2.7 indicatori di protezione della salute umana

INDICATORE	Castiglion Fiorentino Via Giuseppe Ghizzi 04/09/2013 – 03/08/2014	LIMITE
NO <sub>2</sub> Max Orario (µg/m <sup>3</sup> )	94	200
NO <sub>2</sub> Media (µg/m <sup>3</sup> )	19	40
CO max media mobile 8 Ore (mg/m <sup>3</sup> )*	2,1	10
O <sub>3</sub> media mobile 8 ore (µg/m <sup>3</sup> )	111	120
O <sub>3</sub> Max 1 Ora (µg/m <sup>3</sup> )	123	180
PM10 90,4° percentile valori medi giornalieri	48	50
PM10 Media (µg/m <sup>3</sup> )	24	40
SO <sub>2</sub> Max Media giornaliera (µg/m <sup>3</sup> )	6	125
SO <sub>2</sub> Max Orario (µg/m <sup>3</sup> )	15	350
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> Media (µg/m <sup>3</sup> )	1,7	5

\* raccolta minima dei dati inferiore a quanto previsto all'allegato I D.Lgs. 155/2010 e smi (previsto: ≥ 90 % - ottenuto: 88 %).

### **Legenda inquinanti**

CO = monossido di carbonio

NO<sub>2</sub> = biossido di azoto

O<sub>3</sub> = ozono

PM10= materiale particolato PM10

SO<sub>2</sub> = biossido di zolfo

C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> = benzene

La tabella 2.7 riassume gli indicatori significativi per la salute umana, le concentrazioni misurate ed i valori limite.

I valori limite si riferiscono al D.Lgs. 155/2010 e smi e sono confrontati visivamente nei grafici di fig 2.14 e fig 2.15

Tabella 2.8 numero di giorni di superamento dell'indicatore della media mobile di 8 ore

Postazione di misurazione	n° giorni superamento media mobile 8 ore
Via Giuseppe Ghizzi – Castiglion Fiorentino	0
superamenti ammessi (media di 3 anni)	25

Indicatori di protezione della vegetazione (NOx)

Tabella 2.9 media annuale ossido di azoto NOx espressi come NO<sub>2</sub>

Postazione di misurazione	Via Giuseppe Ghizzi	LIMITE
NOx media (µg/m <sup>3</sup> )	32	30

Il valore limite relativo agli ossidi di azoto NOx (espressi come NO<sub>2</sub>) si riferisce alla protezione per la vegetazione ed ha valenza solo per le stazioni rurali; la presente postazione di misurazione è riconducibile alla tipologia Urbana – Fondo.

Figura 2.14 istogramma valori degli indicatori di qualità dell'aria ozono, biossido di azoto, ossidi di azoto, materiale particolato PM10, biossido di zolfo e benzene

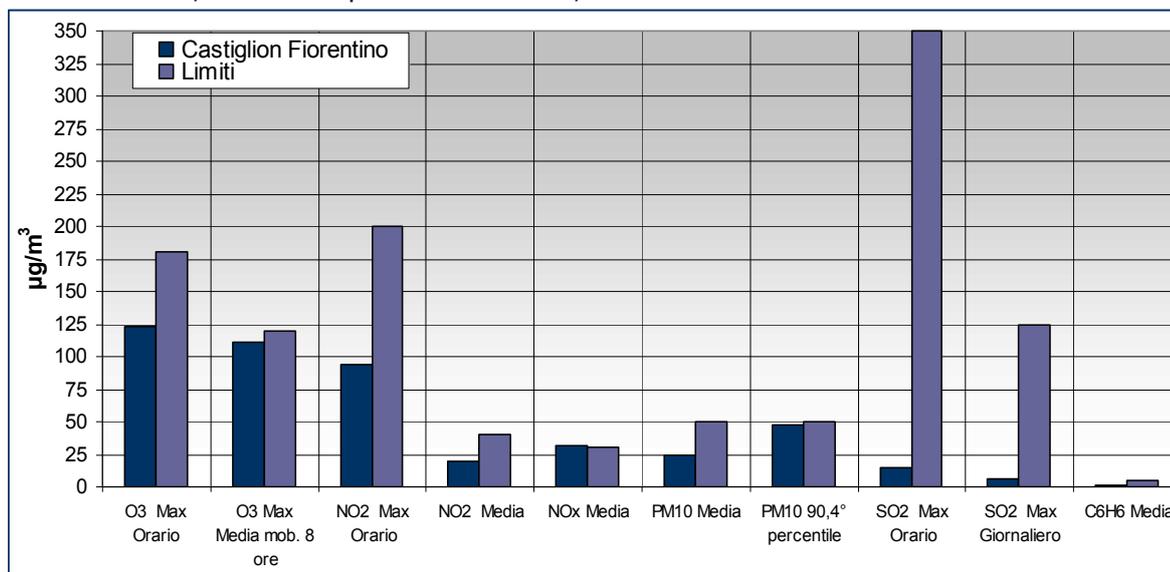
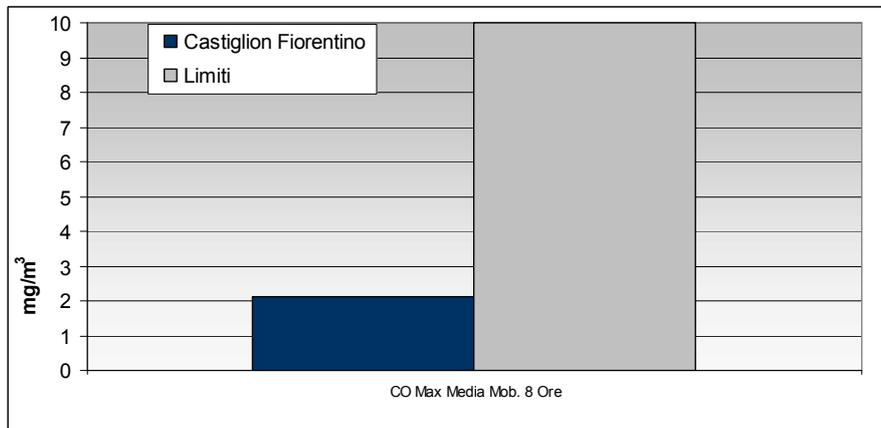


Figura 2.15 istogramma valori degli indicatori di qualità dell'aria monossido di carbonio



Legenda inquinanti

CO = monossido di carbonio      NO<sub>2</sub> = biossido di azoto      NOx = ossidi di azoto totali  
 O<sub>3</sub> = ozono      PM10 = materiale particolato PM10      SO<sub>2</sub> = biossido di zolfo      C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> = benzene

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

Nei grafici che seguono, è riportato in dettaglio il confronto visivo tra gli indicatori di qualità dell'aria relativi, sia alle campagne di misurazione puntuali di Via del Passaggio (1999), Loc. Manciano (stabilimento SADAM - 2001), Via Arno (2002), Via Arno (2003), sia alla campagna di misurazione indicativa di Corso Italia (2007 - 2008) effettuate con mezzo mobile.

Figura 2.16 istogramma valori degli indicatori di qualità dell'aria Via Giuseppe Ghizzi 2013-2014 e campagne Via del Passaggio (1999), Loc. Manciano (stabilimento SADAM - 2001), Via Arno (2002), Via Arno (2003) e Corso Italia (2007-2008) - ozono, biossido di azoto, materiale particolato PM10, e biossido di zolfo

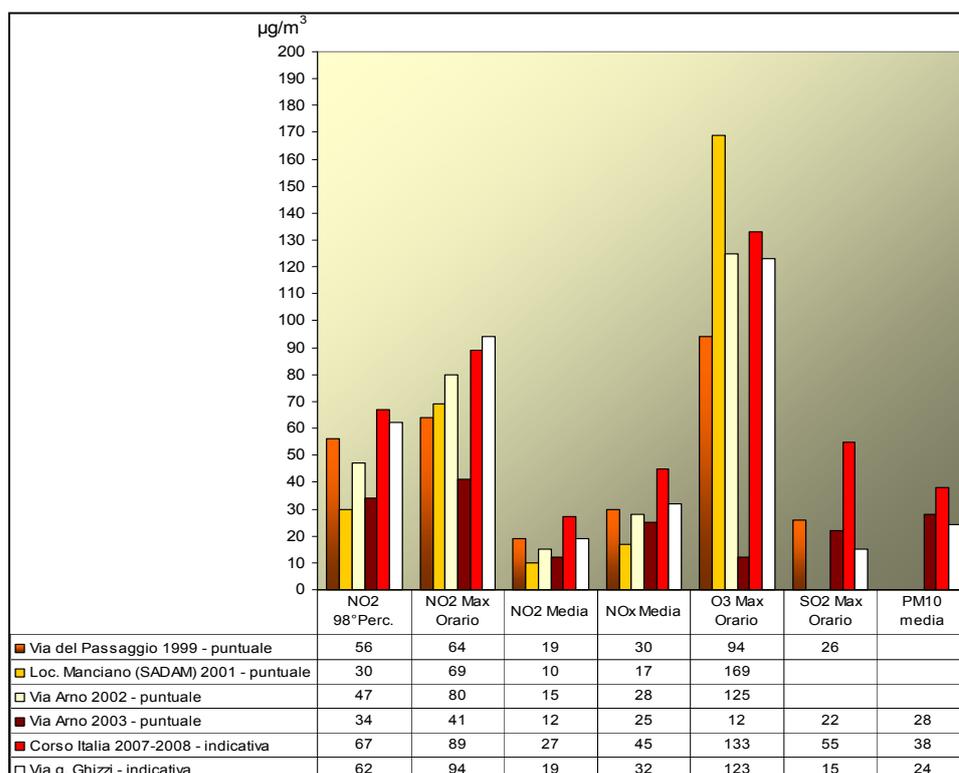
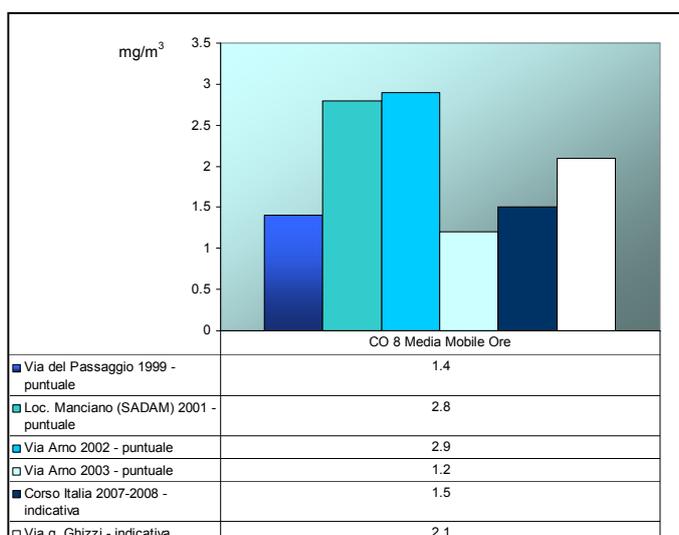


Figura. 2.17 istogramma valori degli indicatori di qualità dell'aria Via Giuseppe Ghizzi 2013-2014 e campagne Via del Passaggio (1999), Loc. Manciano (stabilimento SADAM - 2001), Via Arno (2002), Via Arno (2003) e Corso Italia (2007-2008) - monossido di carbonio



Legenda inquinanti  
 CO = monossido di carbonio      NO<sub>2</sub> = biossido di azoto      NO<sub>x</sub> = ossidi di azoto totali  
 O<sub>3</sub> = ozono      PM10= materiale particolato PM10      SO<sub>2</sub> = biossido di zolfo      C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> = benzene

Confronto con i livelli rilevati dalle stazioni di misurazione di Acropoli e P.za Repubblica

Figura 2.18 istogramma valori degli indicatori di NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM10, O<sub>3</sub> Via Giuseppe Ghizzi – Castiglion Fiorentino, Acropoli e P.za Repubblica

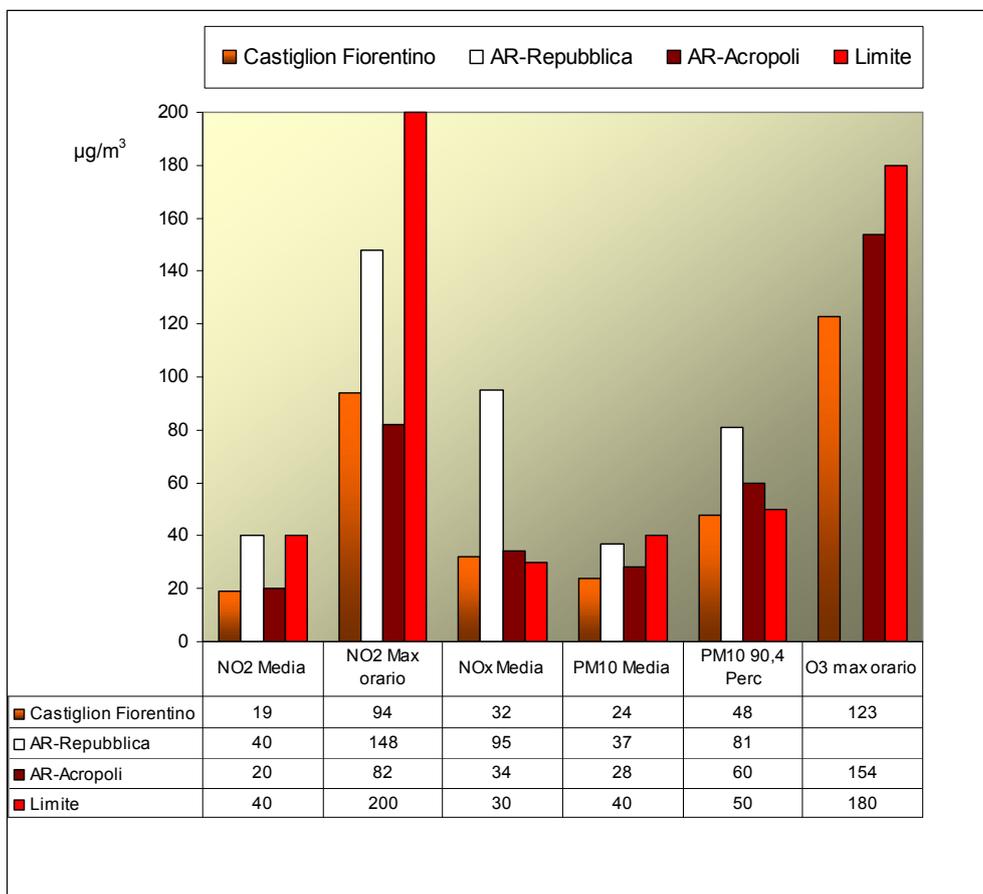
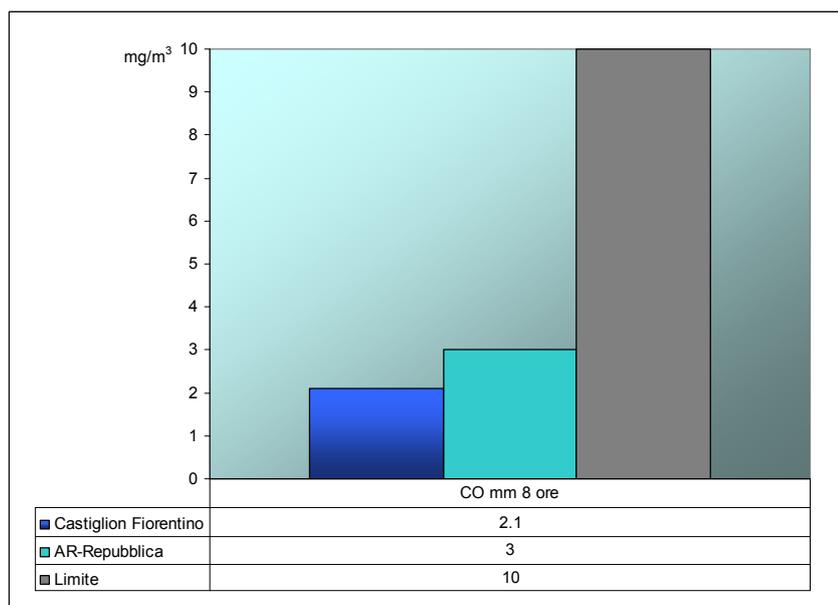


Figura 2.19 istogramma valori degli indicatori di CO Via Giuseppe Ghizzi, Acropoli, P.za Repubblica



Legenda inquinanti

CO = monossido di carbonio      NO<sub>2</sub> = biossido di azoto      NO<sub>x</sub> = ossidi di azoto totali  
 O<sub>3</sub> = ozono      PM10 = materiale particolato PM10      SO<sub>2</sub> = biossido di zolfo      C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> = benzene

## Valutazione dei risultati

Gli indicatori di qualità dell'aria finalizzati alla tutela della salute umana elaborati per la campagna di misurazione della postazione di Castiglion Fiorentino sono conformi ai valori limite previsti dalla normativa vigente.

Si riscontra inoltre che per alcuni inquinanti, quali **monossido di carbonio – CO**, **biossido di zolfo – SO<sub>2</sub>** e **benzene**, l'ordine di grandezza dei livelli di concentrazione si attesta decisamente al di sotto del 50 % dei rispettivi valori limite (Tabella 2.7 indicatori di protezione della salute umana).

Per quanto attiene il materiale particolato **PM10** sono registrati, valori degli indicatori di protezione della salute umana inferiori ai relativi limiti, caratterizzati, da un lato da una situazione di piena conformità per l'indicatore relativo alla media annuale (-40 % rispetto al limite relativo alla media annuale pari a 40 µg/m<sup>3</sup>) e dall'altro, da un valore poco inferiore al limite per l'altro indicatore relativo al 90,4° percentile delle concentrazioni giornaliere (-4 % rispetto al valore limite di 50 µg/m<sup>3</sup>).

Entrambi gli indicatori di **biossido di azoto**, registrano valori inferiori (valore massimo orario - 53 %; media -53 %) ai rispettivi valori limite.

L'indicatore relativo alla media annuale degli **ossidi di azoto – NOx** (espressi come NO<sub>2</sub>) – (Tabella 2.9) è superiore al valore limite; questo indicatore è finalizzato alla **protezione della vegetazione ed ha valenza solo per le stazioni di misurazione suburbane, rurali e rurali di fondo**. Solitamente, al di fuori delle zone rurali, questo indicatore non è mai rispettato. Il superamento non è da considerare tuttavia una difformità al limite poiché quest'ultimo non è applicabile alla tipologia di postazione in oggetto.

A prescindere che la presente campagna di misurazione indicativa è caratterizzata da una copertura temporale limitata pur se rappresentativa, si rileva, per quanto attiene l'**ozono** (Tabella 2.8), che non sono stati registrati casi di superamento, sia del valore bersaglio di protezione della salute umana (indicatore della media mobile di 8 ore massima giornaliera, sia della soglia di informazione (valore orario = 180 µg/m<sup>3</sup>).

In merito alle precedenti campagne di misurazione, sia puntuali (Via del Passaggio, Loc. Manciano, Via Arno), che indicative (Corso Italia) effettuate nel territorio comunale (Grafici di fig. 2.16 e fig. 2.17), si rileva, con particolare riferimento alla postazione di Corso Italia (urbana – traffico), un contesto caratterizzato da valori medi più bassi (biossido di azoto NO<sub>2</sub> – 30 %, ossidi di azoto NOx –29 %, materiale particolato PM10 –37 %); relativamente ai valori massimi sono registrati da un lato, valori sostanzialmente equivalenti per il biossido di azoto, e dall'altro, valori significativamente più bassi per il biossido di zolfo (-73 %).

Si rileva pertanto, che sono valutabili variazioni spaziali a livello comunale in relazione alle principali fonti di emissione, caratterizzate, per quanto attiene gli indicatori relativi alla media, da valori mediamente inferiori del 32 % in zona di fondo urbano (postazione di Via Giuseppe Ghizzi) rispetto a zona di traffico (postazione di Corso Italia).

La prevalenza degli inquinanti presenta la massima distribuzione dei livelli di concentrazione nelle categorie caratterizzate dai valori più bassi, significativamente distanti dal relativo valore limite (Allegato 1, grafici 1.3.1-5). Non seguono questa distribuzione, materiale particolato PM10 ed ozono, poiché l'andamento si presenta più omogeneo, distribuito sostanzialmente attorno al valore medio.

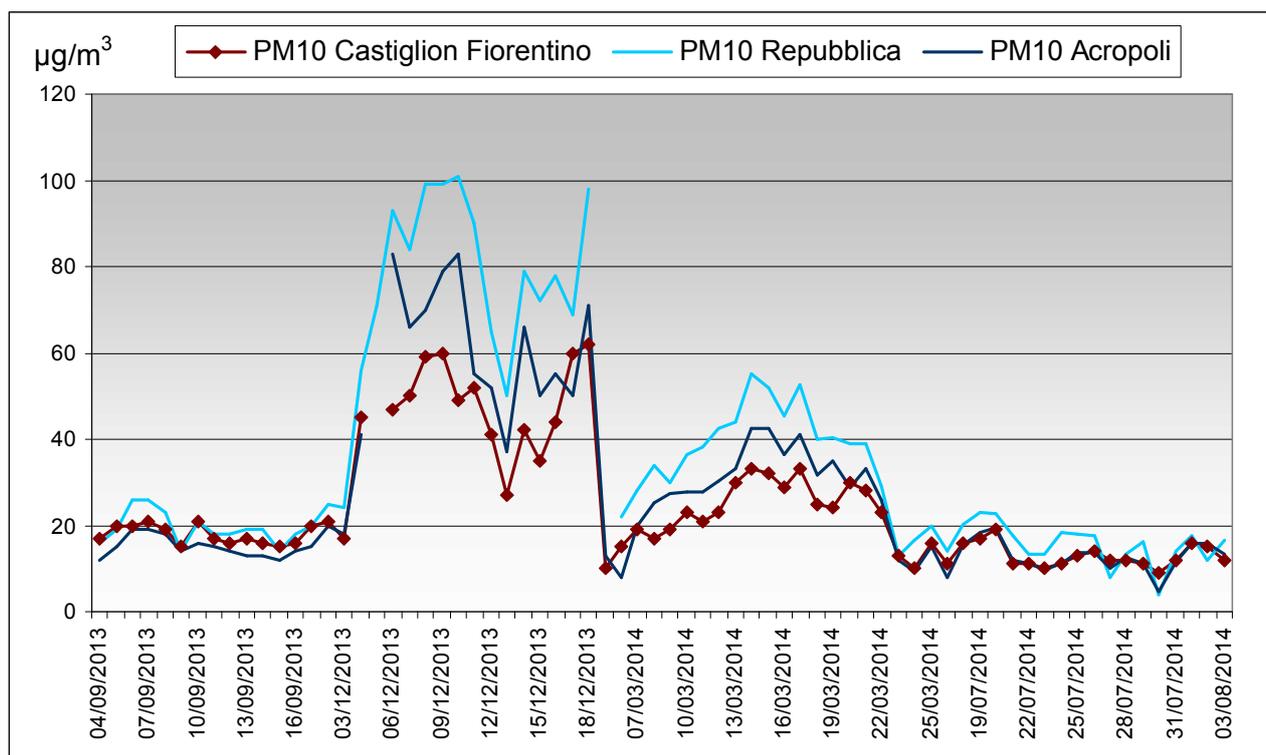
### *Raffronto con i livelli registrati dalle stazioni di misurazione fisse di Acropoli e P.za Repubblica*

Per quanto attiene i valori degli indicatori di qualità dell'aria (grafico 2.18 e 2.19), la postazione di Castiglion Fiorentino, presenta, da una parte valori sempre più bassi della stazione di P.za Repubblica (urbana-traffico) e dall'altra, valori simili o più bassi della stazione di Acropoli (urbana - fondo). In particolare, in relazione alla stazione di misurazione fissa di P.za Repubblica, la postazione di Via Giuseppe Ghizzi presenta valori mediamente più bassi del 44 % per il biossido di azoto (media -52 %; valore massimo orario -36 %) e del 38 % per il

materiale particolato PM10 (media -35 %; 90,4° percentile -41 %); anche gli ossidi di azoto totali NOx sono più bassi del 66 %. Rispetto invece alla stazione di Acropoli, la differenza fra i valori si fa meno evidente: effettivamente, gli indicatori relativi al biossido di azoto ed agli ossidi di azoto, sono sostanzialmente equivalenti, mentre sono leggermente più bassi gli indicatori relativi al materiale particolato PM10 (media -14 %; 90,4° percentile -20 %).

In relazione alle elaborazioni grafiche effettuate con le due stazioni fisse di Arezzo viste sopra, riguardanti il raffronto fra gli andamenti temporali dei valori orari di biossido di azoto (allegato 1 - grafico 1.1.1) e dei valori medi giornalieri di materiale particolato PM10 (allegato 1 - grafico 1.1.2), si rileva che le variazioni temporali dei livelli di concentrazione sono caratterizzate dagli stessi andamenti. Inoltre, relativamente al materiale particolato, si evidenzia che gli andamenti giornalieri di PM10 registrati a Castiglion Fiorentino sono caratterizzati da livelli di concentrazione equivalenti a quelli della stazione di Acropoli nelle stagioni dell'estate e della primavera, mentre nelle stagioni dell'inverno e dell'autunno, sono più bassi; questo, molto probabilmente, perché i contributi delle sorgenti di emissione dell'area di Arezzo sono più significativi. Le elaborazioni grafiche mettono bene in evidenza la presenza di un incremento rilevante dei livelli di concentrazione nel periodo invernale (3-18 dicembre 2013) per tutte e tre le postazioni di misurazione, dovuto a particolari condizioni meteorologiche (inversione termica). Gli andamenti temporali del materiale particolato misurato dalla postazione di misurazione di Castiglion Fiorentino e delle stazioni di misurazione fisse ubicate nell'area urbana di Arezzo è mostrato, oltre che in allegato 1, anche nel grafico sottostante:

Figura 2.20 andamenti temporali materiale particolato PM10 postazione di Castiglion Fiorentino e stazioni di Arezzo Repubblica ed Acropoli.



Le correlazioni dei valori medi giornalieri di materiale particolato PM10 (Allegato 1, grafici 1.1.3 e 1.1.4) con i dati registrati nell'area urbana di Arezzo sono definite da coefficienti di correlazione buoni ( $R^2 = 0,9$ ), in misura lievemente maggiore per la stazione urbana - traffico di P.za Repubblica.

### Andamenti temporali

Gli andamenti dei valori orari e giornalieri (Allegato 1, grafici 1.1.1-2 e grafico 1.2.8 relativo al benzene), relativi alla postazione di misurazione in esame, mettono in rilievo per tutti gli inquinanti, la presenza di livelli di concentrazione più elevati nella stagione dell'inverno (3-18 dicembre 2013) nel quale, il fenomeno meteo dell'inversione termica, si è manifestato per la prevalenza del periodo di osservazione della campagna stagionale. In particolare, la velocità media del vento nella stagione invernale, pari a 0,5 m/sec, è stata inferiore del 58 % rispetto ai valori medi registrati nelle altre stagioni (autunno ed estate).

Sostanzialmente speculari a quanto rilevato sopra le variazioni stagionali dei dati di sintesi mostrati nei grafici box plot, dal quale si rileva la presenza di una significativa asimmetria dovuta ai particolari valori massimi (ad esclusione dell'ozono) registrati nella stagione invernale.

### Distribuzione dei livelli di concentrazione – grafici box-plot

Gli indicatori di sintesi (Allegato 1, tabella 1.2.1 – grafici 1.2.1-2) riportati anche in tabella 2.10 mettono in evidenza, nella prevalenza dei casi, valori medi più elevati della mediana, ad indicare, sotto il profilo statistico, che i valori estremi (o dati fuori linea), hanno un peso significativo sull'andamento normale dei valori medi orari. Si rileva inoltre per gli ossidi di azoto ed il biossido di azoto, che la deviazione standard è superiore al valore medio, ad indicare dal punto di vista statistico, che gli andamenti di questi inquinanti sono caratterizzati da forte variabilità.

*Tabella 2.10 Postazione di Castiglion Fiorentino - dati di sintesi biossido di zolfo, ossidi di azoto, biossido di azoto, monossido di carbonio, ozono, materiale particolato PM10*

	SO <sub>2</sub> µg/m <sup>3</sup>	NO <sub>x</sub> µg/m <sup>3</sup>	NO <sub>2</sub> µg/m <sup>3</sup>	CO mg/m <sup>3</sup>	O <sub>3</sub> µg/m <sup>3</sup>	PM10 µg/m <sup>3</sup>
1 Quartile	0,1	11	8	0,1	24	15
Minimo	0,0	1	0	0,0	0	9
Media	0,4	32	19	0,4	52	24
Mediana	0,3	18	13	0,3	56	19
Massimo	2,7	347	94	2,7	123	62
3 Quartile	0,6	37	26	0,6	73	30
Deviazione standard	0,4	38	41	0,4	30	14

CO = monossido di carbonio      NO<sub>2</sub> = biossido di azoto      O<sub>3</sub> = ozono  
PM10 = materiale particolato PM10      SO<sub>2</sub> = biossido di zolfo      NO<sub>x</sub> = ossidi di azoto totali

I grafici box-plot stagionali (Allegato 1, grafici 1.2.3-7) mettono in rilievo variazioni temporali rilevanti per tutti gli inquinanti, caratterizzati dalla presenza di valori massimi significativi nella stagione dell'inverno (ad esclusione dell'ozono); il PM10 ha registrato inoltre anche valori minimi giornalieri più elevati delle altre stagioni. Questo andamento, si ricollega a quanto valutato in precedenza relativamente agli andamenti temporali, riferito in particolare al fenomeno meteo dell'inversione termica. In generale, si rileva una diffusa asimmetria stagionale relativa alla distribuzione dei livelli di concentrazione, ad esclusione di alcuni casi, come ad esempio, per il biossido di azoto (inverno) e per il monossido di carbonio (estate).

## 2.4 Rapporto sulla campagna di monitoraggio a Camucia-Comune di Cortona

### Postazione di misurazione

L'autolaboratorio è stato posizionato a Camucia in Via di Murata, all'interno del piazzale dell'Istituto Comprensivo Berrettini Pancrazi, in zona urbana caratterizzata dalla presenza di abitazioni civili ed edifici pubblici (plessi scolastici, impianti sportivi); la viabilità della zona è riferita al solo traffico locale.

Tabella 2.11 informazioni generali postazione di misurazione

Nome Postazione	Via di Murata – Camucia Comune di Cortona
Coordinate Geografiche (Gauss Boaga)	LONG E 1742142 LAT N 4794294
Quota (metri s.l.m.)	269
Altezza punto di campionamento (mt)	2,5
Tipologia della postazione di misurazione	urbana
Periodo Osservazione	16 luglio 2013 – 15 aprile 2014

### Caratterizzazione del contesto territoriale

Le informazioni riportate nella tabella che segue forniscono una caratterizzazione del contesto territoriale e ne delineano le principali condizioni al contorno.

Tabella 2.12 informazioni generali del contesto territoriale

INFORMAZIONI GENERALI	
Territorio	area residenziale
Popolazione residente nel Comune	24 646
Estensione dell'area (Km <sup>2</sup> )	1,0

Figura 2.21 – caratterizzazione geografica della zona da Google earth



## VISTE DEL TERRITORIO CIRCOSTANTE LA POSTAZIONE

Figura 2.22 viste nord, sud, est ed ovest del territorio circostante la postazione

VISTA NORD



VISTA EST



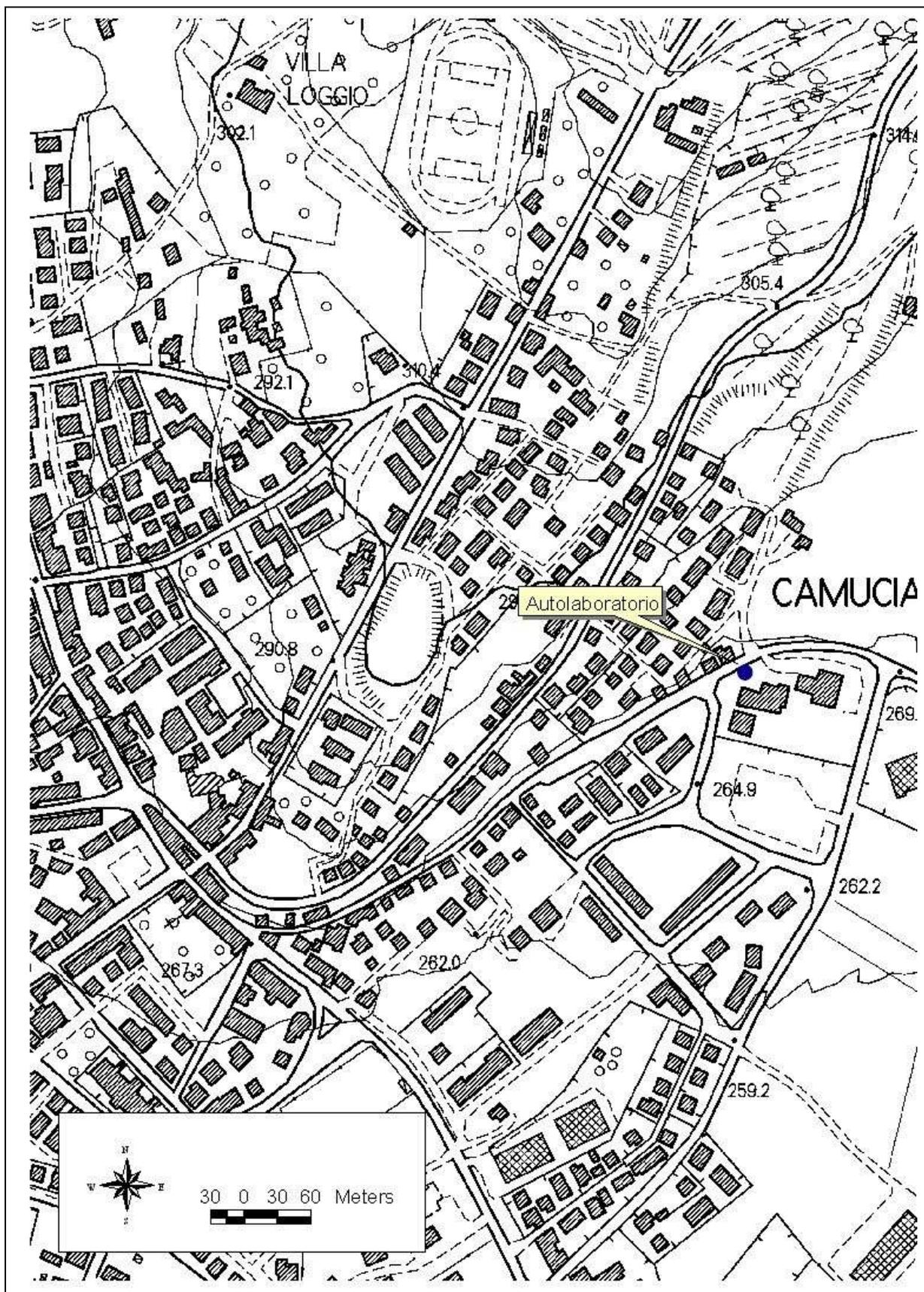
VISTA SUD



VISTA OVEST

**Localizzazione della postazione di misurazione**  
INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Figura 2.23 localizzazione della postazione di misurazione



## Piano di utilizzo Via di Murata - Camucia

Relativamente alla postazione di Camucia Via di Murata, sono stati effettuati complessivamente 79 giorni di misurazione distribuiti nell'arco di un anno.

La tabella 2.13 mostra i periodi di osservazione stagionali della campagna di misurazione effettuata nella postazione di Via di Murata nell'intervallo temporale 16 luglio 2013 - 15 aprile 2014:

Tabella 2.13 piano di utilizzo autolaboratorio postazione Via di Murata - Camucia Comune di Cortona

<b>Stagione</b>	<b>Periodo</b>	<b>numero giorni</b>
<b>Estate 2013</b>	<b>16- 30/07/2013</b>	<b>15</b>
<b>Autunno 2013</b>	<b>20/9 - 14/10/2013</b>	<b>25</b>
<b>Inverno 2013-2014</b>	<b>20/12/2013 - 8/1/2014</b>	<b>20</b>
<b>Primavera 2014</b>	<b>28/3 - 15/4/2014</b>	<b>19</b>
<b>TOTALE</b>		<b>79</b>

## Raccolta minima dei dati

La tabella 2.14 presenta la raccolta minima dei dati per singolo analizzatore relativa al periodo di osservazione dell'intera campagna di misurazione (79 giorni).

Tabella 2.14 raccolta minima dei dati % al netto delle attività di manutenzione e taratura

<b>Postazione</b>	<b>CO</b>	<b>NO<sub>2</sub></b>	<b>O<sub>3</sub></b>	<b>PM10</b>	<b>SO<sub>2</sub></b>	<b>DV</b>	<b>VV</b>
<b>Via di Murata Camucia - Cortona</b>	<b>90</b>	<b>90</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>98</b>	<b>54</b>	<b>64</b>
<b>Riferimento</b>	<b>≥ 90</b>						

### Legenda inquinanti

CO = monossido di carbonio

NO<sub>2</sub> = biossido di azoto

O<sub>3</sub> = ozono

PM10= materiale particolato PM10

SO<sub>2</sub> = biossido di zolfo

DV = direzione vento

VV = velocità vento

Considerato che il valore di riferimento della raccolta minima dei dati per singolo analizzatore ( $\geq 90\%$ ) si riferisce alle reti caratterizzate da stazioni di misurazione fisse, i singoli rendimenti forniti dalla strumentazione automatica relativa alla presente campagna di monitoraggio, sono complessivamente da ritenersi accettabili (rendimento totale medio della campagna 96 %) tenuto presente che trattasi di un'indagine articolata in singole campagne stagionali nel quale lo spegnimento, lo spostamento ed il riavvio della strumentazione rappresentano elementi di criticità per la componente elettronica della strumentazione.

La raccolta minima dei dati elaborata per ogni analizzatore risulta, per la prevalenza dei casi, conforme ai criteri stabiliti dal D.Lgs. 155/2010 e smi.

Per quanto attiene i sensori meteorologici si ravvisa invece una percentuale di validità dei dati meno buona, anche tenendo in considerazione che non è previsto un rendimento di almeno il 90 %.

### Periodo minimo di copertura

In relazione al piano di utilizzo dell'autolaboratorio per il periodo di osservazione 2013 – 2014, il periodo minimo di copertura della postazione di Via di Murata è caratterizzata da un valore percentuale del 22 %. Per quanto attiene le misurazioni indicative, l'allegato 1 del D.Lgs. 155/2010 determina un periodo minimo di copertura del 14 %; il periodo di copertura della campagna di misurazione di Via di Murata risulta pertanto conforme a quanto definito dalla normativa.

### Dati rilevati nella campagna di misurazione

Nella presente relazione sono riportati gli elaborati grafici relativi a:

- confronto dei risultati con i relativi limiti di legge;
- confronto con i valori rilevati nelle precedenti campagne di misurazione indicative effettuate nel territorio comunale, postazioni di La Fratta (Ospedale Santa Margherita) monitorata, sia nel biennio 2004-2005, sia nel biennio 2007-2008, di Camucia (P.za Sergardi) monitorata, sia nel biennio 2004-2005, sia nel biennio 2007-2008 e di Cortona (Largo Beato Angelico) monitorata nel biennio 2004-2005;
- confronto con i valori degli indicatori registrati dalle stazioni fisse di Arezzo Acropoli e P.za Repubblica;
- andamenti temporali degli inquinanti monitorati;
- grafici box-plot (allegato 1 – capitolo 1.2, grafici 1.2.9-15);
- distribuzione in classi di concentrazione (allegato 1 – capitolo 1.3, grafici 1.3.6-10).

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

Tabella 2.15 valori medi della postazione Via di Murata – Camucia intera campagna 2013/14

<b>CO</b> mg/m <sup>3</sup>	<b>NO<sub>2</sub></b> µg/m <sup>3</sup>	<b>NOx</b> µg/m <sup>3</sup>	<b>PM10</b> µg/m <sup>3</sup>	<b>Benzene</b> µg/m <sup>3</sup>	<b>SO<sub>2</sub></b> µg/m <sup>3</sup>	<b>O<sub>3</sub></b> µg/m <sup>3</sup>
<b>0,5</b>	<b>15</b>	<b>22</b>	<b>22</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>50</b>

#### *Legenda inquinanti*

CO = monossido di carbonio

NO<sub>2</sub> = biossido di azoto

O<sub>3</sub> = ozono

PM10= materiale particolato PM10

SO<sub>2</sub> = biossido di zolfo

Confronto con i valori limite definiti dalla normativa

Periodo di osservazione: dal 16 luglio 2013 al 15 aprile 2014.

Indicatori significativi per la salute umana

Tabella 2.16 indicatori di protezione della salute umana

INDICATORE	Camucia - Cortona Via di Murata 16/07/2013 – 15/04/2014	LIMITE
NO <sub>2</sub> Max Orario (µg/m <sup>3</sup> )	74	200
NO <sub>2</sub> Media (µg/m <sup>3</sup> )	15	40
CO max media mobile 8 Ore (mg/m <sup>3</sup> )	2,1	10
O <sub>3</sub> media mobile 8 ore (µg/m <sup>3</sup> )	109	120
O <sub>3</sub> Max 1 Ora (µg/m <sup>3</sup> )	122	180
PM10 90,4° percentile valori medi giornalieri	31	50
PM10 Media (µg/m <sup>3</sup> )	22	40
SO <sub>2</sub> Max Media giornaliera (µg/m <sup>3</sup> )	9	125
SO <sub>2</sub> Max Orario (µg/m <sup>3</sup> )	16	350
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> Media (µg/m <sup>3</sup> )	1	5

Legenda inquinanti		
CO = monossido di carbonio	NO <sub>2</sub> = biossido di azoto	O <sub>3</sub> = ozono
PM10 = materiale particolato PM10	SO <sub>2</sub> = biossido di zolfo	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> = benzene

La tabella 2.16 riassume gli indicatori significativi per la salute umana, le concentrazioni misurate ed i valori limite.

I valori limite si riferiscono al D.Lgs. 155/2010 e smi e sono confrontati visivamente nei Grafici di fig 2.24 e fig 2.25

Tabella 2.17 numero di giorni di superamento dell'indicatore della media mobile di 8 ore

Postazione di misurazione	n° giorni superamento media mobile 8 ore
Via di Murata – Camucia Cortona	0
superamenti ammessi (media di 3 anni)	25

Indicatori di protezione della vegetazione (NOx)

Tabella 2.18 media annuale ossido di azoto NOx espressi come NO<sub>2</sub>

Postazione di misurazione	Via di Murata	LIMITE
NOx media (µg/m <sup>3</sup> )	22	30

Il valore limite relativo agli ossidi di azoto NOx (espressi come NO<sub>2</sub>) si riferisce alla protezione per la vegetazione ed ha valenza solo per le stazioni rurali.

Figura 2.24 istogramma valori degli indicatori di qualità dell'aria ozono, biossido di azoto, ossidi di azoto, materiale particolato PM10, biossido di zolfo e benzene

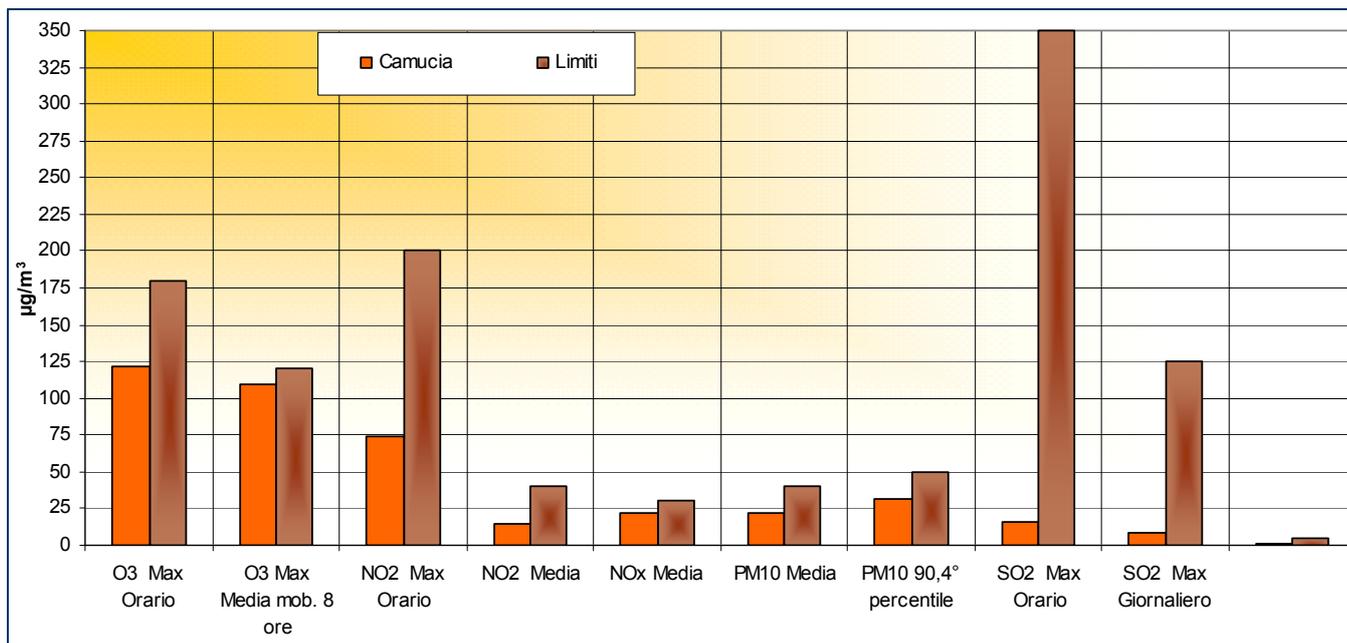
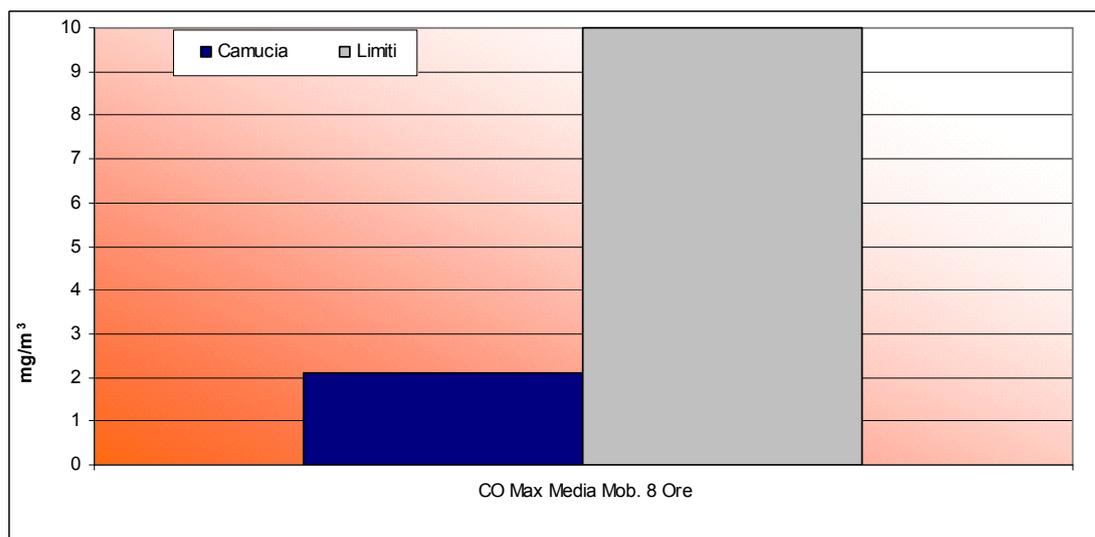


Figura 2.25 istogramma valori degli indicatori di qualità dell'aria monossido di carbonio



Legenda inquinanti  
 CO = monossido di carbonio      NO<sub>2</sub> = biossido di azoto      O<sub>3</sub> = ozono  
 PM10= materiale particolato PM10      SO<sub>2</sub> = biossido di zolfo      NOx = ossidi di azoto totali

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

Nei grafici che seguono, è riportato in dettaglio il confronto visivo tra gli indicatori di qualità dell'aria relativi alle campagne di misurazione indicative effettuate con mezzo mobile riguardanti le postazioni di La Fratta (Ospedale Santa Margherita) monitorata, sia nel biennio 2004-2005, sia nel biennio 2007-2008, di Camucia (P.za Sergardi) monitorata, sia nel biennio 2004-2005, sia nel biennio 2007-2008 e di Cortona (Largo Beato Angelico) monitorata nel biennio 2004-2005.

Figura 2.26 istogramma valori degli indicatori di qualità dell'aria Via di Murata 2013-2014 e campagne La Fratta (2004-2005 e 2007-2008), Camucia P.za Sergardi (2004-2005 e 2007-2008), Cortona - Largo Beato Angelico (2004-2005) - monossido di carbonio

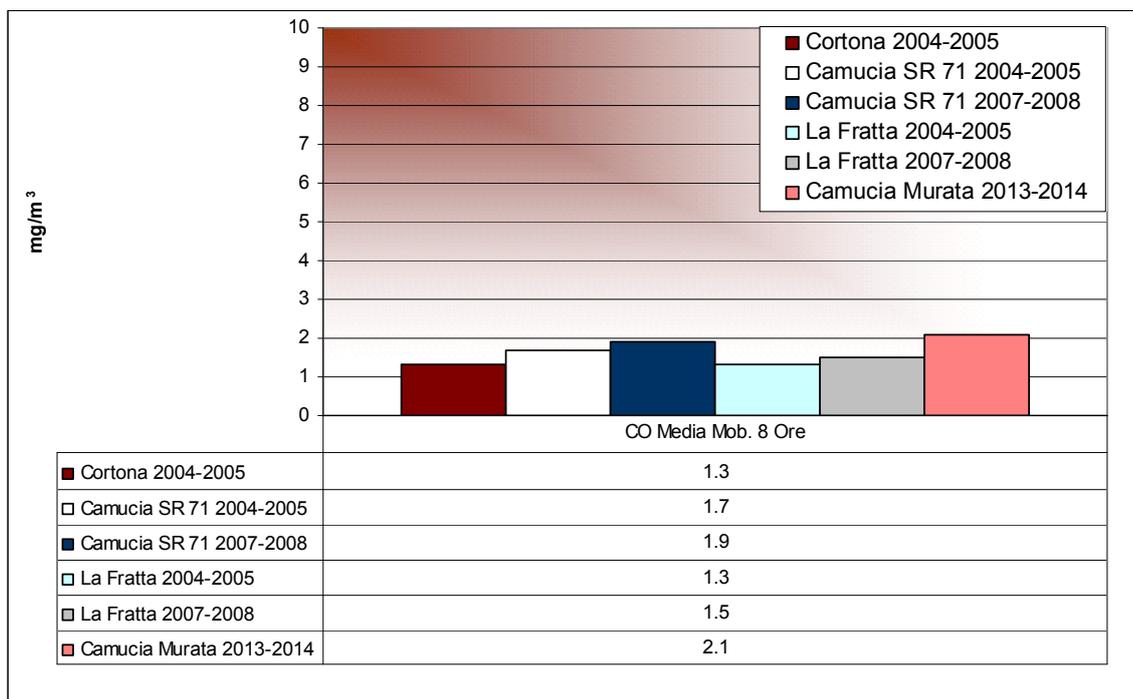
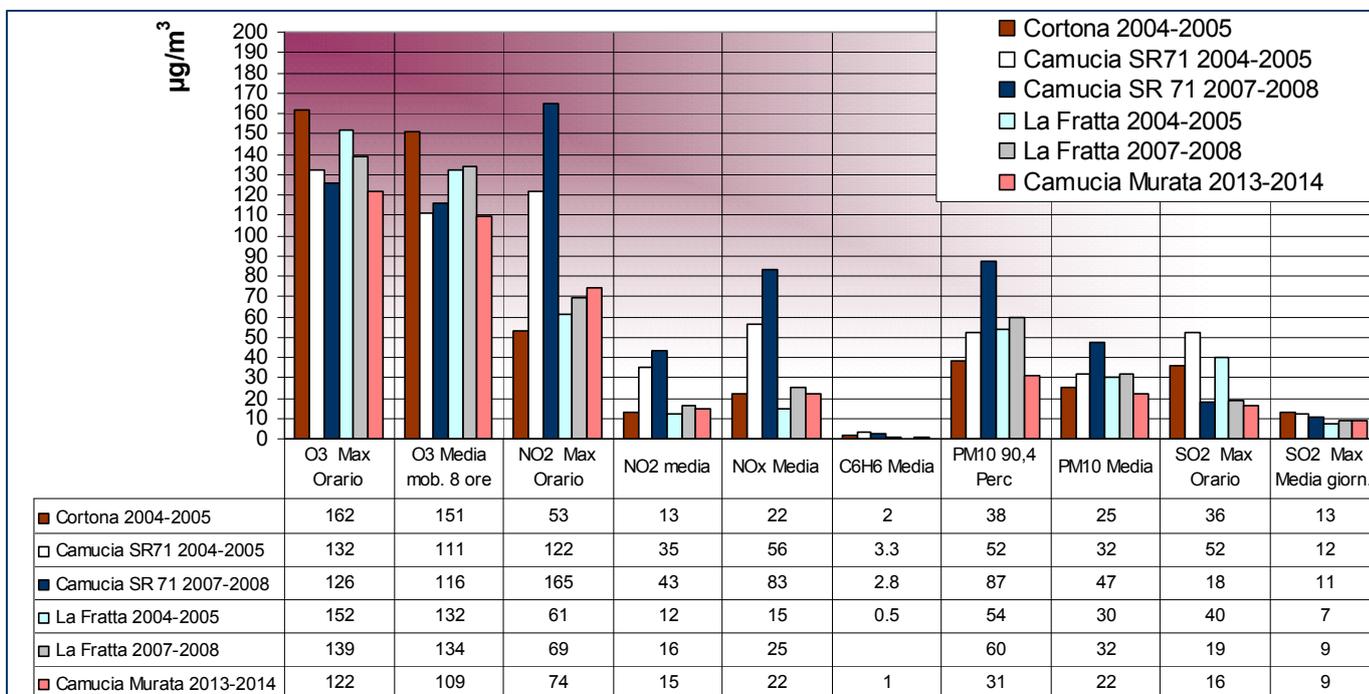


Figura 2.27 istogramma valori degli indicatori di qualità Via di Murata 2013-2014 e campagne La Fratta (2004-2005 e 2007-2008), Camucia P.za Sergardi (2004-2005 e 2007-2008), Cortona - Largo Beato Angelico (2004-2005) - ozono, biossido di azoto, materiale particolato PM10, e biossido di zolfo



Legenda inquinanti  
 CO = monossido di carbonio  
 PM10 = materiale particolato PM10  
 NOx = ossidi di azoto totali  
 NO<sub>2</sub> = biossido di azoto  
 SO<sub>2</sub> = biossido di zolfo  
 O<sub>3</sub> = ozono  
 C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> = benzene

Confronto con i livelli rilevati dalle stazioni di misurazione di Acropoli e P.za Repubblica

Figura 2.28 istogramma valori degli indicatori di NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM10, O<sub>3</sub> Via di Murata - Camucia, Acropoli, P.za Repubblica

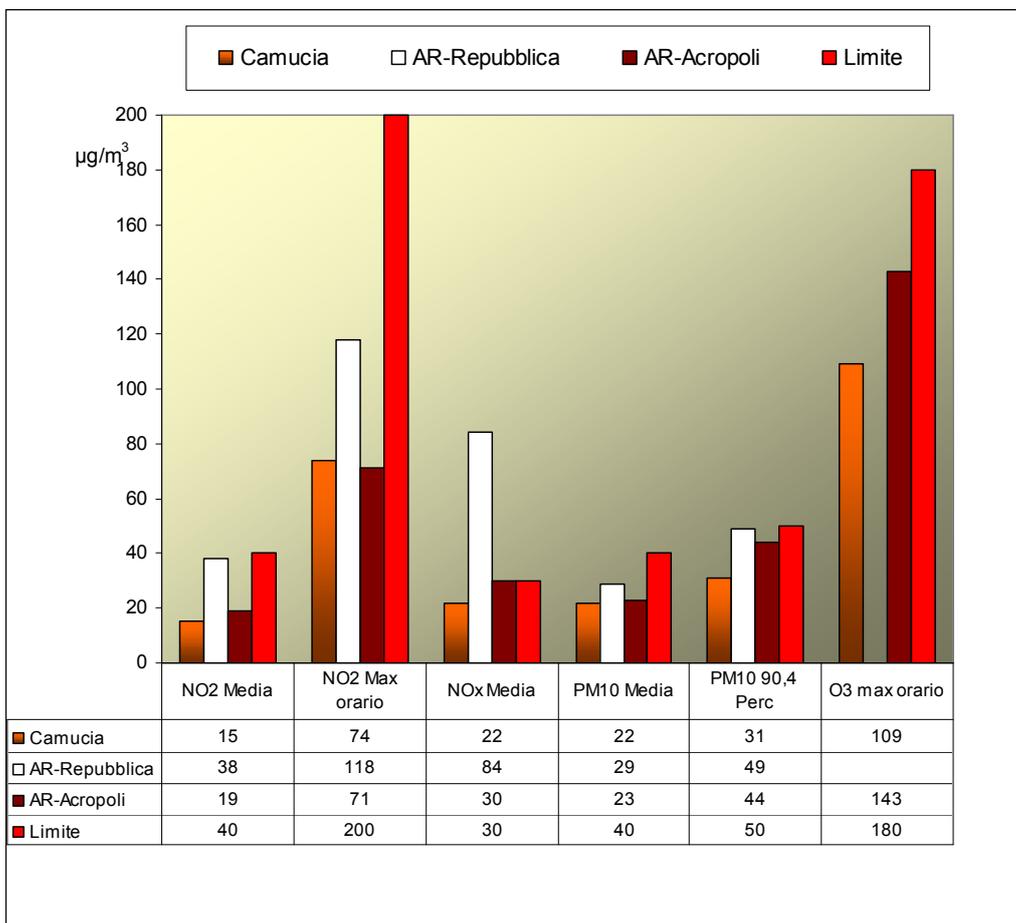
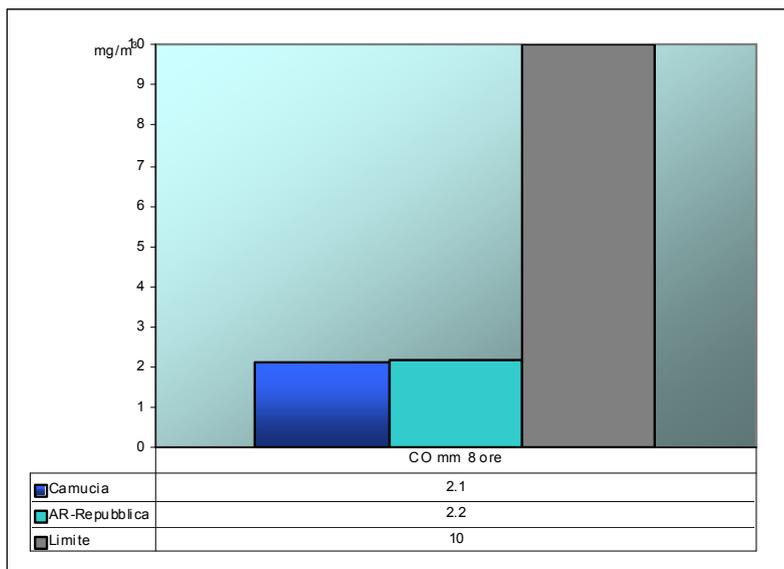


Figura 2.29 istogramma valori degli indicatori di CO Via di Murata, Arezzo P.za Repubblica



Legenda inquinanti  
 CO = monossido di carbonio      NO<sub>2</sub> = biossido di azoto      O<sub>3</sub> = ozono  
 PM10= materiale particolato PM10      NO<sub>x</sub> = ossidi di azoto totali

## Valutazione dei risultati

Il contesto della qualità dell'aria della postazione di Camucia, è caratterizzato da valori di indicatori conformi ai valori limite previsti dalla normativa vigente al fine della tutela della salute umana.

In dettaglio, alcuni inquinanti, quali **monossido di carbonio - CO**, **biossido di zolfo - SO<sub>2</sub>** e **benzene**, registrano livelli di concentrazione quasi inferiori al 100 % dei rispettivi valori limite (Tabella 2.16 indicatori di protezione della salute umana; dal -79 % del monossido di carbonio al -95 % del biossido di zolfo).

Entrambi gli indicatori relativi al materiale particolato **PM10** presentano valori distanti dai relativi valori limite: valore medio: -45 % (limite media annuale = 40 µg/m<sup>3</sup>); 90,4° percentile delle concentrazioni giornaliere: -38 % (limite = 50 µg/m<sup>3</sup>).

In coerenza al quadro definito sopra, anche il **biossido di azoto**, registra valori degli indicatori inferiori largamente inferiori ai relativi limiti (valore massimo orario e media: -63 %).

L'indicatore relativo alla media annuale degli **ossidi di azoto - NOx** (espressi come NO<sub>2</sub>) - (Tabella 2.18) è inferiore al valore limite (-27 %); questo indicatore è finalizzato alla **protezione della vegetazione ed ha valenza solo per le stazioni di misurazione suburbane, rurali e rurali di fondo**. Solitamente al di fuori delle zone rurali, questo indicatore non è mai rispettato; nel caso specifico, si assiste invece ad un'inversione di tendenza di questa consolidata situazione.

A prescindere che la presente campagna di misurazione indicativa è caratterizzata da una copertura temporale limitata pur se rappresentativa, si rileva, per quanto attiene l'**ozono** (Tabella 2.17), che non sono stati registrati casi di superamento, sia del valore bersaglio di protezione della salute umana (indicatore della media mobile di 8 ore massima giornaliera, sia della soglia di informazione (valore orario = 180 µg/m<sup>3</sup>).

In merito alle precedenti campagne di misurazione indicative effettuate nel territorio comunale (Camucia, Cortona e Loc. La Fratta nei periodi di osservazione 2004-2005 e 2007-2008, Grafici di fig. 2.26 e fig. 2.27), si rileva una situazione articolata, dal quale emerge da un lato, una differenza sostanziale dei livelli di concentrazione rispetto alla postazione urbana traffico di Camucia P.za Sergardi, e dall'altro, sia valori più bassi, sia valori più elevati rispetto alle altre postazioni di fondo del territorio comunale (Cortona e Loc. La Fratta). In particolare, in relazione alla postazione urbana traffico di Camucia P.za Sergardi, la postazione di Via di Murata registra valori ampiamente inferiori per tutti i parametri misurati (in media, -31 % per il biossido di zolfo, -47 % materiale particolato PM10, -54 % per il biossido di azoto e -67 % per gli ossidi di azoto e benzene); relativamente alle postazioni di fondo di Cortona (Largo Beato Angelico) e Loc. La Fratta, la postazione di Via di Murata registra, nella prevalenza dei casi, livelli di concentrazione più elevati di biossido di azoto (media annuale +15 % di Cortona e +25 % di Loc. La Fratta campagna 2004-2005), ma più bassi di materiale particolato PM10 (in media, -15 % di Cortona e -37 % di La Fratta) e di biossido di zolfo (in media, -43 % di Cortona e -12 % di La Fratta). Per quanto attiene il benzene si rileva una situazione non definita, dove da una parte la media annuale di Via di Murata è più bassa di Cortona (-50 %), e dall'altra, più alta di La Fratta (+100 %). Gli ossidi di azoto sono equivalenti alla postazione di Cortona e più alti della postazione della Fratta (+17 %).

In relazione a quanto valutato sopra, in particolare per gli indicatori relativi alla media annuale, si ritiene, che a livello comunale, sono presenti variazioni spaziali significative, riguardanti le zone affette da fonti di emissione da traffico e le zone di fondo, queste ultime sono invece connesse da una sostanziale continuità per quanto attiene il contesto della qualità dell'aria (biossido di azoto e materiale particolato PM10).

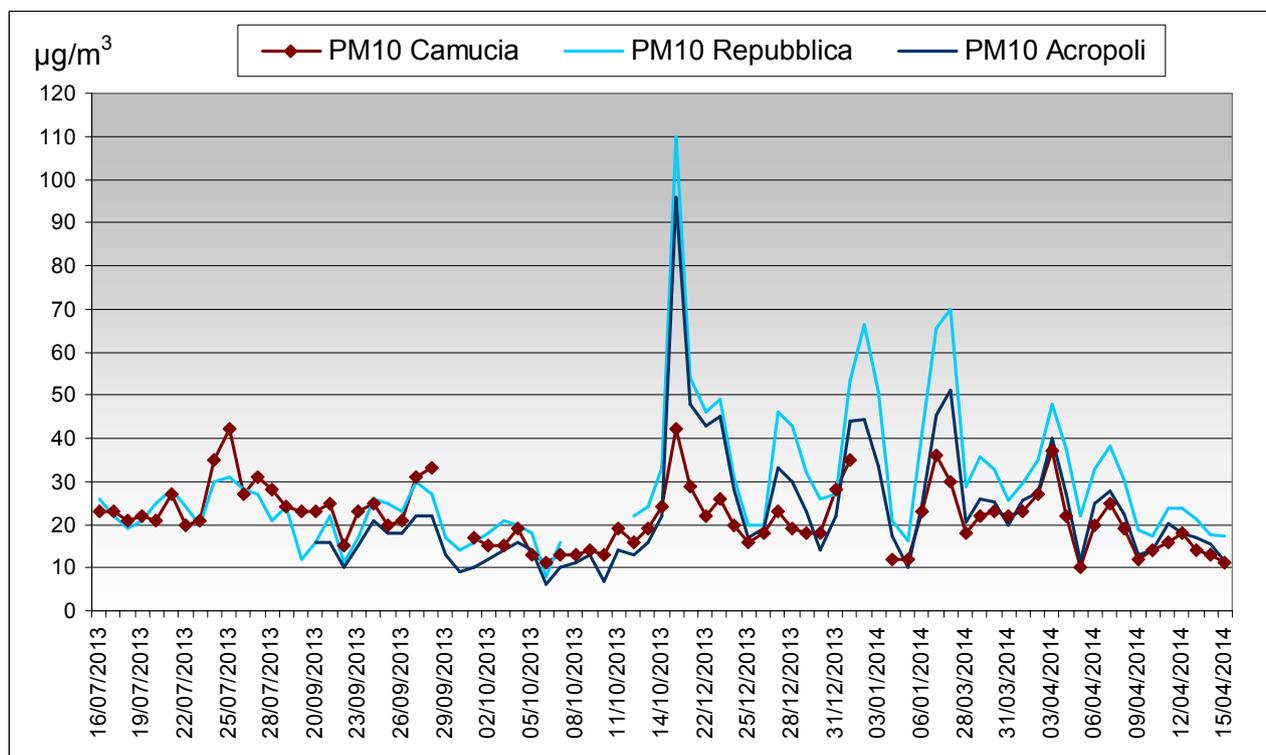
La prevalenza degli inquinanti presenta la massima distribuzione dei livelli di concentrazione nelle categorie caratterizzate dai valori più bassi, significativamente distanti dal relativo valore limite (Allegato 1, grafici 1.3.6-10). Non seguono questa distribuzione, materiale particolato PM10 ed ozono, poiché l'andamento si presenta più omogeneo, distribuito sostanzialmente attorno al valore medio.

*Raffronto con i livelli registrati dalle stazioni di misurazione fisse di Acropoli e P.za Repubblica*

Per quanto attiene i valori degli indicatori di qualità dell'aria (grafici di fig 2.28 e fig. 2.29), la postazione di Via di Murata, ripropone lo scenario valutato per le variazioni spaziali a livello comunale, dove i valori degli indicatori sono, da un lato significativamente più bassi della stazione da traffico di P.za della Repubblica (mediamente del -46 %; media PM10 -24 %, media biossido di azoto -60 %, media ossidi di azoto -74 %), e dall'altro, quasi allineati alla stazione di fondo urbano di Acropoli (media PM10 -4 %, media biossido di azoto -21 %, media ossidi di azoto -27 %).

In relazione alle elaborazioni grafiche effettuate con le due stazioni fisse di Arezzo viste sopra, riguardanti, il raffronto fra gli andamenti temporali dei valori orari di biossido di azoto (allegato 1 - capitolo 1.1, grafici 1.1.5-6) e dei valori medi giornalieri di materiale particolato PM10, si rileva che le variazioni temporali dei livelli di concentrazione sono caratterizzate dagli stessi andamenti. Relativamente al materiale particolato, gli andamenti giornalieri di PM10 registrati a Camucia sono sostanzialmente variabili, e, se riferiti alla postazione di Acropoli, esprimono una situazione non definitiva (sono equivalenti, più bassi e più alti in relazione alla stagione meteorologica) determinando effetti significativi anche nelle elaborazioni relative alle correlazioni, dal quale emerge una scarsa correlazione con le stazioni dell'area urbana di Arezzo. Gli andamenti temporali del materiale particolato PM10 registrati, sia nella postazione di Camucia - Cortona, sia dalle stazioni di misurazione fisse ubicate nella area urbana di Arezzo, sono presentati, oltre che nel capitolo specifico 1.1 in allegato, anche nell'elaborato grafico sottostante:

Figura 2.30 andamenti temporali materiale particolato PM10, postazione Camucia - Cortona e stazioni di misurazione Arezzo Repubblica ed Arezzo Acropoli



### Andamenti temporali

Gli andamenti dei valori orari e giornalieri (Allegato 1, grafici 1.1.5-6) della postazione in esame, mettono in rilievo per alcuni agenti inquinanti, la presenza di livelli di concentrazione più elevati in determinate stagioni: in particolare si rileva la tendenza all'incremento nella stagione dell'inverno per biossido di azoto e monossido di carbonio, in estate ed autunno per biossido di zolfo, inverno e primavera per il benzene.

### Distribuzione dei livelli di concentrazione – grafici box-plot

Gli indicatori di sintesi (Allegato 1, tabella 1.2.2) mostrati anche nella tabella sottostante, oltre che nel capitolo specifico in allegato, mettono in evidenza, in particolare per gli ossidi di azoto, che il valore medio è più elevato della mediana; sotto il profilo statistico, questa condizione sta ad indicare che i valori estremi (o dati fuori linea), hanno un peso rilevante sull'andamento normale dei valori medi orari. Le elaborazioni box – plot mettono in evidenza una distribuzione dei dati asimmetrica per gli ossidi di azoto (ossidi di azoto, biossido di azoto e monossido di azoto), biossido di zolfo e monossido di carbonio.

Si rileva inoltre per il biossido di zolfo, che la deviazione standard è superiore al valore medio, a suggerire dal punto di vista statistico, che gli andamenti di questi inquinanti sono caratterizzati da forte variabilità.

*Tabella 2.19 Postazione di Camucia - Cortona - dati di sintesi biossido di zolfo, ossidi di azoto, biossido di azoto, monossido di carbonio, ozono, materiale particolato PM10*

	SO <sub>2</sub> µg/m <sup>3</sup>	NO <sub>x</sub> µg/m <sup>3</sup>	NO <sub>2</sub> µg/m <sup>3</sup>	CO mg/m <sup>3</sup>	O <sub>3</sub> µg/m <sup>3</sup>	PM10 µg/m <sup>3</sup>
1 Quartile	0,2	11	7	0,2	24	16
Minimo	0,0	1	0	0,0	0	10
Media	0,5	22	15	0,5	50	22
Mediana	0,3	16	12	0,3	50	21
Massimo	2,6	175	74	2,6	122	42
3 Quartile	0,6	26	19	0,6	74	25
Deviazione standard	2	19	11	0,4	30	7

CO = monossido di carbonio

NO<sub>2</sub> = biossido di azoto

O<sub>3</sub> = ozono

PM10 = materiale particolato PM10

SO<sub>2</sub> = biossido di zolfo

NO<sub>x</sub> = ossidi di azoto totali

## Analisi dati meteorologici rilevati durante le campagne di monitoraggio

In relazione ai dati registrati dai sensori meteo di direzione e velocità del vento nelle campagne di misurazione indicative di Castiglion Fiorentino e Camucia – Cortona sono stati elaborati i grafici polari mostrati successivamente che mettono in relazione la direzione del vento e le concentrazioni di materiale particolato PM10 e di biossido di azoto (mediana e media delle concentrazioni medie orarie rilevate). 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 nel caso in questione.

Nella Figure che seguono (da 1 a 4) sono rappresentati i valori delle mediane e delle medie dei dati di concentrazione di materiale particolato PM10 e biossido di azoto rilevati nelle ore caratterizzate da vento proveniente dallo stesso settore nelle campagne di misurazione di Castiglion Fiorentino e di Camucia - Cortona; a titolo di confronto, sono riportati anche i valori delle rispettive mediane e medie relative 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).

Grafico 1 – elaborazione polare medie e mediane PM10 Castiglion Fiorentino

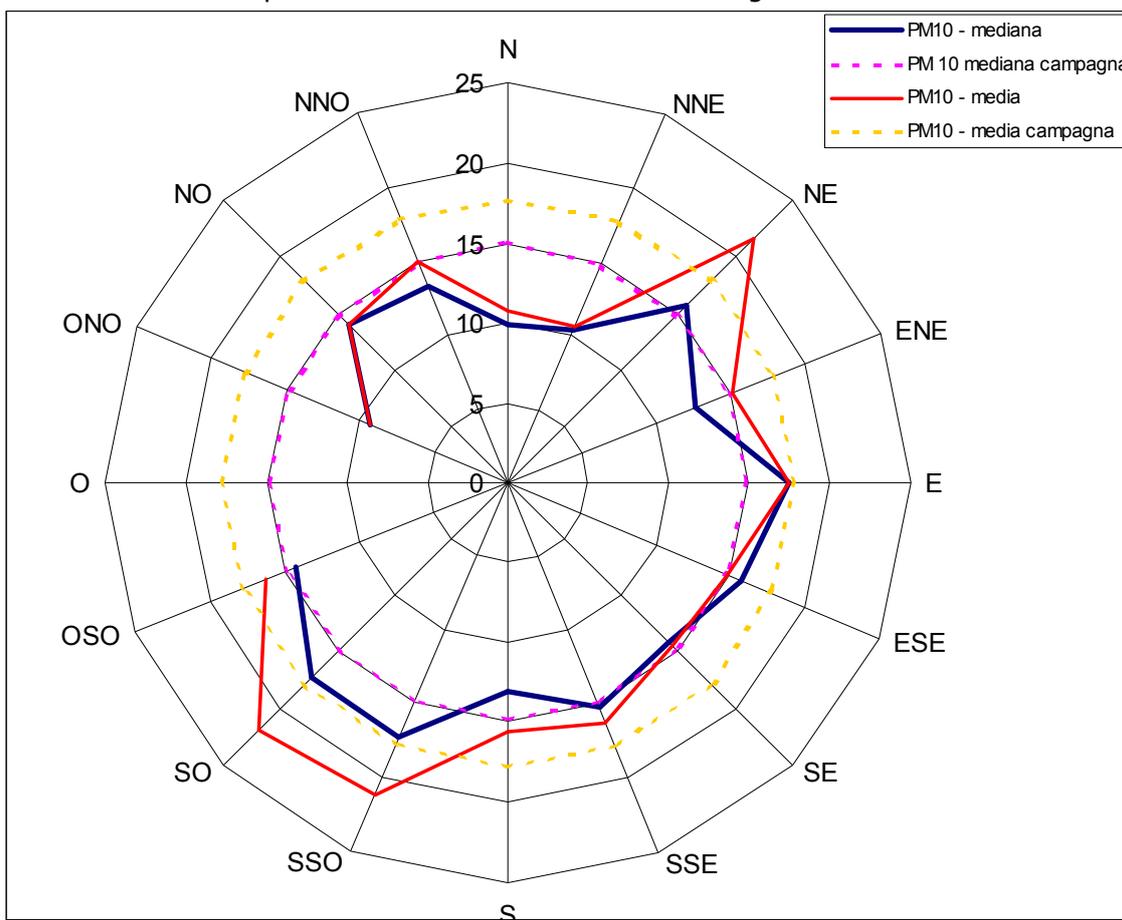
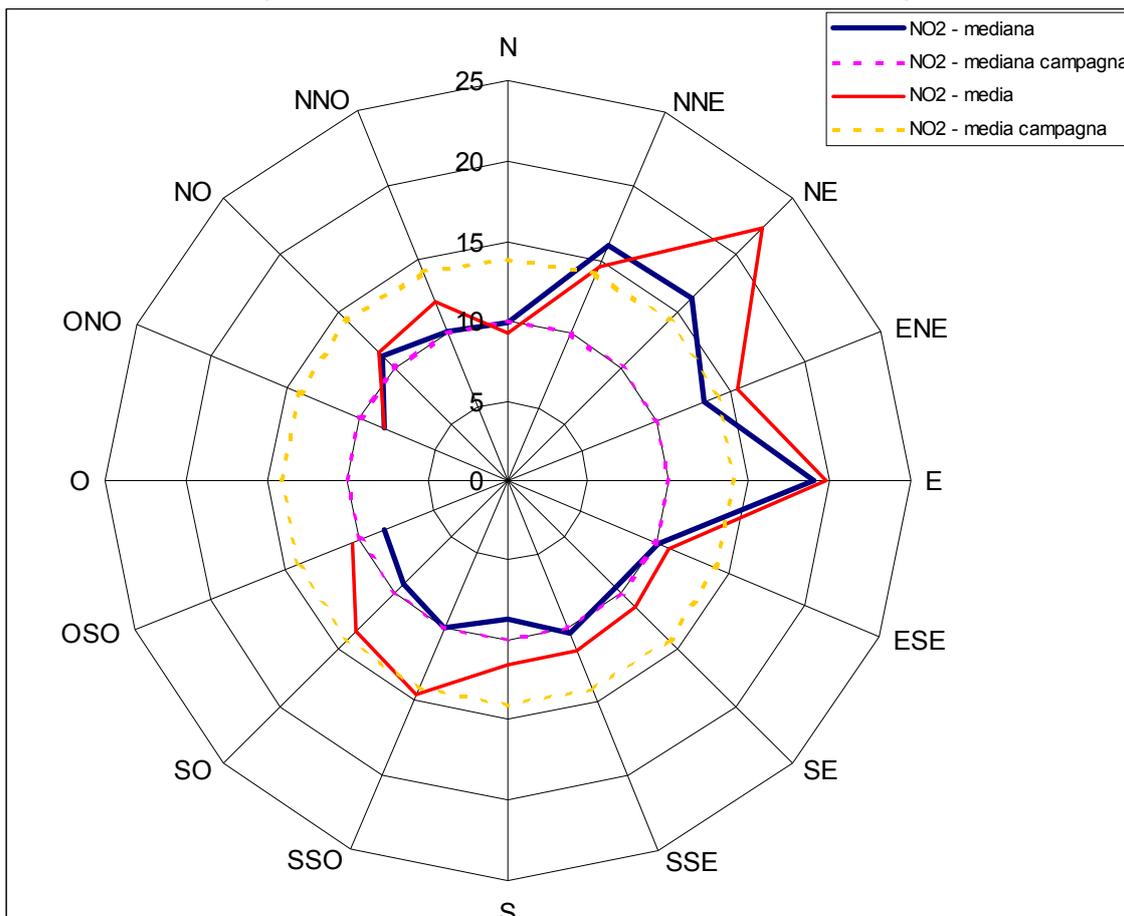


Grafico 2 – elaborazione polare medie e mediane biossido di azoto Castiglion Fiorentino



Per quanto attiene la postazione di Castiglion Fiorentino, le mediane di materiale particolato PM10 variano sensibilmente con la direzione del vento, e presentano valori superiori alla mediana complessiva in presenza di venti provenienti da Est, Sud-Sud-Ovest, e Sud-Ovest. In merito al biossido di azoto, i valori della mediana molto superiori alla mediana complessiva sono sbilanciati nel settore nord orientale, in particolare in presenza di venti provenienti da Nord-Nord-Est, Nord-Est, Est-Nord-Est ed Est.

Grafico 3 – elaborazione polare medie e mediane PM10 Camucia - Cortona

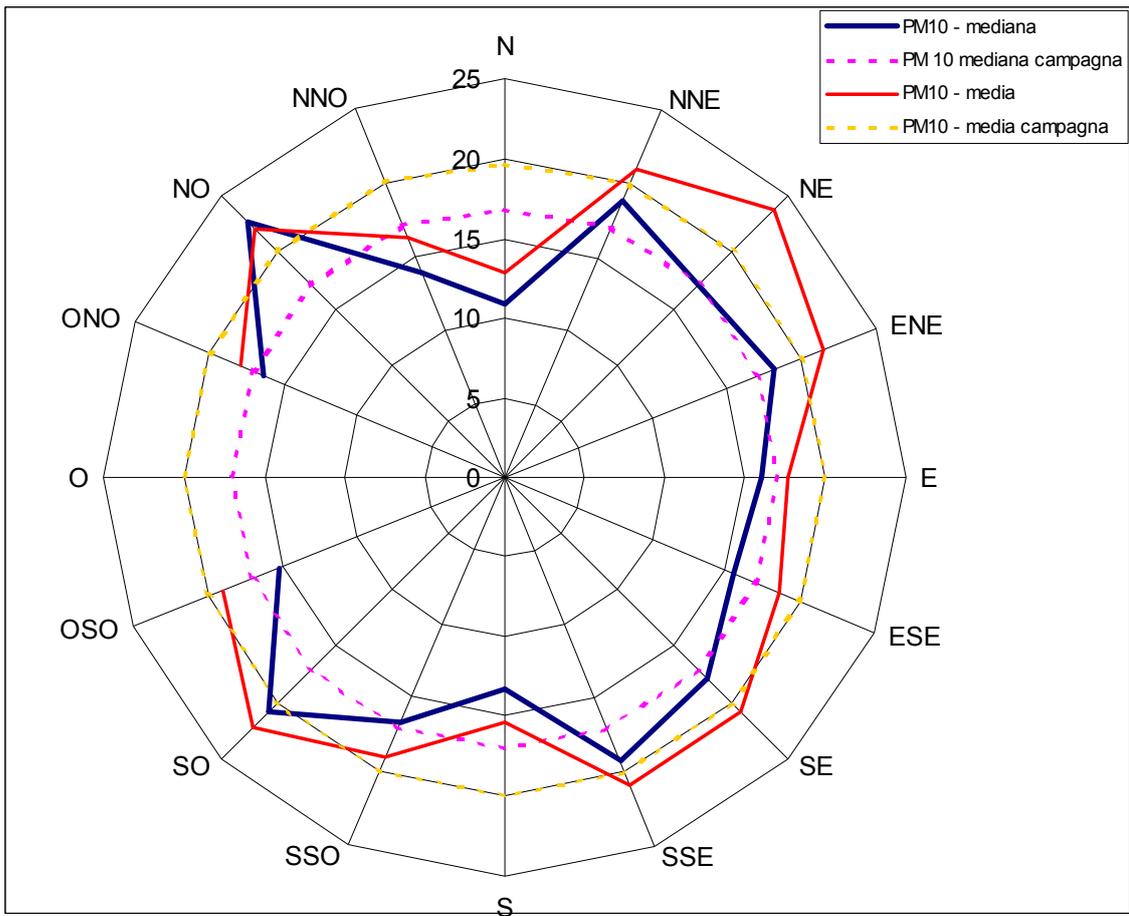
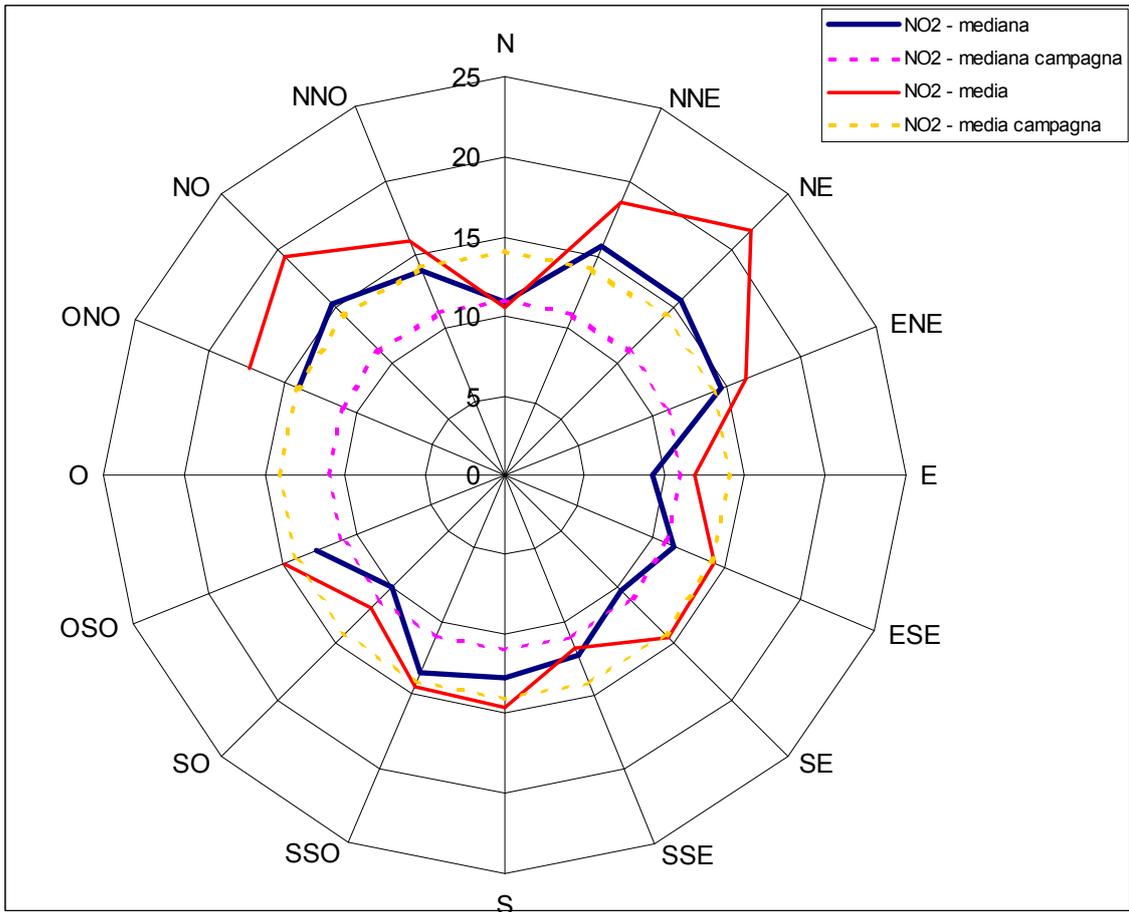


Grafico 4 – elaborazione polare medie e mediane biossido di azoto Camucia - Cortona



Relativamente alla postazione di Camucia Cortona, i valori delle mediane di PM10 significativamente più elevati della mediana complessiva, sono rilevati nel settore occidentale, in particolare per i settori Nord-Ovest e Sud-Ovest; sono rilevati inoltre, valori di mediana superiori alla mediana complessiva anche per i settori Nord-Nord-Est e Sud-Sud-Est.

Questa distribuzione dei valori della mediana, sostanzialmente radiale rispetto ai venti di provenienza, sembra indicare che i contributi relativi alle sorgenti emissive siano molteplici e distribuiti abbastanza omogeneamente nella zona.

Si evidenzia una distribuzione più netta per le mediane di biossido di azoto, riferita significativamente ai settori settentrionali (Ovest-Nord-Ovest, Nord-Ovest, Nord-Nord-Ovest, Nord-Nord-Est, Nord-Est ed Est-Nord-est).

#### Considerazioni riassuntive e finali

L'esame degli elaborati grafici polari mette in evidenza andamenti sostanzialmente sovrapponibili di media e mediana, sia riferiti al materiale particolato PM10, sia riferiti al biossido di azoto.

Relativamente alla postazione di Castiglion Fiorentino le elaborazioni polari relative ai valori delle mediane più significative, pur se riferibili a particolari settori di provenienza del vento (settori occidentali per PM10 e settori nord orientali per il biossido di azoto) sono sostanzialmente sovrapponibili alla rosa dei venti della zona.

Per quanto attiene la postazione di Camucia – Cortona i valori della mediana presentano una distribuzione spaziale riferita alla direzione dei venti quasi omogenea, mentre per quanto attiene il biossido di azoto, la situazione è più definita poiché i settori di provenienza del vento più significativi si riferiscono ai settori settentrionali.

## Considerazioni riassuntive e finali sull'area della Val di Chiana

In generale, il contesto messo in rilievo dalle due campagne di misurazione è caratterizzato dalla piena conformità ai valori limite fissati a tutela della salute umana; relativamente alla postazione di Camucia Via di Murata la conformità risulta estesa anche ai valori limite fissati a tutela della vegetazione (questi ultimi sono cogenti esclusivamente per le postazioni rurali). In particolare, alcuni inquinanti come monossido di carbonio, benzene e biossido di zolfo registrano valori largamente inferiori al 50 % del relativo limite. Materiale particolato PM10 e biossido di azoto, mediamente, si collocano su valori, inferiori compresi tra il -40 % (media annuale PM10 di Castiglion Fiorentino) ed il -63 % (media annuale di biossido di azoto di Camucia – Cortona) del relativo valore limite.

Si riscontra, in particolare per la postazione di Castiglion Fiorentino, la peculiarità di variazioni stagionali per la prevalenza degli inquinanti (escluso l'ozono), sostanzialmente nel periodo invernale, da attribuire al contributo significativo del fenomeno meteorologico dell'inversione termica (il valore medio della velocità del vento della stagione invernale è significativamente più basso delle altre stagioni -58 %), che ha determinato l'accumulo al suolo degli inquinanti. Questa condizione è sostenuta anche dall'analisi dei dati di sintesi, i quali mettono in evidenza valori di deviazione standard di materiale particolato PM10 doppi di quelli relativi alla postazione di Camucia, nonché una forte asimmetria della distribuzione dei dati registrati nella campagna invernale, sbilanciata verso i valori maggiori della mediana.

Il raffronto con i valori degli indicatori elaborati nelle precedenti campagne di rilevamento effettuate nei territori comunali di Castiglion Fiorentino e Cortona mediante mezzo mobile, mette in rilievo la presenza di variazioni spaziali significative riguardanti le zone interessate dai flussi veicolari e le zone di fondo (zona di traffico +47 % a Castiglion Fiorentino e +152 % a Camucia – Cortona); per quanto attiene le stazioni di fondo relative al territorio comunale di Cortona, si rileva una sostanziale continuità dei contesti dell'aria ambiente.

Rispetto alle stazioni di misurazione fisse di ubicate nell'area urbana di Arezzo, di Acropoli (urbana-fondo) e P.za Repubblica (urbana-traffico), la valutazione dei dati puntuali (orari e giornalieri) e degli indicatori di qualità dell'aria (registrati nello stesso periodo di osservazione delle campagne di misurazione indicative), evidenzia uno scenario simile a quello visto sopra riguardante le variazioni spaziali a livello comunale, nel quale le postazioni di Castiglion Fiorentino e Camucia – Cortona presentano valori inferiori alla stazione di P.za Repubblica (urbana – traffico) e più coerenti alla stazione di fondo urbano di Acropoli.

Per quanto riguarda il PM10, si riportano di seguito alcune considerazioni di maggiore dettaglio.

Tabella 2.20 dati di sintesi materiale particolato postazioni Camucia e Castiglion Fiorentino

$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Camucia	Castiglion Fiorentino
1° Quartile	16	15
Minimo	10	9
Media	22	24
Mediana	21	19
Massimo	42	62
3° Quartile	25	30
90,4 Percentile	31	48
Deviazione standard	7	14

Figura 2.30 Grafico Box Plot materiale particolato PM10

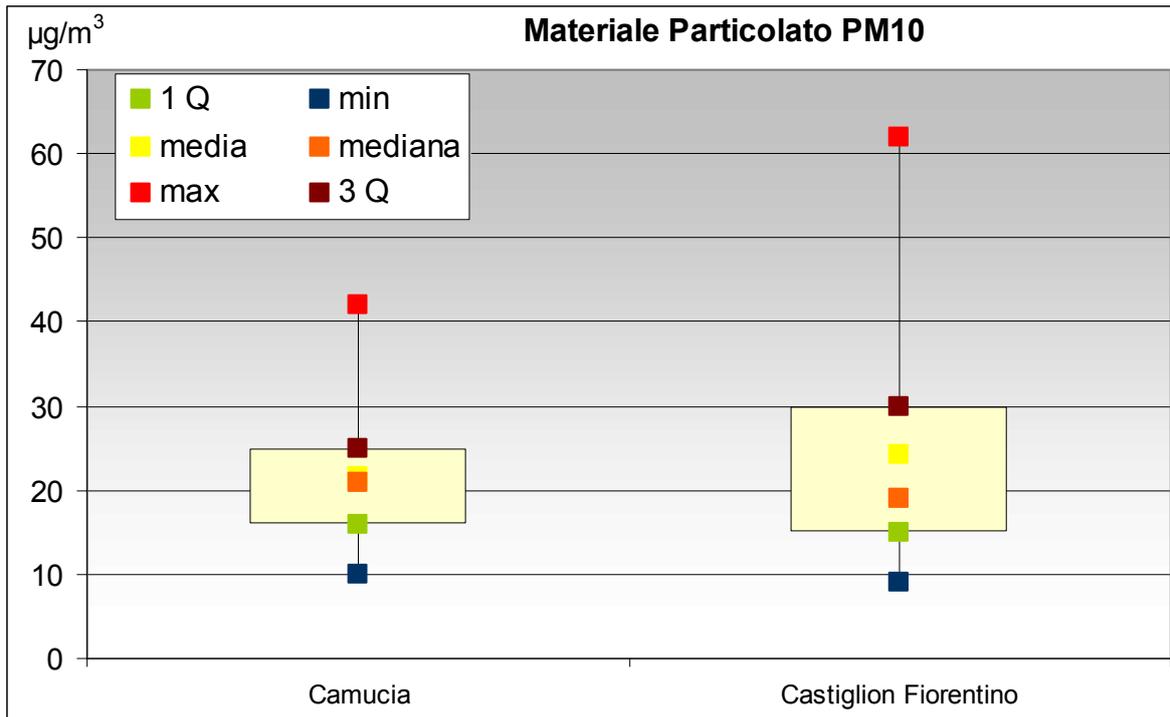


Figura 2.31 giorno tipo materiale particolato PM10 campagna di misurazione Castiglion Fiorentino

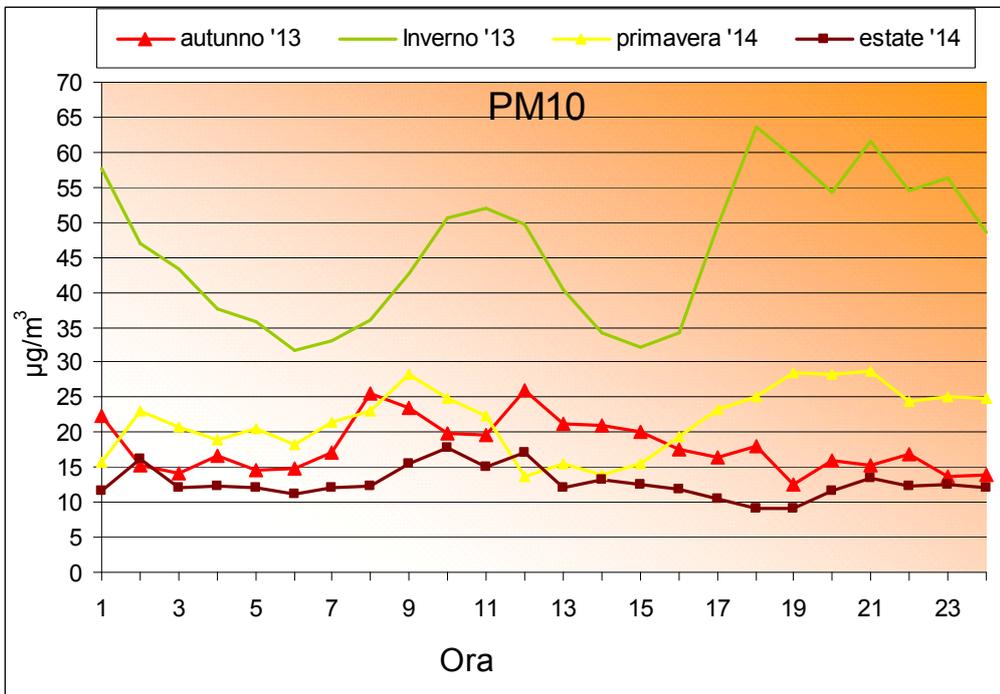
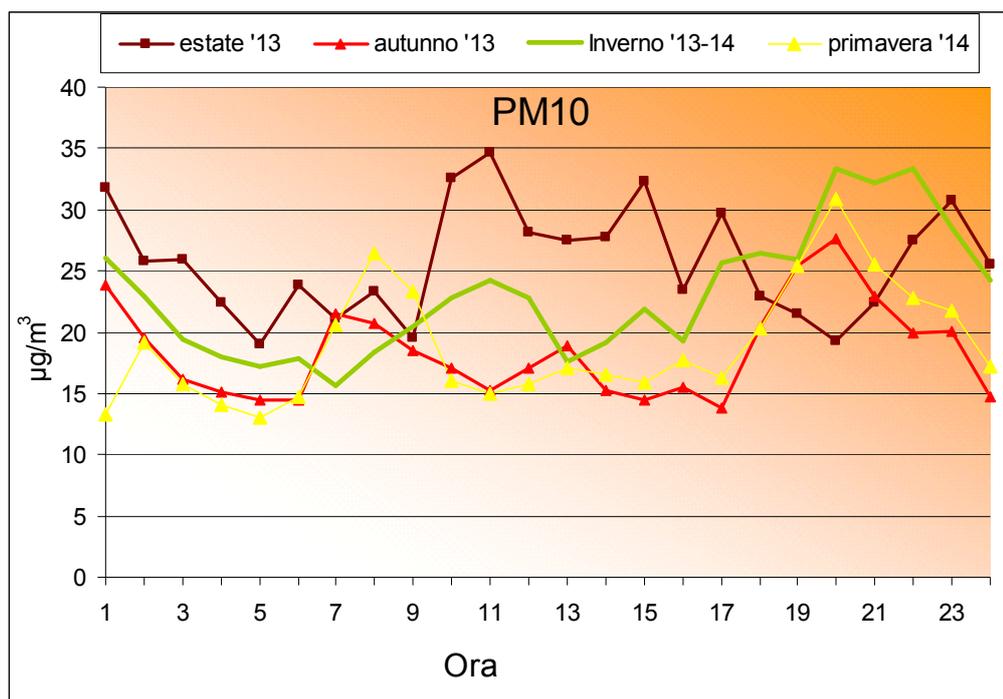


Figura 2.32 giorno tipo materiale particolato PM10 campagna di misurazione Camucia - Cortona



Le elaborazioni relative al giorno tipo, riguardanti le postazioni di misurazione di Castiglion Fiorentino e Camucia - Cortona, mettono in evidenza andamenti peculiari di microscala; in particolare, la postazione di Castiglion Fiorentino mette bene in evidenza il significativo scarto dei livelli di concentrazione della stagione invernale rispetto alle altre, da attribuire a particolari condizioni meteorologiche (inversioni termica) che hanno caratterizzato il periodo di osservazione della campagna invernale. Nel dettaglio, gli andamenti registrati nella postazione di Castiglion Fiorentino, mostrano per le stagioni dell'inverno e dalla primavera, il trend tipico determinato principalmente dalle attività antropiche e caratterizzato dalla presenza di due livelli di picco principali, alla mattina (fascia orari 8-12) ed alla sera (fascia oraria 18-20). Si sottolinea inoltre, che nella stagione invernale i livelli medi sono più elevati delle restanti stagioni, con un particolare prolungamento del picco della sera fino alla notte (accumulo degli inquinanti al suolo per inversione termica). Gli andamenti relativi alle stagioni dell'estate e dell'autunno sono sostanzialmente simili e contraddistinti dall'assenza del picco della sera e pertanto da un solo livello più elevato distribuito nella fascia oraria 8-12 della mattina.

La postazione di Camucia - Cortona registra invece una più ampia similitudine degli andamenti medi stagionali, giacché le stagioni dell'inverno, della primavera e dell'autunno sono contraddistinte dalle consuete tendenze riferite ai livelli di picco della mattina (fascia oraria 7-11), e della sera (fascia oraria 20-23). L'andamento della stagione dell'estate presenta invece caratteristiche specifiche con livelli medi di concentrazione anche più elevati delle altre stagioni e con la presenza di un unico picco distribuito nella fascia centrale del giorno (12-17).

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

I grafici di figura 2.33 e 2.34 esprimono in maniera più dettagliata quanto già descritto riguardo agli andamenti riscontrati nei siti delle campagne rispetto alla stazione di rete regionale di Arezzo Acropoli.

Figura 2.33 –Campagne di Castiglion Fiorentino confronto andamenti e delta di concentrazione con Arezzo Acropoli

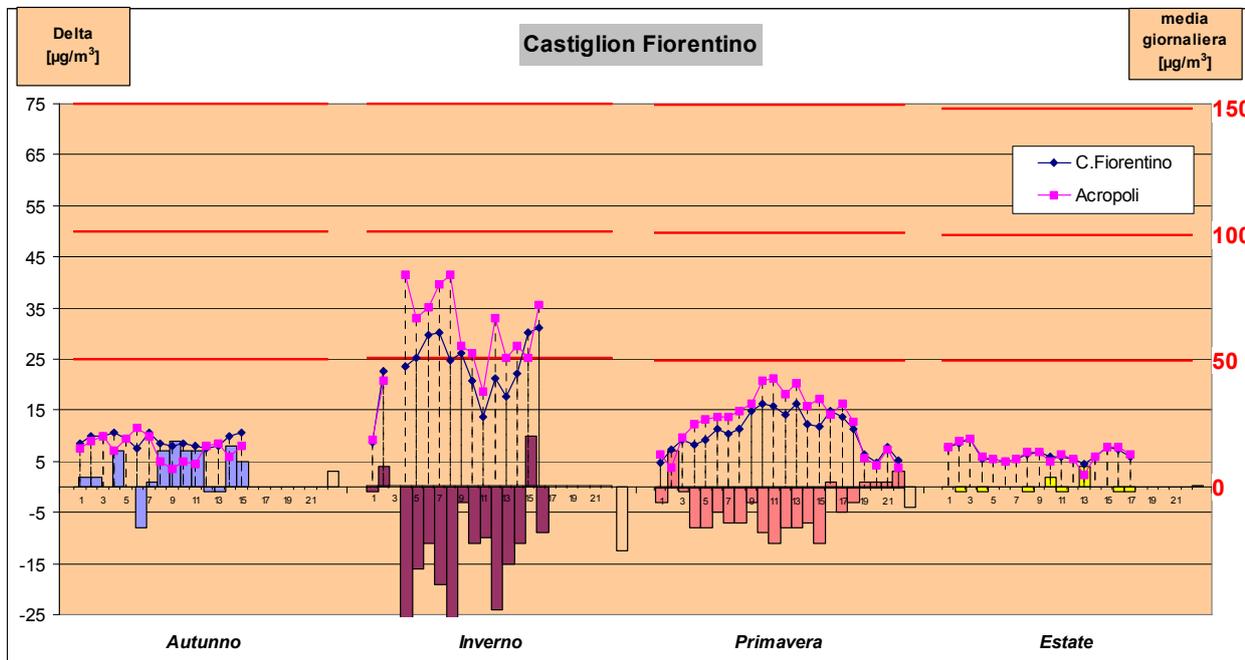
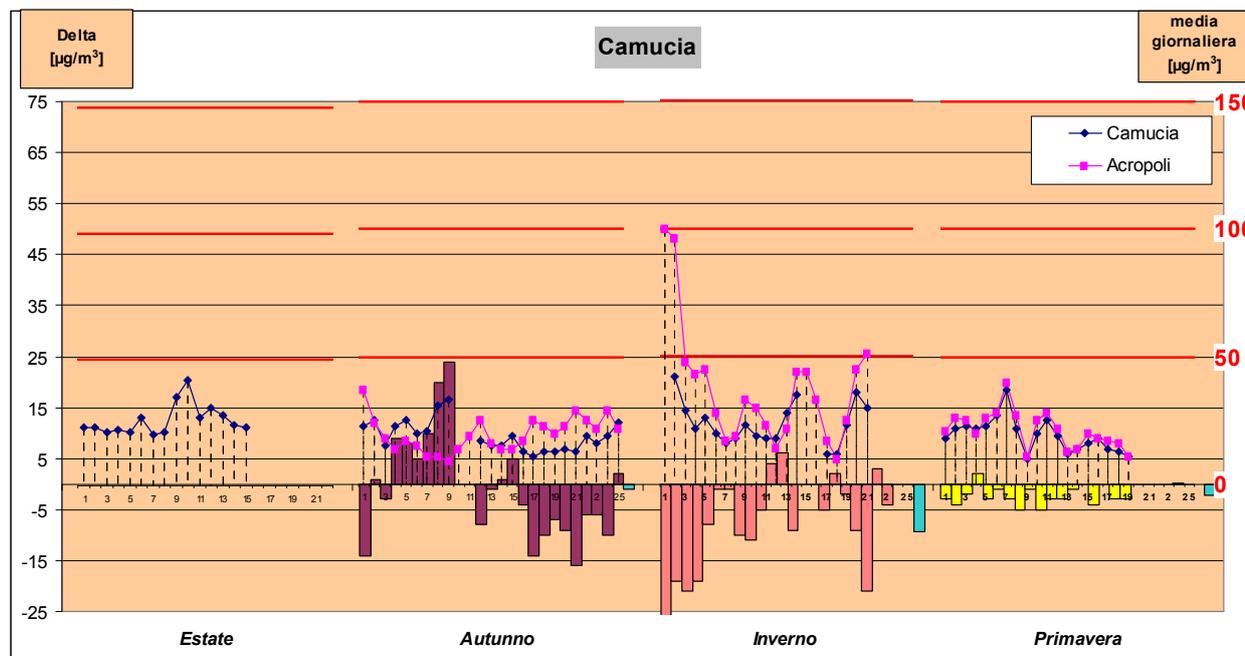


Figura 2.34 –Campagne di Camucia confronto andamenti e delta di concentrazione con Arezzo Acropoli



In grafico sono sovrapposti, per ciascuna campagna stagionale, i valori di PM10 misurati nel sito e nella stazione di Acropoli (scala asse destro) con l'istogramma delle differenze (scala asse sinistro) calcolate per ciascun giorno tra sito di monitoraggio e stazione. Alla fine di ciascuna campagna stagionale è riportata la differenza media osservata.

È evidente innanzitutto un differente comportamento stagionale; anche se per la postazione di Camucia manca per la campagna estiva la corrispondenza con i dati della stazione fissa, si può comunque constatare per entrambi i siti ha una netta prevalenza di differenze negative (valori più bassi per la Valdichiana) nella stagione invernale in cui si hanno le concentrazioni più alte dell'anno.

Si può facilmente osservare anche una differenza tra i due siti di monitoraggio, che come già evidenziato in precedenza, esibiscono un diverso grado di correlazione con la stazione di Acropoli. Mentre per il sito di Castiglion Fiorentino gli andamenti risultano abbastanza simili e le differenze concordi (con sporadiche eccezioni) per il sito di Camucia si hanno, in particolare nel periodo autunnale, differenze positive e negative alternate e andamenti poco correlati.

La perdita di correlazione da Castiglion Fiorentino a Camucia è ben comprensibile se si osservano i dati su mappa (fig. 2.35), in quanto la distanza tra i siti di monitoraggio aumenta e, soprattutto per valori di PM10 bassi o medio bassi, è plausibile che in alcuni giorni possano intervenire fattori diversi ad influenzare le misure nei due siti.

Questo risultato, tra l'altro, è ben riprodotto dall'ipotesi di rappresentatività del LAMMA che attribuisce alla stazione di Acropoli una discreta copertura del comune di Castiglion Fiorentino, a livello di media giornaliera, ed una più scarsa copertura del Comune di Cortona. Ad ogni maglia della mappa di fig 2.36 è infatti associata una probabilità di avere medie giornaliere che non differiscono più del 30% dalla media giornaliera misurata ad AR-Acropoli. La rappresentatività è stimata considerando accettabile una probabilità uguale o superiore al 90%.

In conclusione si può affermare, sulla base delle campagne di monitoraggio svolte, che l'area della Valdichiana è rappresentata almeno in maniera cautelativa dalla stazione di rete regionale di Ar-Acropoli. Infatti, anche se gli andamenti giornalieri possono essere più o meno simili a seconda delle zone, entrambe le campagne svolte dimostrano che nei giorni dei picchi di concentrazione si hanno medie giornaliere sempre inferiori a quelle della stazione fissa e, di conseguenza, la media su periodi rappresentativi dell'anno risulta inferiore.

Figura 2.35 Risultati delle campagne di monitoraggio – mappa delle differenze

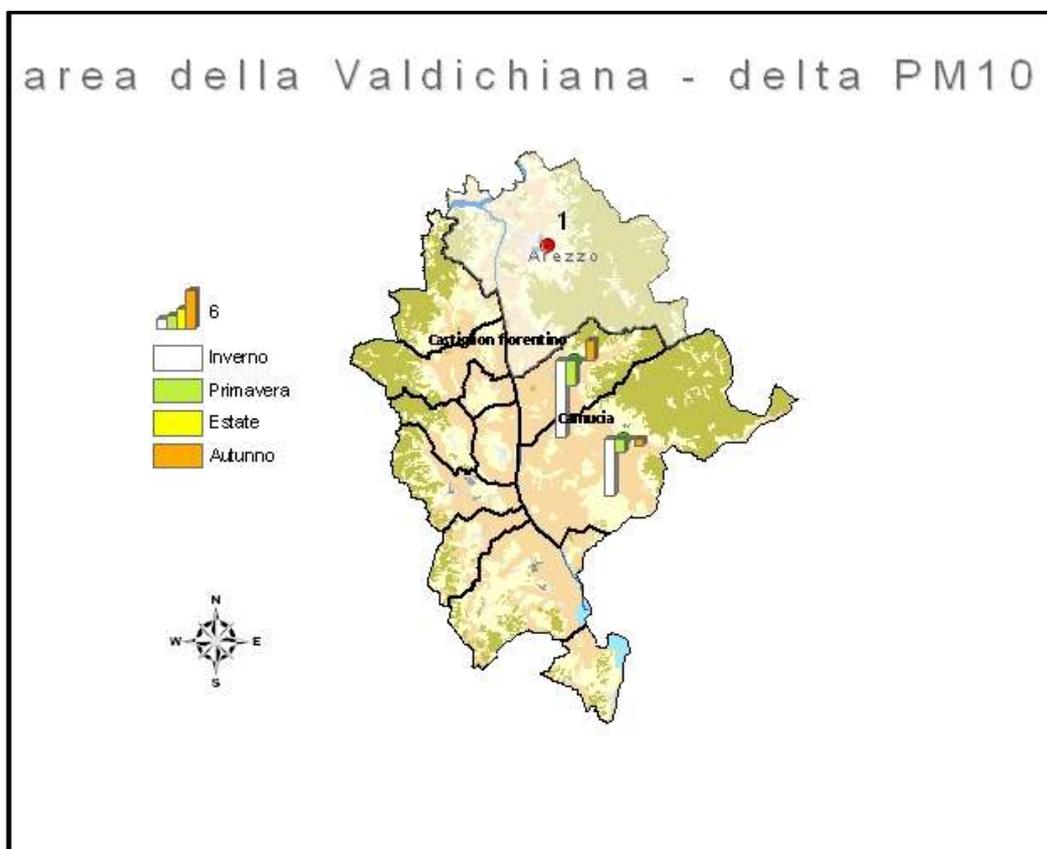
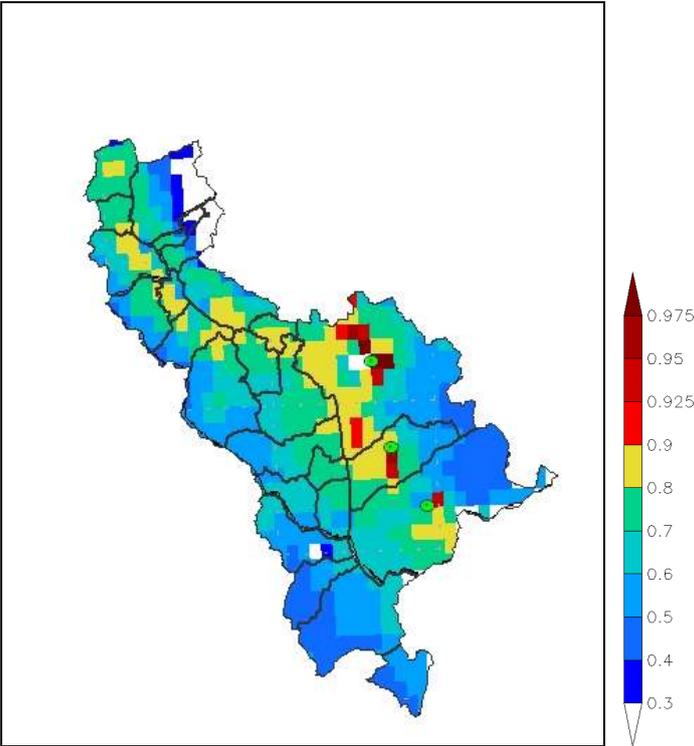


Figura 2.36 Campagne di monitoraggio e stima Lamma della rappresentatività di AR- Acropoli



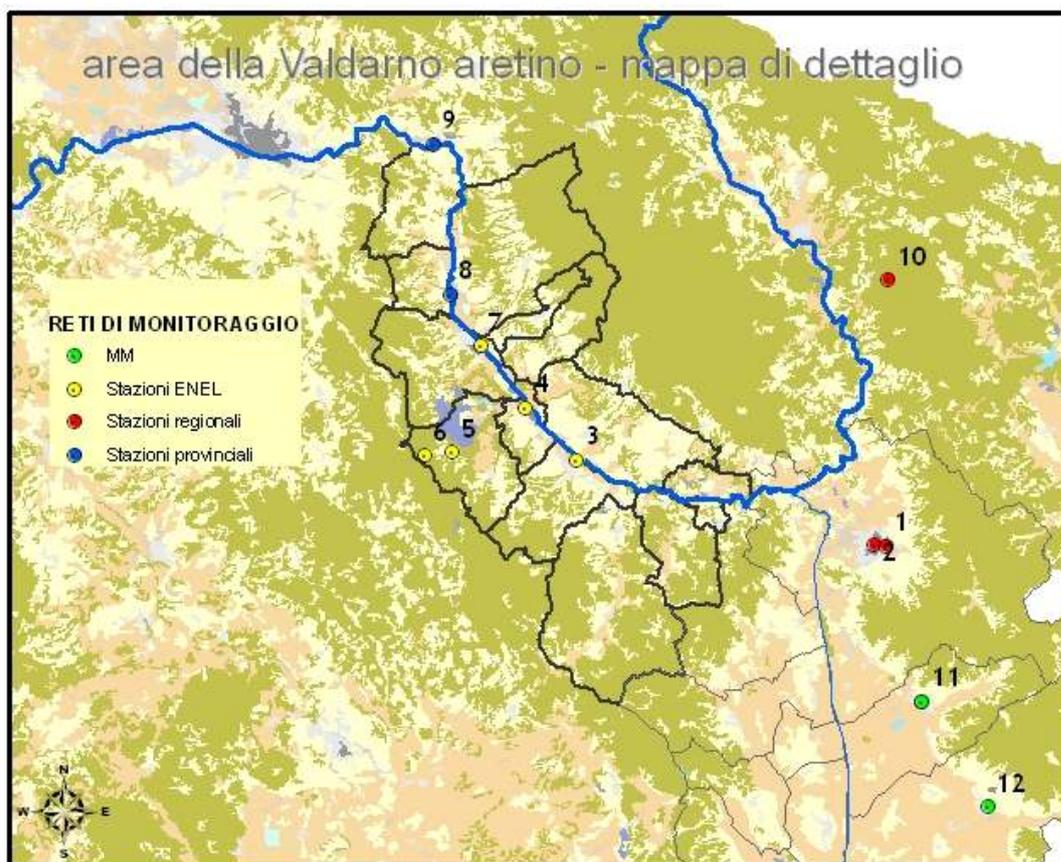
### Sezione 3 – Area del Valdarno

Per valutare la rappresentatività del Valdarno aretino si è fatto ricorso ad un'analisi statistica dei dati storici con priorità per le stazioni di rete regionale (P.za Repubblica ed Acropoli ad Arezzo) e provinciale (Incisa e Pontassieve – Provincia di Firenze) gestite da ARPAT, integrate dai dati delle stazioni della rete di misurazione della qualità dell'aria di Santa Barbara, gestita da ENEL (stazioni di Castelnuovo dei Sabbioni, Parco di Cavriglia, Montevarchi, San Giovanni Valdarno e Figline Valdarno – tutte in Provincia di Arezzo ad esclusione dell'ultima ubicata nella Provincia di Firenze). I dati forniti da Enel Produzione UBT - SB - Centrale di Santa Barbara, sono relativi agli anni 2009-2014 si riferiscono:

- medie giornaliere di PM10 e PM2,5 di tutte le stazioni della rete ENEL;
- dati orari di NO/NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> di tutte le stazioni della rete ENEL;
- dati meteo su base oraria della stazione meteo situata in prossimità dell'impianto di Santa Barbara.

I dati utilizzati nelle elaborazioni sono i dati meteo, meglio specificati nel relativo paragrafo, e i dati di PM10 e NO<sub>2</sub> della stazione di S. Giovanni Valdarno. I dati di PM10 del 2014, sono estratti dalle comunicazioni giornaliere di ENEL ad ARPAT.

Figura 3.1 mappa di dettaglio sull'area del Valdarno



- 1- Ar- Acropoli (rete regionale)
- 2- Ar- Repubblica (rete regionale)
- 3- Montevarchi (rete ENEL)
- 4- San Giovanni Valdarno (rete ENEL)
- 5- Castelnuovo dei Sabbioni (rete ENEL)
- 6- Parco Cavriglia (rete ENEL)
- 7- Figline (rete ENEL)
- 8- Incisa (rete provinciale)

- 09- Pontassieve (rete provinciale)
- 10- Ar- Casa- Stabbi (rete regionale)
- 11- Castiglion Fiorentino (campagna autolaboratorio)
- 12- Camucia- Cortona (campagna autolaboratorio)

Dall'esame della mappa (figura 3.1) si può notare che ben 5 stazioni di misurazione sono posizionate lungo la linea della valle del Valdarno aretino. Di queste due stazioni, Incisa (8) e Pontassieve (9), sono stazioni di rete provinciale gestite storicamente da ARPAT, mentre delle altre 3 stazioni (Figline, Montevarchi e San Giovanni Valdarno) appartenenti alla rete ENEL, soltanto quella di S. Giovanni Valdarno (4) effettua la misura del PM10. Questa stazione è collocata in una zona residenziale e risente anche della fonte traffico.

La rete ENEL, ha inoltre due postazioni distanziate dall'Arno; in una di queste, classificata come rurale fondo (ubicata nei Monti del Chianti - Parco Naturale di Cavriglia) è effettuata la misura di PM10. Questa stazione (6), come mostrato in diverse precedenti relazioni, fornisce dati coerenti con la stazione di riferimento per il fondo regionale di Ar-Casa Stabbi.

Per una valutazione statistica dei dati, sono state quindi prese in considerazione le stazioni di misurazione di Pontassieve, Incisa e San Giovanni Valdarno nei rispettivi periodi di funzionamento all'interno degli anni di studio 2009-2014. Lo scopo di questa analisi, è quello di descrivere, sulla base delle misure disponibili, i livelli di PM10 per l'area del Valdarno aretino e confrontarli con il quadro di riferimento che emerge dai dati della stazione di rete regionale di Arezzo Acropoli. Come espresso nelle precedenti sezioni, la stazione di Arezzo Acropoli effettua la misura di PM10 da agosto 2013. A prescindere dai dati forniti dalla campagna di misurazione indicativa di Acropoli effettuata tra il 2005 ed il 2006, considerato il breve periodo di sovrapposizione riferito al materiale particolato, per una valutazione statistica più approfondita, sono stati presi in esame anche i dati della stazione urbana traffico di Arezzo Repubblica come indicazione dei livelli dell'area urbana (vedi sezione 1).

I dati delle citate stazioni sono distribuiti nel periodo considerato come mostrato nella tabella seguente:

Tabella 3.1 raccolta minima dei dati % di PM10 delle stazioni di interesse nel quinquennio 2009-2014

Stazione/anno	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Pontassieve	75	78	95	95	82	98
Incisa	95	98	98	94	-	-
S.Giovanni Valdarno	60	86	63	14	86	76
Ar-Repubblica	97	96	97	100	94	98
Ar-Acropoli	-	-	-	-	40	98

Dall'esame dei dati mostrati nella tabella 3.1 emerge che tra le stazioni non si hanno periodi di completa sovrapposizione dei dati, per cui è stato necessario interpretare in ottica generale le analisi parziali relative ai diversi periodi esaminati.

### 3.1 Esame del contesto

#### Inquinanti aria ambiente

##### Materiale particolato – PM10

Al fine di definire il contesto relativo al materiale PM10 nella zona del Valdarno Aretino e Valdichiana, sono presentati di seguito, tabella 3.2 e grafico 3.2, gli andamenti temporali dei valori medi annuali di materiale particolato PM10 nel periodo di osservazione 2009-2014.

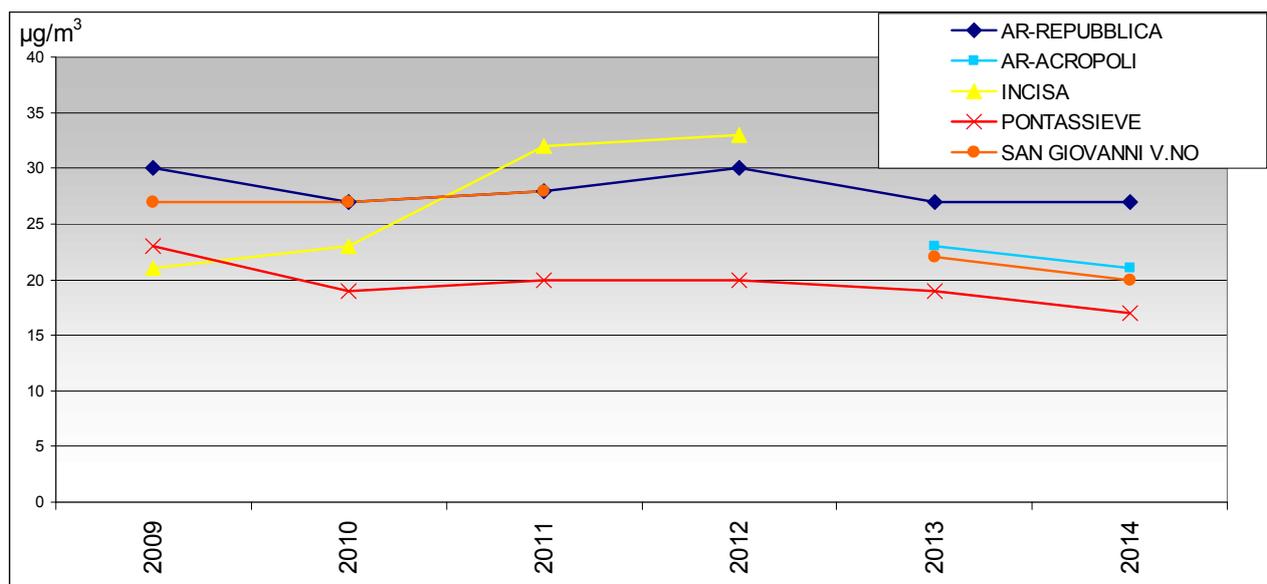
Essendo i dati riportati a scopo descrittivo, la media annuale è stata calcolata anche per le serie non valide ai sensi del D.Lgs. 155/2010, fatta eccezione per la serie di San Giovanni Valdarno del 2012, poiché in questo caso, con una copertura del 14% concentrata sul periodo invernale, la serie risulta inadeguata anche a scopo puramente indicativo.

Tabella 3.2 PM10 medie annuali materiale particolato PM10 anni 2009 - 2014

Stazione	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Pontassieve	23	19	20	20	19	17
Incisa	21	23	32	33	-	-
San Giovanni Valdarno	27	29	28	56*	22	20
Repubblica	30	27	28	30	27	27
Acropoli	-	-	-	-	23	21

\* copertura dati non rappresentativa – media non riportata in grafico

Figura 3.2 andamenti temporali medie annuale materiale particolato PM10 2009-2014



L'esame dei dati relativi alla media annuale mette in evidenza valori sostanzialmente stabili e meno elevati per la stazione di Pontassieve; la stazione di San Giovanni Valdarno presenta valori stabili nel triennio 2009-2011, ed in linea con quelli misurati nella stazione di P.za Repubblica, nell'anno 2013 è registrata una flessione ed un sostanziale allineamento alla stazione di Acropoli; questa tendenza è confermata anche dai valori medi annuali dell'anno 2014. La stazione di Incisa registra un andamento caratteristico, contraddistinto, da una parte, da valori omogenei nel biennio 2009-2010 e dall'altra, da un significativo incremento nel biennio successivo 2011-2012, caratterizzato da livelli superiori a quelli registrati dalla stazione di Arezzo P.za Repubblica. La stazione di misurazione di P.za Repubblica registra variazioni poco significative attorno al valore di 29 µg/m<sup>3</sup>.

### Biossido di azoto – NO<sub>2</sub>

Per quanto riguarda gli ossidi di azoto misurati nelle medesime stazioni di misurazione, sono registrati i seguenti andamenti, relativi al giorno tipo di ciascuna delle 4 stazioni considerate.

Figura 3.3 giorno tipo biossido di azoto San Giovanni Valdarno

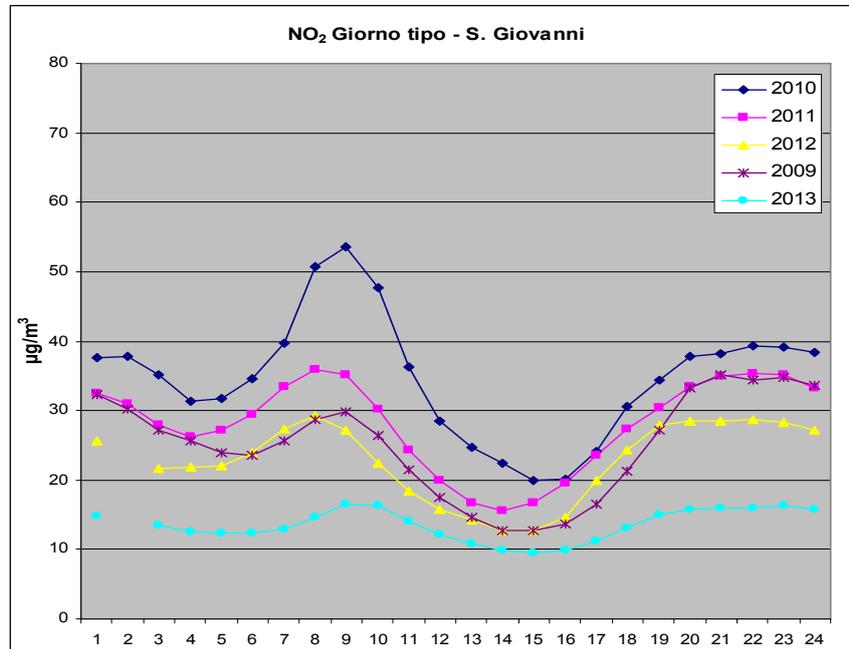


Figura 3.4 giorno tipo biossido di azoto Arezzo – P.za Repubblica

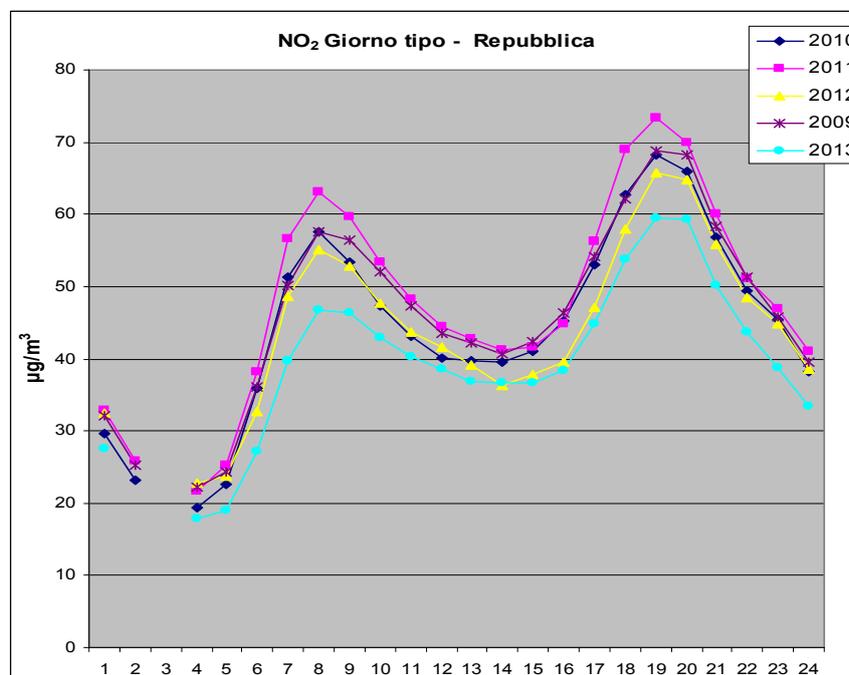


Figura 3.5 giorno tipo biossido di azoto Incisa

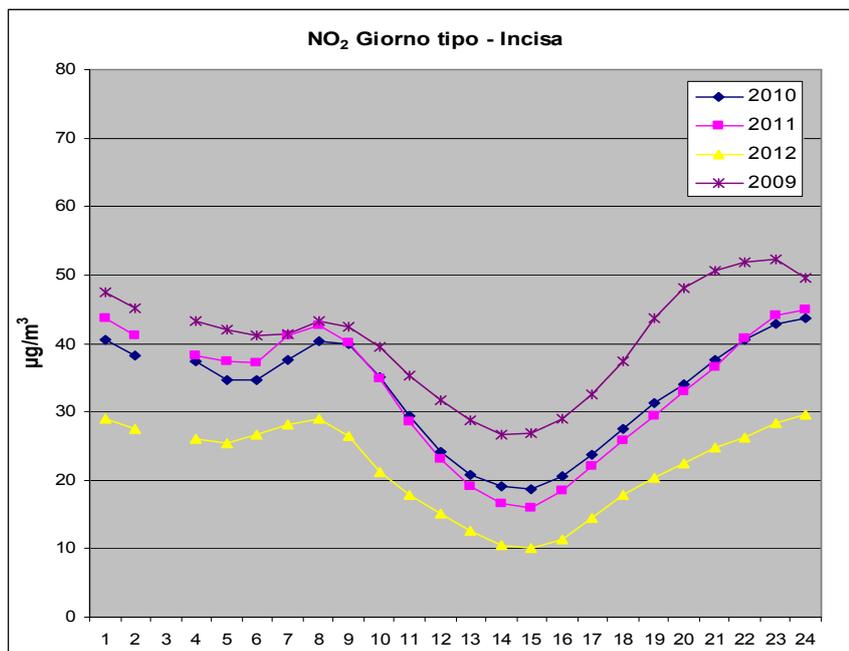
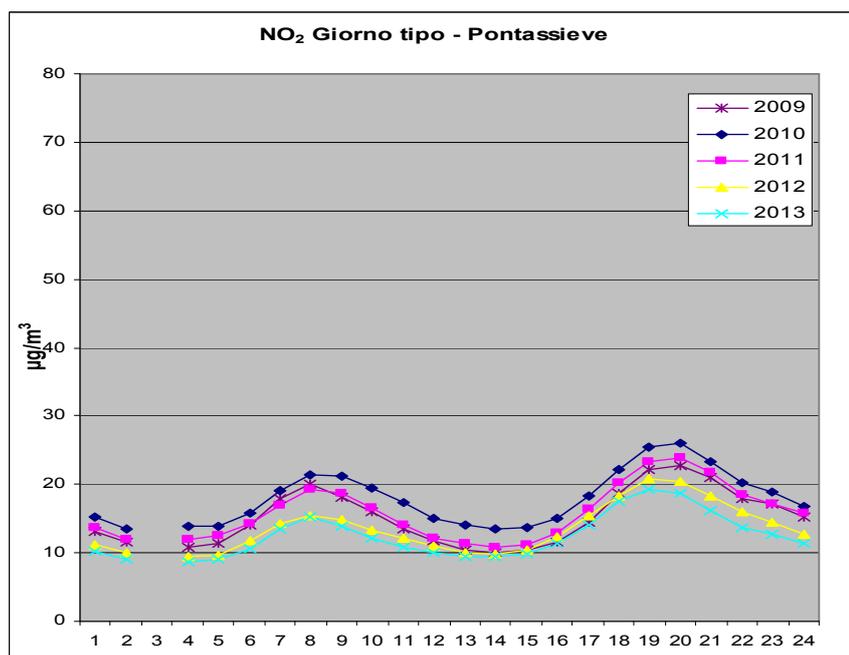


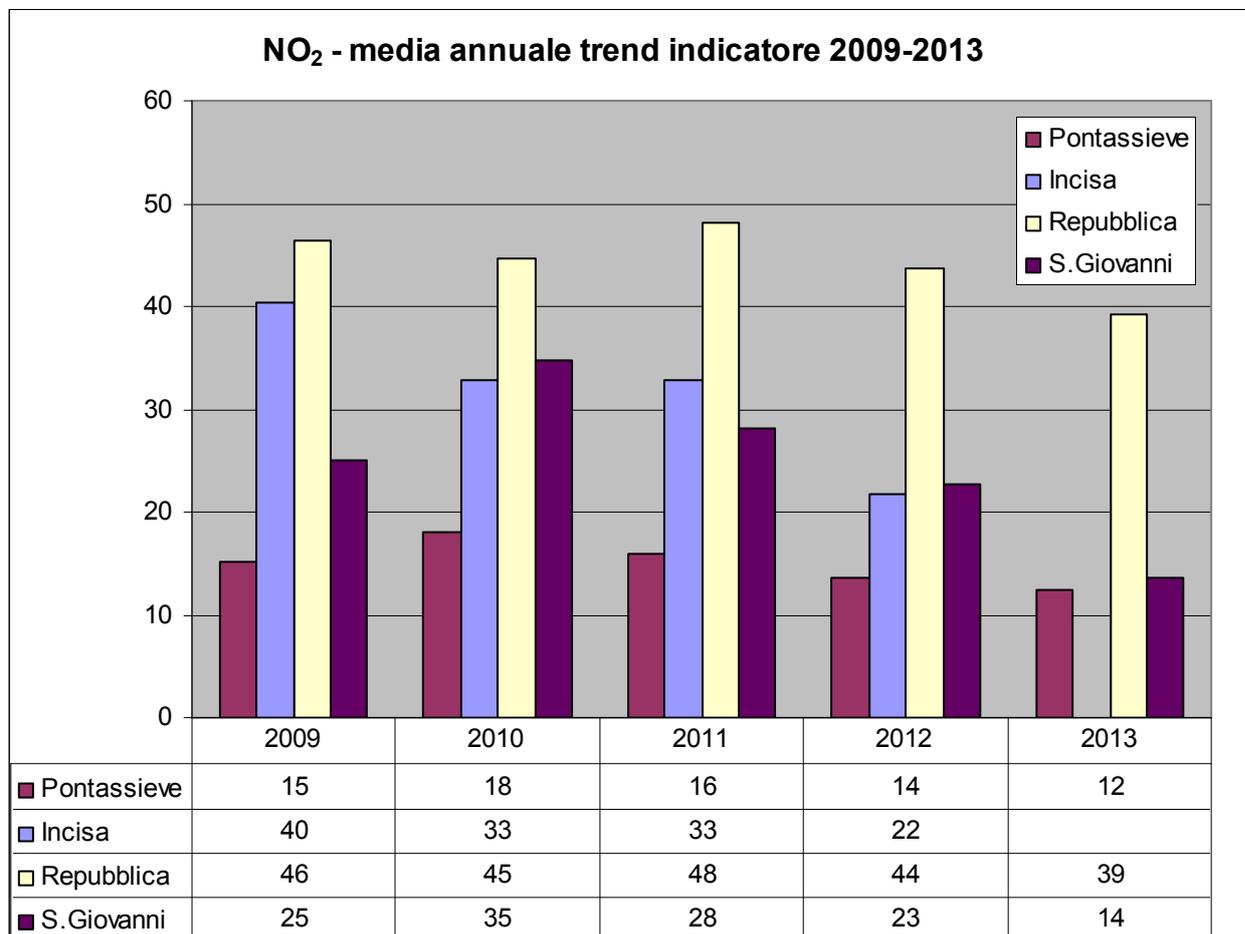
Figura 3.6 giorno tipo biossido di azoto Pontassieve



La stazione di Repubblica mostra, sia per quanto attiene l'andamento, sia per i valori, il comportamento tipico di una stazione di traffico, con due picchi di concentrazione su base giornaliera, centrati intorno alle 8 del mattino ed alle 19-20 del pomeriggio. Si può notare un andamento molto simile, su una scala di valori decisamente più bassi, nella stazione di Pontassieve che, pur essendo una stazione di fondo, ha evidentemente un contributo importante dal traffico tra le sorgenti più significative per gli ossidi di azoto. Per quanto riguarda infine le stazioni di San Giovanni ed Incisa gli andamenti orari dell'NO<sub>2</sub> sono caratterizzati dal prolungarsi del picco serale verso le ore notturne, in cui probabilmente si sommano al traffico contributi di altre sorgenti di emissione tipiche del fondo urbano, come ad esempio, nei mesi invernali, il riscaldamento.

L'andamento dell'indicatore media annuale nel quinquennio osservato è riportato nel grafico 3.7

Figura 3.7 trend media annuale biossido di azoto - NO<sub>2</sub> – 2009 - 2013



A livello di trend dell'indicatore media annuale di NO<sub>2</sub> si osserva che:

- la stazione di Pontassieve si attesta e si mantiene su valori medi decisamente bassi per tutto il quinquennio (media del periodo 15 µg/m<sup>3</sup>; -63 % del valore limite media annuale);
- la stazione di Repubblica, con leggere oscillazioni, mostra medie annuali sempre superiori al limite con un calo appena al di sotto del limite nel 2013;
- le stazioni di Incisa e San Giovanni presentano invece variazioni delle medie annuali che possono essere considerate superiori a normali variazioni statistiche e definiscono quindi veri e propri trend. In particolare, la stazione di Incisa diminuisce la propria media annuale di NO<sub>2</sub> tra il 2009 ed il 2010, rimane stabile nel 2011 per decrescere di nuovo nel 2012. La stazione di San Giovanni Valdarno aumenta in maniera molto consistente, di quasi il 40%, nel 2010 quindi diminuisce in maniera graduale, ma netta, tra il 2010 ed il 2013.

È particolarmente interessante per queste ultime due stazioni, che hanno mostrato variazioni significative nelle medie annuali, confrontare l'andamento temporale messo in evidenza per gli NO<sub>2</sub>, con quello osservato per il PM10. Si ottiene il seguente quadro di sintesi espresso per ciascun inquinante come variazione percentuale rispetto alla media annuale del 2009.

Figura 3.8 stazione San Giovanni Valdarno, trend 2010–2013 variazione percentuale rispetto alla media annuale del 2009 - biossido di azoto - NO<sub>2</sub> e materiale particolato PM10

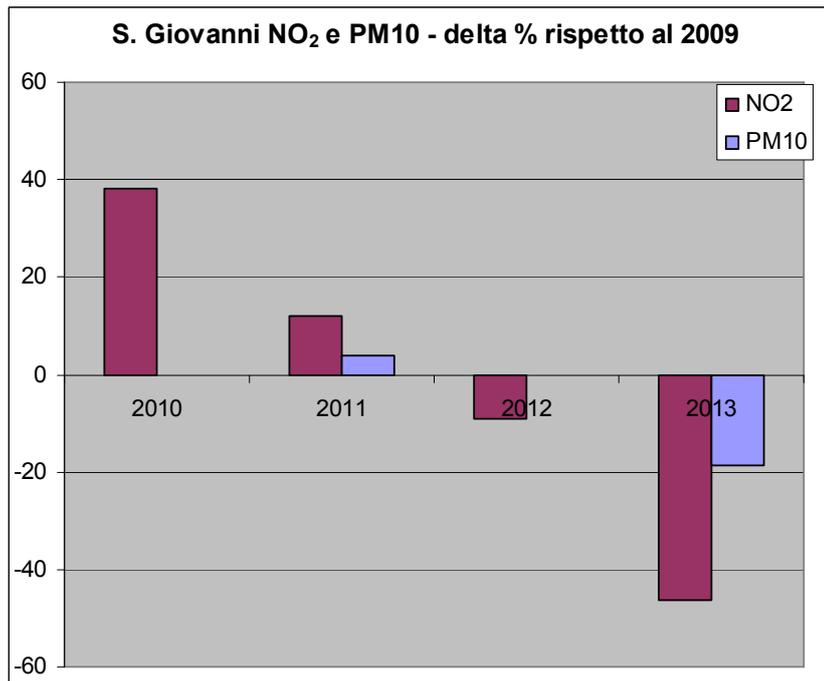


Figura 3.9 stazione Incisa, trend 2010–2013 variazione percentuale rispetto alla media annuale del 2009 - biossido di azoto - NO<sub>2</sub> e materiale particolato PM10

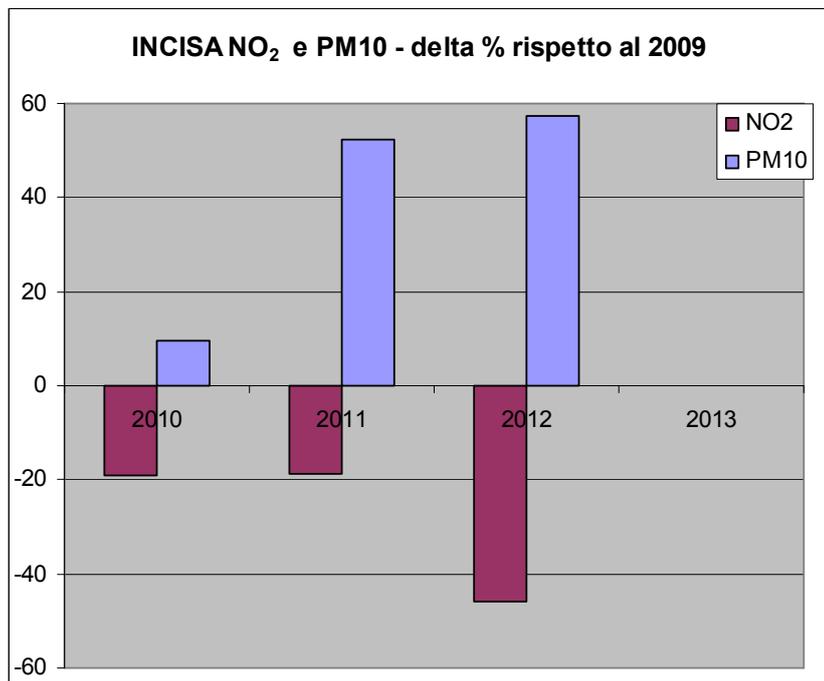


Figura 3.10 stazione Arezzo P.za Repubblica, trend 2010–2013 variazione percentuale rispetto alla media annuale del 2009 - biossido di azoto - NO<sub>2</sub> e materiale particolato PM10

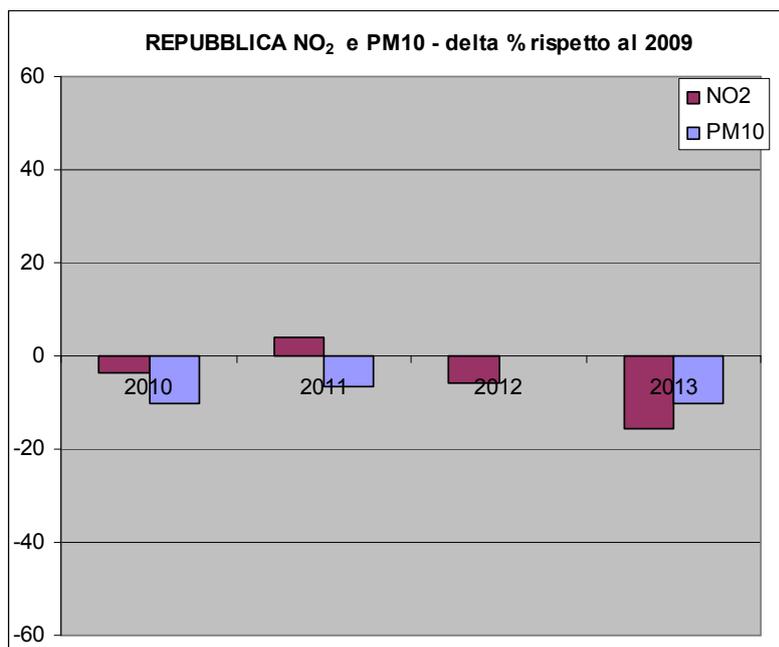
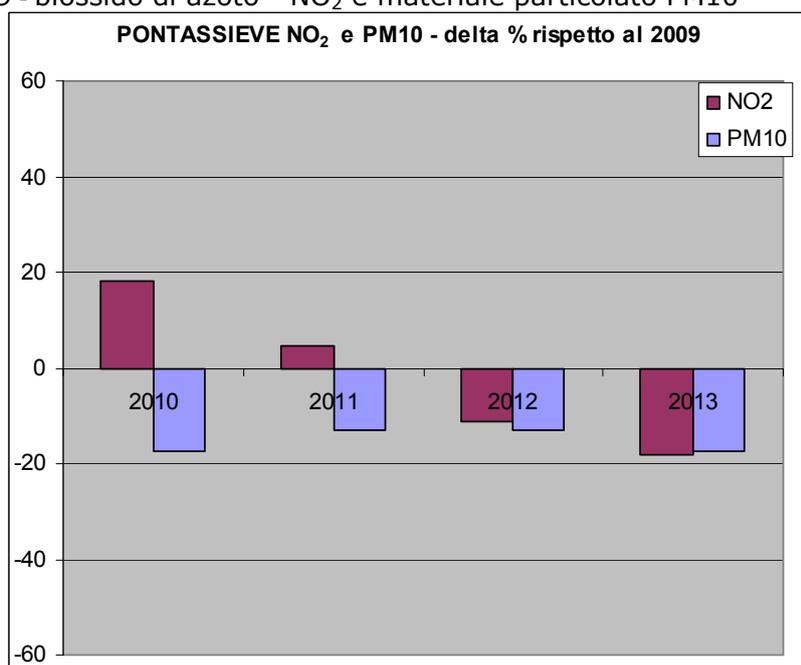


Figura 3.11 stazione Pontassieve, trend 2010–2013 variazione percentuale rispetto alla media annuale del 2009 - biossido di azoto - NO<sub>2</sub> e materiale particolato PM10



Come detto in precedenza, dall'esame degli elaborati grafici emerge che:

- per la stazione di S. Giovanni Valdarno, la media annuale di materiale particolato PM10, contrariamente all'NO<sub>2</sub>, non ha sostanzialmente un andamento caratteristico e si mantiene abbastanza stabile almeno fino al 2011;
- per la stazione di Incisa è interessante osservare una netta controtendenza tra l'andamento del PM10 e quello degli ossidi di azoto, con variazioni percentuali significative per entrambi gli inquinanti. Questa combinazione, potrebbe anche suggerire una variazione negli anni della tipologia di sorgenti di emissione che influenzano il sito di misura.
- per le stazioni di Pontassieve e Repubblica, come affermato, le variazioni annuali sono poco significative per entrambi gli inquinanti.

## Situazione meteorologica

La rete ENEL dispone anche di una stazione meteo situata nelle immediate vicinanze dell'impianto di S. Barbara. La stazione misura, su base oraria, i seguenti parametri:

Precipitazione atmosferica (mm H<sub>2</sub>O);  
Pressione atmosferica (mBar);  
Temperatura (°C);  
Umidità relativa (%);  
Direzione e velocità del vento;  
Sigma;  
Classe di stabilità;  
Radiazione globale e netta (W/m<sup>2</sup>).

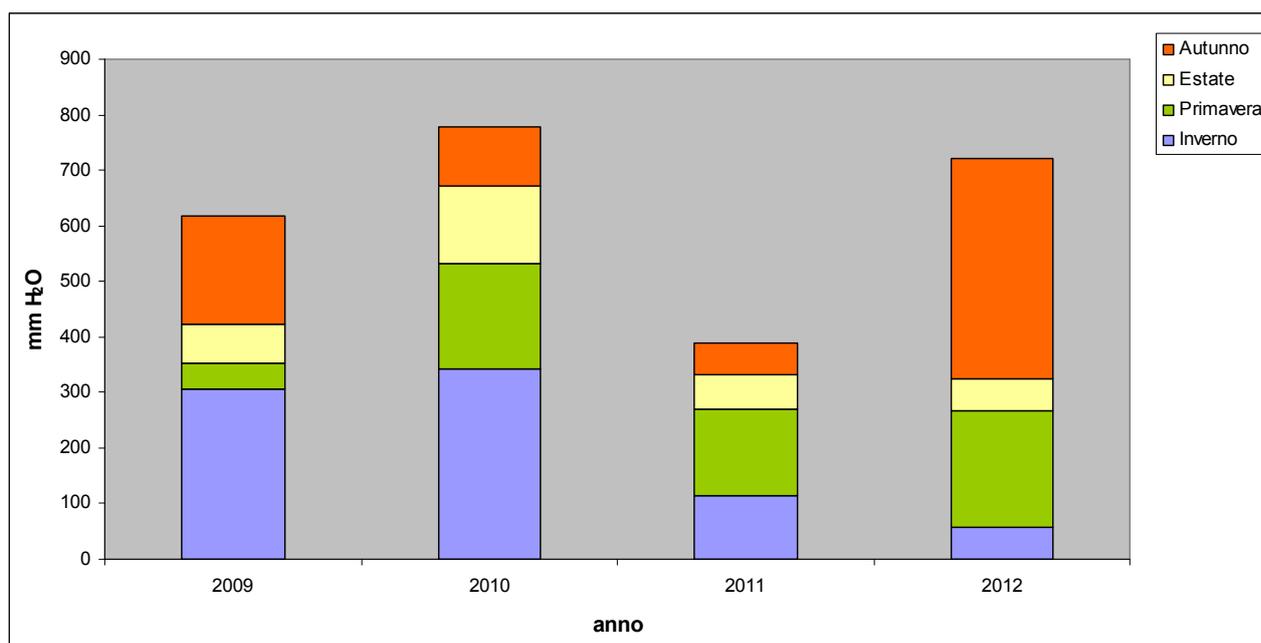
La gestione di questi dati e della stazione è completamente sotto la responsabilità di ENEL. Allo scopo del presente lavoro, sono stati resi disponibili i dati orari relativi al periodo di osservazione 2009-2012.

Non è stato possibile effettuare per la stazione una valutazione completa circa il rispetto delle condizioni di micro e macroscale, necessarie per garantire la affidabilità e rappresentatività dei dati meteorologici. Si è ritenuto tuttavia di valorizzare questa ulteriore risorsa conoscitiva esaminando i dati, pur con la sola finalità di confrontare gli anni meteorologici evidenziando, con tutte le cautele del caso, eventuali macroscopiche differenze da mettere in relazione con i trend osservati per gli inquinanti.

I rendimenti dei singoli parametri sono generalmente tra il 70 e l'80% in tutti gli anni considerati. L'unico rendimento significativamente inferiore è quello del sensore di temperatura che nel 2009 ha un rendimento al di sotto del 50%.

Per quanto riguarda le precipitazioni atmosferiche, osservando il grafico M1 è possibile notare differenze, sia nella precipitazione cumulata, che nella relativa ripartizione stagionale; in particolare gli anni 2009 ed ancor più 2011 sono stati più siccitosi rispetto agli altri, mentre gli inverni meno piovosi si sono verificati nel 2011 e 2012 sono stati più siccitosi rispetto agli altri. La precipitazione atmosferica, ha in generale un effetto di dilavamento sul materiale particolato, per cui la diversa ripartizione delle precipitazioni annuali cumulate, è sicuramente un dato di base interessante.

Figura M1 - Precipitazione cumulata annuale e ripartizione stagionale - 2009-2012



Per quanto riguarda le condizioni anemologiche, si riscontra un'impronta abbastanza riproducibile nei diversi anni, sia come classi di velocità che come classi di direzione. Nel periodo di osservazione 2009-2012, la zona del Valdarno aretino, è contraddistinta da condizioni peculiari, caratterizzate, da un lato, da ventosità debole con un numero considerevole di calme (23 % di ore con venti inferiori a 0.5 m/s) e bava di vento (circa 35% di ore con venti compresi tra 0,5 e 1 m/s), e dall'altro, da una rosa dei venti frequentemente orientata nell'asse Nord-Est - Sud-Ovest; ricorrono inoltre anche le direzioni di Sud e Sud-Sud-Ovest. Le singole rose dei venti annuali e le relative velocità sono riportate in allegato 3.

Figura M2 – Velocità del vento - Classi di frequenza

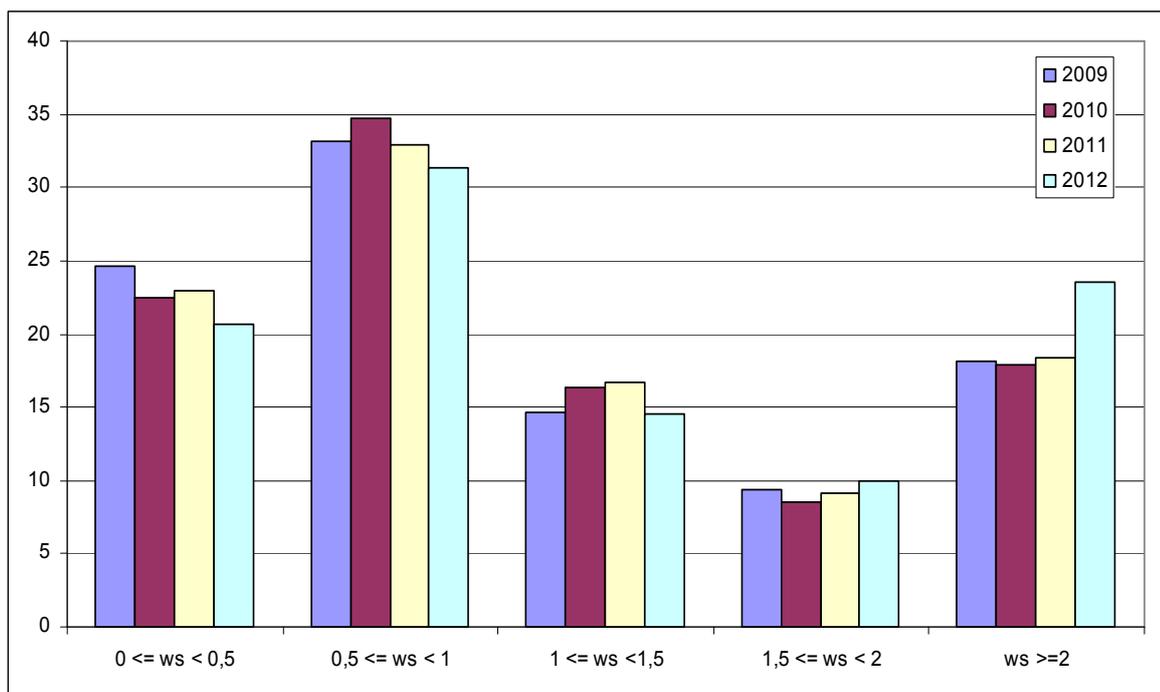
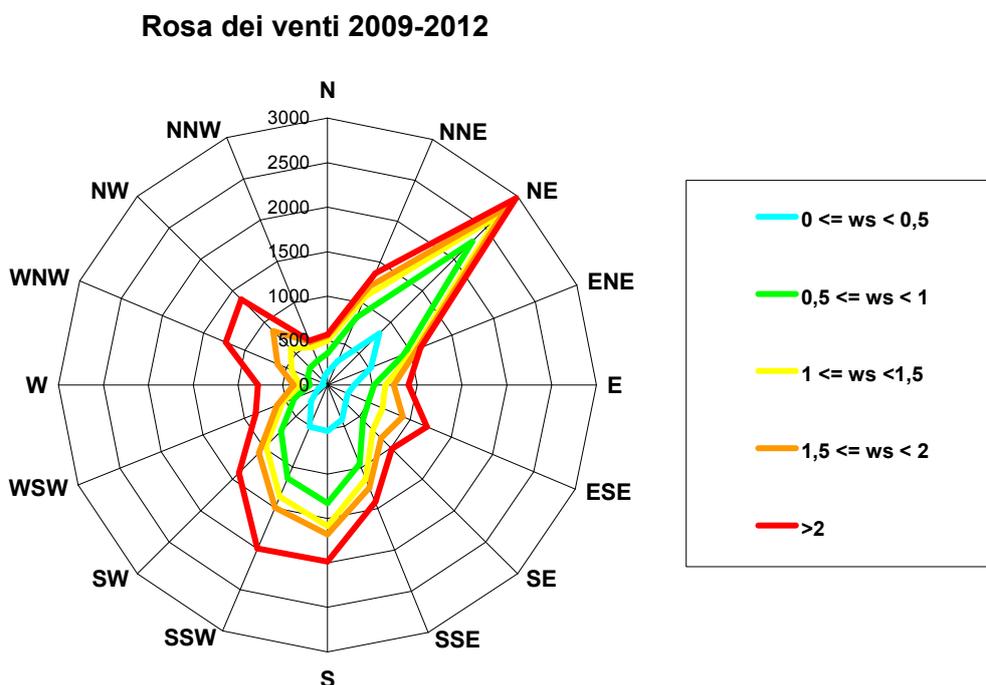
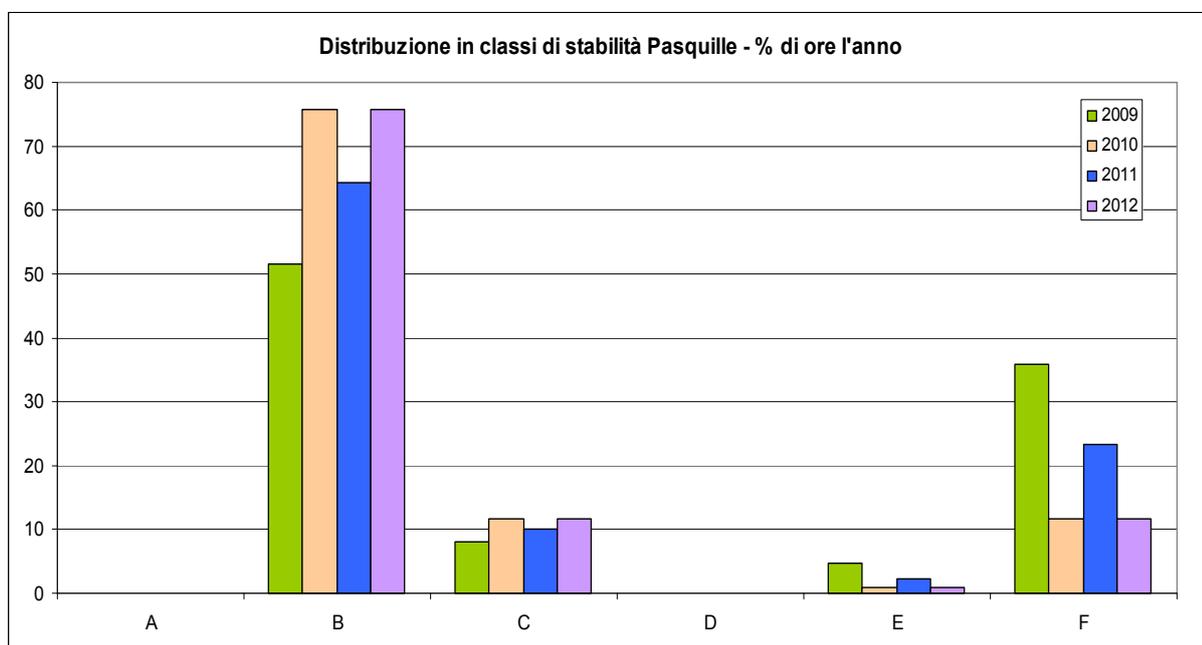


Figura M3 – Rosa dei venti 2009 -2012



La distribuzione % delle ore nelle diverse classi di stabilità secondo Pasquille è riportata in figura M4.

Figura M4 – Classi di stabilità secondo Pasquille



Una maggiore incidenza delle classi stabili, a sfavore di quelle instabili, si verifica in particolare nel 2009 e in misura minore nel 2011 e può essere indice di condizioni, nell'ambito dell'anno meteorologico, complessivamente più sfavorevoli per la dispersione degli inquinanti.

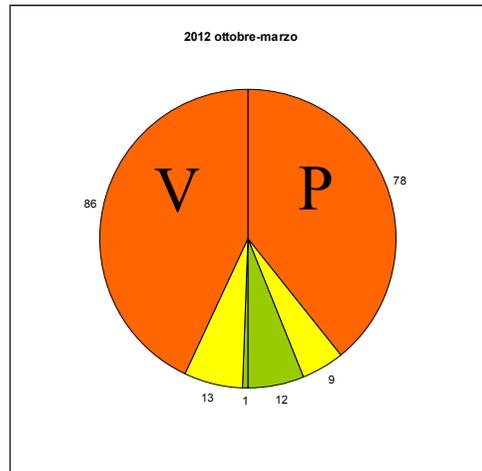
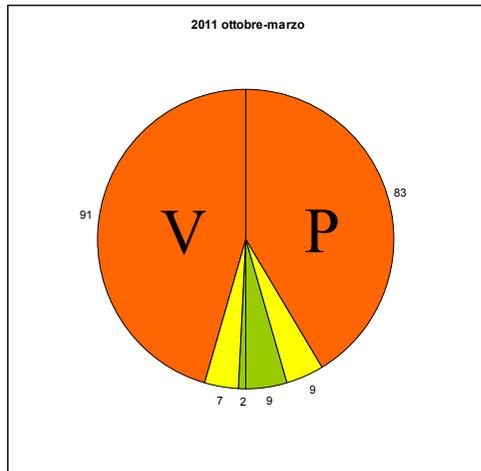
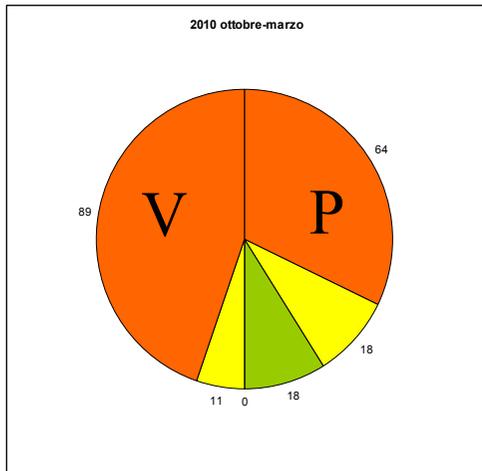
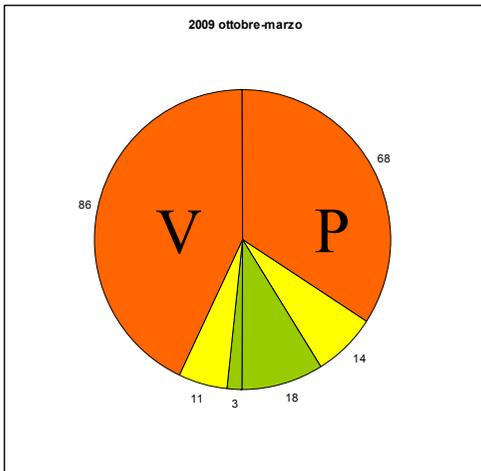
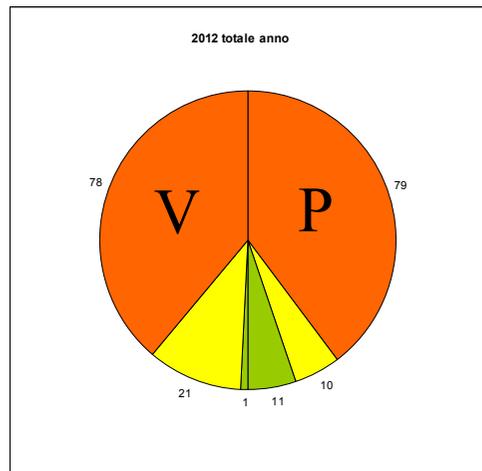
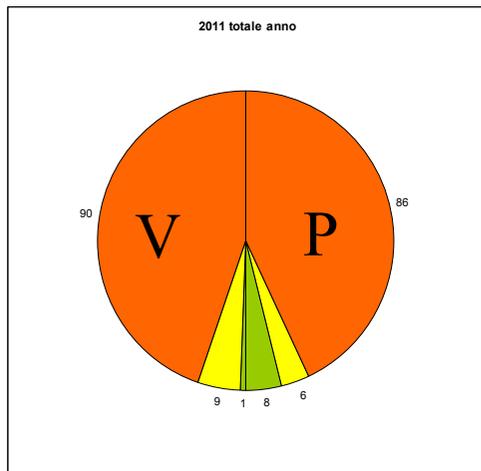
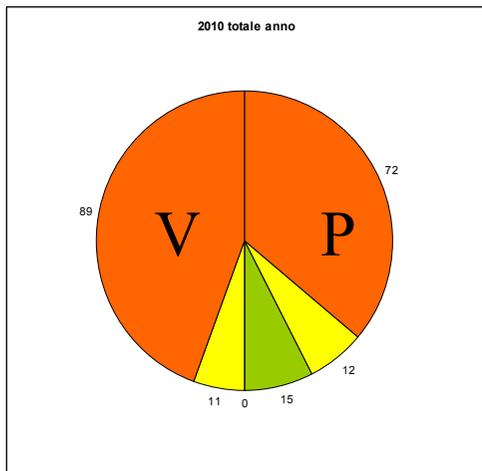
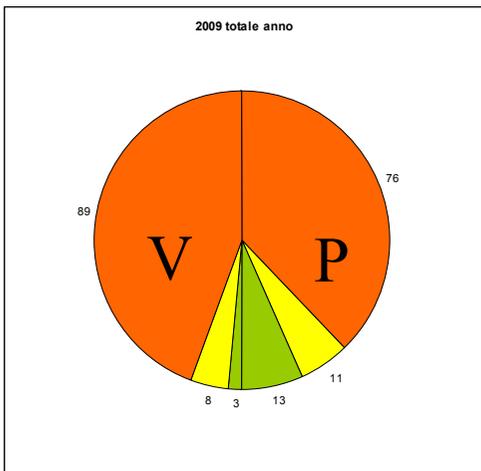
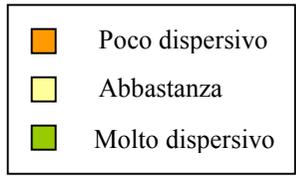
I grafici circolari presentati a pagina successiva, esprimono le percentuali di eventi giornalieri di precipitazione atmosferica e di vento, suddivisi tra favorevoli e sfavorevoli alla dispersione degli inquinanti, e sono stati elaborati secondo i seguenti criteri:

Tabella M1 – criteri di classificazione condizioni meteorologiche dispersive per precipitazione cumulata e velocità del vento

Classe	Precipitazione atmosferica cumulata mm H <sub>2</sub> O	Vento (v media m/s)
poco dispersivo	<1	<1,5
abbastanza dispersivo	1-5	1,5-3
molto dispersivo	>=5	>=3

Tali grafici, già utilizzati nel rapporto regionale di qualità dell'aria della Regione Veneto [17], permettono di visualizzare, contemporaneamente per i due indicatori, la quota di giorni dell'anno in cui si sono verificate condizioni favorevoli all'accumulo degli inquinanti in ogni anno e nel periodo ottobre-marzo nel periodo 2009-2012.

Figura M5 rappresentazione delle condizioni favorevoli all'accumulo degli inquinanti 2009 - 2012 area Valdarno aretino



Come è possibile osservare, i diversi anni meteorologici risultano abbastanza simili come distribuzione, sia per la precipitazione atmosferica, sia per il vento. Tuttavia, si può osservare, soprattutto nei grafici circolari relativi all'analisi del semestre invernale, una maggiore incidenza delle classi di precipitazione atmosferica favorevoli alla dispersione nel 2009 e nel 2010 rispetto ai due anni successivi.

### Sintesi dati meteorologici 2009 – 2102 e conclusioni

Le elaborazioni dei dati meteorologici annuali mettono in evidenza che nel periodo valutato, non si sono verificate variazioni significative della situazione meteorologica, in particolare per i dati anemologici e le classi di stabilità secondo Pasquill. Per quanto riguarda le classi di stabilità atmosferica secondo Pasquill, la classe più rappresentativa della zona si riferisce a quella instabile (classe B).

Per quanto attiene la precipitazione cumulata, velocità del vento e stabilità atmosferica, parametri che determinano variazioni significative dei livelli di concentrazione del PM10 in aria ambiente, le condizioni favorevoli al ristagno e conseguentemente all'accumulo degli inquinanti al suolo, sono state registrate:

- 2009 e 2012 per la precipitazione cumulata
- 2011 2012 per la presenza di inverni più siccitosi,
- nell'anno 2010 per la velocità del vento (maggiori frequenze relative alle calme e bava di vento),
- nell'anno 2009 per quanto attiene la classe di stabilità (maggiori frequenze per la classe stabile F).

Queste valutazioni sono sintetizzate nella tabella M2 da cui risulta evidente che le condizioni più critiche si verificano in maniera indipendente per ciascun parametro meteorologico nei diversi anni del periodo di osservazione, e non possono pertanto fornire informazioni definitive rispetto agli andamenti osservati per il PM10.

Tabella M2 – presenza di condizioni favorevoli all'accumulo nei diversi anni meteorologici

	2009	2010	2011	2012
Piovosità totale				
Piovosità (inverno)				
Vento				
Classi di stabilità				

Ulteriori elaborazioni dei dati meteorologici sono mostrate in allegato 3.

### 3.2 Valutazione statistica PM10 2009 - 2014

Per ogni anno di osservazione sono riportati gli indicatori calcolati sui dati registrati da ciascuna stazione di misurazione presente nell'area del Valdarno e, come termine di confronto, dell'area urbana di Arezzo.

Essendo la stazione di Arezzo Acropoli, attiva per la misurazione del PM10, dalla metà dell'anno 2013, per avere un'informazione il più possibile completa, è stata presa in considerazione anche la stazione di Arezzo Repubblica che, è opportuno ricordare, è classificata come urbana traffico.

Le correlazioni tra i dati delle diverse stazioni, effettuata a coppie, sono valutate attraverso la combinazione di 3 indici statistici: l'indice di correlazione di Pearson, l'indice di concordanza di Lin, ed il coefficiente di correlazione tra differenza e media.

Da letteratura [12] la combinazione di questi 3 indici è stata utilizzata nell'ambito di studi epidemiologici come indicatore di qualità per caratterizzare l'omogeneità dell'esposizione; questa metodologia è stata adottata anche nel presente studio per valutare l'eventuale omogeneità dei livelli di PM10 tra le tre diverse aree della zona Valdarno aretino e Valdichiana.

È importante considerare che questa trattazione statistica, che si basa su varianza e covarianza come indici della dispersione dei dati, presuppone errori simili nelle serie di misura. Se questo requisito può considerarsi rispettato per quanto riguarda le stazioni di misura ARPAT che sono gestite in modo uniforme, nel confronto con i dati di reti diverse e quindi in particolare nel confronto con i dati della rete ENEL **non è escluso che una componente di diversa incertezza sulle misure influenzi il valore degli indici, indipendentemente dal livello di inquinamento rappresentato.**

L'indice di correlazione di Pearson esprime la linearità delle misure nelle 2 stazioni prese a riferimento; un'alta correlazione indica il fatto che le graduatorie di valori sono rispettate, le due stazioni di misurazione sono in fase e i valori sono ragionevolmente concentrati intorno alla retta di regressione. Una differenza sistematica tra le misurazioni di due stazioni di misurazione non altera il valore dell'indice di correlazione di Pearson. Statisticamente, date due serie di misure  $Y_1$  e  $Y_2$ , è dato dalla formula:

$$r_{Pearson} = \frac{Cov(Y_1, Y_2)}{\sqrt{Var(Y_1) * Var(Y_2)}}$$

L'indice di correlazione dovrebbe essere il più possibile vicino ad 1. Ai fini del presente studio, si è assunto un valore pari a 0,75 come soglia di accettabilità per una buona correlazione.

L'indice di concordanza di Lin misura quanto le coppie di valori giornalieri si discostino dalla bisettrice (pendenza=1 e intercetta=0), che costituisce la retta ideale relativa al caso in cui due stazioni rappresentino esattamente lo stesso livello con la massima accuratezza e riproducibilità. Un basso coefficiente di Lin nella situazione in cui si abbia un alto indice di correlazione indica che i livelli in prossimità delle due stazioni di misurazione sono mediamente diversi.

Infatti matematicamente il coefficiente di Lin, contiene al denominatore un termine che tiene conto della differenza tra i valori medi, secondo la formula:

$$r_{Lin} = \frac{2 * Cov(Y_1, Y_2)}{Var(Y_1) + Var(Y_2) + (\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2)^2}$$

Anche nel caso del coefficiente di Lin il valore ideale è 1 e la correlazione è da considerarsi migliore tanto più il coefficiente si avvicina a questo valore. In relazione alla sua definizione matematica, il coefficiente di Lin è sempre più basso di quello di Pearson. Analogamente all'indice di Pearson si è scelta quindi una soglia di accettabilità pari a 0,75.

L'indice di correlazione tra differenza e media, fornisce informazioni nel caso specifico, che frequentemente si riscontra nel confronto tra serie di dati di qualità dell'aria, in cui pur essendo le due serie perfettamente in fase, una mostri oscillazioni di ampiezza molto maggiore dell'altra. Tale indice si calcola come il coefficiente di correlazione di Pearson sulle due serie date dalla differenza e dalla media di due dati giornalieri. La differenza e la media risulteranno correlate nel caso in cui sussista questa differenza nelle oscillazioni per cui un valore ideale di questo coefficiente per serie simili è un valore basso, il più possibile vicino a zero. Per coerenza con la scelta di 0,75 come soglia inferiore di correlazione si è assunto un valore di 0,25 come soglia superiore per l'indice di correlazione tra differenza e media. Tale soglia è da considerarsi estremamente cautelativa perché anche valori superiori, almeno fino a 0,5 non possono sicuramente essere considerati indicativi di una correlazione tra differenza e media.

Un elemento di cui occorre tener conto è che le due serie media e differenze possono essere calcolate solo per i giorni in cui sono contemporaneamente presenti i dati di entrambe le stazioni di misurazione. Considerando i rendimenti e conseguentemente i periodi di mancanza di dati, i quali possono essere diversi per ogni stazione di misurazione, si potrebbero avere per ogni coppia di stazioni, serie di dati diversi, su cui l'indice di correlazione differenza media può essere calcolato. Per uniformità, gli indici di Pearson e Lin sono stati calcolati sullo stesso insieme di dati.

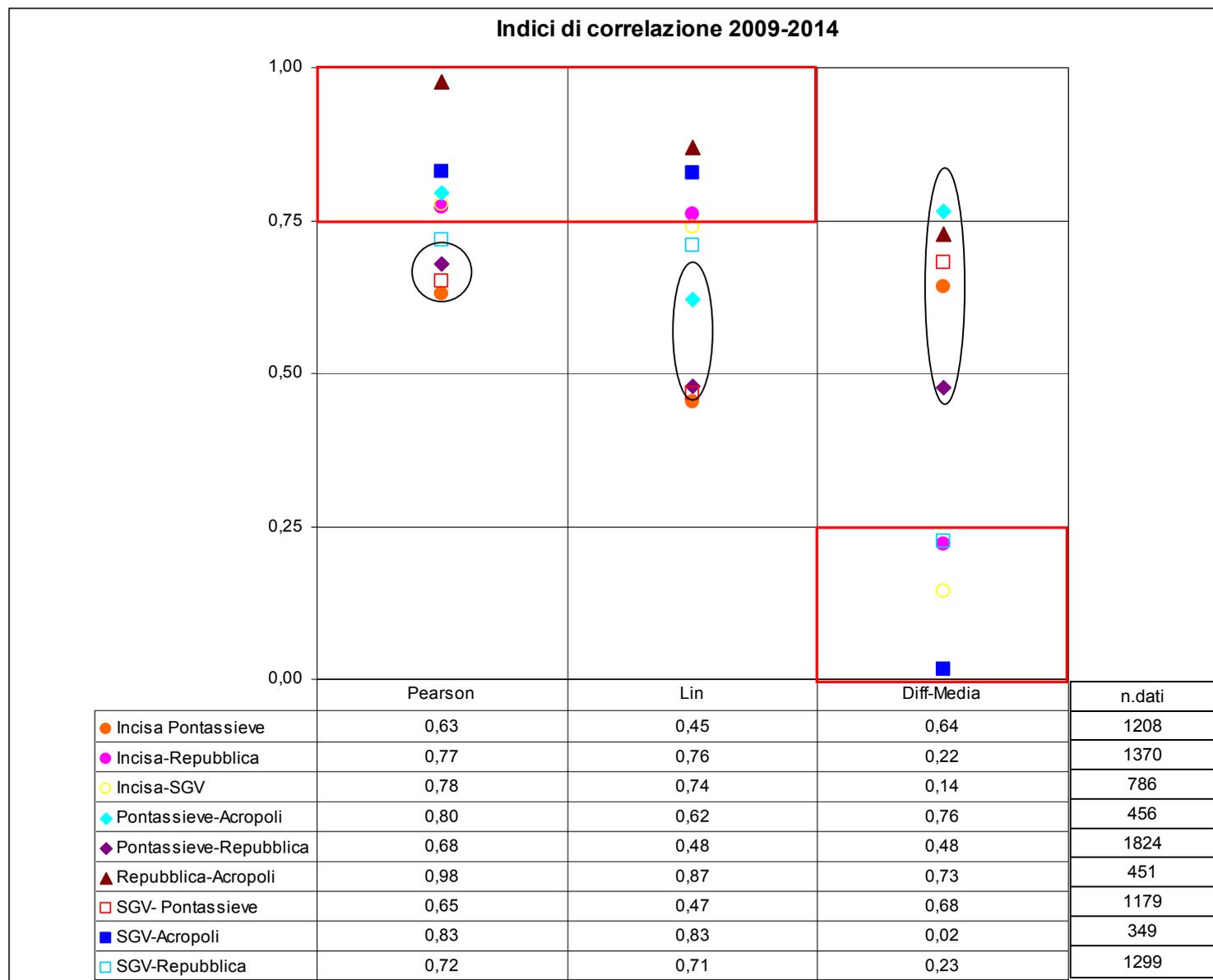
Per una buona analisi statistica è preferibile prendere in considerazione un numero elevato di dati trattando l'intera serie relativa al quinquennio nel suo complesso.

Osservando i dati delle stazioni disponibili sull'area del Valdarno si è potuto tuttavia constatare una diversa evoluzione degli andamenti nella finestra temporale di interesse; per questo motivo, unitamente al fatto che gli indicatori di legge per il PM10 sono calcolati su base annuale, si è scelto di effettuare anche un'analisi statistica su ciascun anno separatamente, oltre ad un'analisi complessiva riferita ad una base di dati più consistente e pertanto più significativa. Tutti i dettagli della trattazione relativa a ciascun anno, sono valutati separatamente in allegato 2.

La trattazione più dettagliata, su scala annuale, ha permesso di riconoscere alcune incongruenze e di effettuare operazioni di omogeneizzazione della base dati iniziale per una più corretta valutazione degli indici statistici.

In figura 3.12 sono riportati i risultati ottenuti, per ciascuna coppia di stazioni, degli indici di Pearson, Lin e di Pearson sulle serie della differenza e della media. Per ciascuna coppia di stazioni sono riportati il numero di dati disponibili nel periodo considerato per il calcolo degli indici.

Figura 3.12 Indici di correlazione Pearson, Lin e Differenza-Media anni 2009 - 2014

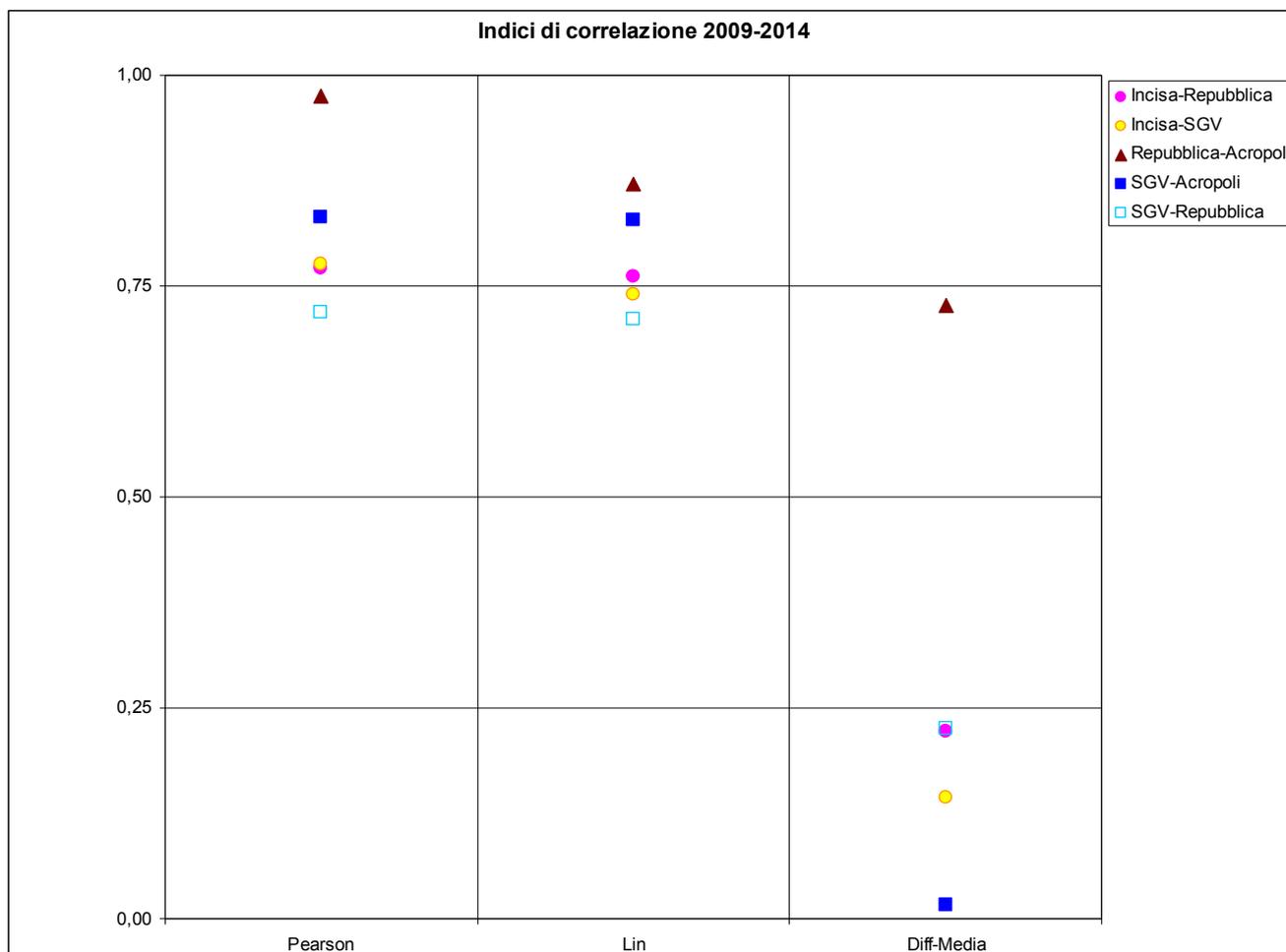


Cominciando ad esaminare le correlazioni dall'indice di Pearson, si individua un ampio gruppo nella fascia ottimale di correlazione. La coppia di stazioni S. Giovanni Valdarno, Repubblica si colloca appena al di sotto della fascia ottimale con valori di correlazione, superiori a 0,70, da considerare comunque buoni.

I tre punti con indice di Pearson inferiore si riferiscono alla stazione di Pontassieve, che dunque si distingue subito, già a questa prima analisi, dalle altre stazioni del Valdarno aretino. Come detto, la stazione di Pontassieve, ha valori di concentrazione sia medi, che massimi, decisamente più bassi delle altre stazioni dell'area Valdarno aretino; questa situazione si ritrova rappresentata negli indici di correlazione. L'indice di Lin conferma questa mancanza di correlazione anche rispetto all'inquinamento medio misurato, mentre l'indice Differenza-Media, dando evidenza della correlazione tra la serie della differenza e della media (tanto più elevata la concentrazione media delle due serie, tanto maggiore la differenza), rappresenta la diversa sensibilità della serie di Pontassieve agli episodi di picco. Le valutazioni sull'indice di Lin e l'indice Differenza-Media si estendono in maniera completamente analoga anche alla coppia Pontassieve-Acropoli, che pure mostra una buona correlazione generale secondo Pearson.

Una volta separata la stazione di Pontassieve che mostra quindi avere un comportamento peculiare, e cioè differenziato verso valori più bassi, sia rispetto alle altre stazioni del Valdarno che rispetto a quelle dell'area di Arezzo, si osserva il quadro di figura 3.13.

Figura 3.13 Indici di correlazione Pearson, Lin e Differenza-Media anni 2009 - 2014 stazioni di misurazione Incisa, San Giovanni Valdarno, Ar-Repubblica, Ar-Acropoli



Si può apprezzare per tutte le coppie di stazioni, una correlazione, a seconda dei casi, da buona a ottima. La miglior correlazione Pearson e Lin è quella tra le stazioni Repubblica e Acropoli, per le quali si registra allo stesso tempo, un alto coefficiente tra differenza e media. Questo fatto rappresenta molto bene quanto già messo in evidenza nella sezione 2. Le due stazioni, pur essendo di diversa classificazione, sono molto ben correlate e rappresentano gli stessi livelli di PM10. La diversa classificazione delle due stazioni, si riflette nel valore dell'indice Differenza-Media, da cui si deduce che una delle due serie (e cioè Repubblica) presenta nelle situazioni di criticità picchi di concentrazione più elevati.

Tutti e 3 gli indici mostrano una correlazione dei livelli misurati per le coppie di stazioni:

- Incisa/San Giovanni
- Incisa/Repubblica
- San Giovanni Valdarno/Repubblica
- San Giovanni Valdarno/Acropoli

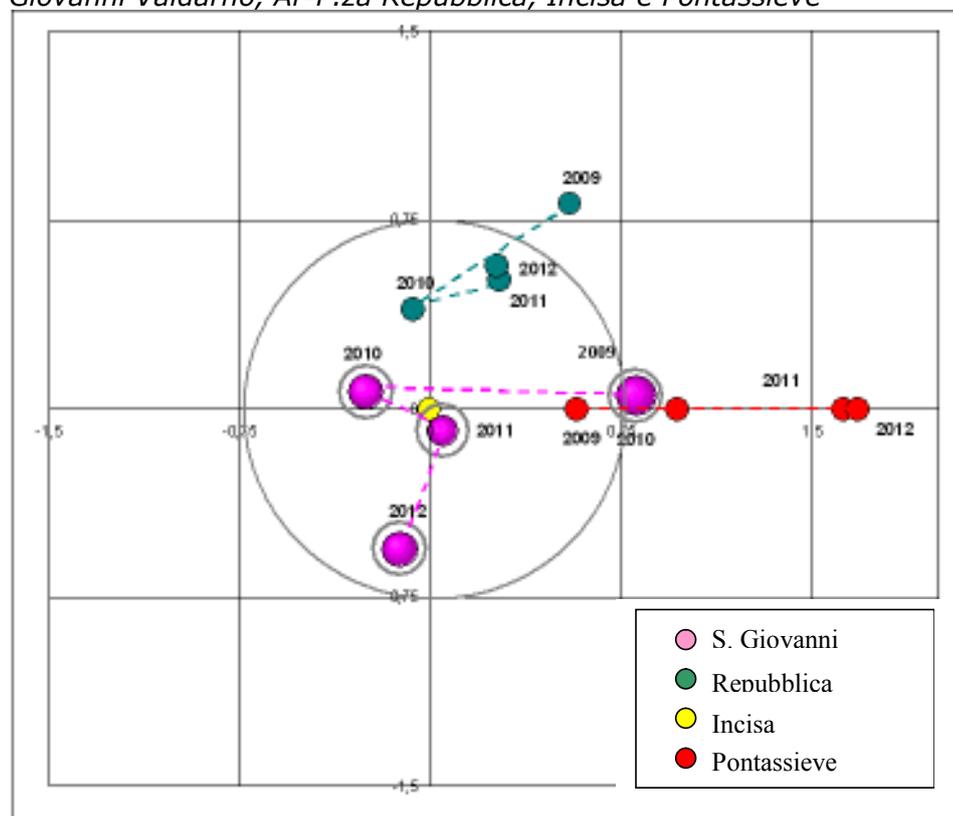
Poiché per alcune stazioni di misurazione i livelli di concentrazione di materiale particolato PM10 hanno presentato variazioni significative nell'intero periodo di osservazione esaminato, al fine di presentare le conseguenti variazioni delle correlazioni nonché dei tre indici statistici calcolati, è stata definita una funzione distanza, dipendente dagli indici stessi, che ha permesso da passare da una rappresentazione a coppie di punti, ad una rappresentazione complessiva

delle stazioni, riferite a punti in uno spazio a tre dimensioni; al fine di facilitarne la comprensione, invece che una elaborazione tridimensionale, le figure 3.14 e 3.15 rappresentano la funzione distanza in un piano cartesiano, nel quale la distanza della stazione di San Giovanni Valdarno, è data dalle dimensioni del punto. La funzione distanza aumenta quando gli indici di Pearson e Lin sono bassi e la correlazione tra differenza e media è alta; ciò significa che minore è la distanza, più vicini sono i punti, e più sono correlate le stazioni. Come riferimento, è stata considerata una distanza di 0,75 come distanza "limite" per la correlazione tra due stazioni; elaborazioni approfondite di questa funzione sono presentate nell'allegato 2. E' stata definita inoltre una stazione di riferimento per l'elaborazione dei valori della funzione distanza delle altre stazioni di misurazione; per il periodo 2009-2012 è stata prescelta la stazione di Incisa, mentre per il biennio 2013-2014, poiché la stazione di Incisa è stata dismessa nell'anno 2013, è stata prescelta la stazione di Arezzo Acropoli.

Nel grafico, è tracciata, sempre come grandezza orientativa, una circonferenza di raggio 0,75 valore assunto come riferimento per la valutazione di coerenza della funzione distanza.

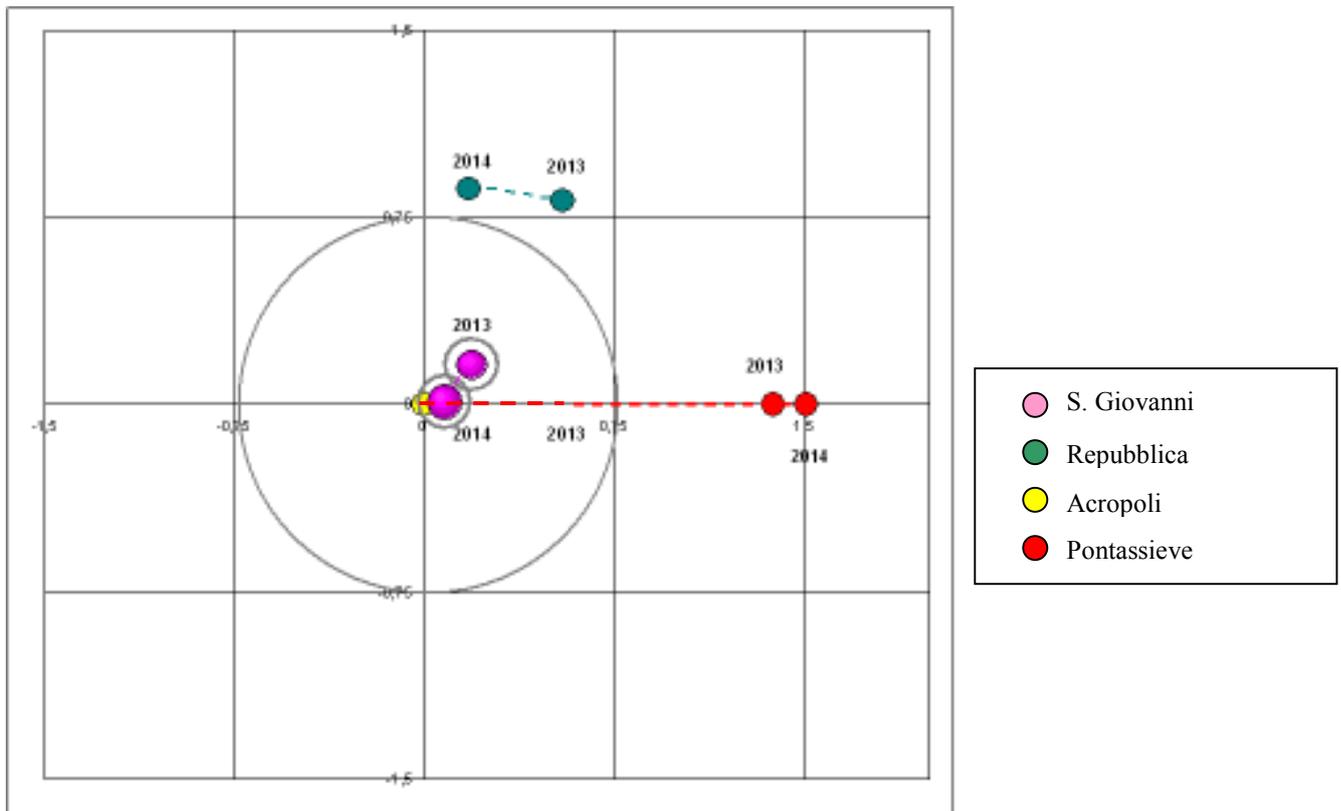
Lo sviluppo temporale 2009-2012 e 2013-2014 è presentato nelle figure 3.14 e 3.15 mostrate di seguito.

Figura 3.14 Trend grafico funzione distanza anni 2009-2012 stazioni di misurazione di San Giovanni Valdarno, Ar-P.za Repubblica, Incisa e Pontassieve



L'elaborazione grafica mette bene in rilievo le variazioni annuali della funzione distanza relativa alle stazioni di misurazione, in rapporto alla stazione di riferimento di Incisa, risulta di particolare rilievo la progressiva riduzione del grado di correlazione della stazione di Pontassieve, e per contro, si rileva un tendenziale incremento del grado di correlazione delle stazioni di Arezzo P.za Repubblica e San Giovanni Valdarno.

Figura 3.15 Trend grafico funzione distanza anni 2013-2014 stazioni di misurazione di San Giovanni Valdarno, Ar-P.za Repubblica, Pontassieve ed Ar-Acropoli



Nel biennio 2013 – 2014 i rapporti tra le stazioni sostanzialmente non cambiano. Il quadro rappresenta una chiara correlazione tra la Stazione di San Giovanni Valdarno ed Arezzo Acropoli. La stazione di Repubblica, nonostante gli alti valori di Pearson, non rientra nel raggio di correlazione a causa del maggiore contributo della sorgente traffico. Pontassieve, l'altra stazione di fondo dell'area Valdarno aretino, continua a mostrarsi, come visto nell'elaborazione precedente, diversamente caratterizzata, sia dalle altre stazioni del Valdarno, che dalle stazioni dell'area urbana di Arezzo.

## Valutazioni conclusive

Alla luce dei risultati ottenuti si possono trarre le seguenti considerazioni.

Tra le stazioni prese a riferimento per l'area occorre distinguere la stazione di Pontassieve, la più a Nord delle stazioni lungo l'alto Valdarno, che si trova proprio sull'ansa del fiume nella sua deviazione ad ovest verso Firenze, ed appena al di fuori della zona del Valdarno aretino e Val di Chiana. Questa stazione segna proprio il confine dell'area esaminata e, probabilmente per la sua collocazione in zona più aperta, mostra andamenti simili a quelli della valle, ma valori decisamente inferiori.

Le altre due stazioni, pur essendo gestite da soggetti diversi (ARPAT e ENEL), hanno dati ben correlati, idonei quindi a rappresentare il Valdarno.

Mentre la stazione di Incisa è stata dismessa a fine 2012, la stazione di San Giovanni Valdarno ha serie dati sovrapposte con il PM10 di Arezzo Acropoli, installato a metà del 2013.

La correlazione tra la stazione di San Giovanni Valdarno e quella di Acropoli risulta ottima, tanto che fermandosi ad una prima valutazione si potrebbe concludere che l'area del Valdarno sia rappresentata dalla stazione di Acropoli. Occorre tuttavia tornare a sottolineare, come già accennato in introduzione, che la stazione di San Giovanni Valdarno, ha registrato un abbassamento della media annuale di PM10 proprio nell'anno 2013, avvicinandosi così ai valori di Acropoli (andamento confermato anche dai dati relativi all'anno 2014).

Va infatti considerato che negli anni precedenti la stazione di San Giovanni Valdarno, e ancora meglio la stazione di Incisa, correlano con la stazione di Repubblica e quindi rappresentano livelli di PM10 più alti di quello che si può presumere fosse il fondo urbano dell'area aretina dello stesso periodo.

I trend temporali di tutte le stazioni dell'area Valdarno mostrano alcune forti discontinuità negli anni non completamente spiegabili con l'andamento degli altri inquinanti né con variazioni generali delle condizioni meteorologiche tra anni. La robustezza delle elaborazioni statistiche riportate non può essere verificata in quanto la base dati presenta problemi di completezza delle serie di dati e possibili criticità derivanti da eventuali differenze nella gestione non uniforme della strumentazione (gestione ARPAT e gestione ENEL). Quest'ultimo aspetto non è verificabile pertanto al momento non sussistono elementi sufficienti per definire che la stazione di Arezzo Acropoli rappresenti adeguatamente i livelli di PM 10 dell'area del Valdarno.

Si considera dunque auspicabile, prima di poter concludere che la stazione di Arezzo Acropoli possa rappresentare l'intera area del Valdarno aretino, poter proseguire l'osservazione statistica delle serie prodotte, a partire da una gestione omogenea delle stazioni di misurazione, che potrebbe realizzarsi con la gestione da parte di ARPAT delle stazioni appartenenti alla rete ENEL.

## Conclusioni

### Valdichiana

Il contesto di aria ambiente messo in rilievo dalle due campagne di misurazione indicative (Castiglion Fiorentino e Camucia – Cortona) effettuate nella Valdichiana con l'autolaboratorio è caratterizzato dalla piena conformità ai valori limite fissati a tutela della salute umana per tutti i parametri misurati; si rileva inoltre una sostanziale continuità dei contesti dell'aria ambiente riferiti alle zone di fondo urbano.

Per ciascun sito di misura è stato effettuato il calcolo dell'indice  $\beta$ . Questo indice consente di valutare la rappresentatività dei siti individuati in Valdichiana mediante la relativa analisi e la determinazione della variabilità spaziale su raggi crescenti (o buffer) dai 2 a 10 chilometri. L'analisi ha messo in evidenza la somiglianza nel valore dell'indice  $\beta$  tra le due postazioni (es.: buffer 5 Km: Castiglion Fiorentino = 0,030 – Camucia Cortona = 0,032), riconducibili sostanzialmente a due fattori: da una parte l'uniformità dell'uso del suolo nell'area, e dall'altra, l'utilizzo degli stessi potenziali emissivi per ciascuna classe di uso del suolo che è diretta conseguenza dell'appartenenza alla stessa zona individuata dalla DGRT 1025/2010 (Valdarno aretino e Valdichiana). La postazione di Arezzo Acropoli, che rappresenta il sito di riferimento del presente studio, si colloca su valori di  $\beta$  più alti per il maggior peso delle sorgenti di emissione presenti nell'area urbana (es.: buffer 5 Km = 0,056).

I dati di PM10 delle misurazioni indicative forniscono una prima base di informazioni sui livelli medi di materiale particolato PM10, i quali risultano praticamente simili a quelli registrati dalla stazione fissa di rete regionale di Arezzo – Acropoli; questa assimilazione è da ritenersi cautelativa per quanto riguarda l'area della Valdichiana, in particolare per quanto riguarda i livelli massimi, perché l'area urbana di Arezzo e la relative zone di fondo, è contraddistinta da sorgenti di emissione più significative. Effettivamente, nei giorni caratterizzati dall'incremento rilevante dei livelli di concentrazione, in entrambe le postazioni di misurazione della Valdichiana sono stati registrati valori medi giornalieri di PM10 sempre inferiori a quelli della stazione fissa di Arezzo – Acropoli (mediamente -21 %). Se pertanto gli indicatori di materiale particolato PM10 sono conformi ai relativi valori limite nella stazione di Arezzo Acropoli (popolazione di Arezzo è circa 100.000 abitanti su una superficie comunale di 386,25 km<sup>2</sup> e urbana di 15,135 km<sup>2</sup>) è fondato ritenere che siano rispettati, a maggior ragione, anche nell'area della Valdichiana.

### Area Aretina

Per quanto attiene le zone di fondo dell'area urbana di Arezzo, nel primo biennio di misurazione del materiale particolato PM10 nella stazione di Acropoli, i relativi valori medi hanno presentato valori conformi ai relativi valori limite (media annuale 2013: -48 % del relativo valore limite) ed una forte coerenza ai valori registrati nella precedente campagna di misurazione indicativa effettuata con l'autolaboratorio nel periodo di osservazione 2005-2006. Si rileva inoltre una buona correlazione con la stazione di traffico di P.za Repubblica, si sottolinea tuttavia che la stazione da traffico risente in maniera significativa dei livelli di picco relativi alle sorgenti di emissione riferiti al traffico autoveicolare.

Attraverso il calcolo dell'indice  $\beta$ , la stazione di Acropoli, risulta rappresentativa in un raggio di 5 km; il valore dell'indice, decresce all'aumentare del raggio del buffer mantenendosi entro il 30% del valore iniziale, fino a 5 km. Il buffer è interamente contenuto entro i confini del comune di Arezzo e copre la parte più popolata dell'estesa superficie comunale, in una percentuale pari al 20% del totale. L'area di rappresentatività così stimata è interamente contenuta entro i confini del comune di Arezzo e copre la parte più popolata dell'estesa superficie comunale, di cui costituisce il 20%, comprendendo interamente l'area urbana del capoluogo.

## Valdarno

Ottima la correlazione dei parametri statistici (Pearson = 0,83 – Lin = 0,83 riferimento = 1. Differenza-Media = 0,02 Riferimento = più vicino a 0) registrata nel biennio 2013-2014 fra la stazione di San Giovanni Valdarno (stazione urbana-traffico appartenente alla rete ENEL Santa Barbara – Cavriglia) e quella di rete regionale di Arezzo – Acropoli; si evidenzia tuttavia, che la coerenza si riferisce solo all'ultimo biennio, e che precedentemente, la correlazione era significativa con la stazione di P.za Repubblica, stazione influenzata dalle emissioni del traffico autoveicolare e pertanto caratterizzata da livelli di concentrazione più elevati.

La base di dati iniziale raccolta al fine delle conclusioni presentate sopra, fornisce prime indicazioni sulle correlazioni dei livelli medi di PM10 del Valdarno, sarebbe pertanto necessario, al fine di concludere che la zona del Valdarno aretino possa essere rappresentata dalla stazione di Arezzo Acropoli, ampliare le serie di dati relative allo studio con ulteriori misurazioni negli stessi siti fissi.

E' da considerare inoltre, che la zona del Valdarno aretino é densamente abitata (circa 4,5 volte più elevato dell'intera Provincia di Arezzo) e che pertanto, a prescindere dalla correlazione con l'area urbana di Arezzo, al fine di valutare l'esposizione media agli agenti inquinanti dell'aria ambiente della popolazione del Valdarno, sarebbe auspicabile l'attivazione di almeno un sito fisso nella zona (Rete ENEL / stazione Incisa), in particolare in zona di fondo urbano.

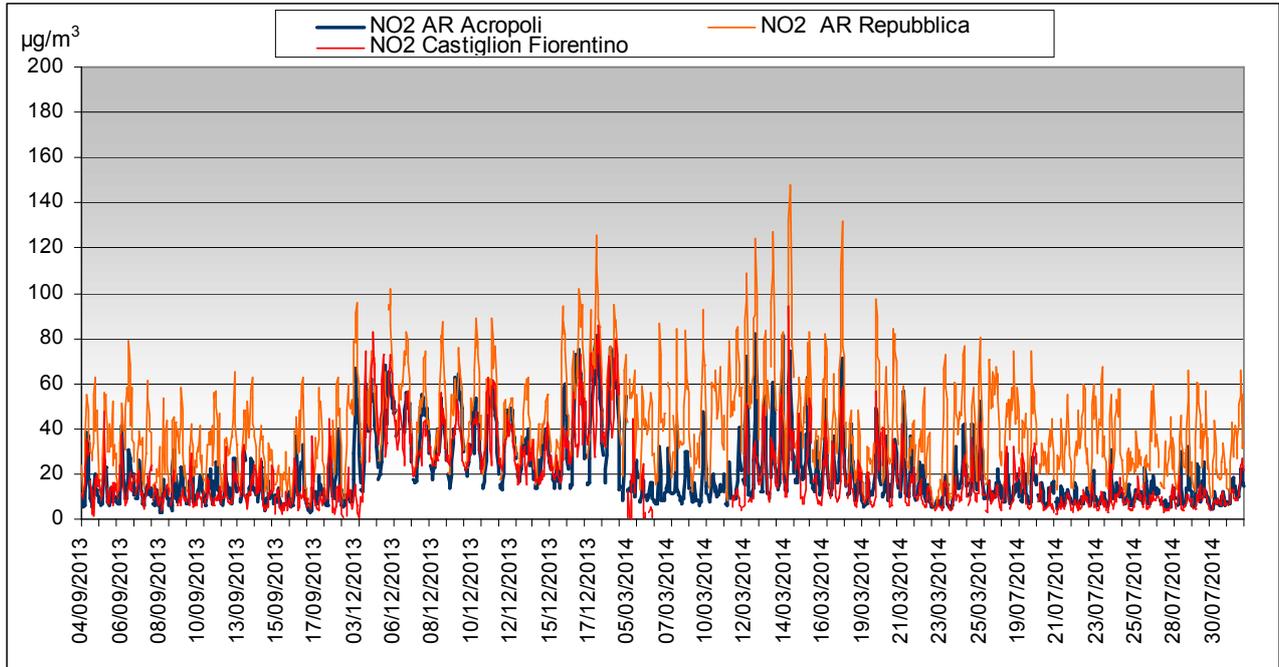
# Allegato 1 Elaborazioni integrative dati campagne

## I.1 Confronto con gli andamenti registrati dalle stazioni fisse

### Castiglion Fiorentino

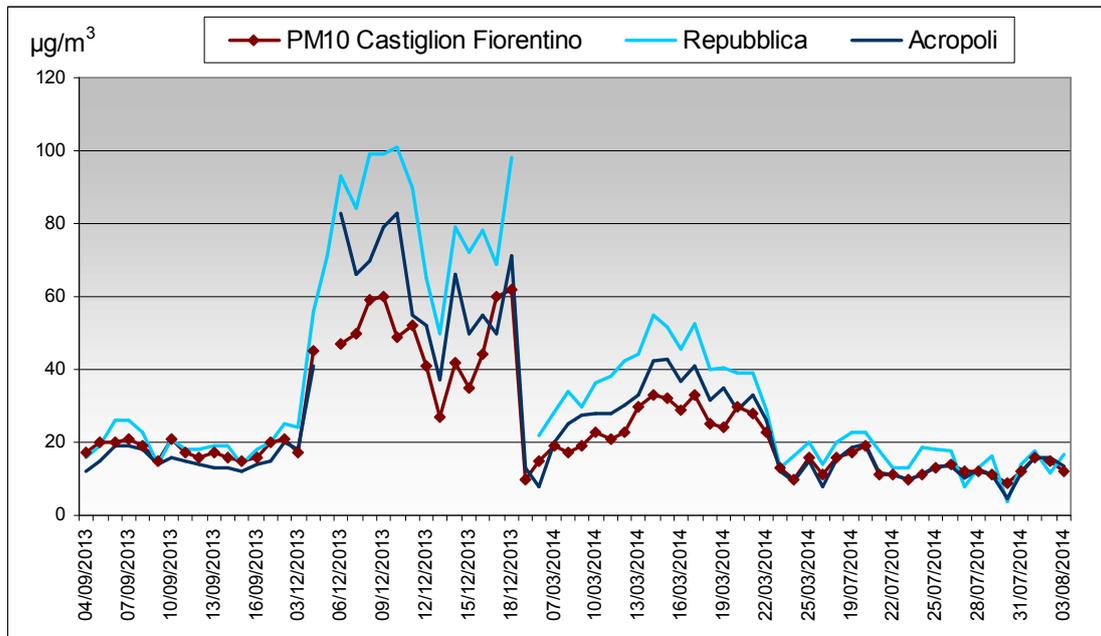
Biossido di azoto NO<sub>2</sub> – valori medi orari

grafico 1.1.1. andamenti orari 4 settembre 2013 – 3 agosto 2014

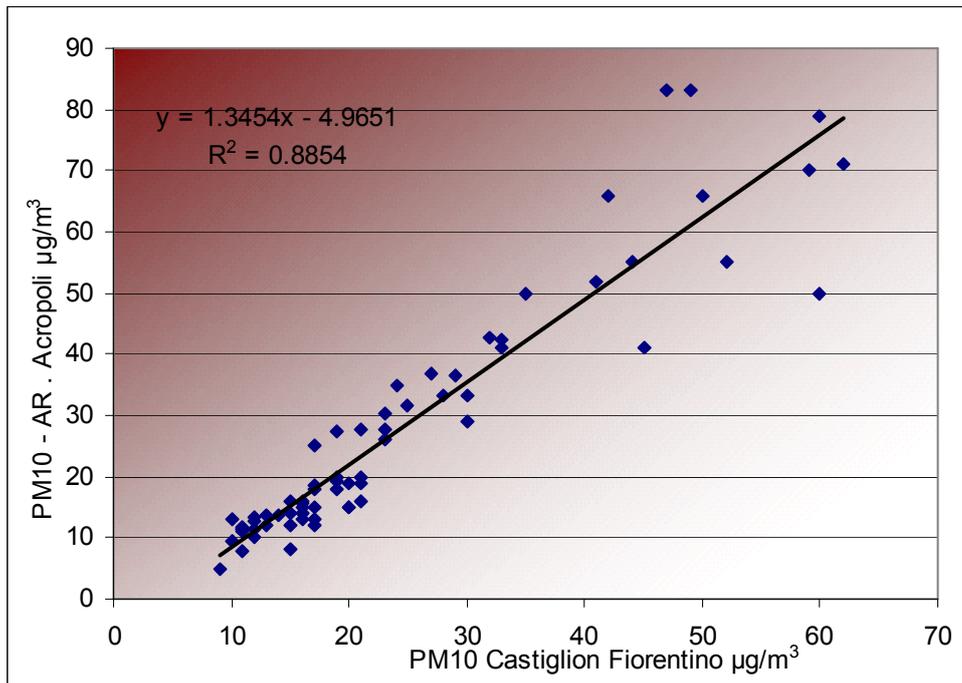


Materiale particolato – valori medi giornalieri

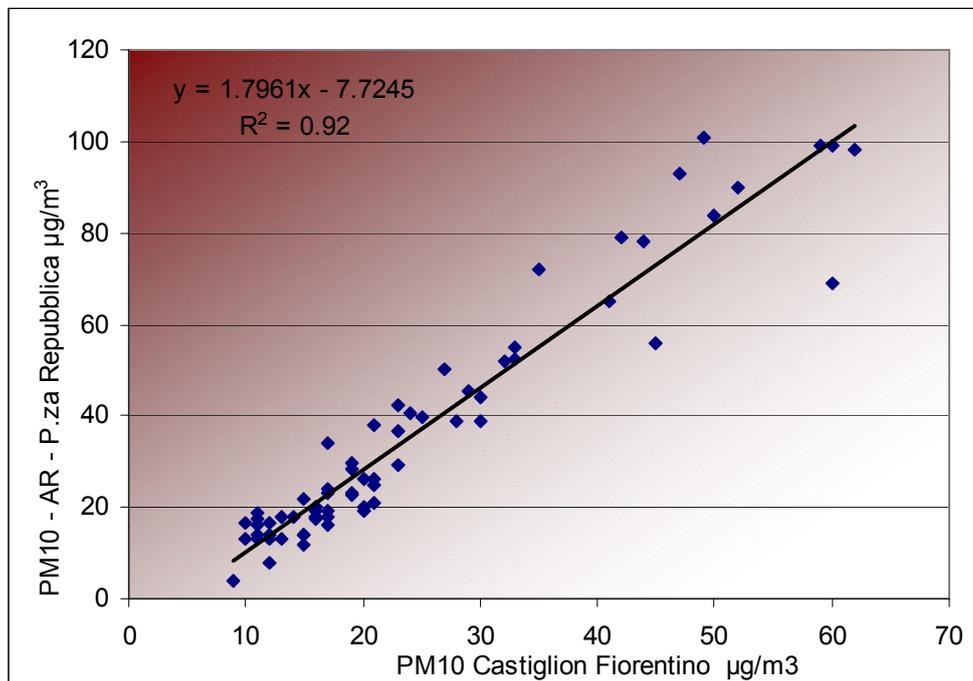
PM10 - grafico 1.1.2 andamenti giornalieri 4 settembre 2013 – 3 agosto 2014



PM10 – grafico 1.1.3 dispersione PM10 Castiglion Fiorentino e PM10 Arezzo Acropoli



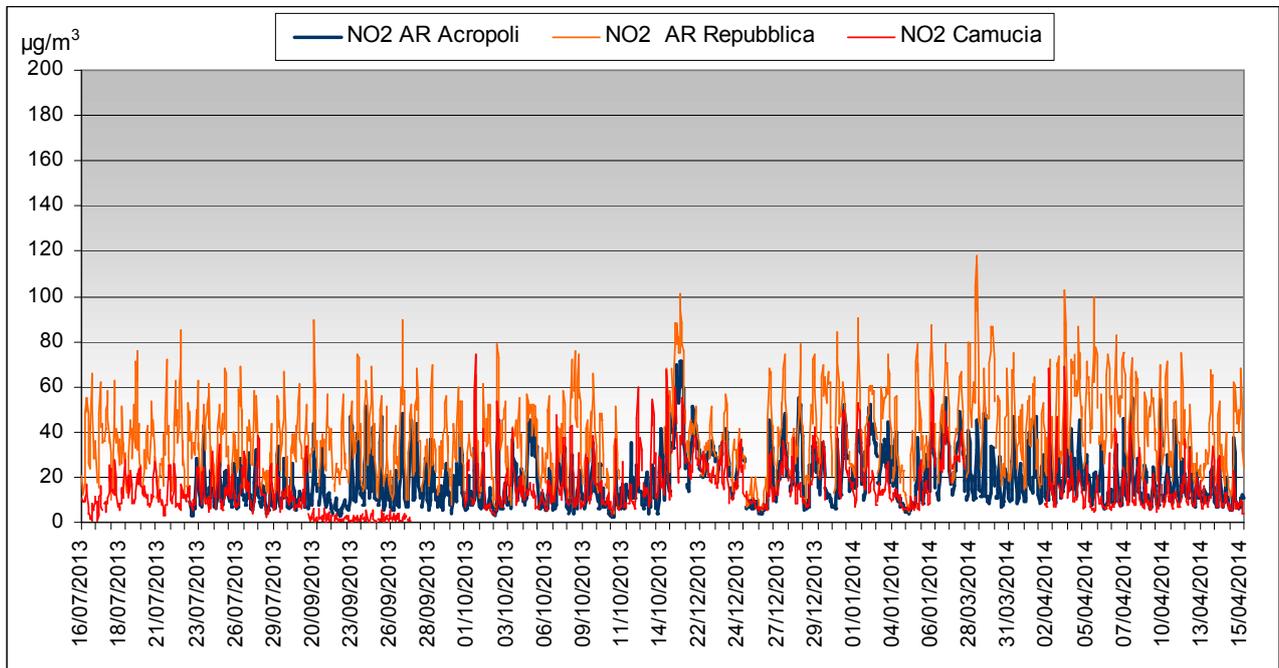
PM10 – grafico 1.1.4 dispersione PM10 Castiglion Fiorentino e PM10 Arezzo P.za Repubblica



Camucia – Cortona

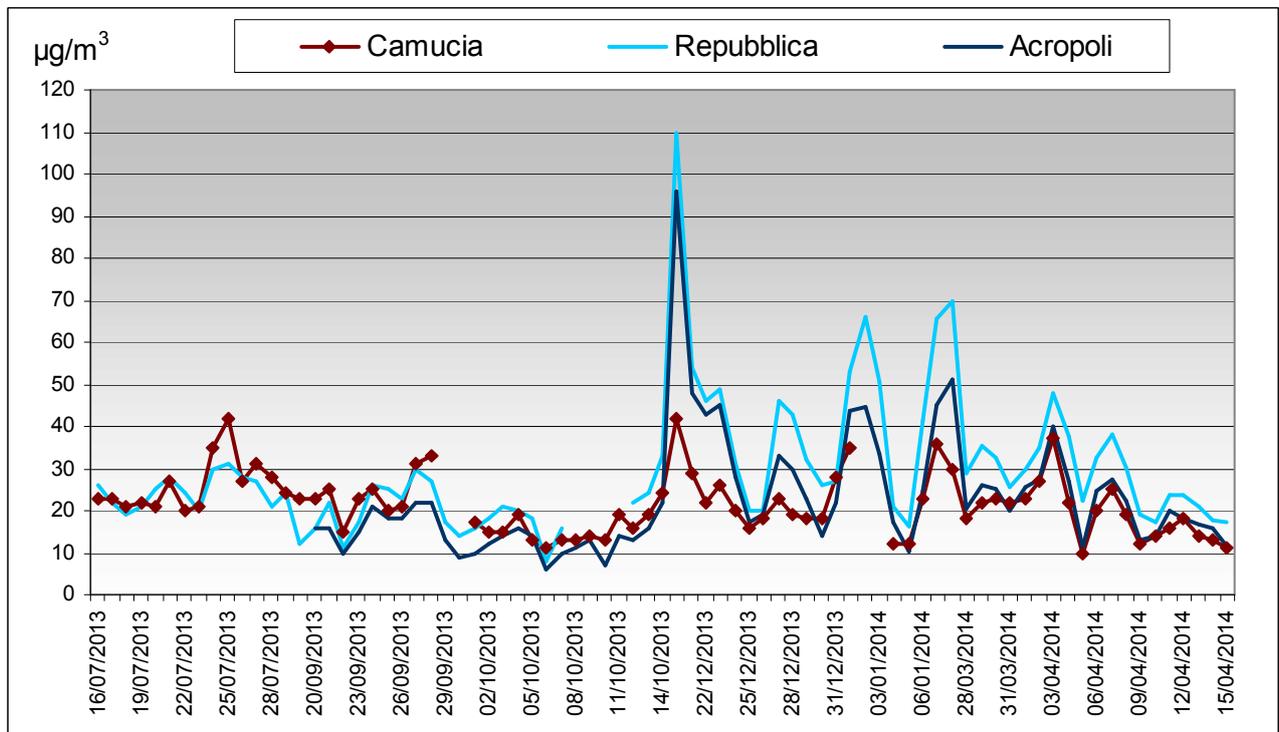
Biossido di azoto NO<sub>2</sub> – valori medi orari

grafico 1.1.5. andamenti orari 16 luglio 2013 –15 aprile 2014

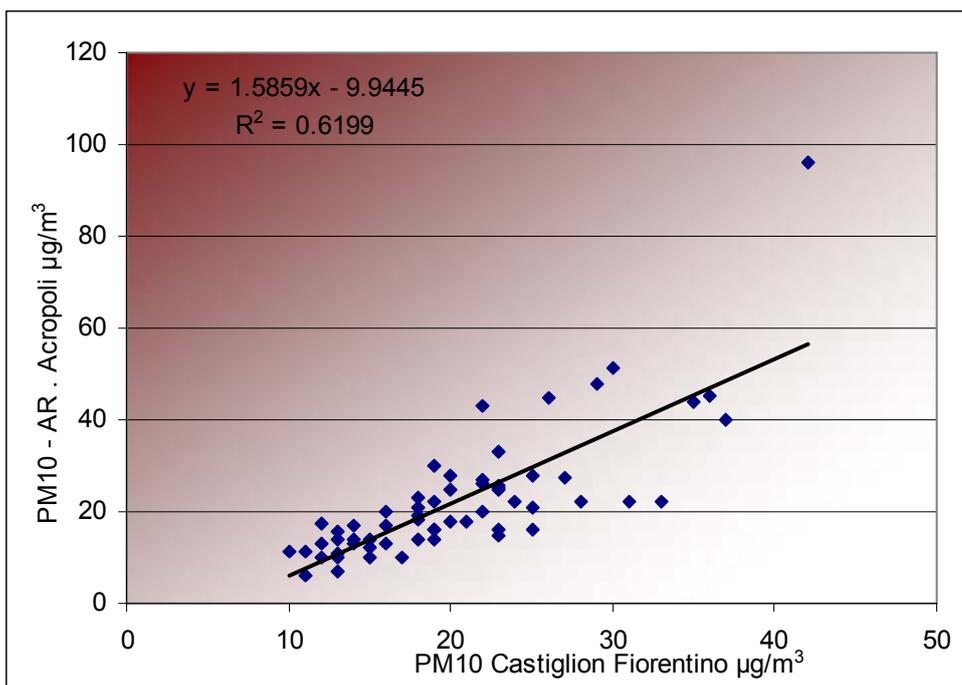


Materiale particolato – valori medi giornalieri

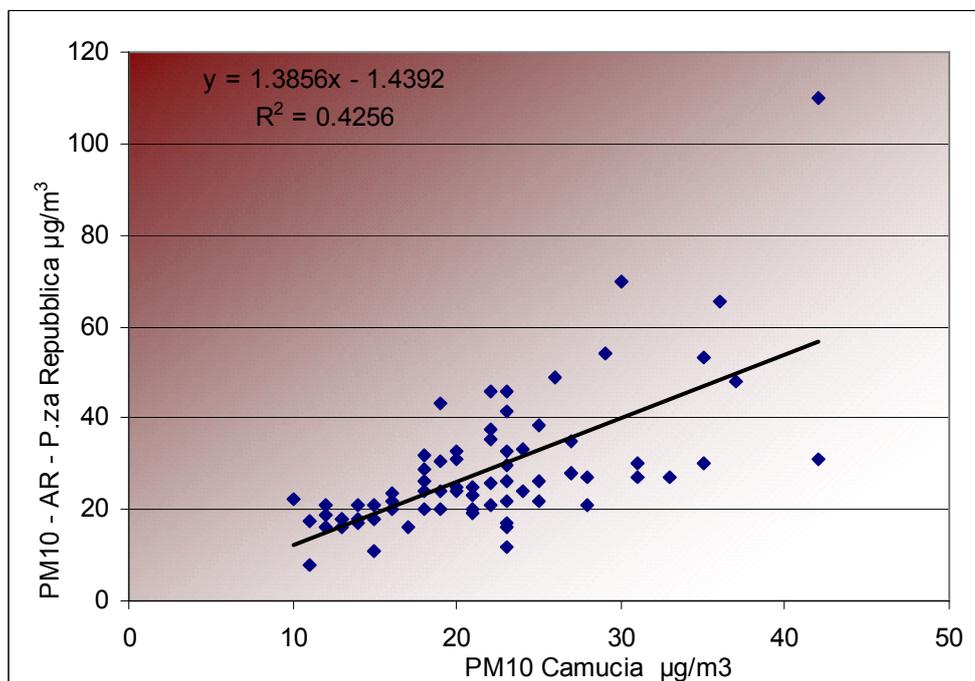
PM10 - grafico 1.1.6 andamenti giornalieri 2013 –15 aprile 2014



PM10 – grafico 1.1.7 dispersione PM10 Camucia e PM10 Arezzo Acropoli



PM10 – grafico 1.1.8 dispersione PM10 Camucia e PM10 Arezzo P.za Repubblica



## I.2 Distribuzione dei livelli di concentrazione – grafici box plot

Il box plot o diagramma a scatola e baffi, è un grafico, relativo a caratteri quantitativi, ottenuto a partire dai 5 numeri di sintesi [minimo, 1° quartile (Q1), mediana, 3° quartile (Q3), massimo] – che descrive le caratteristiche salienti della distribuzione. Si ottiene riportando su un asse verticale i 5 numeri di sintesi. La scatola del box plot ha come estremi inferiore e superiore rispettivamente Q1 e Q3. La mediana divide la scatola in due parti.

Confrontando tra loro le lunghezze dei due baffi (che rappresentano le distanze tra Q1 e il minimo e tra Q3 e il massimo) e le altezze dei due rettangoli che costituiscono la scatola (che rappresentano le distanze tra Q1 e mediana e tra mediana e Q3) si ottengono informazioni sulla simmetria della distribuzione: questa è tanto più simmetrica quanto le lunghezze dei baffi risultano simili tra loro e le altezze dei due rettangoli risultano simili tra loro.

I baffi mettono inoltre in evidenza la presenza di eventuali outliers (osservazioni eccezionali) [Valori estremi e outliers].

Le tabelle sottostanti visualizzano i dati di sintesi (comprensivi della media annuale) elaborati nell'intero periodo di osservazione, per biossido di zolfo, ossidi di azoto, biossido di azoto, monossido di carbonio, ozono, biossido di zolfo (medie orarie) e materiale particolato PM10 (medie giornaliere).

### Castiglion Fiorentino

Tabella 1.2.1 Postazione di Castiglion Fiorentino - dati di sintesi biossido di zolfo, ossidi di azoto, biossido di azoto, monossido di carbonio, ozono, materiale particolato PM10

	SO <sub>2</sub> µg/m <sup>3</sup>	NO <sub>x</sub> µg/m <sup>3</sup>	NO <sub>2</sub> µg/m <sup>3</sup>	CO mg/m <sup>3</sup>	O <sub>3</sub> µg/m <sup>3</sup>	PM10 µg/m <sup>3</sup>
1 Quartile	0,1	11	8	0,1	24	15
Minimo	0,0	1	0	0,0	0	9
Media	0,4	32	19	0,4	52	24
Mediana	0,3	18	13	0,3	56	19
Massimo	2,7	347	94	2,7	123	62
3 Quartile	0,6	37	26	0,6	73	30
Deviazione standard	0,4	38	41	0,4	30	14

### Camucia – Cortona

Tabella 1.2.2 Postazione di Camucia Cortona - dati di sintesi biossido di zolfo, ossidi di azoto, biossido di azoto, monossido di carbonio, ozono, materiale particolato PM10

	SO <sub>2</sub> µg/m <sup>3</sup>	NO <sub>x</sub> µg/m <sup>3</sup>	NO <sub>2</sub> µg/m <sup>3</sup>	CO mg/m <sup>3</sup>	O <sub>3</sub> µg/m <sup>3</sup>	PM10 µg/m <sup>3</sup>
1 Quartile	0,2	11	7	0,2	24	16
Minimo	0,0	1	0	0,0	0	10
Media	0,5	22	15	0,5	50	22
Mediana	0,3	16	12	0,3	50	21
Massimo	2,6	175	74	2,6	122	42
3 Quartile	0,6	26	19	0,6	74	25
Deviazione standard	2	19	11	0,4	30	7

CO = monossido di carbonio

NO<sub>2</sub> = biossido di azoto

O<sub>3</sub> = ozono

PM10 = materiale particolato PM10

SO<sub>2</sub> = biossido di zolfo

NO<sub>x</sub> = ossidi di azoto totali

## Castiglion Fiorentino

Grafico 1.2.1 Grafico Box Plot campagna di misurazione ossidi di azoto, monossido di azoto, biossido di azoto, biossido di zolfo, ozono, materiale particolato PM10

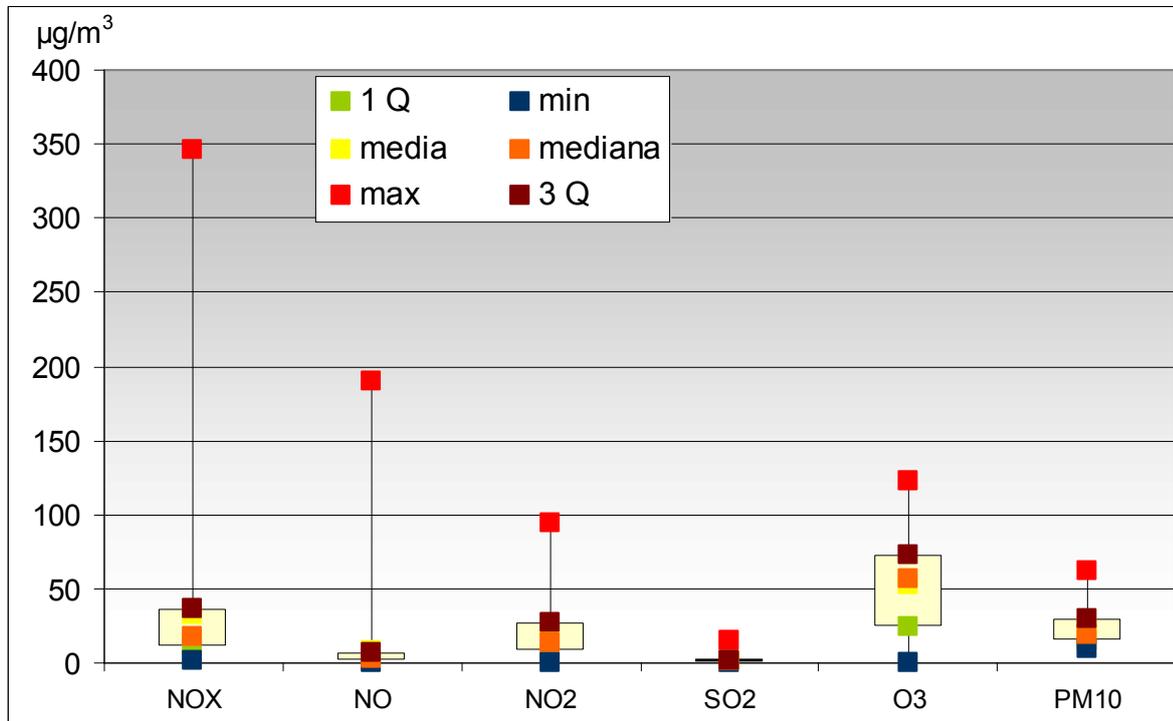


Grafico 1.2.2 Grafico Box Plot campagna di misurazione monossido di carbonio

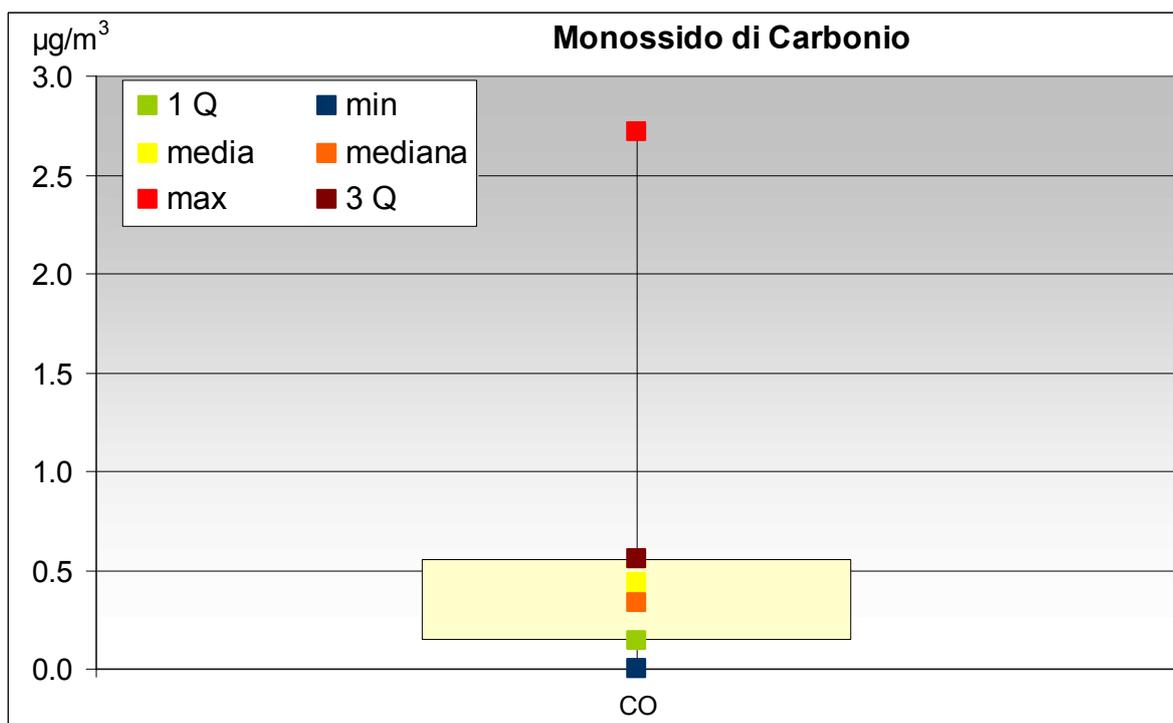


grafico 1.2.3 grafici box plot materiale particolato PM10

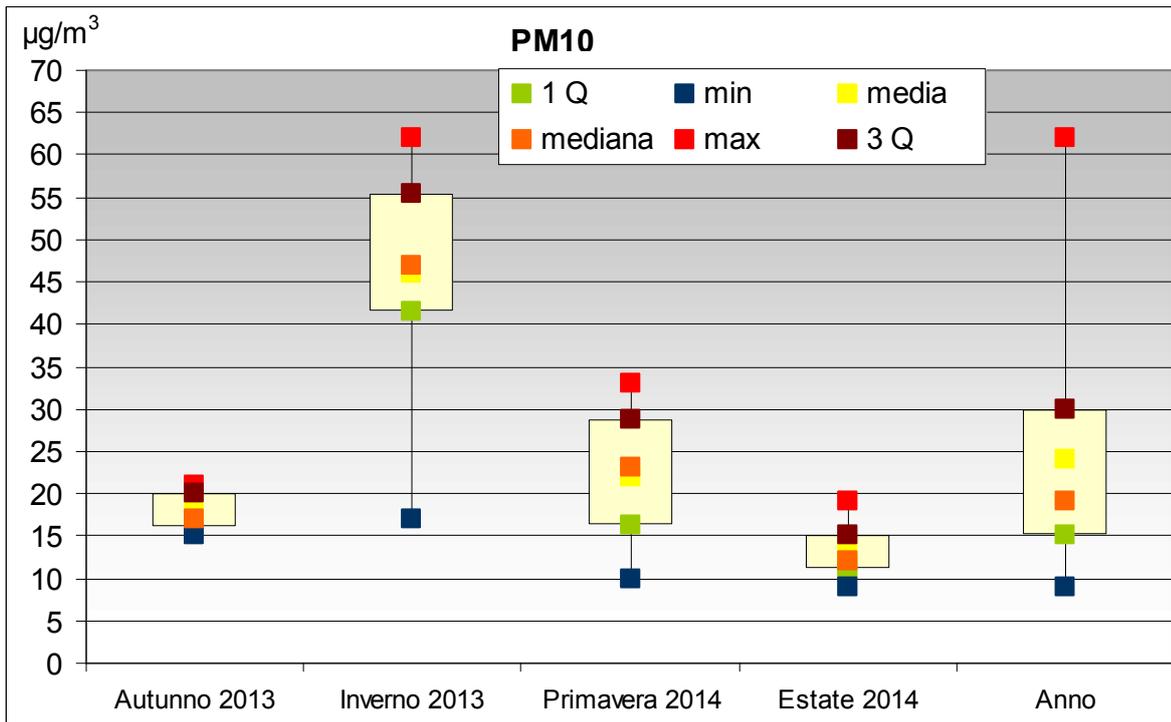


grafico 1.2.4 grafici box plot biossido di zolfo

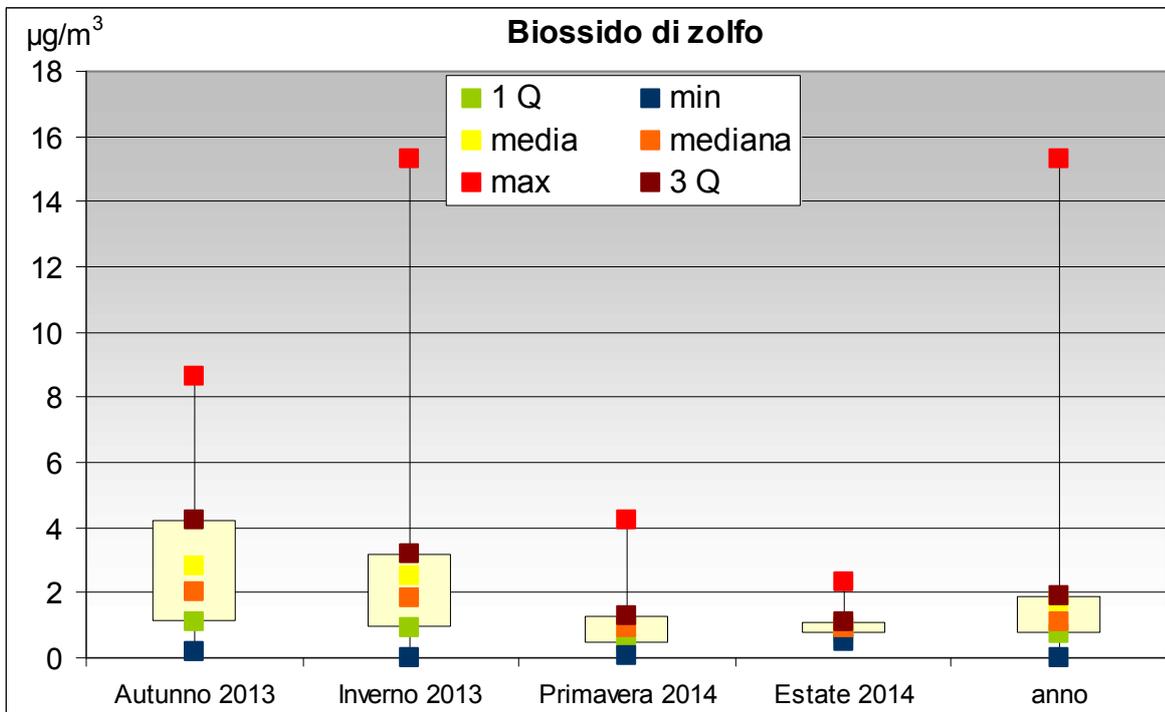


grafico 1.2.5 grafici box plot biossido di azoto

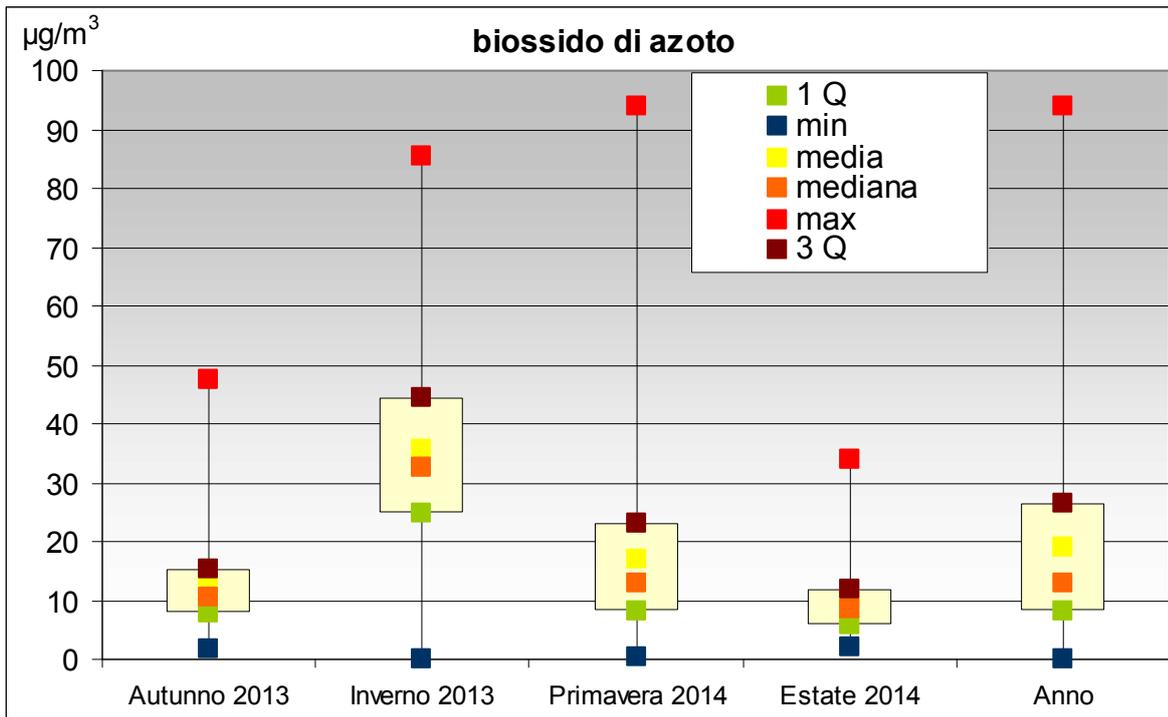


grafico 1.2.6 grafici box plot ozono

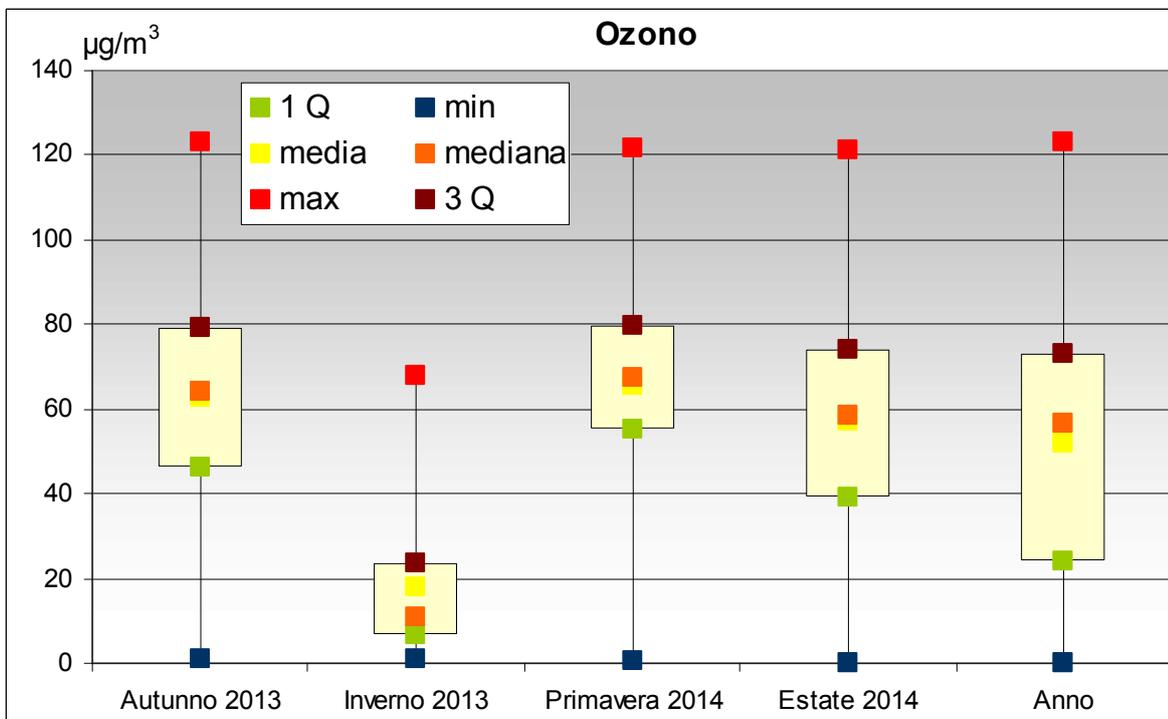


grafico 1.2.7 grafici box plot monossido di carbonio

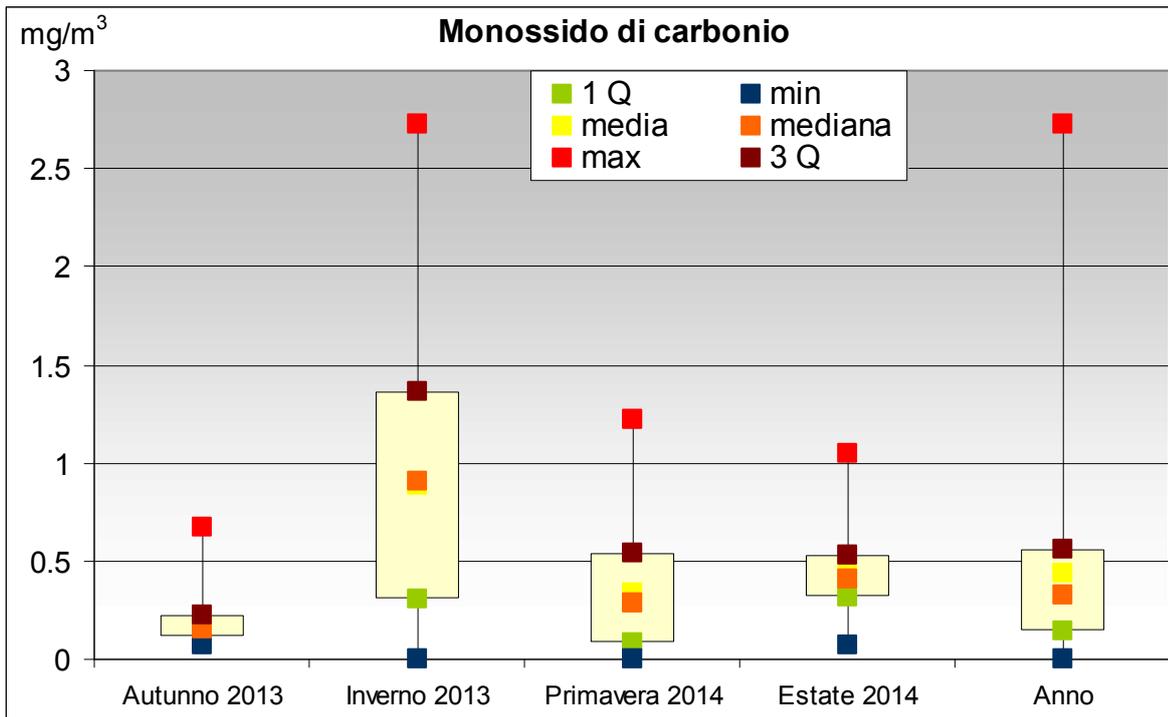
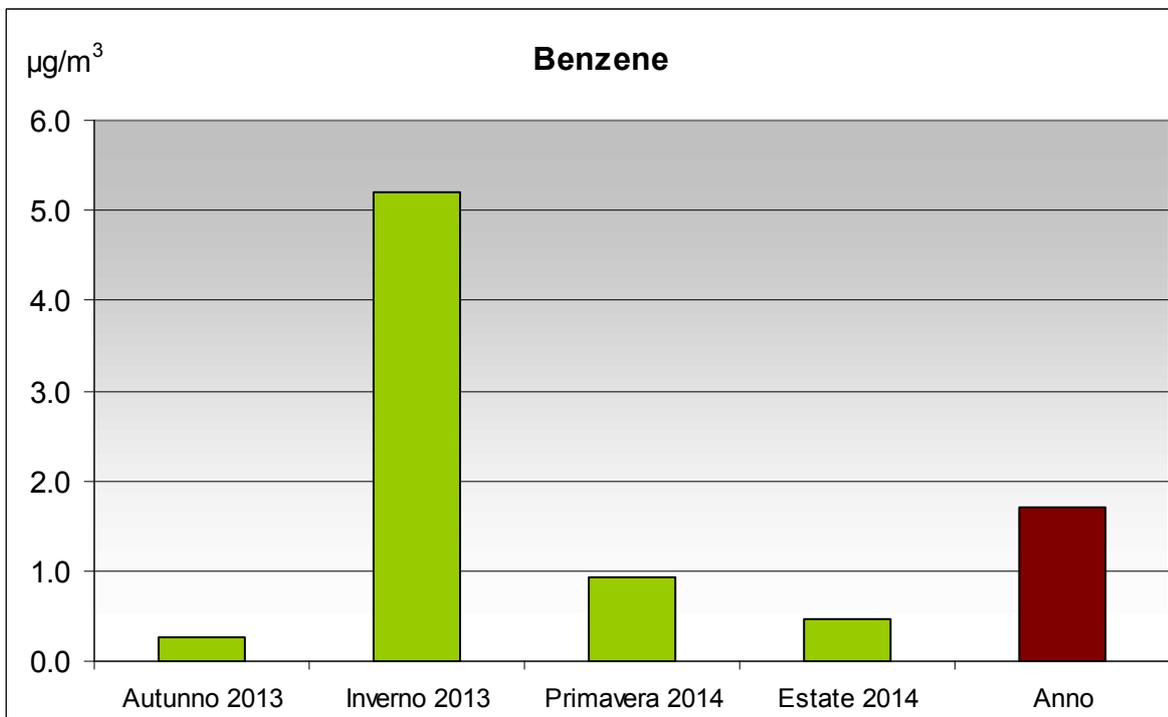


Grafico 1.2.8 andamenti stagionali benzene



## Camucia – Cortona

Grafico 1.2.9 Grafico Box Plot campagna di misurazione ossidi di azoto, monossido di azoto, biossido di azoto, biossido di zolfo, ozono, materiale particolato PM10

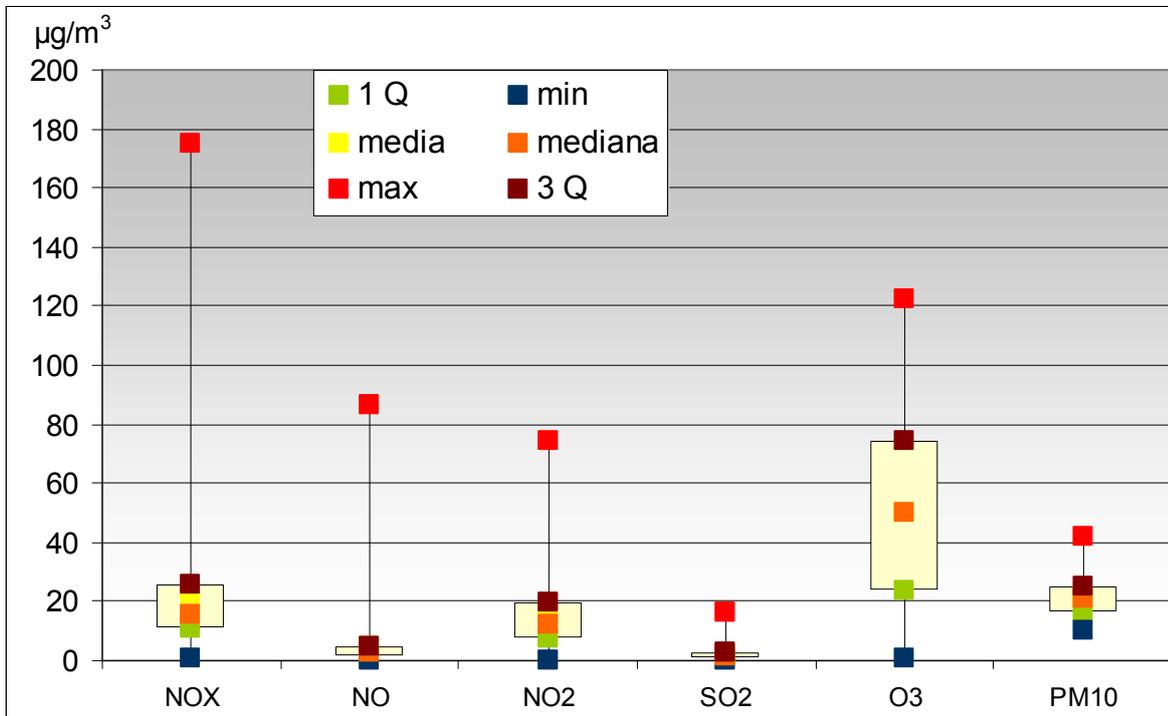


Grafico 1.2.10 Grafico Box Plot campagna di misurazione monossido di carbonio

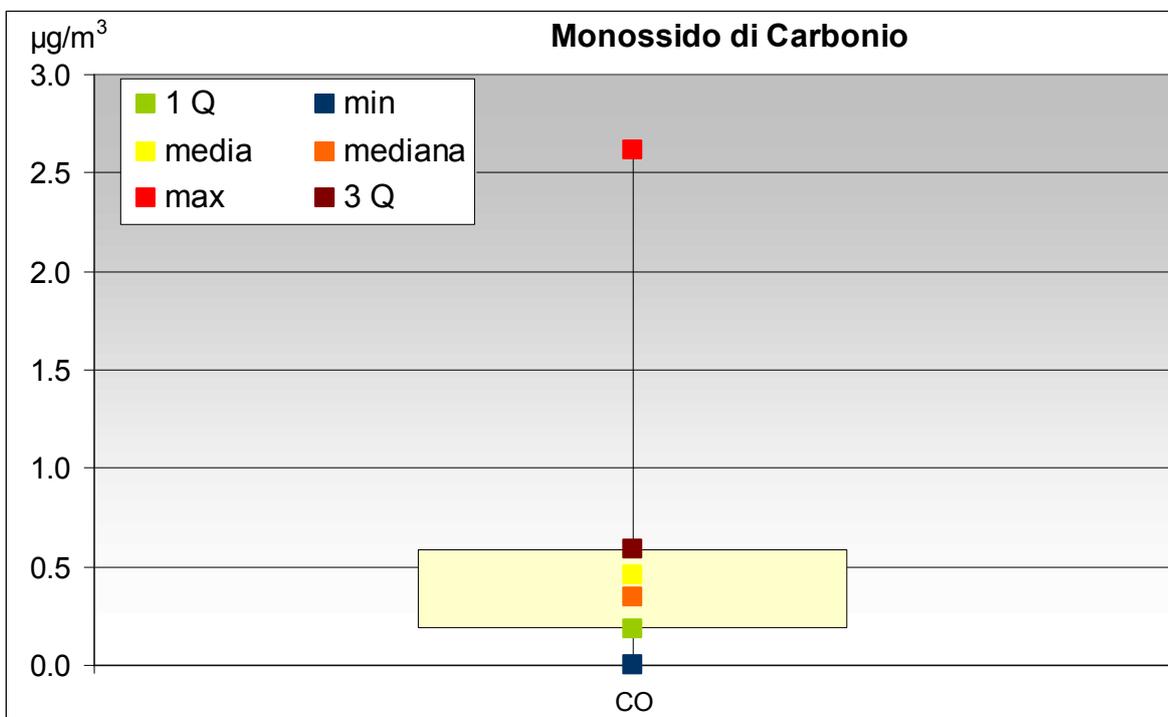


grafico 1.2.11 grafici box plot materiale particolato PM10

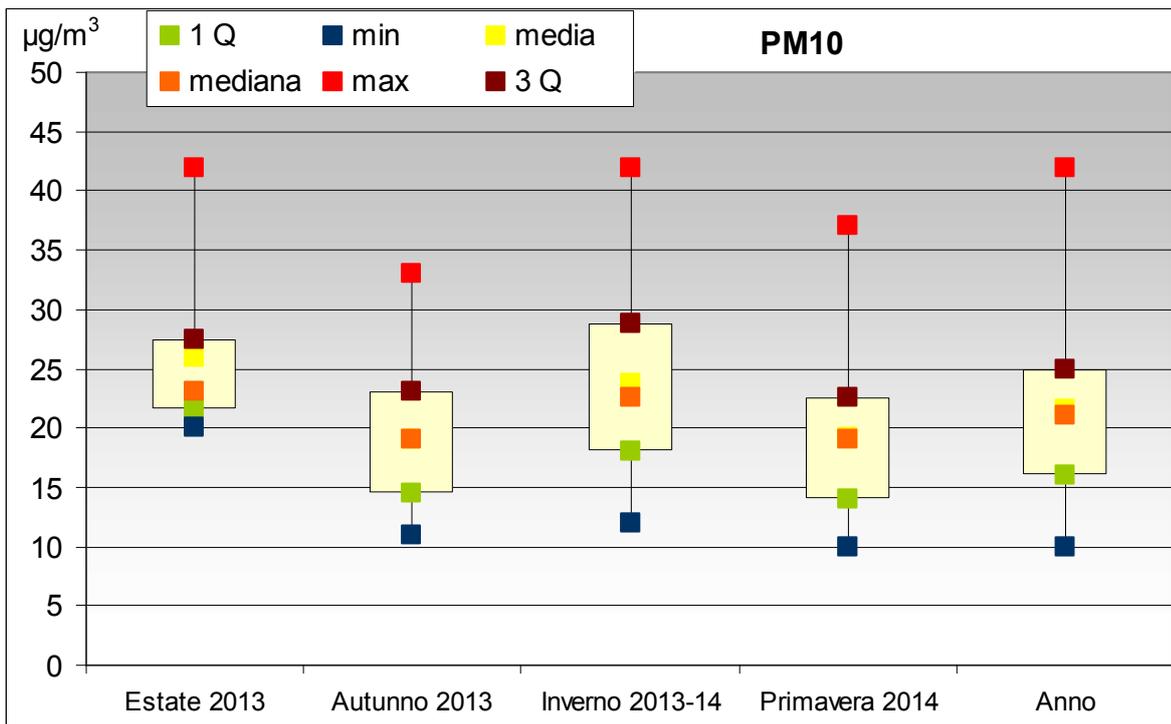


grafico 1.2.12 grafici box plot biossido di zolfo

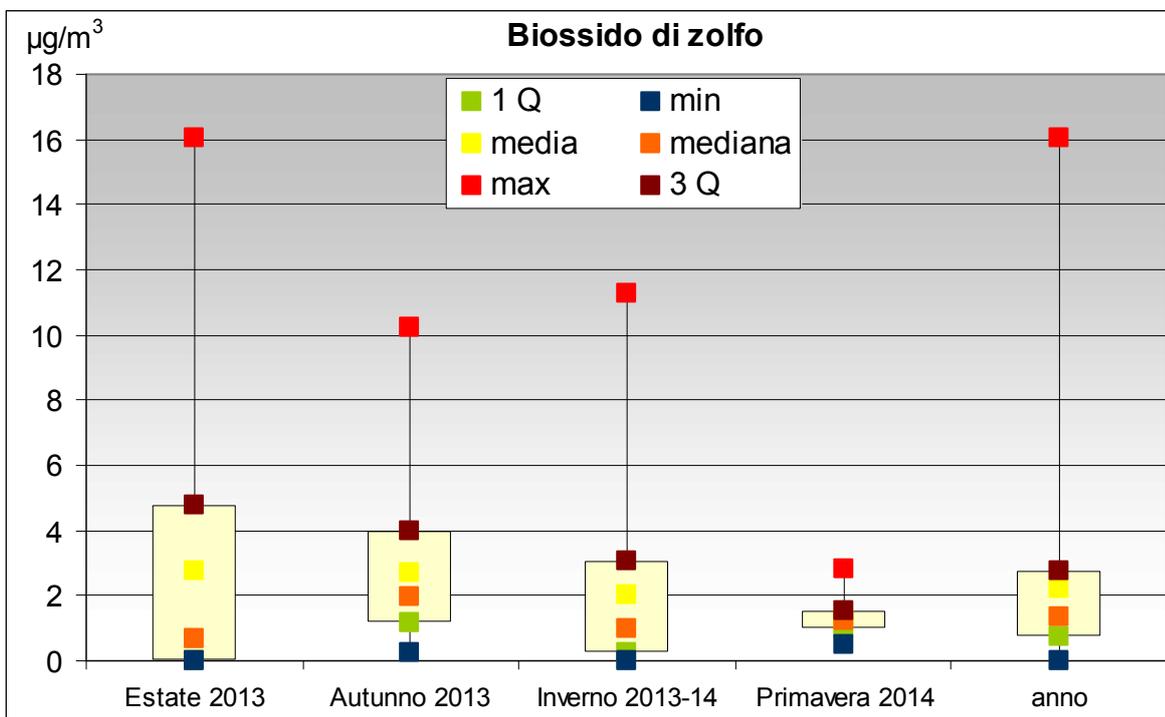


grafico 1.2.13 grafici box plot biossido di azoto

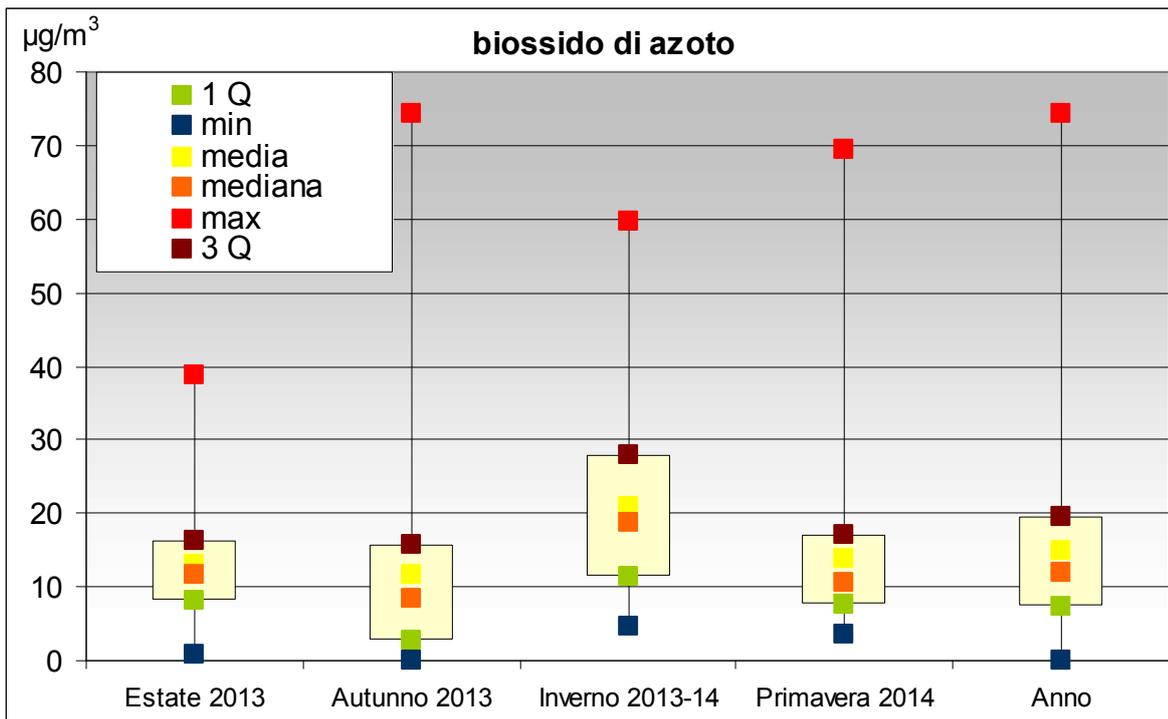


grafico 1.2.14 grafici box plot ozono

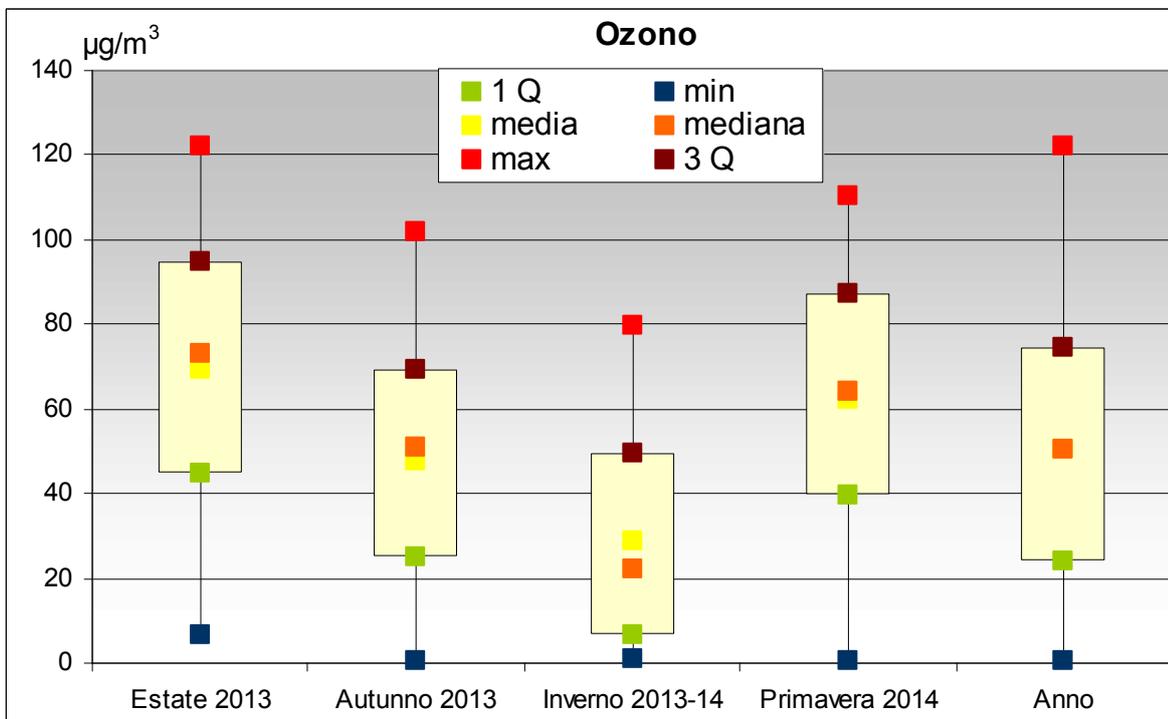


grafico 1.2.15 grafici box plot monossido di carbonio

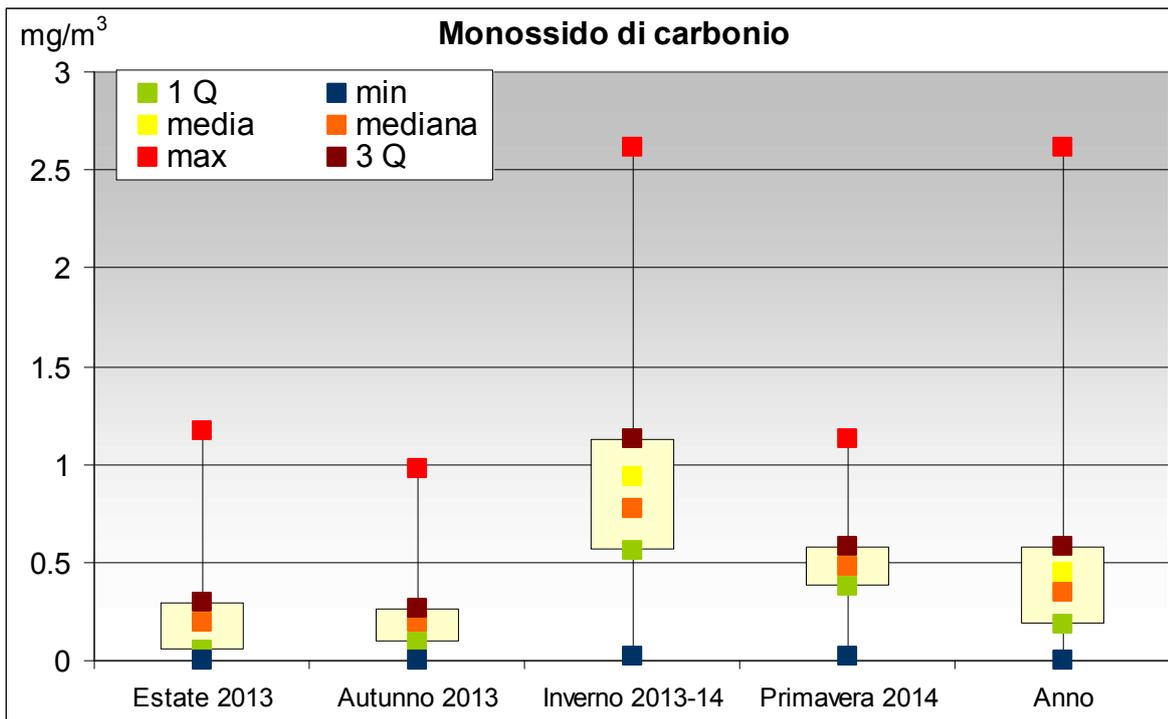
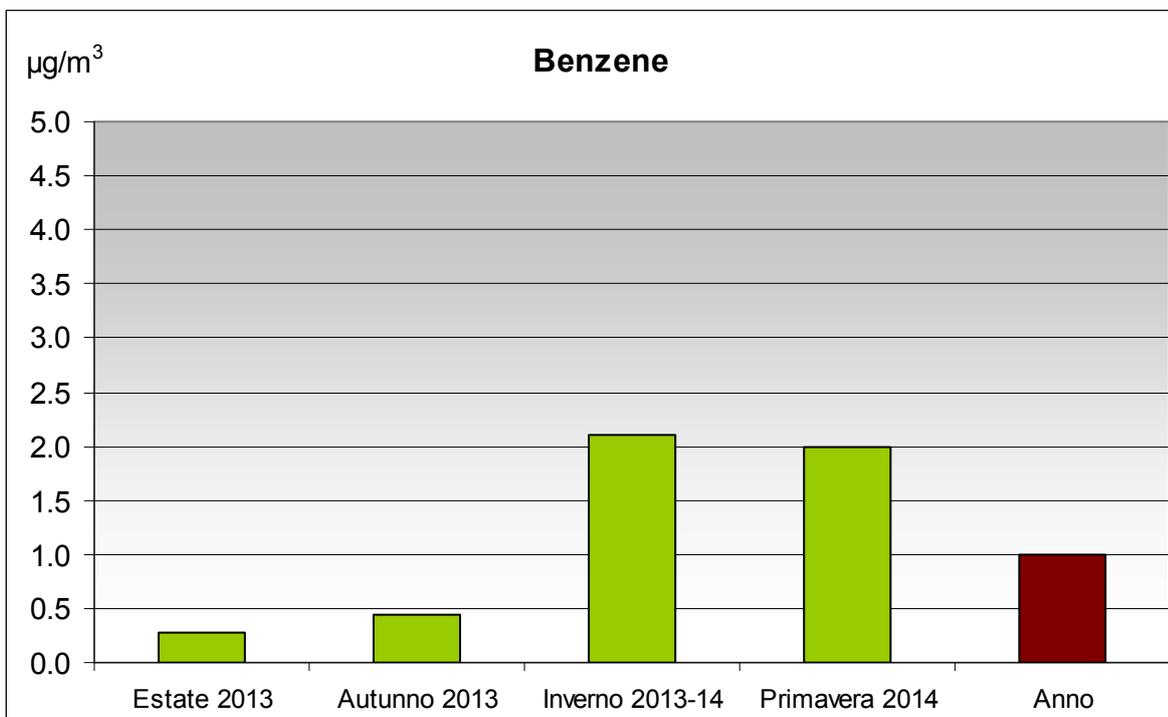


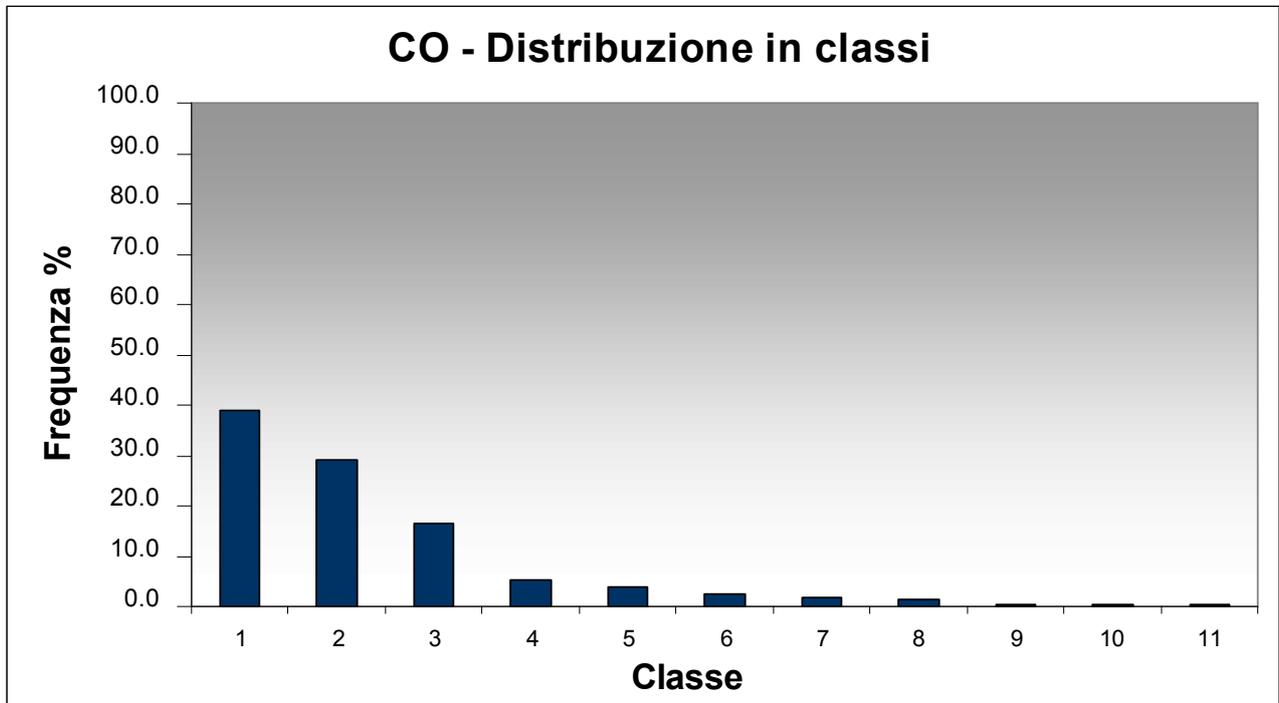
grafico 1.2.16 andamenti stagionali benzene



### I.3 Distribuzione in classi di concentrazione

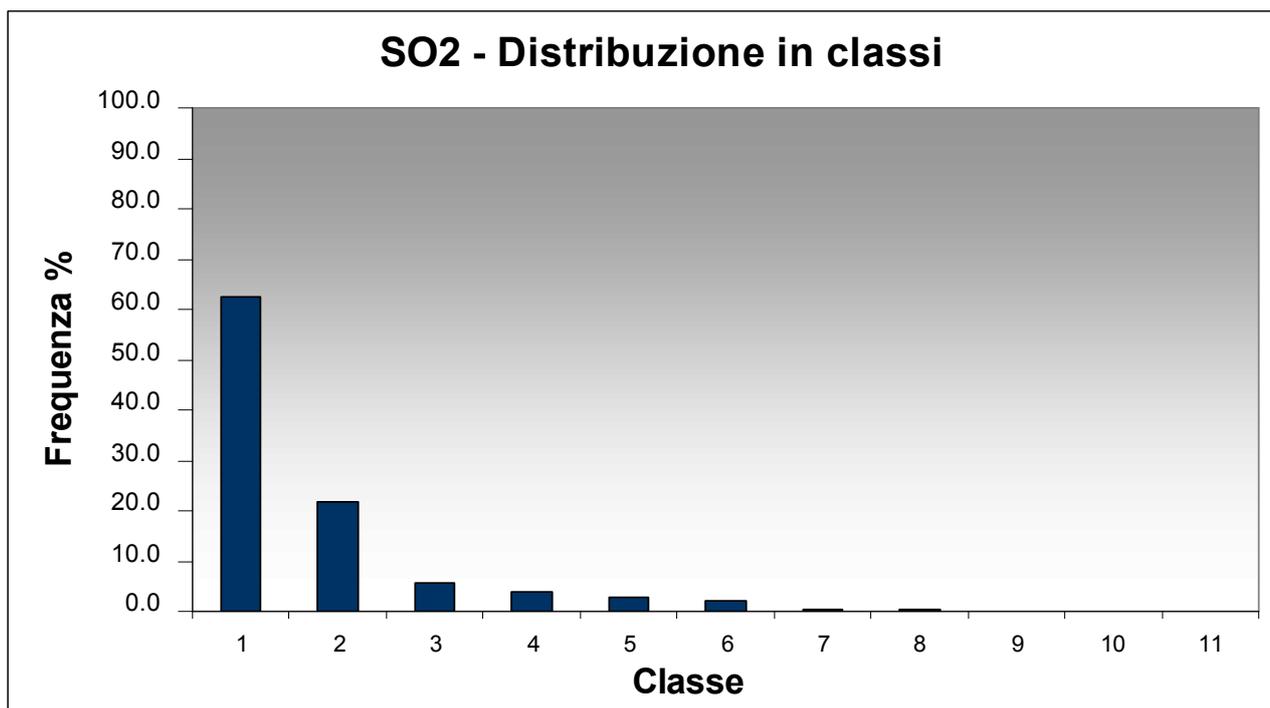
#### Castiglion Fiorentino

grafico 1.3.1. istogramma distribuzione in classi monossido di carbonio



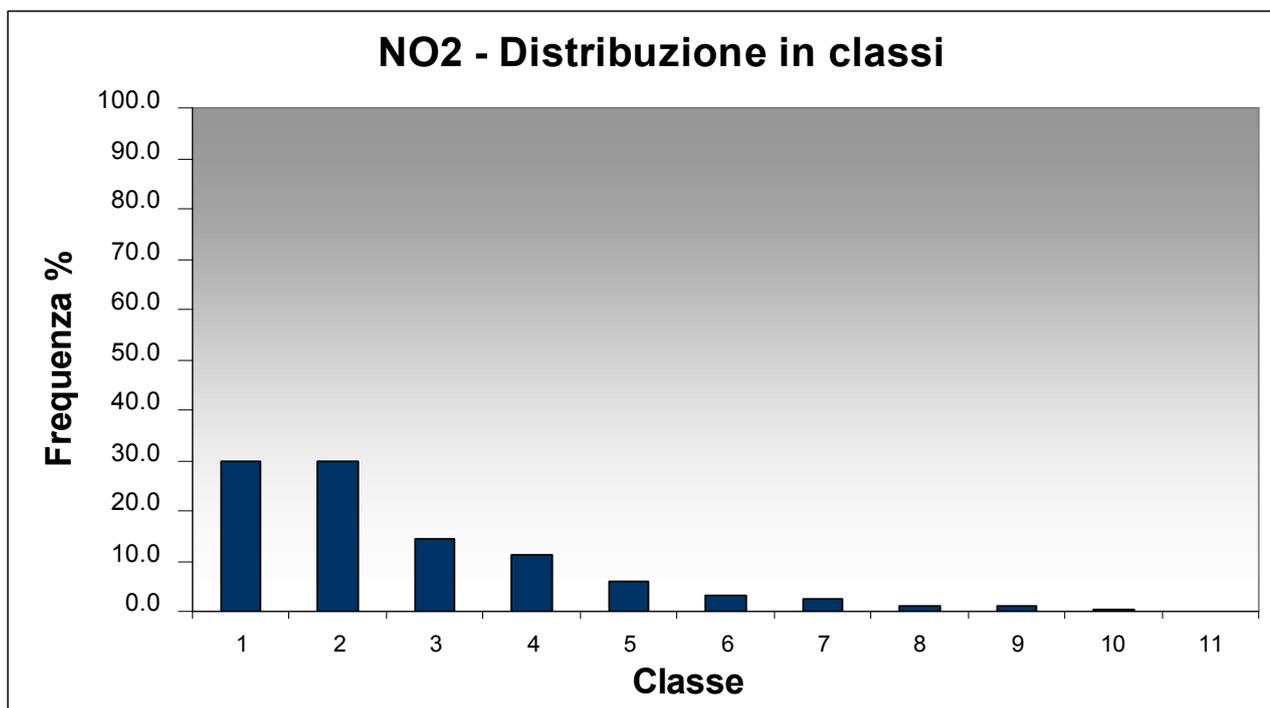
Estremi classe	Min ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Max ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Frequenza %
1	0,0	0,2	39,1
2	0,2	0,5	29,3
3	0,5	0,7	16,6
4	0,7	1,0	5,1
5	1,0	1,2	3,7
6	1,2	1,5	2,3
7	1,5	1,7	1,7
8	1,7	2,0	1,3
9	2,0	2,2	0,2
10	2,2	2,5	0,4
11	2,5	2,7	0,3

grafico 1.3.2. istogramma distribuzione in classi biossido di zolfo



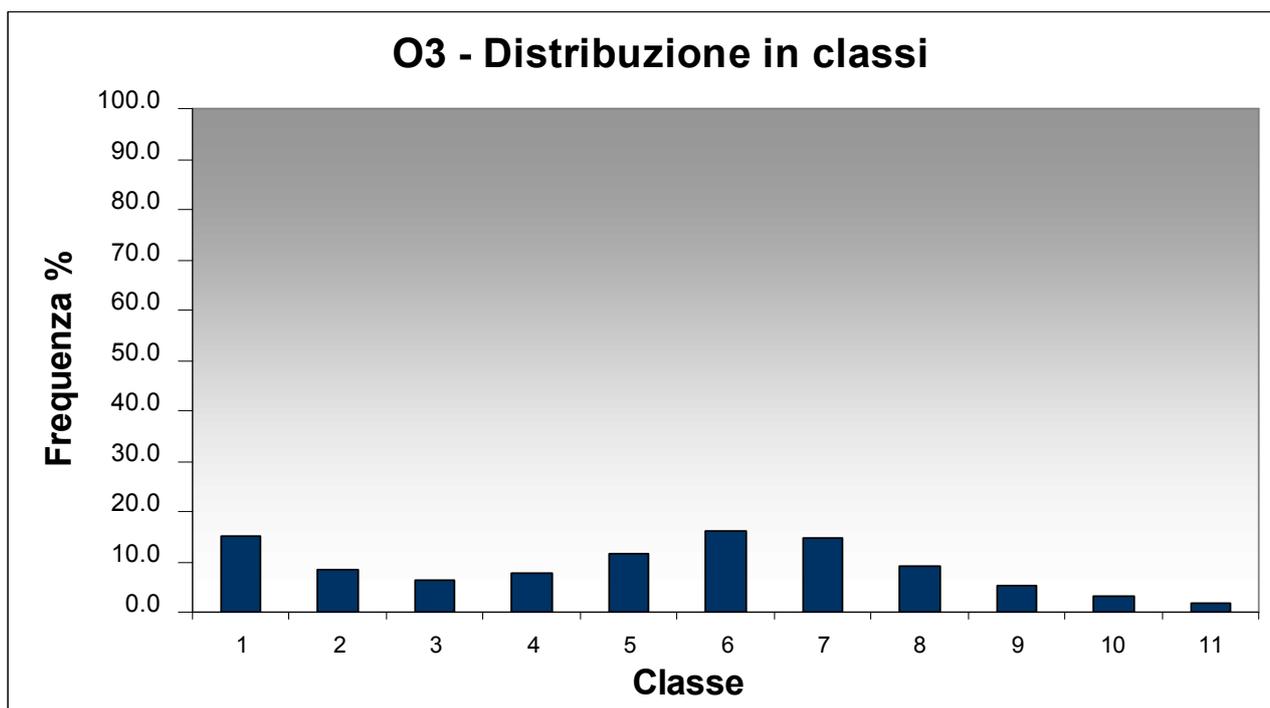
Estremi classe	Min ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Max ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Frequenza %
1	0	1	62,4
2	1	3	21,9
3	3	4	5,8
4	4	6	3,9
5	6	7	3,0
6	7	8	2,2
7	8	10	0,4
8	10	11	0,3
9	11	13	0,1
10	13	14	0,1
11	14	15	0,1

grafico 1.3.3. istogramma distribuzione in classi biossido di azoto



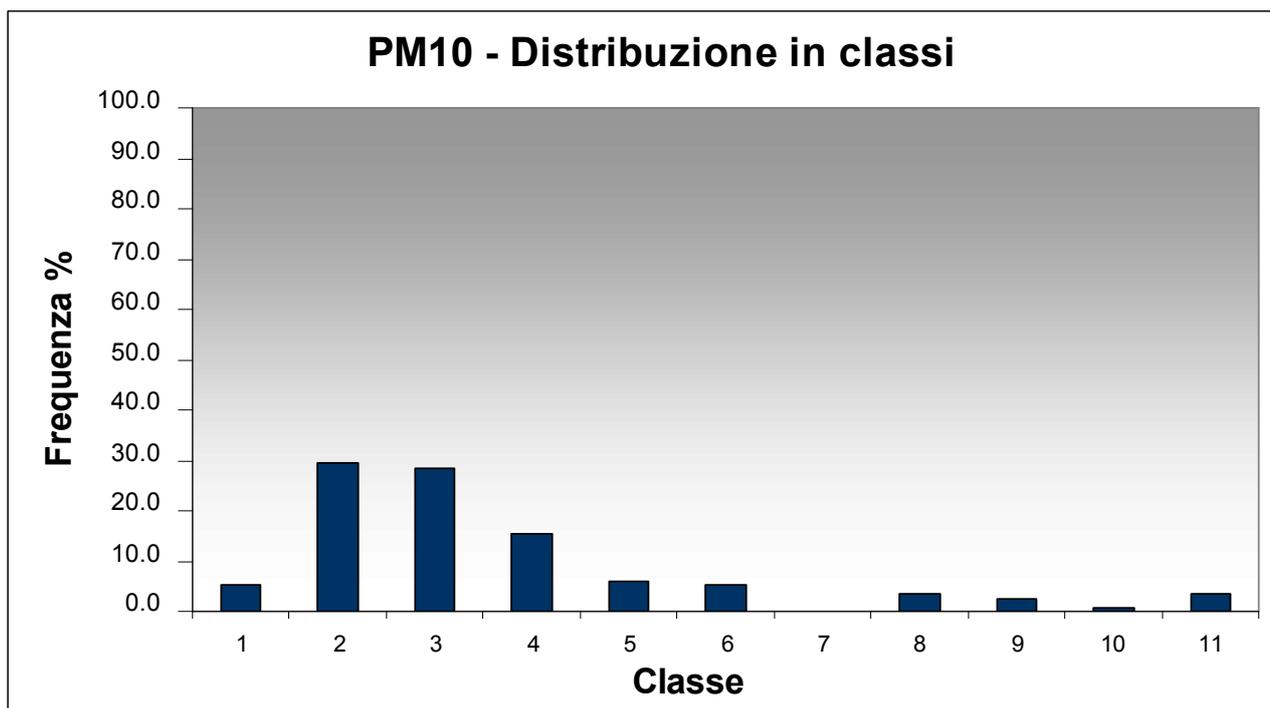
Estremi classe	Min ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Max ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Frequenza %
1	0	9	30,0
2	9	17	30,0
3	17	26	14,3
4	26	34	11,2
5	34	43	5,9
6	43	51	3,3
7	51	60	2,6
8	60	68	1,1
9	68	77	1,1
10	77	85	0,3
11	85	94	0,1

grafico 1.3.4. istogramma distribuzione in classi ozono



Estremi classe	Min ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Max ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Frequenza %
1	0	11	15,2
2	11	22	8,5
3	22	34	6,4
4	34	45	7,8
5	45	56	11,7
6	56	67	16,1
7	67	78	14,8
8	78	89	9,2
9	89	101	5,2
10	101	112	3,2
11	112	123	1,9

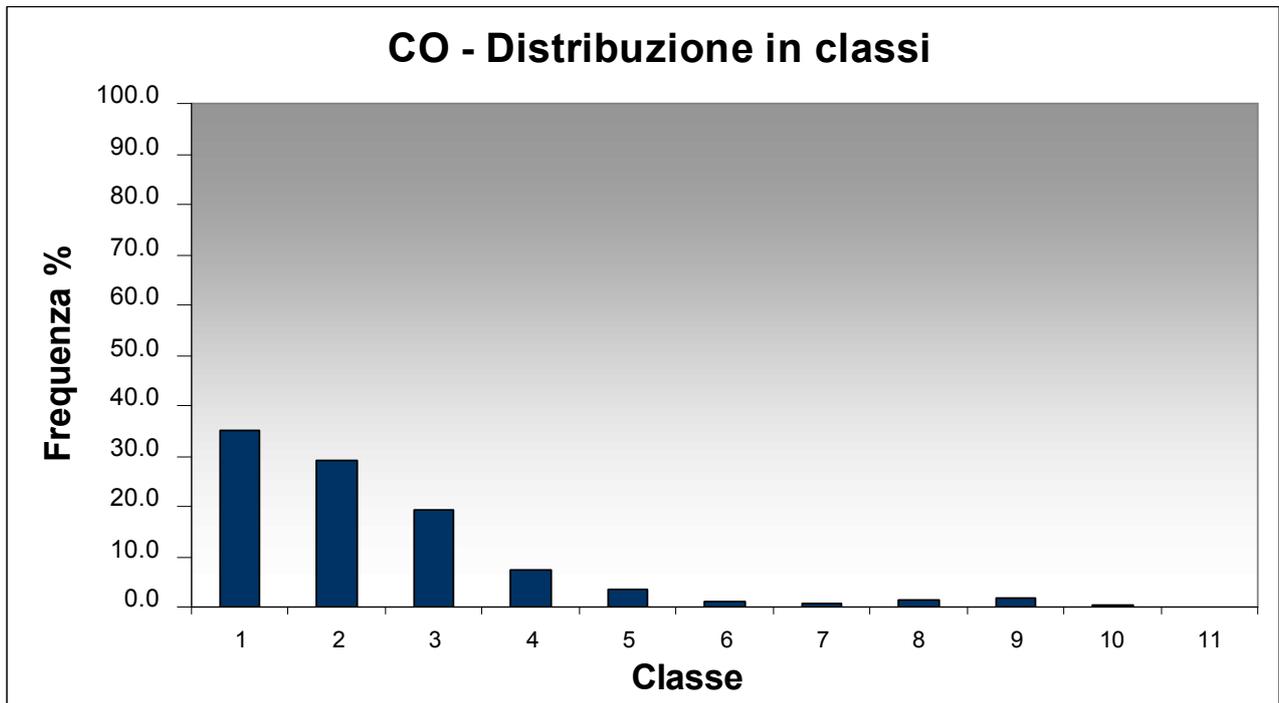
grafico 1.3.5. istogramma distribuzione in classi materiale particolato PM10



Estremi classe	Min ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Max ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Frequenza %
1	4	9	5,2
2	9	15	29,3
3	15	20	28,4
4	20	25	15,5
5	25	30	6,0
6	30	36	5,2
7	36	41	0,0
8	41	46	3,4
9	46	51	2,6
10	51	57	0,9
11	57	62	3,4

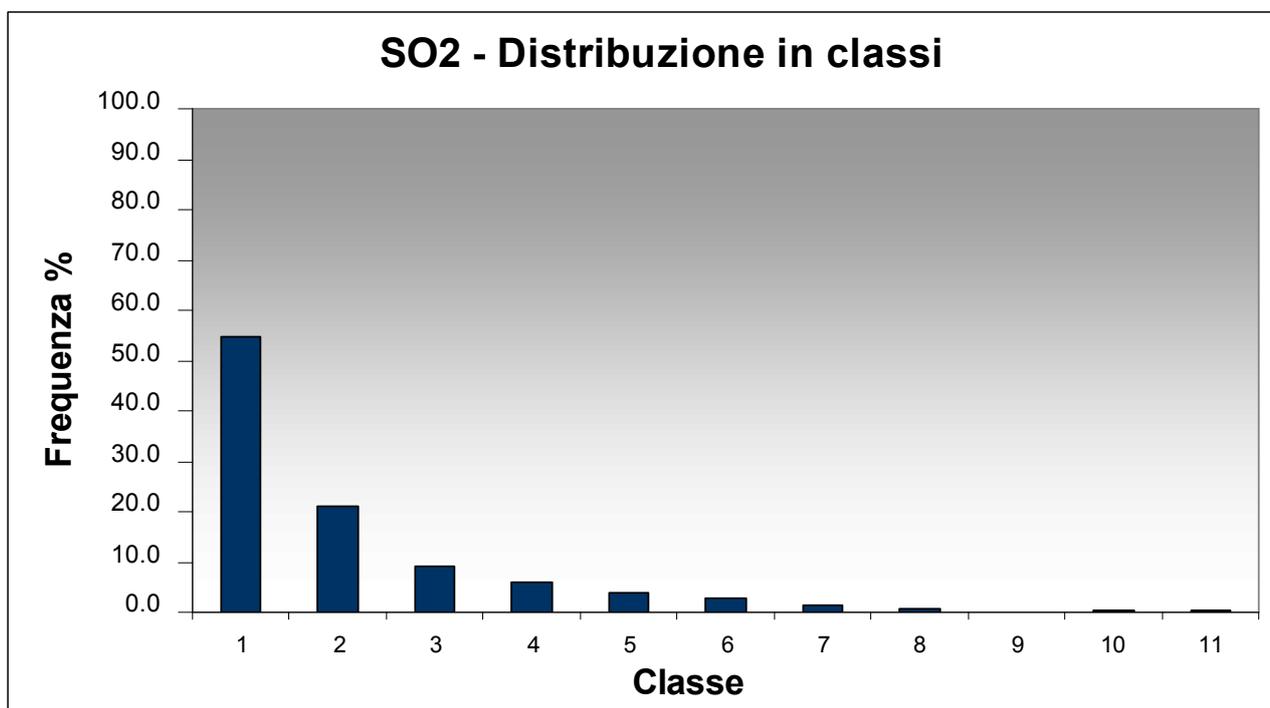
## Camucia – Cortona

grafico 1.3.6. istogramma distribuzione in classi monossido di carbonio



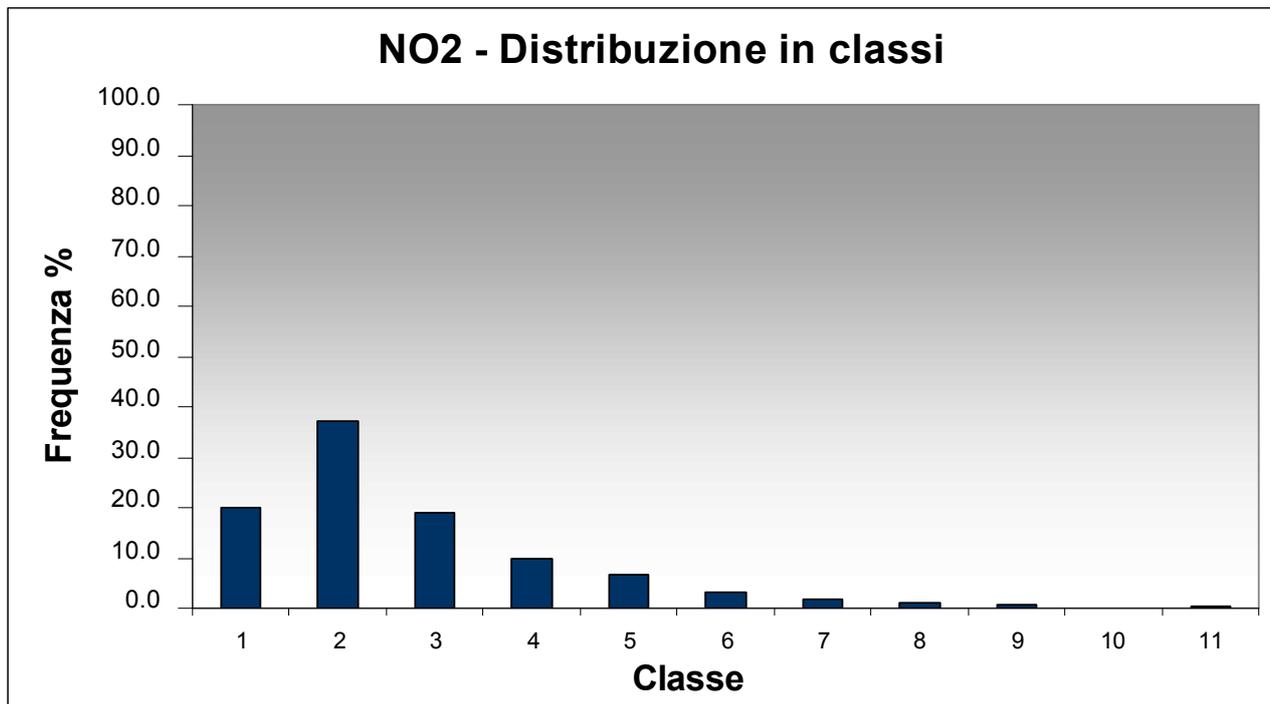
Estremi classe	Min ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Max ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Frequenza %
1	0,0	0,2	35,1
2	0,2	0,5	29,1
3	0,5	0,7	19,3
4	0,7	1,0	7,3
5	1,0	1,2	3,5
6	1,2	1,4	1,1
7	1,4	1,7	0,7
8	1,7	1,9	1,4
9	1,9	2,1	1,8
10	2,1	2,4	0,5
11	2,4	2,6	0,1

grafico 1.3.7. istogramma distribuzione in classi biossido di zolfo



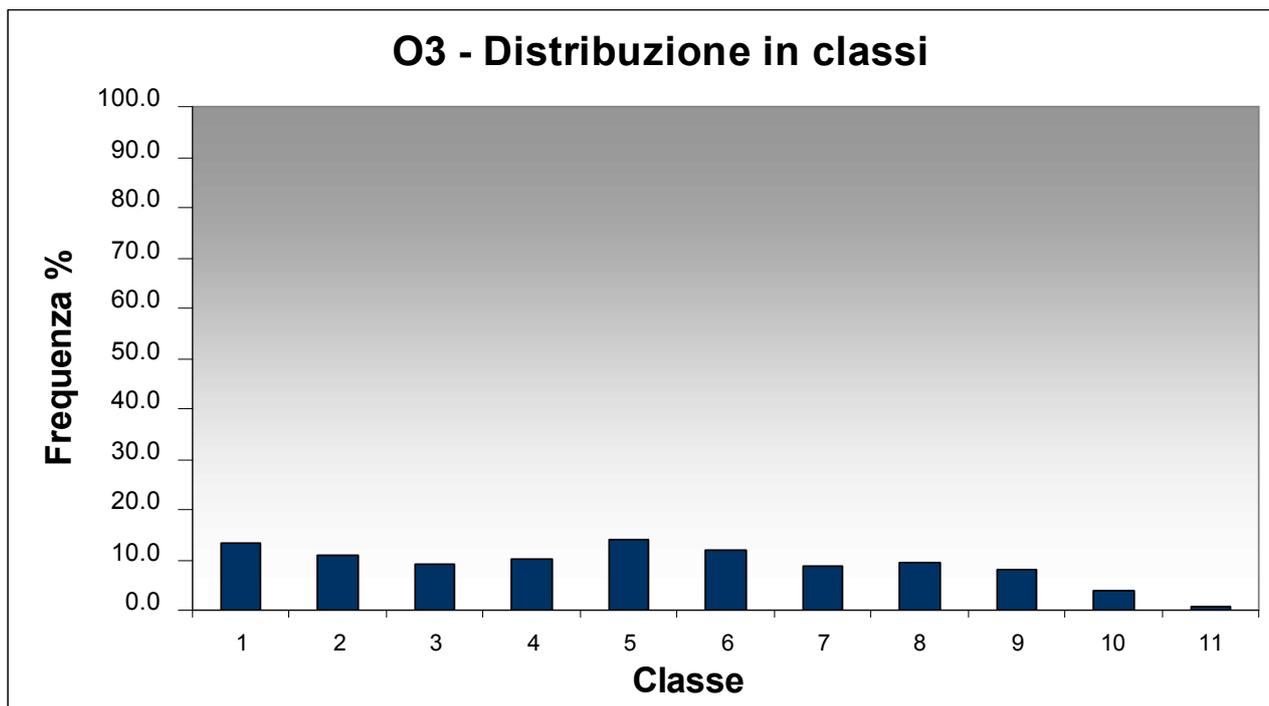
Estremi classe	Min ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Max ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Frequenza %
1	0	1	54,7
2	1	3	21,2
3	3	4	9,0
4	4	6	6,0
5	6	7	3,8
6	7	9	2,8
7	9	10	1,3
8	10	12	0,6
9	12	13	0,1
10	13	15	0,4
11	15	16	0,2

grafico 1.3.8. istogramma distribuzione in classi biossido di azoto



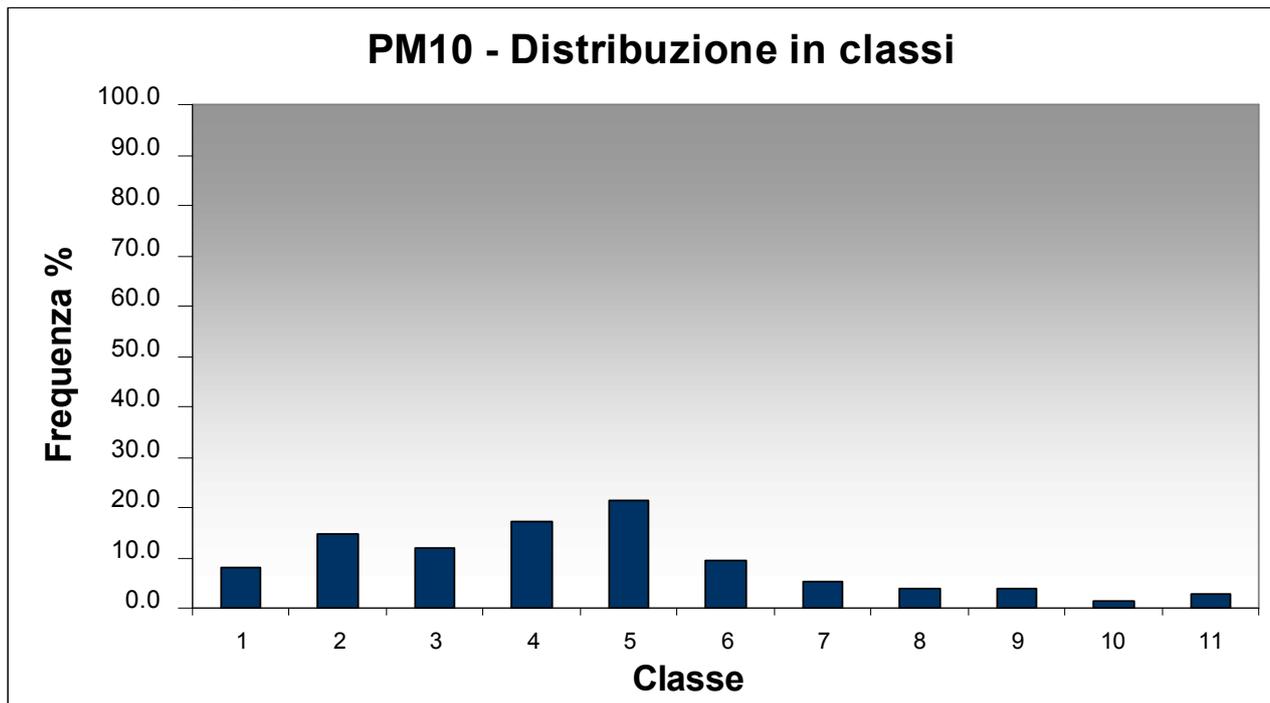
Estremi classe	Min ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Max ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Frequenza %
1	0	7	20,0
2	7	14	37,4
3	14	20	19,0
4	20	27	10,0
5	27	34	6,7
6	34	40	3,2
7	40	47	1,7
8	47	54	1,1
9	54	61	0,6
10	61	67	0,1
11	67	74	0,2

grafico 1.3.9. istogramma distribuzione in classi ozono



Estremi classe	Min ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Max ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Frequenza %
1	0	12	13,2
2	12	23	10,8
3	23	34	9,0
4	34	45	10,1
5	45	56	14,0
6	56	67	11,8
7	67	78	8,9
8	78	89	9,6
9	89	100	8,0
10	100	111	3,9
11	111	122	0,8

grafico 1.3.10. istogramma distribuzione in classi materiale particolato PM10



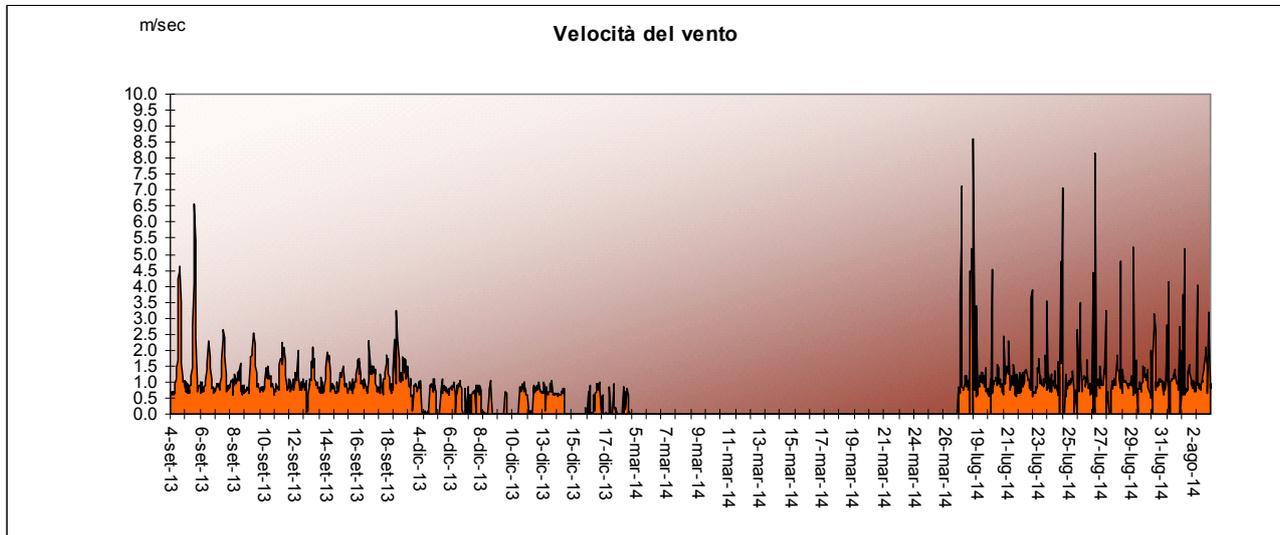
Estremi classe	Min ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Max ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Frequenza %
1	10	13	8,0
2	13	16	14,7
3	16	19	12,0
4	19	22	17,3
5	22	25	21,3
6	25	27	9,3
7	27	30	5,3
8	30	33	4,0
9	33	36	4,0
10	36	39	1,3
11	39	42	2,7

## I.4 Elaborazione dei dati meteorologici

Castiglion Fiorentino

Velocità del vento

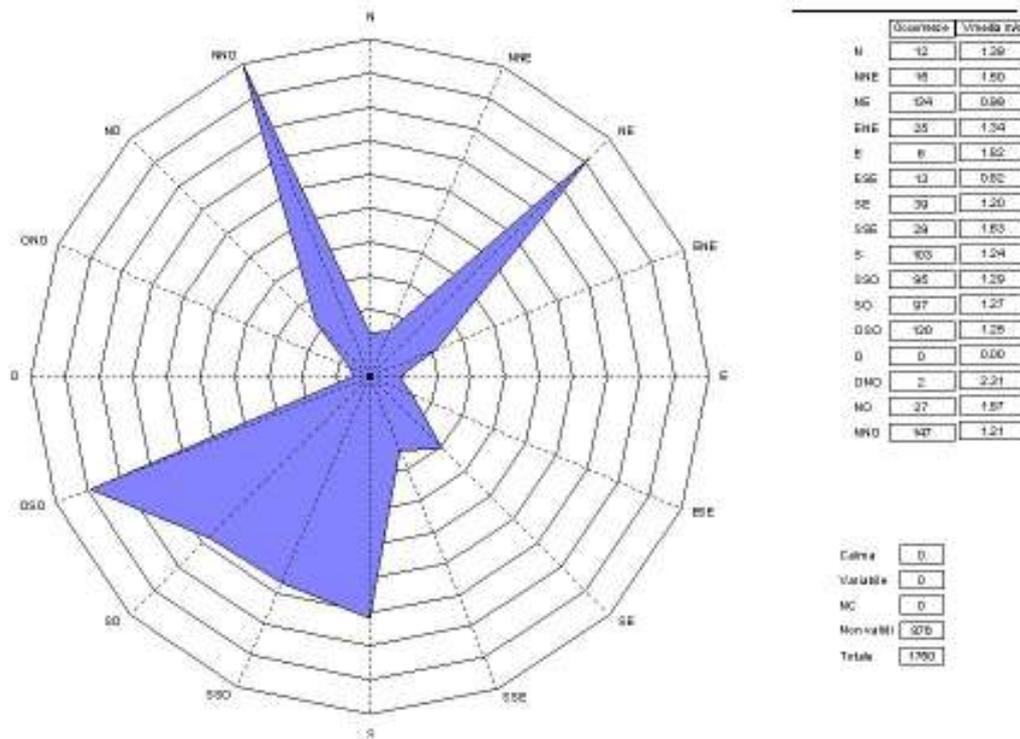
grafico 2.1 andamenti valori medi orari



Il valore massimo della velocità del vento è stato raggiunto il giorno 19 giugno 2014 alle ore 2 con 8,6 m/sec.

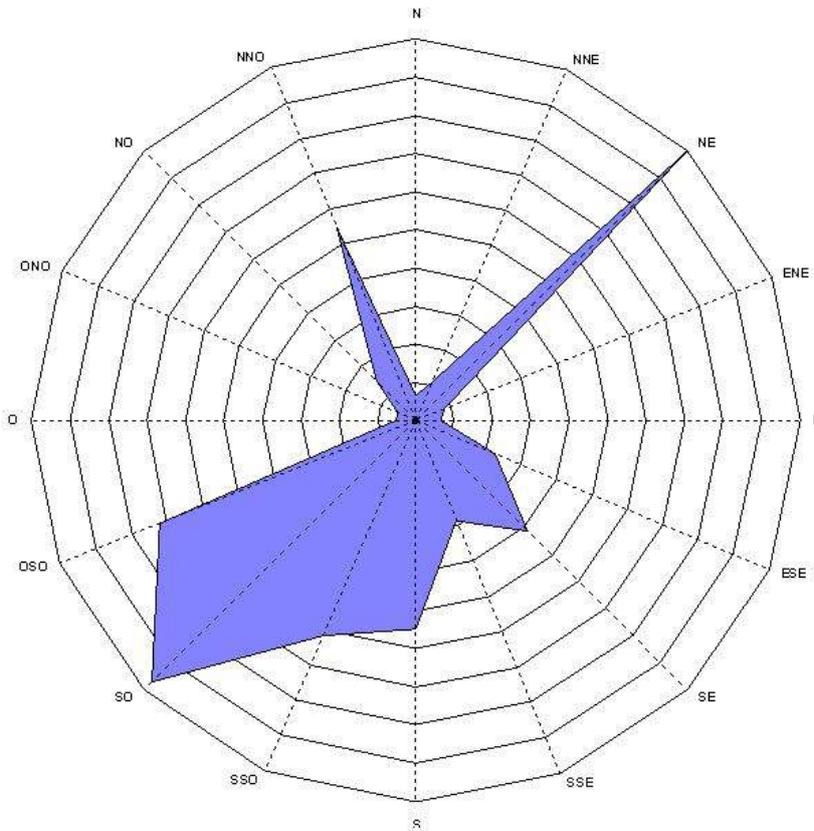
Rosa dei venti

grafico 2.2 rosa dei venti annuale



Rosa dei venti stagionale

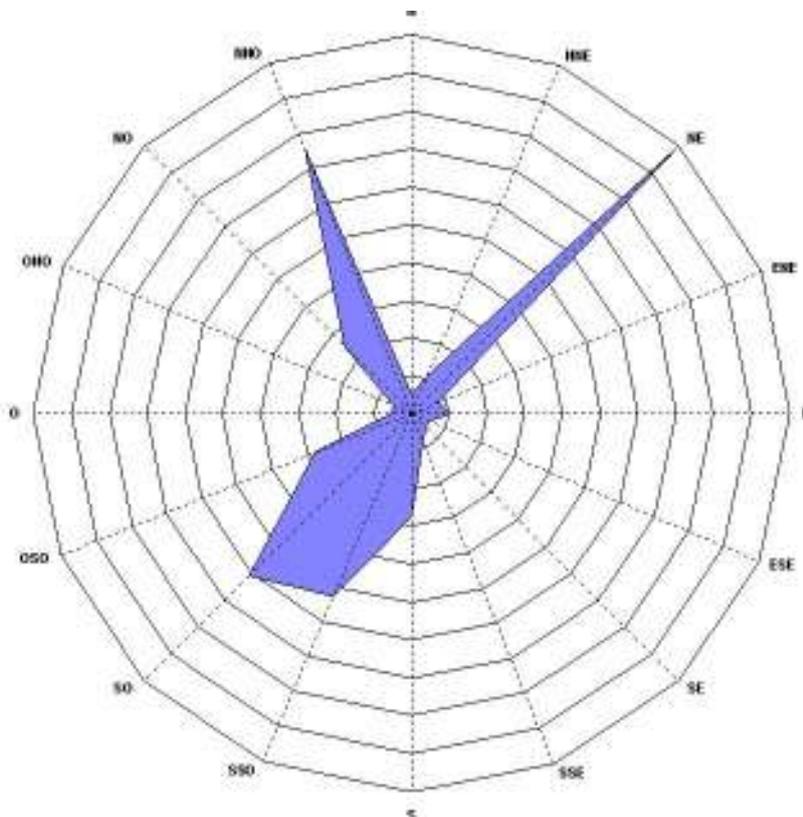
grafico 2.3 rosa dei venti autunno 2013



	Occorrenze	V/meda m/s
N	1	0.93
NNE	4	0.88
NE	61	0.91
ENE	2	0.81
E	1	0.70
ESE	11	0.77
SE	23	0.98
SSE	15	1.05
S	32	1.03
SSO	36	1.82
SO	59	1.46
OSO	43	1.46
O	0	0.00
ONO	0	0.00
NO	6	1.33
NNO	32	1.17

Calma	0
Variable	0
NC	0
Non validi	34
Totale	360

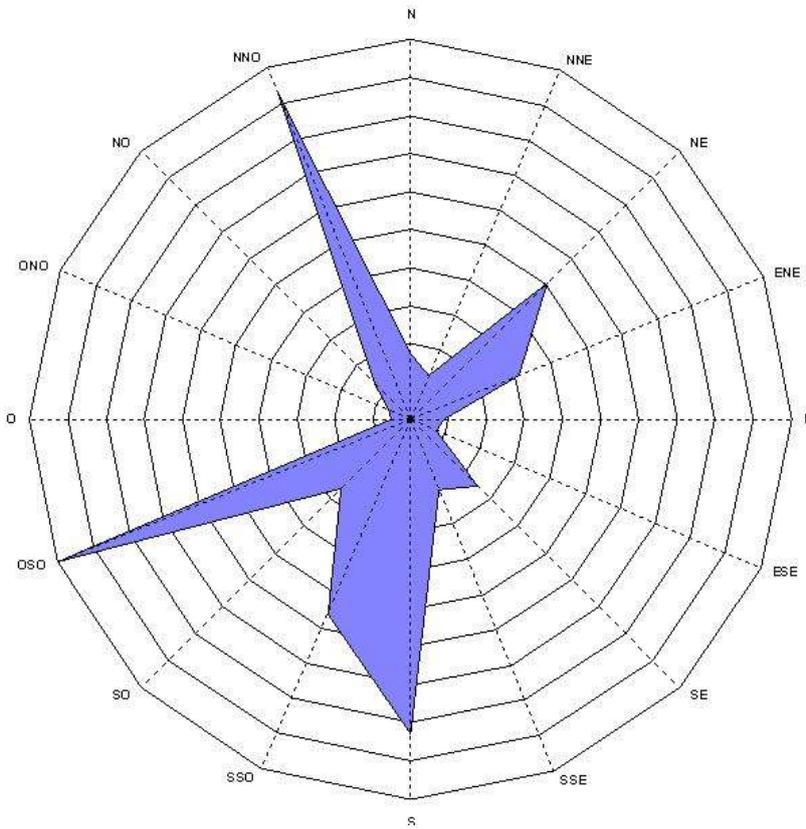
grafico 2.4 rosa dei venti inverno 2013



	Occorrenze	V/meda m/s
N	0	0.00
NNE	2	0.65
NE	34	0.90
ENE	1	1.05
E	2	0.66
ESE	0	0.00
SE	0	0.00
SSE	1	0.76
S	6	0.76
SSO	17	0.78
SO	20	0.83
OSO	8	0.84
O	0	0.00
ONO	0	0.00
NO	7	1.66
NNO	25	1.34

Calma	0
Variable	0
NC	0
Non validi	258
Totale	364

grafico 2.5 rosa dei venti estate 2014

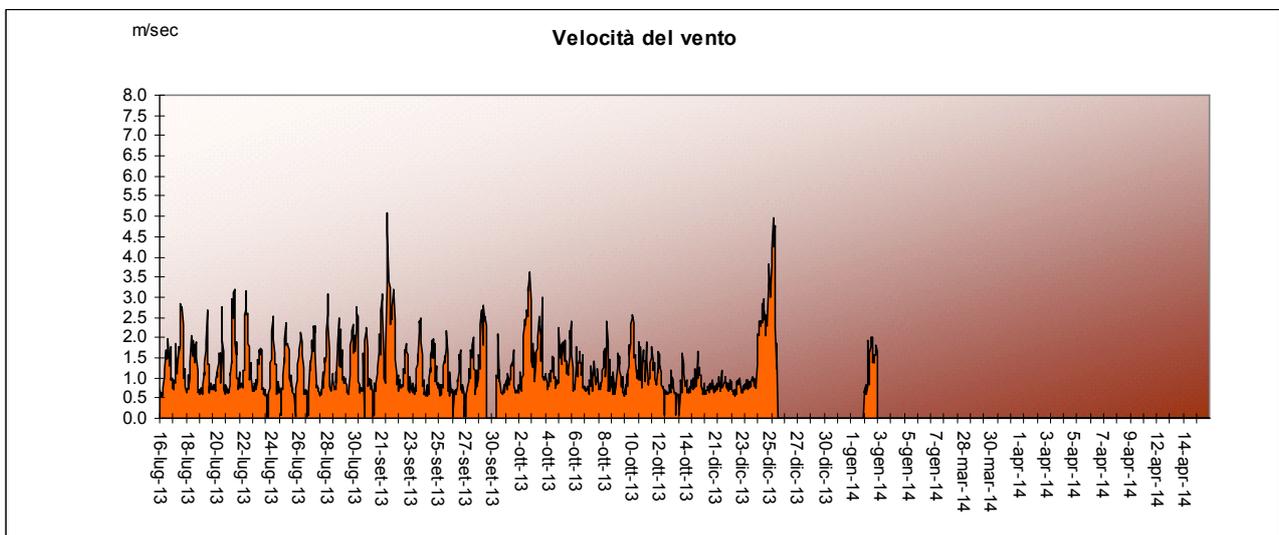


	Occorrenze	V/meda m/s
N	10	1,35
NNE	6	1,89
NE	37	1,20
ENE	21	1,40
E	3	2,83
ESE	2	1,06
SE	16	1,51
SSE	12	2,02
S	63	1,41
SSO	41	1,04
SO	17	1,15
OSO	77	1,19
O	0	0,00
ONO	1	3,87
NO	7	2,32
NNO	71	1,11

Calma	0
Variabile	0
NC	0
Non validi	24
Totale	408

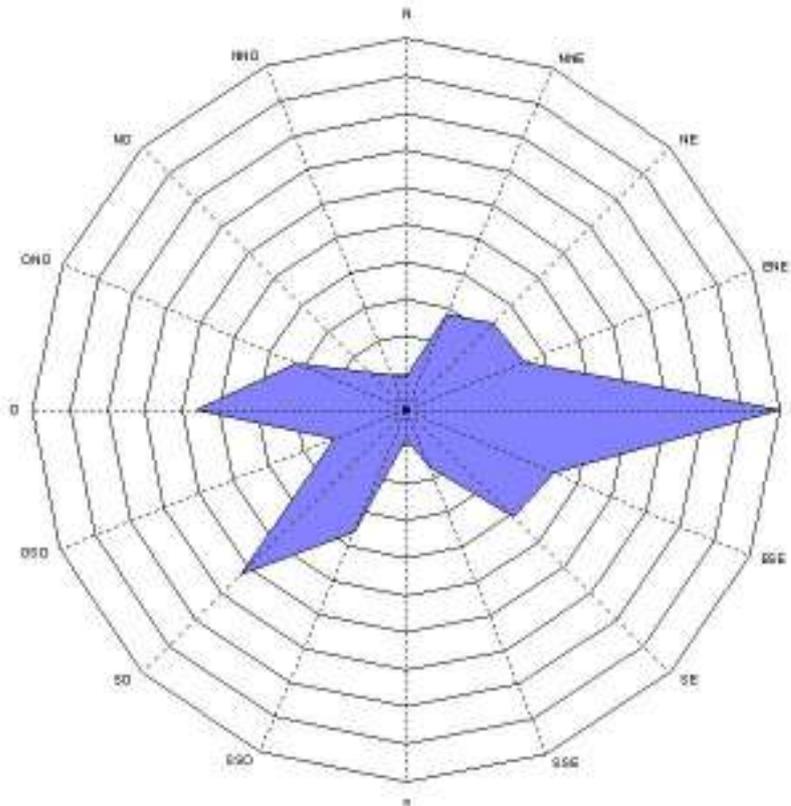
Camucia - Cortona  
Velocità del vento

grafico 2.6 andamenti valori medi orari



Rosa dei venti

grafico 2.7 rosa dei venti annuale

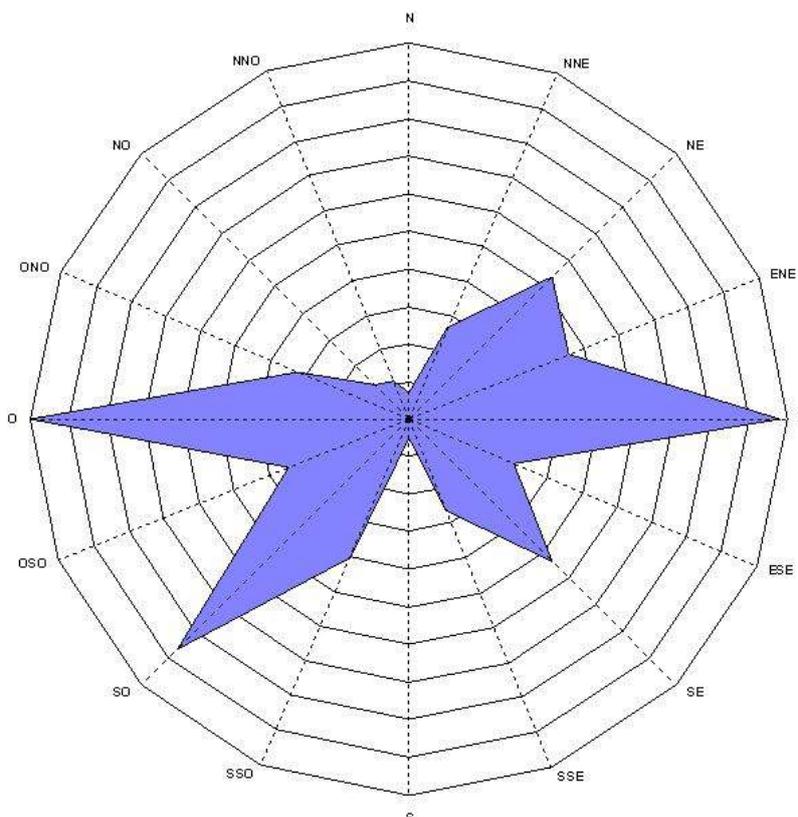


	Occorrenze	Vmedia m/s
N	6	0,90
NNE	50	1,12
NE	80	0,99
ENE	63	1,19
E	206	1,64
ESE	82	1,57
SE	77	1,91
SSE	25	0,96
S	6	0,85
SSO	88	1,12
SO	125	1,36
OSO	94	1,25
O	111	1,43
ONO	59	1,17
NO	21	1,22
NNO	11	0,99

Calma	0
Variabile	0
NC	0
Non validi	2292
Totale	2292

Rosa dei venti stagionale

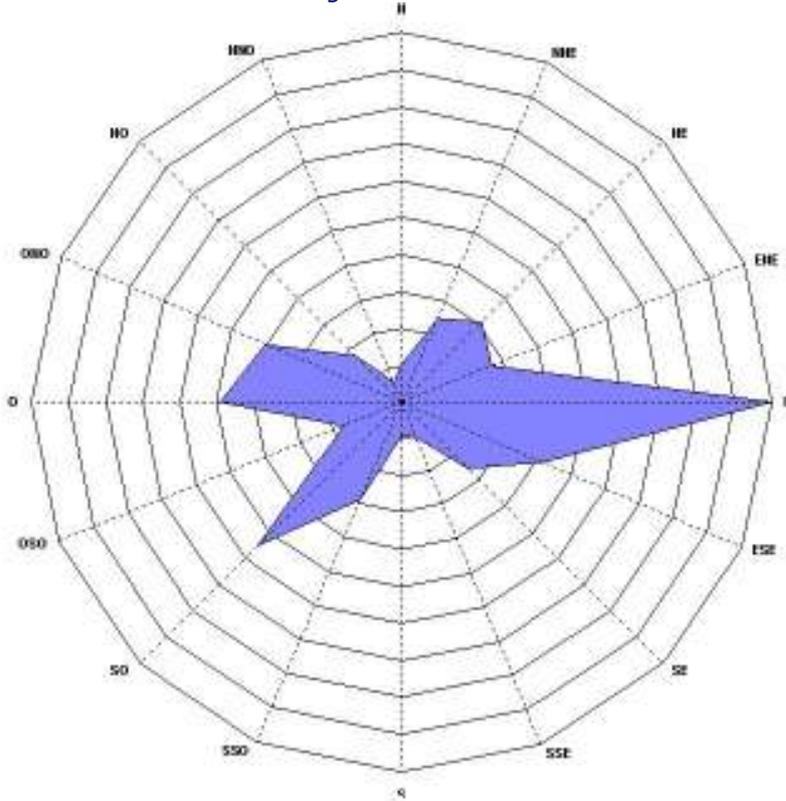
grafico 2.8 rosa dei venti estate 2013



	Occorrenze	Vmedia m/s
N	1	0,80
NNE	11	1,49
NE	25	0,93
ENE	21	1,10
E	48	1,71
ESE	13	1,12
SE	25	1,28
SSE	11	1,10
S	0	0,00
SSO	18	1,24
SO	42	1,50
OSO	15	1,40
O	49	1,63
ONO	14	1,45
NO	4	1,20
NNO	3	0,89

Calma	0
Variabile	0
NC	0
Non validi	60
Totale	360

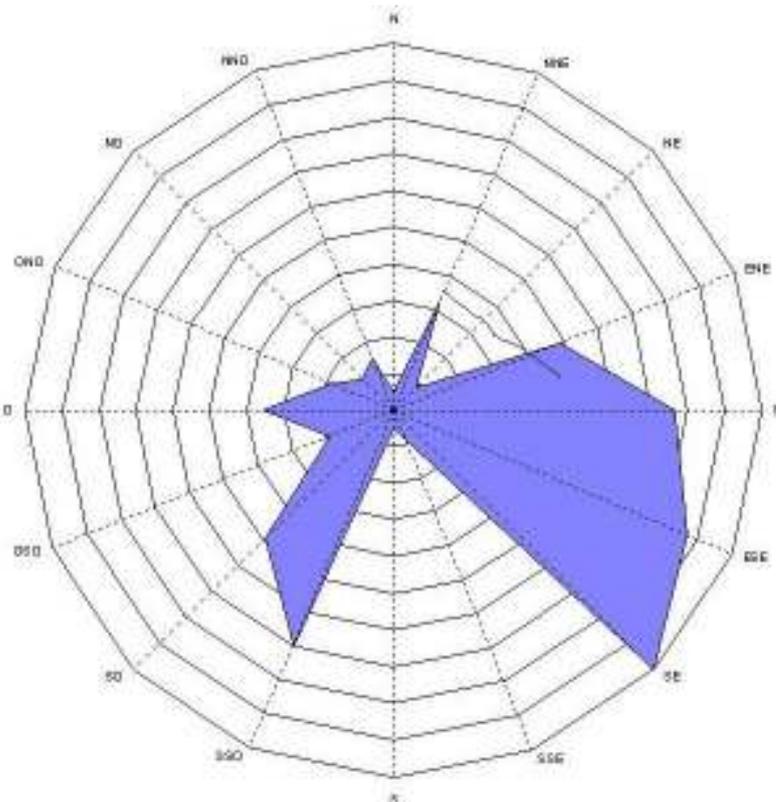
grafico 2.9 rosa dei venti autunno 2013



	Occorrenze	V. media m/s
N	8	1.00
NNE	20	0.96
NE	30	0.75
ENE	25	1.14
E	112	1.88
ESE	43	1.39
SE	24	1.12
SSE	6	0.94
S	5	0.70
SSE	26	1.31
SO	59	1.40
OSO	14	1.18
O	52	1.35
ONO	41	1.11
NO	15	1.20
NNO	1	0.85

Calma	0
Variable	0
NC	0
Non validi	57
Totale	591

grafico 2.10 rosa dei venti inverno 2013



	Occorrenze	V. media m/s
N	0	0.00
NNE	6	0.60
NE	1	0.60
ENE	13	1.40
E	21	1.40
ESE	24	2.24
SE	29	1.77
SSE	1	0.67
S	0	0.00
SSE	19	0.79
SO	12	0.87
OSO	4	0.92
O	9	0.87
ONO	4	0.66
NO	2	1.56
NNO	3	0.75

Calma	0
Variable	0
NC	0
Non validi	350
Totale	460

## Allegato 2 Indici statistici – valutazione su base annuale

L'analisi degli andamenti temporali relativa agli anni 2011, 2012 e 2013 ha messo in evidenza casi di sfasamento di un giorno dei livelli massimi di PM10 registrati da due stazioni di misurazione rispetto alle altre; indipendentemente dalla causa, si è ritenuto opportuno, al fine del presente studio, allineare i dati.

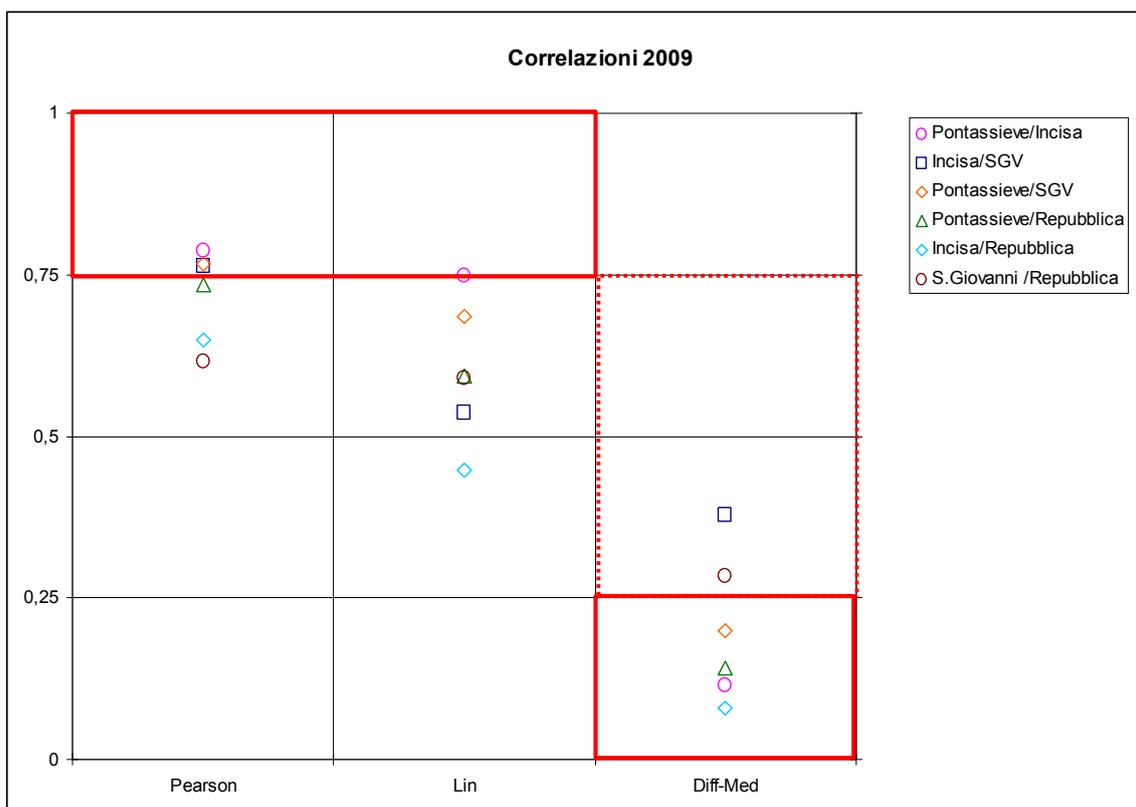
### Anno 2009

Il 2009 è stato caratterizzato, in relazione ai valori limite definiti dalla legislazione che disciplina la qualità dell'aria, da livelli medi o medio bassi nelle stazioni del Valdarno. A segnare i livelli di PM10 più bassi è stata la stazione di Incisa. Bisogna considerare che le stazioni di Pontassieve e San Giovanni Valdarno sono caratterizzate da una raccolta minima dei dati del 75% e del 60% (riferimento  $\geq 90\%$ ) e pertanto sarebbero da considerarsi serie non valide ai sensi dei criteri definiti dal D.Lgs. 155/2010 al fine della verifica di conformità del valore limite.

Tabella 1 riepilogo indicatori annuali e raccolta minima dei dati % anno 2009

Stazione	2009		
	Media	Superamenti	Raccolta minima dei dati %
Pontassieve	23	5	75
Incisa	21	5	95
San Giovanni	27	8	60
Repubblica	30	15	95
Acropoli	-	-	-

Figura 1 grafico delle correlazioni anno 2009



A livello di correlazioni si riscontra una buona somiglianza tra le due postazioni ARPAT (Incisa e Pontassieve) che mostrano valori degli indici di correlazione di Pearson, di concordanza di Lin e di correlazione differenza media (in valore assoluto) compresi nei criteri di accettabilità assunti per definire una buona correlazione. La stazione di San Giovanni Valdarno, appartenente alla rete ENEL, si attesta su una media decisamente più alta e ciò fa sì che l'indice di Lin risulti scarso, sia nel confronto con la stazione di Incisa, che con quella di Pontassieve; Pearson risulta in entrambi i casi buono. Rispetto alla stazione di Incisa, che è quella con i livelli più bassi, la stazione di San Giovanni Valdarno mostra anche una maggiore divaricazione nelle medie giornaliere corrispondenti agli episodi di picco. Ciò risulta in una correlazione differenza-media pari a 0,39 valore che, pur non essendo indicativo di una correlazione tra differenza e media, è comunque superiore al valore di soglia stabilito di 0,25.

Diverso è il quadro del confronto con i dati della stazione di Arezzo Repubblica, che rappresenta per il 2009 l'area urbana di Arezzo, e per la quale abbiamo indici di Pearson e Lin scarsi con tutte le stazioni del Valdarno. L'indice differenza media è l'unico che mostra un buon comportamento, mantenendosi sotto soglia per le stazioni di Incisa e Pontassieve e poco sopra la soglia (0,28) per la stazione di San Giovanni Valdarno. Si ritiene che il dato da considerarsi più rilevante in questo caso sia la mancanza di correlazione secondo Pearson. Lo scarso valore del coefficiente di Lin, è infatti a priori prevedibile, in ragione della differenza nel valore medio annuale, dovuta al fatto che la stazione di Arezzo Repubblica è una stazione di traffico; come si evince dal confronto con i dati di Acropoli (sezione 1) il livello misurato dalla stazione di Arezzo Repubblica è superiore al rispettivo fondo di circa il 20%.

Per passare da una rappresentazione a coppie di punti ad una rappresentazione complessiva delle stazioni, è stata definita una funzione distanza che dipendesse dal valore dei 3 indici statistici calcolati.

Per una generica coppia di stazioni 1 e 2 la distanza è stata definita come:

$$d_{12} = (1 - \text{Pearson}) + (1 - \text{Lin}) + \text{Diff-Med}$$

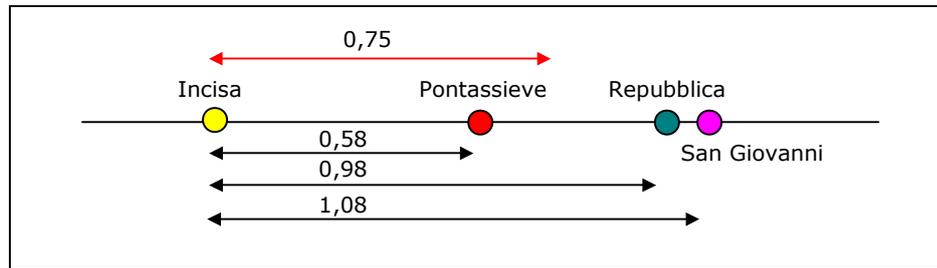
Questa funzione aumenta quando gli indici di Pearson e Lin sono bassi e la correlazione tra differenza e media è alta. Ciò significa che minore è la distanza, più vicini sono i punti, e più sono correlate le stazioni.

*Tabella 2 valori della funzione distanza stazioni di Incisa, Pontassieve, San Giovanni Valdarno e Ar-P.za Repubblica anno 2009*

Distanze	<i>Incisa</i>	<i>Pontassieve</i>	<i>San Giovanni Valdarno</i>	<i>Repubblica</i>
<i>Incisa</i>	0	0,58	1,08	0,98
<i>Pontassieve</i>	-	0	0,75	0,81
<i>San Giovanni</i>	-	-	0	1,08
<i>Repubblica</i>	-	-	-	0

Selezionando come riferimento la stazione di Incisa, che per posizione, per copertura dei dati e per il fatto di essere gestita direttamente da ARPAT può considerarsi in prima istanza la postazione di riferimento per rappresentare il Valdarno, è possibile schematizzarne la correlazione con le altre stazioni utilizzando la funzione distanza.

Figura 2 rappresentazione grafica della funzione distanza stazioni di *Incisa, Pontassieve, San Giovanni Valdarno e Ar-P.za Repubblica* anno 2009



Come riferimento, si può considerare una distanza di 0,75 come distanza "limite" per la correlazione tra due stazioni; tale distanza si ottiene infatti applicando ai coefficienti di Pearson, Lin e Diff-Media i valori delle soglie assunte nel grafico di figura 2, ovvero: Pearson = 0,75, Lin = 0,75 e Diff-Media = 0,25.

Considerando contemporaneamente le altre 3 condizioni disponibili e cioè le distanze Pontassieve/Repubblica, Pontassieve/S. Giovanni e S. Giovanni/Repubblica, si ottiene un quadro dei reciproci rapporti tra le stazioni nel 2009.

Per poter soddisfare tutti i vincoli, occorrerebbe rappresentare le stazioni attraverso punti in uno spazio a 3 dimensioni, tali che siano rispettate le distanze di tabella 2. Una rappresentazione tridimensionale sarebbe tuttavia di difficile realizzazione e di lettura non altrettanto immediata come su un piano. Per cercare di semplificare il più possibile la trattazione, nel grafico di fig. 2, ed in tutti quelli seguenti dello stesso tipo, sono adottate le seguenti convenzioni:

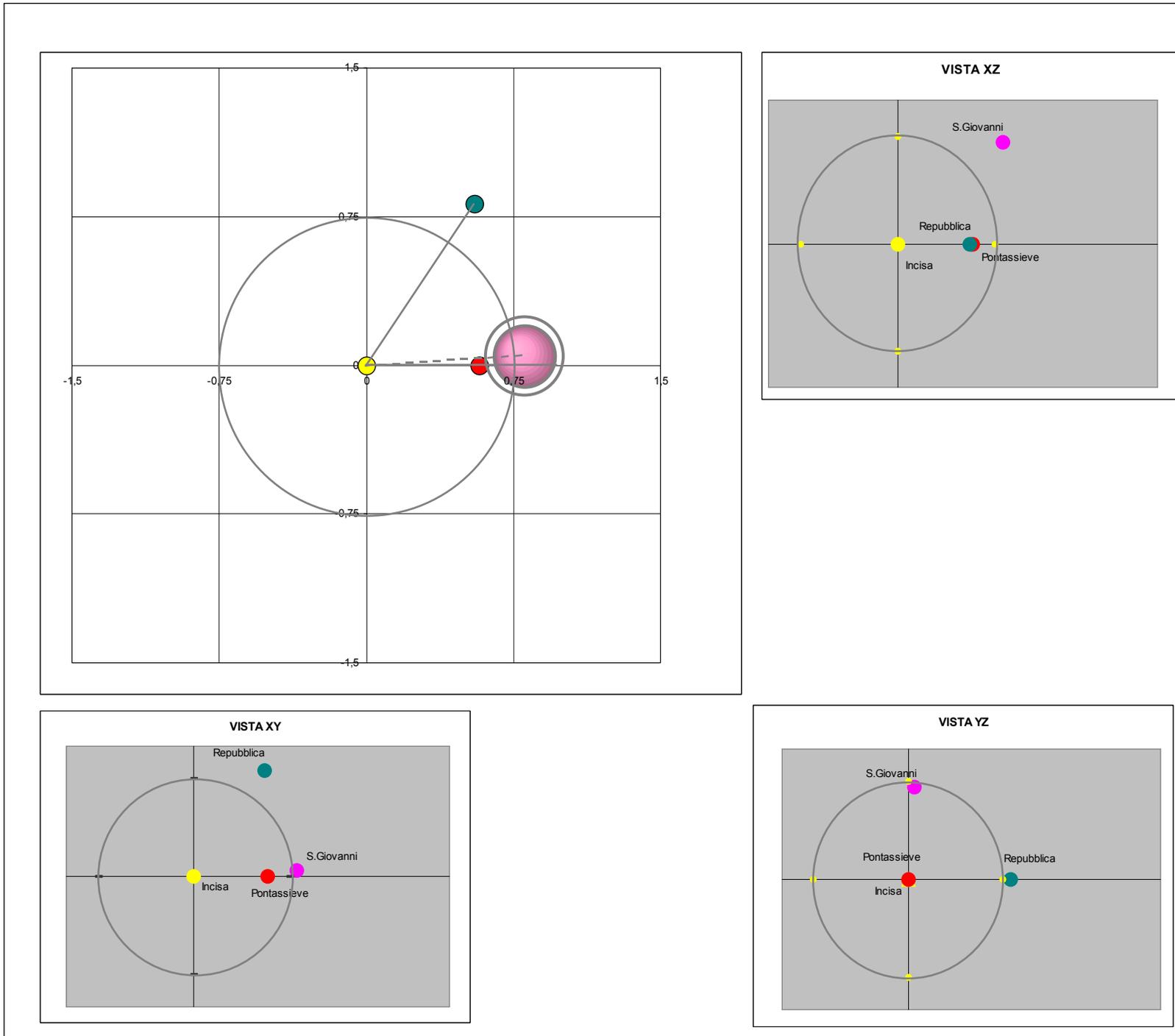
- la stazione di Incisa è nell'origine degli assi (colore giallo) nel periodo 2009-2012
- la stazione di Pontassieve è sull'asse x (colore rosso)
- la stazione di Repubblica è sul piano xy (colore azzurro)
- la stazione di Acropoli è nell'origine degli assi (colore giallo) nel periodo 2013-2014

La stazione di San Giovanni Valdarno (colore rosa fucsia), essendo la 4° stazione considerata, è l'unica ad avere una componente z. La quota di San Giovanni Valdarno è rappresentata in grafico dalla dimensione dell'indicatore. Maggiore è la dimensione, maggiore è l'elevazione del punto ovvero la distanza dalla stazione di riferimento di Incisa. Al fine di avere il riferimento alla distanza limite, è tracciata, sovrapposta al punto riferito alla stazione di San Giovanni Valdarno, come grandezza di scala, una circonferenza vuota della dimensione che il punto avrebbe ad una distanza di 0,75 dal piano xy.

Sono infine riportate le 3 viste ottenute proiettando i punti sui piani xy, yz e xz.

Nel grafico e in ciascuna proiezione, è tracciata, sempre come grandezza orientativa, una circonferenza di raggio 0,75.

Figura 3 rappresentazione grafica funzione distanza anno 2009



Come è possibile osservare il grafico restituisce una visione complessiva delle relazioni tra i dati nelle diverse stazioni per l'anno 2009.

Sostanzialmente risulta confermata l'analisi effettuata per i 3 indici separati da cui si osserva una buona corrispondenza tra le misure di Pontassieve e Incisa. Le stazioni di San Giovanni Valdarno e Repubblica, in questo anno, si distinguono da Incisa e anche tra loro.

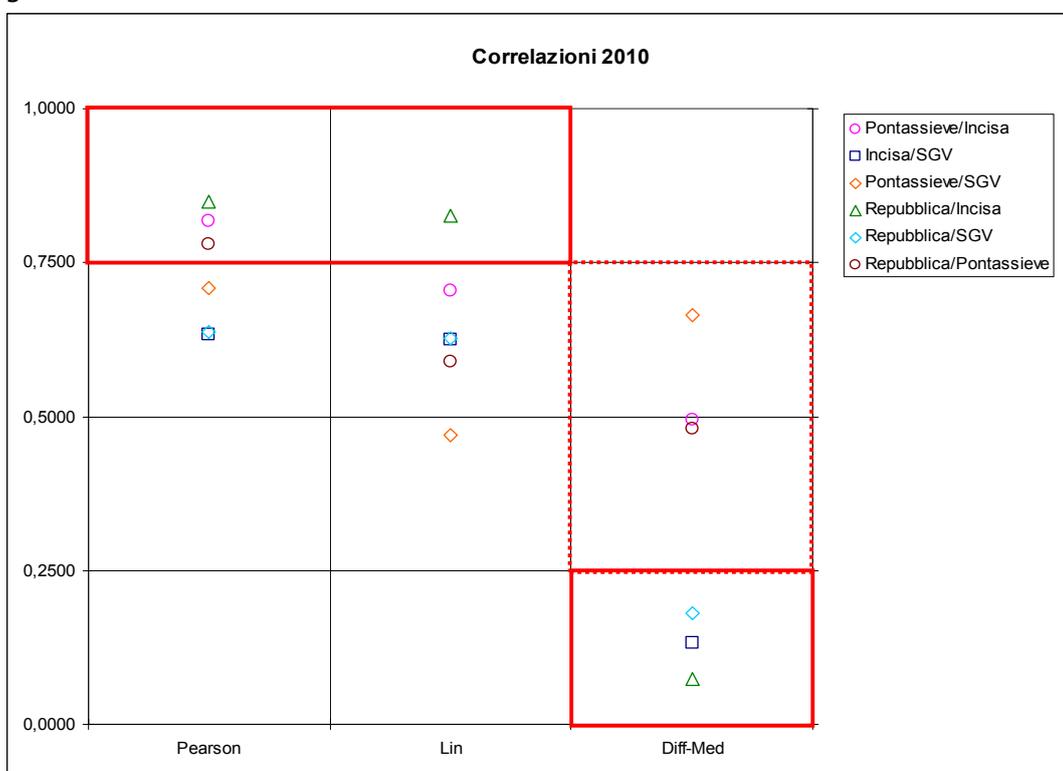
## Anno 2010

Anche l'anno 2010 è stato caratterizzato da valori bassi o medio bassi della media annuale. Non ci sono superamenti dei limiti di legge ma, nuovamente, la raccolta minima dei dati è tale che le serie dati di Pontassieve (ARPAT) non sia da considerarsi conforme agli obiettivi di qualità dei dati previsti dal D.Lgs. 155/2010.

Tabella 3\_1 - Riepilogo indicatori annuali e raccolta minima dei dati % anno 2010

Stazione	2010		
	Media	Superamenti	raccolta minima dei dati %
Pontassieve	19	2	78
Incisa	23	18	98
San Giovanni	29	26	86
Repubblica	27	20	96
Acropoli	-	-	-

Figura. 4 grafico delle correlazioni anno 2010

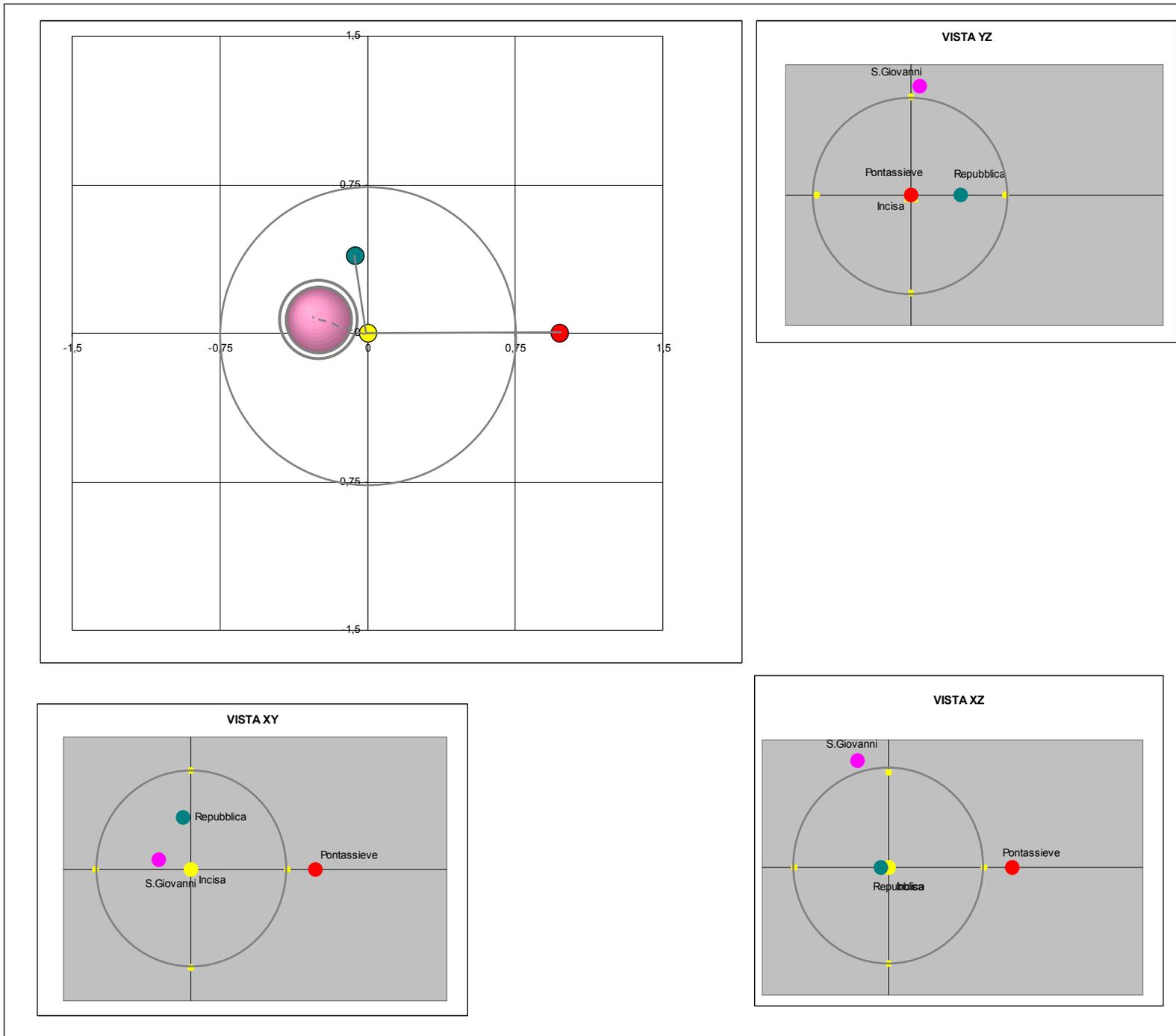


Nel 2010 viene a crearsi una maggiore differenziazione tra le 3 stazioni del Valdarno, mentre, contemporaneamente, la stazione di Incisa mostra una notevole correlazione con la serie dati di Arezzo Repubblica. Più nel dettaglio, si ha un distacco della stazione di San Giovanni Valdarno da Incisa, con la quale la stazione mostra una scarsa correlazione anche secondo il coefficiente di Pearson. Secondo il coefficiente di Lin l'unica coppia di stazioni a mostrare una correlazione ottimale è Incisa/Repubblica. Ci sono poi coppie di stazioni con coefficiente leggermente sotto soglia (Pontassieve con le due stazioni del Valdarno e San Giovanni Valdarno con la stazione di Arezzo Repubblica) ed infine la coppia di stazioni che maggiormente si differenzia, secondo l'indice di Lin, per livelli misurati ovvero Pontassieve/San Giovanni Valdarno. L'indice di correlazione differenza-media ha il valore più basso per la coppia Incisa/Repubblica che, come detto, risulta la più nettamente correlata. Per la stazione di Pontassieve con ciascuna delle altre analizzate, si ha un indice di correlazione differenza media maggiore del valore ottimale, che sta ad indicare la minore oscillazione di questa serie, ovvero minore sensibilità agli episodi di picco rispetto alle altre stazioni.

Tabella 3\_2 valori della funzione distanza stazioni di Incisa, Pontassieve, San Giovanni Valdarno e Ar-P.za Repubblica anno 2010

Distanze	<i>Incisa</i>	<i>Pontassieve</i>	<i>San Giovanni Valdarno</i>	<i>Repubblica</i>
<i>Incisa</i>	0	0,97	0,87	0,40
<i>Pontassieve</i>	-	0	1,48	1,11
<i>San Giovanni</i>	-	-	0	0,91
<i>Repubblica</i>	-	-	-	0

Figura 5 rappresentazione grafica funzione distanza anno 2010



Anche il grafico delle posizioni relative, sempre centrato su Incisa, mostra un cambiamento dei rapporti tra le stazioni rispetto all'anno 2009.

In particolare risultano evidenti l'allontanamento della stazione di Incisa da quella di Pontassieve, l'avvicinamento di Incisa e Repubblica, mentre la stazione di San Giovanni Valdarno si colloca appena oltre il raggio limite da Incisa e ad una distanza leggermente superiore da Repubblica.

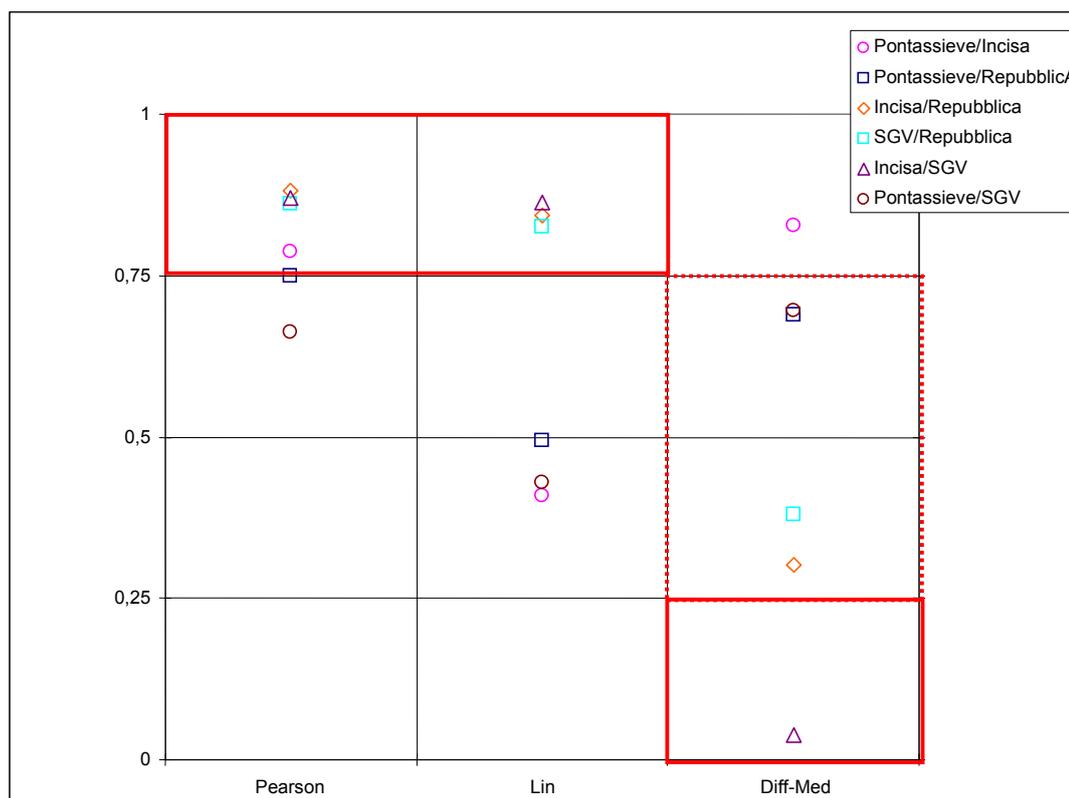
## Anno 2011

Nel 2011 viene confermata la distanza tra la stazione di Pontassieve e le stazioni di Incisa e San Giovanni Valdarno, che vanno a caratterizzarsi come media annuale su valori simili a quelli di Ar-Repubblica. Anche per quanto riguarda il numero di superamenti, si registra per la stazione di Pontassieve una situazione molto diversa da quella delle altre stazioni. Il numero di superamenti calcolato per la stazione di San Giovanni Valdarno va considerato con cautela poiché la serie dati non raggiunge gli obiettivi di qualità per quanto concerne la raccolta minima dei dati finalizzata all'elaborazione degli indicatori annuali; ciò risulta particolarmente critico nel caso del numero di superamenti, anche in ragione del fatto, che risulta mancante tutta la seconda parte dell'inverno. La stazione di Incisa, dopo due anni di dati ampiamente al di sotto dei limiti, supera la soglia dei 35 superamenti annui. Di tutto il periodo analizzato, l'anno 2011 è anche quello con la migliore copertura complessiva, quindi quello da cui è possibile ricavare un'informazione statisticamente più robusta.

Tabella 4\_1 Riepilogo indicatori annuali e raccolta minima dei dati % anno 2011

Stazione	2011		
	Media	Superamenti	raccolta minima dei dati %
Pontassieve	20	1	95
Incisa	32	49	98
San Giovanni	28	21	63
Repubblica	28	34	97
Acropoli	-	-	-

Figura 6 grafico delle correlazioni anno 2011

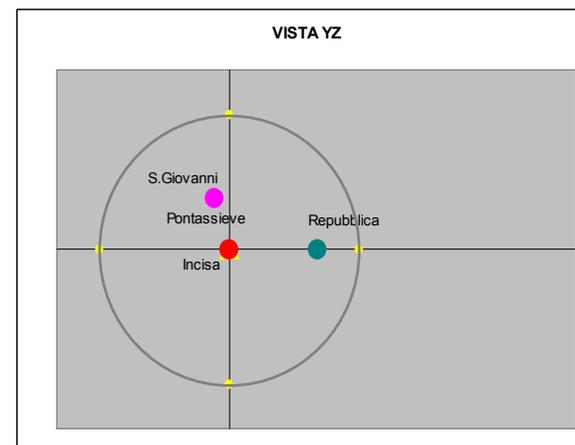
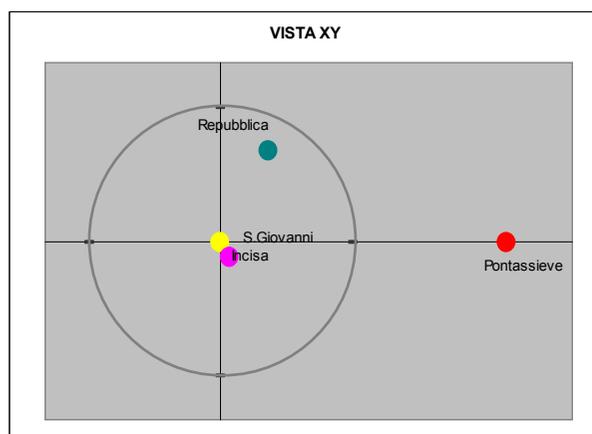
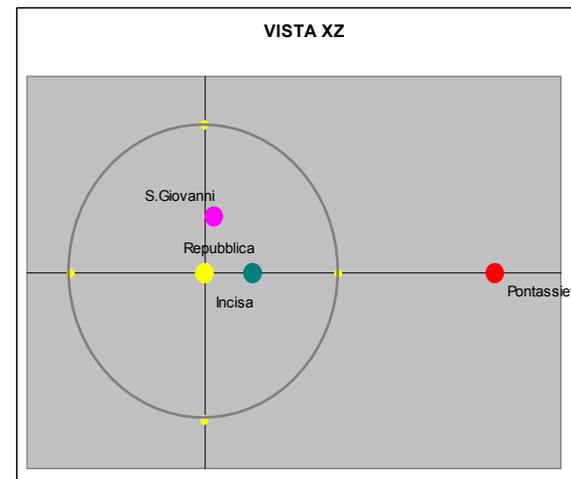
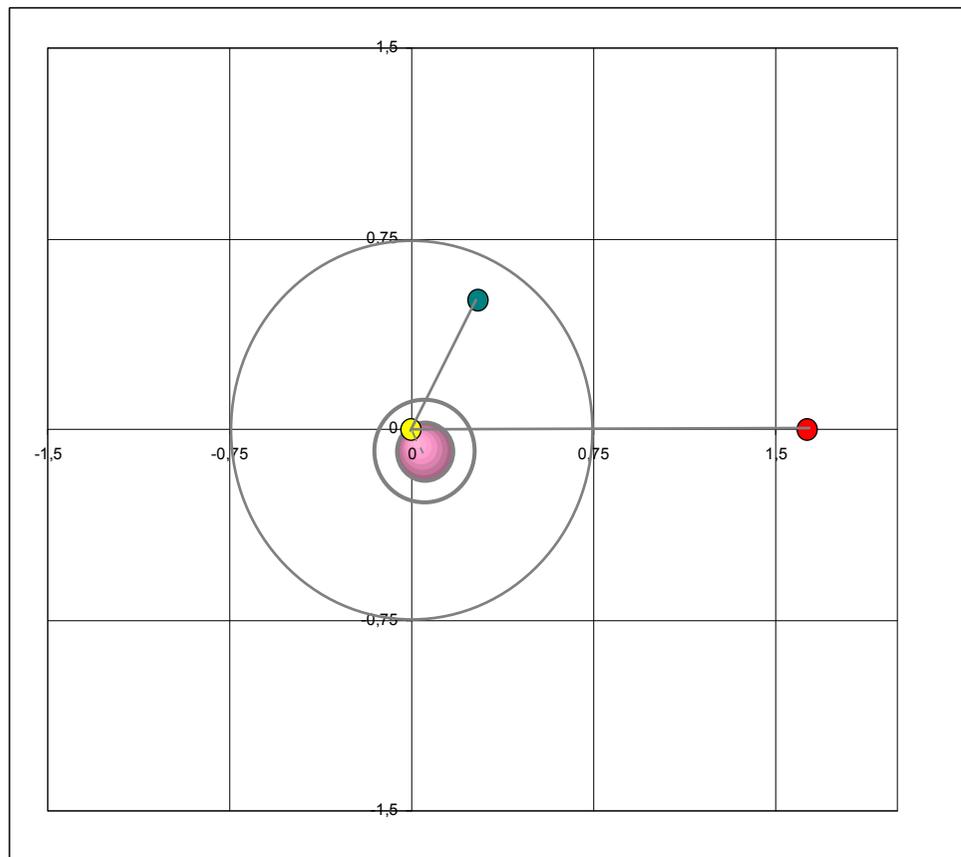


Si conferma anche per il 2011 la situazione che si era già delineata nel 2010, in cui la stazione di Pontassieve si differenzia dalle altre stazioni del Valdarno (S. Giovanni Valdarno e Incisa), le quali, a loro volta, mostrano una buona somiglianza, oltre che tra loro, con la stazione di Arezzo Repubblica.

Tabella 4\_2 valori della funzione distanza stazioni di Incisa, Pontassieve, San Giovanni Valdarno e Ar-P.za Repubblica anno 2011

Distanze	<i>Incisa</i>	<i>Pontassieve</i>	<i>San Giovanni Valdarno</i>	<i>Repubblica</i>
<i>Incisa</i>	0	1,63	0,30	0,58
<i>Pontassieve</i>	-	0	1,60	1,45
<i>San Giovanni</i>	-	-	0	0,69
<i>Repubblica</i>	-	-	-	0

Figura 7 rappresentazione grafica funzione distanza anno 2011



Osservando il grafico delle posizioni relative si può apprezzare ancora meglio come per il 2011 la somiglianza tra le 3 stazioni sia molto netta; prendendo a riferimento la stazione di Incisa, le stazioni di S. Giovanni Valdarno e di Repubblica si collocano nettamente entro la soglia e la stazione di Pontassieve nettamente al di fuori.

## Anno 2012

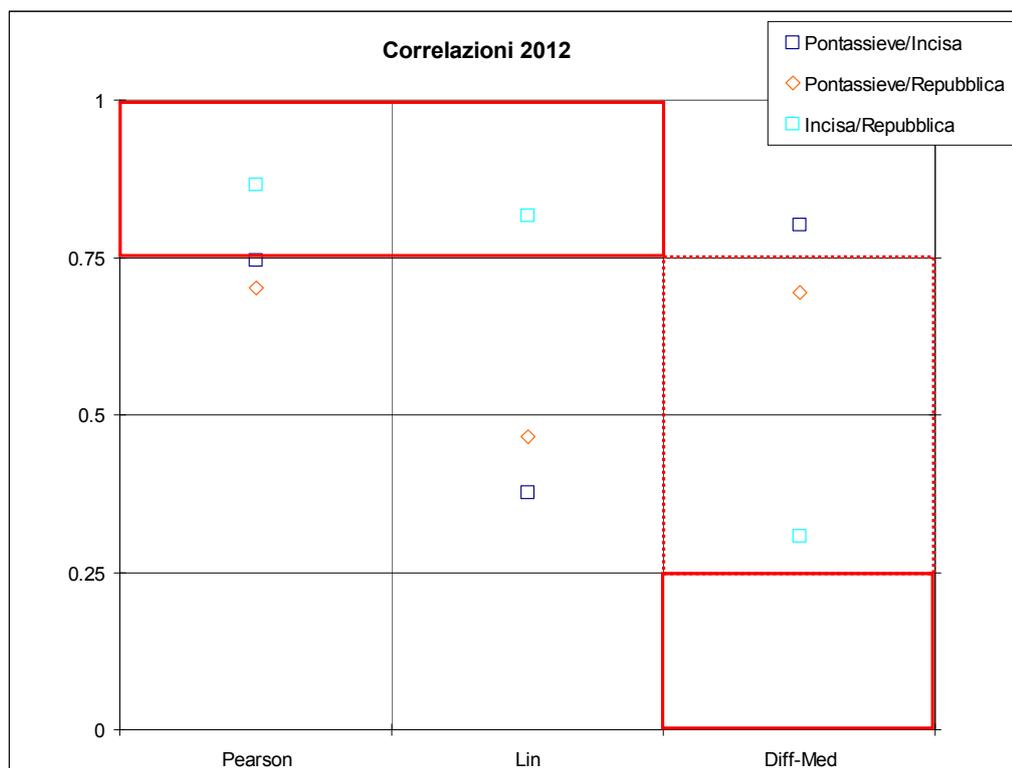
Nel 2012 si registra una scarsissima copertura dati per la stazione di San Giovanni Valdarno, tale da non considerare indicativi i risultati dei confronti effettuati con le altre stazioni. La raccolta minima dei dati, oltre ad essere molto bassa, è concentrata esclusivamente nella prima parte dell'anno.

Per maggiore chiarezza sono state escluse dal grafico di correlazione le coppie di dati relative alla stazione di S. Giovanni Valdarno perché, come detto, data l'esigua quantità di dati, si ritiene che anche il calcolo degli indici possa essere meno attendibile.

Tabella 5\_1 - Riepilogo indicatori annuali e raccolta minima dei dati % anno 2012

Stazione	2012		
	Media	Superamenti	raccolta minima dei dati %
Pontassieve	20	0	95
Incisa	33	45	94
San Giovanni	56	31	14
Repubblica	30	18	100
Acropoli	-	-	-

Figura 8 grafico delle correlazioni anno 2012



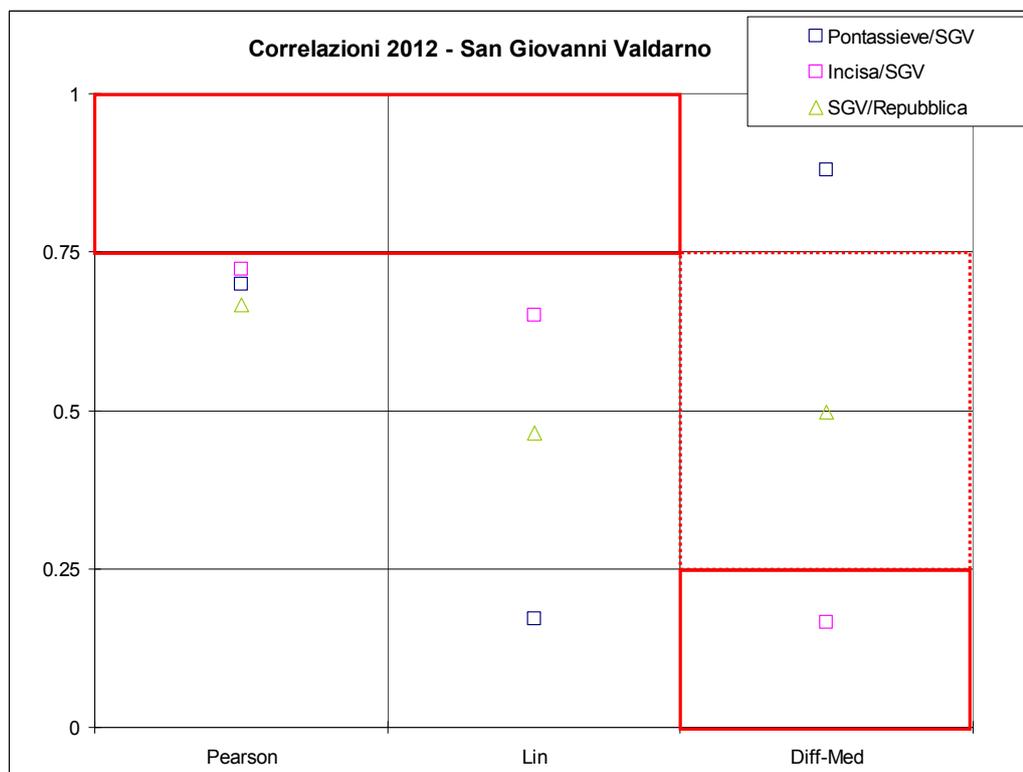
La correlazione della stazione di Pontassieve con quelle di Incisa e Repubblica, risulta accettabile solo secondo il coefficiente di Pearson.

Il coefficiente di Lin molto basso, indica che il livello medio rappresentato è molto diverso nei 3 casi (si veda ad esempio la media annuale), inoltre i valori elevati dell'indice della differenza e media indicano che le oscillazioni, in corrispondenza dei picchi di concentrazione, sono molto più ampie nel caso delle stazioni caratterizzate dalle medie annuali più alte.

Le stazioni di Incisa e Repubblica sono invece piuttosto ben allineate secondo tutti e tre i coefficienti.

Pur con tutti i limiti dati dall'esiguità dei dati disponibili, sono riportati di seguito i risultati dei confronti con la serie della stazione di San Giovanni Valdarno. Per il 2012 la stazione di San Giovanni Valdarno è quella che presenta negli andamenti, che come detto sono relativi al solo periodo invernale, i valori più elevati ed i picchi di concentrazione più pronunciati.

Figura 9 grafico delle correlazioni anno 2012 riferite alla stazione di San Giovanni Valdarno



I coefficienti di Pearson risultano buoni, inferiori ma vicini alla soglia di 0,75, per tutte e tre le coppie di stazioni. L'indice di Lin e l'indice di correlazione differenza media distinguono maggiormente le 3 coppie di stazioni.

L'indice di Lin risulta inferiore alla soglia di 0,75 per tutte le stazioni, in quanto la serie di San Giovanni Valdarno risulta avere mediamente valori più alti; il migliore indice di Lin si ha con i dati della stazione di Incisa, quindi di Repubblica ed infine di Pontassieve (non correlata). L'indice di correlazione differenza-media, che rappresenta le diverse oscillazioni delle serie corrispondenti ad una diversa ampiezza dei picchi, è alto per la stazione di Pontassieve, superiore a 0,5 per la stazione di Repubblica, ed inferiore alla soglia soltanto per la stazione di Incisa.

In sintesi, confrontando gli indici con le relative soglie, si può affermare che nel 2012 la stazione di San Giovanni Valdarno si trova in una posizione analoga a quella del 2010, mostra cioè una correlazione più debole con la stazione di Incisa e, in misura ancora minore, con Repubblica; questa correlazione che pur risulta apprezzabile negli andamenti, è meno nettamente evidenziata dagli indici statistici in ragione soprattutto della maggior rilevanza dei picchi di concentrazione misurati in questa stazione.

Tabella 5\_2 valori della funzione distanza stazioni di Incisa, Pontassieve, San Giovanni Valdarno e Ar-P.za Repubblica anno 2012

Distanze	<i>Incisa</i>	<i>Pontassieve</i>	<i>San Giovanni Valdarno</i>	<i>Repubblica</i>
<i>Incisa</i>	0	1,68	0,78	0,62
<i>Pontassieve</i>	-	0	1,96	1,53
<i>San Giovanni</i>	-	-	0	1,30
<i>Repubblica</i>	-	-	-	0

Figura 10 rappresentazione grafica funzione distanza anno 2012

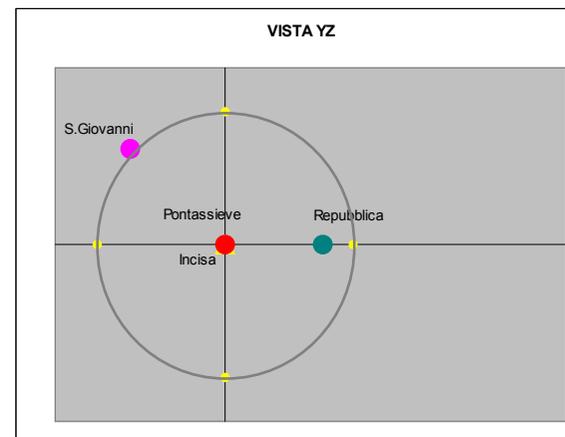
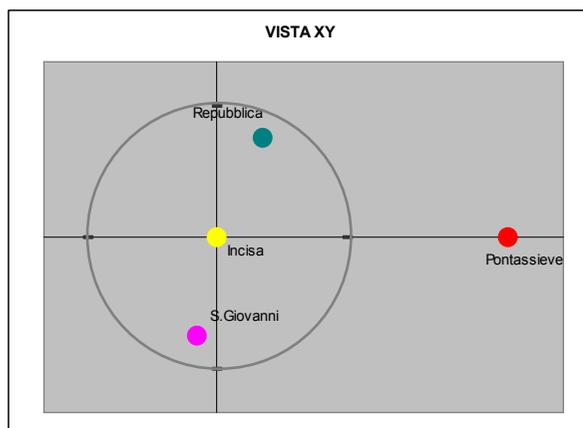
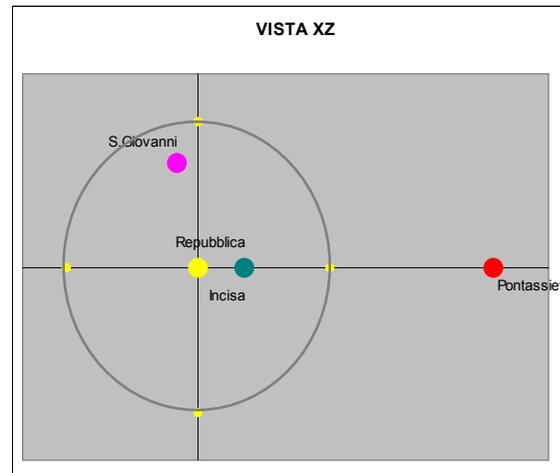
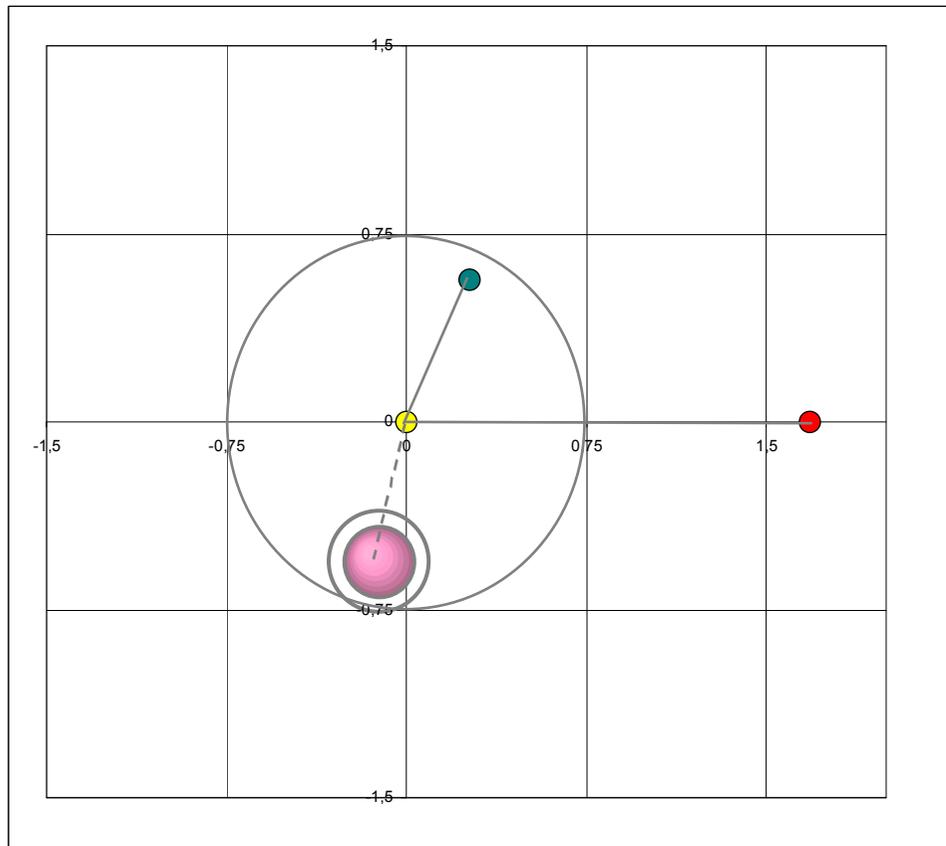


Grafico relativo alle distanze tra le stazioni nell'anno 2012.

Anche in questo grafico si può riscontrare una ben chiara correlazione tra Repubblica e Incisa, una altrettanto netta non correlazione con la stazione di Pontassieve. La stazione di San Giovanni Valdarno si colloca rispetto ad Incisa in una situazione non perfettamente definita, ai limiti delle soglie, per cui, anche a causa della scarsa copertura della serie, non è possibile effettuare valutazioni affidabili.

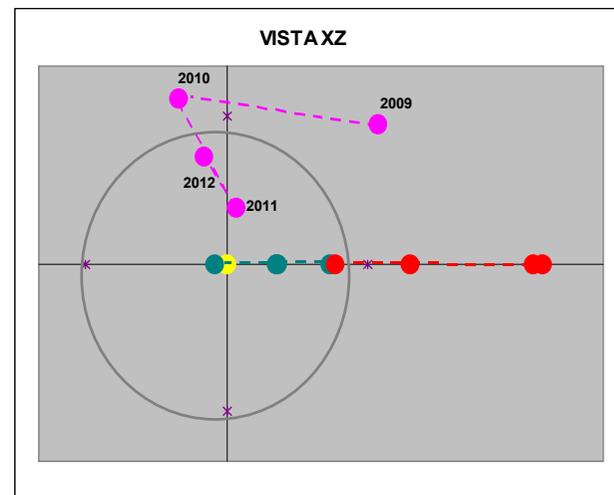
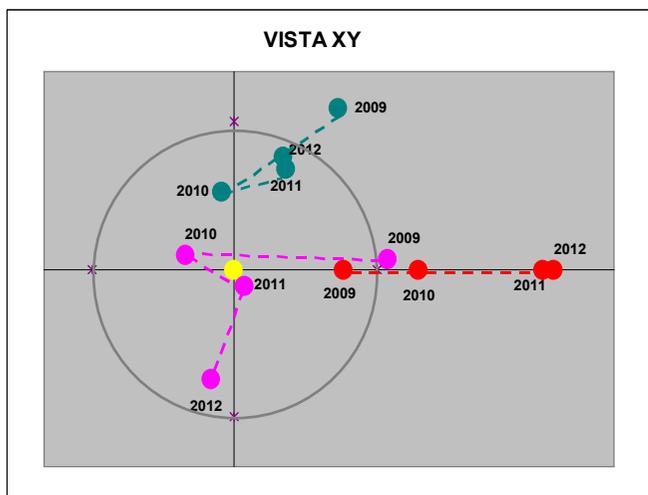
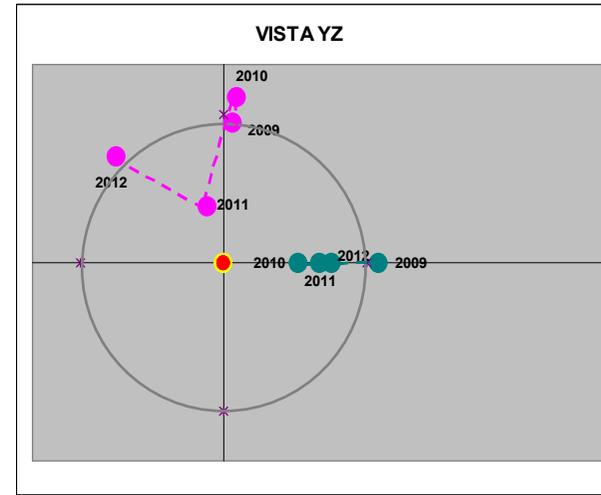
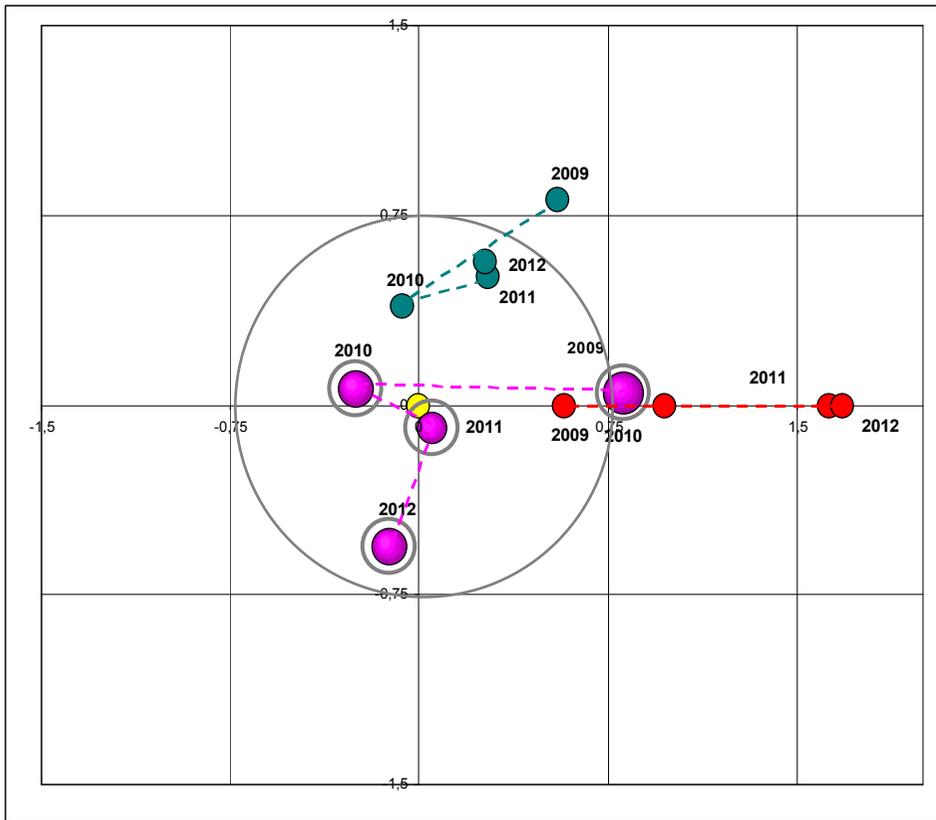
## **Valutazioni del periodo 2009 – 2012**

La rappresentazione del trend grafico di figura 11 mostrata in pagina successiva, permette di visualizzare due tipi di separazione: una temporale ed una spaziale. La demarcazione temporale sussiste tra il 2009, anno in cui le stazioni di Incisa e Pontassieve rappresentano livelli analoghi di PM10, e gli altri anni di riferimento in cui la stazione di Incisa si sposta su valori più elevati e più simili a quelli rappresentati sia dalla stazione di San Giovanni Valdarno, sia dalla stazione di rete regionale di Repubblica, situata nell'area urbana di Arezzo.

La demarcazione spaziale riguarda invece la stazione di Pontassieve, la più a Nord delle stazioni lungo l'alto Valdarno, che si trova proprio sull'ansa del fiume nella sua deviazione ad ovest verso Firenze, ed appena al di fuori della zona del Valdarno aretino e Val di Chiana.

Questa stazione, che nel 2009 ha mostrato una forte correlazione con la stazione di Incisa, per tutti gli altri anni ha segnato un contesto specifico, qualificandosi come la stazione con i valori nettamente più bassi di tutta la zona.

Figura 11 – trend grafico 2009-2012



## Anno 2013

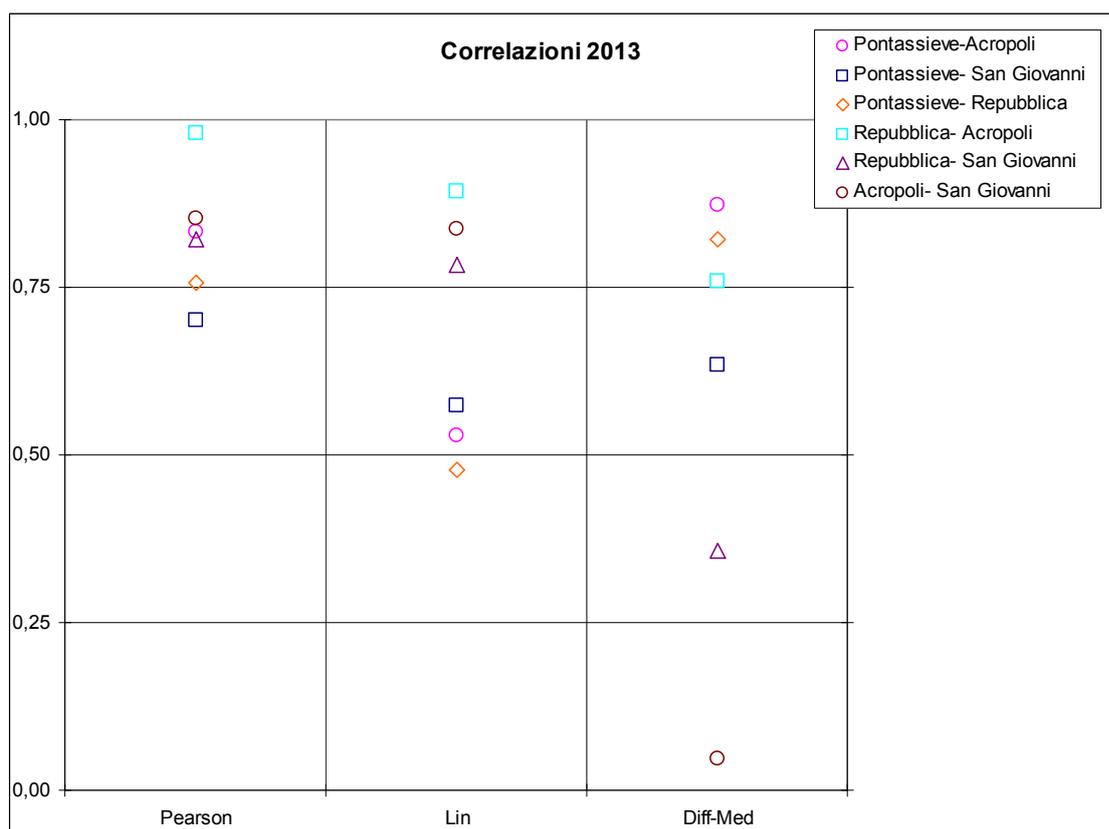
Da circa metà del 2013, è attiva la misurazione del materiale particolato PM10 nella stazione di Acropoli, per cui gli anni 2013 e 2014 sono particolarmente significativi in un'ottica di confronto tra i livelli dell'area urbana di Arezzo e quelli più specificamente dell'area del Valdarno aretino. E' da rilevare che nello stesso periodo di osservazione, non sono disponibili dati della stazione di Incisa perché dismessa; questa situazione rappresenta un limite poiché riduce gli elementi di valutazione relativi al contesto dell'area oggetto di studio.

La stazione di Repubblica, presente in tutte le annualità con ottime % di copertura e con valori degli indicatori stabili nel tempo, costituisce di fatto un riferimento necessario per le valutazioni ed il confronto degli indici di correlazione nei diversi anni.

Tabella 6\_1 - Riepilogo indicatori annuali e raccolta minima dei dati % anno 2013

Stazione	2013		
	Media	Superamenti	raccolta minima dei dati %
Pontassieve	19	1	81
Incisa	-	-	-
San Giovanni	22	14	86
Repubblica	27	26	94
Acropoli	23	12	39

Figura 12 grafico delle correlazioni anno 2013



Proprio la stazione di Repubblica mostra la miglior correlazione con l'entrante serie di Acropoli secondo gli indici di Pearson e Lin. L'alta correlazione dell'indice Differenza-Media, come discusso in precedenza, rende conto della diversa classificazione delle due stazioni, che hanno in comune la medesima area di appartenenza. La stazione di Pontassieve continua ad essere nettamente distinta da tutte le altre, mostrando correlazioni accettabili con l'altra stazione del Valdarno, San Giovanni Valdarno, e con le stazioni dell'area aretina, solo secondo l'indice di Pearson. Buona e ottima sono invece le correlazioni tra la stazione di San Giovanni Valdarno e le due stazioni di Arezzo, migliore quella con Arezzo Acropoli.

Tabella 6\_2 valori della funzione distanza stazioni di Acropoli, Pontassieve, San Giovanni Valdarno e Ar-P.za Repubblica anno 2013

Distanze	<i>Acropoli</i>	<i>Pontassieve</i>	<i>San Giovanni Valdarno</i>	<i>Repubblica</i>
<i>Acropoli</i>	0	1,51	0,36	0,89
<i>Pontassieve</i>	-	0	1,36	1,59
<i>San Giovanni</i>	-	-	0	0,75
<i>Repubblica</i>	-	-	-	0

Figura 13 rappresentazione grafica funzione distanza anno 2013

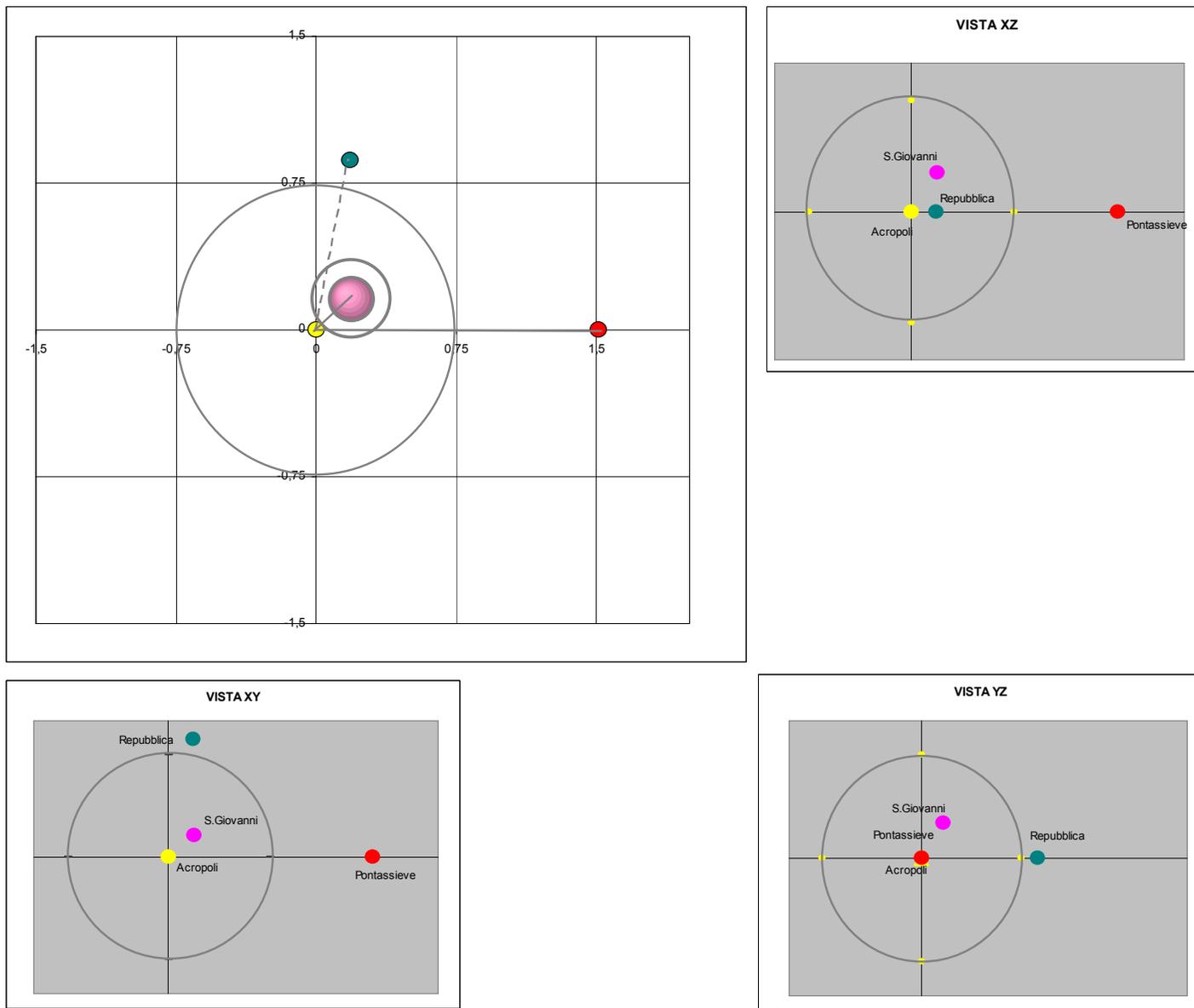


Grafico relativo alle distanze tra le stazioni nell'anno 2013.

Dal 2013 la stazione di Incisa è stata disattivata ed è stata quindi spostata l'origine del grafico sulla stazione di Acropoli.

Dalla rappresentazione grafica risulta ancora più evidente la correlazione tra S. Giovanni Valdarno e la stazione di Acropoli che per il 2013 risultano molto ben allineate. La stazione di Repubblica è appena al di fuori della soglia rispetto alla stazione di Acropoli, mentre risulta più vicina alla stazione di San Giovanni Valdarno.

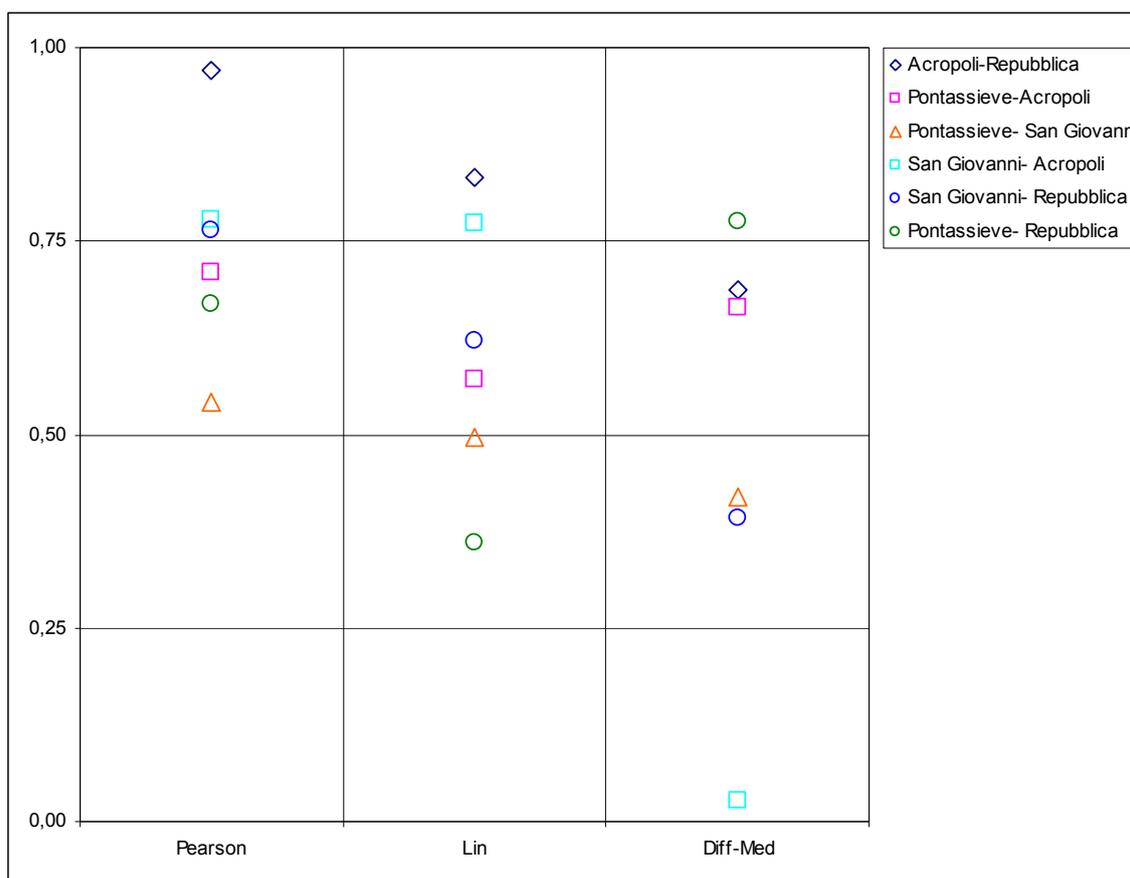
## Anno 2014

Data l'importanza del confronto con la stazione di Acropoli, sono stati esaminati i dati del 2014; in questo anno la media della stazione di San Giovanni Valdarno si è mantenuta coerente a quella del 2013.

Tabella 7\_1 - Riepilogo indicatori annuali e raccolta minima dei dati % anno 2014

Stazione	2014		
	Media	Superamenti	raccolta minima dei dati %
Pontassieve	17	0	98
Incisa	-	-	-
San Giovanni Valdarno	20	3	76
Repubblica	27	31	98
Acropoli	21	9	98

Figura 14 grafico delle correlazioni anno 2014



Anche dal punto di vista delle correlazioni i risultati del 2014 sono confermati con i tre indici su valori ottimali per la coppia di stazioni San Giovanni/Acropoli, mentre la correlazione tra San Giovanni Valdarno e Repubblica diminuisce, e in particolare si abbassa l'indice di Lin a causa dell'aumentata distanza tra le medie annuali.

La stazione di Pontassieve continua ad avere scarsa correlazione con tutte le altre stazioni.

Tabella 7\_2 valori della funzione distanza stazioni di Acropoli, Pontassieve, San Giovanni Valdarno e Ar-P.za Repubblica anno 2014

Distanze	Acropoli	Pontassieve	San Giovanni Valdarno	Repubblica
Acropoli	0	1,38	0,48	0,89
Pontassieve	-	0	1,38	1,75
San Giovanni	-	-	0	1,01
Repubblica	-	-	-	0

Figura 15 rappresentazione grafica funzione distanza anno 2014

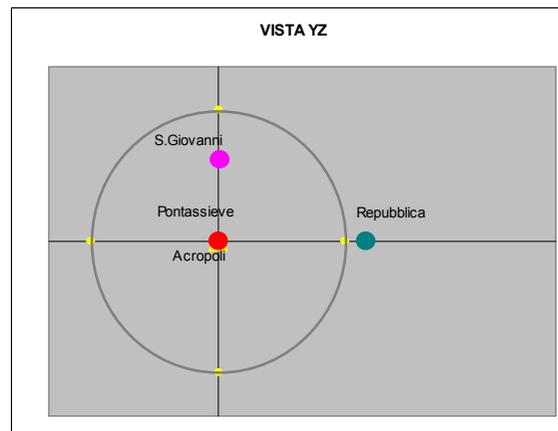
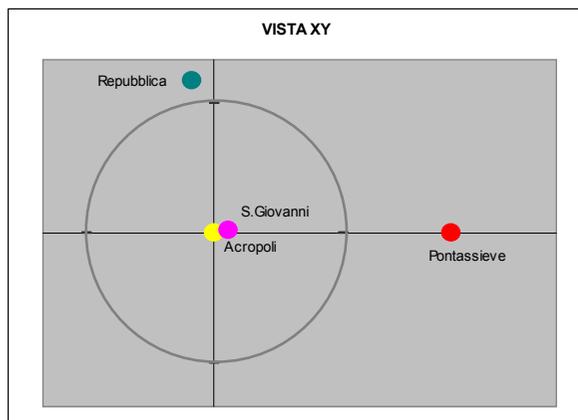
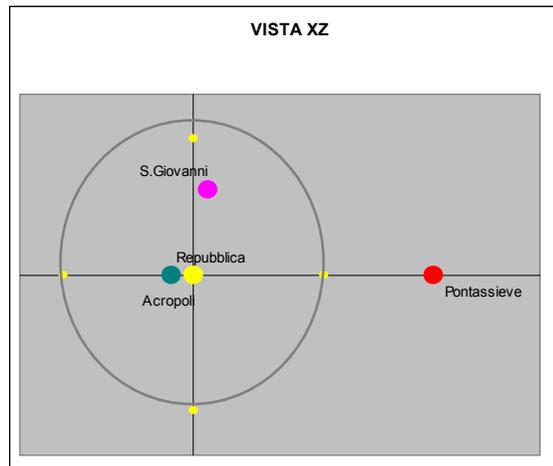
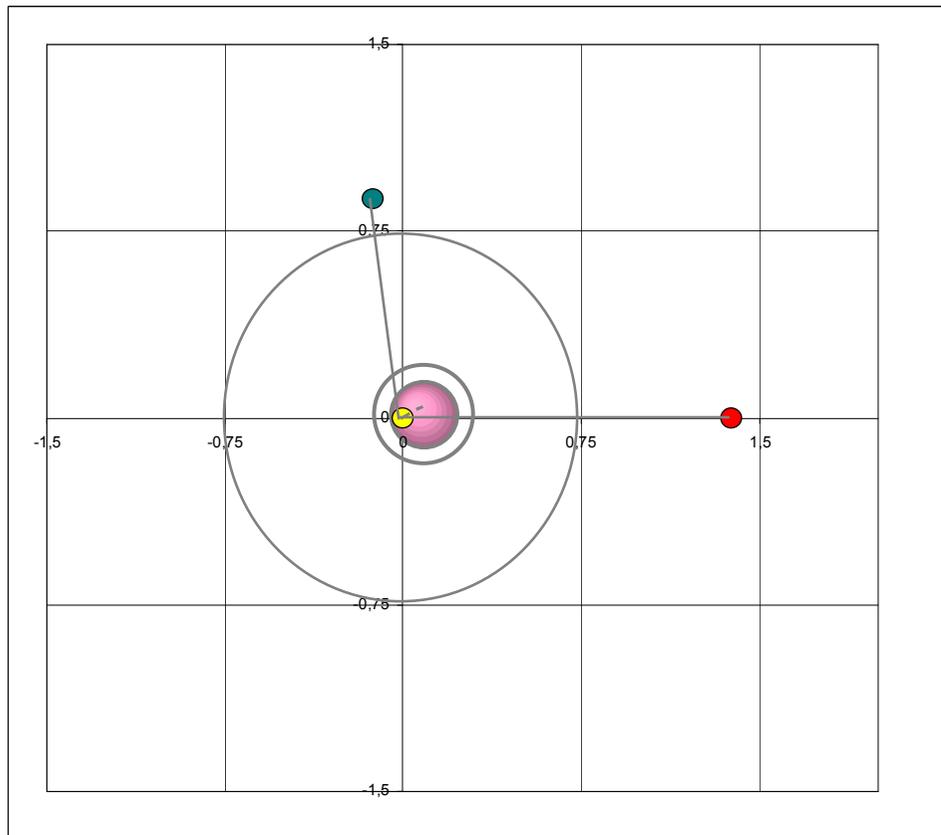


Grafico relativo alle distanze tra le stazioni nell'anno 2014.

La rappresentazione grafica mostra una coerenza delle correlazioni con l'anno 2013 con un allontanamento delle stazioni di Repubblica e San Giovanni Valdarno che diminuiscono la loro correlazione.

## Allegato 3 Elaborazioni dati meteorologici Valdarno

### Temperatura

Poiché il rendimento del sensore di temperatura nel 2009 ha registrato un valore percentuale al di sotto del 50%, la relativa temperatura media annua non è stata calcolata.

Tabella 1 – temperature medie annuali e stagionali 2009-2012 stazione meteo Santa Barbara

Temperatura	Media annua	Inverno	Primavera	Estate	Autunno
2009		6	13	22	7
2010	<b>13</b>	5	15	23	11
2011	<b>15</b>	6	17	24	15
2012	<b>14</b>	5	16	24	12

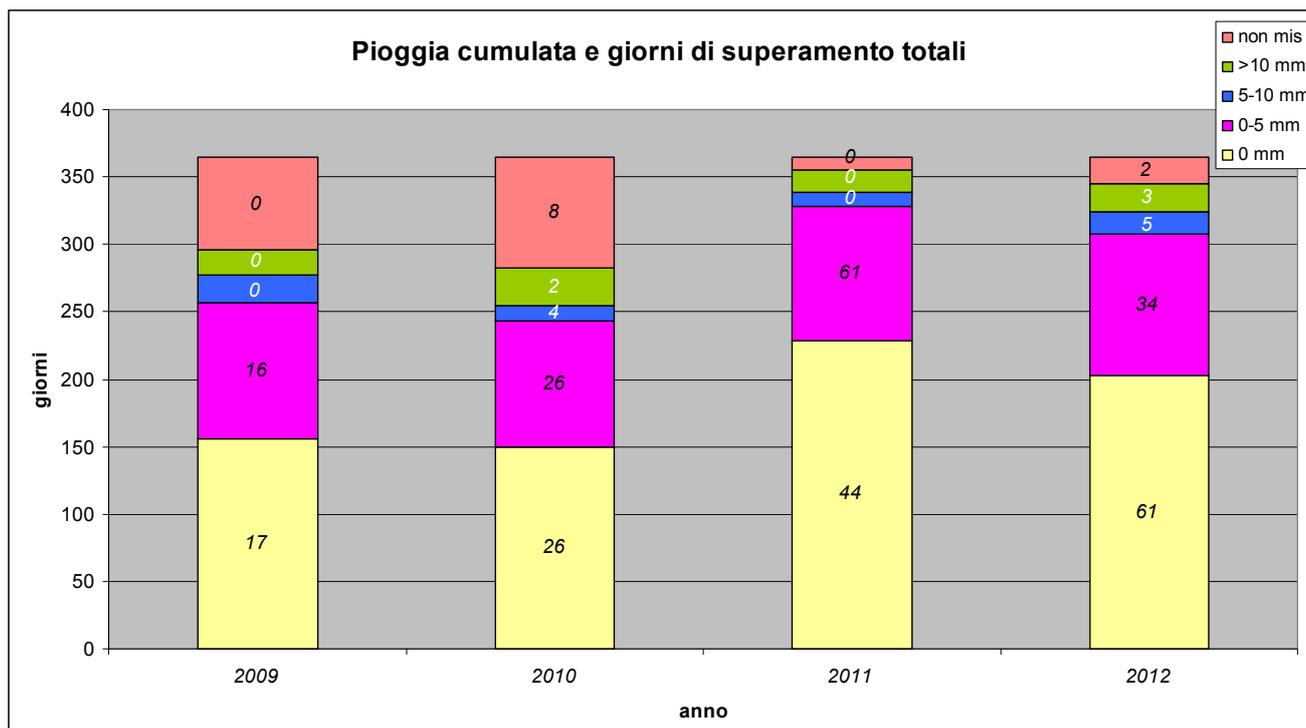
Come è possibile osservare, le temperature medie dei 3 anni (escluso il 2009) sono molto simili. Scendendo in ulteriore dettaglio, si riscontra inoltre una netta equivalenza anche nelle temperature medie stagionali dei 4 anni.

### Precipitazione atmosferica

È noto che la precipitazione atmosferica giornaliera è anticorrelata, sia con il valore medio di PM10 del giorno stesso, che con quello del giorno successivo.

A questo scopo è riportata nel grafico 2 la ripartizione della precipitazione atmosferica cumulata su base giornaliera in classi di intensità. Per ciascuna classe di precipitazione atmosferica sono riportati i giorni di superamento del valore limite relativo alla media giornaliera di materiale particolato PM10 che si sono verificati in totale, nelle 4 stazioni considerate (San Giovanni Valdarno, Incisa, Pontassieve, Repubblica).

Figura 2 – Precipitazione giornaliera e giorni di superamento total valore limite media giornaliera PM10



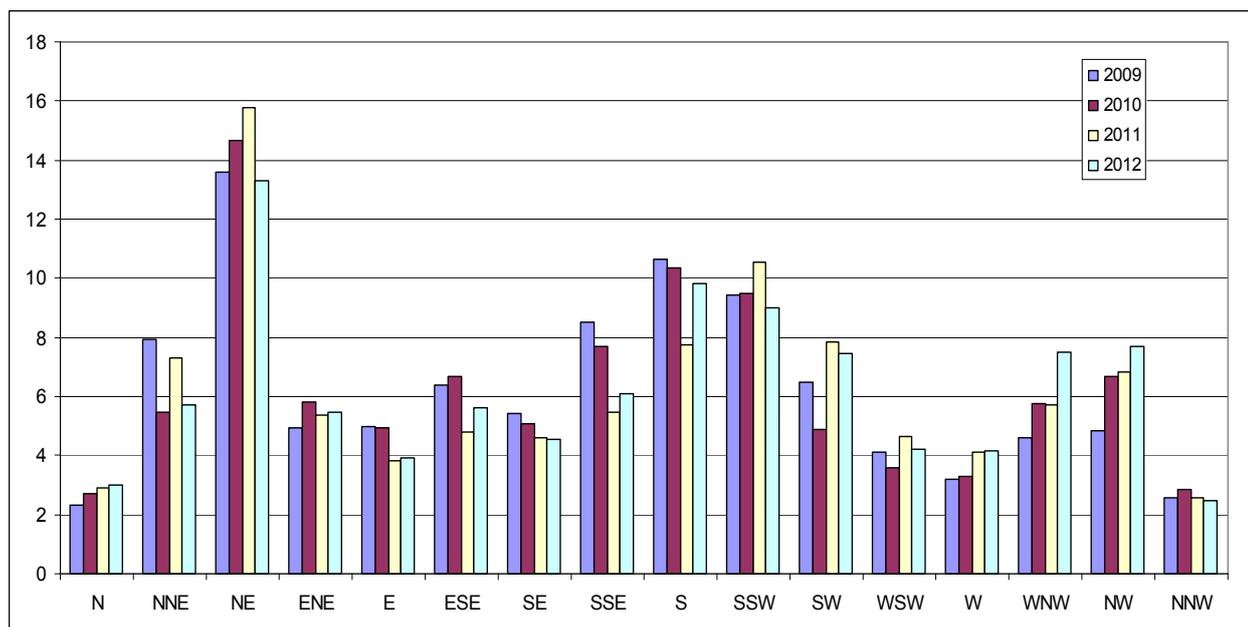
Dall'elaborazione grafica, è possibile osservare che la quasi totalità dei superamenti si è verificata, per tutti gli anni in esame, nei giorni di assenza di precipitazione atmosferica (0 mm) o di scarsa precipitazione atmosferica (0-5 mm), che sono però anche le classi in assoluto più frequenti.

In un'ottica di livelli di inquinamento misurati, in particolare per il PM10, è interessante notare che gli inverni del 2011 e 2012 sono stati più secchi di quelli dei due anni precedenti, pur essendo stato il 2012 un anno complessivamente piovoso, con fenomeni concentrati in particolare nella stagione autunnale.

Esaminando più nel dettaglio il grafico 2, si evidenzia in particolare, un maggior numero di giorni senza precipitazione atmosferica nel 2011 e 2012; tuttavia il numero di giorni per cui, nel biennio precedente (2009-2010) la misura non è disponibile, non permette di attribuire a questo dato un significato definitivo rispetto ai trend misurati per il PM10.

### Anemologia

Figura 3 - Direzione del vento - Classi di frequenza



Anche gli episodi di calma di vento e di vento variabile si sono ripetuti circa nelle stesse proporzioni rispetto al totale in tutti gli anni osservati.

Figura 4 - n. episodi di calma di vento e vento variabile

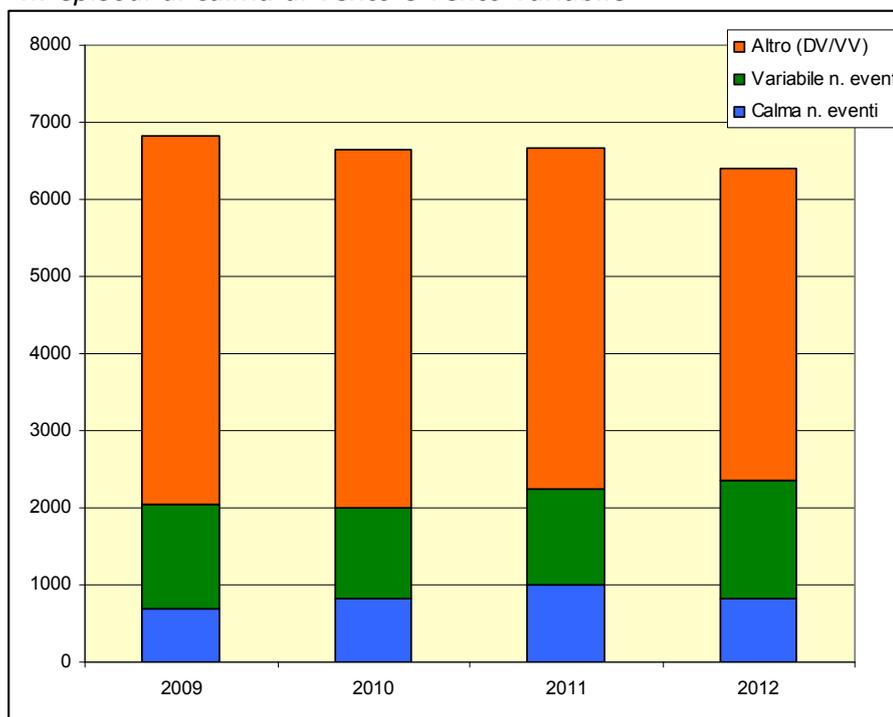


Figura 5 – Rose dei venti e delle velocità 2009-2010

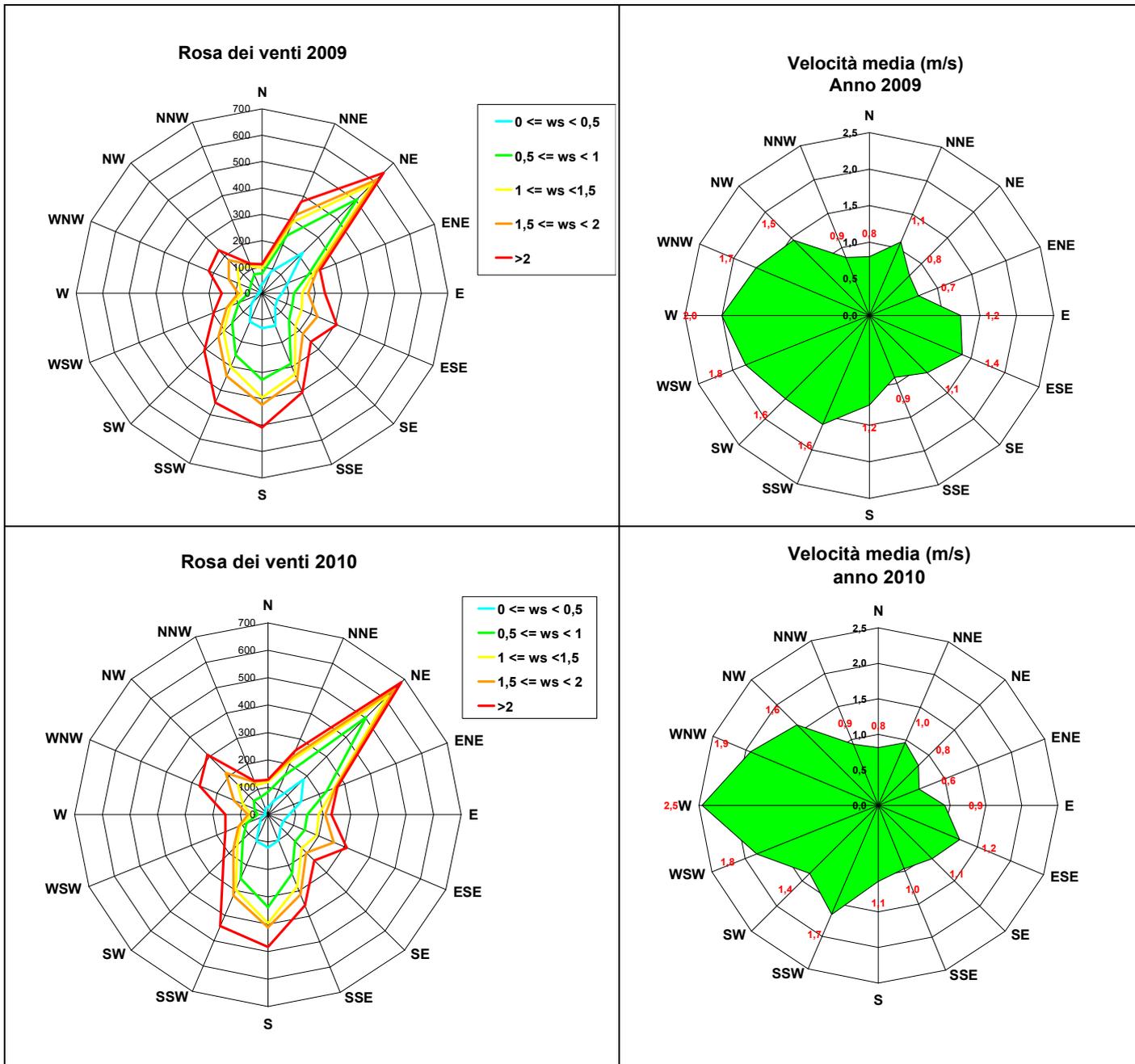
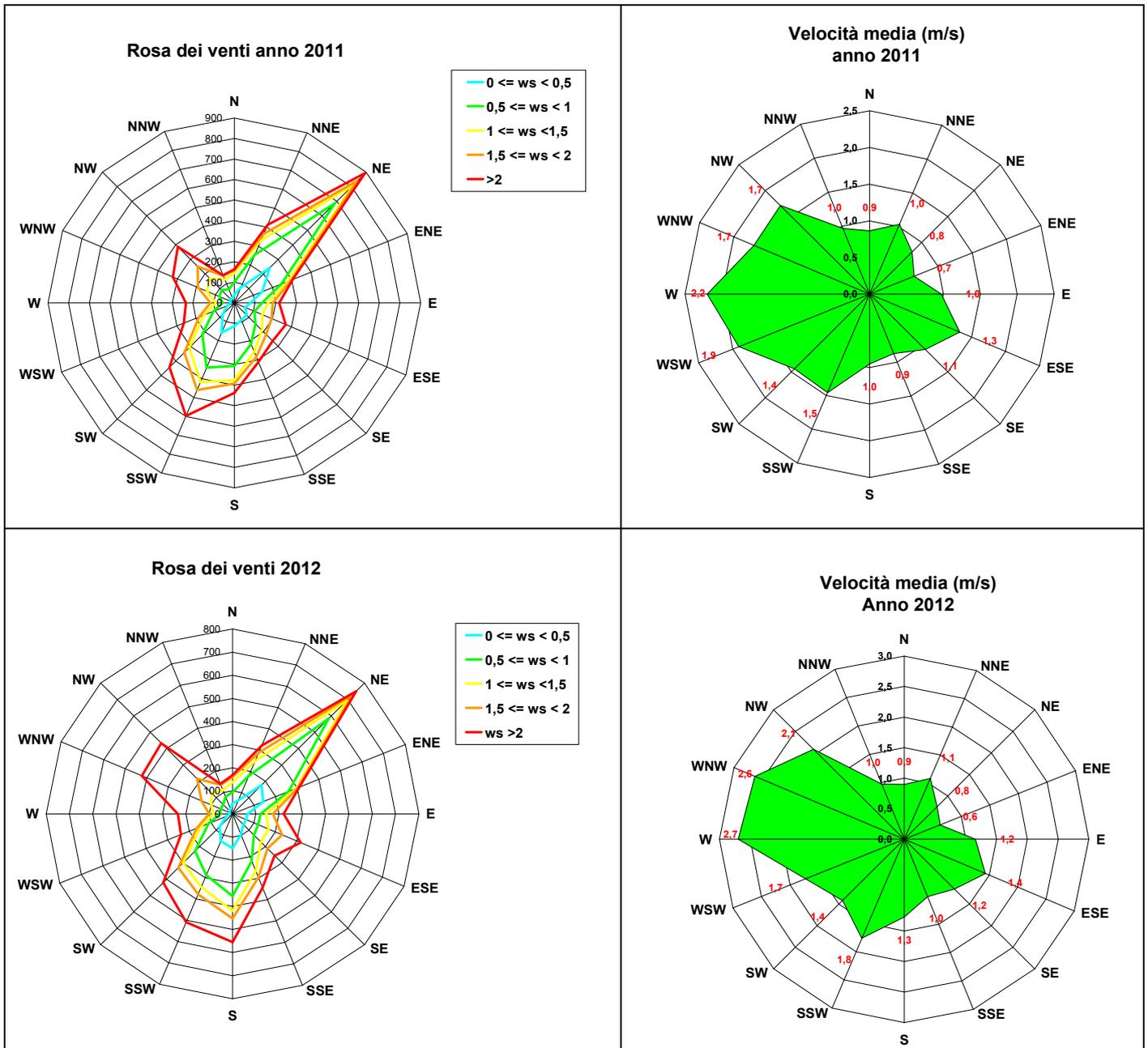
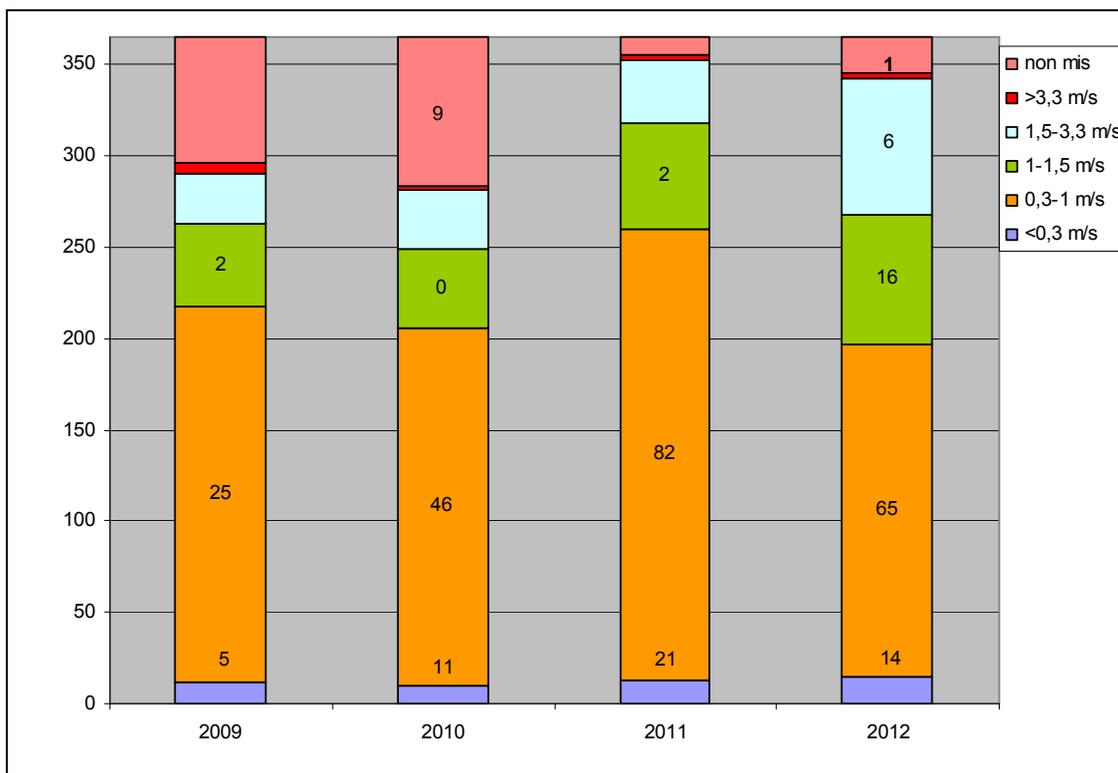


Figura 6 – Rose dei venti e delle velocità 2011-2012



Anche per il vento un indicatore giornaliero, che in questo caso è la velocità media, descrive bene il verificarsi di condizioni favorevoli o sfavorevoli alla dispersione degli inquinanti che si verificano su larga scala.

Figura 7 – Distribuzione in classi di velocità media giornaliera del vento e superamenti totali



Come già riscontrato per le precipitazioni, è possibile notare dalla Figura 7 una diversa copertura a livello giornaliero per gli anni 2009-2010 e 2011-2012. La quasi totalità dei superamenti si verifica nelle classi di velocità media inferiore a 1,5 m/s.

#### Classi di stabilità atmosferica

Le classi di stabilità ricorrenti sono 4 e si ripetono in tutti gli anni osservati, all'incirca nelle stesse proporzioni. Sono, in ordine di stabilità crescente: B (Instabile), C (leggermente instabile), E (leggermente stabile), F (stabile). La tabella sottostante definisce le classi di stabilità atmosferica di Pasquill.

Tabella 2 classi di stabilità atmosferica di Pasquill

Classe di stabilità	Definizione
A	molto instabile
B	instabile
C	leggermente instabile
D	neutrale
E	leggermente stabile
F	stabile

Di seguito sono riportati i grafici dell'andamento giornaliero delle classi di stabilità nel giorno tipo per i diversi anni. Il grafico è espresso come % di frequenza nelle ore del giorno delle diverse classi di stabilità.

Figura 8 giorno tipo classi di stabilità anno 2009

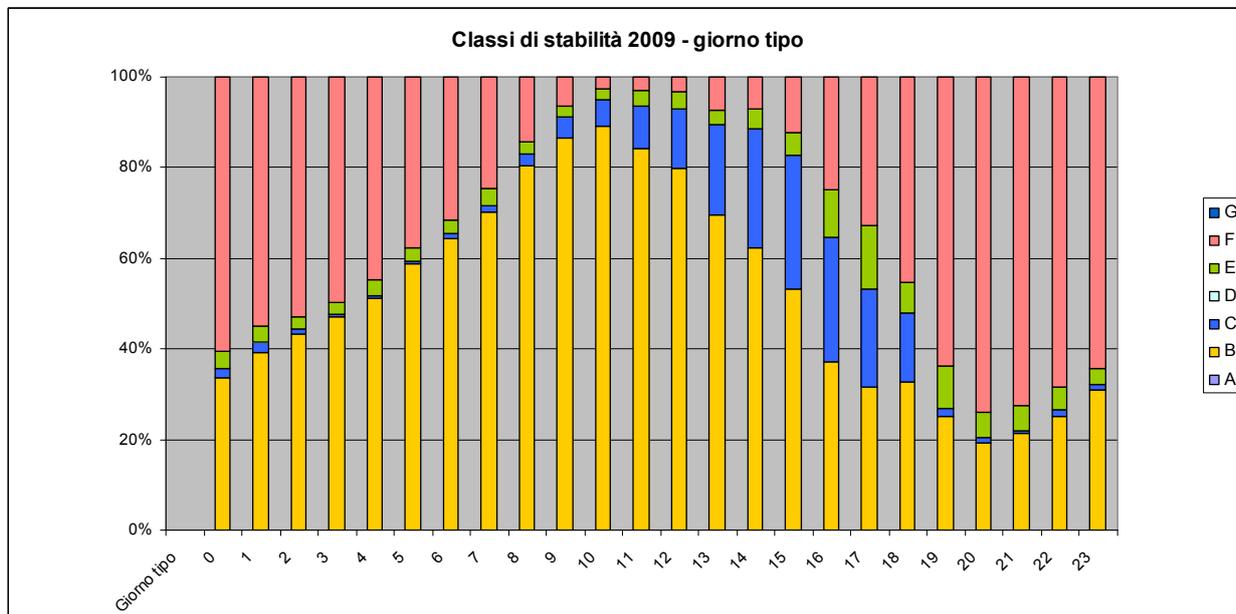


Figura 9 giorno tipo classi di stabilità anno 2010

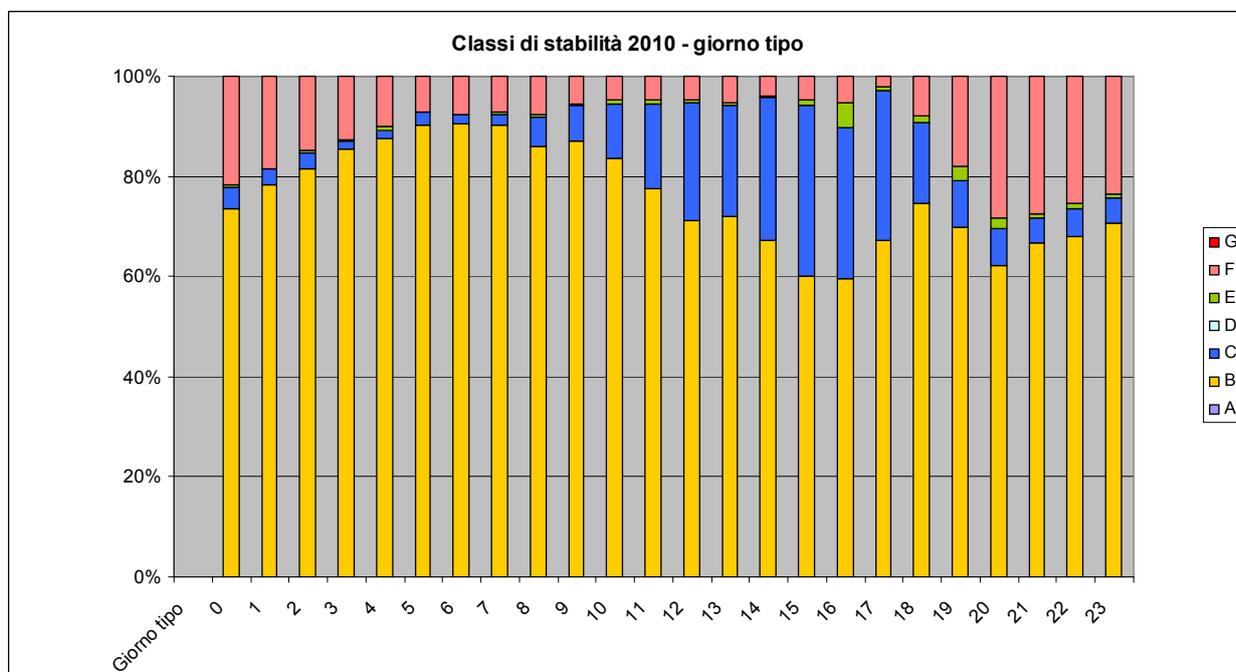


Figura 10 giorno tipo classi di stabilità anno 2011

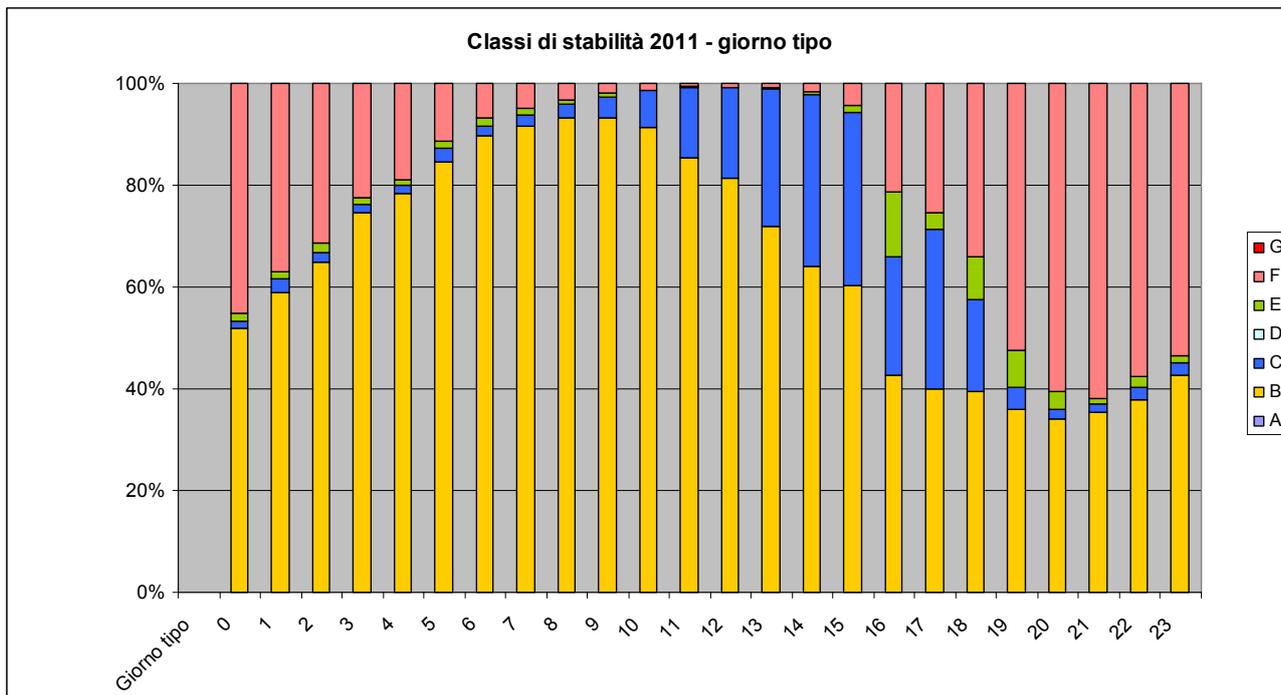


Figura 11 giorno tipo classi di stabilità anno 2012

