



**ARPAT**

Agenzia regionale  
per la protezione ambientale  
della Toscana

## **Verifica della rappresentatività spaziale dei dati di PM10 della stazione di monitoraggio della qualità dell'aria di Montale**

**AREA VASTA COSTA**  
**Settore "Centro Regionale per la Tutela della  
Qualità dell'Aria"**

**Regione Toscana**



## **Verifica della rappresentatività spaziale dei dati di PM10 della stazione di monitoraggio della qualità dell'aria di Montale**

A cura di:

Bianca Patrizia Andreini

*ARPAT – Settore Centro Regionale per la Tutela della Qualità dell'Aria*

Autori:

Elisa Bini, Chiara Collaveri

Tutte le attività di sopralluogo, campionamento, analisi e revisione di questo testo sono state eseguite da Tiziana Cecconi, Marco Stefanelli, Fiammetta Dini, Riccardo Ricceri

*ARPAT- Settore Centro Regionale per la Tutela della Qualità dell'Aria*

Hanno collaborato su specifici argomenti:

Dipartimento ARPAT di Pistoia -Claudio Coppi, Menichini Renzo, Mancini Lidia -

Dipartimento ARPAT di Livorno- Massimo Lazzari

Settore Modellistica Previsionale – ARPAT AV Centro

DIAR, Politecnico di Milano- Ing. Stefano Caserini

Unità tecnica modelli, metodi e tecnologie per le valutazioni ambientali ENEA Centro Ricerche “E.Clemetel” Bologna

Si ringraziano

- il dipartimento ARPAT di Prato per il supporto logistico

- il dr Marco Chini- SIRA per il supporto nella impostazione preliminare del progetto

- le amministrazioni comunali di: Agliana, Montale, Quarrata, Pistoia e Prato per il supporto logistico nelle zone di campionamento

**Febbraio 2014**

## Sintesi

Obiettivo del presente studio è la verifica del bacino territoriale su cui possono estendersi i livelli di concentrazione di PM10 rilevati presso la centralina di Montale e l'acquisizione di elementi sulle possibili cause degli elevati livelli di PM10 rilevati.

La stazione di monitoraggio della qualità dell'aria di Montale ha sempre presentato livelli di concentrazione di PM10, in particolare nel periodo autunno-inverno, molto elevati rispetto alla maggior parte delle stazioni di fondo della Toscana. Preliminarmente è stata effettuata un'analisi di tutti i dati prodotti fino al 2012 e degli studi già effettuati nel corso degli ultimi anni e sono stati analizzati tutti i dati disponibili (emissioni – IRSE, uso del suolo – corine land cover, dati meteorologici, dati di qualità dell'aria) per ottenere una valutazione integrata di tutte le variabili che influiscono sulla qualità dell'aria nella zona Prato-Pistoia. L'analisi comparata dei dati e degli studi a noi disponibili ha permesso sia una valutazione approfondita delle fonti di emissione e dei parametri che le caratterizzano sia l'esecuzione di confronti e correlazioni tra tutti i parametri chimici ed anche meteorologici monitorati dal 2005 al 2012 nella zona. Facendo una sintesi estrema si può sostenere l'esistenza di un contributo prevalente della combustione di combustibili vegetali al totale delle emissioni di PM10 primario nella zona e la presenza di fattori meteoclimatici e orografici che favoriscono la scarsa dispersione degli inquinanti. In questo studio è stato condotto un approfondimento sulle sorgenti di emissione di PM10 e in particolare sulla combustione di legna in ambito domestico e la combustione di residui agricoli che ha evidenziato un contributo più rilevante di queste componenti rispetto a quanto finora stimato sul totale delle emissioni di PM10 nella zona. Questo aspetto necessita tuttavia ulteriori studi con metodiche di indagine specifiche.

Tramite specifiche attività analitiche è stata valutata l'estensione territoriale dei livelli di concentrazione di PM10 rilevati dalla stazione di Montale e sono state acquisite indicazioni sulla variabilità indotta dalla componente orografica e meteorologica. Durante il presente studio condotto prevalentemente nel 2013 sono state effettuate 6 campagne indicative per il campionamento di PM10 ai sensi del D.Lgs 155/10 per un totale di 24 periodi di campionamento di 15 giorni ciascuno. Le sei postazioni sono state identificate nelle province di Pistoia e Prato tramite l'applicazione di un indice statistico  $\beta$ , utilizzato per la valutazione della rappresentatività delle stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria. I risultati delle 24 campagne di monitoraggio effettuate confermano le ipotesi dedotte da informazioni emerse dagli studi analizzati e dalle elaborazioni dei dati di qualità dell'aria e di emissione disponibili antecedentemente alla realizzazione delle campagne di campionamento. L'anomalia della stazione di Montale relativa ai dati di PM10 monitorati appare imputabile principalmente a due cause: la prima strettamente legata alla tipologia delle fonti di emissione locali (in particolare sembrano avere una significativa influenza le attività di combustione di combustibili solidi vegetali, solitamente caratteristiche di zone rurali), la seconda alle caratteristiche

meteorologiche del sito in cui essa è collocata per cui la stazione di Montale sembrerebbe risiedere in un sito che presenta caratteristiche sfavorevoli alla dispersione degli inquinanti.

I dati di concentrazione di PM10 rilevati presso i siti delle campagne di monitoraggio con caratteristiche morfologiche ed emissive simili, infatti, presentano andamenti analoghi a quelli della stazione di Montale mentre i siti di monitoraggio delle campagne e delle stazioni di fondo della zona che si trovano in siti con caratteristiche morfologiche diverse presentano dati di concentrazione di PM10 generalmente inferiori, pur presentando, in alcuni casi, condizioni peggiori in termini emissivi (PT-Signorelli e PO-Roma).

In base ai risultati delle campagne la stazione di Montale non risulta essere un'anomalia di livello strettamente locale; i valori monitorati dalla stazione risultano essere rappresentativi di tutta l'area pianeggiante compresa tra le aree urbane di Prato e Pistoia. La classificazione ad essa attribuita di stazione di monitoraggio di tipo fondo sembra, quindi, corretta; la stazione di Montale, pur presentando risultati anomali rispetto a quelli che generalmente vengono associati ad una stazione di fondo di tipo rurale, sembra realmente rappresentare i livelli di qualità dell'aria riscontrabili nelle aree rurali della zona Prato - Pistoia.

Ulteriori approfondimenti sulla dispersione degli inquinanti e sulle fonti potranno essere forniti dalle elaborazioni realizzabili tramite l'applicazione della catena modellistica di simulazione del trasporto, dispersione, trasformazione chimica deposizione di inquinanti aeriformi ed aerosol in Toscana predisposta dal Consorzio LAMMA per la Regione Toscana e dagli studi in corso in prosecuzione del Progetto PATOS della Regione Toscana da parte dell'Università degli Studi di Firenze e dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare.

# INDICE

<b>1. PROGETTO MONTALE: OBIETTIVI E ATTIVITÀ</b>	<b>2</b>
1.1 Introduzione	2
1.2 Obiettivi e modalità di sviluppo	3
1.3 Fasi del progetto	4
<b>2. GLI ELEMENTI CONOSCITIVI ACQUISITI E GLI STRUMENTI DI VERIFICA</b>	<b>5</b>
2.1 STEP 1 - Gli elementi conoscitivi acquisiti e le ipotesi individuate	5
2.1.1 Le ipotesi individuate	11
2.2 STEP 2 - Gli strumenti di verifica	12
<b>3. STRATEGIA DELLE CAMPAGNE DI CAMPIONAMENTO 2012-2013</b>	<b>13</b>
3.1 Applicazione dell'indice $\beta$ come strumento integrativo	14
<b>4. L'ANALISI DEI DATI DELLE CAMPAGNE DI MONITORAGGIO</b>	<b>21</b>
4.1 Validazione delle misure effettuate	21
4.1.1 Verifica degli obiettivi di qualità delle misure	21
4.1.2 Verifica della rappresentatività delle misure	23
4.2 Elaborazione dei risultati delle campagne di campionamento	26
4.2.1 Analisi dei dati stagionali	26
4.2.1.1 Le medie di periodo	29
4.2.1.2 L'andamento dei valori di concentrazione	33
4.2.1.3 La distribuzione dei livelli di concentrazione	35
4.2.2. Rappresentazione grafica della distribuzione dei livelli di concentrazione	38
4.2.3 Analisi statistiche dei dati stagionali dell'intero periodo di campionamento	47
4.2.4 Verifica di corrispondenza tra il PM10 registrato presso la stazione di PT-Montale e quello rilevato nella zona dell'agglomerato di Firenze	65
<b>5. I RISULTATI DEGLI APPROFONDIMENTI SULLE SORGENTI DI EMISSIONE: LA COMBUSTIONE DELLA LEGNA IN AMBITO DOMESTICO E LA COMBUSTIONE DEI RESIDUI AGRICOLI</b>	<b>70</b>
5.1 La combustione della legna nel settore residenziale	71
5.2 La combustione incontrollata dei residui agricoli	73
5.3 Sintesi dei risultati ottenuti	75
<b>6. LA RAPPRESENTATIVITÀ SPAZIALE DEI DATI DELLA STAZIONE DI PT-MONTALE E LE SORGENTI DI EMISSIONE CHE CONTRIBUISCONO A DETERMINARE I VALORI DI CONCENTRAZIONE DI PM10 RILEVATI</b>	<b>77</b>



# 1. PROGETTO MONTALE: OBIETTIVI E ATTIVITÀ

## 1.1 Introduzione

I valori di concentrazione di particolato PM10 rilevati presso la stazione di monitoraggio della qualità dell'aria di Montale (Pistoia) sono sempre stati molto elevati, pur essendo una stazione di tipo “fondo”; in quasi tutti gli anni di campionamento è stato registrato un numero di superamenti della soglia giornaliera di  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  superiore al limite normativo di 35 giorni/anno.

Per la particolarità dei dati PM10 rilevati la stazione di Montale è stata inserita nella DGRT n. 1025/2010 tra le stazioni appartenenti alla rete regionale, con l'indicazione (nota dell'allegato 3) che tale stazione sarebbe stata “oggetto di approfondimento relativamente alla rappresentatività territoriale dell'informazione per il PM10 e PM2,5 in funzione della tipologia della stazione”.

Come si può osservare in figura 1.1.2, il numero dei superamenti del limite giornaliero registrati nel corso degli anni 2005-2013 presso la stazione di Montale risulta essere più elevato rispetto al numero di superamenti registrati dalle altre stazioni di fondo della rete regionale. Lo stesso si può osservare anche per il valore della media annua (figura 1.1.1) che, comunque, è sempre stato inferiore al limite indicato dalla norma per questo parametro ( $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), fatta eccezione per l'anno 2007.

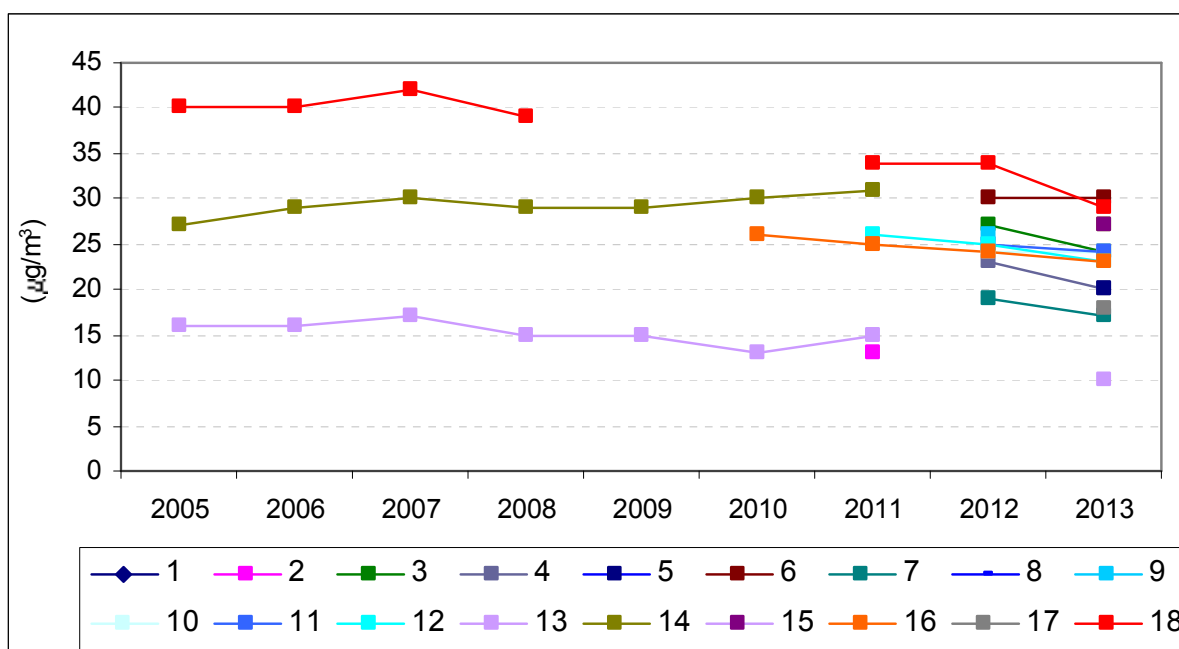


Figura .1.1.1. Valore della media annua di PM10 registrato presso le stazioni della rete regionale di tipo fondo tra gli anni 2005 e 2013

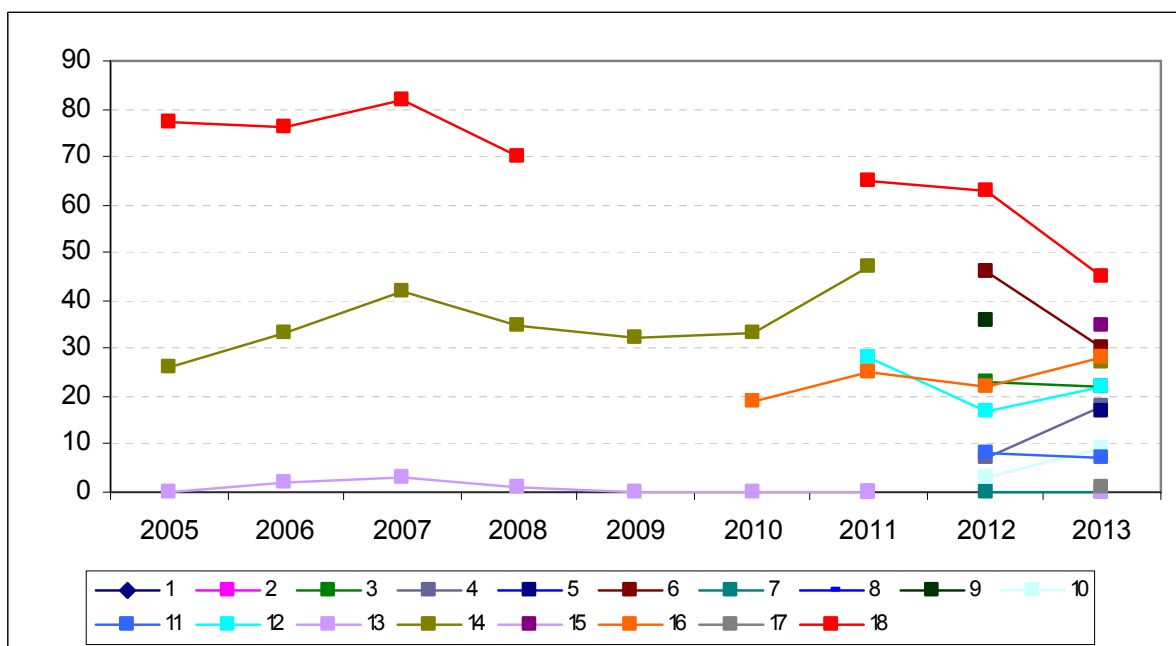


Figura 1.1.2. Numero di superamenti del valore limite giornaliero di PM10 registrato presso le stazioni della rete regionale di tipo fondo tra gli anni 2005 e 2013

1	AR-ACROPOLI	10	MS-COLOMBAROTTO
2	AR-CASA-STABBI	11	MS-GALVANI
3	FI-SCANDICCI	12	PI-PASSI
4	FI-BOBOLI	13	PI-MONTECERBOLI
5	FI-BASSI	14	PI-SANTA-CROCE-COOP
6	FI-SIGNA-ROMA	15	PO-ROMA
7	GR-URSS	16	PT-SIGNORELLI
8	LI-CAPPIELLO	17	SI-POGGIBONSI
9	LU-CAPANNORI	18	PT-MONTALE

Al fine di verificare l'anomalia dei dati di PM10 registrati presso la stazione di PT-Montale, la Regione Toscana ha previsto la realizzazione di uno studio specifico per approfondire le conoscenze in merito alle cause da cui si originano livelli di concentrazione così elevati e all'estensione dell'area di rappresentatività di tali dati (Deliberazione 1089 del 11.12.2012- AllegatoC). Tale studio viene esposto nel presente documento.

## **1.2 Obiettivi e modalità di sviluppo**

Obiettivo del presente studio è :

- la valutazione dell'estensione territoriale dell'informazione per le concentrazioni di PM10 rilevate dalla stazione di Montale
- l'acquisizione di elementi sulle possibili cause degli elevati livelli di PM10

Poiché il limite principale di tutti gli studi fino ad oggi effettuati è stato quello di analizzare aspetti parziali della problematica "Montale", si è ritenuto opportuno effettuare un esame complessivo di tutti i



lavori effettuati in precedenza e analizzare tutti i dati disponibili (emissioni – IRSE, uso del suolo – corine land cover, dati meteorologici, dati di qualità dell'aria).

Sulla base delle risultanze che sono emerse da tale valutazione, è stato individuato un set di possibili ipotesi relative alla rappresentatività della stazione e all'origine dei valori anomali registrati; tali ipotesi sono state, quindi, verificate tramite opportune campagne di monitoraggio.

### **1.3 Fasi del progetto**

Le fasi del progetto sono state così schematizzate:

1	Analisi dei risultati di tutte le ricerche effettuate nel corso degli anni e delle informazioni ad oggi raccolte e individuazione di possibili ipotesi
2	Progettazione delle campagne di monitoraggio e loro realizzazione
3	Analisi dei risultati ottenuti dalle campagne di monitoraggio
4	Produzione di un rapporto finale

## **2. GLI ELEMENTI CONOSCITIVI ACQUISITI E GLI STRUMENTI DI VERIFICA**

### **2.1 STEP 1 - Gli elementi conoscitivi acquisiti e le ipotesi individuate**

Funzionalmente allo sviluppo organico di un progetto per la valutazione dell'estensione territoriale dell'informazione per le concentrazioni di PM10 rilevate dalla stazione di Montale e delle possibili cause da cui si originano tali livelli di concentrazione, è stata effettuata una preliminare analisi di tutti i dati prodotti e degli studi già effettuati nel corso degli ultimi anni.

Al fine di analizzare i fattori che maggiormente influenzano i valori di concentrazione degli inquinanti in atmosfera, in particolare fonti di emissione e condizioni locali di diffusione degli inquinanti, sono state, inoltre, adottate metodologie implementate a livello europeo per lo studio dei fattori che influenzano in maniera consistente la qualità dell'aria.

Solo una valutazione integrata di tutte le variabili che influiscono sulla qualità dell'aria può portare alla definizione di ipotesi il più possibile fondate sulle cause che determinano la particolarità dei dati di PM10 rilevati a Montale.

Negli anni sono state effettuate numerose indagini al fine di definire le cause delle anomalie riscontrate nei dati di PM10 rilevati dalla centralina di Montale; in questa sede è stata posta particolare attenzione ai risultati riportati in numerose relazioni e studi che approfondiscono i diversi aspetti che influenzano i livelli di qualità dell'aria quali ad esempio le sorgenti di emissione, la meteorologia, la morfologia dell'area di interesse.

In particolare, per quanto riguarda gli studi a noi disponibili, sono stati analizzati i risultati di:

- ✓ Progetto PATos "Particolato Atmosferico in Toscana"
- ✓ Polveri sottili e inceneritore di Montale: documento di valutazione congiunta ARPAT-ASL3
- ✓ Classificazione della diffusività atmosferica nella conca intermontana Firenze – Prato – Pistoia (LaMMA)
- ✓ Progetto MoDiVaSET
- ✓ Progetto ARPAT-PT/USL3-PT "Indagine ambientale e sanitaria nelle aree poste in prossimità dell'impianto di incenerimento di RSU di Montale"
- ✓ Studio delle caratteristiche della localizzazione della stazione di PT - Montale (indice  $\beta$ )

Per quanto riguarda, invece, l'approfondimento dei dati disponibili sono state effettuate:

- ✓ Analisi dei dati di monitoraggio delle stazioni di rete regionale e provinciale nella zona Prato-Pistoia
- ✓ Analisi dei dati dei monitoraggi con mezzo mobile nella zona Prato-Pistoia
- ✓ Analisi dei dati di monitoraggio della stazione di PT-Montale

- ✓ Analisi dei livelli emissivi del comune di Montale e delle zone limitrofe (zona Prato – Pistoia)

In [appendice](#) al presente documento sono riportate le analisi degli studi esaminati e i dati disponibili utili ad approfondire l'anomalia della stazione di PT – Montale.

Di seguito si riportano schematicamente i risultati emersi da tali analisi suddivisi per temi; in testa ad ogni tema è riportato il paragrafo di riferimento dell'Appendice in cui sono affrontati i temi per esteso.

### **Qualità dell'aria**

(Appendice - Paragrafo di riferimento: 1.2.1 Progetto PATos: sintesi risultati su composizione e origine del particolato a Montale)

Seppur i dati raccolti avessero una significatività limitata a causa del numero di campionamenti effettuati le informazioni rilevanti ottenute sono le seguenti:

- ✓ La centralina di Montale presenta valori di concentrazione più alti nel semestre freddo; durante tale periodo si osservano la maggior parte dei superamenti del limite giornaliero di concentrazione del PM10;
- ✓ Sebbene in percentuale ridotta (4 su 64), parte dei superamenti invernali nel 2005-2006 sono riconducibili a eventi di trasporto di sabbia dal deserto;
- ✓ Nei giorni in cui è presente una velocità del vento sopra i 3 m/s i livelli di inquinamento di PM10 rilevati presso la centralina di Montale sono decisamente più bassi;
- ✓ Gli eventi di pioggia con valori di pioggia cumulata giornaliera superiori ai 10 mm hanno un importante effetto di riduzione (nello stesso giorno o nel successivo) sui dati di concentrazione di PM10 di PT-Montale;
- ✓ Nel periodo invernale la componente primaria antropica del particolato PM10 (47%) supera del 7% la componente secondaria (40%), che si mantiene pressoché costante anche in primavera; la componente naturale aumenta notevolmente nella stagione primaverile rispetto a quella invernale (26% contro 10%) diventando quasi paragonabile al contributo primario antropico primaverile (29%);
- ✓ Più del 60% del particolato in inverno è costituito dalla componente organica (POM) e solo in maniera ridotta dalla componente inorganica del particolato secondario (circa il 20%) e dalle altre componenti. La prevalenza della componente organica (POM) è correlabile a sorgenti di emissione locali relative a processi di combustione (impianti di riscaldamento – in particolare di biomassa, trasporto su gomma, etc.);
- ✓ Nel periodo primaverile circa il 25% del particolato è imputabile alla componente secondaria inorganica - di cui più del 50% ai solfati - mentre il restante 75% è riferibile alla componente organica (circa il 40%) e alla componente naturale. Il contributo medio annuo dei vari componenti dell'aerosol secondario inorganico (solfati, nitrati e ammonio) presenta una notevole differenza tra i valori invernali e quelli primaverili. I valori invernali della componente "nitrati", quasi doppi di quelli primaverili, denotano l'importanza della sorgente riscaldamento nel budget

dell'aerosol secondario inorganico. L'aumento dell'ammonio è più contenuto e può essere spiegato sia da un aumento dell'intensità delle sorgenti emissive che, più semplicemente, con la maggior frequenza di formazione di strati di inversione termica e, di conseguenza, della limitata circolazione atmosferica verticale in inverno. I solfati, correlabili a sorgenti puntiformi non locali, mostrano un aumento, seppur modesto, nel periodo primaverile caratterizzato da condizioni di maggiore irraggiamento solare e più libera circolazione atmosferica.

(Appendice - Paragrafo di riferimento: 1.2.4 Progetto MoDiVaSET)

Nell'applicazione dei vari modelli diffusionali scelti per il progetto MoDiVaSET è emerso che la non inclusione delle sorgenti esterne al dominio di studio (conca intermontana comprendente i centri urbani di Firenze, Prato e Pistoia) è uno degli elementi che provoca la sistematica differenza tra valori misurati presso le centraline di qualità dell'aria e quelli calcolati; questo è vero soprattutto per il PM10, per il quale si sono evidenziate le maggiori differenze e per il quale ci si aspettano maggiori livelli di background regionale e continentale (ossia derivanti da sorgenti di emissione non presenti nella zona oggetto dello studio). Oltre al background regionale è emerso che i livelli di PM10 primario sono solo una quota parte della concentrazione totale di particolato fine rilevato; parte dei livelli di concentrazione rilevati per il PM10 sono imputabili a PM10 di origine secondaria.

Nella conca intermontana compresa tra i centri urbani di Firenze, Prato e Pistoia, quindi, i livelli di concentrazione di PM10 sono in generale imputabili non solo a sorgenti di emissione locali (PM10 di origine primaria) ma anche al background regionale e a sorgenti di emissione anche molto distanti dalla piana (PM10 di origine secondaria);

(Appendice - Paragrafo di riferimento: 1.2.6 Studio delle caratteristiche della localizzazione della stazione di PT - Montale (indice  $\beta$ ))

- ✓ Per la zona Prato - Pistoia si individua una distribuzione dei livelli di PM10 in fasce di concentrazione medio alte (valori medi annui di concentrazione rilevati nel periodo 2005-2013 variabili tra 29 e 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ); i massimi valori di concentrazione della media giornaliera (registrati nel periodo 2005-2013 presso la centralina di PT-Montale, variabili tra 142 e 224  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) non coincidono con i comuni a maggiori pressioni emissive;
- ✓ Il valore di fondo di zona di PM10 (valore medio annuo minimo di PM10 misurato nel 2005-2013 da una stazione di fondo della zona Prato-Pistoia/Agglomerato) è pari a 22  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ;
- ✓ La stazione di PT-Montale è collocata in una zona che presenta alti indici di pressione (livelli emissivi di PM10 elevati) e in un sito che presenta caratteristiche sfavorevoli alla dispersione degli inquinanti. Pur essendo collocate nella stessa zona, la stazione di Montale registra valori di concentrazione del PM10 molto elevati rispetto alla media delle stazioni di fondo di PT-Signorelli e PO-Roma; tali stazioni risultano essere collocate in un'area con indici di pressione relativi al PM10 elevati ma in siti con caratteristiche più favorevoli alla dispersione degli inquinanti.

1.4 La stazione di PT-Montale: analisi dei dati di qualità dell'aria)

- ✓ I valori misurati di PM10 negli anni 2005 – 2013 presso le stazioni fisse di fondo e rilevati nel corso delle campagne di monitoraggio effettuate con mezzo mobile nella zona Prato-Pistoia (in particolare nei comuni di Poggio a Caiano e Montemurlo) evidenziano una situazione tranquillamente al di sotto dei limiti, in particolare per Pistoia; l'anomalia di questa zona è rappresentata dalla stazione di Montale, con valori decisamente elevati di PM10 per il quale si hanno dati vicini o superiori al limite per la media annuale ed il mancato rispetto del limite sul numero di superamenti, quest'ultimo in tutti gli anni osservati ;
- ✓ La centralina di Montale presenta valori delle medie invernali anomali rispetto a quelli delle altre centraline di fondo della zona; il valore del rapporto tra la media invernale e quella estiva risulta essere molto sbilanciato verso la media invernale la quale risulta essere, per tutti gli anni, circa 3 – 4 volte superiore a quella estiva; tale rapporto non si rileva, invece, per le altre stazioni di fondo della zona Prato – Pistoia; nel periodo invernale in media si osserva il 97% dei superamenti dell'anno;
- ✓ Per la stazione di Montale si può osservare un rapporto tra PM10 e NO<sub>x</sub> sbilanciato rispetto a quanto emerge dall'analisi dei dati delle altre stazioni di fondo (30% superiore); il valore di PM10 ha una media annuale relativamente agli anni 2005 – 2013 analoga a quella di NO<sub>x</sub>;
- ✓ Per la stazione di Montale si è osservata una forte correlazione tra i dati rilevati nel periodo invernale tra PM10 e NO<sub>x</sub> mentre non sembra esserci una correlazione particolarmente evidente per il periodo estivo e allo stesso modo, per entrambi i periodi, tra le concentrazioni di PM10 e tutti gli altri parametri monitorati presso la centralina (sia di qualità dell'aria che meteorologici);

Per la stazione di Montale si è osservata una forte correlazione, sia nel periodo invernale sia per l'intero anno, tra PM10 e NO e tra PM10 e NO<sub>2</sub> mentre l'indice di correlazione relativo al periodo estivo risulta essere piuttosto ridotto in entrambi i casi. Si è, inoltre, rilevato che i valori di concentrazione del biossido di azoto sono superiori rispetto a quelli dell'NO ad eccezione del periodo autunno/inverno nel quale si possono osservare valori di concentrazione di NO superiori rispetto a quelli dell'NO<sub>2</sub>.

L'insieme delle informazioni emerse dall'analisi della correlazione tra PM10, NO e NO<sub>2</sub> e dall'analisi degli andamenti stagionali delle componenti principali degli ossidi di azoto sembra indicare una forte influenza sui dati di PM10 registrati presso la centralina di Montale nel periodo invernale da parte delle sorgenti di emissione di monossido di azoto (in particolare, quindi, le attività di combustione) ad essa limitrofe. Tale stretta relazione è correlabile anche al fatto che il sito in cui è collocata la stazione di Montale presenta caratteristiche sfavorevoli alla dispersione degli inquinanti emessi localmente.

Dalle analisi emerge, inoltre, una stretta correlazione tra PM10 e NO<sub>2</sub>; essendo l'NO<sub>2</sub> un inquinante di origine principalmente secondaria, tale risultato evidenzia la presenza nel periodo invernale di una componente secondaria nei livelli di concentrazione registrati per il PM10.

## **Emissioni**

(Appendice - Paragrafo di riferimento: 1.5 Analisi dei dati disponibili: le emissioni)

- ✓ Nel territorio del comune di Montale è presente un'unica sorgente classificata come sorgente di tipo puntuale nell'inventario regionale, l'impianto di termovalorizzazione C.I.S. S.p.A;
- ✓ In base ai livelli di concentrazione rilevati presso tale impianto nel corso degli anni 2010 - 2011 si possono stimare emissioni medie di PM10 dall'impianto pari a circa 0,1 t/anno e emissioni medie di NO<sub>x</sub> pari a circa 30 t/anno; entrambi tali stime corrispondono a quanto riportato nell'inventario regionale (I.R.S.E. 2007);
- ✓ I livelli annuali di emissione di PM10 primario rilevati presso il termovalorizzatore sono scarsamente rilevanti rispetto alle altre sorgenti emmissive presenti nel territorio del Comune di Montale e dei comuni limitrofi (0,02%).

(Appendice - Paragrafo di riferimento: 1.2.2 Polveri sottili e inceneritore di Montale: documento di valutazione congiunta ARPAT-ASL 3)

- ✓ Le emissioni di polveri totali dall'inceneritore presente nel comune di Montale sono tali che, considerata la diluizione che i fumi necessariamente subiscono dopo l'immissione in atmosfera, non possono determinare incrementi significativi del PM10 primario in atmosfera. Le emissioni di ossidi di azoto generate dall'inceneritore possono contribuire alla formazione di PM10 secondario; sulla base dei risultati del Progetto P.A.Tos., il contributo dell'inceneritore al PM10 secondario nel periodo invernale risulta al massimo di poco superiore a 1 µg/m<sup>3</sup>. I dati disponibili sulla qualità dell'aria rilevata dalla centralina di Montale e quelli sulle caratteristiche delle attuali emissioni dell'inceneritore di Montale confermano che l'inceneritore può produrre solo un incremento poco rilevante delle concentrazioni di PM10 misurate nella zona, tali da non suggerire una specifica fermata dell'inceneritore durante gli episodi acuti di inquinamento atmosferico.

(Appendice - Paragrafo di riferimento: 1.2.5 Progetto ARPAT-PT/USL3-PT "Indagine ambientale e sanitaria nelle aree poste in prossimità dell'impianto di incenerimento di RSU di Montale")

La condizione ambientale nell'intorno dell'inceneritore non appare correlabile in via esclusiva con la possibile deposizione di emissioni provenienti dall'impianto di incenerimento di Montale il quale, nei diversi periodi della sua attività, ha sicuramente determinato un impatto ambientale nel territorio ad esso circostante, ma sullo stesso territorio insistono altri fattori di pressione che concorrono a determinarne le condizioni complessive.

- √ In base alle informazioni riportate nell'inventario regionale delle sorgenti di emissione (I.R.S.E. 2007), le principali sorgenti di emissione di PM10 primario presenti nel territorio del comune di Montale e nei comuni limitrofi sono gli impianti di combustione non industriale e i trasporti stradali; tali sorgenti contribuiscono, nel comune di Montale, per circa il 90% del totale delle emissioni di PM10 primario emesse nel territorio del comune di Montale. In particolare, per quanto riguarda la combustione non industriale, più del 90% delle emissioni di PM10 primario risulta essere proveniente dalla combustione di combustibili vegetali in caminetti e stufe tradizionali. Circa il 50% delle emissioni primarie di PM10 del Comune di Montale sembra, quindi, provenire dalla combustione domestica di combustibili vegetali in caminetti e stufe tradizionali;
- √ Le principali sorgenti di emissione di NO<sub>x</sub> presenti nel territorio del comune di Montale sono i trasporti stradali (53%) e il trattamento dei rifiuti, nello specifico l'impianto di termovalorizzazione C.I.S. SpA (23%). A differenza di quanto emerso per il PM10, solo lo 0,4% delle emissioni di NO<sub>x</sub> è imputabile alla combustione in caminetti e stufe di combustibili solidi vegetali;
- √ Per la combustione di combustibili solidi vegetali in caminetti e stufe tradizionali si può osservare un rapporto PM10/NO<sub>x</sub> molto spostato verso le emissioni di PM10 mentre nel caso della combustione degli impianti di incenerimento dei rifiuti, della combustione domestica di gasolio e del traffico veicolare tale rapporto è molto spostato verso l'emissione di ossidi di azoto. Come precedentemente considerato, il rapporto PM10/NO<sub>x</sub> riscontrato tra le concentrazioni dei parametri rilevati presso la centralina di Montale presenta valori insolitamente alti - in particolare nel periodo invernale – inoltre, nello stesso periodo, si è osservata una stretta correlazione tra i valori di concentrazione di PM10 e di monossido di azoto (NO), originato principalmente da attività di combustione. La particolarità del rapporto PM10/NO<sub>x</sub> riscontrata per la centralina di Montale potrebbe essere, quindi, in parte correlata alla significativa influenza di sorgenti di emissione locale – in particolare attività di combustione di combustibili solidi vegetali - sui livelli di qualità dell'aria.

## ***Meteorologia***

- √ In base al Rapporto “Classificazione della diffusività atmosferica nella Regione Toscana redatto da LaMMA, la conca intermontana comprendente i centri urbani di Firenze, Prato e Pistoia risulta essere un'area a ridotta diffusività atmosferica; in particolare si osserva che i comuni presenti nella parte più centrale della conca e limitrofi al comune di Montale

presentano valori dell'indice di diffusività estremamente bassi e più ridotti rispetto a quelli calcolati per gli altri comuni della conca.

(Appendice - Paragrafo di riferimento: 1.2.1.1 La correlazione tra i dati di concentrazione di PM10 e i parametri meteorologici)

- √ I risultati ottenuti dallo studio finalizzato all'individuazione dei parametri meteorologici in grado di influenzare in modo significativo i livelli di concentrazione di PM10 presentato all'appendice 2 della relazione del Progetto regionale P.A.Tos. associano a tutte le stazioni di monitoraggio dell'entroterra un comportamento fortemente correlato alla stagione. In base ai risultati dello studio sulla correlazione tra dati di concentrazione di PM10 e parametri meteorologici condotto, risulta assolutamente plausibile ipotizzare una marcata influenza delle condizioni meteorologiche alla scala sinottica<sup>1</sup> (ossia regionale e sovraregionale) sui valori di concentrazione giornaliera di PM10 per la gran parte delle stazioni dell'entroterra tra cui anche le stazioni presenti nella zona Prato – Pistoia (fatta eccezione per la stazione di PT-Signorelli che risultava ancora non attiva nel periodo analizzato, anni 2000-2004). Dallo stesso studio emerge che quantitativamente i valori di concentrazione hanno una marcata dipendenza spaziale, risultato dal quale si suppone che le condizioni sinottiche determinino a scala regionale le condizioni favorevoli o meno all'accumulo degli inquinanti; in ciascuna area, i valori di concentrazione di PM10 più o meno alti dipendono dalle caratteristiche delle sorgenti emissive locali.

### *2.1.1 Le ipotesi individuate*

Da quanto emerso dagli studi analizzati e dalle elaborazioni dei dati effettuate, l'anomalia della stazione di Montale relativa ai dati di polveri monitorati sembrerebbe imputabile principalmente a due cause: la prima strettamente legata alla tipologia delle fonti di emissione locali, sorgenti di emissione di particolato di origine primaria, la seconda alle caratteristiche meteorologiche del sito in cui essa è collocata per cui la stazione di Montale sembrerebbe risiedere in un sito che presenta caratteristiche sfavorevoli alla dispersione degli inquinanti.

E' risultato pertanto necessario procedere ad una verifica diretta dello stato della qualità dell'aria nel territorio limitrofo alla stazione stessa in modo da verificare le ipotesi dedotte dalle informazioni sinora raccolte così da stabilire il più chiaramente possibile se la stazione di Montale rappresenti un'anomalia di livello strettamente locale oppure se i valori della stazione siano rappresentativi di un'area più vasta.

---

<sup>1</sup> dimensione geografica dei sistemi meteorologici che comprende tutti quei fenomeni che si svolgono ad un'estensione orizzontale dell'ordine di migliaia di chilometri



## **2.2 STEP 2 - Gli strumenti di verifica**

Lo strumento di verifica che è stato ritenuto idoneo a fornire risposte il più possibile fondate e complete alle ipotesi individuate è il monitoraggio del particolato fine PM10 tramite campagne indicative mirate.

I dispositivi utilizzati per realizzare le campagne di monitoraggio sono due campionatori sequenziali per esterni per il monitoraggio in continuo del particolato atmosferico mediante il metodo di campionamento su membrana filtrante, entrambi del medesimo modello Tecora "SKYPOST". Entrambi gli strumenti, certificati da TÜV in accordo alla norma EN 12341, al DM60 e alla norma UNI EN 13284, hanno un sistema di sostituzione automatico e sequenziale della membrana filtrante con autonomia di 16 filtri, unitamente al controllo elettronico del flusso, che consente il monitoraggio in continuo senza presidio. Di seguito tali strumenti verranno identificati con il nome "campionatore 1" e "campionatore 2". Il metodo utilizzato è l'UNI EN 12341/2001 "Determinazione del particolato in sospensione PM10"

Il "campionatore 1", in particolare, ha partecipato a due circuiti di interconfronto delle misure della frazione PM10 di materiale particolato nell'aria ambiente organizzati dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA). Tali circuiti sono finalizzati alla comparabilità dei dati ambientali sul territorio nazionale.

Il primo interconfronto (ISPRA-IC018) cui ha partecipato ARPAT (tramite il settore CRTQA) si è svolto a novembre 2010 ad Aosta: i risultati in termini di affidabilità e qualità dei dati prodotti sono stati soddisfacenti e lo strumento è risultato essere conforme a quanto previsto dalle linee guida per gli studi di dimostrazione dell'equivalenza dei metodi di misura del PM10.

Il secondo interconfronto (ISPRA-IC022) si è svolto a febbraio 2012 a Roma: i risultati in termini di affidabilità e qualità dei dati prodotti sono stati più che soddisfacenti e lo strumento è risultato essere conforme a quanto previsto dalle linee guida per gli studi di dimostrazione dell'equivalenza dei metodi di misura del PM10.

La verifica del corretto funzionamento del "campionatore 2" è stata effettuata tramite campionamento in parallelo di particolato atmosferico PM10 effettuato utilizzando come riferimento il "campionatore 1" il quale è stato posizionato di fianco alla stazione di monitoraggio "campionatore 2". In base ai risultati ottenuti il secondo campionatore mostra un funzionamento soddisfacente ai fini della produzione di dati giornalieri di concentrazione di PM10, in ottimo accordo con lo strumento SKYPOST di riferimento ("campionatore 1"). I risultati dell'audit sono riportati in maniera estesa nell'[allegato 4](#). Il rapporto di prova completo è conservato internamente agli atti di ARPAT.

### 3. STRATEGIA DELLE CAMPAGNE DI CAMPIONAMENTO 2012-2013

La strategia di campionamento per la valutazione della rappresentatività delle misure alla stazione di Montale ha tenuto conto di diversi aspetti quali ad esempio l'analisi della meteorologia della zona, la distribuzione delle principali sorgenti di emissione e, non ultimo, i requisiti logistici e infrastrutturali per il posizionamento del campionatore.

Come risulta evidente dalla figura successiva la zona Prato Pistoia si estende da nord-ovest a sud-est ed è geograficamente parte di una conca intermontana che comprende anche l'agglomerato di Firenze. L'area per cui si ipotizza la rappresentatività della stazione di Montale, intesa come ipotesi di massima rappresentatività, è delimitata a nord-ovest e sud-est dalle evidenze stesse del monitoraggio effettuato tramite rete regionale, rappresentate rispettivamente dalla stazione di Pistoia-Signorelli e da quella di Prato-Roma, e a nord-est-sud-ovest dai naturali limiti fisici costituiti dalla cintura appenninica e collinare che racchiude la conca intermontana.

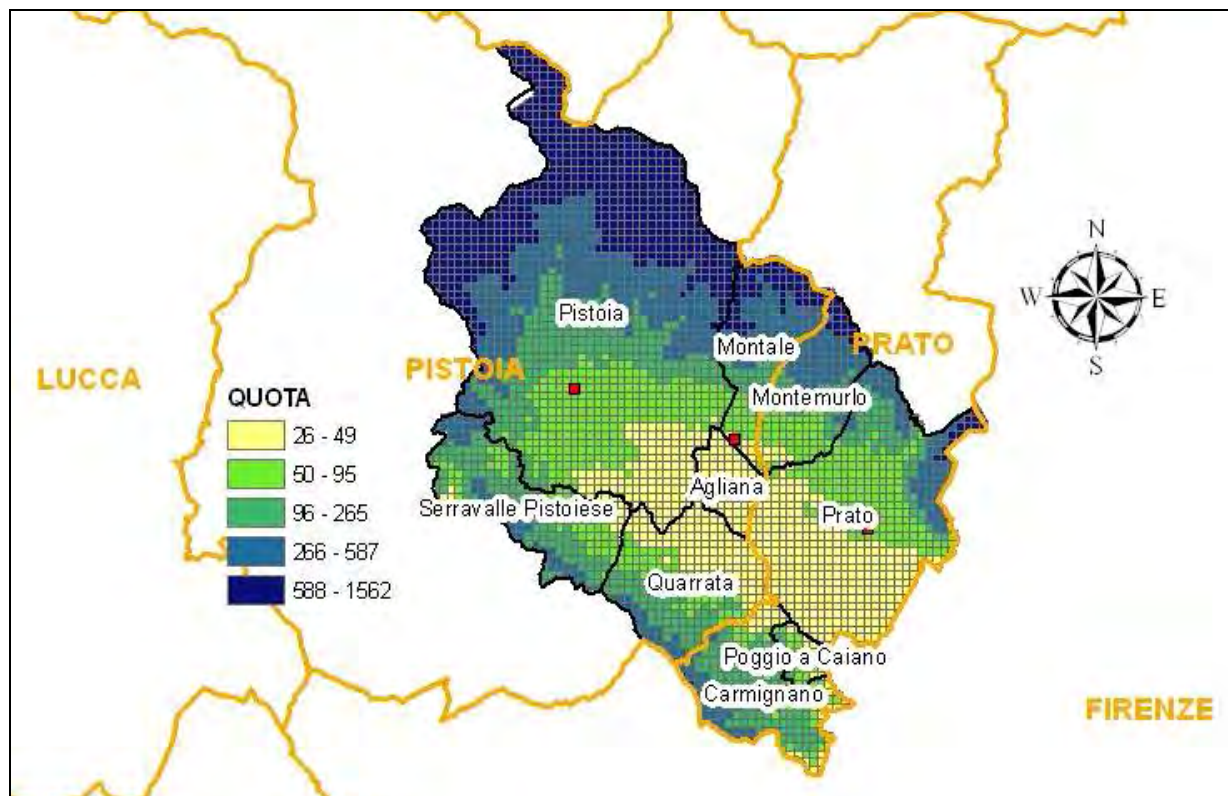
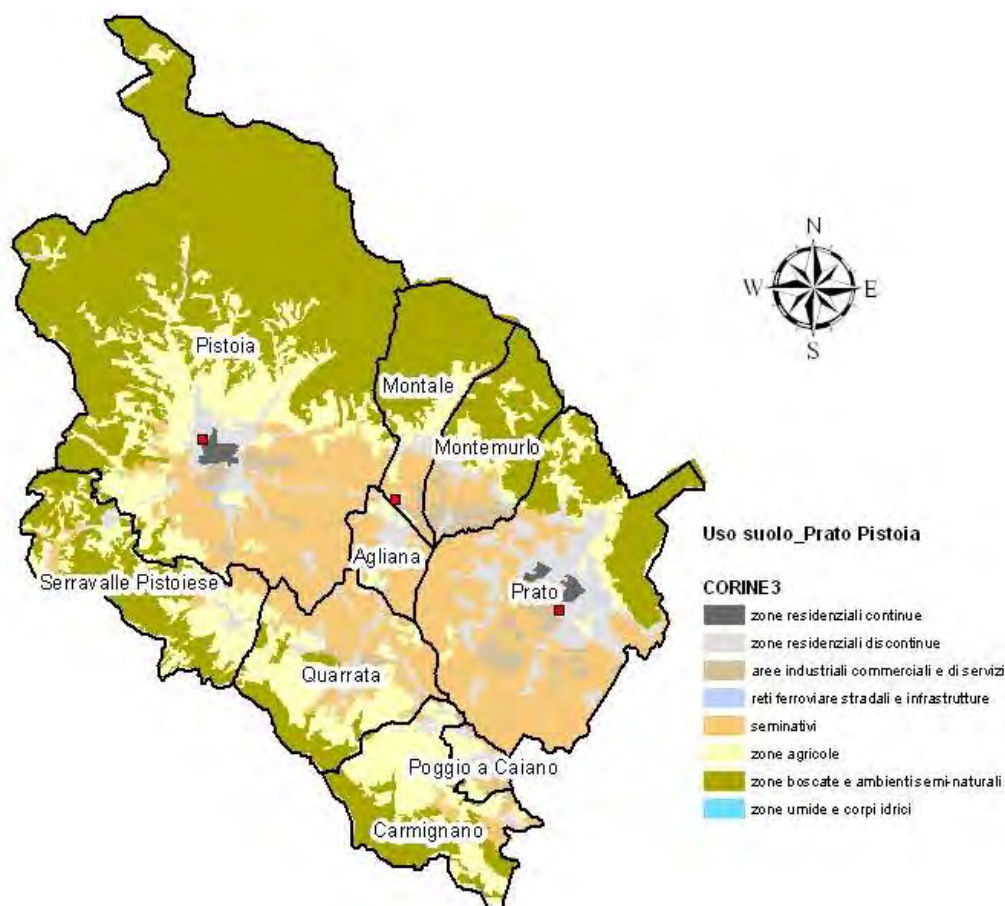


Figura 3.1. Zona Prato Pistoia. Quota s.l.m in metri.

Come si può notare nella figura 3.1, la stazione di Montale si trova ai margini dell'area pianeggiante, di quota compresa tra 26 e 49 m s.l.m. La selezione dei livelli è effettuata su ArcMap secondo il metodo di classificazione del *Quantile* che sembra riprodurre una rappresentazione ottimale delle fasce di altitudine per quanto di interesse. La mappa seguente mostra invece l'uso del suolo nella zona Prato - Pistoia.



*Figura 3.2. Zona Prato Pistoia. Uso del suolo*

Si distinguono come aree residenziali continue o discontinue i centri urbani della zona, principalmente Prato e Pistoia, ai margini dei quali si collocano le zone commerciali, industriali e di servizi. Alle spalle dei centri urbani, attigue a zone boscate e ambienti semi naturali, si trovano le aree agricole. L'area della piana, all'interno della cintura urbana, risulta invece prevalentemente costituita da seminativi. Quest'ultimo dato va tenuto in considerazione in relazione ai citati aspetti logistici che, nell'ambito dell'area di interesse individuata, hanno necessariamente condizionato la scelta finale dei siti di campionamento.

### **3.1 Applicazione dell'indice $\beta$ come strumento integrativo**

Come riportato al paragrafo 1.2.6 dell'Appendice, l'indice  $\beta$ , che è stato calcolato in un precedente lavoro di analisi del PM10 regionale, è un parametro che può essere associato ad ogni stazione di monitoraggio: esprime le caratteristiche della localizzazione della stazione stessa sintetizzando in un unico valore le informazioni sull'uso del suolo e sulle pressioni emissive locali e le correla alle misure. Rispetto alla letteratura citata, il calcolo di  $\beta$  è stato effettuato con una modifica della stima iniziale dei coefficienti che desse maggior peso al traffico come componente delle emissioni urbane. Contrariamente alla procedura originale i coefficienti non sono stati ottimizzati, anche perché riferiti alle singole zone omogenee di appartenenza delle stazioni di cui si conoscevano in questo caso le specifiche emissioni. Anche per le valutazioni che seguono si fa riferimento quindi alla metodologia

già utilizzata in precedenza in modo da mantenere la coerenza con le considerazioni fin qui esposte. Il calcolo dell'indice  $\beta$  può essere utile per effettuare una prima stima dell'ambito di rappresentatività della stazione attraverso l'esame della variabilità spaziale dell'indice stesso. Al crescere del raggio utilizzato per il calcolo, un'alta differenza percentuale nel valore di  $\beta$  risultante, implica una scarsa rappresentatività della stazione nell'area di raggio più grande, assunta per rappresentativa la stazione nel raggio minimo di riferimento.

Nella metodologia sviluppata da ENEA nell'ambito della convenzione con il MATTM per la valutazione della rappresentatività delle stazioni delle reti speciali [6a], il valore di  $\beta$  è stato calcolato a 2 - 5 - 7,5 - 10 km e, solo per le stazioni rurali, a 20 km dalle stazioni di riferimento. Come valore di riferimento accettabile è stata assunta una variabilità per  $\beta$  pari al 20%, corrispondente secondo la funzione di trend<sup>2</sup> utilizzata da ENEA ad una variazione del 20% in concentrazione [7a, 8a].

L'indice calcolato per la stazione di Montale nel precedente lavoro è riferito ad un raggio di 3 km. È stato quindi eseguito il calcolo a 2 e a 5 km con i risultati illustrati di seguito.

Buffer	Valore $\beta$	$\Delta\beta$ %
2 km	0,147	-
3 km	0,137	-7%
5 km	0,099	-33%

Tabella 3.1.1. Indice  $\beta$  calcolato a 2, 3 e 5 km rispetto alla stazione di PT-Montale

Mentre la variabilità tra i 2 e i 3 km risulta accettabile, tra 2 e 5 km si ha una variazione dell'indice  $\beta$  superiore al 20%, per cui la stazione di Montale non può dirsi rappresentativa ai 5 km.

Esaminando la mappa di uso del suolo, insieme alle torte di distribuzione percentuale nei tre buffer concentrici, il motivo di questo risultato appare abbastanza chiaro.

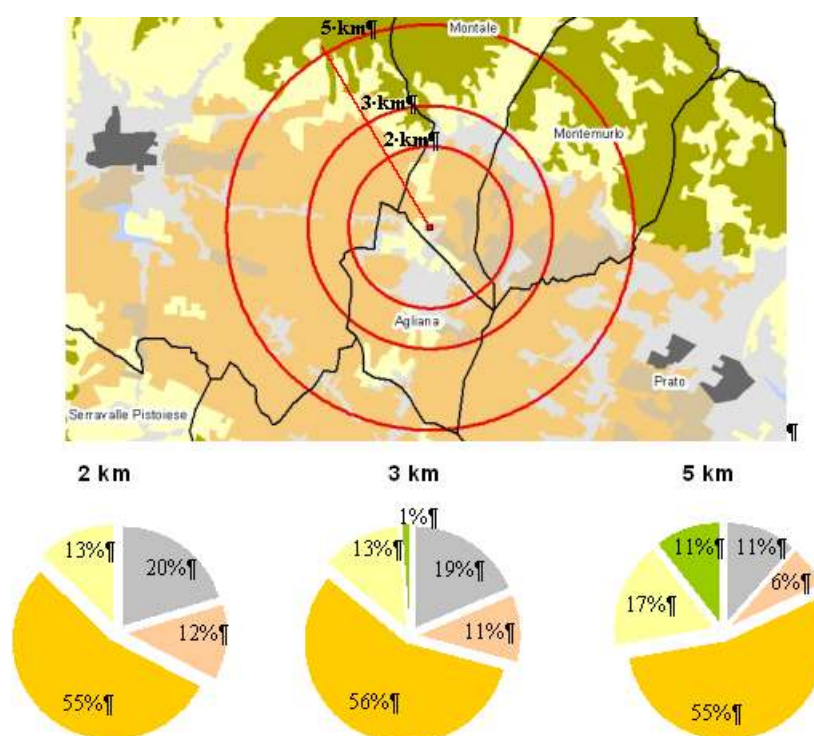


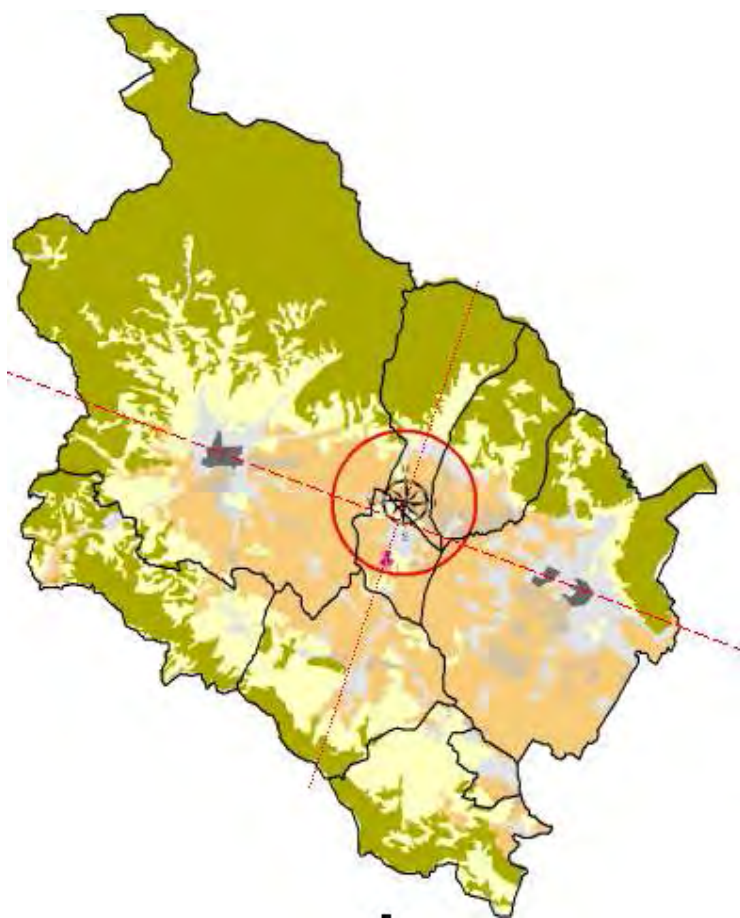
Figura 3.1.1. Uso del suolo e buffer per il calcolo di  $\beta$ : zoom sulla stazione di Montale

<sup>2</sup> Curva di correlazione tra  $\beta$  e PM10



Non trovandosi, come detto, la stazione di Montale al centro dell'area individuata come ipotetica area di rappresentatività, all'estendersi del raggio del buffer vengono incluse verso nord porzioni di aree boscate o seminaturali che introducono una variazione nel calcolo di  $\beta$  al di fuori dell'intervallo di accettabilità, anche in ragione delle rilevanti differenze nel potenziale emissivo di queste aree rispetto alle altre categorie di uso del suolo.

A fronte di queste considerazioni si è pensato di integrare le valutazioni su  $\beta$  con gli altri elementi di conoscenza del territorio, tenendo conto in particolare che la zonizzazione pone condizioni sui limiti dell'area di rappresentatività la quale dovrà essere interamente contenuta all'interno della zona Prato-Pistoia. Per verificare, attraverso  $\beta$ , l'omogeneità dell'uso del suolo nell'ambito dell'area di nostro interesse ed individuare di conseguenza alcune fasce di territorio all'interno delle quali posizionare i punti di campionamento, è stato spostato il baricentro del calcolo dalla stazione di Montale ad un punto più centrale, rispetto al quale la distribuzione di uso del suolo della zona risultasse maggiormente simmetrica. Questo punto di riferimento, che chiameremo baricentro, è stato individuato traslando dal sito di Montale verso sud-sud-ovest, lungo un'immaginaria bisettrice tra Prato e Pistoia, ad una distanza di 3 km circa dalla stazione. A questa distanza, come verificato, la stazione di Montale risulta ancora rappresentativa.



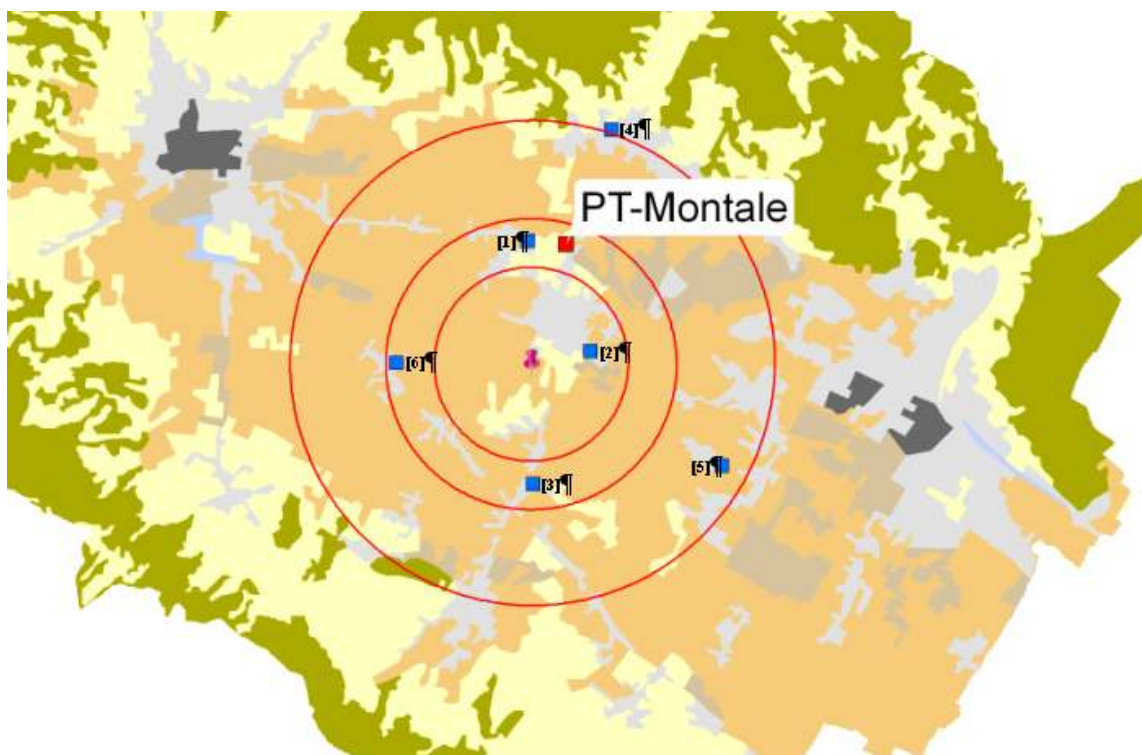
*Figura 3.1.2. Individuazione del baricentro*

Sul baricentro così individuato è stato ripetuto il calcolo della variabilità di  $\beta$ , sui 3 buffer concentrici con i seguenti risultati:

Buffer	Valore $\beta$	$\Delta\beta$ %
2 km	0,112	-
3 km	0,104	-7,4
5 km	0,106	-5,9

*Tabella 3.1.2. Indice  $\beta$  calcolato a 2, 3 e 5 km rispetto al baricentro*

La variazione di  $\beta$  anche a 5 Km risulta inferiore al 20%.



*Figura 3.1.3. Ipotesi di area di rappresentatività della stazione di PT-Montale*

I siti di campionamento sono stati quindi individuati a partire dal baricentro, all'interno delle 3 aree di riferimento:

- nell'area di raggio 2 km è stato individuato un sito di campionamento situato all'interno del centro urbano di Agliana [2];
- nella fascia tra i 2 e i 3 km sono stati individuati tre siti rispettivamente nei comuni di: Agliana [1], poco distante dalla stazione di Montale, Pistoia [6], in località Bottegone e Quarrata, località Vignole [3];
- nella fascia tra i 3 e i 5 km sono stati individuati due siti rispettivamente nel comune di Montale [4], all'interno dell'area urbana, e nel comune di Prato [5], in località Brugnano.

La numerazione segue l'ordine cronologico dei campionamenti.

La tabella seguente riporta le quote sul livello del mare, ricavate dalla cartografia, a cui si trovano i siti selezionati e quelle relative alle stazioni di fondo della zona Prato-Pistoia.

Sito	Comune	Quota (m s.l.m.)	Coordinate WGS84 GMS		Distanza indicativa <sup>1</sup> da PT-Montale (km)
			Latitudine	Longitudine	
[1]	Agliana – Don Milani	49	43°54'57.14"N	10°59'41.84"E	0,9
[2]	Agliana – S. Michele	42	43°53'42.71"N	11°00'41.25"E	2,2
[3]	Quarrata - Vignole	40	43°52'14.96"N	10°59'45.56"E	4,9
[4]	Montale – via Vignolini	75	43°56'10.10"N	11°01'5.50"E	2,5
[5]	Prato - Brugnano	48	43°52'24.12"N	11°02'39.99"E	5,4
[6]	Pistoia - Bottegone	44	43°53'37.78"N	10°57'41.46"E	4,3
	PT-Montale	48	43°54'54.19"N	11°00'22.26"E	-
	PT-Signorelli	54	43°56'23.94"N	10°54'06.04"E	8,8
	PO-Roma	54	43°87'33.97"N	11°09'23.02"E	8,2

*Tabella 3.1.3. Quota e coordinate dei siti di campionamento individuati e delle stazioni di fondo della zona PO-PT*

1. Si intende distanza in linea d'aria

In figura 3.1.3 vengono segnati i siti di campionamento così individuati, il baricentro e la stazione di campionamento di PT-Montale.



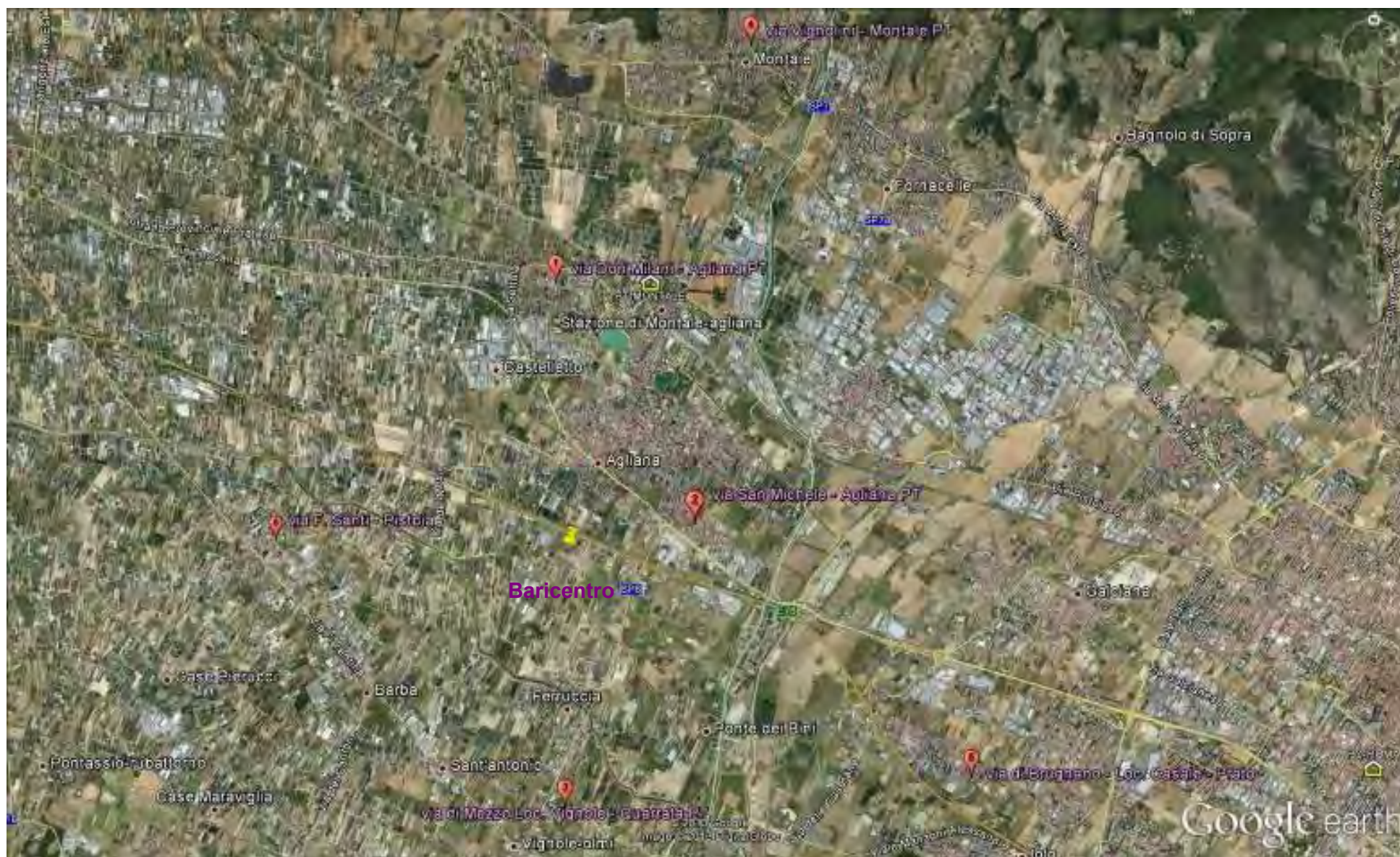


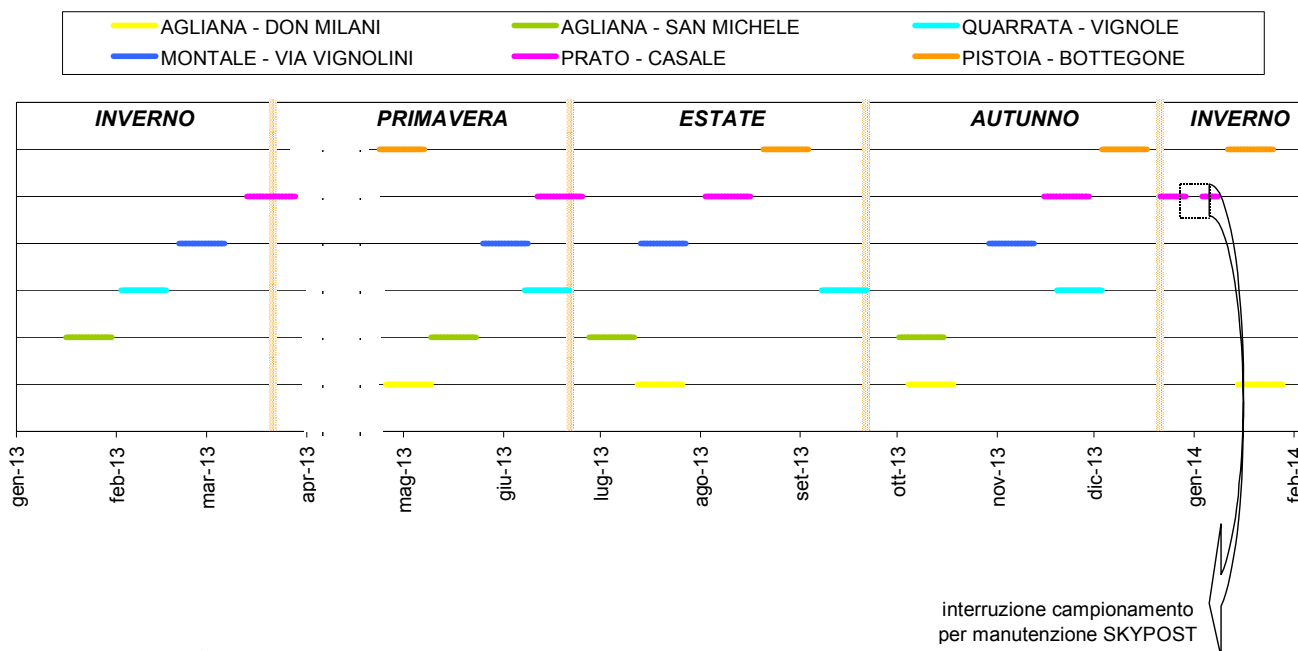
Figura 3.1.3. Individuazione su mappa dei siti di campionamento, del baricentro e della stazione di PT-Montale



Di seguito viene riportata la tabella con la data e il sito di campionamento delle campagne di monitoraggio effettuate:

	INVERNO	PRIMAVERA	ESTATE	AUTUNNO
<b>AGLIANA DON MILANI [1]</b>	14/01/14-28/01/14 <sup>3</sup>	25/04/13-09/05/13	12/07/13-26/07/13	4/10/13-18/10/13
	CAMPIONATORE 2	CAMPIONATORE 2	CAMPIONATORE 2	CAMPIONATORE 2
<b>AGLIANA SAN MICHELE [2]</b>	16/01/13-30/01/13	09/05/13-23/05/13	27/06/13-11/07/13	01/10/13-15/10/13
	CAMPIONATORE 1	CAMPIONATORE 1	CAMPIONATORE 1	CAMPIONATORE 1
<b>QUARRATA VIGNOLE [3]</b>	02/02/13-16/02/13	07/06/13-21/06/13	07/09/13-21/09/13	19/11/13-03/12/13
	CAMPIONATORE 2	CAMPIONATORE 2	CAMPIONATORE 2	CAMPIONATORE 2
<b>MONTALE VIA VIGNOLINI [4]</b>	20/02/13-06/03/13	25/05/13-08/06/13	13/07/13-27/07/13	29/10/13-12/11/13
	CAMPIONATORE 1	CAMPIONATORE 1	CAMPIONATORE 1	CAMPIONATORE 1
<b>PRATO BRUGNANO [5]</b>	21/12/13-08/01/14 <sup>4</sup>	11/06/13-25/06/13	02/08/13-16/08/13	15/11/13-29/11/13
	CAMPIONATORE 1	CAMPIONATORE 1	CAMPIONATORE 1	CAMPIONATORE 1
<b>PISTOIA BOTTEGONE [6]</b>	11/01/14-25/01/14	23/04/13-07/05/13	20/08/13-03/09/13	03/12/13-17/12/13
	CAMPIONATORE 1	CAMPIONATORE 1	CAMPIONATORE 1	CAMPIONATORE 1

Di seguito si riporta una rappresentazione grafica con durata e stagionalità delle campagne effettuate:



3 La campagna invernale presso il sito di Agliana – Don Milani è stata ripetuta per avere informazioni più recenti; la campagna precedente era, infatti, stata effettuata nell'anno 2012

4 La campagna invernale presso il sito di Prato – Brugnano è stata ripetuta in quanto la variazione di peso del bianco di campo al termine della serie di campionamenti è risultata essere superiore al limite consentito dalla normativa. Nel corso della campagna è stato

## 4. L'ANALISI DEI DATI DELLE CAMPAGNE DI MONITORAGGIO

Sono state effettuate 24 campagne di monitoraggio della durata di 15 giorni ciascuna in 6 diversi siti tutte svoltesi nel corso dell'anno 2013 e nei primi mesi del 2014, ad eccezione della prima campagna presso il sito di Agliana – Don Milani svoltasi nel corso del mese di marzo 2012 la quale, però, è stata ripetuta tra dicembre 2013 e gennaio 2014; in totale sono stati, quindi, effettuati circa 364 giorni di campionamento.

In [allegato 8](#) viene riportata la tabella dei dati di concentrazione rilevati nel corso delle campagne di campionamento e dei dati rilevati presso le stazioni fisse di tipo fondo della zona Prato-Pistoia relativi allo stesso periodo. In allegato 9 vengono riportate le immagini relative a ciascun sito di campionamento individuato.

### **4.1 Validazione delle misure effettuate**

Le misure dei dati di concentrazione di PM10 effettuate, come già precedentemente detto, sono state programmate in base alle indicazioni fornite dalla normative in merito alle misurazioni indicative<sup>5</sup>. Per loro stessa definizione, tali misure si presentano come misure discontinue e, quindi, non danno informazioni dirette sui livelli di qualità dell'aria in relazione a tutti i giorni dell'anno ma solo ad una parte di essi. Al fine di individuare eventuali limiti delle misure indicative<sup>6</sup> effettuate nel corso delle campagne di campionamento e di predisporre, quindi, valutazioni integrative e complementari utili alla definizione di un quadro informativo il più rappresentativo possibile della qualità dell'aria nel contesto analizzato, si è proceduto innanzitutto alla verifica della rappresentatività di tali misure.

#### *4.1.1 Verifica degli obiettivi di qualità delle misure*

Il D.Lgs. 155/2010 (All. 1) individua tre differenti obiettivi di qualità per le misurazioni indicative: il primo relativo al periodo minimo di copertura, il secondo alla raccolta minima dei dati e il terzo all'incertezza estesa, quest'ultimo diverso a seconda del tipo di inquinante.

Di seguito si riporta la tabella con i valori degli obiettivi di qualità previsti dal decreto 155 in relazione al PM10:

---

necessario effettuare operazioni di manutenzione alla strumentazione utilizzata per il campionamento; il periodo di campionamento previsto è stato prolungato così da potere disporre di 15 giorni di dati.

<sup>6</sup> Per misurazioni indicative sono da considerare quelle misure discontinue, organizzate, sotto il profilo temporale, in campagne stagionali al fine di rendere tali misurazioni rappresentative al contesto che si vuol valutare. Questo perché gli inquinanti dell'aria ambiente presentano variazioni temporali di carattere stagionale. L'allegato 1 del D.Lgs. 155/2010 prevede che le misurazioni indicative, debbano essere costituite da almeno 8 settimane distribuite equamente nell'anno. Rispetto alle misurazioni in siti fissi, le misurazioni indicative hanno caratteristiche relative agli obiettivi di qualità dei dati meno stringenti. In particolare varia la copertura temporale, che è limitata e caratterizzata da un periodo di copertura di almeno il 14 % su base annuale (51 giorni) e l'incertezza, la quale risulta più elevata e variabile in relazione al tipo di inquinante (da + 5 % per il benzene al + 25 % per PM10-PM2,5 e Piombo); resta invariata la raccolta minima dei dati che è sempre fissata al 90 %.

Obiettivo di qualità	Tab. 1, All 1, DLgs 155/2010
Periodo minimo di copertura	14%
Raccolta minima dei dati	90% <sup>7</sup>
Incertezza estesa	50%

*Tabella 4.1.1. obiettivi di qualità per le misurazioni indicative del DLgs 155/2010*

L'incertezza percentuale riportata nella tabella precedente, espressa con un livello di fiducia del 95%, si riferisce alle misure singole mediate sul periodo considerato per i valori limite. L'incertezza va considerata applicabile all'intorno dei pertinenti valori limite.

Di seguito viene riportata la tabella con il confronto tra gli obiettivi di qualità dei dati richiesti dalla normativa vigente e i risultati della verifica del rispetto di tali obiettivi inerentemente ai dati delle campagne di monitoraggio:

Obiettivo di qualità	Tab. 1, All 1, DLgs 155/2010 (misure indicative)	Risultati verifica misurazioni
Periodo minimo di copertura	14%	60 giorni di misurazione (15 giorni a stagione) → periodo di copertura su base annuale pari al 16% <b>CONFORME ALL'OBIETTIVO DI QUALITÀ DEI DATI</b>
Raccolta minima dei dati	90% <sup>8</sup>	Nel corso di 3 delle 24 campagne (autunnale di Agliana-Don Milani, primaverile di Quarrata-Vignole, invernale di Prato-Brugnano) si è verificata la perdita dei dati di concentrazione relativi ad un unico giorno di campionamento; tale perdita ha comportato una percentuale di dati raccolti pari al 98%. Inoltre, nei casi in cui è stato necessario effettuare operazioni di manutenzione della strumentazione nel corso del campionamento (Prato-Brugnano), si è provveduto a prolungare il periodo di campionamento in modo da potere disporre di 15 giorni di dati così da ottenere una raccolta minima di dati pari al 100%. La raccolta minima di dati validi relativi all'intero periodo di campionamento di ciascun sito è stata, quindi, sempre molto superiore al 90%. <b>CONFORME ALL'OBIETTIVO DI QUALITÀ DEI DATI</b>
Incertezza estesa	50%	Nel caso di misurazioni indicative che rispettano gli obiettivi di qualità relativi al periodo minimo di copertura e alla raccolta minima dei dati, i valori di incertezza estesa - riferiti alle singole misure di PM10 mediate sul periodo considerato per i valori limite - risultano sempre < 50%. <b>CONFORME ALL'OBIETTIVO DI QUALITÀ DEI DATI</b>

*Tabella 4.1.2. Conformità agli obiettivi di qualità per le misurazioni indicative del DLgs 155/2010*

<sup>7</sup> in relazione ai criteri definiti al punto 5 dell'allegato 1 del D.Lgs. 155/2010, la raccolta minima dei dati si riferisce ai dati percentuali validi al netto delle attività di manutenzione ordinaria e taratura periodica; la perdita di dati dovuta alla taratura periodica od alle attività di manutenzione effettuate sulla strumentazione, è stimabile in misura del 5 % su base annuale.

<sup>8</sup> in relazione ai criteri definiti al punto 5 dell'allegato 1 del D.Lgs. 155/2010, la raccolta minima dei dati si riferisce ai dati percentuali validi al netto delle attività di manutenzione ordinaria e taratura periodica; la perdita di dati dovuta alla taratura periodica od alle attività di manutenzione effettuate sulla strumentazione, è stimabile in misura del 5 % su base annuale.

In base ai risultati ottenuti e a quanto indicato nel DLgs 155/2010 si può concludere che, in relazione agli obiettivi di qualità richiesti dalla normativa, le serie di dati ottenute dalle campagne di monitoraggio effettuate possono essere ritenute rappresentative della qualità dell'aria della zona nella quale sono stati effettuati i monitoraggi e i valori ottenuti sono da considerarsi affidabili.

#### *4.1.2 Verifica della rappresentatività delle misure*

Come già specificato, le misure dei dati di concentrazione di PM10 effettuate tramite le campagne sono state programmate in base alle indicazioni fornite dalla normativa in merito alle misurazioni indicative.

Per loro stessa definizione, tali misure si presentano come misure discontinue e, quindi, effettuate in intervalli definiti nel corso dell'intero anno solare. Al fine di verificare l'effettiva rappresentatività delle misure di concentrazione rilevate rispetto a quelle registrate nel corso dell'intero anno solare (anno di riferimento: 2013) presso stazioni di monitoraggio fisse collocate in zone limitrofe ai siti delle campagne e con caratteristiche ad esse simili (tipologia fondo), si è ritenuto opportuno confrontare le distribuzioni di frequenza dei dati rilevati presso le stazioni fisse con quelli rilevati presso i siti di campionamento; il confronto è stato effettuato sia in relazione ai periodi di svolgimento di ciascuna campagna sia rispetto all'intero anno solare.

La distribuzione dei valori di concentrazione rilevati viene esposta nei grafici seguenti con una rappresentazione grafica che permette di descriverne le caratteristiche principali tramite semplici indici di dispersione e di posizione (box-plot); in ordinate vengono riportati i valori di concentrazione di PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) relativi a ciascun indice di dispersione (percentili di ordini diversi<sup>9</sup> e media). In particolare, nel primo insieme di immagini (figura 4.1.2.1) viene rappresentata la distribuzione dei dati di concentrazione rilevati nel corso di ciascun periodo di campionamento; nel gruppo di immagini successive viene, invece, presentata la distribuzione dei dati relativi alle campagne rispetto a quella dei dati rilevati presso le stazioni fisse di fondo della zona nel corso dell'anno 2013.

Come si può osservare le distribuzioni dei dati rilevati presso i vari siti delle campagne e presso le stazioni fisse di fondo della zona hanno caratteristiche tra loro molto simili sia nel caso si considerino i soli giorni di campionamento (figura 4.1.2.1) sia nel caso si consideri come confronto l'intero anno solare (figura 4.1.2.2). Fa eccezione, per il secondo caso, il sito di Pistoia – Bottegone per il quale si può osservare una distribuzione dei dati molto diversa rispetto a quella individuabile per gli altri siti di campionamento e per le stazioni fisse, con differenze tra il 75° e il 25° percentile molto più elevate rispetto alle altre distribuzioni (figura 4.1.2.2). Dai risultati del confronto effettuato in relazione ai soli 60 giorni di campionamento si può, però, osservare che le stesse caratteristiche della distribuzione della campagna di Pistoia – Bottegone si rilevano anche per i dati rilevati nello stesso periodo presso le stazioni fisse della zona; i valori di concentrazione rilevati presso tale sito

sono, perciò, distribuiti in maniera poco rappresentativa rispetto all'intero anno solare ma si possono ritenere attendibili in quanto coerenti con quanto rilevato dalle centraline fisse presenti nelle zone limitrofe.

In base ai risultati ottenuti si può concludere che le serie di dati ottenute dalle campagne di monitoraggio effettuate possono essere ritenute rappresentative dei livelli di qualità dell'aria della zona nella quale sono stati effettuati i monitoraggi.

---

<sup>9</sup> 5, 25, 75, 95 e 98 percentile

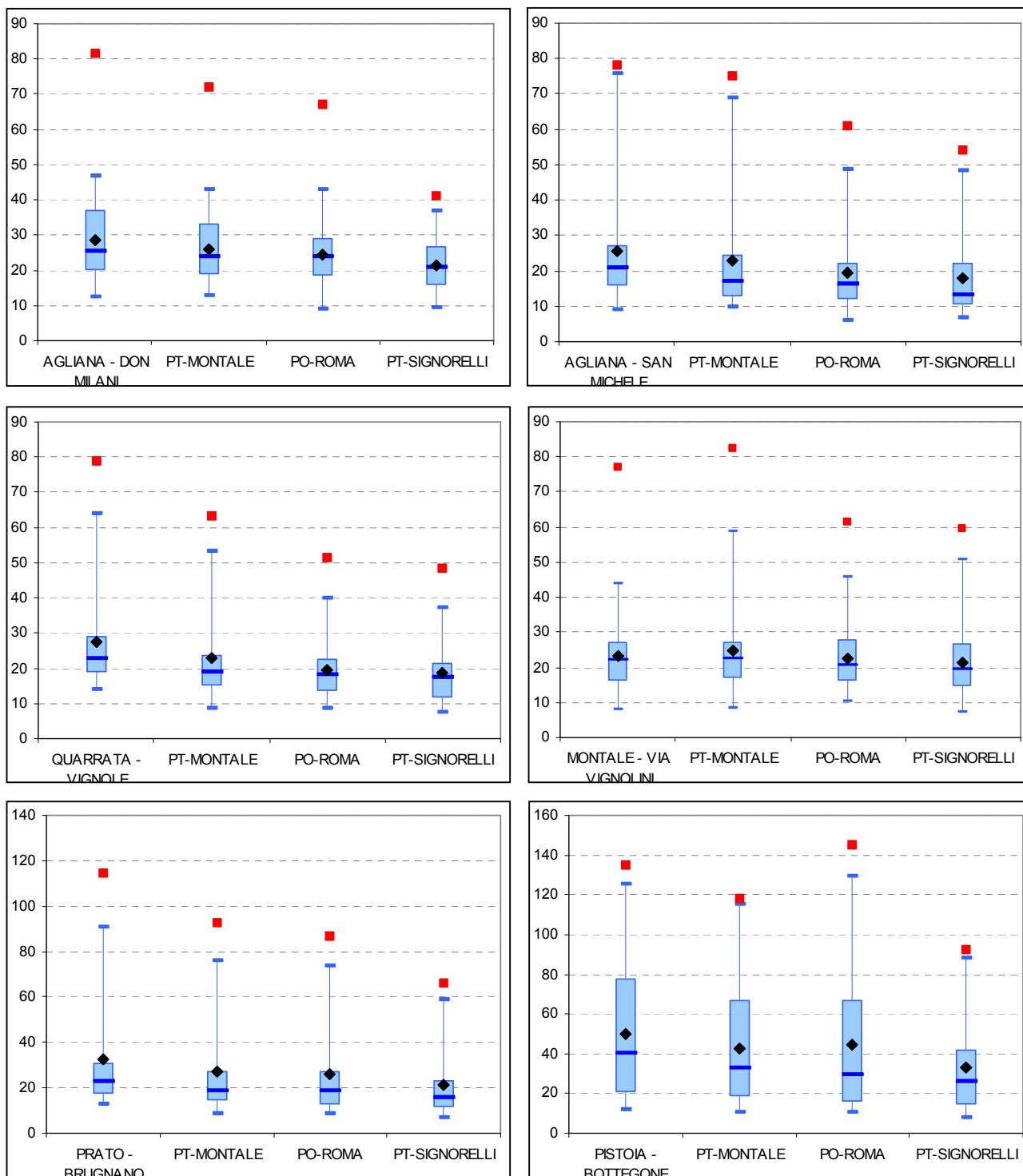


Figura 4.1.2.1. Distribuzione dei dati di concentrazione di PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) rilevati nel corso di ciascun periodo di campionamento

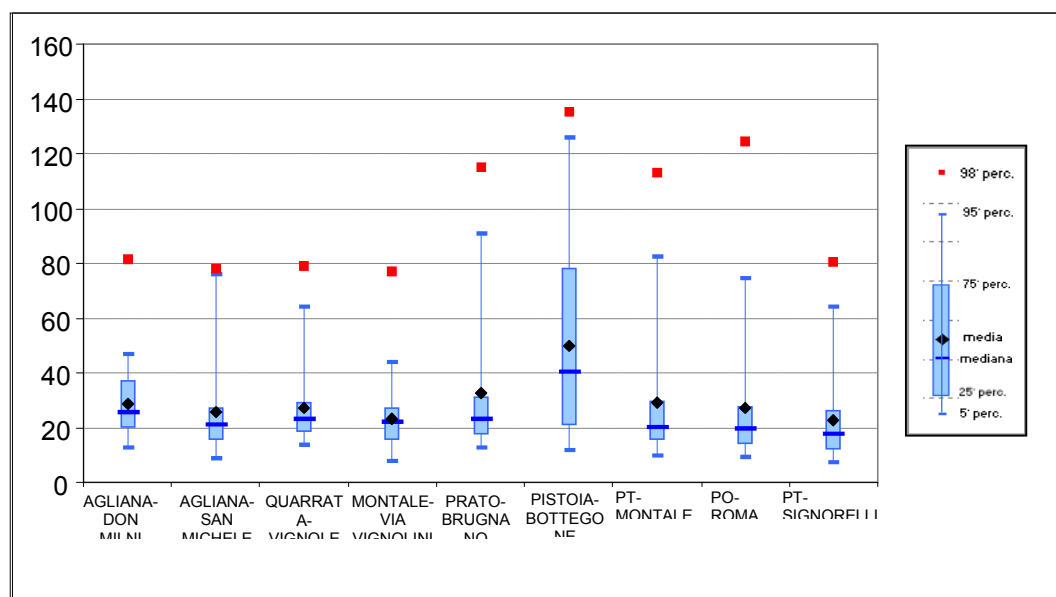


Figura 4.1.2.2. Distribuzione dei dati di concentrazione di PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) relativi alle campagne rispetto a quella dei dati rilevati presso le stazioni fisse di fondo della zona nel corso dell'anno

## 4.2 Elaborazione dei risultati delle campagne di campionamento

### 4.2.1 Analisi dei dati stagionali

Nei paragrafi successivi verranno elaborati i dati di concentrazione media giornaliera del parametro PM10 relativi a ciascuna campagna di campionamento prima separatamente secondo la tipologia del periodo di campionamento (inverno, primavera, estate, autunno)<sup>10</sup> e successivamente rispetto all'intero monitoraggio effettuato presso ciascun sito.

Allo scopo di caratterizzare in modo più completo possibile l'area presa in esame rispetto al territorio dell'intera zona Prato – Pistoia, verrà effettuato il confronto tra i dati rilevati nel corso delle 24 campagne e i dati delle centraline fisse di rete regionale di tipologia fondo presenti nella stessa zona relativamente alle diverse stagioni; in tal modo verranno confrontate, in termini di qualità dell'aria, l'area dell'indagine rispetto al bacino di cui essa fa parte.

Nell'analisi dei dati di concentrazione rilevati sia presso le centraline fisse di qualità dell'aria che nel corso delle campagne di monitoraggio si deve tenere conto della determinante influenza dei parametri meteorologici; i valori di concentrazione di PM10 rilevati nella stagione invernale, generalmente più alti di quelli rilevati nel corso delle stagioni più calde, sono, infatti, influenzati da condizioni meteorologiche che favoriscono l'accumulo di inquinanti (basse temperature, minor intensità della radiazione solare - e, quindi, ridotta demolizione fotochimica, basso strato di rimescolamento - e, quindi, scarsa circolazione verticale delle masse d'aria, etc.), mentre quelli rilevati nel periodo primaverile e estivo sono influenzati da condizioni meteorologiche tali da

<sup>10</sup> È importante sottolineare che i risultati delle elaborazioni relative distintamente ai periodi inverno, primavera, estate e autunno, trattando dati parziali non rappresentativi su base annua, non possono essere considerati separatamente rispetto ai risultati delle elaborazioni di tutte le altre stagioni e dell'intero periodo di campionamento.

favorire una più veloce distribuzione delle masse d'aria su scala regionale e caratterizzate da un maggiore irraggiamento solare che rende più efficienti i fenomeni di ossidazione atmosferica delle emissioni. Come indicato in Appendice 1.4.4.2 non è possibile effettuare alcun tipo di correlazione con dati meteorologici a causa della mancanza di una stazione meteo idonea a Montale. La stazione esistente presso la centralina di Montale è stata disattivata dal 2011.

Di seguito vengono riportate, per ciascun sito di campionamento e per tutte le stazioni di fondo della zona Prato – Pistoia, le tabelle riassuntive con i dati di media delle medie giornaliere del periodo di campionamento, media massima, media minima, percentuale di giorni validi sui 15 gg di campionamento standard previsti dalla normativa, numero di superamenti della media giornaliera di  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ <sup>11</sup> nel caso delle stazioni fisse e 90,4° percentile nel caso delle campagne di monitoraggio<sup>12</sup>; si fa presente che mentre per le campagne di campionamento tali parametri sono relativi al periodo di effettivo campionamento (15 giorni per ciascuna stagione) per le stazioni fisse sono relativi all'intera stagione (anno di riferimento 2013):

	INVERNO	PRIMAVERA	ESTATE	AUTUNNO
<b>AGLIANA - DON MILANI</b>				
Media delle medie giornaliere	41	29	25	18
Minima media giornaliera	13	15	15	6
Massima media giornaliera	82	47	31	29
Media annuale	28			
n. giorni validi	15	15	15	14
% giorni validi	100%	100%	100%	93%
n. superamenti limite media giornaliera (90,4° perc.)	0	0	0	0
n. giorni con concentrazione > $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$	2	0	0	0
<b>AGLIANA – SAN MICHELE</b>				
Media delle medie giornaliere	44	19	19	20
Minima media giornaliera	9	13	9	6
Massima media giornaliera	78	26	29	38
Media annuale	26			
n. giorni validi	15	15	15	15
% giorni validi	100%	100%	100%	100%
n. superamenti limite media giornaliera (90,4° perc.)	1	0	0	0
n. giorni con concentrazione > $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$	6	0	0	0
<b>QUARRATA - VIGNOLE</b>				
Media delle medie giornaliere	37	21	21	30
Minima media giornaliera	15	12	13	14
Massima media giornaliera	64	29	27	79
Media annuale	27			
n. giorni validi	15	15	15	15
% giorni validi	94%	94%	94%	94%
n. superamenti limite media giornaliera (90,4° perc.)	1	0	0	0
n. giorni con concentrazione > $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$	5	0	0	2

<sup>11</sup> Paragrafo 1 allegato XI D.Lgs. 155/2010 - punto B Allegato XI Direttiva 2008/50/CE

<sup>12</sup> Se le misurazioni discontinue sono utilizzate per valutare il rispetto del valore limite del PM10, occorre valutare il 90,4 percentile (che deve essere inferiore o uguale a  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) anziché il numero di superamenti, il quale è fortemente influenzato dalla copertura dei dati (All. I al DLgs 155/2010).



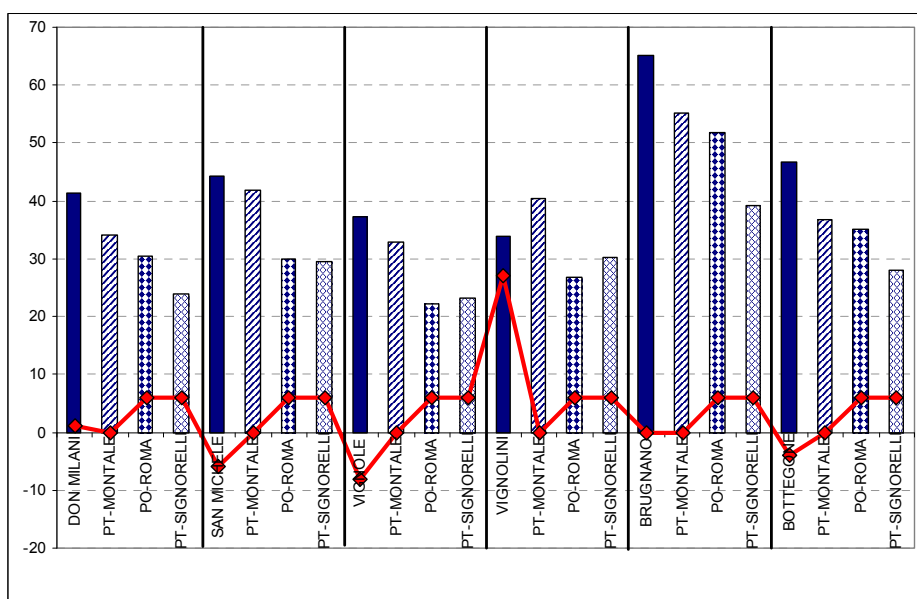
	INVERNO	PRIMAVERA	ESTATE	AUTUNNO
<b>MONTALE - VIGNOLINI</b>				
Media delle medie giornaliere	34	15	23	21
Minima media giornaliera	16	7	14	8
Massima media giornaliera	77	20	28	29
Media annuale	23			
n. giorni validi	15	15	15	15
% giorni validi	100%	100%	100%	100%
n. superamenti limite media giornaliera (90,4° perc.)	0	0	0	0
n. giorni con concentrazione > 50 µg/m <sup>3</sup>	2	0	0	0
<b>PRATO - BRUGNANO</b>				
Media delle medie giornaliere	65	23	20	24
Minima media giornaliera	25	17	10	13
Massima media giornaliera	115	32	32	74
Media annuale	33			
n. giorni validi	14	15	15	15
% giorni validi	93%	100%	100%	100%
n. superamenti limite media giornaliera (90,4° perc.)	0	0	0	1
n. giorni con concentrazione > 50 µg/m <sup>3</sup>	11	0	0	1
<b>PISTOIA - BOTTEGONE</b>				
Media delle medie giornaliere	47	33	17	103
Minima media giornaliera	11	18	8	55
Massima media giornaliera	79	50	24	135
Media annuale	50			
n. giorni validi	15	15	15	15
% giorni validi	100%	100%	100%	100%
n. superamenti limite media giornaliera (90,4° perc.)	0	0	0	1
n. giorni con concentrazione > 50 µg/m <sup>3</sup>	4	0	0	15
<b>PT-MONTALE</b>				
Media delle medie giornaliere	43	20	18	36
Minima media giornaliera	9	5	8	7
Massima media giornaliera	168	43	27	147
Media annuale	29			
n. giorni validi	87	90	89	84
% giorni validi	98%	97%	96%	93%
n. superamenti limite media giornaliera (50 mg/m3)	26	0	0	19
<b>PT-SIGNORELLI</b>				
Media delle medie giornaliere	31	18	16	27
Minima media giornaliera	9	3	5	6
Massima media giornaliera	95	41	32	123
Media annuale	23			
n. giorni validi	82	91	85	88
% giorni validi	92%	98%	91%	98%
n. superamenti limite media giornaliera (50 mg/m3)	14	0	0	14
<b>PO-ROMA</b>				
Media delle medie giornaliere	34	20	19	37
Minima media giornaliera	6	5	8	2
Massima media giornaliera	146	43	28	145
Media annuale	27			
n. giorni validi	88	91	90	84
% giorni validi	99%	98%	97%	93%
n. superamenti limite media giornaliera (50 mg/m3)	18	0	0	17

Tabella 4.2.1.1. Schede dei siti di monitoraggio e delle stazioni fisse di fondo della zona PO-PT

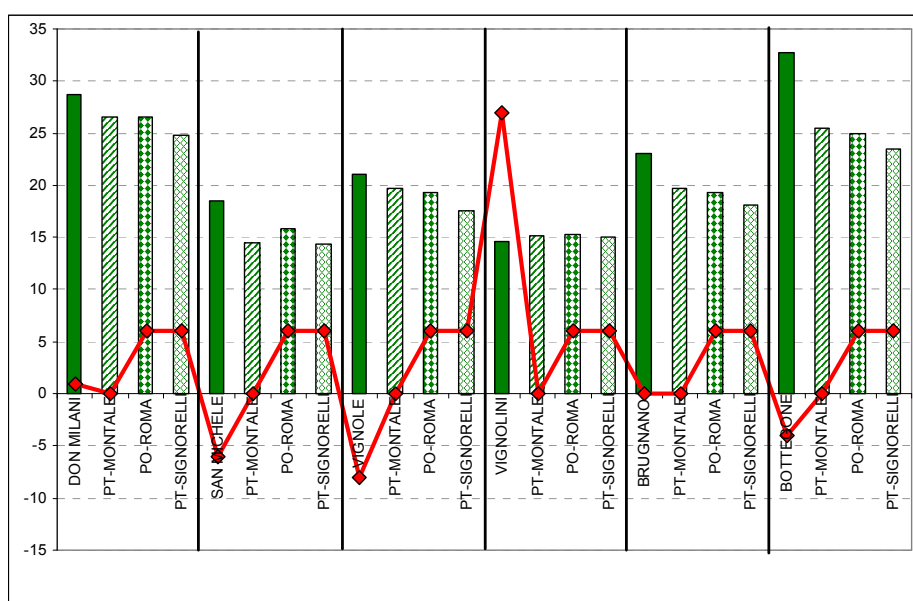
#### 4.2.1.1 Le medie di periodo

Le campagne di misura effettuate per ciascuna stagione si sono svolte in sequenza ed hanno occupato complessivamente 90 giorni di monitoraggio, 15 giorni per ogni sito di campionamento.

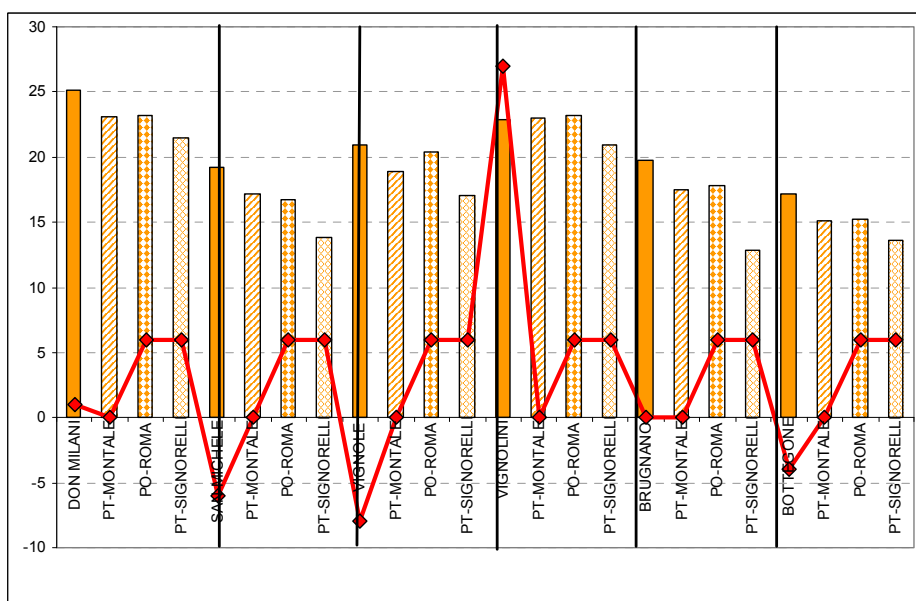
Di seguito vengono riportati i grafici con le medie di periodo rilevate presso ciascun punto di campionamento e le medie relative ai periodi di campionamento effettuati in ciascuna stagione dei dati di concentrazione di PM10 rilevati presso le centraline di fondo della zona Prato – Pistoia (PT-Signorelli, PT-Montale, PO-Roma), espresse in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Negli stessi grafici viene, inoltre, riportata la curva rappresentante le differenze di quota dei vari siti di campionamento e delle stazioni fisse di PT-Signorelli e PO-Roma rispetto alla quota della stazione di PT-Montale (curva rossa).



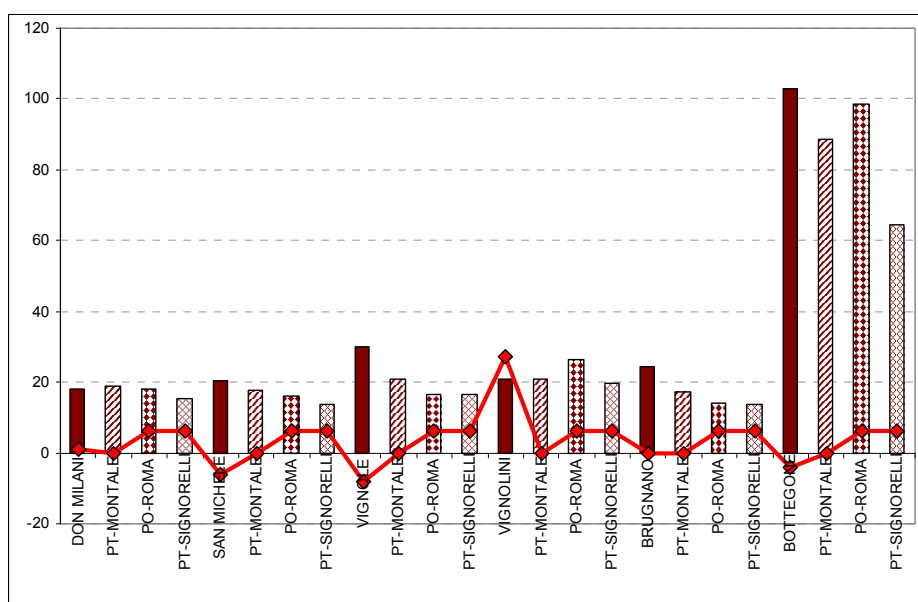
INVERNO



PRIMAVERA



### ESTATE



### AUTUNNO

Figura 4.2.1.1.1. Medie stagionali PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) dei siti di campionamento e delle stazioni fisse tipo UF, zona PO-PT e rispettiva differenza di quota(m) rispetto alla stazione di Montale (linea rossa) .

Dalla figura 4.2.1.1.1 si può osservare che, relativamente a tutte le stagioni, i siti di campionamento che si trovano alla stessa quota della stazione di PT-Montale presentano valori medi di concentrazione simili o superiori a quelli della stazione fissa di Montale, i siti e le stazioni fisse che si trovano a quota maggiore presentano valori medi di concentrazione inferiori mentre i siti di campionamento che si trovano a quote inferiori presentano valori maggiori rispetto alla media dei valori di concentrazione rilevati presso la stazione di Montale nello stesso periodo.

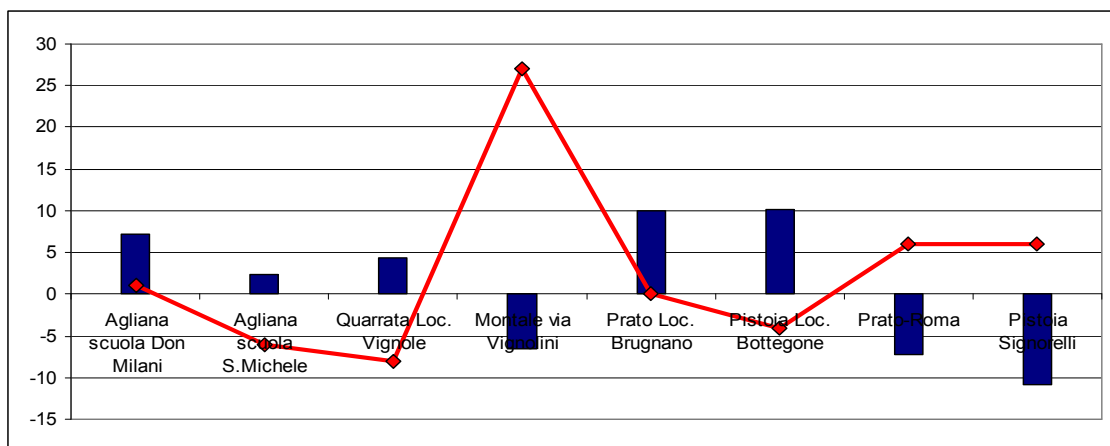
Dallo stesso grafico si può, inoltre, notare che i dati rilevati presso i siti di campionamento che presentano una quota simile o inferiore a quella di Montale sono mediamente superiori a quelli delle altre stazioni fisse mentre i dati relativi al sito di Via Vignolini, collocato ad una quota superiore rispetto a quella di PT-Montale, sono mediamente inferiori ai dati rilevati presso la stazione di Montale e più simili a quelli rilevati presso le altre due stazioni fisse.

In particolare, relativamente ai campionamenti effettuati nel periodo primaverile e autunnale, si possono osservare differenze tra i valori di concentrazioni molto meno marcate rispetto a quelle osservabili nella stagione invernale. Nel periodo estivo, tali differenze sono ancora meno evidenti; dal grafico si può, infatti, osservare che, indipendentemente alla differenza di quota tra i siti di campionamento, tutti i siti di campionamento in esame presentano in generale valori medi di concentrazione molto simili tra loro.

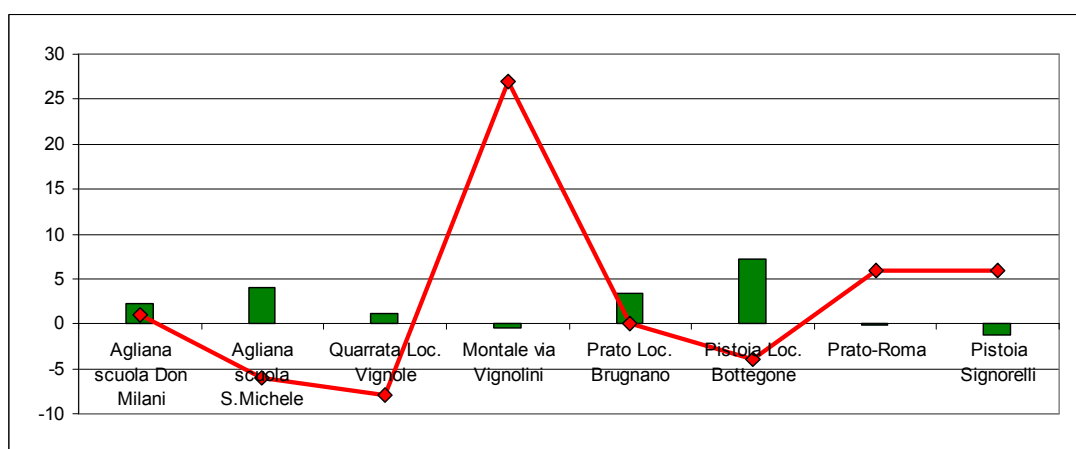
A tale proposito si fa presente, come già precedentemente detto, che nell'analisi dei dati di concentrazione rilevati si deve tenere conto della determinante influenza dei parametri meteorologici. I valori di concentrazione di PM<sub>10</sub> rilevati nelle stagioni meno fredde sono, infatti, influenzati da condizioni meteorologiche che favoriscono una più veloce distribuzione delle masse d'aria su scala regionale; è, quindi, plausibile una differenza meno marcata tra i valori medi di concentrazione rilevati presso i vari siti (fissi o mobili) di campionamento.

Come si può osservare dalla tabella 4.2.1.1 la media annuale relativa al sito di Pistoia – Bottegone presenta un valore molto maggiore rispetto alle medie calcolate sui dati rilevati presso gli altri siti di campionamento e presso le centraline fisse; il valore così elevato di tale parametro è principalmente imputabile agli elevati valori di concentrazione rilevati presso tale sito nel corso della campagna autunnale. Valori di concentrazione ugualmente elevati sono stati rilevati nello stesso periodo anche presso le centraline fisse di monitoraggio di tipo fondo della zona Prato – Pistoia (vedi figura 4.2.1.1.1 – autunno); l'anomalia della media annua del sito di Bottegone è, quindi, correlabile a eventi i cui effetti hanno inciso su ampie aree.

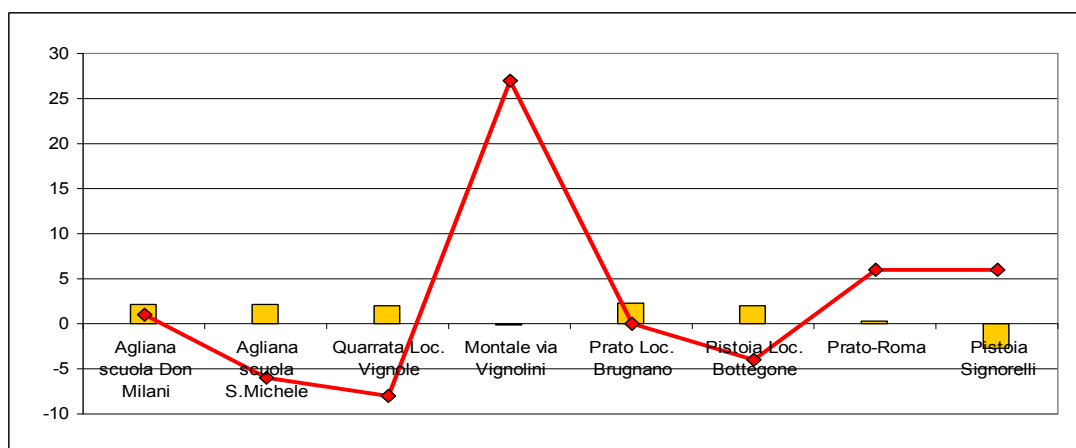
Al fine di potere meglio esaminare l'incidenza della quota di campionamento dei siti sul livello di concentrazione media rilevata viene riportato nel grafico seguente, per ciascuna campagna e per ciascuna stagione, il delta della concentrazione media rilevata nel periodo di campionamento rispetto a quella della centralina di Montale osservata nello stesso periodo (espressa in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) e il delta della quota del sito di campionamento rispetto alla stessa centralina (curva rossa).



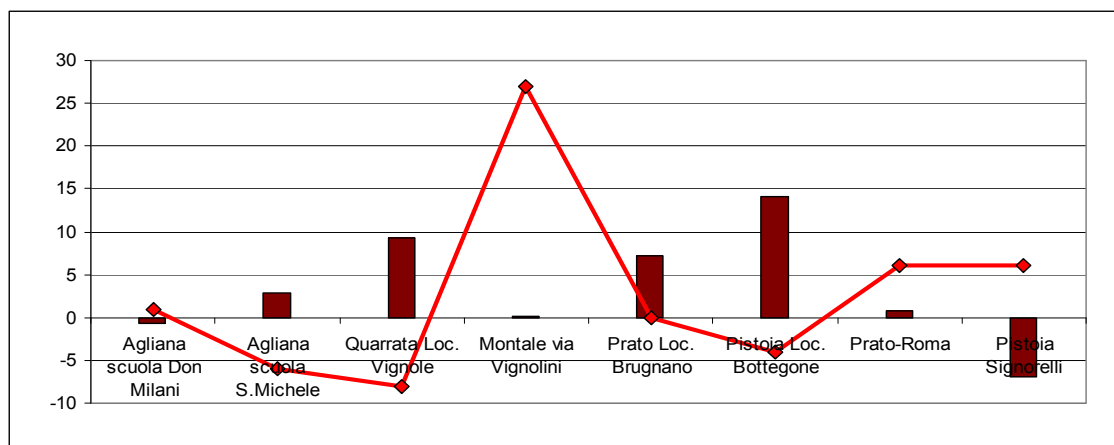
### INVERNO



### PRIMAVERA



### ESTATE



#### AUTUNNO

*Figura 4.2.1.1.2. Differenza tra le medie stagionali di PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) dei siti di campionamento e delle stazioni fisse tipo UF, zona PO-PT, e le medie della stazione di Montale; differenza tra la quota(m) tra le stazioni e la stazione di Montale (linea rossa)*

Come si può osservare, relativamente a tutte le stagioni, nel caso di località poste a quota inferiore o uguale a quella della stazione di Montale nel corso delle campagne di campionamento si sono rilevate differenze di concentrazione positive, ossia valori di concentrazione superiori a quelli riscontrati presso PT-Montale, mentre nel caso di siti posti a quote superiori si osservano delta di concentrazione negativi; i risultati ottenuti sembrano, perciò, suggerire una variabilità significativa dei valori di concentrazione di PM10 rilevati al variare della quota di monitoraggio la quale si presenta, quindi, in tale zona come ulteriore parametro di influenza sui dati di qualità dell'aria registrati insieme a quello meteorologico e di pressione emissiva.

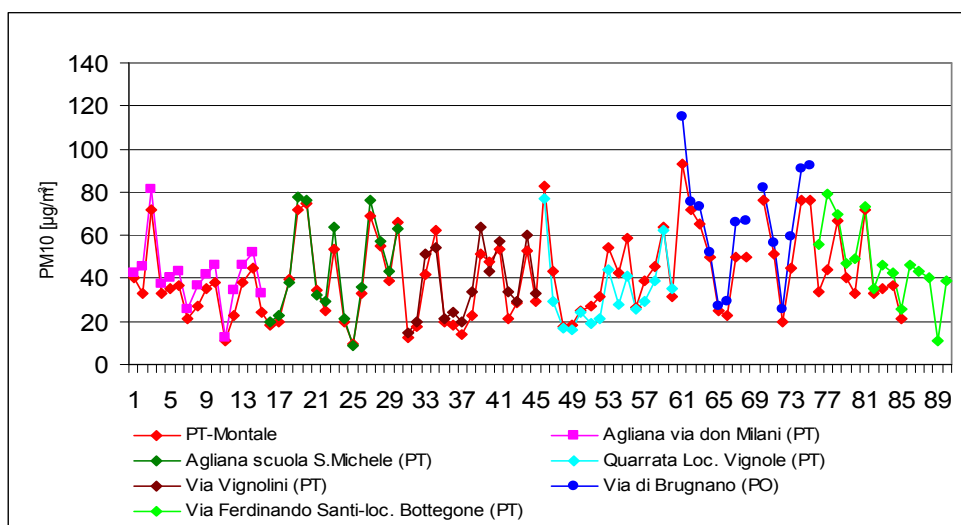
Gli stessi risultati si possono osservare, seppur in maniera più ridotta, relativamente ai campionamenti effettuati nel periodo primaverile e autunnale; per il periodo estivo, invece, le differenze tra le medie di periodo sono per lo più costanti (tutte pari ad un valore di circa  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) non variando in maniera evidente con la differenza di quota; fa eccezione il sito di Montale – Vignolini il quale presenta una differenza negativa anche nel caso del periodo estivo ma con valore estremamente ridotto. Tale risultato mette in evidenza l'influenza delle condizioni meteorologiche sui dati di qualità dell'aria; le condizioni meteo caratteristiche, in particolare nel periodo estivo, sono, infatti, tali da generare spostamenti di ingenti masse d'aria che rendono maggiormente uniformi le concentrazioni degli inquinanti in aria ambiente soprattutto nel caso di zone tra loro vicine e caratterizzate da condizioni orografiche simili.

#### 4.2.1.2 L'andamento dei valori di concentrazione

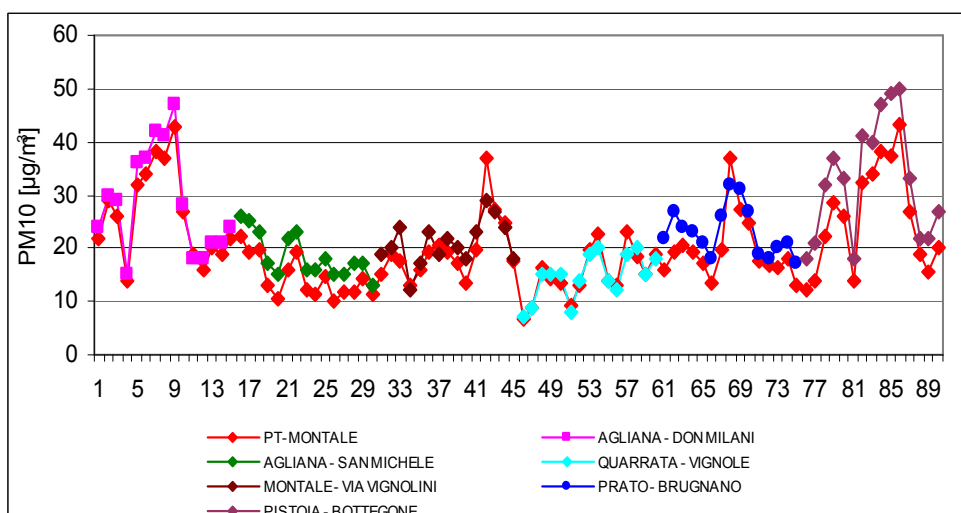
Al fine di verificare quanto emerso dalle precedenti analisi sono state effettuate ulteriori elaborazioni dei dati di concentrazione rilevati nel corso delle campagne di monitoraggio; nei grafici sottostanti sono riportati i valori di concentrazione media giornaliera di PM10 rilevati presso la

stazione di PT-Montale relativi ad ognuno dei giorni di campionamento (in rosso) ed i valori rilevati nel corso delle 6 campagne, per ciascuna stagione.

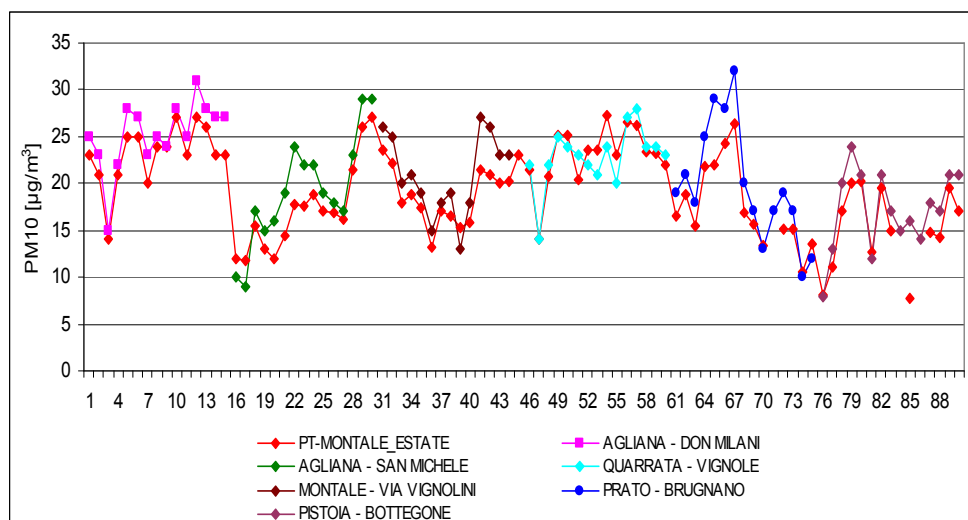
A livello del tutto generale si può notare una concordanza negli andamenti accompagnata, per alcuni siti, da un corrispondente accordo dei dati. In particolare si possono osservare scostamenti negativi in relazione alla sola campagna effettuata nel comune di Montale (in ciano). Gli scostamenti percentuali massimi (positivi o negativi) dato/dato variano al variare del periodo di campionamento e sono massimi per il periodo invernale. Per la stagione estiva, in particolare, gli scostamenti possono dirsi trascurabili per tutte le campagne di campionamento effettuate.



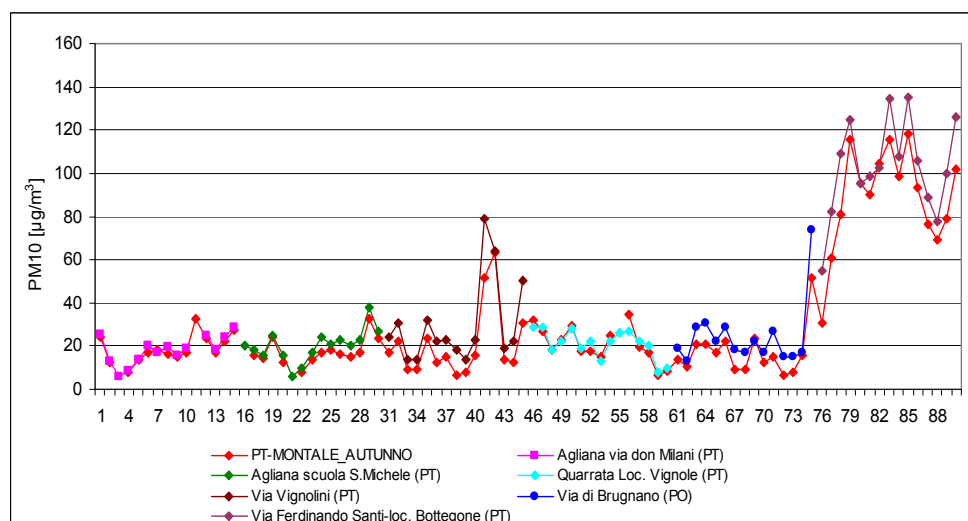
### INVERNO



### PRIMAVERA



### ESTATE



### AUTUNNO

*Figura 4.2.1.2.1. Valori di concentrazione rilevati nel corso delle campagne invernali presso i siti di campionamento e presso la stazione di PT-Montale*

#### 4.2.1.3 La distribuzione dei livelli di concentrazione

Per avere un'idea dell'entità dello scostamento, si può considerare come riferimento che la normativa ammette un'incertezza nelle misurazioni in continuo come obiettivo per la qualità dei dati per il PM10 pari al 25%<sup>13</sup>; nel caso, quindi, di differenze tra i dati rilevati nel corso delle campagne rispetto a quelli rilevati nello stesso periodo presso la centralina di PT-Montale inferiori o uguali a tale valore si può ragionevolmente ipotizzare che i valori di concentrazione siano tra loro paragonabili. Di seguito si riporta la tabella con la percentuale dei dati rilevati nel corso delle

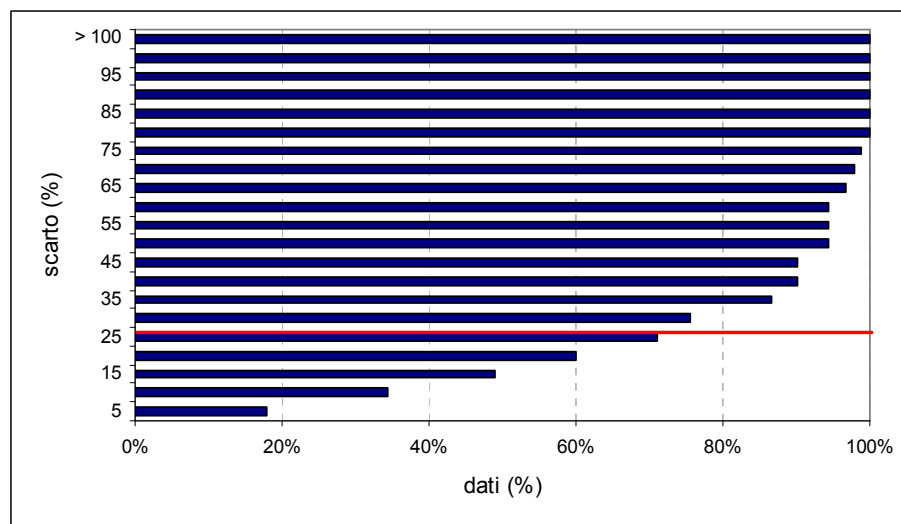
<sup>13</sup> Digs 155/2010, All I " **Obiettivi di qualità dei dati**"



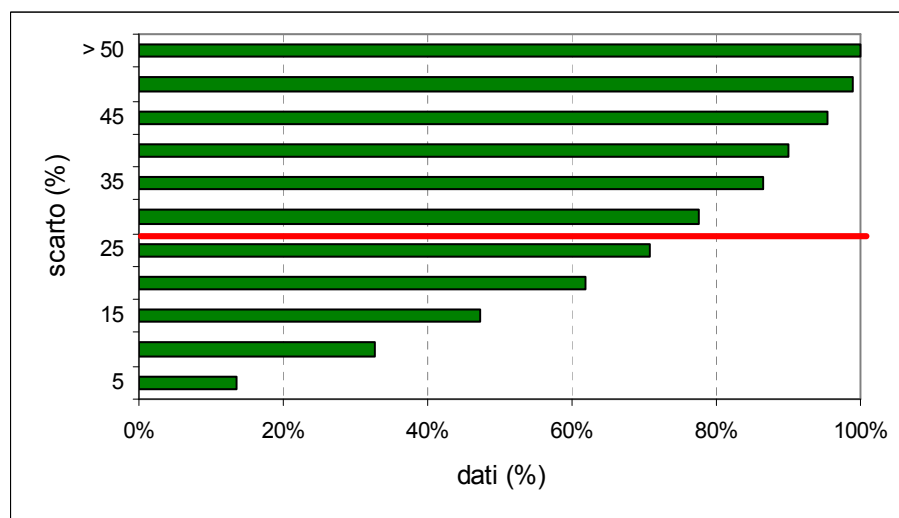
campagne che presentano uno scarto percentuale inferiore al 15% e al 25% rispetto ai valori rilevati nello stesso periodo presso la stazione di PT-Montale:

STAGIONE	DATI CON SCARTO PERCENTUALE < 15% (%)	DATI CON SCARTO PERCENTUALE < 25% (%)
INVERNO	40%	70%
PRIMAVERA	50%	70%
ESTATE	70%	90%
AUTUNNO	30%	60%

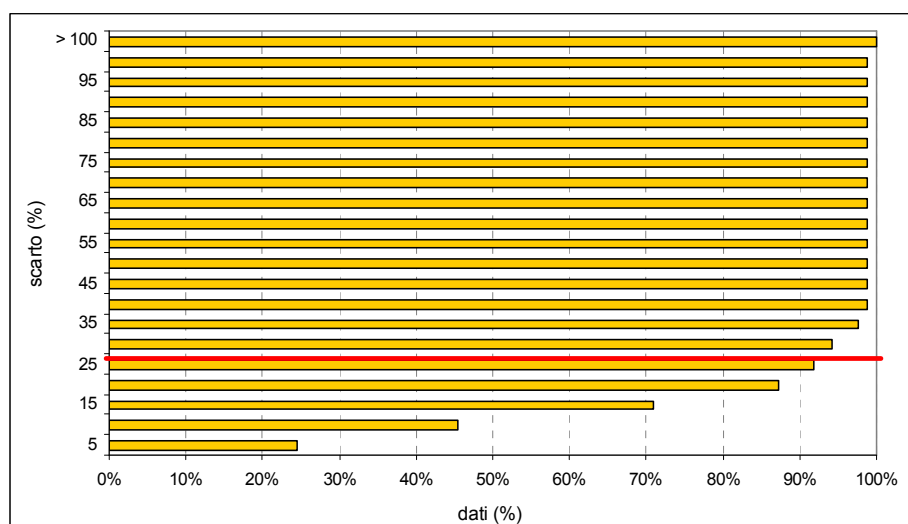
*Tabella 4.2.1.3.1. Dati con scarto percentuale < 15% e < 25% rispetto a PT-Montale*



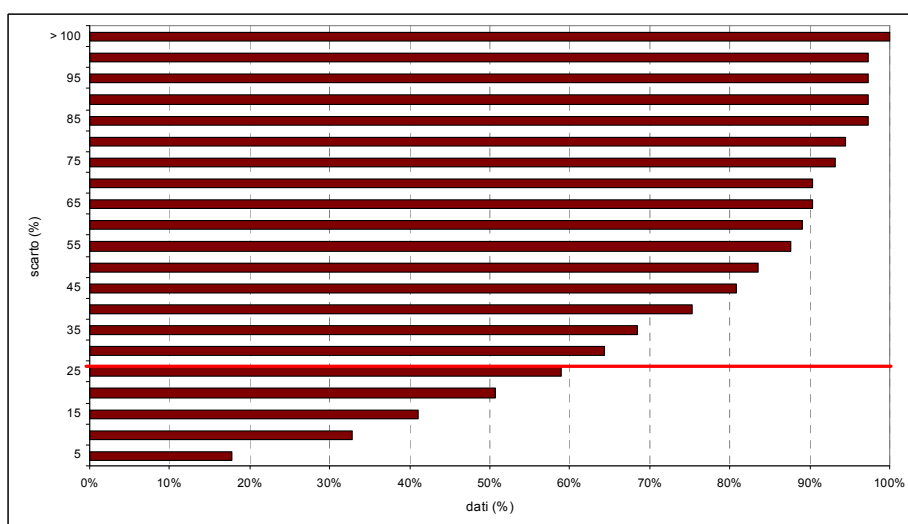
INVERNO



PRIMAVERA



### ESTATE



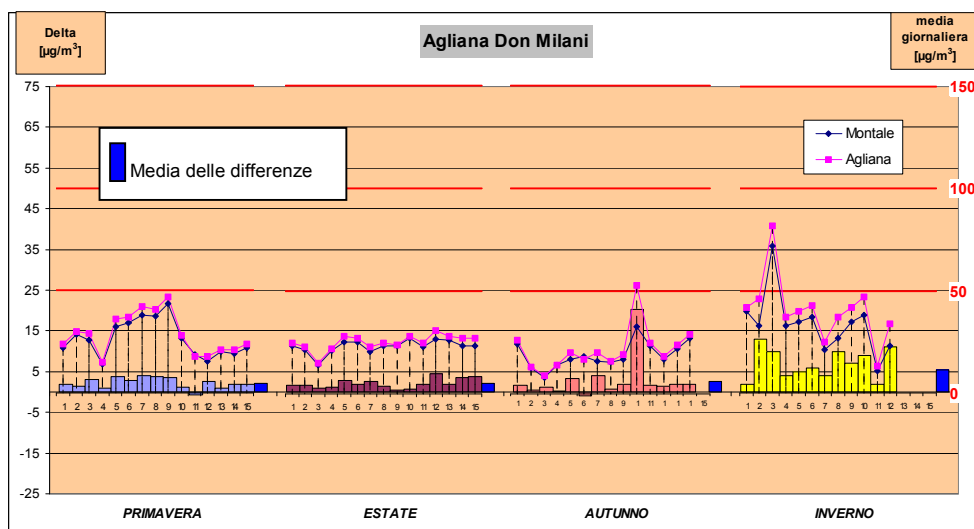
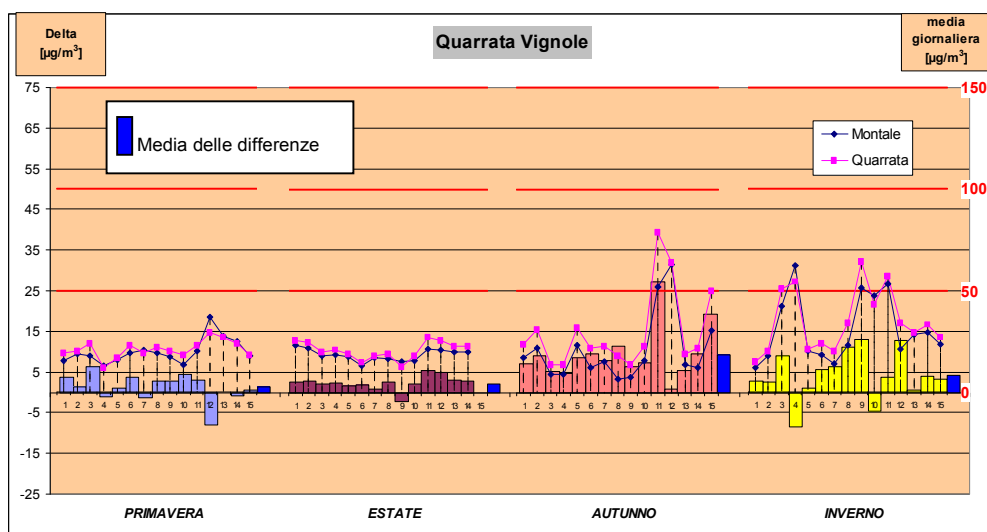
### AUTUNNO

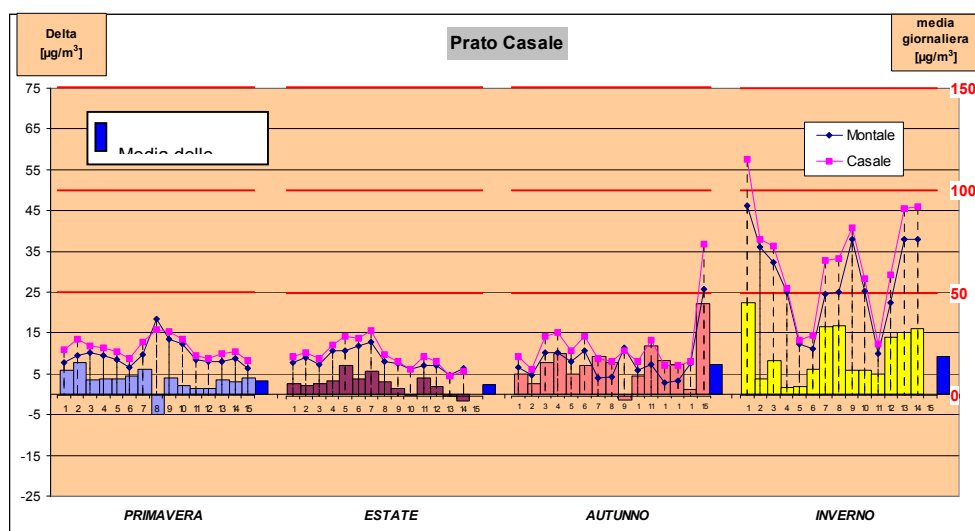
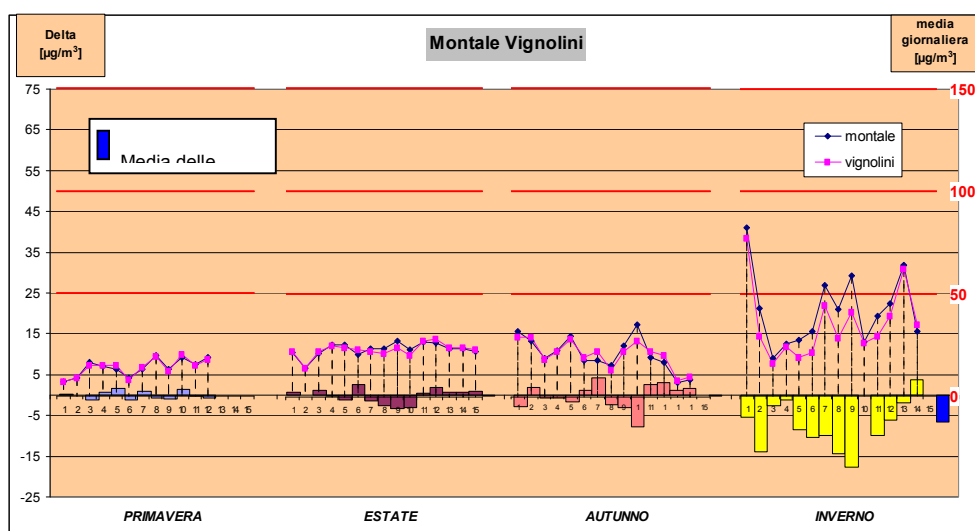
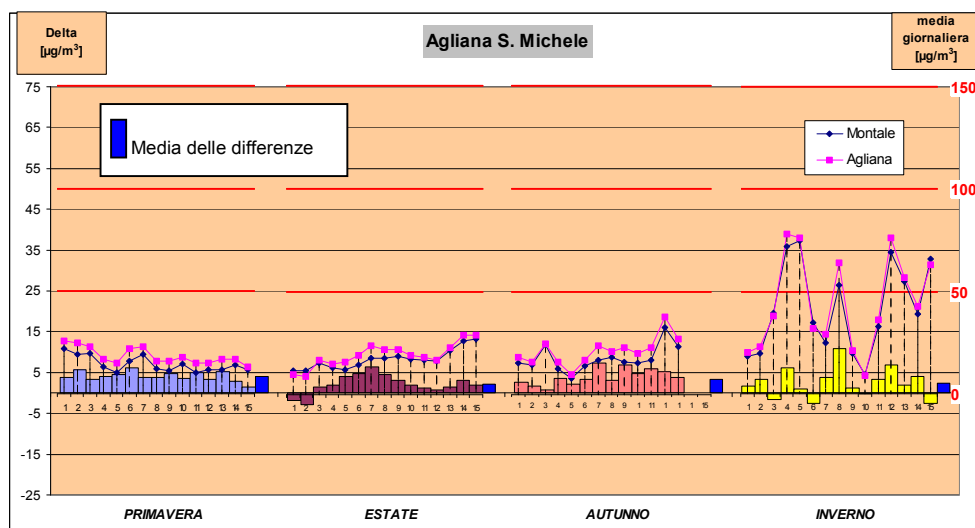
*Figura 4.2.1.3.1. Scarto percentuale dati campagne rispetto a PT-Montale*

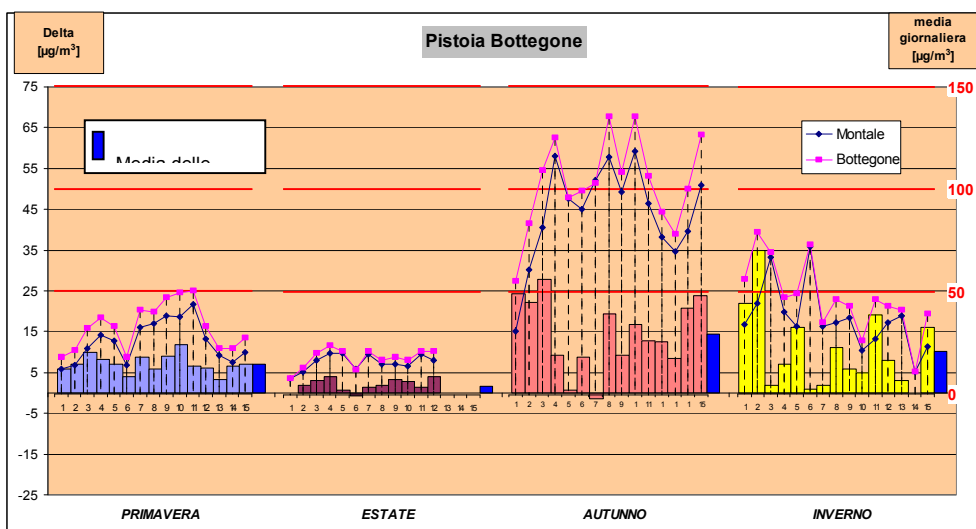
Dalla figura 4.2.1.3.1 si può osservare una distribuzione di scarti percentuali molto simile per il periodo autunnale e invernale e una distribuzione relativa al periodo estivo molto simile a quella rilevata per il periodo primaverile, con percentuali di dati che presentano scarti inferiori al 25% molto maggiori nelle stagioni calde. Tale risultato sembrerebbe confermare il ruolo fondamentale della meteorologia sui livelli di qualità dell'aria della zona di osservazione; nella stagione più calda, infatti, un maggiore rimescolamento delle masse d'aria porta ad avere valori simili in siti di campionamento diversi mentre nei periodi più freddi si possono osservare valori piuttosto diversi anche in località tra loro prossime.

#### 4.2.2. Rappresentazione grafica della distribuzione dei livelli di concentrazione

Nei grafici di seguito riportati sono riepilogati i dati delle diverse campagne (primavera, autunno, inverno ed estate) effettuate nei 6 siti di campionamento. Per ciascuno dei 15 giorni di ogni singola campagna sono evidenziati su doppia scala la media giornaliera misurata nel sito e dalla stazione di Montale e, in istogramma, la differenza tra i due valori. In coda ai 15 giorni di misura è riportato in blu il valore della media delle differenze riscontrate per ciascuna campagna.







*Figura 4.2.2.1 - Andamento delle differenze di concentrazione di PM10 osservate rispetto alla stazione di Montale nel periodo delle campagne*

Risulta piuttosto evidente che, per tutte le campagne effettuate, le maggiori differenze rispetto ai valori della stazione fissa si riscontrano in corrispondenza dei valori più elevati ed in particolare all'insorgere dei picchi di concentrazione. È altrettanto evidente che le differenze medie sono più marcate nelle stagioni autunnale ed invernale, sempre in ragione delle concentrazioni più elevate, e ciò avviene per ciascun sito.

La differenza media per ciascuna campagna è un dato che può essere utilizzato per confrontare i risultati ottenuti nei vari siti di campionamento affiancando campagne che si sono svolte in periodi diversi per le quali la stazione fissa di Montale funge da riferimento.

In questo modo diventa quindi possibile rappresentare i risultati sulla mappa della zona Prato Pistoia che risulta così fittamente coperta dai monitoraggi effettuati.



*Figura 4.2.2.2 - Differenze osservate rispetto alla stazione di Montale nel periodo delle campagne*

I siti fissi di Montale, Pistoia Signorelli e Prato Roma sono contrassegnati con un simbolo rosso, mentre i siti di campionamento sono contrassegnati in blu. In istogramma sono riportati i valori delle differenze medie per le stazioni e per le campagne, in rosa gli scarti positivi, in verde quelli negativi.

Come è possibile notare, le differenze positive aumentano scendendo verso la linea del baricentro, per tornare leggermente a diminuire nel sito di Quarrata. Il sito di Montale via Vignolini, insieme alle stazioni di Prato e Pistoia, segna invece una fascia di livello più basso che circonda la piana sul lato nord.

Questa descrizione può essere resa più efficace utilizzando gli strumenti di interpolazione di Arcview. In questo caso specifico la tecnica di interpolazione può essere considerata un buon mezzo per la rappresentazione dei livelli di PM10 sull'area, essendo i punti di campionamento piuttosto vicini, numerosi e situati in una zona considerata omogenea.

Il PM10 è stato dunque rappresentato come differenze media rispetto a Montale, che quindi è lo zero della nostra curva. La tecnica utilizzata è il kriging ordinario. Poiché è necessario un minimo 10 punti, è stato necessario aggiungere i dati delle stazioni di fondo dell'agglomerato di Firenze, anch'essi in termini di differenza media rispetto ai dati di Montale nel periodo osservato.

#### IL KRIGING

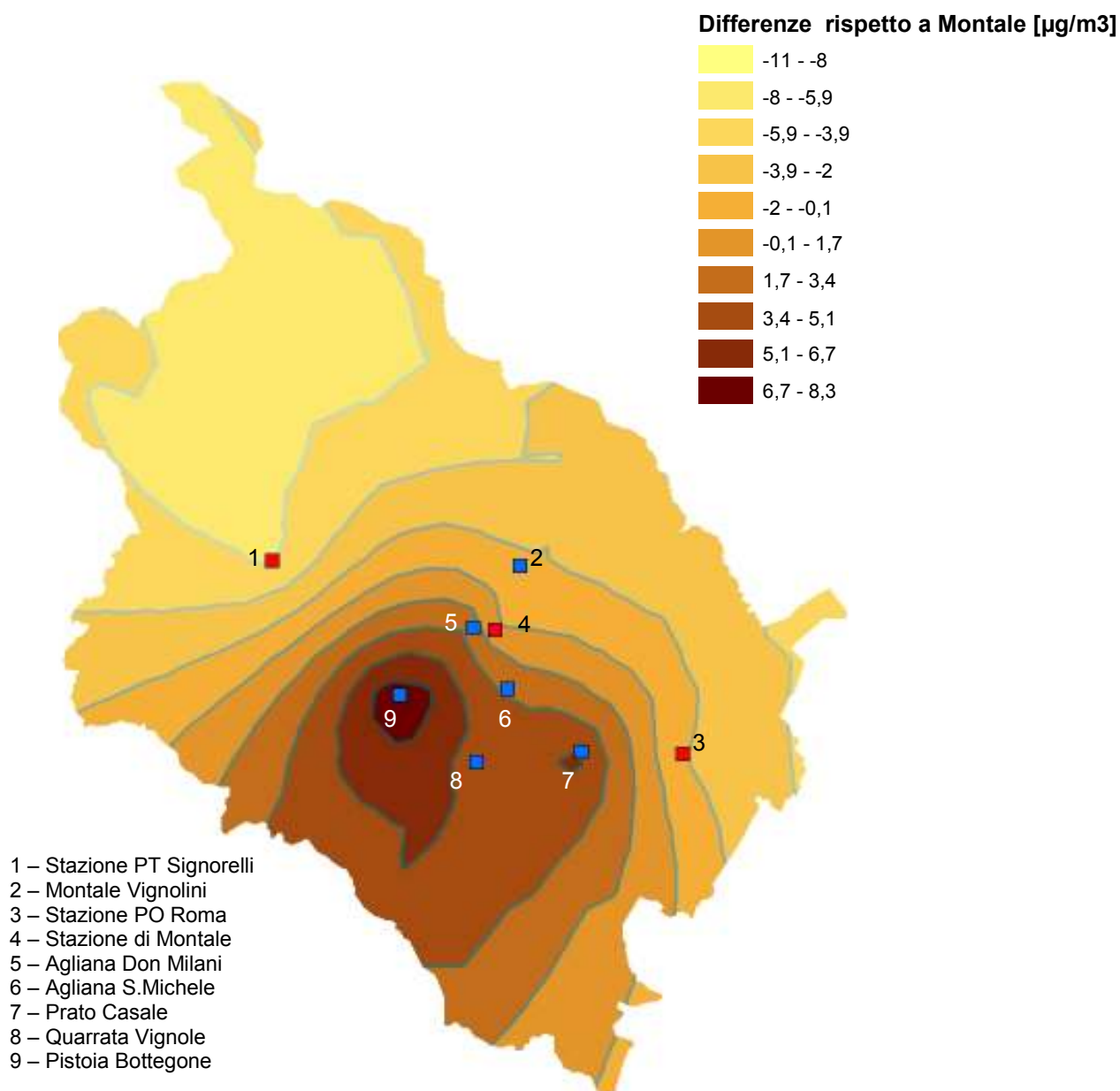
*Tradizionalmente per mappare la qualità dell'aria possono essere identificati in generale due approcci: l'interpolazione spaziale e i modelli di dispersione. Il primo approccio utilizza metodi statistici, o altri metodi, per modellizzare la superficie della distribuzione di un inquinante, basandosi su misure in siti di monitoraggio. Con lo sviluppo del GIS e delle tecniche geostatistiche si è resa disponibile un'ampia gamma di metodi di interpolazione spaziale.*

*Burrough (1986) suddivide questi metodi in metodi globali (esempio analisi di superfici di trend) che fittano un'intera superficie sulla base dell'intero set di dati, e i metodi locali (es. interpolazione spline, kriging ecc) in cui vengono effettuate una serie di stime basate sui dati dei siti più vicini.*

*Estratto da: DAVID J. BRIGGS, SUSAN COLLINS, PAUL ELLIOTT, PAUL RFISCHER, SIMON KINGHAM, ERIK LEBRET, KAREL PRYL, HANS VAN REEUWIJK, KRISTY SMALLBONE & ANDRE VAN DER VEEN (1997): Mapping urban air pollution using GIS: a regression-based approach, International Journal of Geographical Information Science, 11:7, 699-718*

Interpolando le differenze si ottiene il seguente risultato, che riproduce su tutta l'area quanto già sommariamente descritto nella figura precedente; L'elaborazione dei dati di concentrazione così effettuata permette di rappresentare graficamente in maniera maggiormente intuitiva quanto già emerso dalle analisi precedenti.

E' importante sottolineare che la veridicità della rappresentazione può essere considerata tale solo all'interno della zona Prato – Pistoia e non all'esterno dei suoi confini geografici.



*Figura 4.2.2.3 – Mappa delle differenze medie di concentrazione di PM10 per il periodo complessivo delle campagne effettuate*

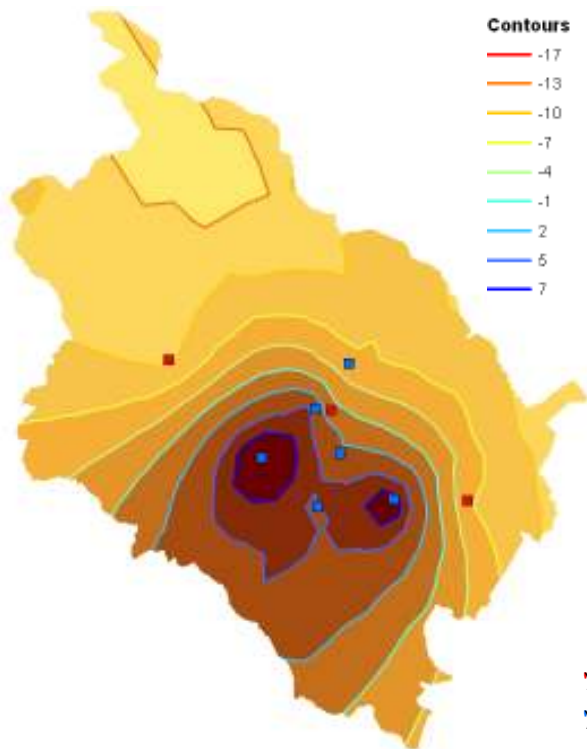
Data la variabilità riscontrata è interessante osservare la differenza media di ciascuna stagione. Di seguito sono riportate le mappe ottenute per kriging ordinario delle differenze medie di concentrazione di PM10 tra i siti di campionamento e la stazione di Montale per le campagne invernali, primaverili, estive e autunnali. Le classi di delta sono state ottenute attraverso il metodo automatico per intervalli geometrici per la mappa relativa all'inverno e analogamente riportate, per una maggiore confrontabilità, nelle altre stagioni. I contorni invece sono ricalcolati attraverso il metodo degli intervalli geometrici per ciascuna stagione in modo da aggiungere dettaglio nei casi in cui (primavera ed estate) le differenze riscontrate siano minori.



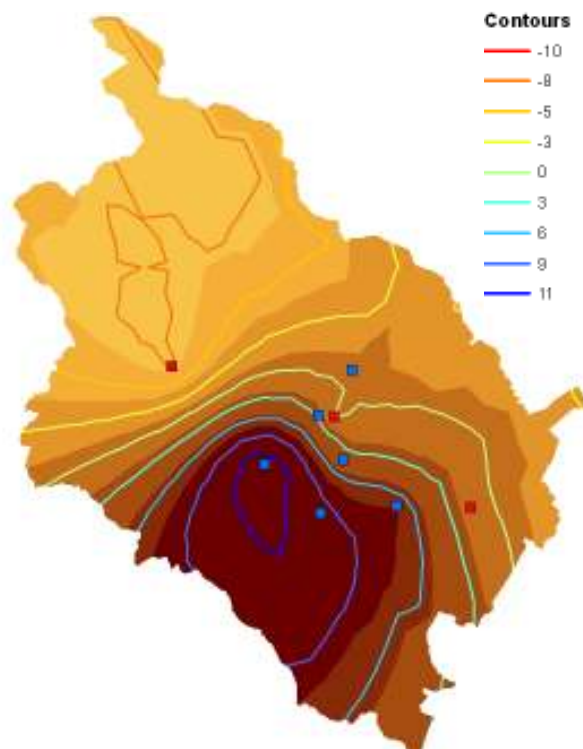
La mappa relativa alla stagione invernale mostra una distribuzione simile a quella del totale annuo. In particolare risultano abbastanza accentuate le differenze negative che individuano la fascia di concentrazioni più basse (tra  $-7$  e  $-13$  rispetto a Montale stazione) nell'area tra Pistoia Signorelli, Prato Roma ed il sito della campagna di Montale Vignolini. Valori abbastanza allineati, anche se di poco superiori, riguardano in maniera estesa l'area a sud-ovest della stazione mentre le maggiori differenze positive sono localizzate nei siti di Prato Casale e Pistoia Bottegone che risultano quindi rappresentare le concentrazioni massime della zona. La concentrazione media nel periodo invernale (comprendendo il mese di gennaio 2014 in cui sono state completate le campagne invernali) registrata dalla stazione di Montale è stata di 43.

Passando alla mappa delle campagne primaverili la situazione cambia radicalmente con una distribuzione abbastanza uniforme delle concentrazioni in tutta la zona con un'ampia area che si colloca su differenze da Montale tra  $-1$  e  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e la zona a sud-ovest della stazione ad un livello leggermente superiore (tra  $2$  e  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) con il massimo su Pistoia Bottegone sottostimato dalla curva. La media del periodo registrata dalla stazione di Montale è pari a 20. Nel periodo estivo si perde completamente ogni differenziazione ed i valori sono stimati uniformi collocandosi per tutta la zona tra  $-1$  e  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  rispetto a Montale. La concentrazione media del periodo estivo registrata nella stazione di Montale è stata di 18. Infine le differenze registrate durante le campagne autunnali producono una curva con valori stimati nuovamente differenziati all'interno della zona. Mentre le differenze negative sono più contenute rispetto alla stagione invernale, quelle positive sono meno localizzate e coprono tutta l'area a sud-ovest della stazione. La massima differenza positiva è nuovamente stimata in corrispondenza del sito di Pistoia Bottegone. La concentrazione di PM10 media stagionale registrata nella stazione di Montale è di 36.

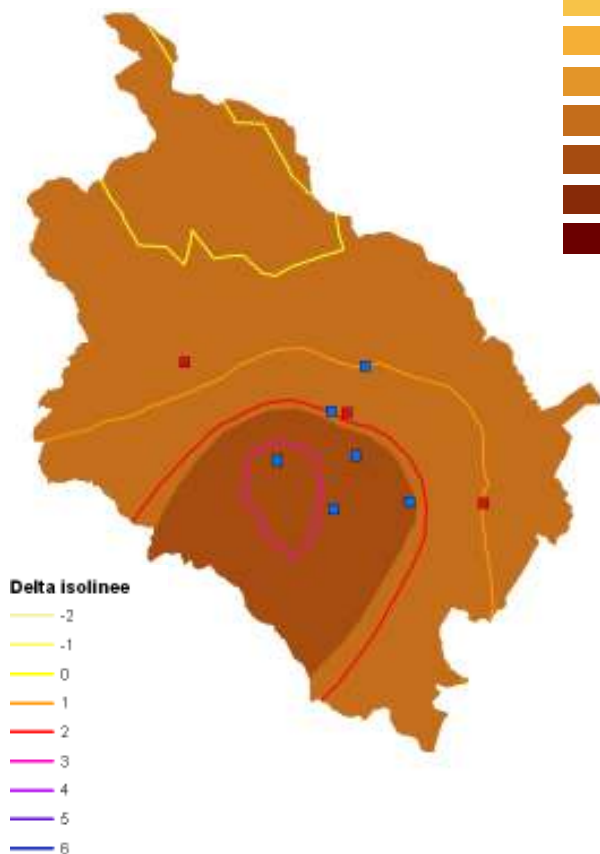
Campagne invernali



Campagne autunnali



Campagne primaverili



Campagne estive

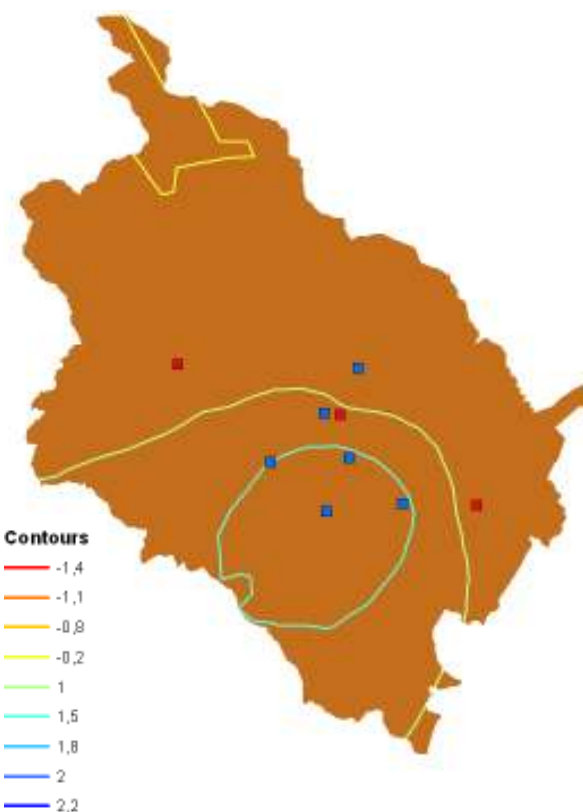
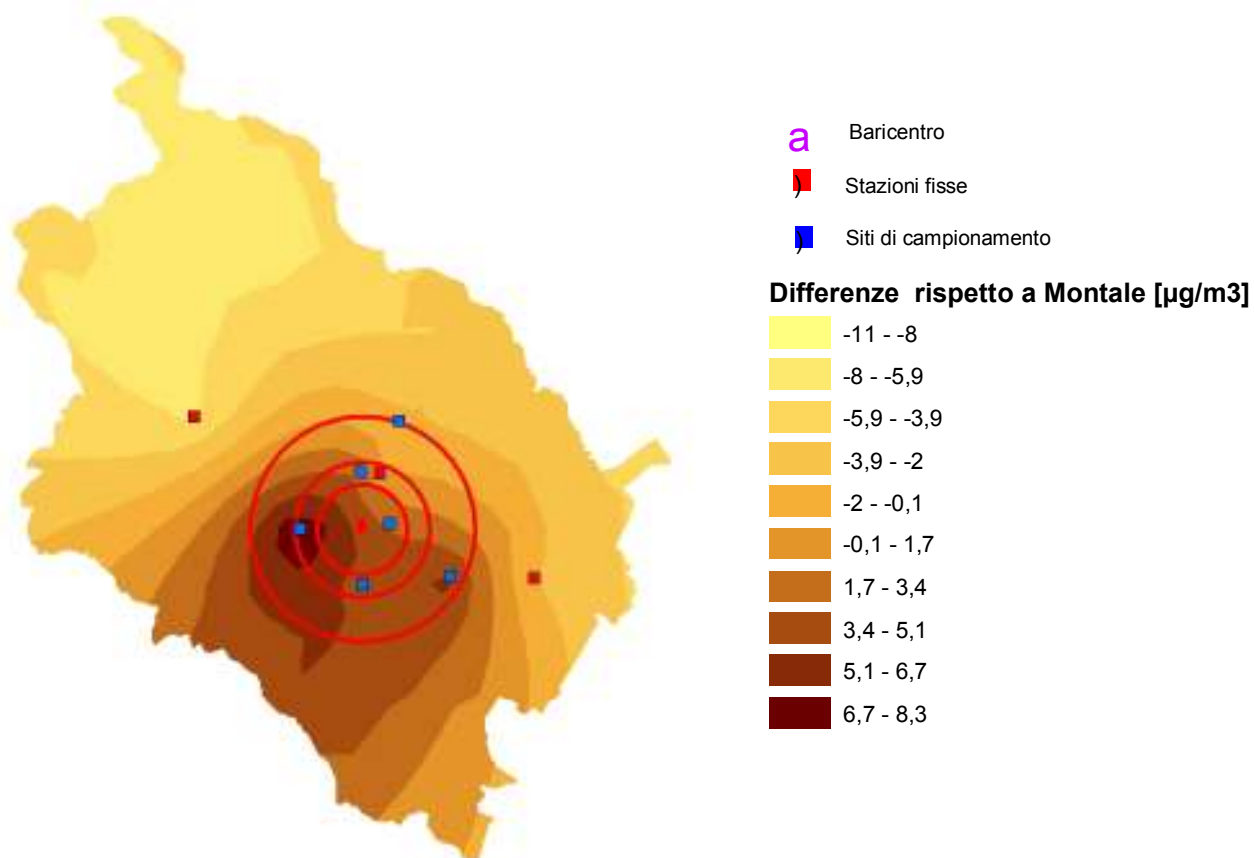


Figura 4.2.2.4 – Mappa delle differenze rispetto alla concentrazione di Montale – distribuzione stagionale

Di seguito è riportata la mappa ottenuta dal kriging delle differenze medie sull'anno insieme alla localizzazione del baricentro della piana e delle aree concentriche utilizzate per la valutazione dell'indice  $\beta$  e per l'individuazione dei siti di campionamento.



*Figura 4.2.2.5 –Mappa delle differenze medie sull'anno rispetto alla concentrazione di Montale*

Dalle elaborazioni cartografiche effettuate si stima che i livelli misurati dalla stazione di Montale siano indicativi per tutta l'area della piana tra Prato e Pistoia all'interno della quale sono stati registrati valori anche più elevati. Il sito con le maggiori differenze positive è risultato essere Pistoia Bottegone. Ci si potrebbe ragionevolmente attendere che i livelli scendano verso il confine inferiore (sud-ovest) come su quello superiore in corrispondenza dei rilievi che delimitano la conca intermontana. Questa situazione è abbastanza ben rappresentata nella parte superiore della zona dove il sito di monitoraggio di Montale Vignolini si differenzia negativamente rispetto ai valori della stazione, in maniera più netta nella stagione invernale. A sud-ovest, pur individuando con il sito di Quarrata una inversione di tendenza rispetto all'aumento in concentrazione rilevato andando dalla stazione di Montale verso Pistoia Bottegone e Prato Casale, che segnano le maggiori differenze positive, la curva non chiude con la diminuzione attesa. Va a questo proposito sottolineato che dal sito di Quarrata fino al confine della zona non ci sono dati misurati e la curva è estrapolata. Occorre pertanto tener presente che l'area al centro della piana con livelli paragonabili e addirittura

superiori a quelli registrati nella stazione di Montale potrebbe essere nei fatti più contenuta attorno al baricentro rispetto a quella rappresentata sulla mappa.

#### 4.2.3 Analisi statistiche dei dati stagionali dell'intero periodo di campionamento

Analizzando i dati rilevati sia presso le stazioni fisse di monitoraggio che presso i siti di campionamento si rileva un forte andamento stagionale dei valori di concentrazione del PM10. Nel grafico successivo sono riportate le medie relative al periodo di campionamento per ciascun sito e per ciascuna campagna (invernale, primaverile, estiva, autunnale) e le relative medie rilevate per lo stesso periodo presso le stazioni fisse di tipo fondo di PO-Roma, PT-Signorelli e PT-Montale insieme alle medie relative a tutti i periodi di campionamento effettuati nel corso di tutte le campagne (invernali, primaverili, estive, autunnali). Come si può osservare, i dati di concentrazione rilevati nel corso delle campagne invernali e autunnali sono mediamente superiori rispetto a quelli rilevati nel corso delle campagne primaverili e estive, sia nel caso delle campagne con strumentazione mobile che nel caso delle stazioni fisse di monitoraggio.

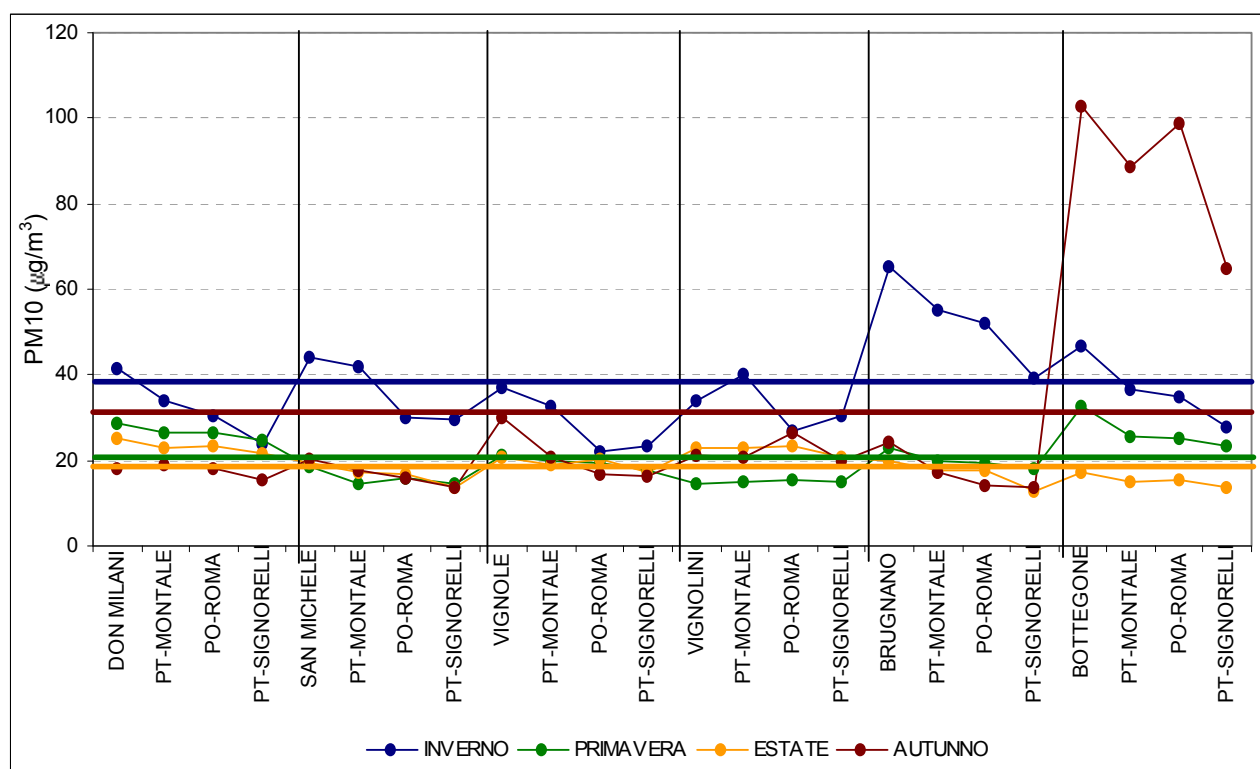


Figura 4.2.3.1. Medie per campagna e per periodo di campionamento – stazioni fisse e siti di campionamento

Questi risultati confermano quanto già rilevato nello studio condotto all'interno del progetto P.A.Tos. il quale associava a tutte le stazioni di monitoraggio dell'entroterra un comportamento fortemente correlato alla stagione (vedi Appendice- paragrafo 1.2.1.1). In base ai risultati dello studio sulla correlazione tra dati di concentrazione di PM10 e parametri meteorologici condotto all'interno di P.A.Tos. sembra plausibile ipotizzare una marcata influenza delle condizioni

meteorologiche alla scala sinottica<sup>14</sup> (ossia regionale e sovraregionale) sui valori di concentrazione giornaliera di PM10 per la gran parte delle stazioni dell'entroterra tra cui anche le stazioni presenti nella zona Prato – Pistoia (fatta eccezione per la stazione di PT-Signorelli che risultava ancora non attiva nel periodo analizzato, anni 2000-2004). Dallo stesso studio emerge che quantitativamente i valori di concentrazione hanno una marcata dipendenza spaziale, risultato dal quale si suppone che le condizioni sinottiche determinino a scala regionale le condizioni favorevoli o meno all'accumulo degli inquinanti; in ciascuna area, i valori di concentrazione più o meno alti dipendono anche dalle caratteristiche delle sorgenti emissive locali.

Al fine di approfondire il più possibile l'analisi dei dati dei campionamenti effettuati e, in particolare, la relazione tra i valori riscontrati nel corso delle campagne e quelli rilevati presso le stazioni fisse di monitoraggio di tipo fondo presenti nella zona Prato – Pistoia, sono state eseguite ulteriori verifiche.

Si è proceduto, innanzitutto, all'analisi delle differenze tra i valori di concentrazione riscontrati nello stesso periodo tra i siti di campionamento mobili e le stazioni fisse; tale valutazione è stata effettuata tramite la determinazione della deviazione standard e del coefficiente di variazione delle differenze assolute osservabili tra i dati di concentrazione rilevati lo stesso giorno presso ciascun sito di campionamento e presso le stazioni fisse. I risultati ottenuti fanno emergere una buona corrispondenza tra i dati dei siti di campionamento posti a quota uguale o inferiore a quella della stazione di Montale e i dati rilevati presso la stessa stazione, mentre si può osservare una corrispondenza minore con i dati rilevati dalle stazioni di PO-Roma e PT-Signorelli.

La deviazione standard (o scarto tipo) - che è un indice di dispersione delle misure sperimentali - è stata utilizzata per esprimere la dispersione dei dati intorno ad un indice di posizione (in questo caso il dato medio giornaliero rilevato presso le centraline fisse di PT-Montale, PT-Signorelli e PO-Roma).

Se, quindi, il valore della media delle differenze dei dati rilevati  $\Delta$  è inferiore a quello della deviazione standard, si ha una maggiore variabilità (dispersione intorno a un valore centrale come la media) rispetto a una situazione in cui la media è superiore alla deviazione standard. Per misurare questa maggiore variabilità si può usare il coefficiente di variazione<sup>15</sup>; la dispersione dei dati è tanto minore quanto più i valori ottenuti per tale coefficiente sono bassi.

In definitiva, la corrispondenza tra i dati rilevati presso i vari siti di campionamento e le stazioni fisse di fondo è maggiore quando, in corrispondenza al valore minimo ottenuto per la deviazione standard, si può osservare anche un valore basso del coefficiente di variazione.

---

<sup>14</sup> dimensione geografica dei sistemi meteorologici che comprende tutti quei fenomeni che si svolgono ad un'estensione orizzontale dell'ordine di migliaia di chilometri

<sup>15</sup> Il coefficiente di variazione (o deviazione standard relativa) è un indice di dispersione dei dati e viene definito, per un dato campione, come il rapporto tra la sua deviazione standard e il valore assoluto della sua media aritmetica

Si riporta di seguito la tabella dei valori ottenuti per la media delle differenze tra i dati di concentrazione delle campagne e quelli delle stazioni fisse, per la relativa deviazione standard e per il relativo coefficiente di variazione:

		PT-Montale	PO-Roma	PT-Signorelli
Agliaia via don Milani (PT)	max $\Delta$	33	41	41
	min $\Delta$	0	0	0
	$\Delta$ medio	4	6	8
	deviazione standard ( $\Delta$ )	5	8	8
	coefficiente di variazione ( $\Delta$ )	1,2	1,4	1,0
Agliaia scuola S.Michele (PT)	max $\Delta$	20	34	33
	min $\Delta$	0	0	0
	$\Delta$ medio	4	6	8
	deviazione standard ( $\Delta$ )	3	7	7
	coefficiente di variazione ( $\Delta$ )	0,8	1,1	0,8
Quarrata Loc. Vignole (PT)	max $\Delta$	27	39	47
	min $\Delta$	0	0	0
	$\Delta$ medio	6	8	11
	deviazione standard ( $\Delta$ )	5	10	9
	coefficiente di variazione ( $\Delta$ )	1,0	1,2	0,9
Via Vignolini (PT)	max $\Delta$	26	29	26
	min $\Delta$	0	0	0
	$\Delta$ medio	3	5	5
	deviazione standard ( $\Delta$ )	5	6	6
	coefficiente di variazione ( $\Delta$ )	1,4	1,3	1,2
Via di Brugnano (PO)	max $\Delta$	22	34	58
	min $\Delta$	0	0	0
	$\Delta$ medio	6	7	12
	deviazione standard ( $\Delta$ )	5	8	12
	coefficiente di variazione ( $\Delta$ )	0,9	1,0	1,0
Via Ferdinando Santi-loc. Bottegone (PT)	max $\Delta$	35	49	64
	min $\Delta$	0	0	0
	$\Delta$ medio	9	11	23
	deviazione standard ( $\Delta$ )	8	10	20
	coefficiente di variazione ( $\Delta$ )	0,9	1,0	0,9

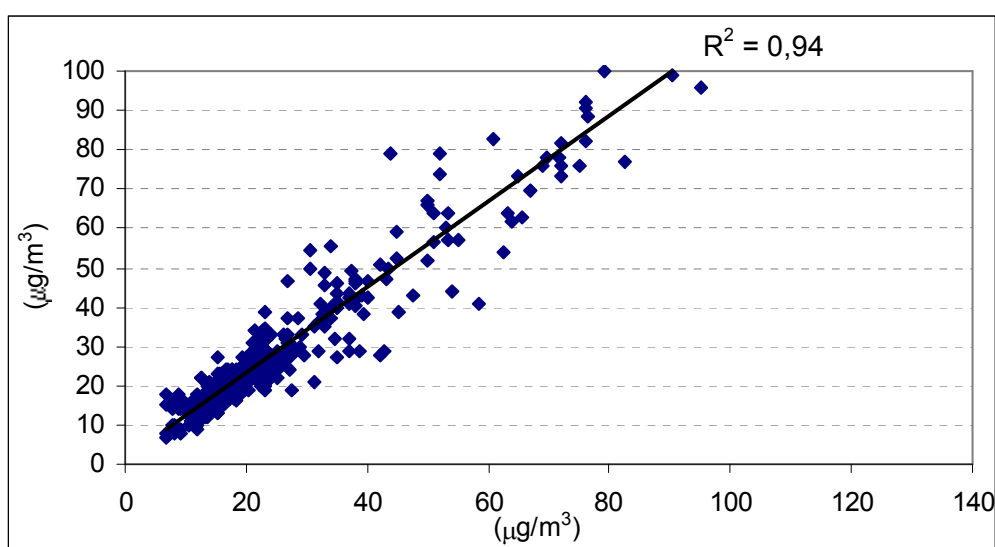
Tabella 4.2.3.1. Deviazione standard e coefficiente di variazione: differenze medie di campagna/medie di periodo UF zona PO-PT

Come si può osservare dalla tabella precedente, le condizioni sopra affermate relativamente alla deviazione standard e al coefficiente di variazione si rilevano per tutti i siti delle campagne di campionamento in corrispondenza alla stazione di PT-Montale (valori evidenziati in grigio) ad eccezione del sito di Pistoia – Vignolini per il quale non si delinea una situazione netta; i valori di deviazione standard, infatti, sono molto simili in tutti e tre i confronti analizzati (PT- Montale, PO-

Roma, PT-Signorelli) così come quelli dei coefficienti di variazione per cui non è possibile rilevare corrispondenze particolarmente evidenti tra i dati rilevati presso questo sito e le stazioni fisse di campionamento.

E' stata, quindi, analizzata la correlazione tra i dati dei siti delle campagne di campionamento e quelli corrispondenti allo stesso periodo delle stazioni fisse di fondo della zona Prato – Pistoia; sono stati riportati in grafico i dati rilevati presso le stazioni fisse di PT-Montale, PT-Signorelli e PO-Roma (in ascisse) e i dati rilevati presso tutti i siti delle campagne (in ordinate), nello stesso grafico è stata riportata la linea di tendenza/regressione di tipo lineare con il relativo coefficiente di determinazione (individuato più comunemente come  $R^2$ )<sup>16</sup>.

Di seguito si riportano i grafici del confronto relativamente a tutte e tre le stazioni fisse:



*Figura 4.2.3.2. Correlazione tra i dati delle campagne di monitoraggio(in ordinate) e quelli della stazione fissa di PT-Montale (in ascisse)*

<sup>16</sup> Definizioni utilizzate: il coefficiente di determinazione è una proporzione tra la variabilità dei dati e la correttezza del modello statistico utilizzato e nel caso di regressione di tipo lineare esso è il quadrato del coefficiente di correlazione il quale individua la relazione esistente tra due variabili casuali tale che a ciascun valore della prima variabile corrisponda con una certa regolarità un valore della seconda ossia la tendenza di una variabile a variare in funzione di un'altra (non si tratta necessariamente di un rapporto di causa-effetto, talvolta le variazioni di una variabile dipendono dalle variazioni dell'altra, talvolta sono comuni, talvolta sono reciprocamente dipendenti)

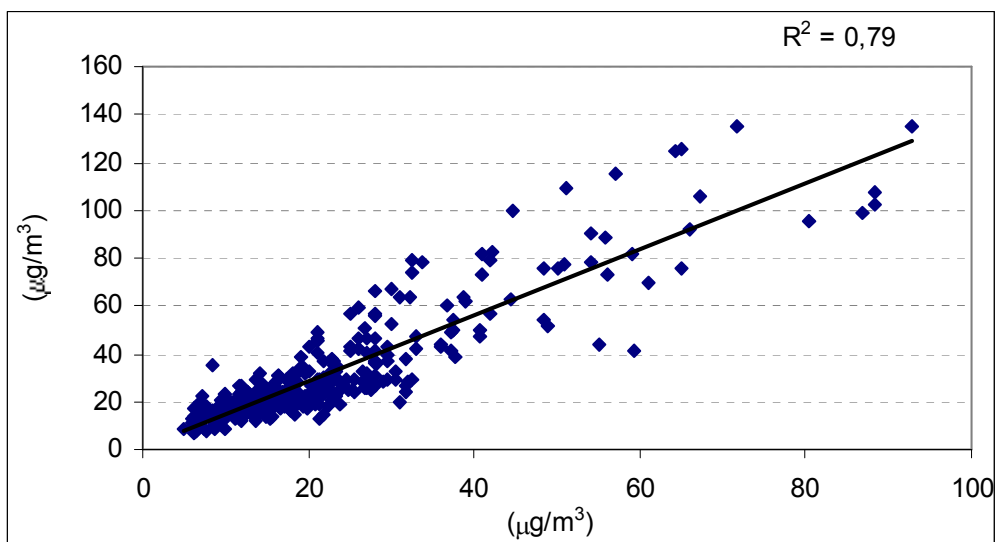


Figura 4.2.3.3. Correlazione tra i dati delle campagne di monitoraggio(in ordinate) e quelli della stazione fissa di PT-Signorelli (in ascisse)

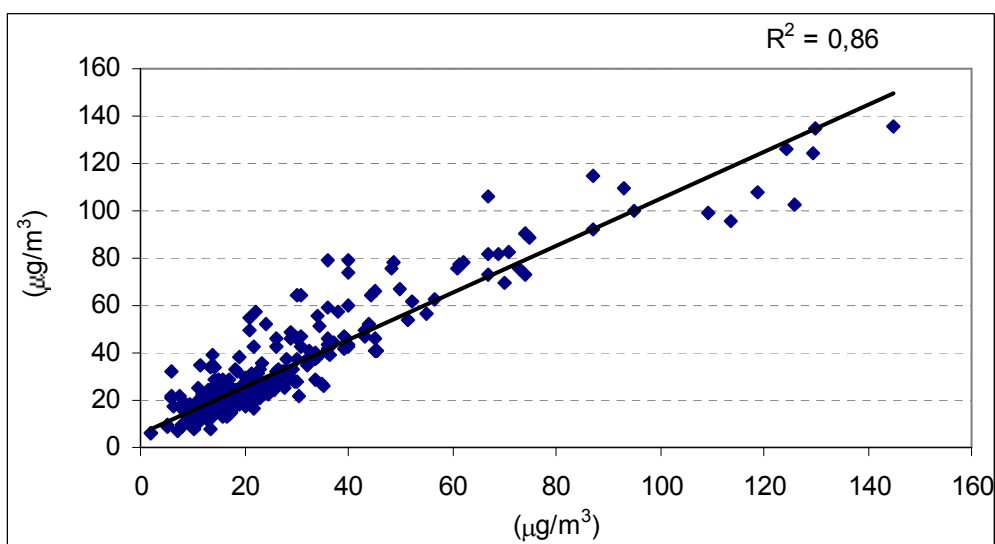


Figura 4.2.3.4. Correlazione tra i dati delle campagne di monitoraggio(in ordinate) e quelli della stazione fissa di PO-Roma (in ascisse)

I risultati dell'elaborazione sopra riportata evidenziano una correlazione in generale piuttosto alta tra i dati delle campagne di monitoraggio e quelli delle centraline fisse della zona Prato – Pistoia che conferma una generale omogeneità della zona in termini di concentrazione in atmosfera di PM10; in particolare, però, si può notare una correlazione maggiore con i dati rilevati presso la stazione di Montale rispetto a quelli rilevati presso le altre due stazioni di fondo.

E' stato, inoltre, analizzato lo scostamento tra tutti i dati rilevati nel corso delle campagne di monitoraggio e quelli rilevati nello stesso periodo presso le stazioni fisse di fondo della zona Prato – Pistoia. Come riferimento indicativo per tale analisi è stato presa la massima incertezza che la



normativa ammette come obiettivo per la qualità dei dati per il PM10 per le misurazioni in continuo pari al 25% e quella che la normativa ammette per le misurazioni indicative (50%)<sup>17</sup>. E' importante evidenziare che tali obiettivi di qualità sono relativi all'incertezza della misura rilevata rispetto a quanto determinato adottando i metodi di riferimento indicati dalla normativa; nel nostro caso, invece, i valori di riferimento saranno i livelli di concentrazione rilevati presso le stazioni di fondo della zona Prato - Pistoia (PT-Montale, PT-Signorelli e PO-Roma). Come confermato dagli ultimi audit effettuati, quanto rilevato presso tali stazioni fisse è sostanzialmente aderente a quanto rilevato con metodo gravimetrico tramite campionatore SKYPOST Tecora<sup>18</sup> (metodo di riferimento); partendo, quindi, dall'ipotesi che entrambe le strumentazioni (gli analizzatori delle stazioni fisse e il campionatore SKYPOST Tecora delle campagne di campionamento) presentino gli stessi standard qualitativi, gli obiettivi di qualità proposti nell'allegato I permetteranno di valutare l'entità dello scostamento tra i valori misurati e non più la qualità delle misure effettuate.

Nel caso, quindi, di differenze tra i dati rilevati nel corso delle campagne rispetto a quelli rilevati nello stesso periodo presso la centralina di PT-Montale inferiori o uguali a tale valore si può ragionevolmente ipotizzare che i valori di concentrazione siano tra loro equiparabili.

Nei grafici sono stati riportati i dati rilevati presso le stazioni fisse (in ascisse) e i dati rilevati presso tutti i siti delle campagne (in ordinate), la retta (in rosso) lungo la quale si disporrebbero i dati nel caso risultassero essere esattamente coincidenti tra loro, le rette (in nero grassetto) che rappresentano uno scostamento di  $\pm 50\%$  dai valori della bisettrice del grafico (retta rossa) e le rette (linea nera tratteggiata) che rappresentano uno scostamento di  $\pm 25\%$  dai valori della bisettrice del grafico. Per ciascun grafico sono state individuate la percentuale di dati che ricadono all'interno dell'area circoscritta dalle rette che individuano uno scostamento di  $\pm 50\%$  e la percentuale di dati che ricade all'interno dell'area tra le rette che individuano uno scostamento di  $\pm 25\%$ .

---

<sup>17</sup> Allegato I del Dlgs 155/2010.

<sup>18</sup> Lo stesso campionatore è stato utilizzato per le campagne di campionamento.

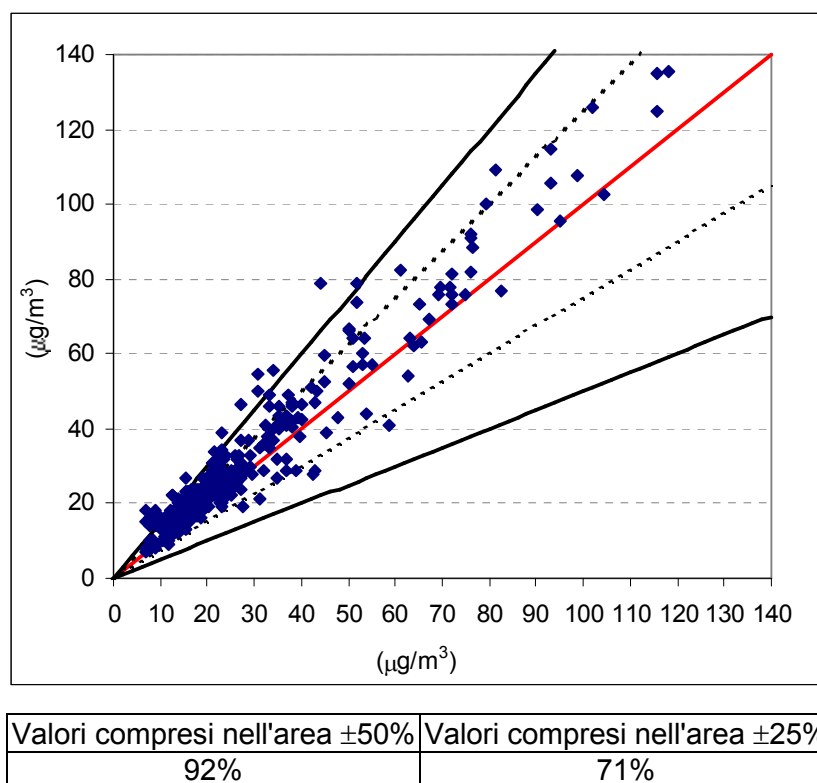


Figura 4.2.3.5. Correlazione tra i dati di PM 10 delle campagne di monitoraggio e quelli della stazione fissa di PT-Montale

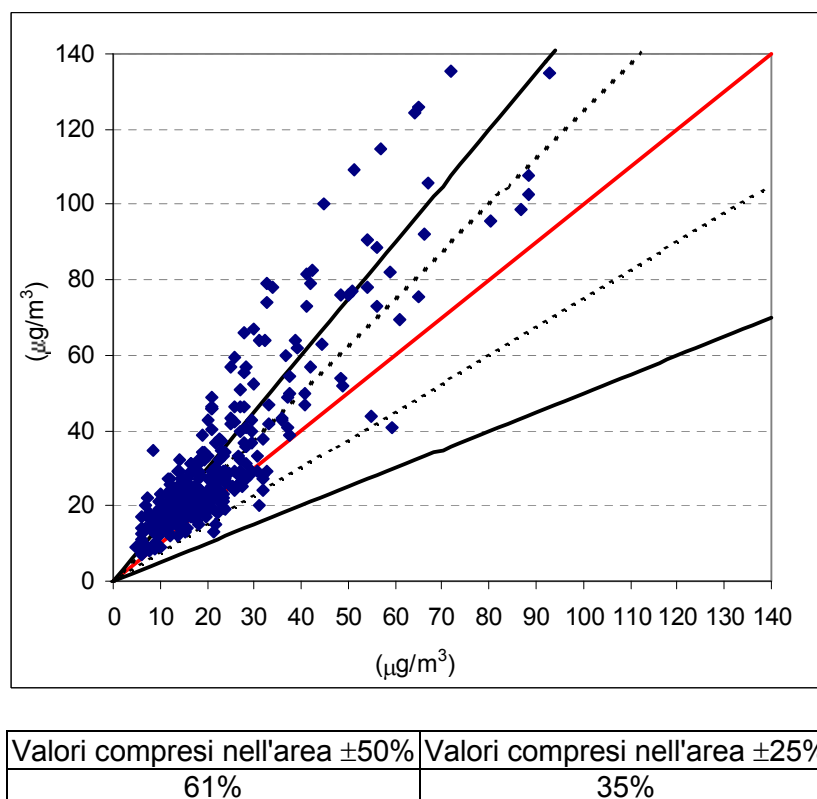


Figura 4.2.3.6. Correlazione tra i dati di PM 10 delle campagne di monitoraggio e quelli della stazione fissa di PT-Signorelli

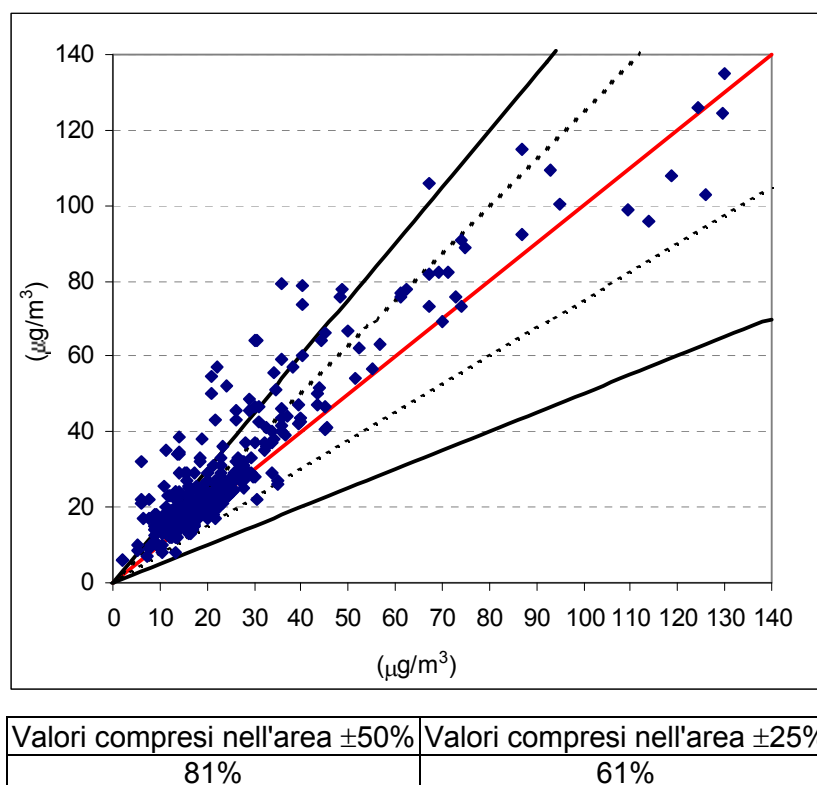
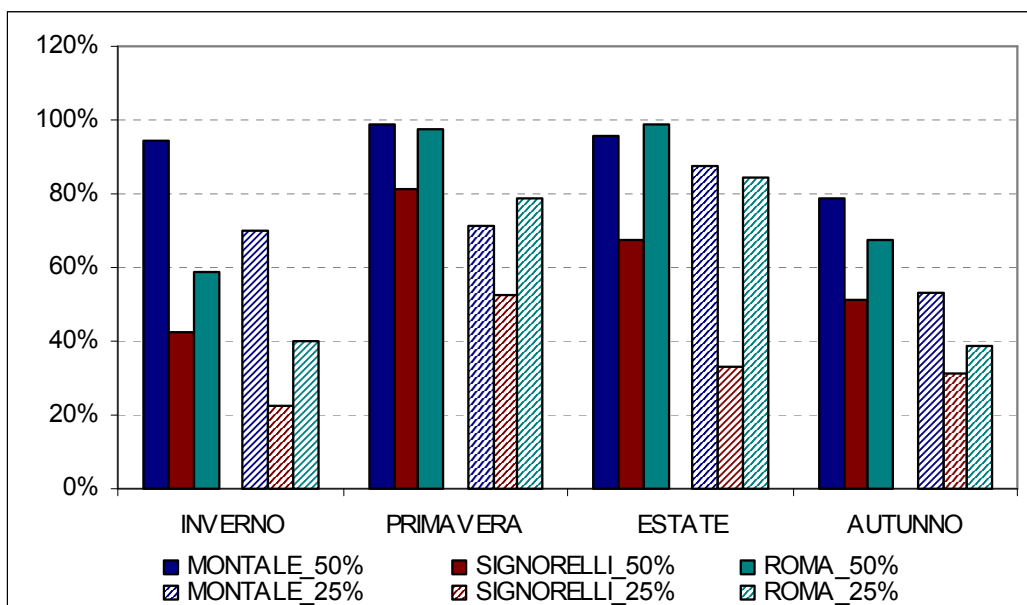


Figura 4.2.3.7. Correlazione tra i dati di PM 10 delle campagne di monitoraggio e quelli della stazione fissa di PO-Roma

Dai grafici sopra riportati si può osservare che i dati rilevati nel corso dei monitoraggi effettuati tramite campagne rappresentative sono correlabili in maniera più evidente con la stazione fissa di PT-Montale, in particolare rispetto alla stazione di PO-Roma e, in misura minore, rispetto a quella di PT-Signorelli; si può, infatti, osservare che la percentuale dei punti compresi all'interno del cono individuato dalle rette rappresentanti uno scostamento di  $\pm 50\%$  rispetto al valore "atteso" è molto elevata nel caso della correlazione con i dati della stazione di Montale (92%) mentre tale valore è inferiore nel caso della correlazione con le stazioni di PT-Signorelli e di PO-Roma (rispettivamente 61% e 81%), lo stesso accade nel caso del cono individuato dalle rette rappresentanti uno scostamento di  $\pm 25\%$  rispetto al valore "atteso" anche se, come prevedibile con valori percentuali inferiori.

Le stesse elaborazioni sono state fatte relativamente a ciascuna stagione; la maggiore corrispondenza con i dati rilevati presso la centralina di PT-Montale già rilevata nelle elaborazioni relative all'intero periodo annuale si rileva anche per ciascuna stagione, con evidenza maggiore nel periodo invernale e autunnale. Dal grafico e dalla tabella di seguito riportati si può osservare, infatti, che la percentuale di dati che presentano uno scostamento inferiore a  $\pm 50\%$  e a  $\pm 25\%$  più elevata si rileva in corrispondenza di tale stazione:



	Obiettivo di qualità ± 50%				Obiettivo di qualità ± 25%			
	INVERNO	PRIMAV.	ESTATE	AUTUNNO	INVERNO	PRIMAV.	ESTATE	AUTUNNO
MONTALE	94%	99%	96%	79%	70%	71%	88%	53%
SIGNORELLI	42%	81%	68%	51%	22%	52%	33%	31%
ROMA	59%	98%	99%	68%	40%	79%	84%	39%

Figura 4.2.3.8. Correlazione tra i dati di PM 10 delle campagne di monitoraggio e quelli delle stazioni fisse per ciascuna stagione

Le analisi precedentemente esposte permettono di introdurre una più completa analisi statistica dei dati di concentrazione osservati presso i vari siti di campionamento e presso le stazioni fisse di monitoraggio. Le valutazioni effettuate tramite esse, infatti, hanno permesso di esaminare la corrispondenza e la correlazione tra i valori di concentrazione rilevati ma è necessario approfondire ulteriormente lo studio relativo a tali corrispondenze al fine di valutare con maggiore dettaglio l'entità della correlazione esistente tra i dati registrati nel corso delle campagne e quelli registrati presso le stazioni fisse. A tale scopo si è ritenuto opportuno utilizzare il metodo dei tre indici di correlazione che permette di valutare l'associazione tra coppie di centraline (5a).

Nello specifico verranno utilizzati il coefficiente di correlazione di Pearson, il coefficiente di concordanza di Lin e il coefficiente di correlazione tra differenza e media; i risultati ottenuti dall'applicazione dei tre indici verranno analizzati simultaneamente e tra loro relazionati al fine di ottenere un'unica risposta.

L'utilizzo parallelo dei tre indici permette di valutare l'esistenza di una correlazione tra i dati rilevati presso due diversi siti di campionamento esaminando il problema da diversi punti di vista.

Il coefficiente di correlazione di Pearson permette, infatti, di misurare il grado di associazione lineare tra i dati registrati presso i siti e, quindi, quanto le misure siano tra loro in fase ma un suo

valore elevato non garantisce che presso i due siti vengano rilevati gli stessi livelli di inquinamento; le serie di dati, infatti, potrebbero differire sistematicamente di una certa quantità.

Alla valutazione, quindi, della correlazione lineare tra i dati va affiancata un'analisi che permetta di valutare quanto le coppie di valori registrate differiscano tra loro in termini di entità, quanto, cioè, rappresentate in un grafico di dispersione, queste si discostino dalla bisettrice<sup>19</sup>. Tale analisi viene effettuata tramite la valutazione del coefficiente di concordanza di Lin<sup>20</sup>; un elevato valore di tale coefficiente indica che presso i due siti vengono misurati gli stessi livelli di inquinamento.

Il coefficiente di concordanza di Lin si calcola dividendo la covarianza per la semisomma delle varianze e della differenza tra le medie al quadrato.

Se l'analisi si limitasse al solo utilizzo di questi due indici si rischierebbe di trarre conclusioni non necessariamente corrette in quanto si potrebbe verificare il caso di due serie di valori perfettamente in fase (coefficiente di correlazione di Pearson elevato) con media e varianza di errore simili (coefficiente di concordanza di Lin elevato) ma tali che una sia caratterizzata da oscillazioni dei dati di ampiezza molto maggiore rispetto all'altra; data la periodicità delle serie, la media delle differenze sarebbe vicino a zero e non sarebbe possibile rilevare la differenza tra le serie.

Al fine di ovviare a tali casi, si introduce un terzo indice – il coefficiente di correlazione tra differenza e media – il quale può fornire un'indicazione circa la validità dell'ipotesi di indipendenza tra distorsione e media. Questo si calcola come coefficiente di correlazione di Pearson tra la differenza tra i valori di concentrazione giornalieri rilevati presso i due siti di campionamento e la loro media.

La situazione ottimale, ossia di massima corrispondenza tra i dati rilevati presso i due diversi siti, corrisponderà a quella in cui si hanno valori elevati e tra loro simili per il coefficiente di correlazione di Pearson e il coefficiente di concordanza di Lin e valori bassi per il coefficiente di correlazione tra differenza e media; in questo caso i livelli di concentrazione rilevati presso i due siti nello stesso giorno possono essere considerati misure ripetute e ugualmente precise della stessa quantità.

L'analisi dei tre indici è stata condotta sulla coppia di misure “valori di concentrazione rilevati nel corso delle campagne di monitoraggio” e “valori di concentrazioni rilevati presso le centraline fisse di qualità dell'aria di PT-Montale, PO-Roma e PT-Signorelli nello stesso periodo relativo a ciascun campionamento”.

Di seguito vengono riportati i risultati ottenuti espressi in forma tabellare e in grafico, prima quelli relativi alla corrispondenza tra le campagne di campionamento e la stazione di PT-Montale, poi quelli con la stazione di PO-Roma e quelli con la stazione di PT-Signorelli; i valori dei coefficienti ottenuti per le varie campagne sono identificati con lettere diverse, così come riportato di seguito:

---

19 La bisettrice rappresenta la retta ideale su cui si disporrebbero i punti nel caso presso i due siti di monitoraggio fossero misurati valori di concentrazione uguali.

20 Lin L I-K. A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. *Biometrics* 1989; 45: 255-68.

- A: AGLIANA - DON MILANI  
 B: AGLIANA - SAN MICHELE  
 C: QUARRATA - VIGNOLE  
 D: MONTALE - VIA VIGNOLINI  
 E: PRATO - BRUGNANO  
 F: PISTOIA – BOTTEGONE

I valori dei tre coefficienti rilevati per le serie dei dati di concentrazione delle campagne di campionamento e delle stazioni fisse di monitoraggio vengono riportati nelle tabelle successive:

	AGLIANA - DON MILANI	AGLIANA - SAN MICHELE	QUARRAT A - VIGNOLE	MONTALE - VIA VIGNOLINI	PRATO - BRUGNAN O	PISTOIA - BOTTEGO NE
<b>PT-MONTALE</b>						
<b>INTERO PERIODO DI CAMPIONAMENTO</b>						
Coeff. di concordanza di LIN	0,90	0,94	0,84	0,88	0,94	0,93
Coeff. di correlaz. di Pearson	0,98	0,98	0,90	0,92	0,98	0,98
Correlazione media-differenza	0,27	0,01	0,25	0,47	0,65	0,41
<b>AUTUNNO/INVERNO</b>						
Coeff. di concordanza di LIN	0,89	0,93	0,84	0,84	0,91	0,87
Coeff. di correlaz. di Pearson	0,98	0,98	0,93	0,90	0,98	0,96
Correlazione media-differenza	0,25	0,09	0,08	0,46	0,67	0,18
<b>PRIMAVERA/ESTATE</b>						
Coeff. di concordanza di LIN	0,91	0,72	0,46	0,93	0,76	0,80
Coeff. di correlaz. di Pearson	0,99	0,91	0,49	0,96	0,88	0,94
Correlazione media-differenza	0,62	0,25	0,20	0,08	0,04	0,26
<b>PO-ROMA</b>						
<b>INTERO PERIODO DI CAMPIONAMENTO</b>						
Coeff. di concordanza di LIN	0,80	0,79	0,52	0,87	0,90	0,94
Coeff. di correlaz. di Pearson	0,88	0,92	0,71	0,87	0,96	0,95
Correlazione media-differenza	0,30	0,66	0,63	0,11	0,37	0,18
<b>AUTUNNO/INVERNO</b>						
Coeff. di concordanza di LIN	0,78	0,76	0,66	0,82	0,87	0,87
Coeff. di correlaz. di Pearson	0,89	0,93	0,84	0,84	0,96	0,93
Correlazione media-differenza	0,24	0,62	0,63	0,05	0,24	0,46
<b>PRIMAVERA/ESTATE</b>						
Coeff. di concordanza di LIN	0,84	0,81	0,44	0,92	0,77	0,75
Coeff. di correlaz. di Pearson	0,97	0,95	0,50	0,95	0,92	0,95
Correlazione media-differenza	0,46	0,07	0,46	0,08	0,40	0,59
<b>PT-SIGNORELLI</b>						
<b>INTERO PERIODO DI CAMPIONAMENTO</b>						
Coeff. di concordanza di LIN	0,54	0,75	0,57	0,77	0,69	0,71
Coeff. di correlaz. Di Pearson	0,76	0,95	0,79	0,78	0,90	0,92
Correlazione media-differenza	0,50	0,77	0,64	0,08	0,70	0,75
<b>AUTUNNO/INVERNO</b>						
Coeff. di concordanza di LIN	0,50	0,72	0,53	0,74	0,65	0,55
Coeff. di correlaz. Di Pearson	0,87	0,96	0,88	0,77	0,90	0,87

Correlazione media-differenza	0,70	0,82	0,74	0,12	0,66	0,56
	<b>PRIMAVERA/ESTATE</b>					
Coeff. di concordanza di LIN	0,68	0,61	0,37	0,68	0,41	0,71
Coeff. di correlaz. Di Pearson	0,82	0,89	0,41	0,72	0,70	0,91
Correlazione media-differenza	0,09	0,24	0,34	0,29	0,20	0,44

*Tabella 4.2.3.2. Coefficienti di correlazione di Pearson e coefficiente di concordanza di Lin: dati di concentrazione rilevati nel corso delle campagne/dati rilevati presso le stazioni fisse*

Nella presente analisi i valori dei coefficienti di Pearson e di Lin per le serie dei dati di monitoraggio verranno considerati “alti” se superiori a 0,75, “bassi” se inferiori a tale valore; nel caso del coefficiente di Pearson relativo alla correlazione tra media e differenza delle serie, invece, il coefficiente sarà “basso” se inferiore a 0,3.

Nelle tabelle e nei grafici successivi vengono incrociati i valori dei coefficienti rilevati per ciascuna campagna relativamente all'intero periodo di campionamento, al solo periodo autunno/inverno e al solo periodo primavera/estate. Come già detto, la situazione ottimale – nel qual caso i livelli di concentrazione rilevati presso i due siti nello stesso giorno possono essere considerati misure ripetute e ugualmente precise della stessa quantità – è che si abbiano valori elevati e simili dei coefficienti di Pearson e Lin relativi alle serie dei dati di campionamento e valori ridotti per il coefficiente di correlazione tra differenze e medie; i siti di campionamento per i quali si verifica tale ipotesi vengono evidenziati nelle tabelle e nel grafico con una cornice blu.

Nei grafici vengono riportati i valori del coefficiente di concordanza di Lin e il valore assoluto della correlazione differenza-media; le serie per le quali si è ottenuto un valore del coefficiente di correlazione di Pearson inferiore a 0,75 sono state identificate con il colore blu mentre le altre con il colore rosso.

	TUTTO IL PERIODO DI CAMPIONAMENTO			
	Correlazione di Bravais-Pearson			
	Bassa		Alta	
	Concordanza di Lin			
Correlazione differenza/media	Bassa	Alta	Bassa	Alta
Bassa				A-B-C
Alta				E-F-D

	AUTUNNO/INVERNO			
	Correlazione di Bravais-Pearson			
	Bassa		Alta	
	Concordanza di Lin			
Correlazione differenza/media	Bassa	Alta	Bassa	Alta
Bassa				A-B-C-F
Alta				D-E

	PRIMAVERA/ESTATE			
	Correlazione di Bravais-Pearson			
	Bassa		Alta	
	Concordanza di Lin			
Correlazione differenza/media	Bassa	Alta	Bassa	Alta
Bassa	C	B		D-E-F
Alta				A

Tabella 4.2.3.3. Classificazione dei coefficienti: siti di campionamento/PT-Montale

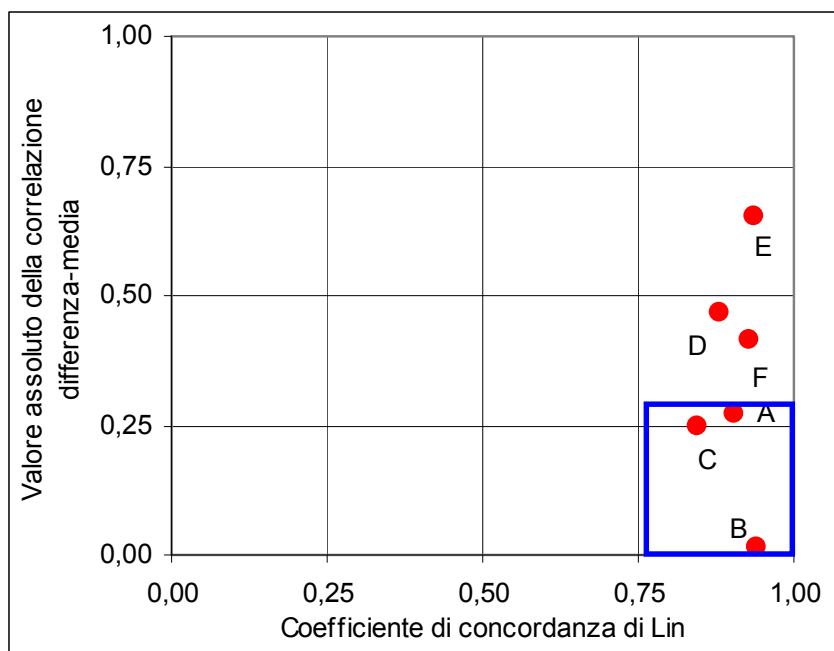


Figura 4.2.3.9. Classificazione dei coefficienti\_ TUTTO IL PERIODO DI CAMPIONAMENTO: siti di campionamento/PT-MONTALE

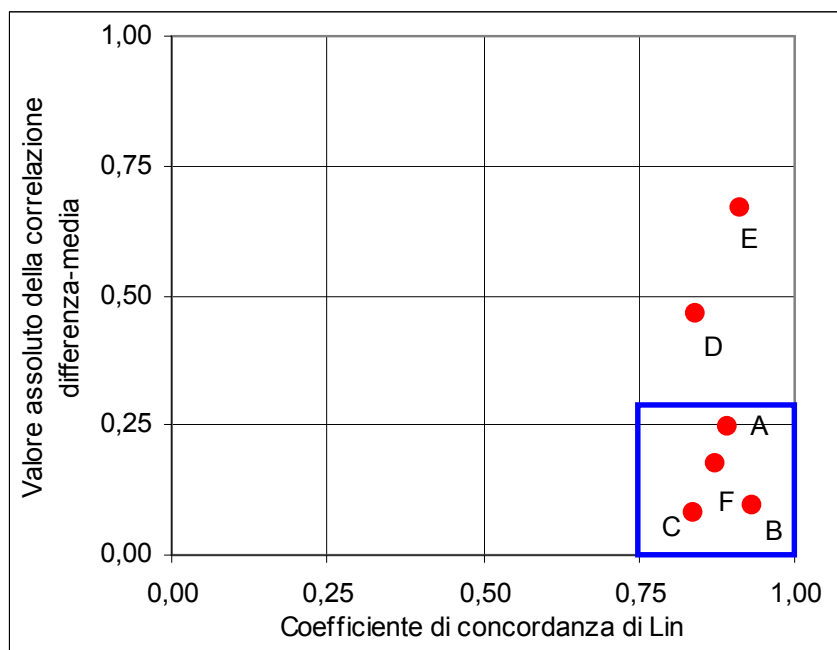


Figura 4.2.3.10. Classificazione dei coefficienti\_ AUTUNNO/INVERNO: siti di campionamento/PT-MONTALE



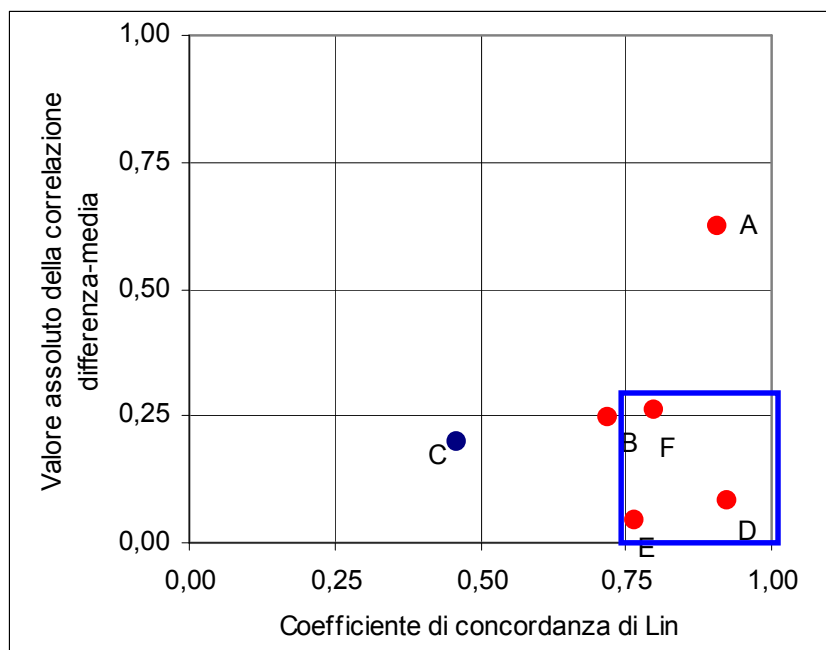


Figura 4.2.3.11. Classificazione dei coefficienti\_ PRIMAVERA/ESTATE: siti di campionamento/PT-MONTALE

	TUTTO IL PERIODO DI CAMPIONAMENTO			
	Correlazione di Bravais-Pearson			
	Bassa		Alta	
	Concordanza di Lin			
Correlazione differenza/media	Bassa	Alta	Bassa	Alta
Bassa				D - F
Alta	C			A-B-E
	AUTUNNO/INVERNO			
	Correlazione di Bravais-Pearson			
	Bassa		Alta	
	Concordanza di Lin			
Correlazione differenza/media	Bassa	Alta	Bassa	Alta
Bassa				A-E-D
Alta		C		B-F
	PRIMAVERA/ESTATE			
	Correlazione di Bravais-Pearson			
	Bassa		Alta	
	Concordanza di Lin			
Correlazione differenza/media	Bassa	Alta	Bassa	Alta
Bassa	C			B-D
Alta				A-F-E

Tabella 4.2.3.4. Classificazione dei coefficienti: siti di campionamento/PO-Roma

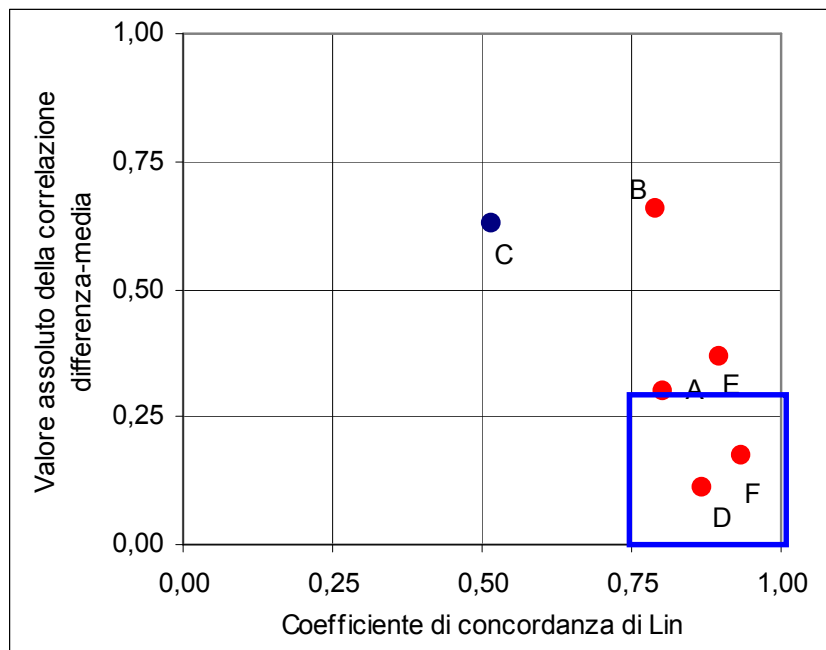


Figura 4.2.3.12. Classificazione dei coefficienti\_TUTTO IL PERIODO DI CAMPIONAMENTO: siti di campionamento/PO-ROMA

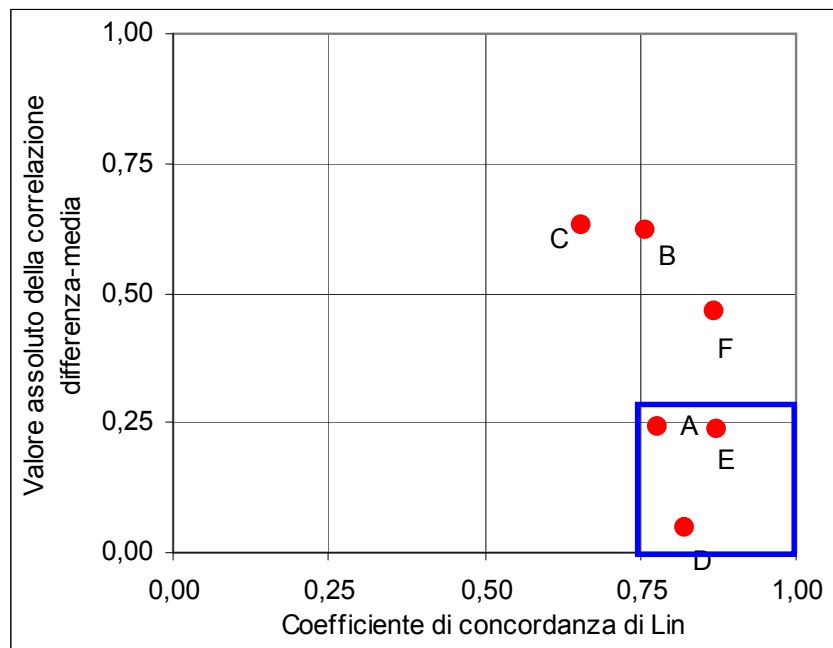


Figura 4.2.3.13. Classificazione dei coefficienti\_AUTUNNO/INVERNO: siti di campionamento/PO-ROMA

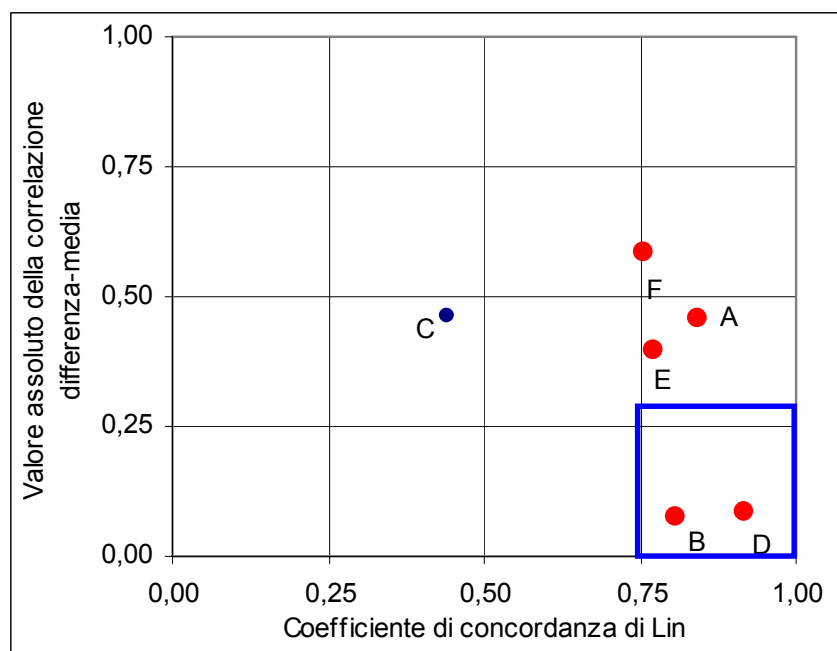


Figura 4.2.3.14. Classificazione dei coefficienti\_PRIMAVERA/ESTATE: siti di campionamento/PO-ROMA

	TUTTO IL PERIODO DI CAMPIONAMENTO			
	Correlazione di Bravais-Pearson			
	Bassa		Alta	
	Concordanza di Lin			
Correlazione differenza/media	Bassa	Alta	Bassa	Alta
Bassa				D
Alta		A-C-E-F		B
	AUTUNNO/INVERNO			
	Correlazione di Bravais-Pearson			
	Bassa		Alta	
	Concordanza di Lin			
Correlazione differenza/media	Bassa	Alta	Bassa	Alta
Bassa		D		
Alta		A-B-C-E-F		
	PRIMAVERA/ESTATE			
	Correlazione di Bravais-Pearson			
	Bassa		Alta	
	Concordanza di Lin			
Correlazione differenza/media	Bassa	Alta	Bassa	Alta
Bassa	C-D-E	A-B-F		
Alta				

Tabella 4.2.3.5. Classificazione dei coefficienti: siti di campionamento/PT-Signorelli

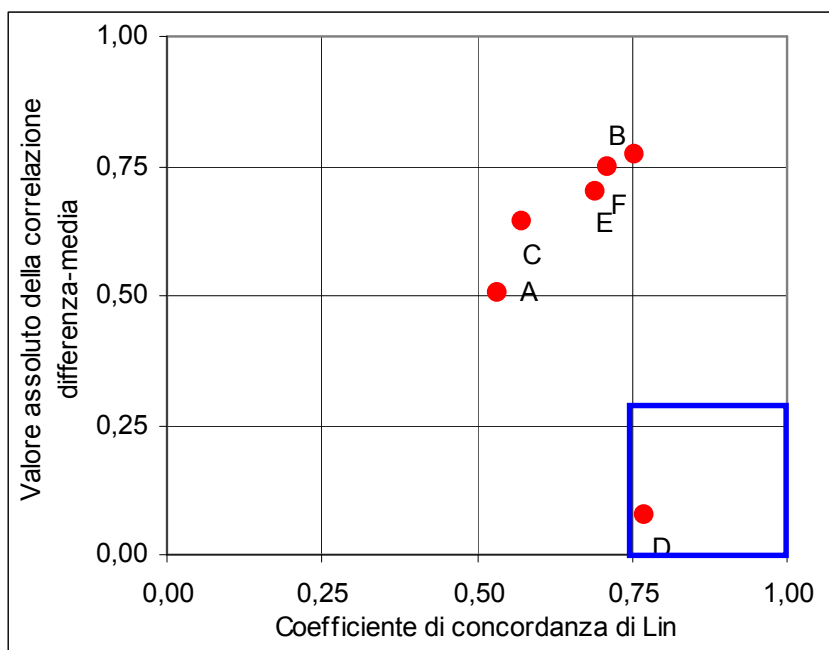


Figura 4.2.3.15. Classificazione dei coefficienti\_TUTTO IL PERIODO DI CAMPIONAMENTO: siti di campionamento/PT-SIGNORELLI

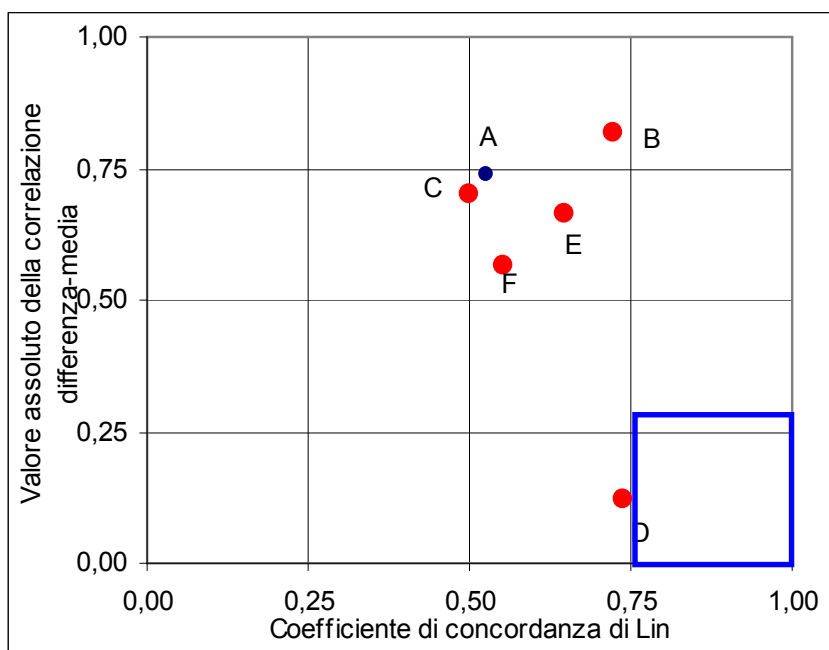
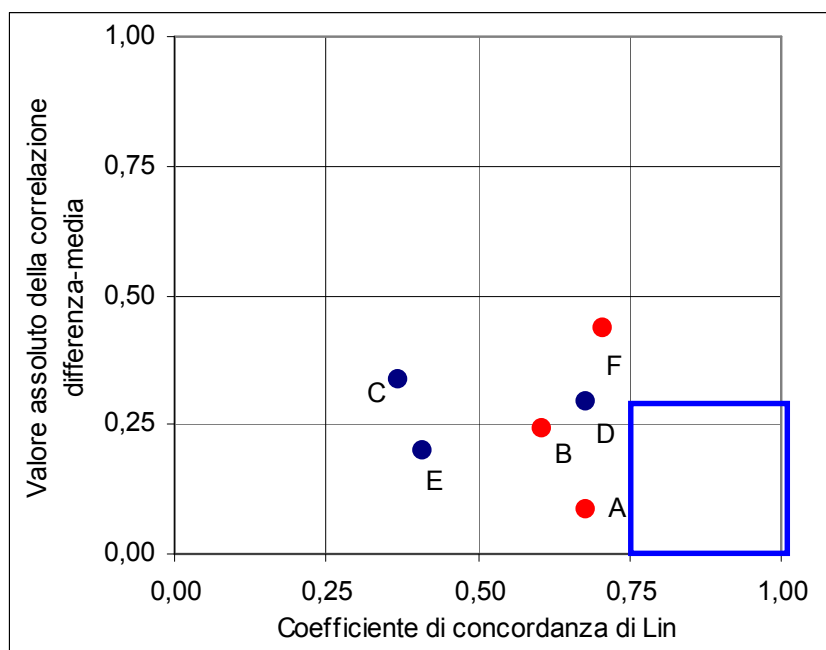


Figura 4.2.3.15. Classificazione dei coefficienti\_AUTUNNO/INVERNO: siti di campionamento/PT-SIGNORELLI



*Figura 4.2.3.17. Classificazione dei coefficienti\_PRIMAVERA/ESTATE: siti di campionamento/PT-SIGNORELLI*

Nell'esame dei risultati dell'analisi effettuata verrà posta maggiore attenzione a quanto emerso dalla verifica dei valori monitorati nel corso del periodo autunno/inverno; come già evidenziato, infatti, i valori di concentrazione di PM10 maggiori si rilevano durante la stagione invernale e le medie invernali di PM10 registrate dalla stazione di PT-Montale presentano valori anomali rispetto a quelli delle altre centraline di fondo della zona.

Si ritiene, invece, che i risultati relativi alla stagione estiva (primavera/estate) non siano utili a delineare un'eventuale correlazione tra i dati delle campagne e quelli delle centraline fisse in quanto nel periodo primaverile e estivo le condizioni meteorologiche sono tali da favorire una più veloce distribuzione delle masse d'aria su scala regionale; in tale periodo, infatti, i dati di concentrazione rilevati presso la stazione di Montale non risultano essere anomali rispetto a quelli delle altre stazioni di fondo della zona e, quindi, risulta essere poco utile verificarne la correlazione con esse.

Sono stati riportati, comunque, i risultati dell'analisi relativi al periodo estivo per ragioni di completezza delle informazioni.

Focalizzando, quindi, l'attenzione sui risultati emersi per la stagione invernale (autunno/inverno), si può osservare una correlazione evidente tra le misure di concentrazione rilevate nel corso delle campagne di monitoraggio e i valori rilevati nello stesso periodo presso la centralina di PT-Montale; tutte le serie – ad eccezione di quelle relative a Montale/Via Vignolini e Prato/Brugnano – si collocano, infatti, nel quadrante del grafico relativo a valori del coefficiente di concordanza di Lin

superiori a 0,75 e a valori del coefficiente di correlazione delle medie e delle differenze inferiori a 0,3 presentando valori del coefficiente di Pearson superiori a 0,75.

I risultati ottenuti per il sito di Montale - via Vignolini sembrano confermare quanto emerso anche dalle precedenti analisi; tale sito insieme alle stazioni di Prato e Pistoia, sembrerebbe segnare una fascia di livello di concentrazione di PM10 più basso che circonda la piana sul lato nord. I dati di concentrazione registrati presso tale sito sono mediamente inferiori ai dati rilevati presso la stazione di Montale e più simili a quelli rilevati presso le altre due stazioni fisse di PO-Roma e PT-Signorelli.

Dai risultati relativi alla verifica della correlazione dei siti di campionamento con la stazione di PO-Roma si può, in particolare, osservare che la serie invernale relativa a tale sito presenta una correlazione evidente con quella di PO-Roma; la serie si colloca, infatti, nel quadrante del grafico relativo a valori del coefficiente di concordanza di Lin superiori a 0,75 e a valori del coefficiente di correlazione delle medie e delle differenze inferiori a 0,3 presentando valori del coefficiente di Pearson superiori a 0,75.

Lo stesso emerge dai risultati relativi alla verifica della correlazione dei siti di campionamento con la stazione di PT-Signorelli; in questo caso, in particolare, la serie relativa al sito di Vignolini risulta essere l'unica serie invernale con un'ottima correlazione con PT-Signorelli presentando valori del coefficiente di concordanza di Lin di poco inferiori a 0,75 (0,74), valori del coefficiente di correlazione tra medie e differenze inferiori a 0,3 e valori del coefficiente di Pearson superiori a 0,75.

Per quanto riguarda, invece, il sito di Prato-Brugnano si può osservare un'evidente correlazione tra le misure di concentrazione rilevate nel corso della campagne invernale e i valori rilevati nello stesso periodo presso la centralina di PO-Roma; la serie si colloca, infatti, nel quadrante del grafico relativo a valori del coefficiente di concordanza di Lin superiori a 0,75 e a valori del coefficiente di correlazione delle medie e delle differenze inferiori a 0,3 presentando valori del coefficiente di Pearson superiori a 0,75.

In base a tali risultati, quindi, sembrerebbe che tale sito – posto a circa 2 km in linea d'aria dalla stazione di PO-Roma e ad una quota uguale a quella della stazione di PT-Montale (48 m s.l.m.) – segni la fascia di livello di concentrazione di PM10 molto simile a quello di PO-Roma che circonda la piana sul lato sud.

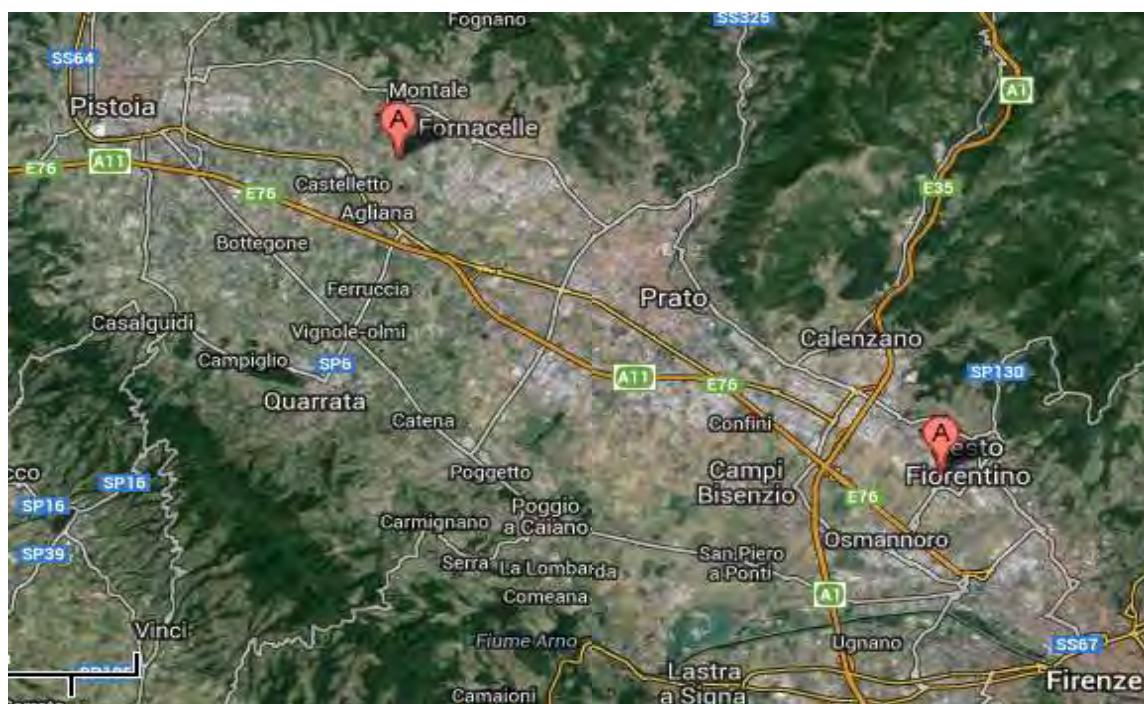
#### ***4.2.4 Verifica di corrispondenza tra il PM10 registrato presso la stazione di PT-Montale e quello rilevato nella zona dell'agglomerato di Firenze***

Al fine di verificare l'eventuale corrispondenza tra i dati di concentrazione di PM10 rilevati presso la stazione di PT-Montale con i dati rilevati nei comuni dell'Agglomerato di Firenze è stata analizzata la correlazione con i dati rilevati presso un sito di tipo urbano-fondo collocato nel comune di Sesto

Fiorentino nel corso dell'anno 2006 (Villa San Lorenzo)<sup>21</sup>; tra tutti i comuni presso i quali sono stati rilevati parametri di qualità dell'aria nel corso degli ultimi anni, Sesto Fiorentino è il comune più vicino alla zona Prato – Pistoia.

Comune	Quota (m s.l.m.)	Coordinate WGS84 GMS		Distanza indicativa da PT-Montale (km)
		Latitudine	Longitudine	
PT-Montale	48	43°54'54.19"N	11°00'22.26"E	-
Sesto F. – Villa San Lorenzo	47	43°49'40.69"N	11°11'39.23"E	18

*Tabella 4.2.4.1. Caratteristiche sito di campionamento di PT-Montale e Sesto Fiorentino*



*Figura 4.2.4.1. Localizzazione sito di campionamento di PT-Montale e Sesto Fiorentino*

La verifica è stata condotta tramite il metodo dei tre indici di correlazione che permette di valutare l'associazione tra coppie di centraline (5a). Tale metodologia, già esposta in maniera estesa nel paragrafo precedente, si basa sulla valutazione dei valori del coefficiente di correlazione di Pearson, del coefficiente di concordanza di Lin e del coefficiente di correlazione tra differenza e media relativamente ai dati rilevati presso la postazione di misura di Sesto Fiorentino e la stazione di monitoraggio di PT-Montale; la situazione ottimale, ossia di massima corrispondenza tra i dati rilevati presso i due diversi siti, corrisponderà a quella in cui si hanno valori elevati e tra loro simili per il coefficiente di correlazione di Pearson e il coefficiente di concordanza di Lin e valori bassi per il coefficiente di correlazione tra differenza e media; in questo caso i livelli di concentrazione rilevati

<sup>21</sup> Progetto PASF – 2 Particolato Atmosferico a Sesto F.no (Frazioni dimensionali PM10 e PM2.5). Convenzione di ricerca biennale (Giugno 2005 - Giugno 2007) tra il Comune di Sesto F.no - Assessorato all'Ambiente, ARPAT e Dipartimento di Chimica - Università di Firenze.

presso i due siti nello stesso giorno possono essere considerati misure ripetute e ugualmente precise della stessa quantità.

L'analisi dei tre indici è stata condotta sui dati rilevati presso i due siti nel corso dell'anno 2006.

Di seguito vengono riportati i risultati ottenuti espressi in forma tabellare e in grafico; i valori dei tre coefficienti rilevati per le due serie dei dati per l'intero anno e per i soli periodi invernale e estivo vengono riportati nella tabella successiva:

	PT-MONTALE/ SESTO F
TUTTO IL PERIODO DI CAMPIONAMENTO	
Coeff. di concordanza di LIN	0,86
Coeff. di correlaz. di Pearson	0,93
Correlazione media-differenza	0,48
AUTUNNO/INVERNO	
Coeff. di concordanza di LIN	0,83
Coeff. di correlaz. di Pearson	0,92
Correlazione media-differenza	0,39
PRIMAVERA/ESTATE	
Coeff. di concordanza di LIN	0,87
Coeff. di correlaz. di Pearson	0,94
Correlazione media-differenza	0,56

*Tabella 4.2.4.2. Coefficienti di correlazione di Pearson e coefficiente di concordanza di Lin: dati di concentrazione rilevati presso il sito di Sesto Fiorentino/dati rilevati presso la stazione di PT-Montale*

Nella presente analisi i valori dei coefficienti di Pearson e di Lin per le serie dei dati di monitoraggio verranno considerati "alti" se superiori a 0,75, "bassi" se inferiori a tale valore; nel caso del coefficiente di Pearson relativo alla correlazione tra media e differenza delle serie, invece, il coefficiente sarà "basso" se inferiore a 0,3.

Nella tabella e nel grafico successivi vengono incrociati i valori dei coefficienti rilevati per ciascuna campagna relativamente all'intero periodo di campionamento, al solo periodo autunno/inverno e al solo periodo primavera/estate. Come già detto, la situazione ottimale – nel qual caso i livelli di concentrazione rilevati presso i due siti nello stesso giorno possono essere considerati misure ripetute e ugualmente precise della stessa quantità - è che si abbiano valori elevati e simili dei coefficienti di Pearson e Lin relativi alle serie dei dati di campionamento e valori ridotti per il coefficiente di correlazione tra differenze e medie; i siti di campionamento per i quali si verifica tale ipotesi vengono evidenziati nelle tabelle e nel grafico con una cornice blu.

Nei grafici vengono riportati i valori del coefficiente di concordanza di Lin e il valore assoluto della correlazione differenza-media; il valore del coefficiente di correlazione di Pearson inferiore a 0,75 è stato identificato con il colore blu mentre il valore superiore con il colore rosso.



	TUTTO IL PERIODO DI CAMPIONAMENTO			
	Correlazione di Bravais-Pearson			
	Bassa		Alta	
	Concordanza di Lin			
Correlazione differenza/media	Bassa	Alta	Bassa	Alta
Bassa				
Alta				Sesto F.
	AUTUNNO/INVERNO			
	Correlazione di Bravais-Pearson			
	Bassa		Alta	
	Concordanza di Lin			
Correlazione differenza/media	Bassa	Alta	Bassa	Alta
Bassa				
Alta				Sesto F.
	PRIMAVERA/ESTATE			
	Correlazione di Bravais-Pearson			
	Bassa		Alta	
	Concordanza di Lin			
Correlazione differenza/media	Bassa	Alta	Bassa	Alta
Bassa	C	B		
Alta				Sesto F.

Tabella 4.2.4.3. Classificazione dei coefficienti: Sesto Firoentino/PT-Montale

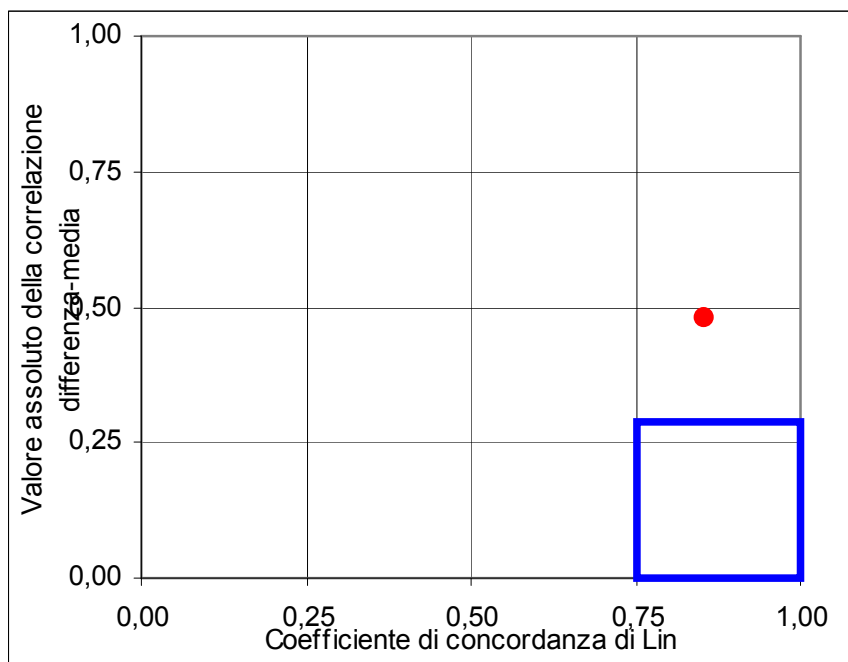


Figura 4.2.4.2. Classificazione dei coefficienti\_ TUTTO IL PERIODO DI CAMPIONAMENTO: Sesto Fiorentino/PT-MONTALE

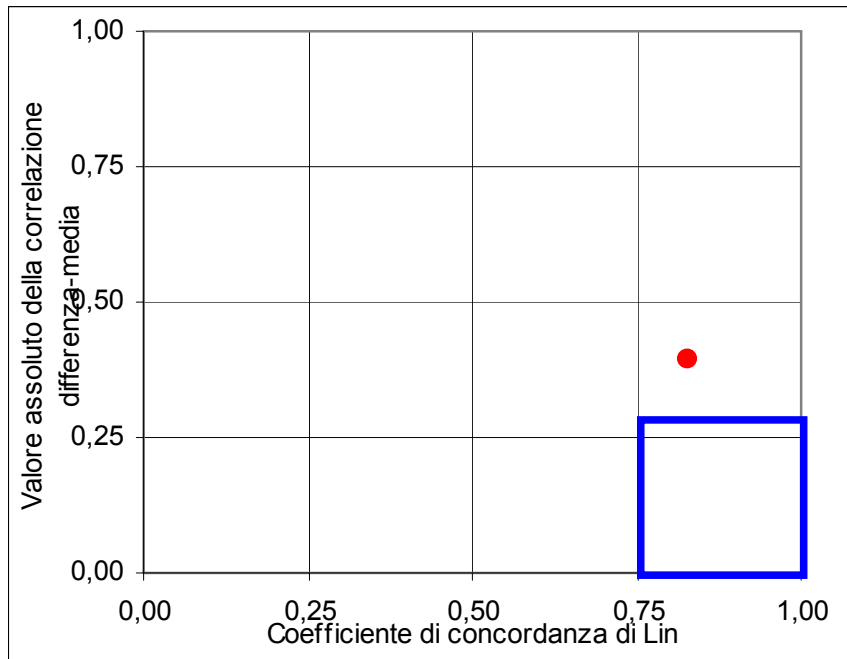


Figura 4.2.4.3. Classificazione dei coefficienti\_ AUTUNNO/INVERNO: Sesto Fiorentino/PT-MONTALE

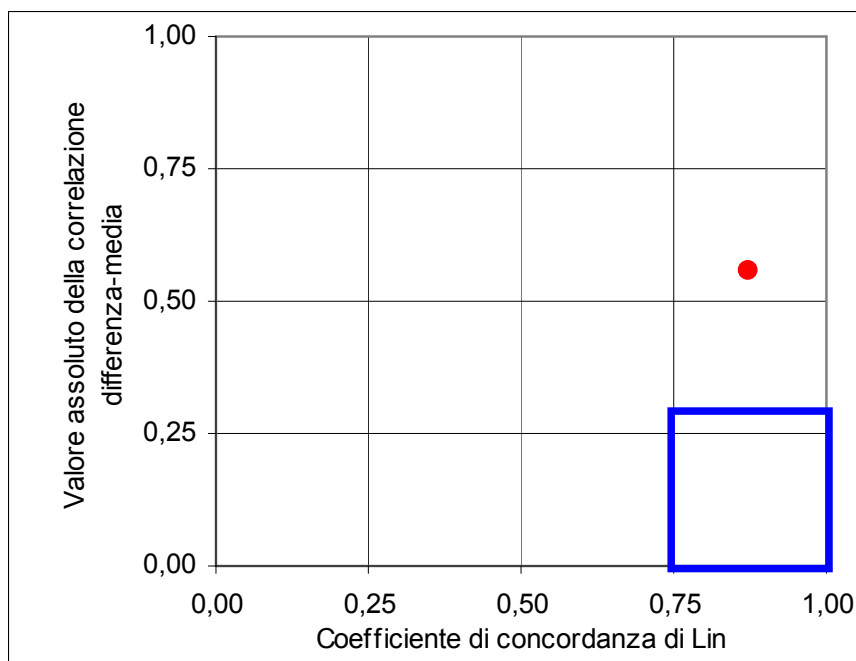


Figura 4.2.4.4. Classificazione dei coefficienti\_ PRIMAVERA/ESTATE: Sesto Fiorentino/PT-MONTALE

Dai grafici e dalle tabelle sopra riportate si può osservare una correlazione molto ridotta tra le misure di concentrazione rilevate nel corso delle campagne di monitoraggio e i valori rilevati nello stesso periodo presso la centralina di PT-Montale; i valori degli indici statistici rilevati non si collocano in nessun caso nel quadrante del grafico relativo a valori del coefficiente di concordanza di Lin superiori a 0,75 e a valori del coefficiente di correlazione delle medie e delle differenze inferiori a 0,3 pur presentando valori del coefficiente di Pearson superiori a 0,75.

In base a tali risultati, quindi, si osserva che il sito di Sesto Fiorentino – posto ad una quota uguale a quella della stazione di PT-Montale (47 m s.l.m.), non presenta valori di concentrazione di PM10 simili a quelli rilevati presso la stazione di PT-Montale. Vista la correlazione con PT-Montale rilevata, invece, per tutti i siti presenti all'interno della piana compresa tra i centri urbani di Prato e Pistoia (fatta eccezione per Prato-Brugnano) si può ritenere che i valori rilevati a sud della piana differiscano in modo rilevante da quelli rilevati nella piana stessa.

## **5. I RISULTATI DEGLI APPROFONDIMENTI SULLE SORGENTI DI EMISSIONE: LA COMBUSTIONE DELLA LEGNA IN AMBITO DOMESTICO E LA COMBUSTIONE DEI RESIDUI AGRICOLI**

In base a quanto emerso dall'analisi dei dati di emissione dell'inventario regionale I.R.S.E. 2007, le due maggiori sorgenti di emissione di PM10 primario presenti nel Comune di Montale e nel territorio della piana compresa tra i centri urbani di Prato e Pistoia, esclusi gli impianti di produzione di calcestruzzo le cui emissioni non sembrano, però, incidere in maniera determinante sui dati di qualità dell'aria quanto piuttosto su quelli di emissione (vedi par. 2.5.1), sono la combustione di biomassa solida (legna) in ambito domestico e il traffico.

Vista la significativa incidenza dell'attività di combustione della legna e la complessità di tale settore, è risultato utile approfondire tale argomento in relazione alle emissioni di polveri da esso potenzialmente derivanti utilizzando metodologie alternative a quelle applicate nell'inventario regionale (I.R.S.E.) in modo da potere effettuare un confronto tra i risultati ottenuti ed, eventualmente, avviare ulteriori verifiche al fine di potere, se necessario, riconsiderare i dati presenti attualmente all'interno dell'inventario regionale.

Nell'ambito di verifiche sull'inventario effettuate precedentemente è, inoltre, emersa la necessità di approfondire un ulteriore settore fonte di emissione di polveri primarie non trascurabile vista anche la difficile controllabilità del fenomeno di combustione ad esso connesso: la combustione dei residui agricoli. Vista la complessità e potenziale rilevanza in termini emissivi di tale settore e vista l'ampiezza della superficie agricola utilizzata (SAU) del territorio dei comuni della piana Prato – Pistoia dedicata ai seminativi e alle coltivazioni legnose agrarie (circa il 50% della SAU complessiva associata ai territori provinciali di Prato e Pistoia<sup>22</sup>), al fine di avere un quadro il più possibile completo e attendibile delle sorgenti di emissione presenti all'interno della piana oggetto della presente indagine, si è ritenuto opportuno approfondire l'argomento inerente le emissioni in atmosfera derivanti da tale attività.

Di seguito si riporta una sintesi dello studio effettuato e i risultati ottenuti; in allegato ([allegato 6](#) e [allegato 7](#)) vengono riportate le relazioni complete relative a tali approfondimenti.

---

<sup>22</sup> Fonte: ISTAT – V Censimento generale dell'agricoltura (tavola 4.11)

## **5.1 La combustione della legna nel settore residenziale**

Si riportano brevemente di seguito i risultati ottenuti dall'approfondimento effettuato in relazione alle emissioni potenzialmente derivanti dalle attività di combustione della legna in ambito residenziale.

Nell'inventario regionale i valori di consumo di biomassa legnosa a livello regionale sono risultati essere molto inferiori rispetto a quelli stimati sulla base dei dati dalla metodologia adottata in alternativa a quella dell'inventario; per quanto riguarda, invece, il consumo di biomassa legnosa associato ai comuni della zona Prato – Pistoia si è osservato che per alcuni comuni (Prato, Carmignano, Serravalle Pistoiese) il dato IRSE è paragonabile al dato calcolato in base alla metodologia alternativa mentre per gli altri (Carmignano, Montale, Serravalle P., Montemurlo, Poggio a C., Pistoia) il dato presente nell'inventario è molto superiore (Aglia e Quarrata) o molto inferiore (Montale, Montemurlo, Poggio a Caiano, Pistoia).

La differenza riscontrata nella definizione delle tonnellate di legna utilizzate per la combustione in ambito domestico tramite le due metodologie (per l'intera piana si può osservare una consistente discrepanza - il dato IRSE 2007 è pari a circa la metà di quello stimato con la metodologia alternativa) è dovuta ai diversi criteri di approcci per la stima del consumo di legna, uno di tipo, potremmo dire, top – down e uno di tipo bottom - up<sup>23</sup>; mentre nel caso della metodologia alternativa, infatti, il dato “consumo di legna come combustibile” viene ricavato da un'indagine diretta tramite interviste mirate ai consumatori (tipo bottom-up), nel caso dell'inventario regionale i dati utilizzati per la stima della legna da ardere derivano da un'indagine ISTAT effettuata a livello regionale e vengono poi disaggregati a livello provinciale sulla base del numero di abitazioni distinte per tipo di combustibile che alimenta l'impianto di riscaldamento ricavate dal 14° Censimento della popolazione e delle abitazioni 2001 e, quindi, a livello comunale utilizzando, presumibilmente, il dato relativo alla popolazione presente in ciascun territorio comunale, fatta eccezione per i comuni di Livorno, Firenze e Prato per i quali vengono forniti da ISTAT i dati relativi al numero di abitazioni distinte per tipo di combustibile che alimenta l'impianto di riscaldamento.

Dal confronto tra i fattori di emissione di PM10 e PM2,5 utilizzati nella metodologia alternativa e nell'I.R.S.E. 2007 non emergono differenze rilevanti, in particolare per i fattori di emissione relativi alla combustione di legna in caminetto aperto. Differenze maggiori, seppur sempre di entità ridotta, emergono tra i fattori utilizzati per l'attività di combustione della legna con stufe tradizionali

---

<sup>23</sup> Con il termine "top-down" si intende una metodologia che parte dai dati calcolati a livello regionale, disaggregati poi spazialmente a vari livelli - ad esempio quello provinciale e quello comunale - attraverso opportuni indicatori. Con il termine "bottom-up", invece, si intende una metodologia che parte da dati locali - ad es. a livello comunale o addirittura dell'oggetto specifico dell'emissione (in questo caso quella parte di popolazione che usa a livello domestico la biomassa legnosa come combustibile) - e con queste informazioni stima i dati di interesse direttamente a livello locale.

Le differenze riscontrate, perciò, tra i valori di emissione di PM10 e PM2,5 presenti nell'inventario regionale e quelli calcolati con la metodologia alternativa (vedi tabella successiva) sembrerebbero essere in gran parte imputabili alle differenze riscontrate tra i valori degli indicatori di attività utilizzati (consumi di legna).

Regione Toscana		
	PM10 (t/anno)	PM2,5 (t/anno)
<b>IRSE 2007 (anno 2007)</b>		
Totali	3.131	3.107
<b>Metodologia 1 (anno 2006)</b>		
Totali	12.970	12.629
<b>IRSE 2007 (anno 2007)</b>		
Caminetti aperti	2.081	2.057
Stufe tradizionali	980	980
<b>Metodologia 1 (anno 2006)<sup>1</sup></b>		
Caminetti aperti	6.209	6.061
Stufe tradizionali	3.536	3.443

1. Fattori di emissione Corinair Guidebook 2013

Tabella 5.1.1. Valori regionali di emissione di PM10 e PM2,5

Comuni zona Prato - Pistoia				
	Metodologia 1 (anno 2006)	IRSE 2007 (anno 2007)	Metodologia 1 (anno 2006)	IRSE 2007 (anno 2007)
	PM10 (t/anno)		PM2,5 (t/anno)	
Agliana	1,6	3,94	1,6	1,86
Prato	29	22,86	28	10,77
Carmignano	13	6,19	12	2,92
Quarrata	10	14,80	10	6,97
<b>Montale</b>	<b>40</b>	<b>9,13</b>	<b>39</b>	<b>4,30</b>
Serravalle Pistoiese	13	6,91	13	3,25
Montemurlo	17	5,08	16	2,39
Poggio a Caiano	29	2,15	28	1,01
Pistoia	113	45,12	110	21,25
<i>Totale combustione legna</i>	<i>265,6</i>	<i>113,13</i>	<i>257,6</i>	<i>53,28</i>

<i>COMUNI ZONA PO-PT Incidenza combustione legna su emissioni totali</i>	20%	10%	35%	10%
<i>COMUNE MONTALE Incidenza combustione legna su emissioni totali</i>	79%	47%	75%	25%

*Tabella 5.1.2. Valori comunali di emissione di PM10 e PM2,5\_zona PO-PT*

Vista la rilevanza dell'impatto emissivo della combustione domestica della legna sulle emissioni totali di polveri sia a livello regionale (circa 1/4 delle emissioni regionali di PM10) che a livello locale della piana Prato – Pistoia (circa 1/5 delle emissioni locali di PM10) emersa dall'analisi dei dati dell'I.R.S.E. 2007, sarebbe opportuno effettuare un approfondimento del settore della combustione domestica di biomassa legnosa valutando, ad esempio, l'ipotesi di utilizzare la stessa metodologia (di tipo bottom – up) impiegata nello studio APAT – ARPA Lombardia a livello di Regione Toscana come già fatto dalle Regioni Lombardia, Emilia – Romagna e Lazio.

## **5.2 La combustione incontrollata dei residui agricoli**

Si riportano brevemente di seguito i risultati ottenuti dall'approfondimento effettuato in relazione alle emissioni potenzialmente derivanti dalle attività di combustione incontrollata dei residui agricoli.

### **La combustione delle stoppie**

I valori di emissione, sia per il PM10 che per il PM2,5, presenti all'interno dell'inventario regionale per ciascuna provincia risultano essere circa la metà di quelli ottenuti dall'applicazione della metodologia sviluppata nel presente documento nel caso in cui questi ultimi siano calcolati alle condizioni "dell'ipotesi di minima" (vedi [allegato 7](#)) e circa il 20% nel caso dell'applicazione delle condizioni "dell'ipotesi di massima" (vedi [allegato 7](#)); anche per i comuni della piana compresa tra Prato e Pistoia emerge una differenza di emissione variabile tra il 10 e il 30%.

Tali differenze sembrano risiedere nella differenza riscontrata tra i valori degli indicatori di attività adottati dalle due metodologie.

In termini di incidenza delle emissioni di polveri da attività di combustione dei residui agricoli in campo rispetto alle emissioni derivanti da tutte le fonti presenti sul territorio si osserva che, pur rimanendo un apporto relativamente ridotto, rispetto a quanto emerge dall'inventario regionale il contributo della combustione di stoppie aumenta in modo significativo, soprattutto per alcune province e per la maggior parte dei comuni della piana:

	Combustione stoppie/totale IRSE 2007		
Province	IPOTESI DI MASSIMA	IPOTESI DI MINIMA	IRSE 2007
Massa-Carrara	1%	0%	0%
Lucca	1%	1%	0%
Pistoia	1%	1%	0%
Firenze	2%	1%	0%
Livorno	3%	2%	1%
Pisa	11%	8%	2%
Arezzo	3%	1%	1%
Siena	13%	8%	3%
Grosseto	9%	5%	4%
Prato	1%	1%	0%
<b>TOSCANA</b>	<b>5%</b>	<b>3%</b>	<b>1%</b>

Tabella 5.1.1.1. Incidenza attività di combustione stoppie sulle emissioni provinciali di PM10

	Combustione stoppie/totale IRSE 2007		
Comuni	IPOTESI DI MASSIMA	IPOTESI DI MINIMA	IRSE 2007
Agliana	0,06%	0,04%	0,01%
Montale	1,68%	0,94%	0,20%
Pistoia	1,05%	0,58%	0,06%
Quarrata	1,69%	0,94%	0,31%
Montemurlo	1,53%	0,89%	0,21%
Prato	1,67%	0,97%	0,29%
<b>PIANA PO-PT</b>	<b>0,78%</b>	<b>0,45%</b>	<b>0,00%</b>

Tabella 5.1.1.2. Incidenza attività di combustione stoppie sulle emissioni comunali di PM10

### La combustione dei residui agricoli

Non è possibile effettuare un confronto con i dati dell'inventario regionale delle sorgenti di emissione in quanto tale attività non viene trattata all'interno dell'inventario; viene, perciò, effettuato il confronto con il totale delle emissioni presente per le province e per i comuni della piana Prato – Pistoia nell'inventario. In termini di incidenza delle emissioni di polveri (PM10) da attività di incenerimento di residui agricoli rispetto alle emissioni derivanti da tutte le fonti presenti sul territorio si osserva che, pur rimanendo questo un apporto relativamente ridotto, risulta comunque essere un contributo non trascurabile:

Province	Incenerimento rifiuti agricoli/totale IRSE 2007	
	IPOTESI DI MASSIMA	IPOTESI DI MINIMA
Massa-Carrara	2%	0%
Lucca	2%	0%
Pistoia	7%	1%
Firenze	11%	2%
Livorno	4%	1%
Pisa	9%	2%
Arezzo	12%	2%
Siena	18%	2%
Grosseto	17%	3%
Prato	6%	1%
<b>TOSCANA</b>	<b>9%</b>	<b>1%</b>

Tabella 5.1.1.3. Incidenza attività di combustione residui agricoli sulle emissioni provinciali di PM10

Comuni	Incenerimento rifiuti agricoli/totale IRSE 2007	
	IPOTESI DI MASSIMA	IPOTESI DI MINIMA
Agliana	0,15%	0,03%
Montale	13,48%	3,00%
Pistoia	10,45%	2,32%
Quarrata	14,65%	3,26%
Montemurlo	10,71%	2,10%
Prato	1,54%	0,30%
<b>PIANA PO-PT</b>	<b>4,51%</b>	<b>0,99%</b>

Tabella 5.1.1.4. Incidenza attività di combustione residui agricoli sulle emissioni comunali di PM10

### **5.3 Sintesi dei risultati ottenuti**

Per la combustione domestica della legna è emerso che:

- A livello regionale i valori di emissione di PM10 e PM2,5 del riscaldamento domestico riportati nell'inventario regionale sono molto inferiori rispetto a quelli stimati sulla base della metodologia adottata in alternativa. Per i comuni della zona Prato – Pistoia, invece, il consumo di biomassa legnosa rilevato con la metodologia alternativa risulta essere paragonabile al dato IRSE per alcuni comuni, inferiore o superiore per altri. I valori di emissione di PM10 e PM2,5 calcolati in base alla metodologia alternativa sono in media superiori a quelli presenti nell'inventario regionale di circa il 40%.



- Secondo quanto riportato in IRSE 2007, circa il 50% delle emissioni di PM10 del Comune di Montale proviene dalla combustione domestica di combustibili vegetali in caminetti e stufe tradizionali; dai risultati dell'approfondimento risulta, invece, che l'incidenza sulle emissioni totali di PM10 sia circa l'80%.

Per la combustione incontrollata di residui agricoli e delle stoppie è emerso che:

- A livello regionale i valori di emissione di PM10 e PM2,5 presenti all'interno dell'inventario regionale risultano essere inferiori a quelli ottenuti dall'applicazione della metodologia alternativa; del 50% o del 20% nel caso di "ipotesi di minima" o di "ipotesi di massima".

Anche per i comuni della zona Prato – Pistoia emerge una differenza tra i valori di emissione variabile tra il 10 e il 30%.

- A livello regionale, i valori di emissione di PM10 e PM2,5 calcolati in base alla metodologia alternativa rappresentano in media il 5% o l'3% (l'1% secondo quanto riportato nell'IRSE 2007) dei livelli emissivi presenti nell'inventario nel caso di "ipotesi di minima" o di "ipotesi di massima" mentre per i comuni della zona Prato-Pistoia rappresentano in media lo 0,78% o lo 0,45% dei livelli emissivi inseriti nell'inventario regionale per gli stessi comuni (lo 0,00% secondo quanto riportato nell'IRSE 2007).

- Nell'inventario regionale non sono presenti le emissioni derivanti dalla combustione dei residui agricoli. A livello regionale, i valori di emissione di PM10 e PM2,5 calcolati in base alla metodologia alternativa rappresentano in media il 9% o l'1% dei livelli emissivi presenti nell'inventario nel caso di "ipotesi di minima" o di "ipotesi di massima" mentre per i comuni della zona Prato-Pistoia rappresentano in media il 4,5% o l'1% dei livelli emissivi inseriti nell'inventario regionale per gli stessi comuni.

## **6. LA RAPPRESENTATIVITÀ SPAZIALE DEI DATI DELLA STAZIONE DI PT-MONTALE E LE SORGENTI DI EMISSIONE CHE CONTRIBUISCONO A DETERMINARE I VALORI DI CONCENTRAZIONE DI PM10 RILEVATI**

Durante il presente studio sono state effettuate 6 campagne indicative per il campionamento di PM10 ai sensi del D.Lgs 155/10 per un totale di 24 periodi di campionamento di 15 giorni ciascuno. Le sei postazioni sono state identificate nelle province di Pistoia e Prato tramite l'applicazione di un indice statistico  $\beta$ , utilizzato per la valutazione della rappresentatività delle stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria. I risultati delle 24 campagne di monitoraggio effettuate confermano le ipotesi dedotte da informazioni emerse dagli studi analizzati e dalle elaborazioni dei dati di qualità dell'aria e di emissione disponibili antecedentemente alla realizzazione delle campagne di campionamento. L'anomalia della stazione di Montale relativa ai dati di PM10 monitorati appare imputabile principalmente a due cause: la prima strettamente legata alla tipologia delle fonti di emissione locali, la seconda alle caratteristiche meteorologiche del sito in cui essa è collocata per cui la stazione di Montale sembrerebbe risiedere in un sito che presenta caratteristiche sfavorevoli alla dispersione degli inquinanti<sup>24</sup>.

I dati di concentrazione di PM10 rilevati presso i siti delle campagne di monitoraggio con caratteristiche morfologiche ed emissive simili, infatti, presentano andamenti analoghi a quelli della stazione di Montale mentre i siti di monitoraggio delle campagne e delle stazioni di fondo della zona che si trovano in siti con caratteristiche morfologiche diverse presentano dati di concentrazione di PM10 generalmente inferiori, pur presentando, in alcuni casi, condizioni peggiori in termini emissivi (PT-Signorelli e PO-Roma).

In base ai risultati delle campagne la stazione di Montale non rappresenta un'anomalia di livello strettamente locale, ma piuttosto i valori monitorati dalla stazione sono rappresentativi di tutta l'area pianeggiante compresa tra le aree urbane di Prato e Pistoia e, quindi, la classificazione ad essa attribuita di stazione di monitoraggio di tipo fondo appare corretta; la stazione di Montale, pur presentando risultati anomali rispetto a quelli che generalmente vengono associati ad una stazione di fondo di tipo rurale, sembra realmente rappresentare i livelli di qualità dell'aria riscontrabili nelle aree rurali della zona Prato - Pistoia. La classificazione di stazione rurale dovrà comunque essere verificata in quanto non risulta coerente con i criteri previsti dal D.lgs. 155/10 per le stazioni rurali.

---

24 Le ipotesi relative alla diffusività caratterizzante la piana compresa tra Prato e Pistoia non sono state dedotte da analisi dei dati meteorologici rilevati presso la stazione di PT-Montale ma con strumenti ad esse alternativi; tali dati, infatti, non sono più disponibili a partire dall'anno 2011 (la stazione meteo collocata presso la centralina di Montale è stata disattivata a fine anno 2010, in quanto le stazioni meteo non sono più in gestione da parte di ARPAT dal 2011). In base ad elaborazioni di ARPAT sui dati ante 2011 risulta che la stazione meteo sia influenzata molto localmente da ostacoli che deviano o bloccano il flusso del vento e che, quindi, i dati rilevati possano essere falsati; la distribuzione dei venti rilevata presso la stazione di PT - Montale presenta, infatti, direzionalità e frequenze concentrate nei quadranti E e N e mostra assenza di venti provenienti dal quadrante meridionale e valori residuali nel quadrante occidentale ("Calcolo dei campi di vento e variabili micrometeorologiche nella macroarea FI-PO-PT tramite Calmet ©Eartech inc." effettuato dal Settore Modellistica previsionale di ARPAT).

I dati di concentrazione di PM10 rilevati presso i siti delle campagne di monitoraggio con caratteristiche morfologiche ed emissive simili, tutti collocati in aree di tipo fondo della zona Prato - Pistoia, infatti, presentano andamenti analoghi a quelli della stazione di Montale e le serie di dati registrati nel corso delle campagne - ad eccezione di quelle relative a Montale/Via Vignolini e Prato/Brugnano - presentano una correlazione evidente con i valori rilevati nello stesso periodo presso la centralina di PT-Montale. In particolare, i risultati delle diverse analisi effettuate sui dati di monitoraggio collocano il sito di Montale-via Vignolini in una fascia di livello di concentrazione di PM10 inferiore che circonda la piana sul lato nord (insieme alla stazione di PT-Signorelli) e il sito di Prato-Brugnano in una fascia di concentrazione di PM10 con andamento molto simile a quello rilevato presso la stazione di PO-Roma che circonda la piana sul lato sud (insieme alla stazione di PO-Roma). I risultati dei monitoraggio confermano la dipendenza stagionale dei livelli di concentrazione, analogamente a quanto già noto nella stazione di Montale, e quindi la dipendenza dalle condizioni meteorologiche, oltre ad una variabilità significativa dei valori di concentrazione di PM10 al variare della quota di monitoraggio la quale si presenta, quindi, in tale zona come ulteriore parametro di influenza sui dati di qualità dell'aria registrati insieme a quello meteorologico e di pressione emissiva.

Ulteriori verifiche a conferma di questa interpretazione dei dati potranno essere effettuate attraverso il confronto con le elaborazioni realizzabili tramite l'applicazione della catena modellistica di simulazione del trasporto, dispersione, trasformazione chimica deposizione di inquinanti aeriformi ed aerosol in Toscana predisposta dal Consorzio LAMMA per la Regione Toscana; le deduzioni tratte dai risultati degli studi precedentemente effettuati, delle elaborazioni dei dati di qualità dell'aria e di emissione disponibili e delle campagne di monitoraggio realizzate potranno essere confrontate, quindi, con uno strumento appropriato per l'interpretazione dei fenomeni di diffusione e dispersione in atmosfera degli inquinanti.

Sui livelli di concentrazione di PM10 rilevati presso la centralina di Montale sembrerebbero, inoltre, influire specifiche fonti di emissione locali, sia come sorgenti di emissione di particolato di origine primaria che secondaria; in particolare un approfondimento effettuato nell'ambito del presente studio sulla rilevanza dell'impatto emissivo della combustione domestica della legna e della combustione incontrollata di residui agricoli sulle emissioni totali di polveri indica una significativa incidenza dell'attività di combustione domestica di combustibili solidi vegetali, solitamente caratteristiche di zone rurali, sui livelli di emissione di PM10 e PM2,5; in particolare, tale studio rileva un maggiore peso sulle emissioni totali dell'intera zona Prato-Pistoia (circa il 20%) e del comune di Montale (circa l'80%) rispetto a quanto emerge dall'inventario regionale delle sorgenti di emissione (circa il 10% nel primo caso, circa il 50% nel secondo).

Vista la rilevanza del contributo di tale settore al totale delle emissioni di PM10 e viste le differenze riscontrate tra quanto riportato nell'inventario regionale e quanto emerso dall'approfondimento

condotto in tale lavoro, sarebbe opportuno effettuare ulteriori indagini per avere informazioni dirette sulle fonti di emissione.

A livello di composizione del PM10 la quantificazione dell'effettivo contributo della combustione delle biomasse potrà essere effettuata non appena saranno disponibili i risultati dell'approfondimento finalizzato alla caratterizzazione chimica del particolato atmosferico in Toscana, relativo alla frazione dimensionale del PM10 (Delibera della Giunta regionale 623/2013: D.G.R. 1024/2010 - D.M. 16 ottobre 2006: Accordo tra Regione Toscana e Ministero dell'Ambiente: Attuazione della scheda di intervento n. 16 attraverso Accordi con l'Università degli Studi di Firenze - Dipartimento di Chimica e Dipartimento di Scienze della Terra per la continuazione del Progetto PATOS), unitamente ai dati della nuova stazione meteo attivata dal 2014 a Montale dalla Regione Toscana.