



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 β , 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

1. PROGETTO MONTALE: OBIETTIVI E ATTIVITÀ	2
1.1 Introduzione	2
1.2 Obiettivi e modalità di sviluppo	3
1.3 Fasi del progetto	4
2. GLI ELEMENTI CONOSCITIVI ACQUISITI E GLI STRUMENTI DI VERIFICA	5
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
3. STRATEGIA DELLE CAMPAGNE DI CAMPIONAMENTO 2012-2013	13
3.1 Applicazione dell'indice β come strumento integrativo	14
4. L'ANALISI DEI DATI DELLE CAMPAGNE DI MONITORAGGIO	21
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
5. I RISULTATI DEGLI APPROFONDIMENTI SULLE SORGENTI DI EMISSIONE: LA COMBUSTIONE DELLA LEGNA IN AMBITO DOMESTICO E LA COMBUSTIONE DEI RESIDUI AGRICOLI	70
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
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	77

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.

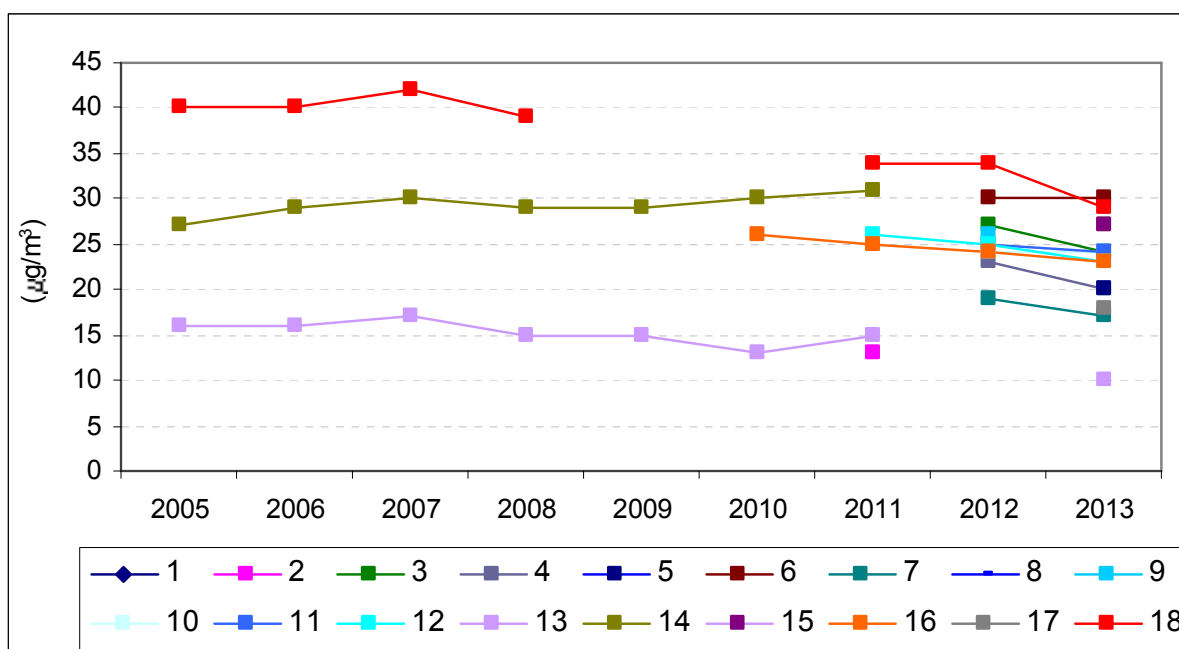


Figura .1.1.1. Valore della media annua di PM10 registrato presso le stazioni della rete regionale di tipo fondo tra gli anni 2005 e 2013

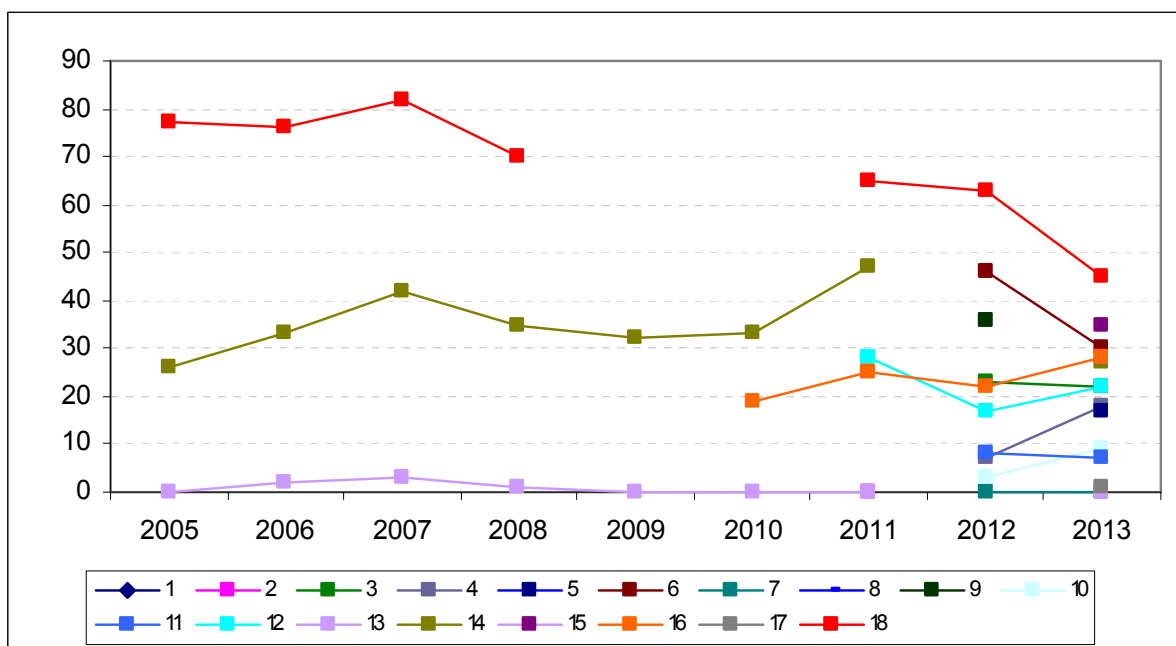


Figura 1.1.2. Numero di superamenti del valore limite giornaliero di PM10 registrato presso le stazioni della rete regionale di tipo fondo tra gli anni 2005 e 2013

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 β)

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 β))

- ✓ 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_x 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_x;
- ✓ Per la stazione di Montale si è osservata una forte correlazione tra i dati rilevati nel periodo invernale tra PM10 e NO_x 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 NO₂ 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'NO₂.

L'insieme delle informazioni emerse dall'analisi della correlazione tra PM10, NO e NO₂ 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 NO₂; essendo l'NO₂ 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_x 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 emissive 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/m³. 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_x 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_x 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_x 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_x 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_x 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 sinottica¹ (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.

¹ 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.

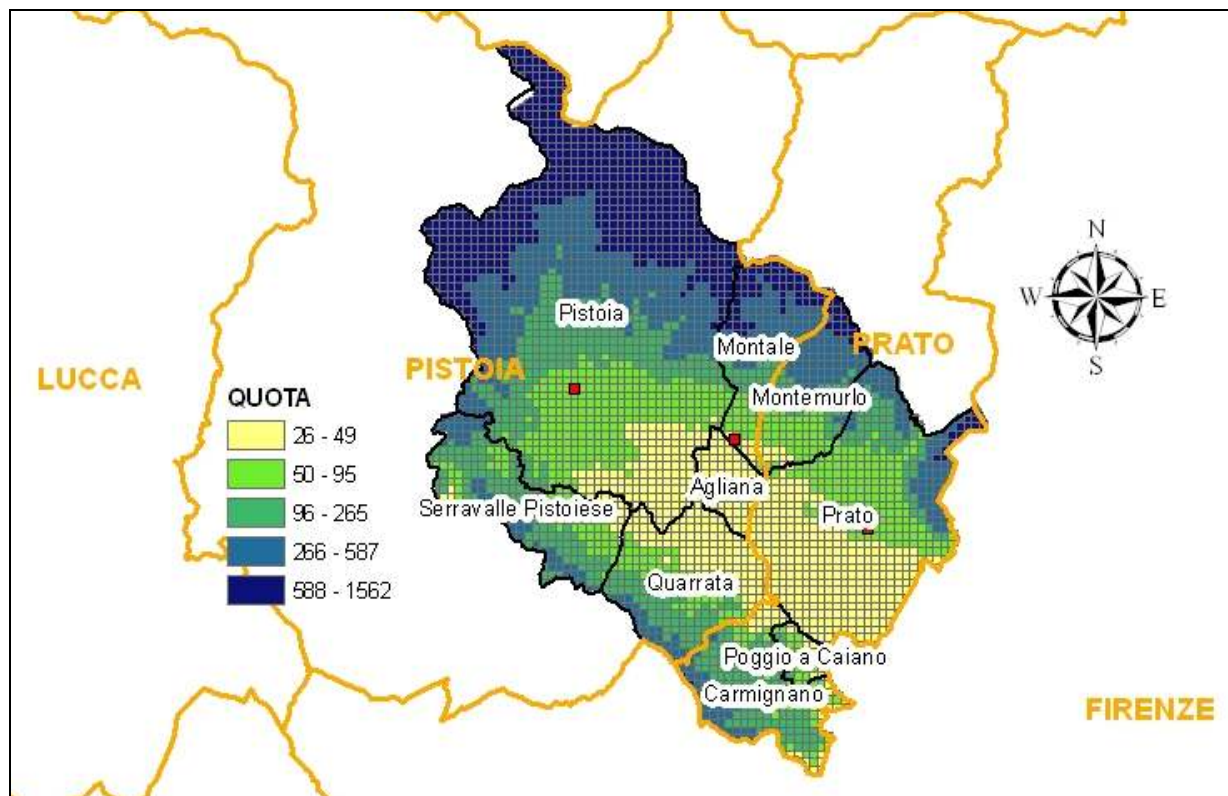


Figura 3.1. Zona Prato Pistoia. Quota s.l.m in metri.

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.

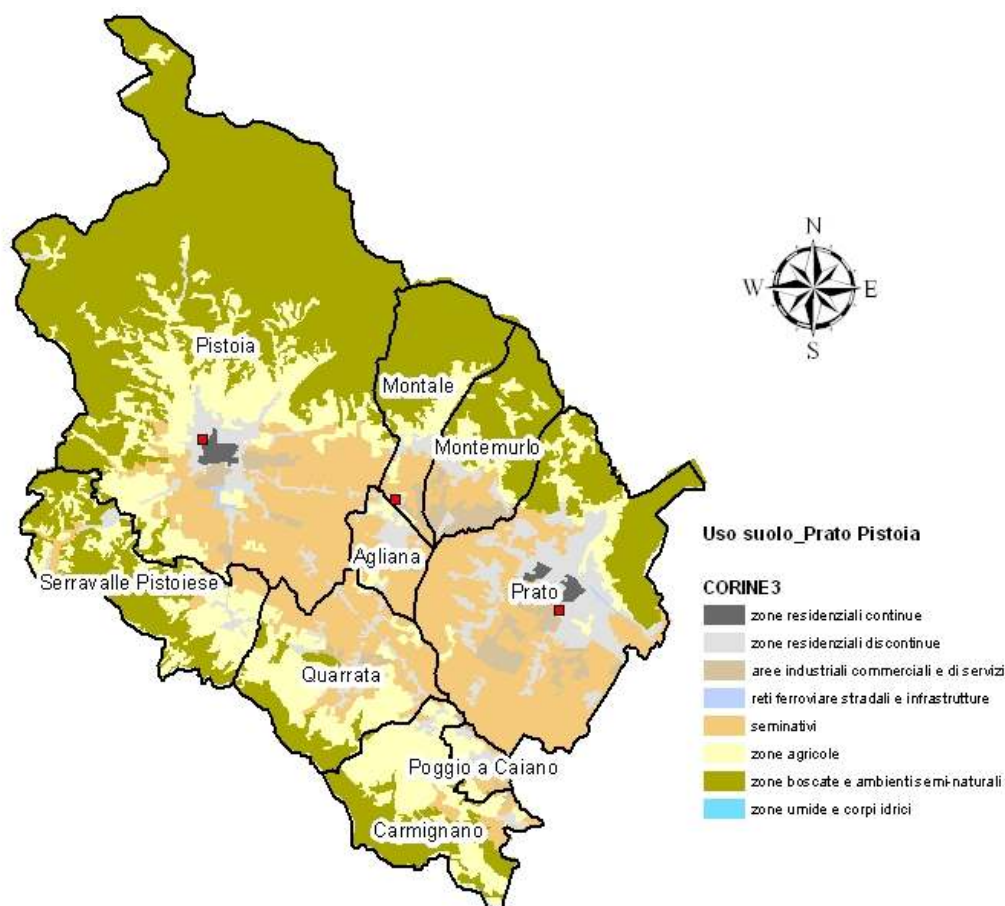


Figura 3.2. Zona Prato Pistoia. Uso del suolo

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 β come strumento integrativo

Come riportato al paragrafo 1.2.6 dell'Appendice, l'indice β , 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 β 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 β 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 β 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 β 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 β pari al 20%, corrispondente secondo la funzione di trend² 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 β	$\Delta\beta$ %
2 km	0,147	-
3 km	0,137	-7%
5 km	0,099	-33%

Tabella 3.1.1. Indice β 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 β 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.

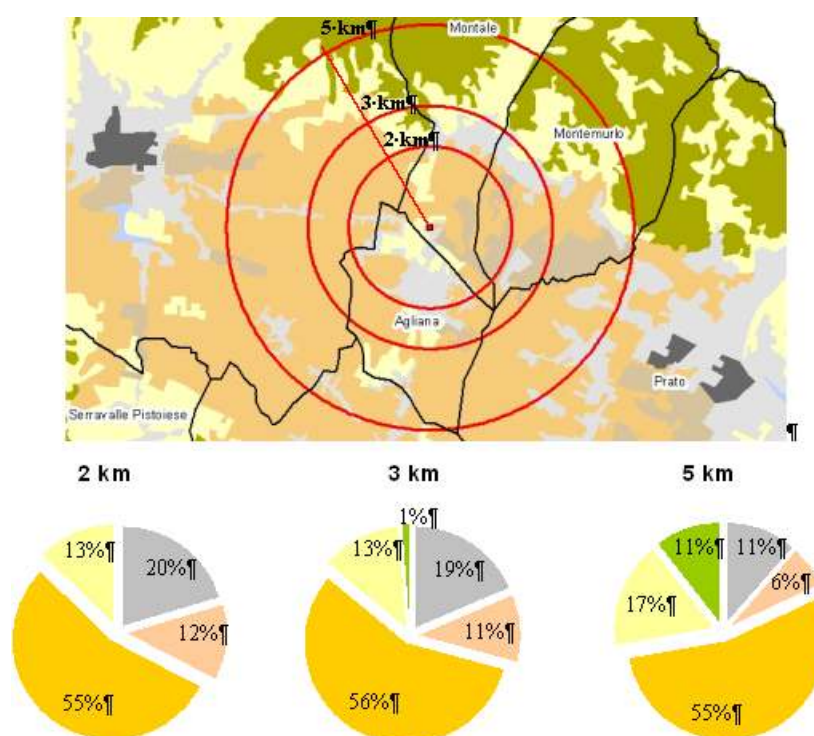


Figura 3.1.1. Uso del suolo e buffer per il calcolo di β : zoom sulla stazione di Montale

² Curva di correlazione tra β 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 β 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 β 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 β , 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.

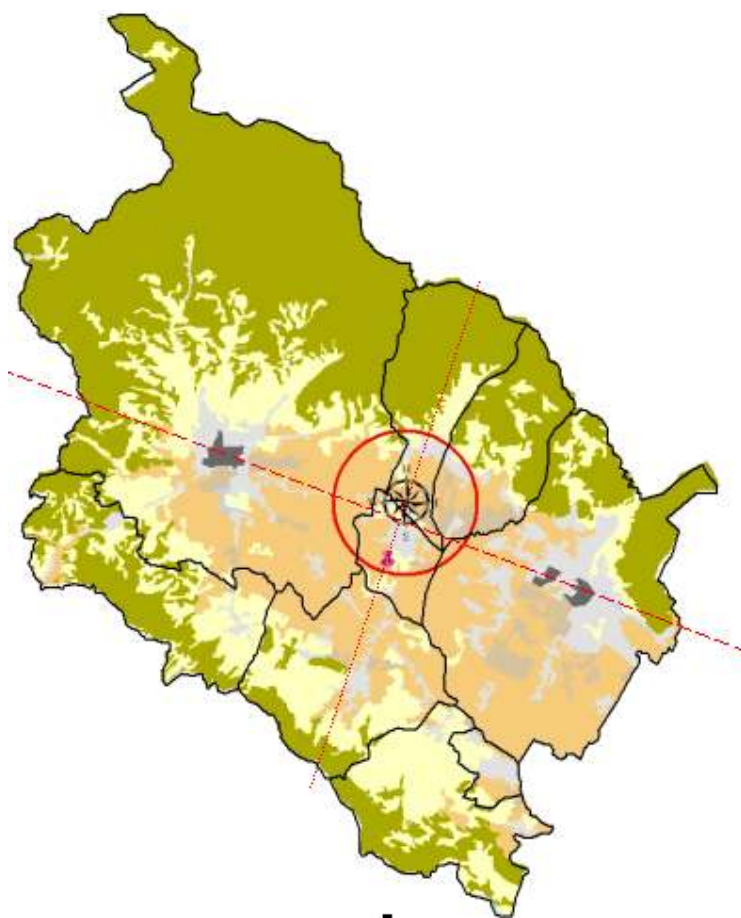


Figura 3.1.2. Individuazione del baricentro

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

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

Tabella 3.1.2. Indice β calcolato a 2, 3 e 5 km rispetto al baricentro

La variazione di β anche a 5 Km risulta inferiore al 20%.

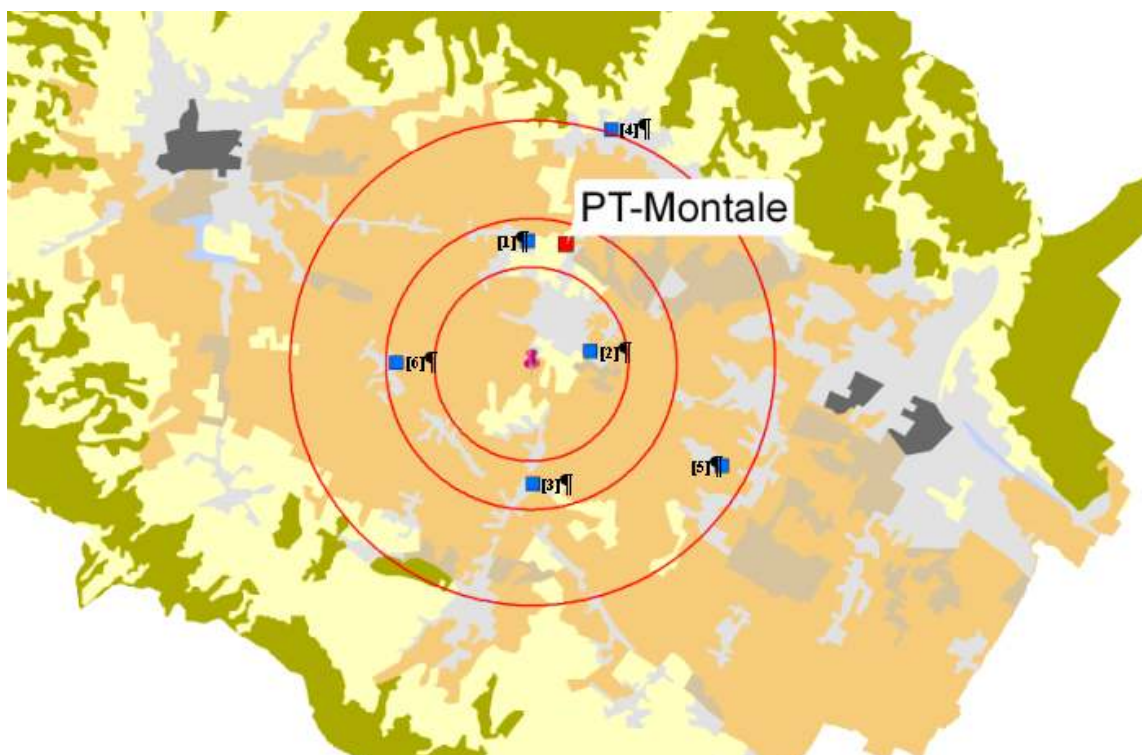


Figura 3.1.3. Ipotesi di area di rappresentatività della stazione di PT-Montale

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 ¹ 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.

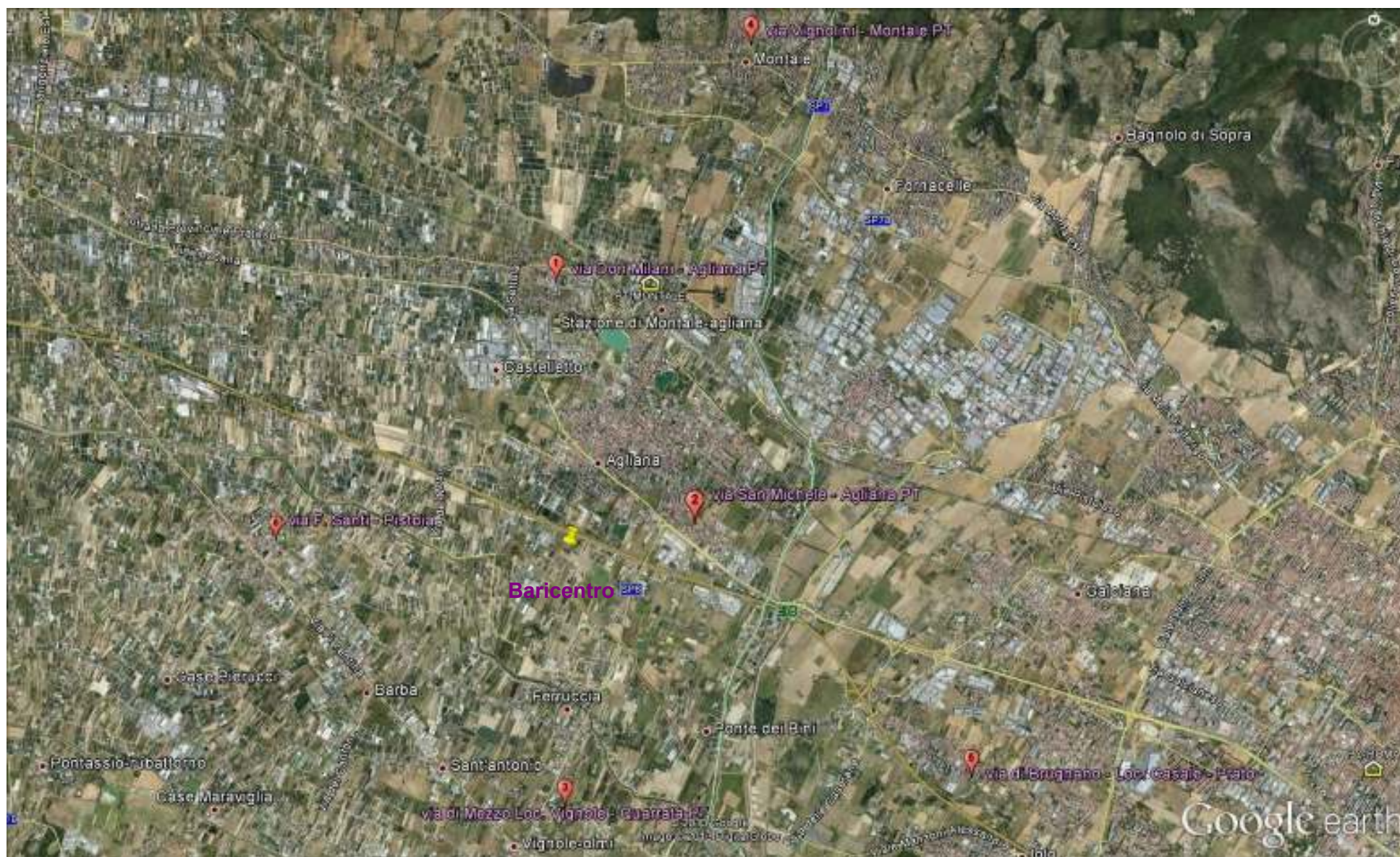
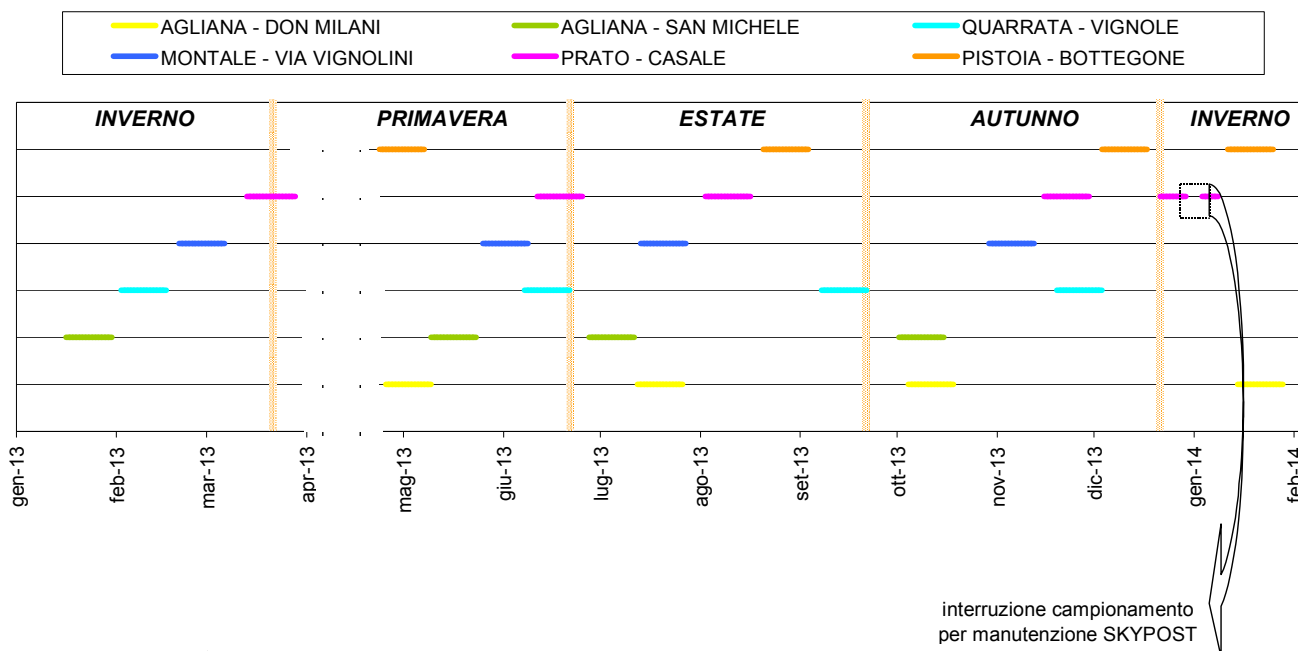


Figura 3.1.3. Individuazione su mappa dei siti di campionamento, del baricentro e della stazione di PT-Montale

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

	INVERNO	PRIMAVERA	ESTATE	AUTUNNO
AGLIANA DON MILANI [1]	14/01/14-28/01/14 ³	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
AGLIANA SAN MICHELE [2]	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
QUARRATA VIGNOLE [3]	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
MONTALE VIA VIGNOLINI [4]	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
PRATO BRUGNANO [5]	21/12/13-08/01/14 ⁴	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
PISTOIA BOTTEGONE [6]	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 indicative⁵. 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 indicative⁶ 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.

⁶ 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% ⁷
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% CONFORME ALL'OBIETTIVO DI QUALITÀ DEI DATI
Raccolta minima dei dati	90% ⁸	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%. CONFORME ALL'OBIETTIVO DI QUALITÀ DEI DATI
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%. CONFORME ALL'OBIETTIVO DI QUALITÀ DEI DATI

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

⁷ 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.

⁸ 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 diversi⁹ 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.

⁹ 5, 25, 75, 95 e 98 percentile

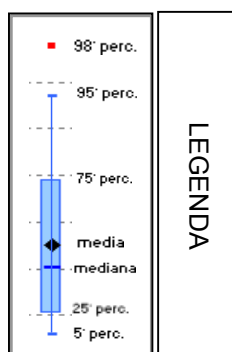
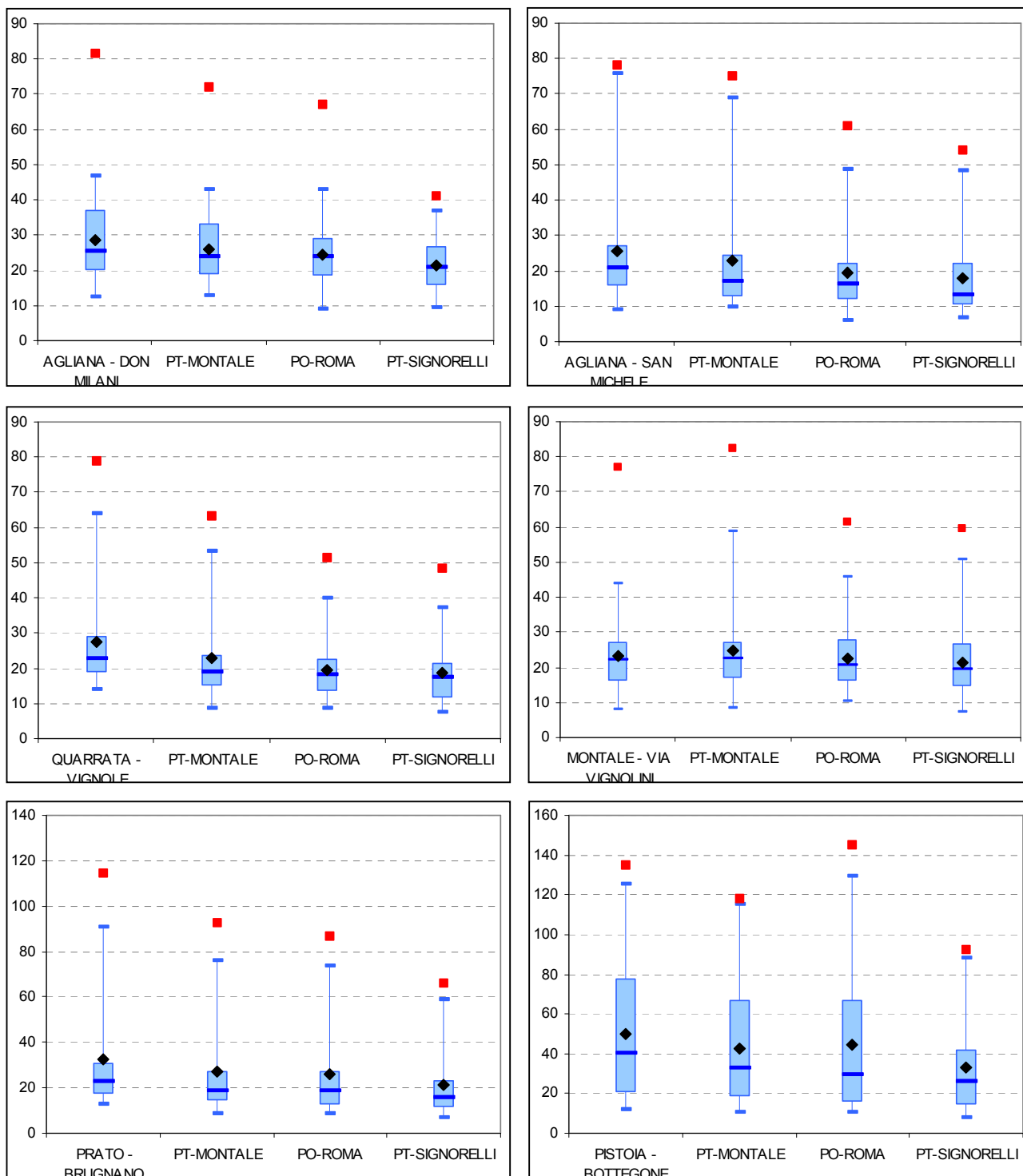


Figura 4.1.2.1. Distribuzione dei dati di concentrazione di PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) rilevati nel corso di ciascun periodo di campionamento

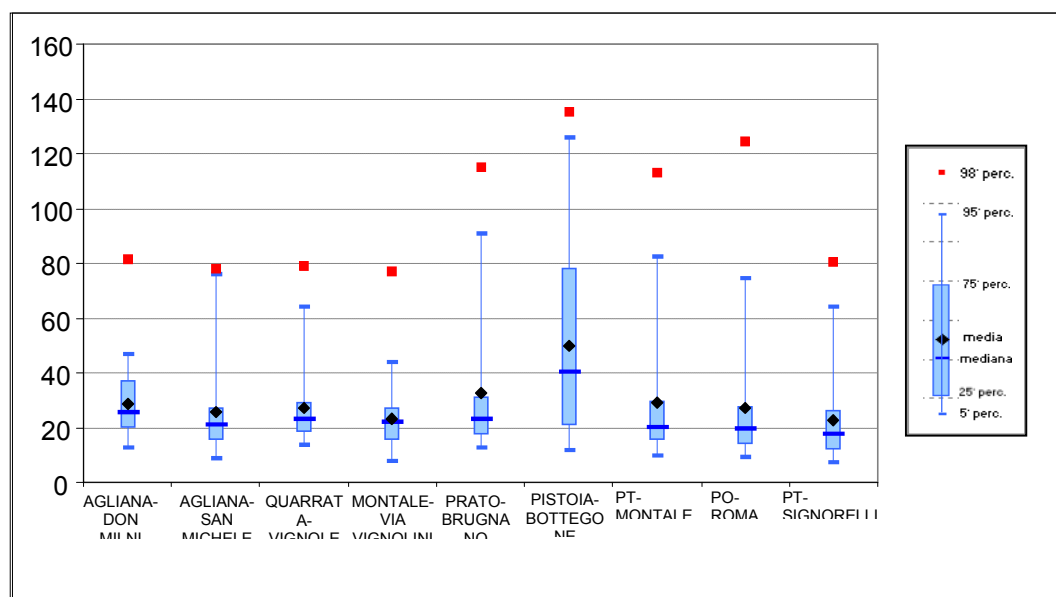


Figura 4.1.2.2. Distribuzione dei dati di concentrazione di PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) relativi alle campagne rispetto a quella dei dati rilevati presso le stazioni fisse di fondo della zona nel corso dell'anno

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)¹⁰ 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

¹⁰ 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 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ¹¹ nel caso delle stazioni fisse e 90,4° percentile nel caso delle campagne di monitoraggio¹²; 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
AGLIANA - DON MILANI				
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
AGLIANA – SAN MICHELE				
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
QUARRATA - VIGNOLE				
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

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

¹² 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).

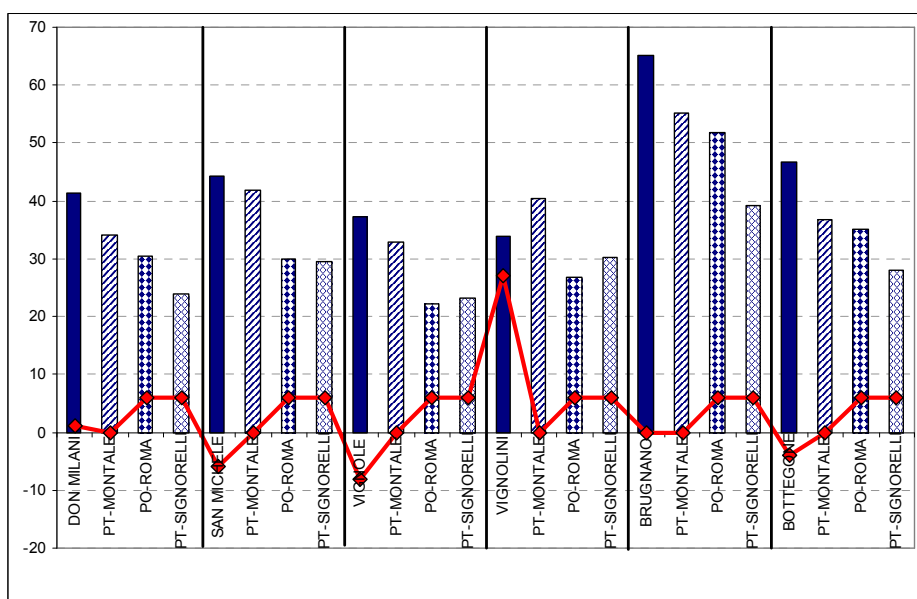
	INVERNO	PRIMAVERA	ESTATE	AUTUNNO
MONTALE - VIGNOLINI				
Media delle medie giornaliere	34	15	23	21
Minima media giornaliera	16	7	14	8
Massima media giornaliera	77	20	28	29
Media annuale	23			
n. giorni validi	15	15	15	15
% giorni validi	100%	100%	100%	100%
n. superamenti limite media giornaliera (90,4° perc.)	0	0	0	0
n. giorni con concentrazione > 50 µg/m ³	2	0	0	0
PRATO - BRUGNANO				
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 ³	11	0	0	1
PISTOIA - BOTTEGONE				
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 ³	4	0	0	15
PT-MONTALE				
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
PT-SIGNORELLI				
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
PO-ROMA				
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

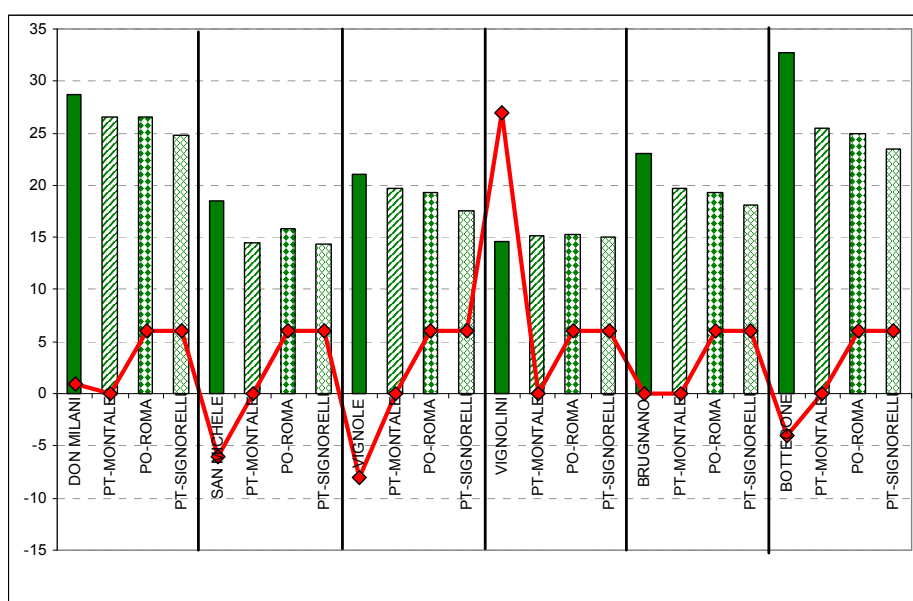
4.2.1.1 Le medie di periodo

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.

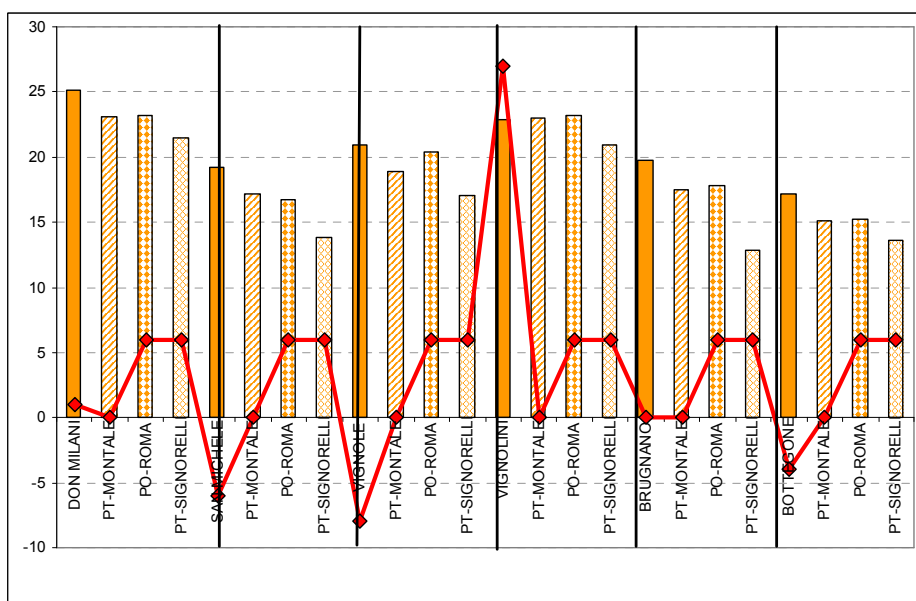
Di seguito vengono riportati i grafici con le medie di periodo rilevate presso ciascun punto di campionamento e le medie relative ai periodi di campionamento effettuati in ciascuna stagione dei dati di concentrazione di PM10 rilevati presso le centraline di fondo della zona Prato – Pistoia (PT-Signorelli, 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).



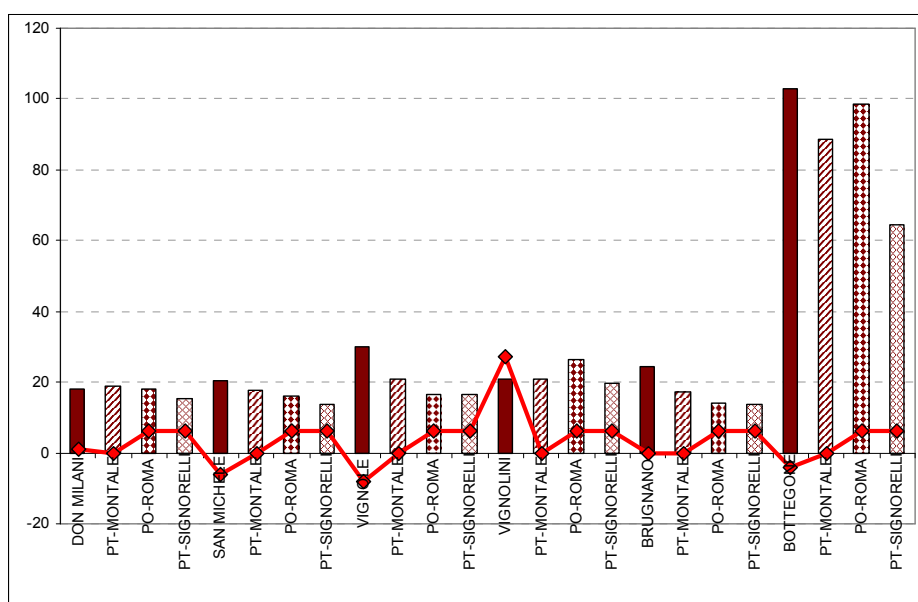
INVERNO



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.

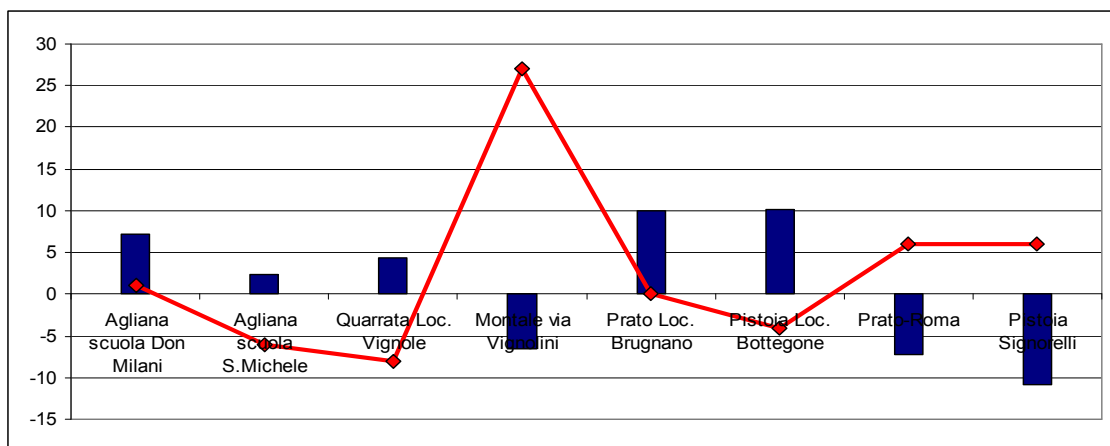
Dallo stesso grafico si può, inoltre, notare che i dati rilevati presso i siti di campionamento che presentano una quota simile o inferiore a quella di Montale sono mediamente superiori a quelli delle altre stazioni fisse mentre i dati relativi al sito di Via Vignolini, collocato ad una quota superiore 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.

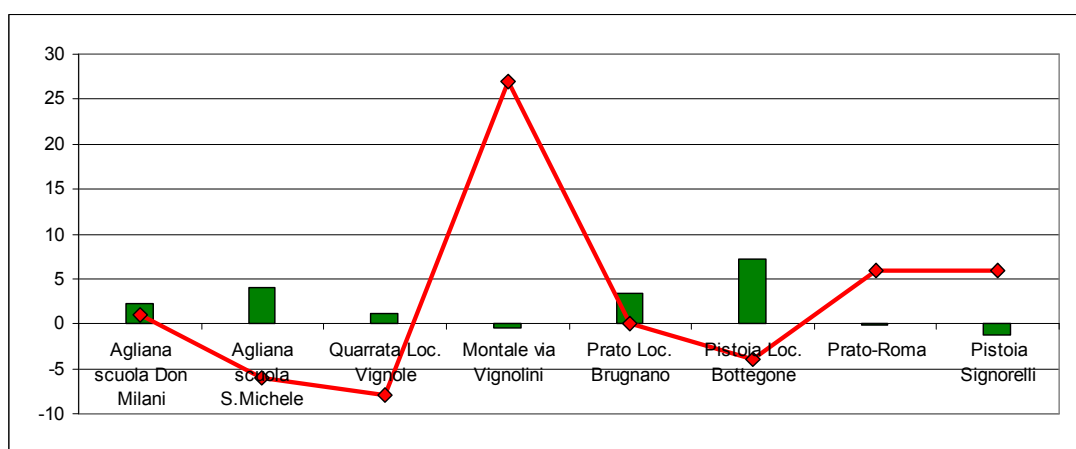
A tale proposito si fa presente, come già precedentemente detto, che nell'analisi dei dati di concentrazione rilevati si deve tenere conto della determinante influenza dei parametri meteorologici. I valori di concentrazione di PM₁₀ rilevati nelle stagioni meno fredde sono, infatti, influenzati da condizioni 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.

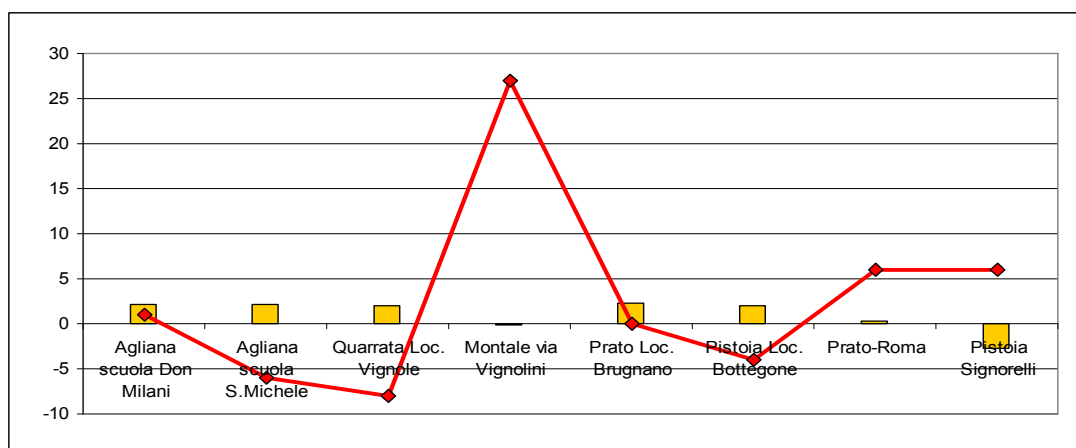
Al fine di potere meglio esaminare l'incidenza della quota di campionamento dei siti sul livello di concentrazione media rilevata viene riportato nel grafico seguente, per ciascuna campagna e per ciascuna stagione, il delta della concentrazione media rilevata nel periodo di campionamento rispetto a quella 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).



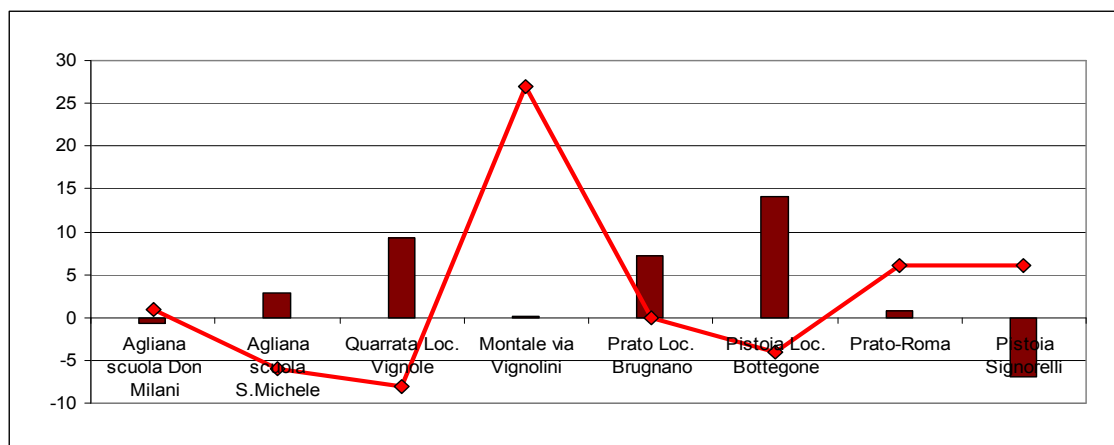
INVERNO



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.

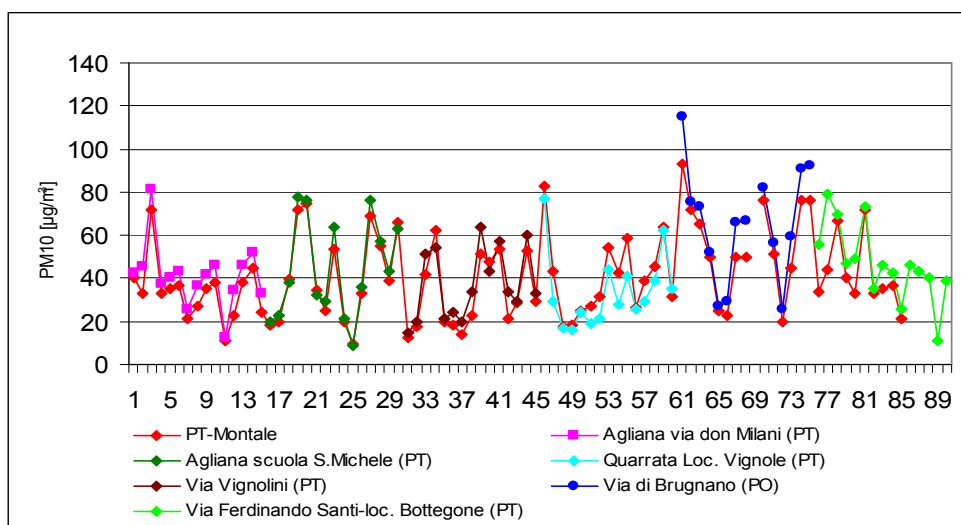
Gli stessi risultati si possono osservare, seppur in maniera più ridotta, relativamente ai campionamenti effettuati nel periodo primaverile e autunnale; per il periodo estivo, invece, le differenze tra le medie di periodo sono per lo più costanti (tutte pari ad un valore di circa $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 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

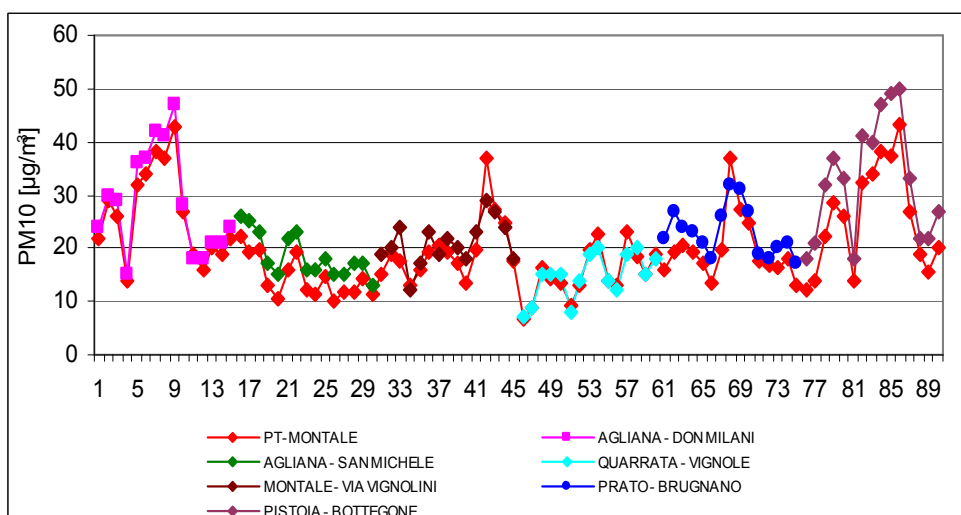
Al fine di verificare quanto emerso dalle precedenti analisi sono state effettuate ulteriori elaborazioni dei dati di concentrazione rilevati nel corso delle campagne di monitoraggio; nei grafici sottostanti sono riportati i valori di concentrazione media giornaliera di PM10 rilevati presso la

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.

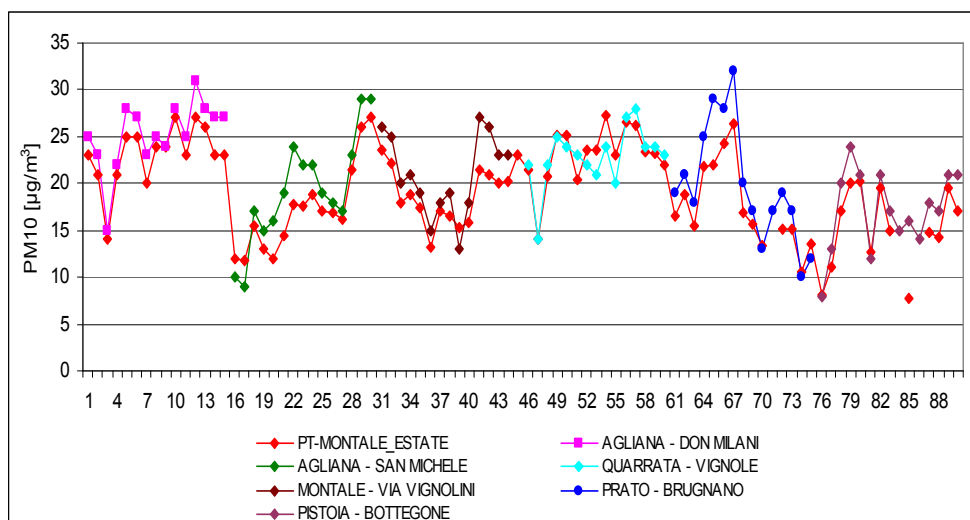
A livello del tutto generale si può notare una concordanza negli andamenti accompagnata, per alcuni siti, da un corrispondente accordo dei dati. In particolare si possono osservare scostamenti negativi in relazione alla sola campagna effettuata nel comune di Montale (in ciano). Gli scostamenti percentuali 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.



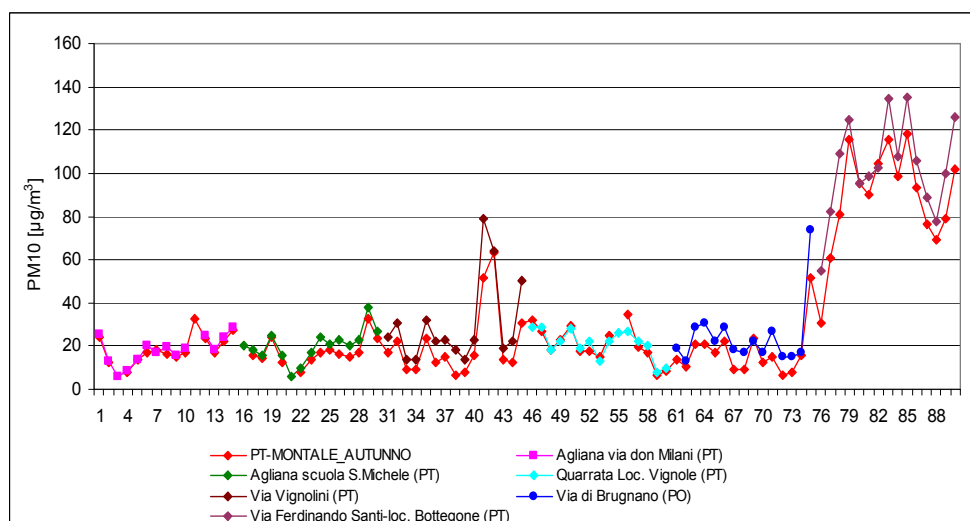
INVERNO



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

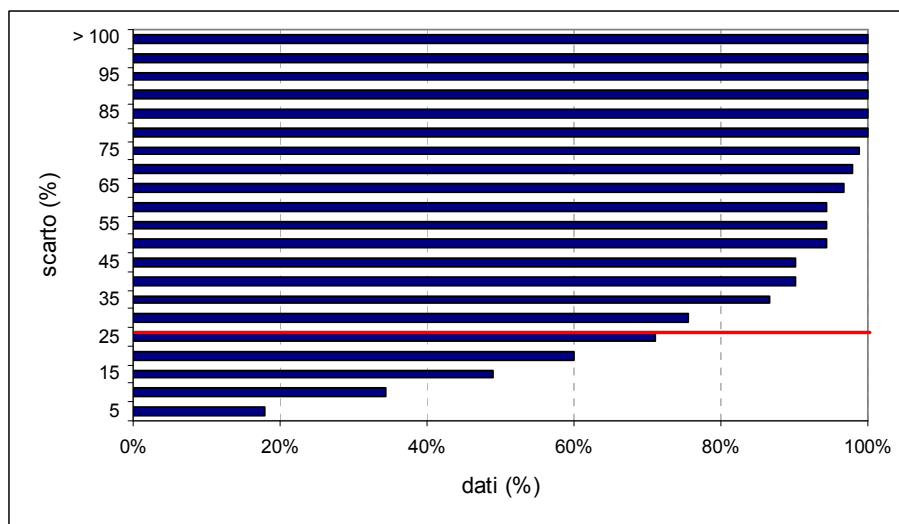
Per avere un'idea dell'entità dello scostamento, si può considerare come riferimento che la normativa ammette un'incertezza nelle misurazioni in continuo come obiettivo per la qualità dei dati per il PM10 pari al 25%¹³; nel caso, quindi, di differenze tra i dati rilevati nel corso delle campagne rispetto 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

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

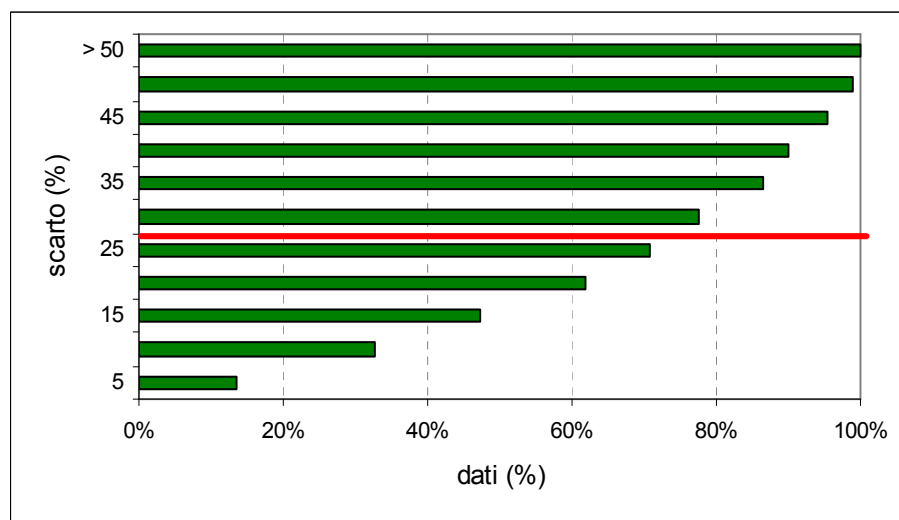
campagne che presentano uno scarto percentuale inferiore al 15% e al 25% rispetto ai valori rilevati nello stesso periodo presso la stazione di PT-Montale:

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

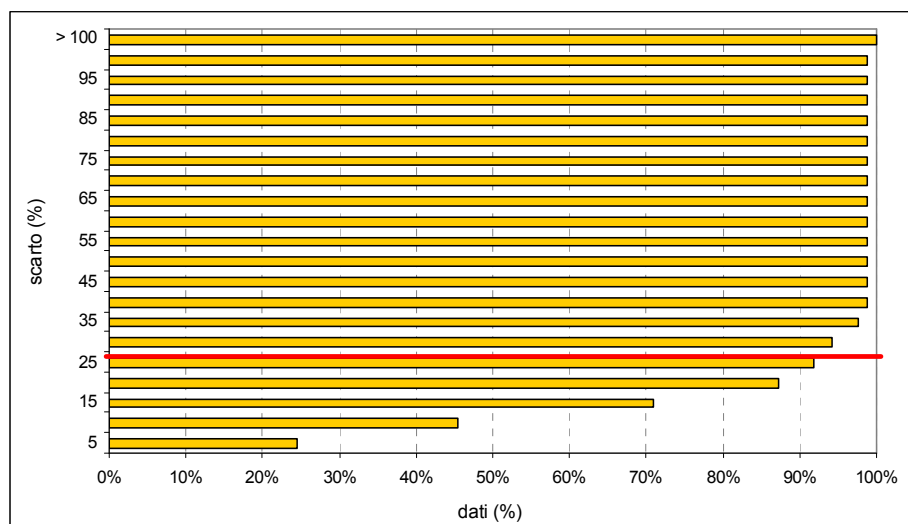
Tabella 4.2.1.3.1. Dati con scarto percentuale < 15% e < 25% rispetto a PT-Montale



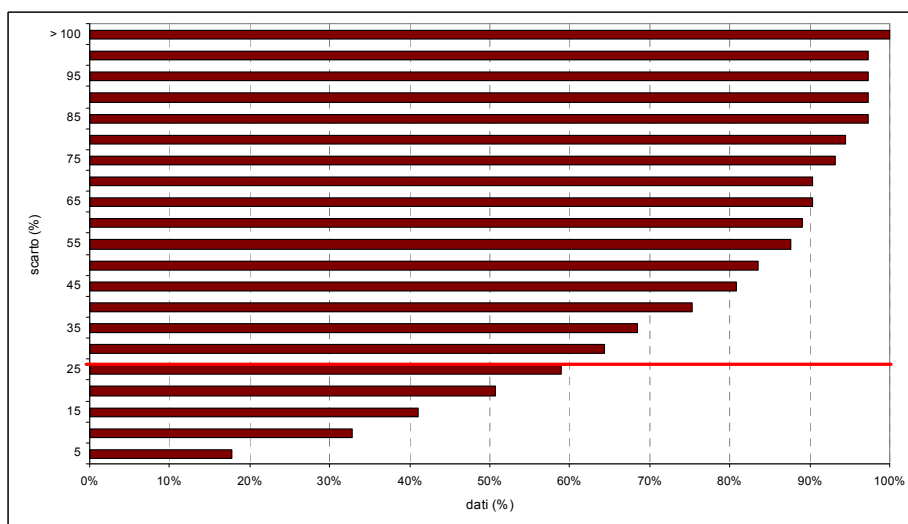
INVERNO



PRIMAVERA



ESTATE



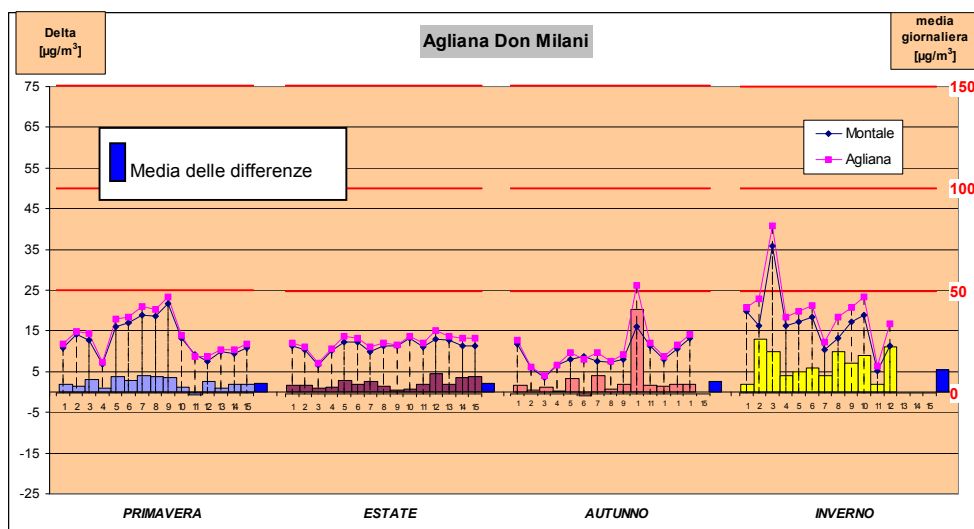
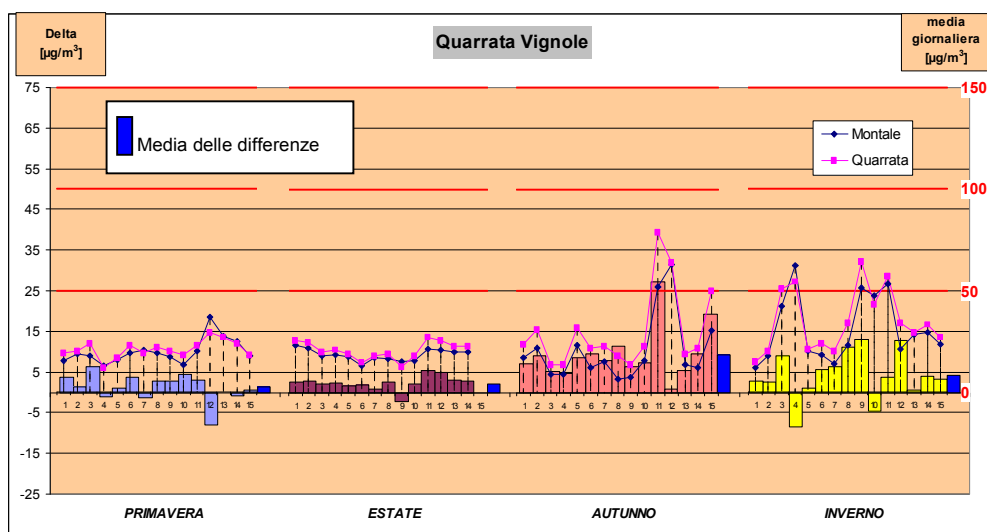
AUTUNNO

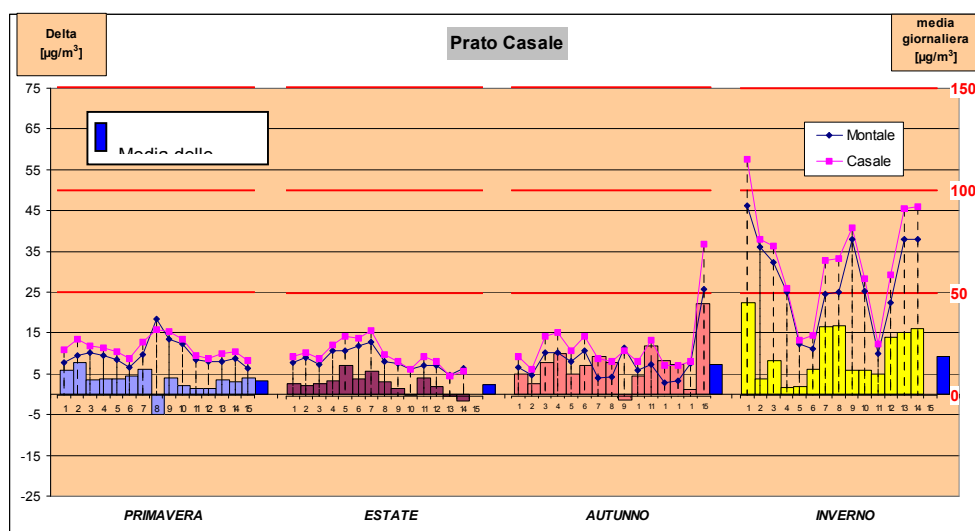
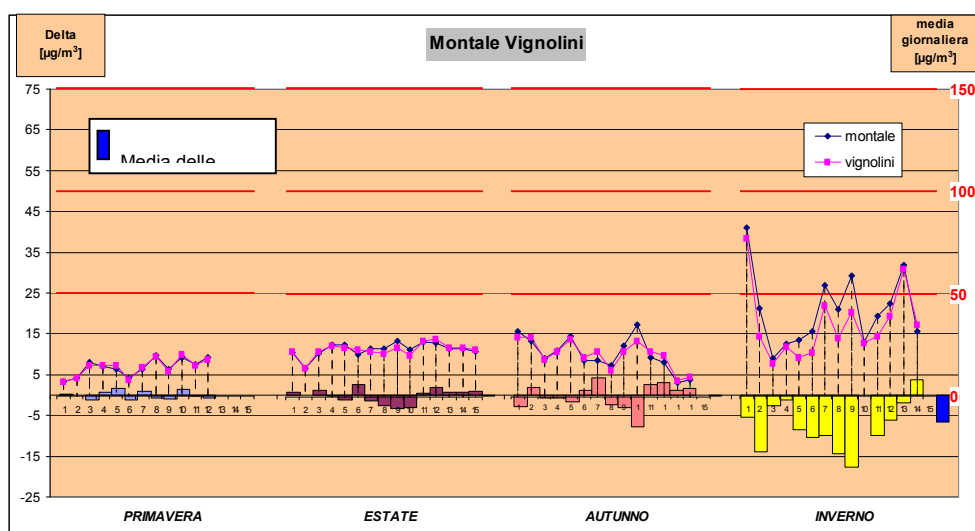
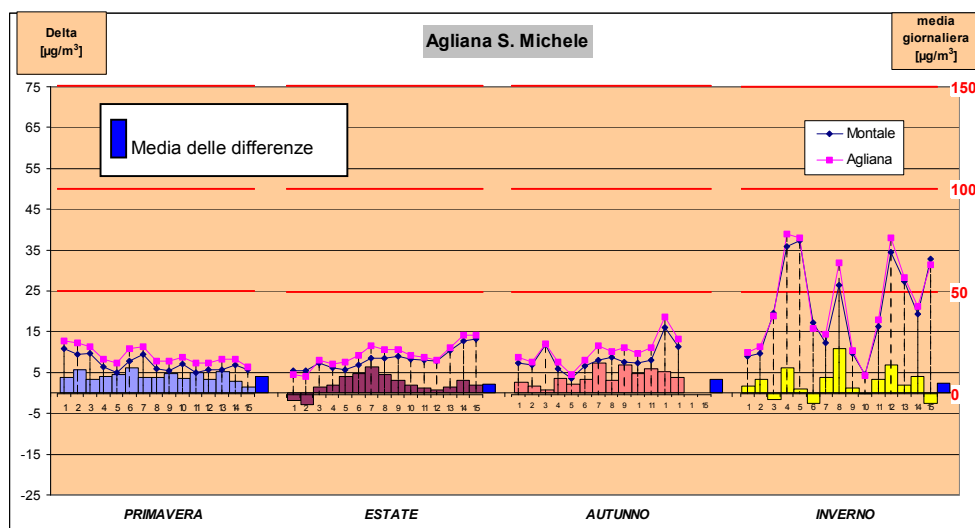
Figura 4.2.1.3.1. Scarto percentuale dati campagne rispetto a PT-Montale

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.





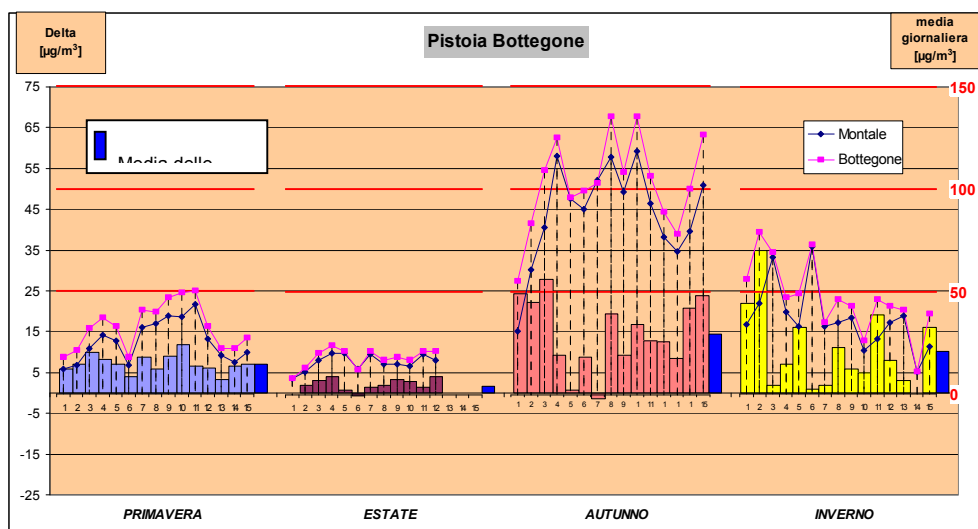


Figura 4.2.2.1 - Andamento delle differenze di concentrazione di PM10 osservate rispetto alla stazione di Montale nel periodo delle campagne

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.

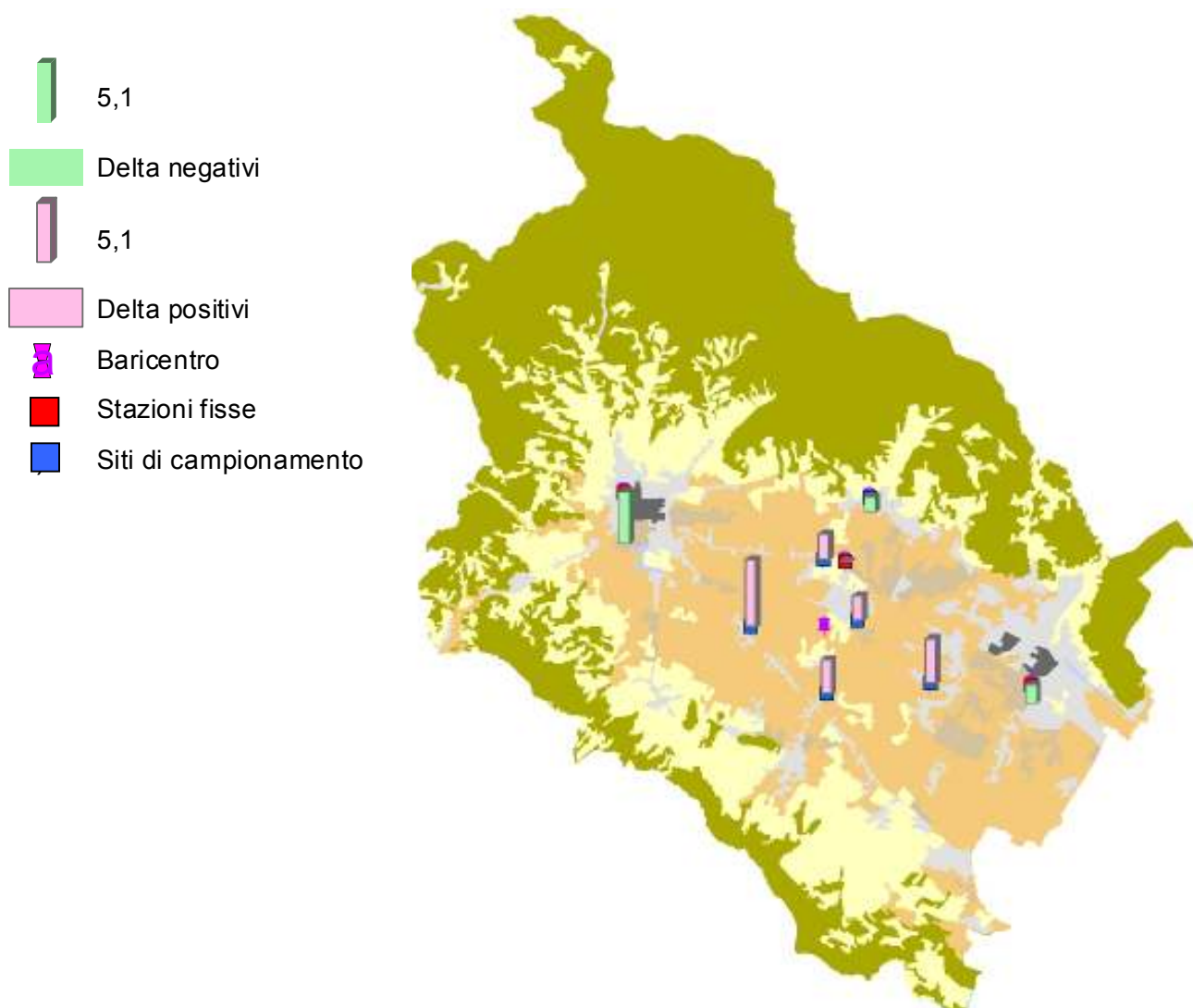


Figura 4.2.2.2 - Differenze osservate rispetto alla stazione di Montale nel periodo delle campagne

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.

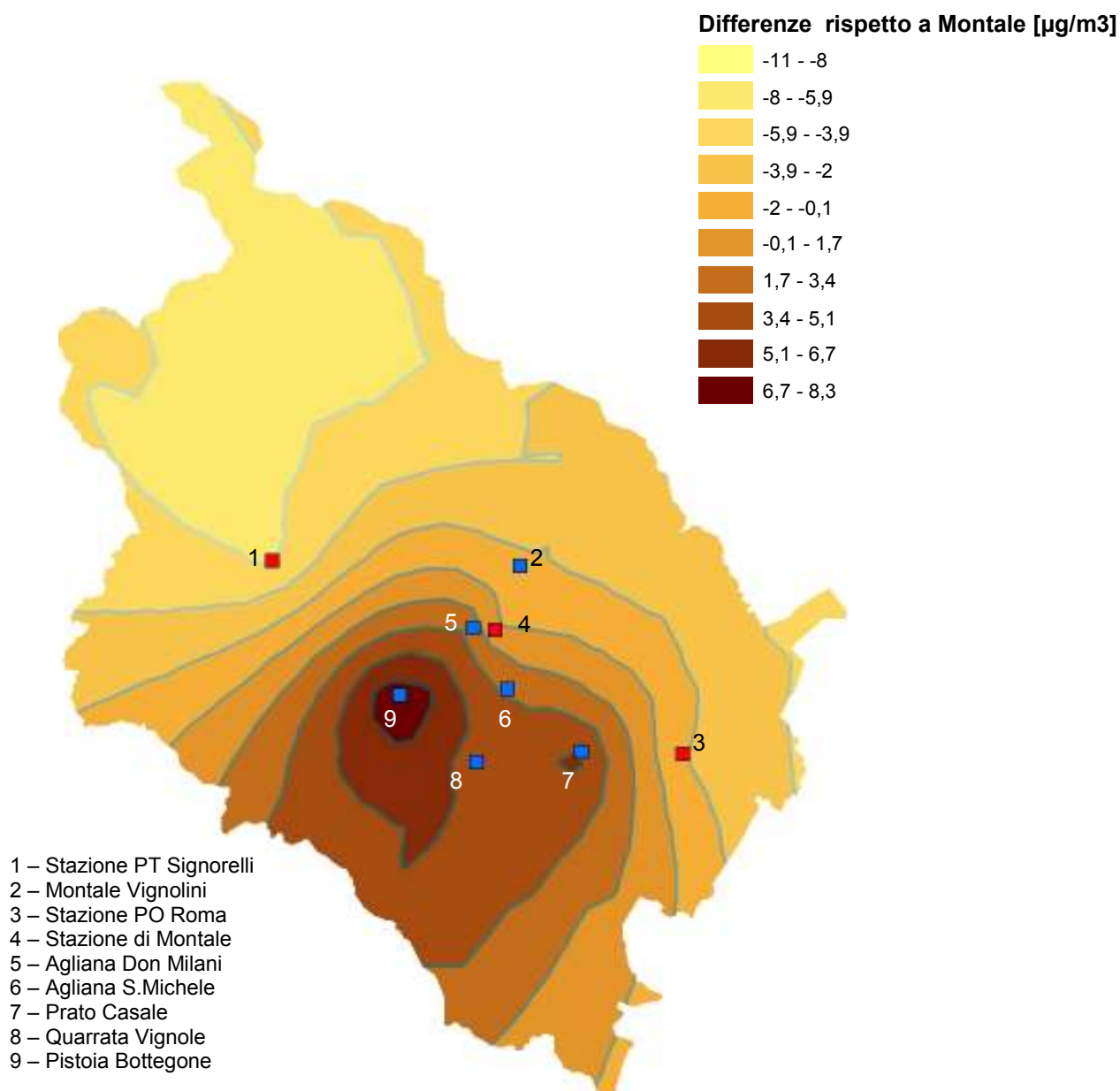


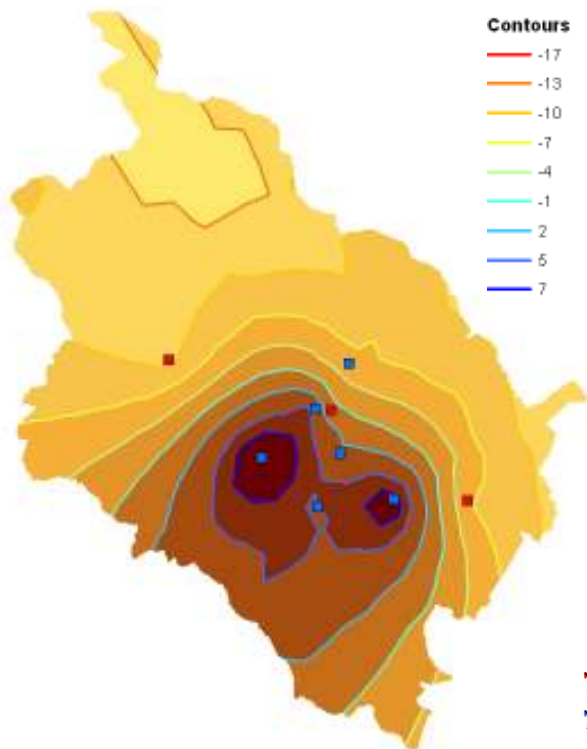
Figura 4.2.2.3 – Mappa delle differenze medie di concentrazione di PM10 per il periodo complessivo delle campagne effettuate

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.

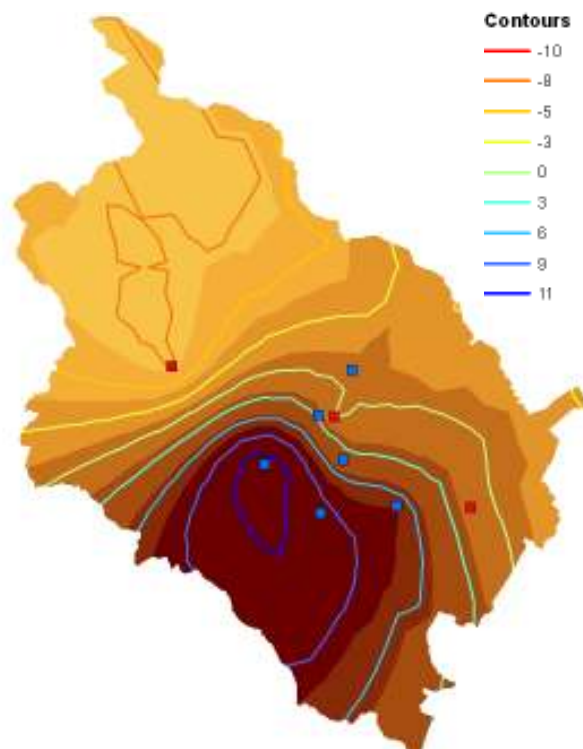
La mappa relativa alla stagione invernale mostra una distribuzione simile a quella del totale annuo. In particolare risultano abbastanza accentuate le differenze negative che individuano la fascia di concentrazioni più basse (tra -7 e -13 rispetto a Montale stazione) nell'area tra Pistoia Signorelli, 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.

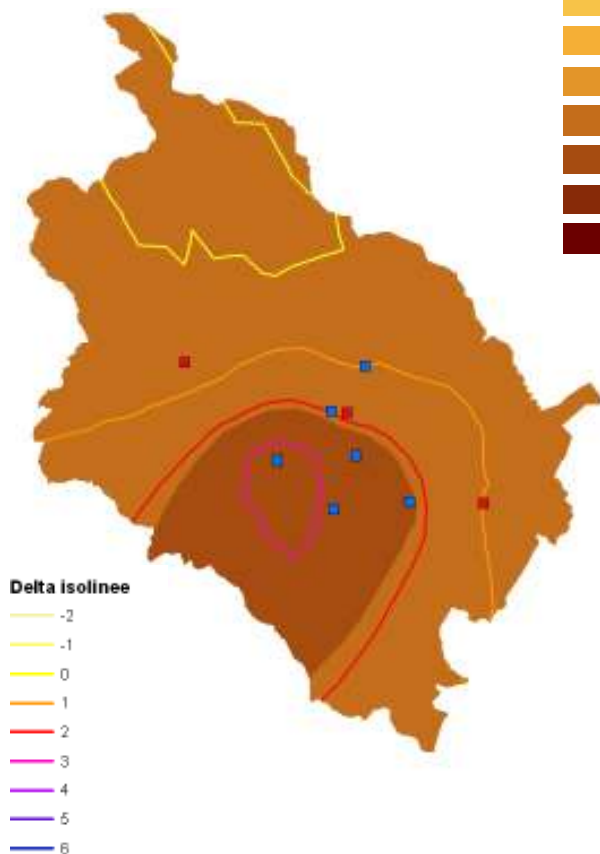
Campagne invernali



Campagne autunnali



Campagne primaverili



Campagne estive

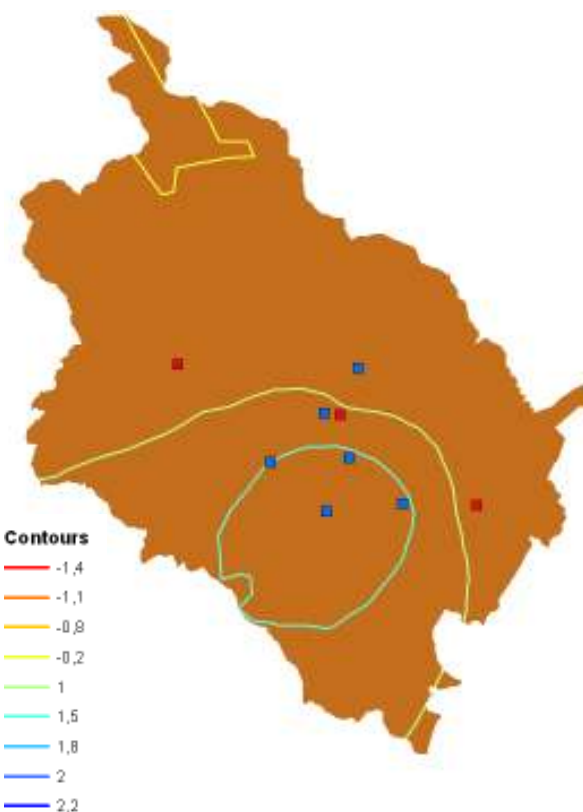


Figura 4.2.2.4 – Mappa delle differenze rispetto alla concentrazione di Montale – distribuzione stagionale

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 β e per l'individuazione dei siti di campionamento.

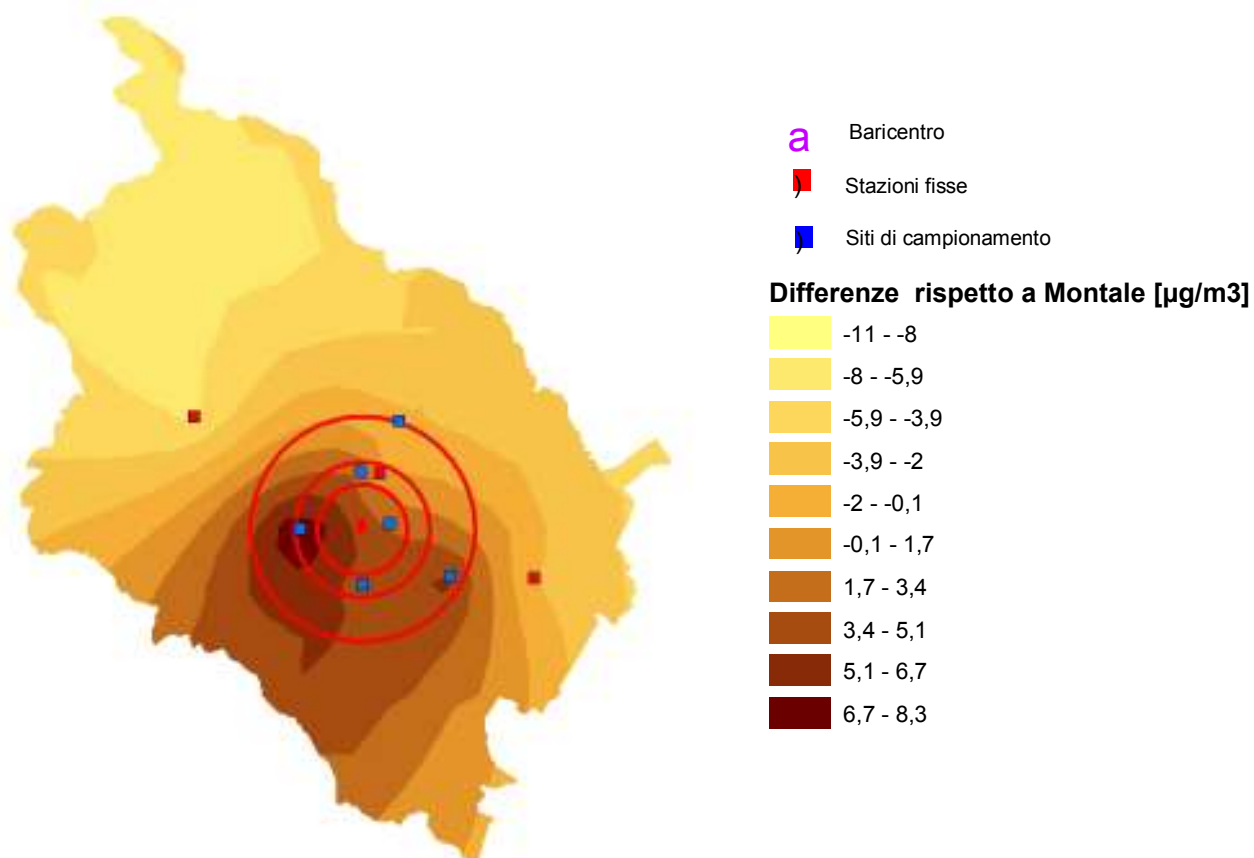


Figura 4.2.2.5 –Mappa delle differenze medie sull'anno rispetto alla concentrazione di Montale

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.

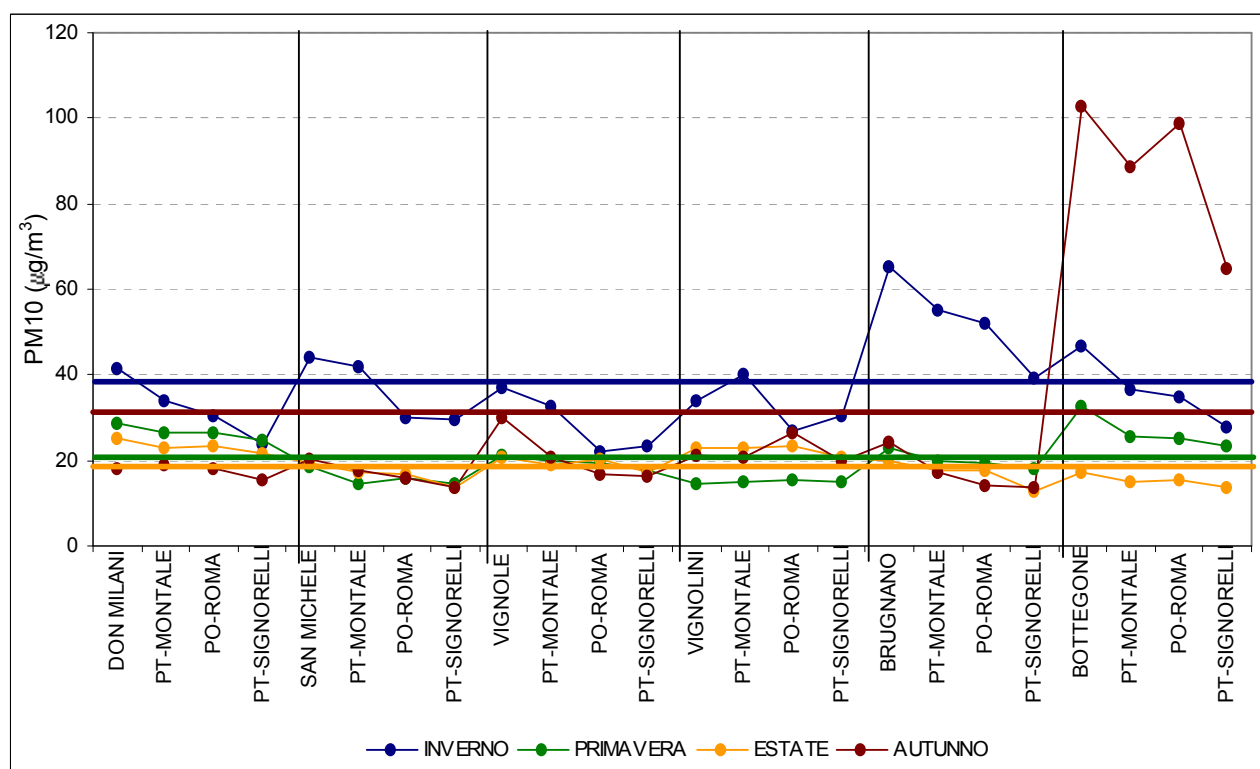


Figura 4.2.3.1. Medie per campagna e per periodo di campionamento – stazioni fisse e siti di campionamento

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 sinottica¹⁴ (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 Δ 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 variazione¹⁵; 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.

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

¹⁵ 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 Δ	33	41	41
	min Δ	0	0	0
	Δ medio	4	6	8
	deviazione standard (Δ)	5	8	8
	coefficiente di variazione (Δ)	1,2	1,4	1,0
Agliaia scuola S.Michele (PT)	max Δ	20	34	33
	min Δ	0	0	0
	Δ medio	4	6	8
	deviazione standard (Δ)	3	7	7
	coefficiente di variazione (Δ)	0,8	1,1	0,8
Quarrata Loc. Vignole (PT)	max Δ	27	39	47
	min Δ	0	0	0
	Δ medio	6	8	11
	deviazione standard (Δ)	5	10	9
	coefficiente di variazione (Δ)	1,0	1,2	0,9
Via Vignolini (PT)	max Δ	26	29	26
	min Δ	0	0	0
	Δ medio	3	5	5
	deviazione standard (Δ)	5	6	6
	coefficiente di variazione (Δ)	1,4	1,3	1,2
Via di Brugnano (PO)	max Δ	22	34	58
	min Δ	0	0	0
	Δ medio	6	7	12
	deviazione standard (Δ)	5	8	12
	coefficiente di variazione (Δ)	0,9	1,0	1,0
Via Ferdinando Santi-loc. Bottegone (PT)	max Δ	35	49	64
	min Δ	0	0	0
	Δ medio	9	11	23
	deviazione standard (Δ)	8	10	20
	coefficiente di variazione (Δ)	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)¹⁶.

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

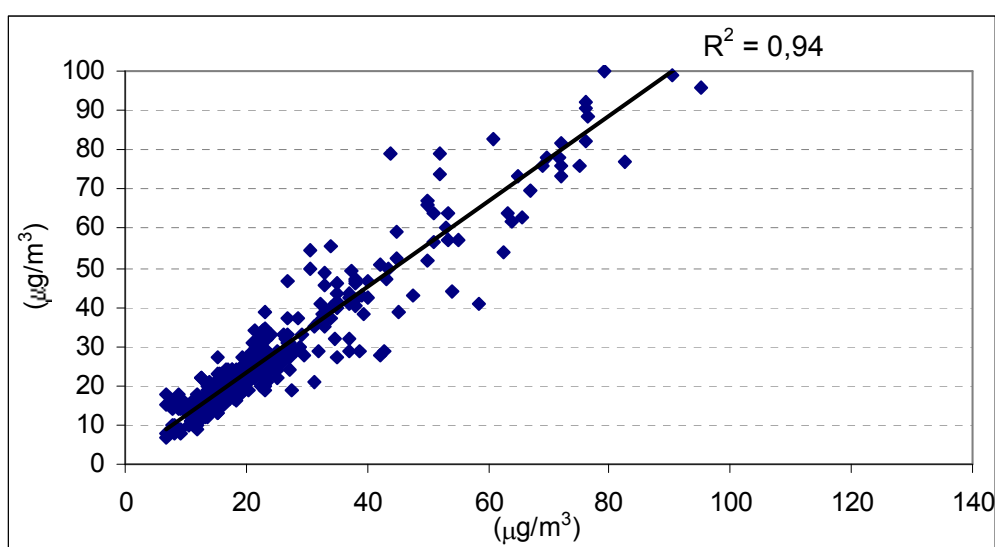


Figura 4.2.3.2. Correlazione tra i dati delle campagne di monitoraggio(in ordinate) e quelli della stazione fissa di PT-Montale (in ascisse)

¹⁶ 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)

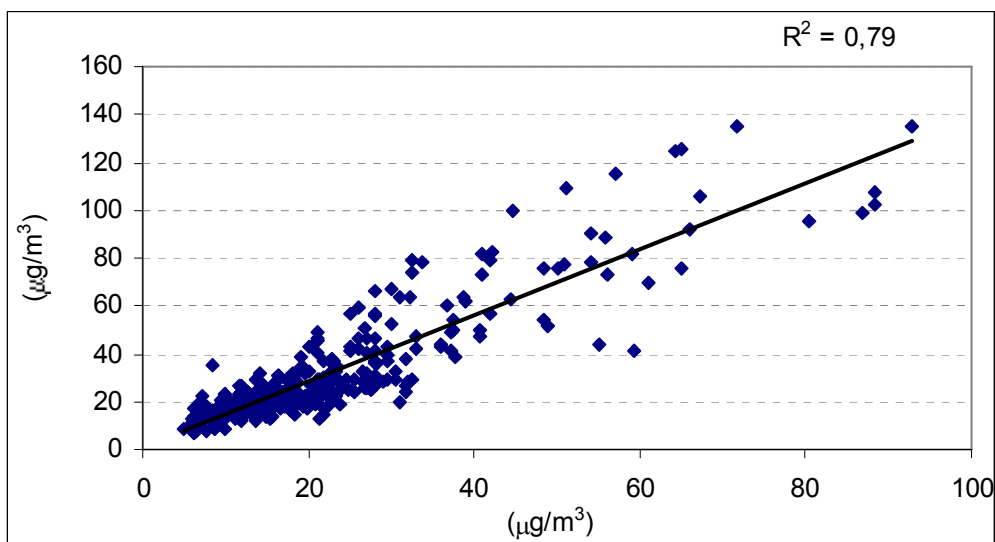


Figura 4.2.3.3. Correlazione tra i dati delle campagne di monitoraggio(in ordinate) e quelli della stazione fissa di PT-Signorelli (in ascisse)

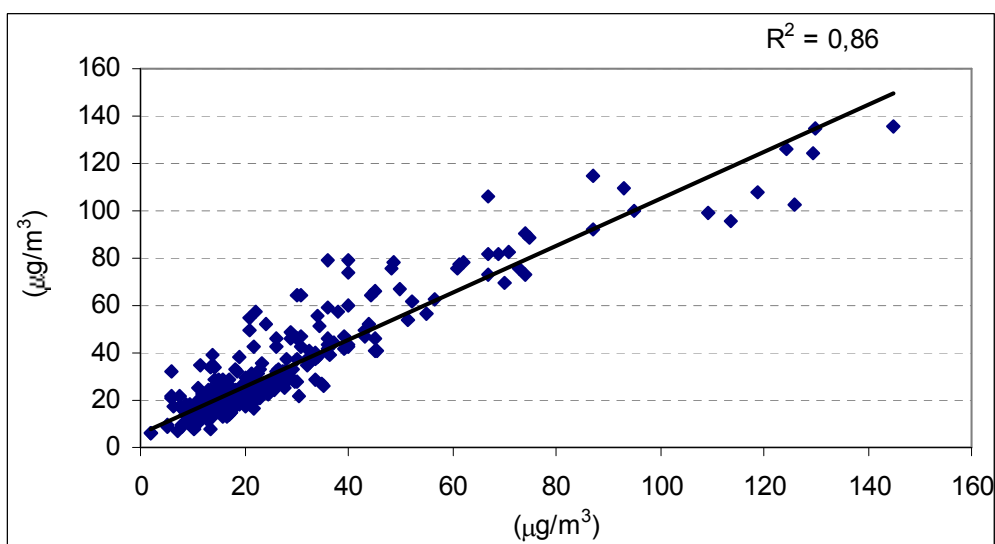


Figura 4.2.3.4. Correlazione tra i dati delle campagne di monitoraggio(in ordinate) e quelli della stazione fissa di PO-Roma (in ascisse)

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%)¹⁷. 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 Tecora¹⁸ (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 $\pm 25\%$.

¹⁷ Allegato I del Dlgs 155/2010.

¹⁸ Lo stesso campionatore è stato utilizzato per le campagne di campionamento.

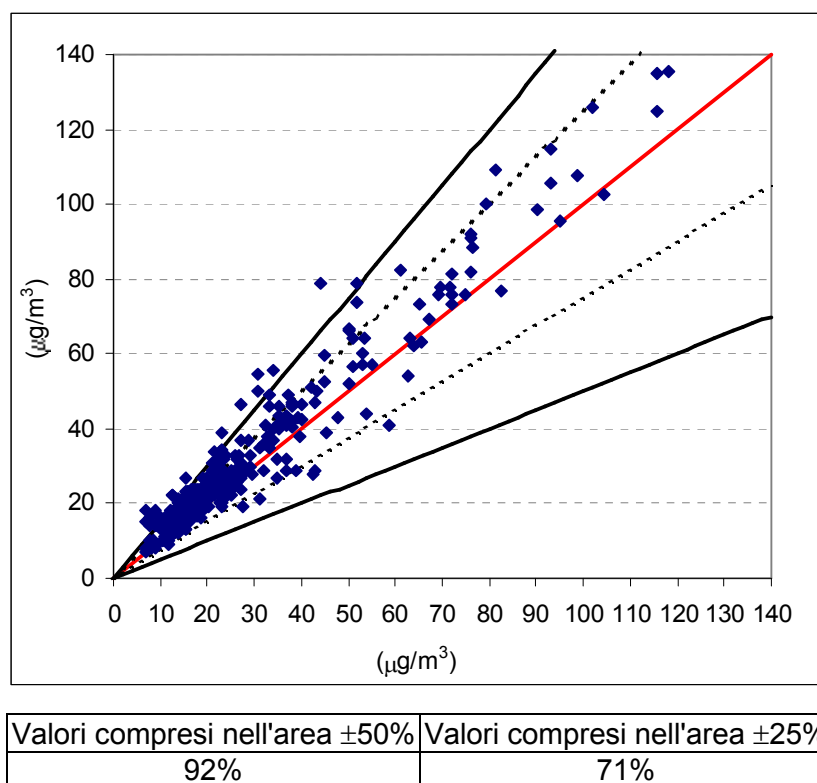


Figura 4.2.3.5. Correlazione tra i dati di PM 10 delle campagne di monitoraggio e quelli della stazione fissa di PT-Montale

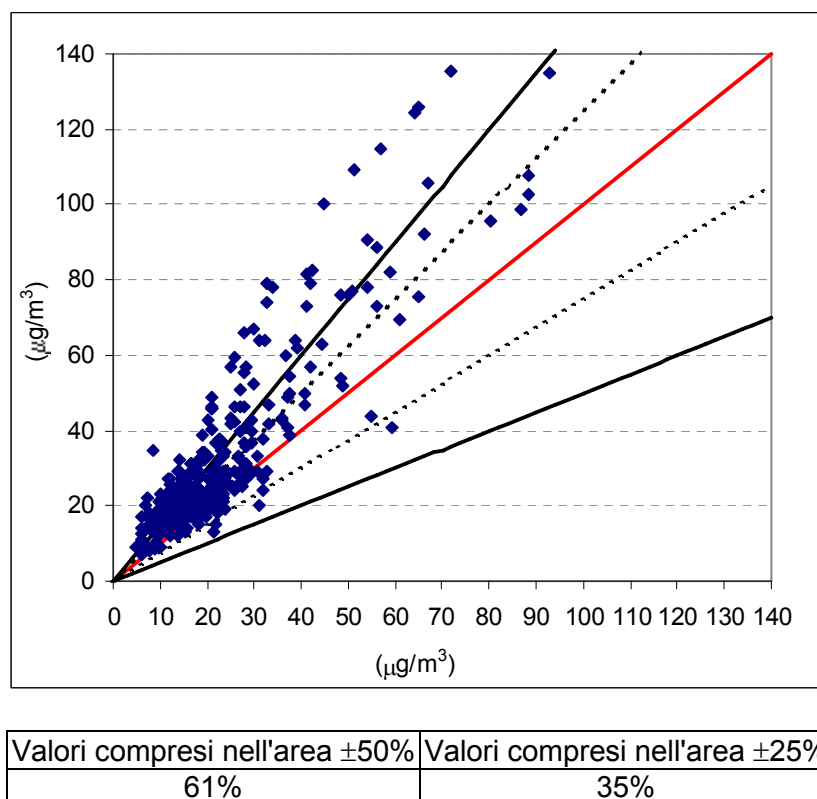


Figura 4.2.3.6. Correlazione tra i dati di PM 10 delle campagne di monitoraggio e quelli della stazione fissa di PT-Signorelli

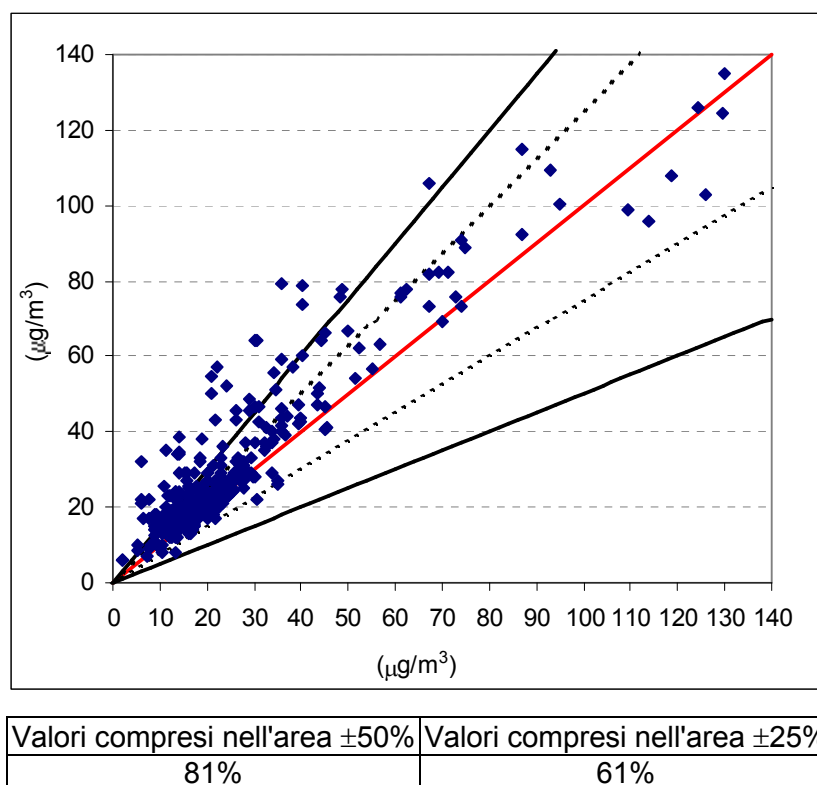
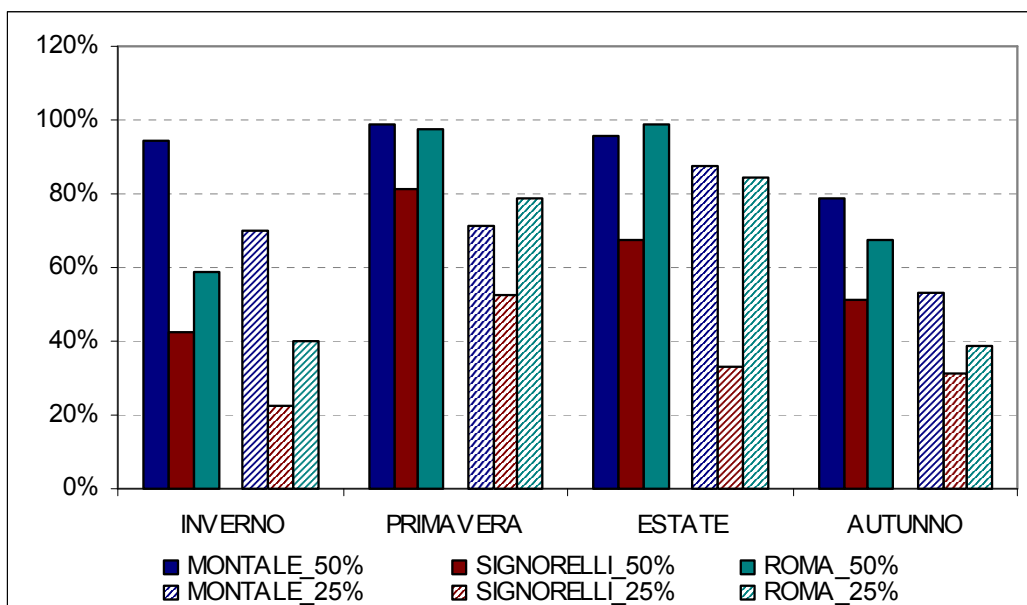


Figura 4.2.3.7. Correlazione tra i dati di PM 10 delle campagne di monitoraggio e quelli della stazione fissa di PO-Roma

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 $\pm 50\%$				Obiettivo di qualità $\pm 25\%$			
	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 bisettrice¹⁹. Tale analisi viene effettuata tramite la valutazione del coefficiente di concordanza di Lin²⁰; 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
PT-MONTALE						
	INTERO PERIODO DI CAMPIONAMENTO					
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
	AUTUNNO/INVERNO					
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
	PRIMAVERA/ESTATE					
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
PO-ROMA						
	INTERO PERIODO DI CAMPIONAMENTO					
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
	AUTUNNO/INVERNO					
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
	PRIMAVERA/ESTATE					
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
PT-SIGNORELLI						
	INTERO PERIODO DI CAMPIONAMENTO					
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
	AUTUNNO/INVERNO					
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
	PRIMAVERA/ESTATE					
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

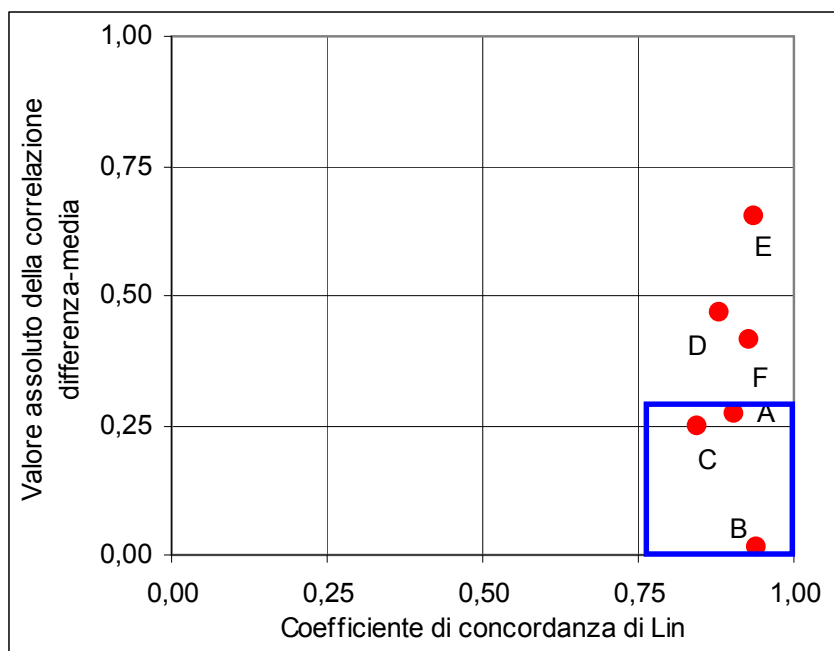


Figura 4.2.3.9. Classificazione dei coefficienti_ TUTTO IL PERIODO DI CAMPIONAMENTO: siti di campionamento/PT-MONTALE

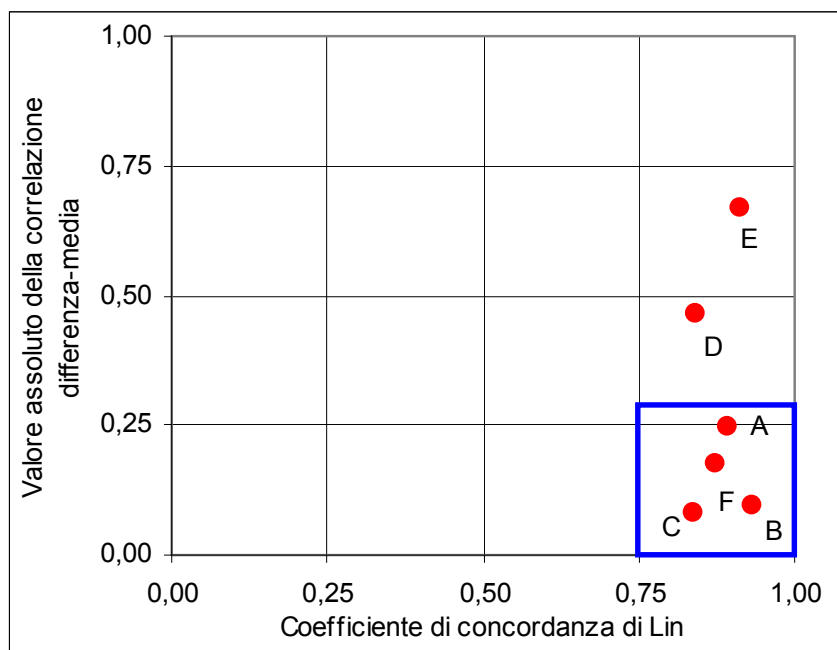


Figura 4.2.3.10. Classificazione dei coefficienti_ AUTUNNO/INVERNO: siti di campionamento/PT-MONTALE

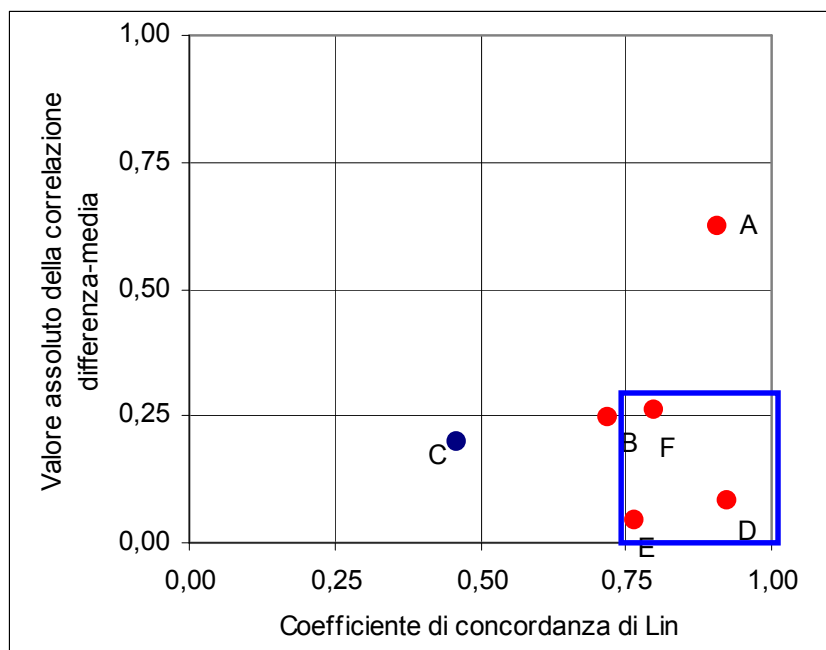


Figura 4.2.3.11. Classificazione dei coefficienti_ PRIMAVERA/ESTATE: siti di campionamento/PT-MONTALE

	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

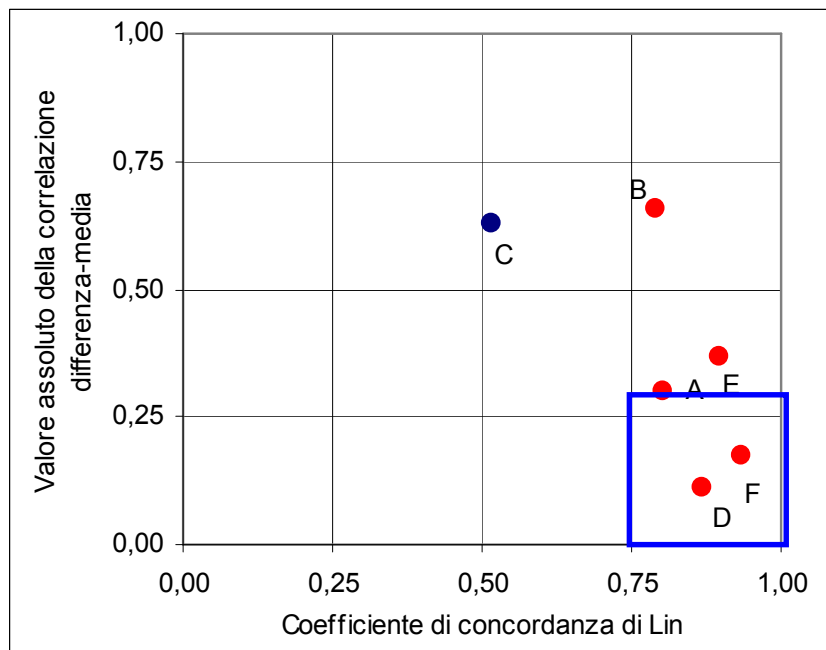


Figura 4.2.3.12. Classificazione dei coefficienti_TUTTO IL PERIODO DI CAMPIONAMENTO: siti di campionamento/PO-ROMA

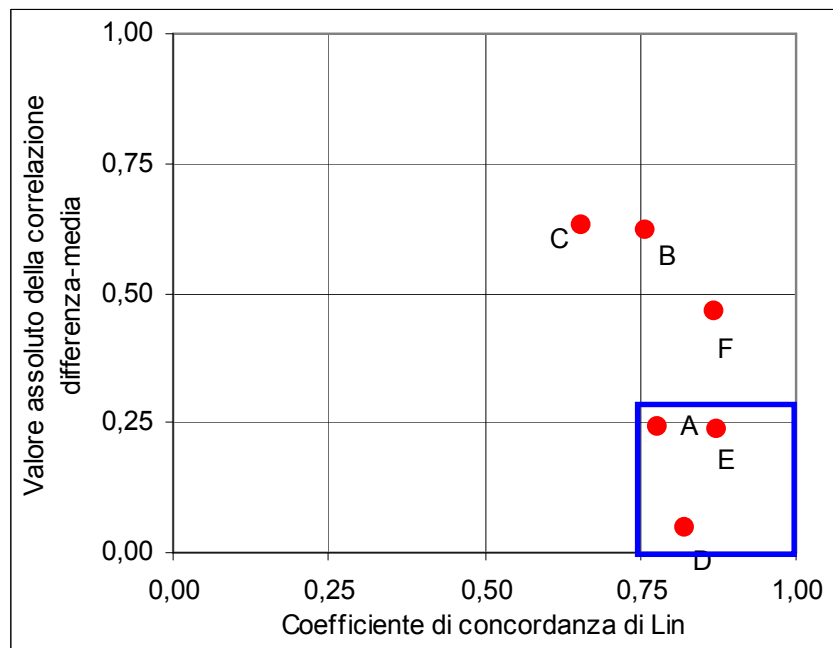


Figura 4.2.3.13. Classificazione dei coefficienti_AUTUNNO/INVERNO: siti di campionamento/PO-ROMA

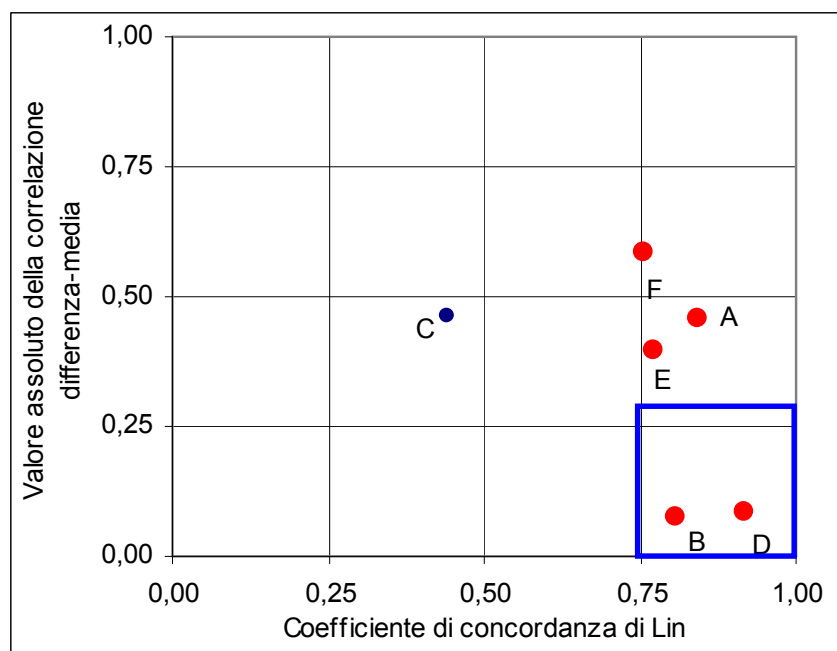


Figura 4.2.3.14. Classificazione dei coefficienti_PRIMAVERA/ESTATE: siti di campionamento/PO-ROMA

	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

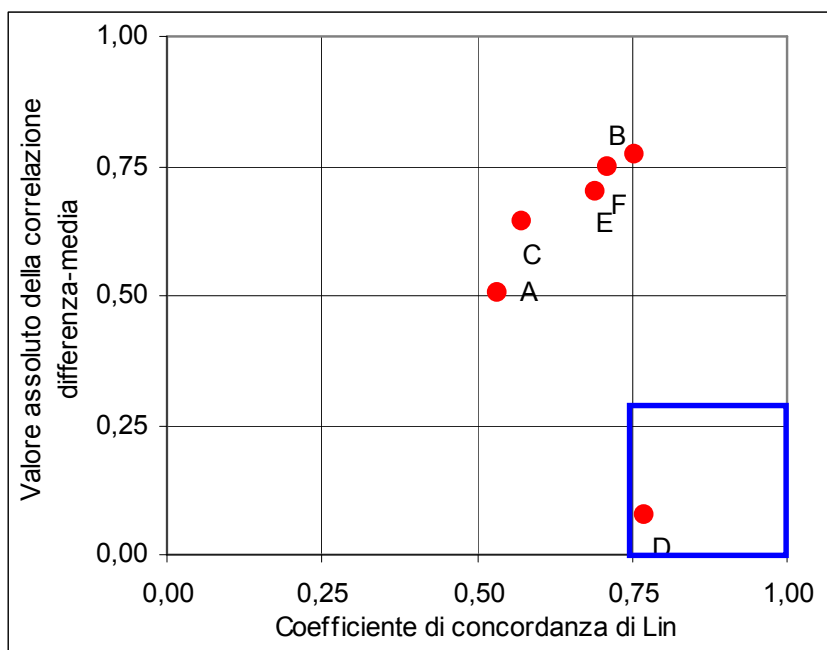


Figura 4.2.3.15. Classificazione dei coefficienti_TUTTO IL PERIODO DI CAMPIONAMENTO: siti di campionamento/PT-SIGNORELLI

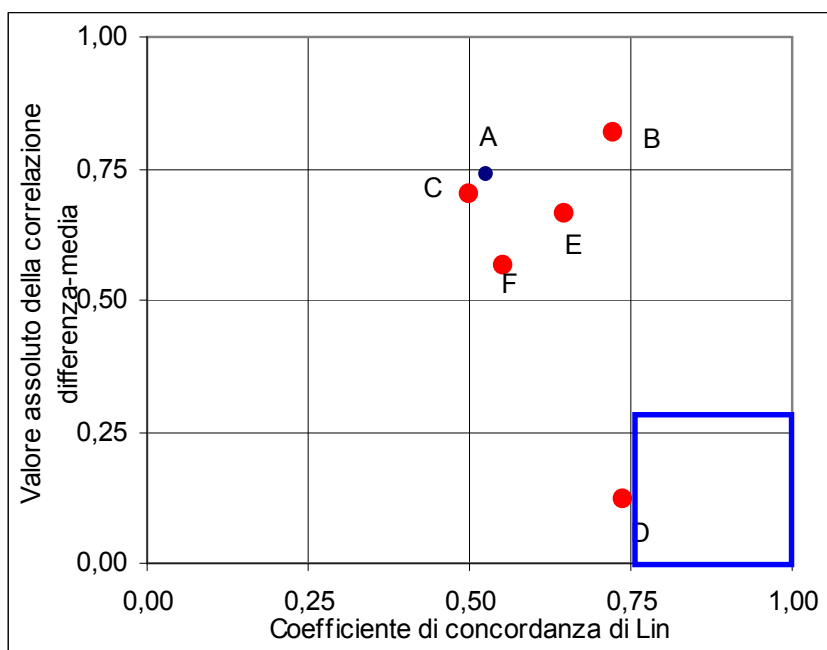


Figura 4.2.3.15. Classificazione dei coefficienti_AUTUNNO/INVERNO: siti di campionamento/PT-SIGNORELLI

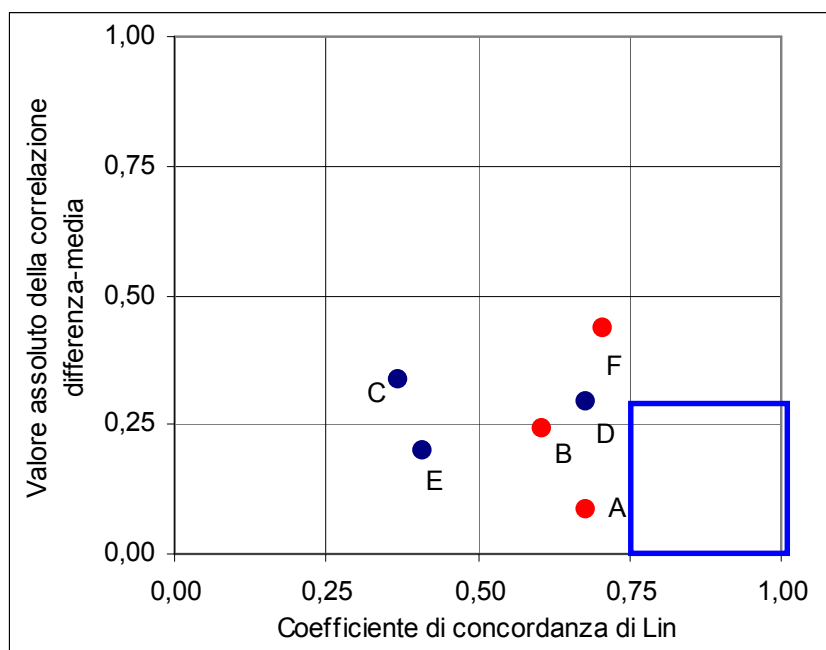


Figura 4.2.3.17. Classificazione dei coefficienti_PRIMAVERA/ESTATE: siti di campionamento/PT-SIGNORELLI

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)²¹; 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

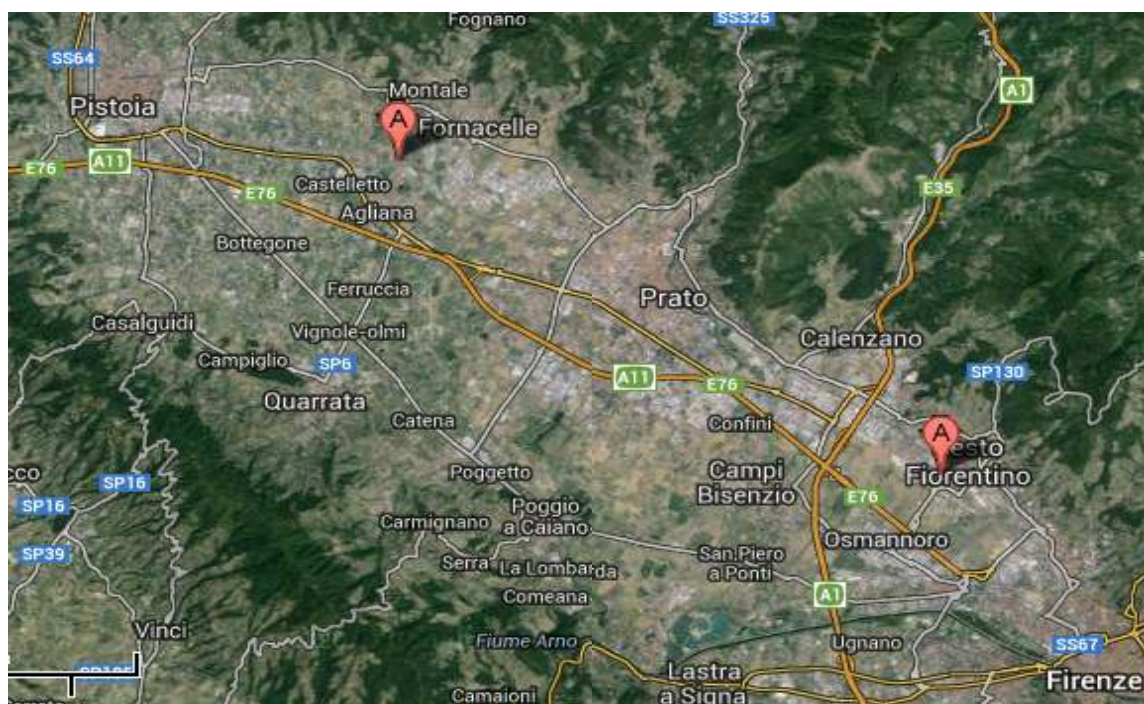


Figura 4.2.4.1. Localizzazione sito di campionamento di PT-Montale e Sesto Fiorentino

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

²¹ 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

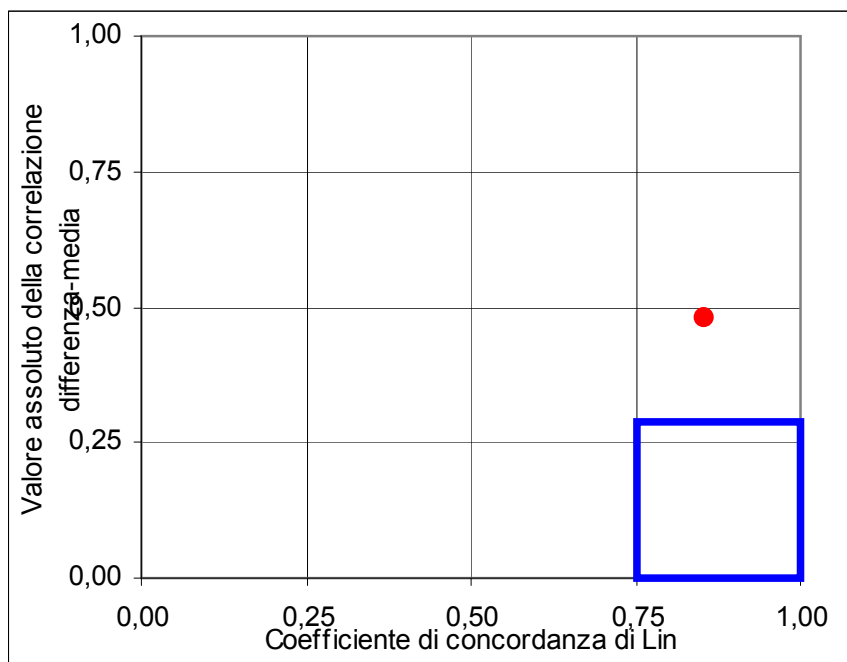


Figura 4.2.4.2. Classificazione dei coefficienti_ TUTTO IL PERIODO DI CAMPIONAMENTO: Sesto Fiorentino/PT-MONTALE

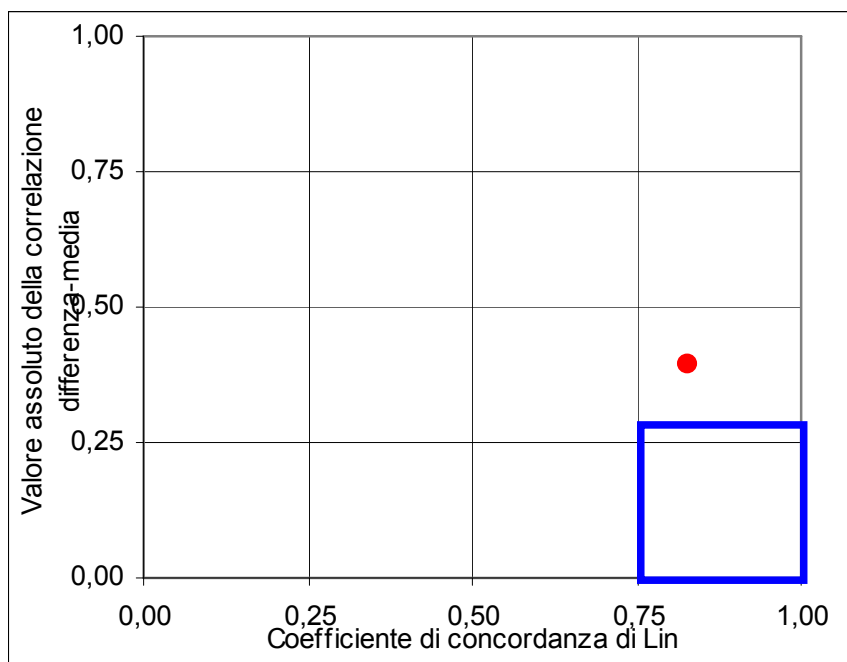


Figura 4.2.4.3. Classificazione dei coefficienti_ AUTUNNO/INVERNO: Sesto Fiorentino/PT-MONTALE

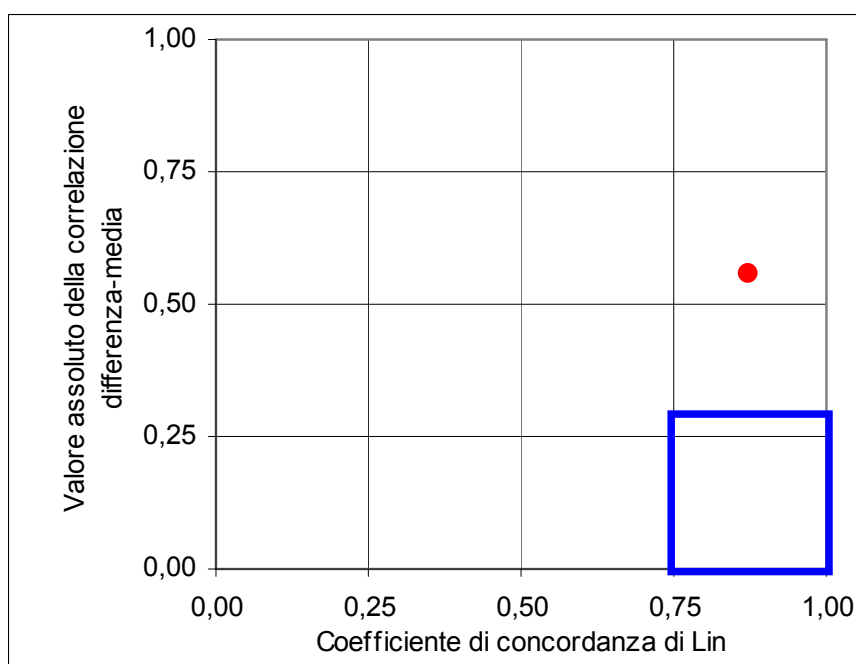


Figura 4.2.4.4. Classificazione dei coefficienti_ PRIMAVERA/ESTATE: Sesto Fiorentino/PT-MONTALE

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 Pistoia²²), 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.

²² 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 (Agliana 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 - up²³; 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

²³ 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)
IRSE 2007 (anno 2007)		
Totali	3.131	3.107
Metodologia 1 (anno 2006)		
Totali	12.970	12.629
IRSE 2007 (anno 2007)		
Caminetti aperti	2.081	2.057
Stufe tradizionali	980	980
Metodologia 1 (anno 2006)¹		
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
Montale	40	9,13	39	4,30
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:

Province	Combustione stoppie/totale IRSE 2007		
	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%
TOSCANA	5%	3%	1%

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

Comuni	Combustione stoppie/totale IRSE 2007		
	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%
PIANA PO-PT	0,78%	0,45%	0,00%

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%
TOSCANA	9%	1%

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%
PIANA PO-PT	4,51%	0,99%

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 β , 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 inquinanti²⁴.

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.

ALLEGATI

INDICE

Allegato 1 “PM10 in Toscana: Studio propedeutico alla verifica della rappresentatività delle stazioni di monitoraggio”	I
Allegato 2 Elaborazione dei dati risultanti dal campionamento effettuato nel comune di Agliana	II
Allegato 3 Risultati degli audit effettuati sull’analizzatore di polveri della stazione di PT-Montale	V
Allegato 4 Risultati dell’audit effettuato sul campionatore denominato “campionatore 2”	XV
Allegato 5 Caratteristiche delle principali tecniche di analisi multivariata	XVIII
Allegato 6 La combustione della legna nel settore residenziale	XX
Allegato 7 La combustione incontrollata dei residui agricoli	XXVI
Allegato 8 I dati dei siti di campionamento e i dati rilevati presso le stazioni fisse di tipo fondo della zona Prato-Pistoia	XXVII
Allegato 9 Le immagini dei siti delle campagne di campionamento	XXX
Allegato 10 Valutazione della strumentazione anemologica presso la stazione “Montale” della Rete regionale della qualità dell’aria	XXXIV

Allegato 1

“PM10 in Toscana

**Studio propedeutico alla verifica della
rappresentatività delle stazioni di
monitoraggio”**



ARPAT

Agenzia regionale
per la protezione ambientale
della Toscana



PM10 in Toscana (2007-2011)

**Studio propedeutico alla verifica della
rappresentatività delle stazioni di monitoraggio**

**Settore Centro Regionale Tutela della Qualità dell'aria
Area Vasta Costa**

Regione Toscana



PM10 in Toscana (2007-2011)
Studio propedeutico alla verifica della rappresentatività delle stazioni di monitoraggio

A cura di:

Bianca Patrizia Andreini

ARPAT – Settore Centro Regionale Tutela della Qualità dell’Aria- Area Vasta Costa

Autore:

Chiara Collaveri

ARPAT – Settore Centro Regionale Tutela della Qualità dell’Aria- Area Vasta Costa

Hanno collaborato:

Elisa Bini, Fiammetta Dini, Riccardo Ricceri

ARPAT – Settore Centro Regionale Tutela della Qualità dell’Aria- Area Vasta Costa

Si ringraziano:

Tiziana Cecconi, Dennis Dalle Mura, Stefano Fortunato, Roberto Fruzzetti, David Magliacani, Marco Stefanelli, Guglielmo Tanganelli - Settore CRTQA per la raccolta dei dati e la verifica dei documenti.-

I dipartimenti ARPAT che nel 2007-2011 hanno eseguito la gestione della rete di monitoraggio della qualità dell’aria e la valutazione dei dati utilizzati in questo rapporto.

Il dr. Marco Chini - SIRA per il supporto nella impostazione del rapporto.

Febbraio 2013

Premessa	p. 4

Parte I

PM 10 in Toscana

Introduzione	p. 5
<i>1 Zona Costiera</i>	p. 9
2 Agglomera di Firenze	p. 14
3 Zona Prato Pistoia	p. 16
<i>4 Zona del Lungarno pisano e piana lucchese</i>	p. 21
<i>5. Zona del Val d'Arno Aretino e Val di Chiana</i>	p. 27
6 Zona Collinare montana	p. 30

Parte 2

Rappresentazione schematica dei livelli di PM in Toscana	p. 36
<i>1 Zona Costiera</i>	p. 39
2 Agglomera di Firenze	p. 43
<i>3 Zona Prato Pistoia</i>	p. 45
<i>4 Zona del Lungarno pisano e piana lucchese</i>	p. 46
<i>5. Zona del Val d'Arno Aretino e Val di Chiana</i>	p. 47
6 Zona Collinare montana	p. 49
Conclusioni	p. 51
Appendice 1 – Calcolo dell'indice β per le 29 stazioni di tabella II.1	p. 54
Riferimenti bibliografici	p. 74

PM10 in Toscana

Studio propedeutico alla verifica della rappresentatività delle stazioni di monitoraggio

Premessa

Il documento trasmesso con nota ARPAT prot 2012/0006659 del 27/01/12 ha portato alla individuazione di 35 comuni, ripartiti nelle zone o agglomerati definiti con la DGRT n. 1025/10, che risultano critici in base alle caratteristiche del territorio e alle pressioni sulla matrice aria ad esso afferenti, con particolare riferimento al PM10.

Il metodo proposto per l'individuazione dei comuni critici si pone come alternativa semplificata alla individuazione della rappresentatività spaziale dei dati di qualità dell'aria.

A livello delle possibili azioni per la gestione della qualità dell'aria, in un'ottica di risanamento e mantenimento, l'individuazione di una rosa di "comuni critici" costituisce un passaggio importante in quanto pone criteri oggettivi alla base delle direttive dettate dalla Regione Toscana nell'ambito dei PAC, previsti all'art.12 della L.R. 9/2010, e degli interventi contingibili, al fine di limitare il rischio di superamento dei valori limite e la durata degli stessi superamenti, con particolare riferimento al PM10.

Poiché l'elenco dei comuni "critici" è stato individuato a prescindere dalle misure storiche di qualità dell'aria, il presente documento si pone come integrazione e approfondimento delle informazioni suddette, al fine di portare un contributo il più possibile completo, allo stato attuale delle conoscenze e dei dati disponibili, allo studio della distribuzione dei livelli di PM10 in Regione Toscana. È fondamentale sottolineare che la relazione tra le pressioni, utilizzate per definire i comuni critici, e lo stato di qualità dell'aria di un comune o di una zona, rappresentato dai dati di monitoraggio, non può essere di immediata interpretazione senza l'utilizzo di adeguati strumenti di modellistica diffusionale. Pertanto le considerazioni di seguito esposte non determinano automaticamente la necessità di una modifica nella rosa dei comuni individuati, ma hanno lo scopo di fornire alla Regione tutti gli elementi necessari per motivare le eventuali eccezioni o integrazioni che siano ritenute utili.

Il presente documento è strutturato in due parti ciascuna suddivisa in base alle zone definite nella DGRT 1025. La prima parte prende in esame i dati di monitoraggio relativi al quinquennio 2007-2011 nelle stazioni di rete regionale e provinciale comunque classificate e i dati provenienti da campagne effettuate con mezzi mobili nello stesso periodo.

La seconda parte riporta un approfondimento sulla rappresentatività dei dati estendendo ad un livello territoriale più ampio i dati puntuali delle stazioni di monitoraggio di fondo. Per ogni stazione di fondo viene ipotizzato un raggio di rappresentatività di 3 km e il dato misurato dalla stazione viene esteso a tutti i comuni toccati dall'area. In questo modo si riesce a coprire, con le informazioni disponibili, solo una parte limitata della superficie regionale, comunque coincidente con le aree maggiormente antropizzate in cui si concentra il monitoraggio. Vengono inoltre riepilogate in questa parte alcune ipotesi, che emergono dall'analisi dei dati, sui valori di fondo di ciascuna zona.

In appendice 1 vengono presi in considerazione alcuni studi di letteratura che hanno lo scopo di valutare la rappresentatività delle stazioni di monitoraggio e di estendere i dati misurati a porzioni di territorio più ampie attraverso tecniche di interpolazione geostatistiche. Questi studi sono basati su un indice, denominato indice β , che riassume le caratteristiche di uso del suolo nell'intorno di una stazione, combinate con le emissioni dell'inquinante di interesse. L'indice β viene poi calcolato, in via sperimentale, anche per tutte le stazioni prese in esame nella parte 1.

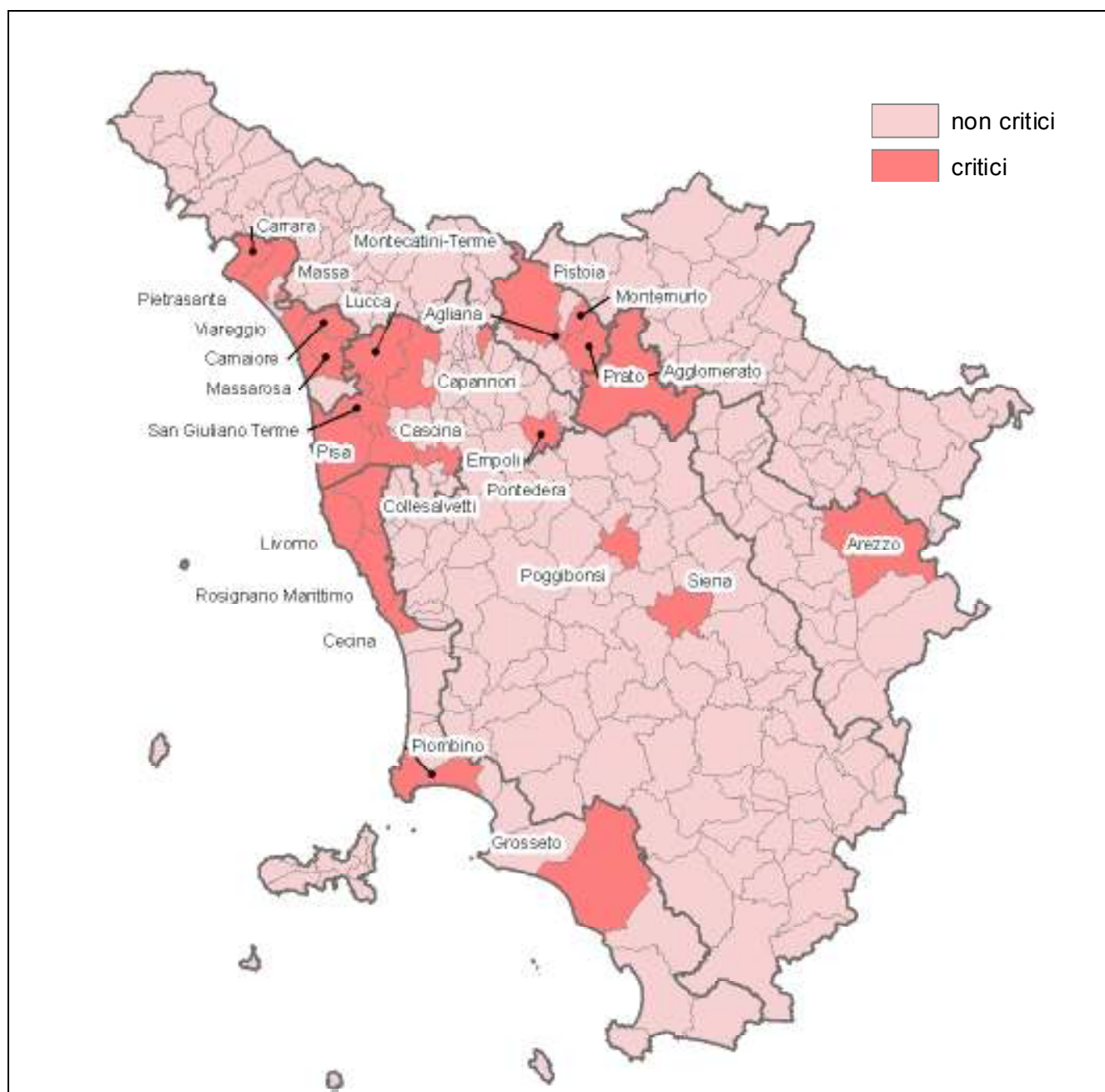
PARTE 1

Introduzione

Gli indici utilizzati per l'individuazione dei Comuni critici sono basati sulle principali tipologie di pressione che insistono su un territorio: pressioni, in particolare di PM10, derivanti dal grado di urbanizzazione, dalla popolazione, dalle attività agricole e industriali.

In figura 1 sono riportati i Comuni che, secondo i criteri stabiliti in base alle medie regionali di tali indici, sono classificati come critici. I 35 Comuni critici risultanti sono rappresentati sui confini della zonizzazione del territorio. Come si può notare, i comuni critici si concentrano nelle zone maggiormente antropizzate (piana fiorentina – agglomerato e zona Prato Pistoia) e industrializzate (zona costiera, zona Pisa Lucca), mentre nella zona collinare montana ne sono presenti solamente 2 su 170 e nella zona del Valdarno aretino e Val di Chiana risulta critico il solo comune di Arezzo.

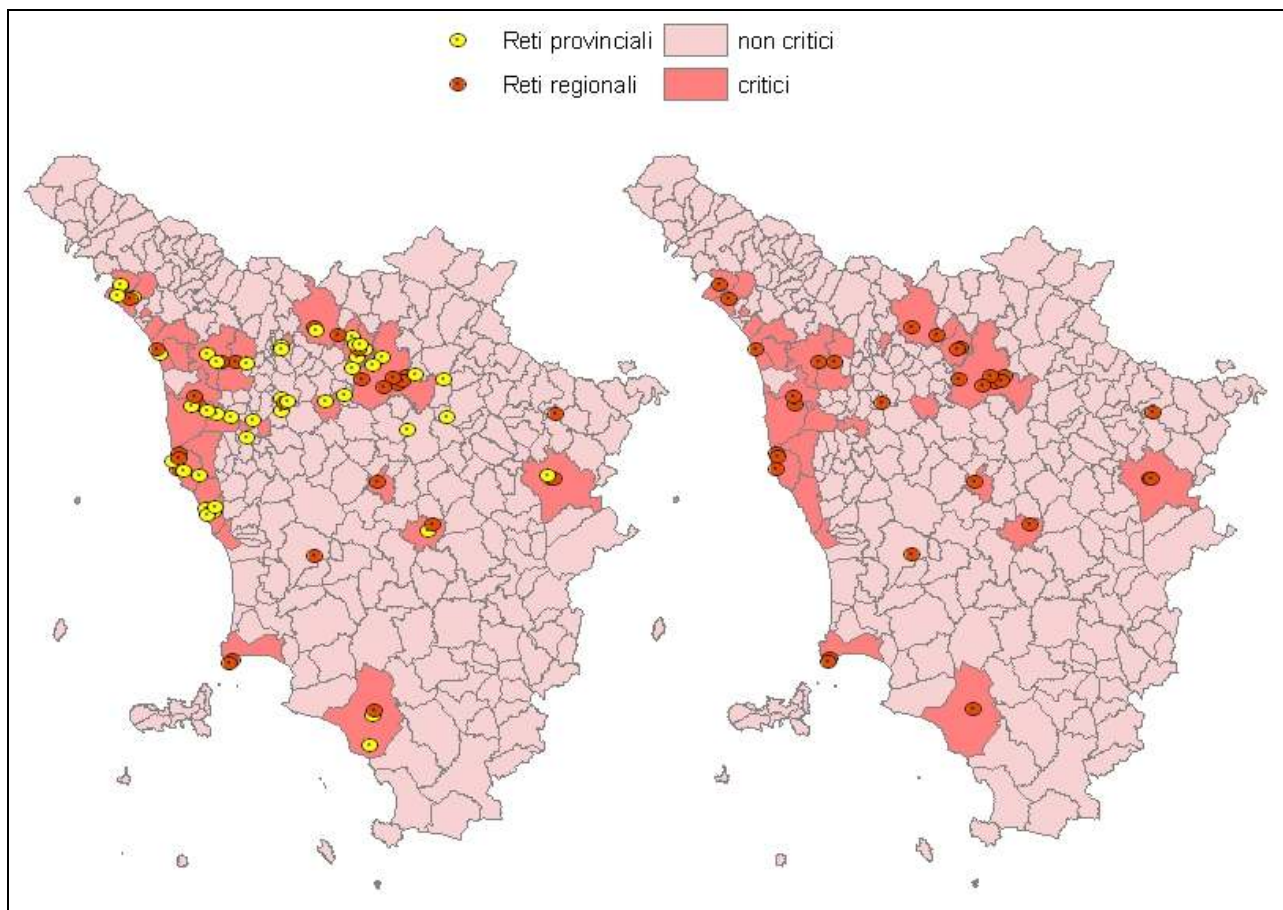
Figura 1 – Comuni critici



Il posizionamento delle stazioni di monitoraggio di PM10, che sono per la maggior parte situate nei Comuni definiti critici, sta ad indicare come il monitoraggio nell'ultimo quinquennio si sia concentrato nelle aree maggiormente urbanizzate, e sulle quali insistono le maggiori pressioni emissive, sulla base del presupposto che queste siano anche le aree anche più critiche per la qualità dell'aria.

In figura 2 sono riportate a confronto tutte le stazioni attive fino al 2010, distinte tra quelle successivamente confluite in rete regionale e quelle provinciali, e la conformazione attuale della rete regionale.

Figura 2 – Stazioni di monitoraggio rete completa fino al 2010 e rete regionale D.Lgs 155/2010



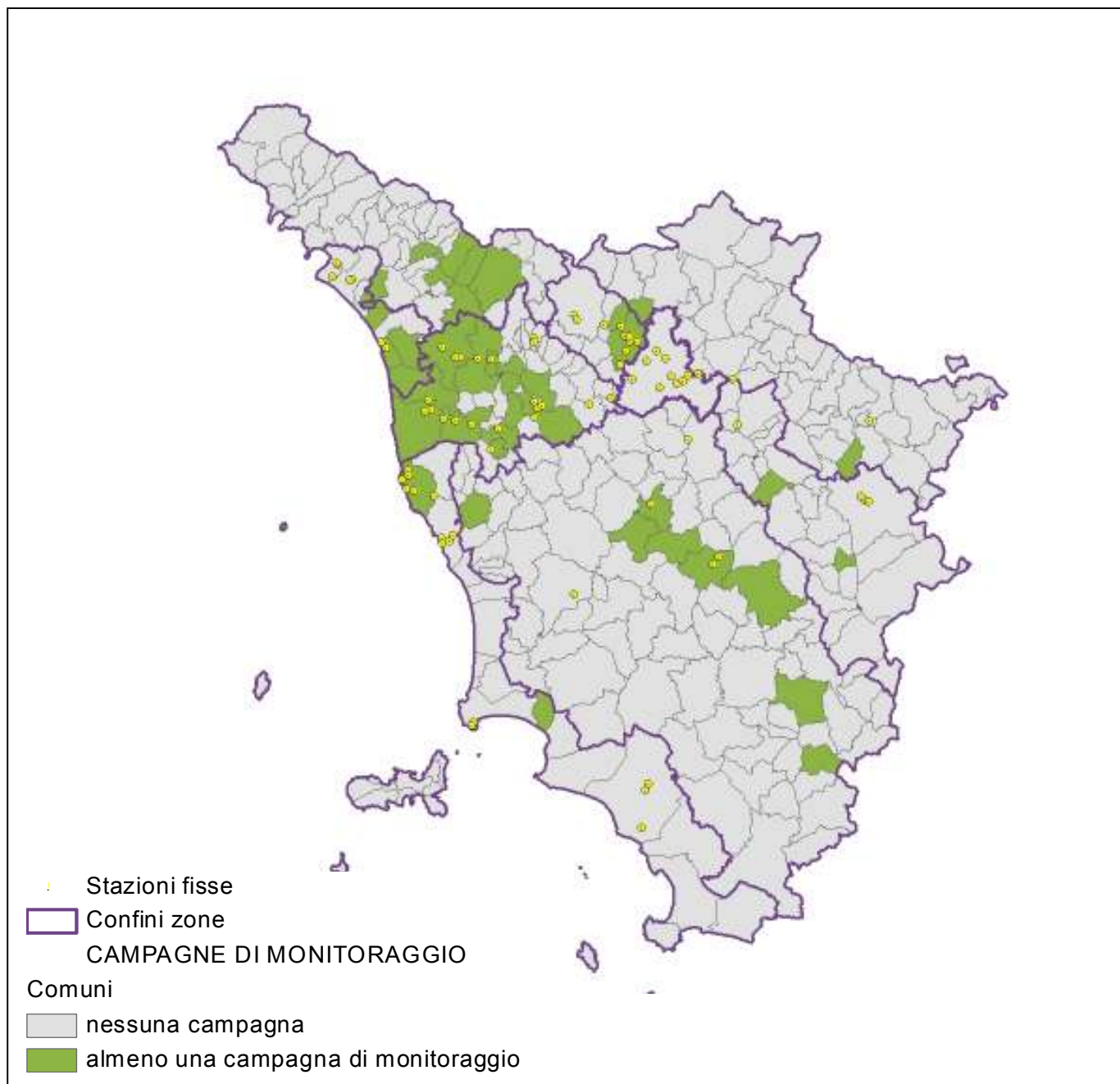
Delle 22 stazioni di PM10 di rete regionale attive già nel 2011, solo 4 si trovano in comuni definiti non critici. In particolare si tratta delle stazioni di Santa Croce Coop, Montecerboli, nel comune di Pomarance, Casa Stabbi, nel comune di Chitignano, e Montale.

Se si prende in esame il totale delle stazioni attive fino al 2010, in tutto 58 siti, si aggiungono ai 4 comuni non critici ma monitorati, altri 7 comuni: Lari, Porcari, Montopoli in Val d'Arno, Montelupo Fiorentino, Incisa in Val d'Arno, Pontassieve, Greve in Chianti.

Le campagne con i mezzi mobili sono state effettuate con i mezzi di Pisa, Lucca, Prato, Livorno e Arezzo su vari comuni del territorio delle relative province.

In figura 3 è riportata la copertura a livello comunale delle campagne effettuate. Per rendere più chiara, a livello generale, la copertura del territorio con i dati del monitoraggio è inoltre riportato su mappa il posizionamento delle stazioni fisse.

Figura 3 – Campagne con mezzi mobili 2007-2011



I dati delle campagne sono da considerarsi significativi in questo contesto proprio perché portano un contributo di conoscenza in zone non monitorate, ma devono essere valutati con le dovute cautele. Infatti essi hanno una valenza diversa dai valori misurati in stazioni fisse con una copertura di almeno il 90% dell'anno di riferimento. Per quanto riguarda la media si ottiene un valore che può rappresentare approssimativamente la media annuale solo quando la campagna si è svolta secondo determinati requisiti di copertura temporale sia quantitativi che di distribuzione nelle diverse stagioni dell'anno solare. A livello normativo i requisiti di qualità per le campagne indicative prevedono una copertura minima del 14% con distribuzione equa nell'arco dell'anno e su base settimanale. Nel presente documento i dati sono proposti con il significato di valori medi di campagna in quanto, per riferirsi ad un'informazione il più possibile completa, sono prese in rassegna tutte le campagne effettuate nel periodo senza distinzione per durata e rappresentatività

temporale. Il numero di superamenti, relativo al periodo del monitoraggio, non è riportato in quanto ancora più sensibilmente dipendente dal periodo in cui la campagna si è svolta e ancora meno confrontabile con i limiti annuali rispetto alla media. Il dato dei superamenti riferito a livello annuale richiederebbe operazioni poco affidabili di estrapolazione.

Di seguito viene quindi riportato un esame dei valori di PM10 misurati in ciascuna zona sia nelle stazioni di rete regionale che in quelle provinciali, nonché nelle eventuali campagne effettuate con mezzi mobili. Come risulterà evidente dai dati di monitoraggio disponibili al di fuori delle aree risultate critiche, la problematica del PM10 non è una prerogativa dei soli comuni critici ma può riscontrarsi, secondo le caratteristiche della zona di appartenenza, anche al di fuori di essi con valori persino più elevati. Né, d'altra parte, i comuni critici presentano automaticamente valori critici di qualità dell'aria. Questo dato non deve essere considerato sorprendente poiché i comuni critici, essendo selezionati sulla base di indici di pressione, sono quelli che portano il maggior contributo al peggioramento della qualità dell'aria nella zona di appartenenza, ma non sono necessariamente i soli a risentirne. Tali comuni si configurano piuttosto come quelli per i quali i provvedimenti possono dare i migliori risultati possibili per il miglioramento della qualità dell'aria in tutta la zona di riferimento.

Per ciascuna zona è riportata una tabella (tabella A) con l'elenco completo dei comuni della zona. I comuni critici, sono indicati da una croce ed evidenziati in grassetto. Per ciascun comune è indicata la presenza di dati di monitoraggio distinta per tipologia: REG dati da stazioni di rete regionale, PROV dati da stazioni di rete provinciale, MM dati da campagne con mezzi mobili. Può verificarsi il caso che in alcuni comuni siano contemporaneamente presenti dati delle diverse tipologie.

Le tabelle B e C riportano rispettivamente le medie annuali ed il numero di superamenti, questi ultimi riferiti alle sole stazioni fisse.

Solo per le stazioni fisse sono riportati in grassetto i dati che superano il valore limite per l'indicatore considerato ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di media annuale e 35 superamenti della media giornaliera) mentre sono evidenziate in rosso le serie che non raggiungono il rendimento annuale del 90%; per queste serie, mentre la media è da considerarsi soltanto indicativa, il numero dei superamenti non è riportato.

A conclusione di ogni sezione viene riportato un grafico di sintesi per le campagne effettuate con i mezzi mobili nella zona. Il grafico proposto rappresenta, su una *timeline* relativa al quinquennio 2007-2011, durata e distribuzione di ogni campagna effettuata attribuendo a ciascun giorno di monitoraggio il valore della media di campagna. Per alcune campagne il dato medio riportato risulta dalla combinazione dei dati relativi a campagne stagionali effettuate in anni diversi nella stessa postazione; i dati di queste campagne sono stati infatti pubblicati in un unico rapporto proprio per fornire un quadro più rappresentativo del sito in esame.

La suddivisione del grafico in quattro periodi corrispondenti alle stagioni per ogni anno permette di apprezzare in maniera qualitativa quanto la misura sia rappresentativa in virtù della sua durata e distribuzione nell'anno solare. Allo stesso scopo è riportata in grafico una serie fittizia dal valore di $2,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ con una distribuzione che soddisfa i criteri del D.Lgs 155/2010 per campagne rappresentative e che consiste, nel caso preso ad esempio, in 15 giorni di monitoraggio all'inizio di ogni stagione dell'anno solare.

1. Zona costiera

Tabella 1A Comuni critici e ubicazione dei dati di monitoraggio – zona costiera

	COMUNE	CRITICO	MONITORAGGIO		
			REG	PROV	MM
1	Bibbona				
2	Camaione	X			
3	Campiglia Marittima				
4	Campo nell'Elba				
5	Capalbio				
6	Capoliveri				
7	Capraia Isola				
8	Carrara	X		X	
9	Castagneto Carducci				
10	Castiglione della Pescaia				
11	Cecina	X			
12	Collesalveti	X			
13	Follonica				X
14	Forte dei Marmi				
15	Grosseto	X	X	X	
16	Isola del Giglio				
17	Livorno	X	X	X	X
18	Magliano in Toscana				
19	Marciana				
20	Marciana Marina				
21	Massa	X	X	X	
22	Massarosa	X			X
23	Monte Argentario				
24	Montignoso				
25	Orbetello				
26	Pietrasanta	X			X
27	Piombino	X	X	X	
28	Porto Azzurro				
29	Portoferraio				
30	Rio Marina				
31	Rio nell'Elba				
32	Rosignano Marittimo	X		X	
33	San Vincenzo				
34	Scarlino				
35	Vecchiano				X
36	Viareggio	X	X		X

Dei 36 comuni appartenenti alla zona costiera, 12 sono stati individuati come critici. Il monitoraggio relativo all'ultimo quinquennio (2007-2011), è riferito al territorio di 8 comuni, 7 dei quali critici.

Tabella 1B – medie annuali di PM10 zona costiera

Stazione	Rete	Tipo	Prov	Comune	2007	2008	2009	2010	2011
GR-URSS	REG	UF	GR	Grosseto	17	22	23	18	19
LI-Carducci	REG	UT	LI	Livorno	36	35	32	27	28
MS-Colombarotto	REG	UF	MS	Carrara	27*	26	24	22	24
LU-Viareggio	REG	UF	LU	Viareggio	38	35	31	26	30
GR-Sonnino	PROV	UT	GR	Grosseto	35	35	35	37	29
LI- Gobetti	PROV	UI	LI	Livorno	28	26	22	19	21
LI-Maurogordato	PROV	PF	LI	Livorno	17	17	17	14	14
Li-Veneto	PROV	PI	LI	Rosignano Marittimo	34	29	28	27	29
Li-Poggio San Rocco	PROV	UF	LI	Rosignano Marittimo			17*	17	19
Li -Cotone	PROV	PI	LI	Piombino	32	31	29	27	27
Ms-Galvani	PROV	UF	MS	Massa	31	32	29	27	25
Ms-P.zza S.Francesco	PROV	PF	MS	Massa			19*	18	18*
MS-Frassina	PROV	PT	MS	Massa	72	66	55	51	45*
Ms-Carriona	PROV	UT	MS	Carrara	39	36	35	37	32
Follonica-Buttero	MM	UI	GR	Follonica					19
Viareggio-Coppino	MM	-	LU	Viareggio				26	
Viareggio-gasometro	MM	-	LU	Viareggio				48	
Viareggio-loc.Cotone	MM	-	LU	Viareggio		58	32		
Viareggio-Burlamacchi	MM	-	LU	Viareggio		26			
Viareggio-piazzetta Riposo	MM	-	LU	Viareggio		65			
Viareggio-Mazzini	MM	-	LU	Viareggio	44				
Pietrasanta – loc Pontestrada	MM	-	LU	Pietrasanta	38		33		
Massarosa- loc. Pieve a Elici	MM	-	LU	Massarosa					23
Livorno – via Luigi Russo	MM	-	LU	Livorno					20
Livorno – v. Marradi	MM	-	LU	Livorno	24				
Livorno – S.Anna	MM	-	LU	Livorno		22	23	21	
Vecchiano – piazza Mazzini	MM	-	PI	Vecchiano			25		

* serie non valide per la verifica della conformità con i limiti di legge

Per la zona costa, come già evidenziato nella zonizzazione, si distinguono sostanzialmente tre aree a diversa vocazione. L'area nord che comprende la provincia di Massa Carrara e la Versilia è caratterizzata da una forte antropizzazione (alta densità abitativa) e da un forte impatto turistico e industriale; l'area della provincia di Livorno in cui si concentrano industria pesante e traffico marittimo; l'area costiera sud a bassa densità di popolazione e di pressioni.

Tale distinzione a livello di pressioni si riscontra almeno in parte anche nei dati del monitoraggio per cui si evidenziano:

- valori medi annuali paragonabili a quelli delle stazioni di traffico rilevati nelle stazioni di fondo urbano dell'area nord (Massa Galvani e Viareggio) ;
- valori medi simili o di poco inferiori ai precedenti, misurati nelle stazioni industriali afferenti all'area livornese (Piombino Cotone, Rosignano via Veneto, Livorno Gobetti); tra queste stazioni si colloca anche la stazione di fondo di Massa Colombarotto ;
- valori assimilabili al livello di fondo di zona misurati nell'area sud nella stazione di Grosseto. Il valore di fondo di zona è ragionevolmente costituito dai dati della stazione periferica di Livorno Maurogordato e dalla stazione urbana di Rosignano Poggio S. Rocco.

Unitamente alla differenziazione tra le 3 aree, si nota un trend decrescente dal 2007 al 2011 nei valori di tutta la zona costiera, che porta anche ad un livellamento nelle differenze tra le tre aree.

Un quadro assai simile risulta dal numero di superamenti della soglia annuale di 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ come media giornaliera, per cui si ha una distribuzione dei valori su scala più ampia; infatti, mentre per il 2010 le medie annuali variano da un minimo di 17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ad un massimo di 51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, il numero di superamenti va da 0 ai 161 episodi di Massa Frassina che rappresenta una situazione nota di criticità locale collegata al transito di mezzi pesanti sulla strada del marmo.

Tabella 1C – numero di superamenti della soglia annuale di 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ di PM10 come media giornaliera zona costiera

Stazione	Rete	Tipo	Prov	Comune	2007	2008	2009	2010	2011
GR-URSS	REG	UF	GR	Grosseto	0	3	4	0	0
LI-Carducci	REG	UT	LI	Livorno	47	40	20	11	7
MS-Colombarotto	REG	UF	MS	Massa	NV	18	5	2	2
LU-Viareggio	REG	UF	LU	Viareggio	63	59	27	9	37
GR-Sonnino	PROV	UT	GR	Grosseto	31	29	17	29	2
LI- Gobetti	PROV	UI	LI	Livorno	7	10	1	0	2
LI-Maurogordato	PROV	PF	LI	Livorno	0	0	0	0	0
Li-Veneto	PROV	PI	LI	Rosignano Marittimo	30	13	10	3	10
Li-Poggio SanRocco	PROV	UF	LI	Rosignano Marittimo			NV	0	0
Li -Cotone	PROV	PI	LI	Piombino	42	29	21	27	14
Ms-Galvani	PROV	UF	MS	Massa	14	36	25	20	9
Ms-P.zza S.Francesco	PROV	PF	MS				NV	4	NV
MS-Frassina	PROV	PT	MS		227	211	166	161	NV
Ms-Carriona	PROV	UT	MS	Carrara	78	73	62	57	30

Il comune di Grosseto pur risultando l'unico comune dell'area sud che, per indice di pressione, rientra nella rosa dei comuni critici presenta come detto valori di fondo urbano quasi paragonabili al valore di fondo di zona. Si rileva inoltre che, per quando riguarda il quinquennio 2007-2011, dei 12 comuni critici individuati per la zona costiera l'unico a presentare criticità nei dati di qualità dell'aria è Viareggio con un numero di superamenti pari a 37 nel 2011. Nel considerare, ad integrazione, le medie registrate durante le campagne con mezzi mobili effettuate nello stesso comune, occorre tenere presente che la maggior parte di esse sono state effettuate nel periodo invernale e che nessuna raggiunge il requisito di qualità del 14% come copertura annuale. La

stessa limitazione vale per i dati delle campagne effettuate nei limitrofi comuni di Pietrasanta e Massarosa, riferiti rispettivamente al periodo autunnale ed estivo.

Le stazioni selezionate per il PM10 in rete regionale nella zona costiera appaiono idonee a rappresentare sufficientemente le situazioni descritte. Rispetto alle 4 stazioni già funzionanti nel 2011 l'informazione verrà integrata con due nuovi punti di monitoraggio del fondo urbano di Livorno, uno del fondo urbano di Piombino ed una stazione di traffico urbano, ad integrazione del dato di LI-Carducci, da posizionare nel comune di Massa.

Per quanto riguarda le considerazioni sulla valutazione della rappresentatività delle stazioni di rete regionale rispetto ai dati storici del monitoraggio, è opportuno fare una precisazione di valore generale, che si applica a tutte le zone del territorio regionale. Esistono, specialmente nel caso del monitoraggio orientato al traffico, situazioni che vengono definite come *hot spot*, che presentano alti livelli di criticità confinati a particolari situazioni o condizioni locali e da esse specificamente dipendenti. Per questo tipo di siti esiste una storia di monitoraggio per cui è ormai accertato che i valori limite per il PM10 non sono rispettati né per la media annuale né, tanto meno, per il numero di superamenti che possono eccedere ampiamente il limite dei 35 consentiti. Tali situazioni sono molto site specifiche ed in rete regionale non ne è previsto il monitoraggio.

Nella zona costiera la stazione di Massa Frassina può considerarsi rientrante nella tipologia *hot spot*.

Le campagne con i mezzi mobili sono state effettuate in diverse zone del comune di Livorno, in particolare in area portuale, a Follonica e, nella zona nord della costa, nei comuni di Viareggio Pietrasanta e Vecchiano. Nella seguente figura 1.1 sono riepilogate durata e relativa media di PM10 per le campagne effettuate con i mezzi mobili nella zona Costa.

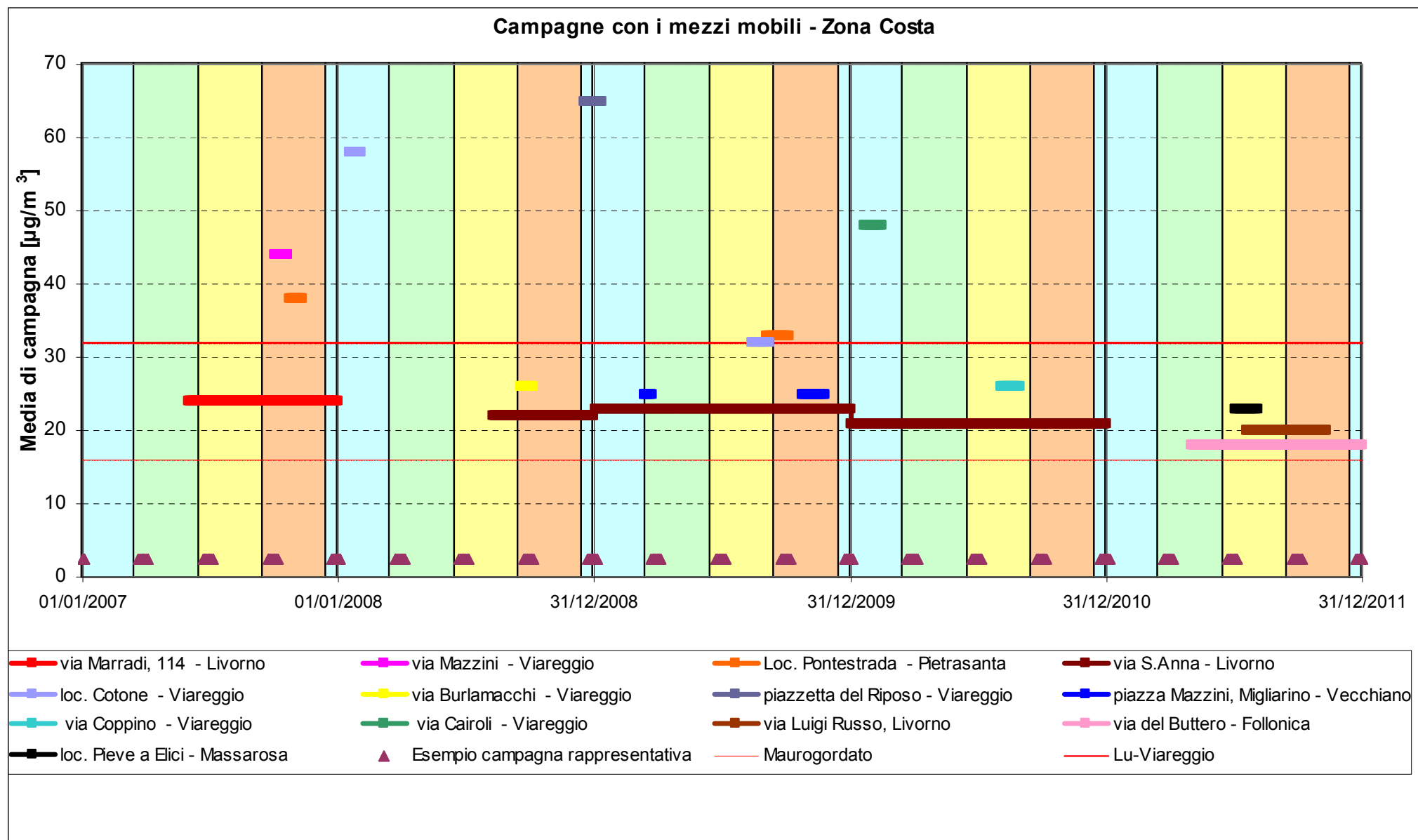
Per fornire elementi di riferimento all'interpretazione dei dati sono riportate in grafico la massima e la minima media su base quinquennale registrate nelle stazioni di fondo della zona (vedi tabella II.1 – parte 2). Nel caso della zona costiera si ha un massimo di 32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ della stazione di LU-Viareggio ed un minimo pari a 16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ della stazione di Livorno Maurogordato. Nell'effettuare questo parallelismo tra dati dei mezzi mobili e stazioni fisse, occorre ricordare quanto già specificato in precedenza, e cioè che i valori medi ottenuti in campagne di misura discontinue, anche se rappresentative come misure indicative ai sensi del D.Lgs 155/2010, non assumono lo stesso significato dei dati misurati dalle stazioni fisse. Va inoltre ricordato che, per quanto riguarda i dati dei mezzi mobili riportati in grafico, essi possono essere riferiti a siti di fondo di traffico o industriali oppure la classificazione del sito di misura può risultare non determinata (vedi tabella 1B) e nella valutazione occorre tenere conto anche di questo elemento.

Le medie di campagna più elevate sono state riscontrate a Viareggio, relativamente a monitoraggi interamente svolti in periodi autunnali o invernali. Un'altra campagna che risulta significativa per la zona costiera è quella di Pietrasanta che si è svolta nello stesso sito nel 2007 e nel 2009. I valori rilevati sono stati confrontati con quelli misurati dalla stazione di Viareggio nello stesso periodo e sono risultati simili sia come media che come andamento. Nel complesso i dati di queste due campagne sembrano mostrare che per il PM10 la stazione di rete regionale di Viareggio possa essere ritenuta significativa di buona parte della Versilia e non solo del centro urbano di Viareggio.

Per ulteriori approfondimenti sulle campagne con i mezzi mobili sono disponibili le relazioni pubblicate su ogni singola campagna sul sito web ARPAT all'indirizzo :

<http://www.arp.at.toscana.it/temi-ambientali/aria/sistema-di-rilevamento/rapporti-annuali/campagne-di-rilevamento-della-qualita-dellaria-effettuate-con-laboratori-mobili>

Figura 1.1 Riepilogo durata e valore medio di PM10 di ciascuna campagna con i mezzi mobili



2. Agglomerato di Firenze

Tabella 2A Comuni critici e ubicazione dei dati di monitoraggio – agglomerato di Firenze

	COMUNE	CRITICO	MONITORAGGIO		
			REG	PROV	MM
1	Bagno a Ripoli	X			
2	Calenzano	X		X	
3	Campi Bisenzio	X		X	
4	Firenze	X	X		
5	Lastra a Signa	X			
6	Scandicci	X	X		
7	Sesto Fiorentino	X		X	
8	Signa	X	X		

L'agglomerato di Firenze, unica area con le caratteristiche di agglomerato in tutta la regione, si configura come area critica nella sua interezza. Tutti i comuni appartenenti all'agglomerato risultano quindi critici dal punto di vista delle pressioni.

Ciononostante i dati dell'ultimo quinquennio mostrano un andamento decrescente grazie al quale il problema del mancato rispetto del limite della media annuale risulta al 2010-2011 ormai superato anche nelle stazioni di traffico. Molto diversa è la situazione del numero di superamenti che rimane un indicatore critico sia nella stazione urbana fondo di Scandicci, selezionata in rete regionale per rappresentare tutti i comuni dell'area omogenea, sia nelle due stazioni di traffico fiorentine.

Ben 6 degli 8 comuni dell'agglomerato dispongono di dati storici di monitoraggio. Se ci si limita ad analizzare i dati delle stazioni di fondo, si riscontrano valori critici nel numero di superamenti per tutte le stazioni dell'area omogenea ad esclusione delle due stazioni fiorentine, delle quali solo Bassi presenta un superamento del limite nel 2007. Anche se, con tutta probabilità, non determinante per le azioni che possono essere messe in atto nell'agglomerato nel suo complesso, merita senz'altro un approfondimento il fatto che i valori di fondo più bassi dell'agglomerato siano rilevati proprio nelle stazioni del centro urbano di Firenze. Essendo tuttavia l'agglomerato un'area omogenea, i diversi livelli di fondo, rilevati nei diversi comuni, sono da considerarsi rappresentativi di porzioni di ciascuna area urbana. Ovvero, i dati di fondo delle stazioni di Boboli e Bassi, situate nell'area urbana di Firenze, rappresentano anche aree con caratteristiche simili negli altri comuni e, analogamente, l'area urbana di Firenze è rappresentata anche dai dati di fondo di Scandicci, Campi Bisenzio e Sesto Fiorentino.

Infine, come apparirà più evidente in seguito, la stazione di Scandicci ben sintetizza i dati delle stazioni di fondo dell'agglomerato non confluite in rete regionale.

Tabella 2B Medie annuali – agglomerato di Firenze

Stazione	Rete	Tipo	Prov	Comune	2007	2008	2009	2010	2011
FI-Boboli	REG	UF	FI	Firenze	26	25	25	23	26
FI-Bassi	REG	UF	FI	Firenze	34	29	27	22	24
FI-Scandicci	REG	UF	FI	Scandicci	39	35	35	33	29
FI-Gramsci	REG	UT	FI	Firenze	41	44	43	38	38
FI-Mosse	REG	UT	FI	Firenze	32	42	43*	39	38
Calenzano	PROV	PF	FI	Calenzano			37	35	
Campi Bisenzio	PROV	PF	FI	Campi Bisenzio	35*	32	34	32	
Signa	PROV	UF	FI	Signa	51*	48	41	36	48*
Fi-Sesto-v. Gramsci	PROV	UF	FI	Sesto			35*	34*	
FI-Calenzano Boccaccio	PROV	RI	FI	Calenzano	33*	33	24		

* serie non valide per la verifica della conformità con i limiti di legge

Tabella 2C Numero di superamenti della soglia annuale di 50 µg/m³ come media giornaliera – agglomerato di Firenze

Stazione	Rete	Tipo	Prov	Comune	2007	2008	2009	2010	2011
FI-Boboli	REG	UF	FI	Firenze	26	19	13	10	17
FI-Bassi	REG	UF	FI	Firenze	38	33	23	13	19
FI-Scandicci	REG	UF	FI	Scandicci	76	49	48	38	37
FI-Gramsci	REG	UT	FI	Firenze	80	98	88	65	55
FI-Mosse	REG	UT	FI	Firenze	38	88	NV	66	59
Calenzano	PROV	PF	FI	Calenzano			64	52	
Campi Bisenzio	PROV	PF	FI	Campi Bisenzio	NV	42	49	45	
Signa	PROV	UF	FI	Signa	NV	120	85	64	NV
Fi-Sesto-v. Gramsci	PROV	UF	FI	Sesto			NV	NV	
FI-Calenzano Boccaccio	PROV	RI	FI	Calenzano	NV	56	20		

3. Zona Prato Pistoia

Tabella 3A Comuni critici e ubicazione dei dati di monitoraggio – zona Prato Pistoia

	COMUNE	CRITICO	MONITORAGGIO		
			REG	PROV	MM
1	Agliana	X			
2	Carmignano				
3	Montale		X		
4	Montemurlo	X			X
5	Pistoia	X	X	X	
6	Poggio a Caiano			X	X
7	Prato	X	X		X
8	Quarrata				
9	Serravalle Pistoiese				

Tabella 3B Medie annuali – zona Prato Pistoia

Stazione	Rete	Tipo	Prov.	Comune	2007	2008	2009	2010	2011
PO-Roma	REG	UF	Prato	Prato	34	26	25	31	30
PO-Ferrucci	REG	UT	Prato	Prato	25	32	34	33	35
PT-Montale	REG	RF	Pistoia	Montale	42	39	33*	29*	34
PT-Signorelli	REG	UF	Pistoia	Pistoia				26	25
PT-Zamenhof	PROV	UT	Pistoia	Pistoia	35	34	35	31	
PO-Strozzi	PROV	UT	Prato	Prato	35	27	28	32	
PO-XX Settembre	PROV	UT	Prato	Poggio a Caiano	35	34	31	31	
PO - via Lodi	MM		Prato	Prato	20				
Poggio a Caiano -via Soffici	MM	UT	Prato	Poggio a Caiano	24	42	24		24
Montemurlo - loc. Bagnolo, via P.Micca	MM	UF	Prato	Montemurlo	24	17			
Poggio a Caiano - via V.Emanuele	MM		Prato	Poggio a Caiano	29	31			
Montemurlo – loc. Oste, piazza Amendola	MM	UF	Prato	Montemurlo	27	30	17	23	
Poggio a Caiano - via Galilei	MM	UT	Prato	Poggio a Caiano	24	23		25	
Montemurlo - via Indipendenza	MM		Prato	Montemurlo	20	21			
Poggio a Caiano - via Aldo Moro	MM	UF	Prato	Poggio a Caiano		19			

* serie non valide per la verifica della conformità con i limiti di legge

Tabella 3C Numero di superamenti della soglia annuale di 50 µg/m³ come media giornaliera – zona Prato Pistoia

Stazione	Rete	Tipologia	Provincia	Comune	2007	2008	2009	2010	2011
PO-Roma	REG	UF	Prato	Prato	57	29	27	30	43
PO-Ferrucci	REG	UT	Prato	Prato	26	41	51	45	50
PT-Montale	REG	RF	Pistoia	Montale	82	70	NV	NV	65
PT-Signorelli	REG	UF	Pistoia	Pistoia			NV	19	25
PT-Zamenhof	PROV	UT	Pistoia	Pistoia	61	51	57	41	
PO-Strozzi	PROV	UT	Prato	Prato	52	28	28	36	
PO-XX Settembre	PROV	UT	Prato	Poggio a Caiano	40	35	31	34	

Le stazioni di fondo urbano della zona sono situate nei due capoluoghi di Prato e Pistoia, che rappresentano anche i due comuni più critici della zona. I valori misurati evidenziano una situazione tranquillamente al di sotto dei limiti per quanto riguarda Pistoia, mentre la stazione di Prato, che pure rispetta il limite della media annuale per tutto il quinquennio osservato, si assesta su valori più elevati e presenta un numero di superamenti vicino ed in alcuni casi superiore al limite. Ciò probabilmente dipende in parte dal maggior grado di urbanizzazione rispetto a Pistoia ed in parte dalla maggiore influenza del centro attrattore fiorentino.

L'anomalia di questa zona è rappresentata dalla stazione di Montale, stazione rurale di fondo situata in un comune non critico 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. Come emerge chiaramente dalla figura 4, il territorio del comune di Montale è collocato in una posizione centrale rispetto a tutti i comuni critici della zona Prato- Pistoia e più precisamente al confine con Pistoia, Montemurlo e Agliana.

Figura 3.1 – Comuni critici nella zona Prato Pistoia



A tale proposito la stazione di Montale è attualmente oggetto di verifiche riguardo alle principali fonti di influenza e alla rappresentatività spaziale del dato. Elementi interessanti potrebbero emergere da approfondimenti sulla rappresentatività, in maniera specifica sulla relazione tra le pressioni e la distribuzione dei livelli di fondo della zona in collegamento con l'Agglomerato, anche attraverso l'utilizzo di strumenti di modellistica diffusionale.

Il "caso" del comune di Montale, che pur non risultando esso stesso critico a livello di pressioni risente in maniera evidente delle pressioni esistenti sul territorio della zona, è particolarmente esemplificativo di quanto già esposto in premessa, e cioè del fatto che la rosa dei comuni critici è stata individuata in funzione delle sole pressioni in quanto è proprio in riferimento a queste che si possono determinare gli interventi più efficaci.

Per quanto riguarda infine il traffico della zona Prato Pistoia, si riscontrano problemi nel rispetto dei limiti in tutte le stazioni, come ben rappresentato anche dalla stazione di rete regionale di Prato Ferrucci.

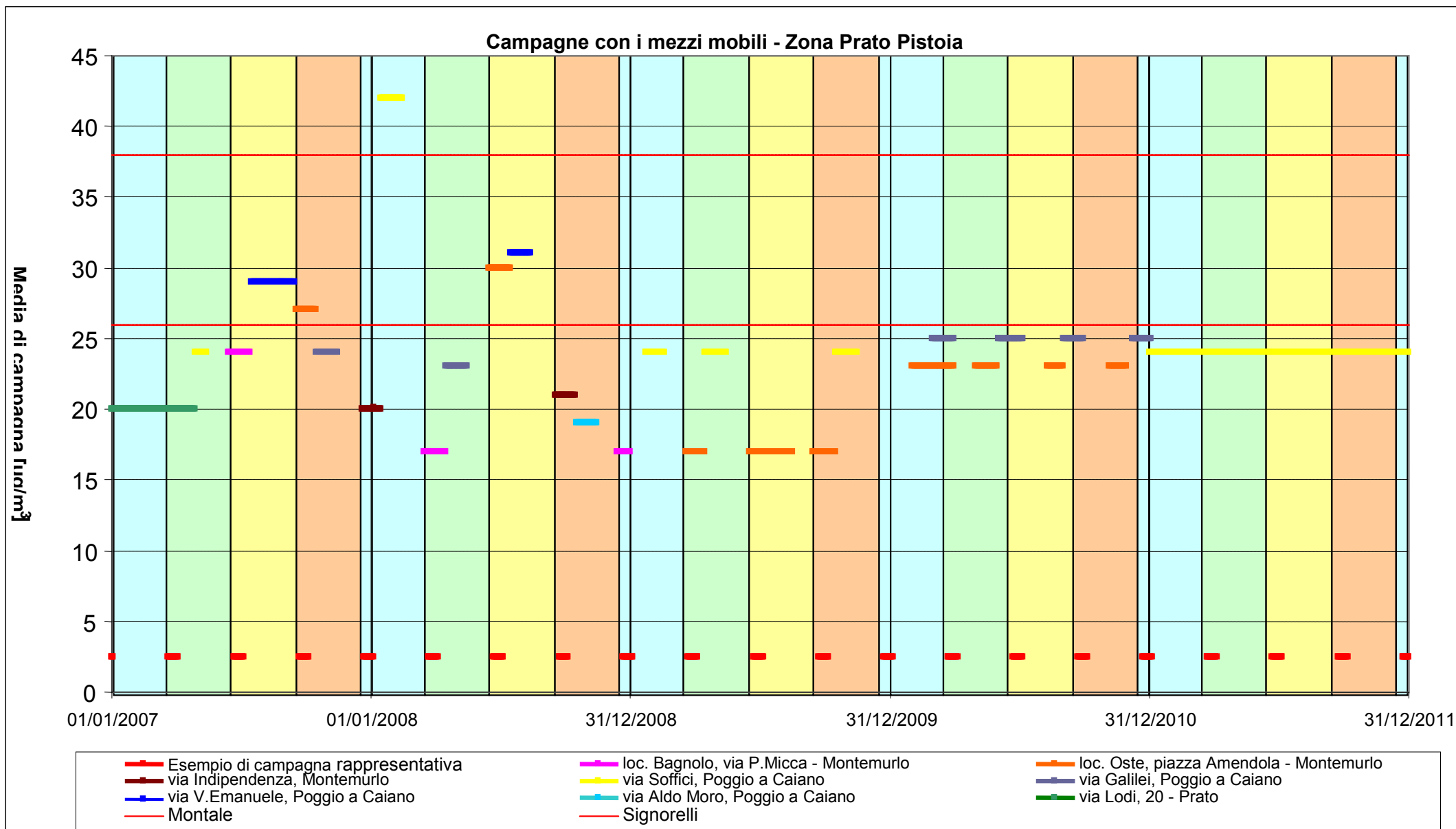
Il riepilogo dei dati misurati con i mezzi mobili è riportato in figura 3.2. Le campagne in questa zona sono state effettuate nei comuni di Prato, Montemurlo, Poggio a Caiano. Il valore più elevato è relativo ad una campagna svolta interamente in periodo invernale a Poggio a Caiano nella postazione di traffico urbano di via Soffici. Nella stessa postazione campagne prolungate o distribuite su tutto l'arco dell'anno, svolte negli anni successivi, hanno fornito valori medi decisamente inferiori. Le altre campagne svolte si collocano in genere al di sotto della minima e massima media per le stazioni di fondo della zona rilevate nel quinquennio in esame, e relative rispettivamente alle stazioni di Signorelli e Montale (vedi tabella II.1 – parte 2). Questi valori sono riportati in grafico come valori di riferimento per la zona.

Un ulteriore confronto con i valori delle stazioni della rete provinciale di riferimento, quella di Prato, ha messo in evidenza valori medi delle campagne inferiori o uguali alla media di rete relativa allo stesso periodo. Fa eccezione in particolare il monitoraggio di via Vittorio Emanuele che concorre a confermare, insieme ai dati di via Soffici, l'esistenza di un problema PM10 su tutto l'asse della strada statale che attraversa il Comune di Poggio a Caiano.

Ulteriori dettagli o approfondimenti possono essere ricavati dalle appendici alle relazioni provinciali di Prato 2008-2011 disponibili sul sito ARPAT all'indirizzo:

http://www.arp.at.toscana.it/temi-ambientali/aria/sistema-di-rilevamento/rapporti-annuali/ar_relazioni2.html

Figura 3.2 Riepilogo durata e valore medio di PM10 di ciascuna campagna con i mezzi mobili



4. Zona del lungarno pisano e piana lucchese

Tabella 4A Comuni critici e ubicazione dei dati di monitoraggio – zona del lungarno pisano e piana lucchese

	COMUNE	CRITICO	MONITORAGGIO		
			REG	PROV	MM
1	Altopascio				X
2	Bientina				
3	Buggiano				
4	Buti				
5	Calci				
6	Calcinaia				
7	Capannoli				
8	Capannori	X	X		X
9	Capraia e Limite				
10	Cascina	X	X		X
11	Castelfranco di Sotto				X
12	Cerreto Guidi				
13	Chiesina Uzzanese				
14	Empoli	X		X	
15	Fucecchio				X
16	Lamporecchio				
17	Larciano				
18	Lari			X	
19	Lucca	X		X	X
20	Massa e Cozzile				
21	Monsummano Terme				
22	Montecarlo				
23	Montecatini-Terre	X		X	
24	Montelupo Fiorentino			X	
25	Montopoli in Val d'Arno			X	
26	Pescia				
27	Pieve a Nievole				
28	Pisa	X	X	X	X
29	Ponsacco				X
30	Ponte Buggianese				
31	Pontedera	X		X	X
32	Porcari			X	X
33	San Giuliano Terme	X			X
34	San Miniato				X
35	Santa Croce sull'Arno		X	X	
36	Santa Maria a Monte				X
37	Uzzano				
38	Vicopisano				X
39	Vinci				

I valori della media di PM10 per questa zona sono, in maniera generalizzata per tutta la zona, vicini al limite annuale e solo in pochi casi superiori. Le medie annuali si collocano per la maggior parte tra i 30 e 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per tutte le tipologie di stazioni (traffico, industriale, fondo) con la eccezione delle 3 stazioni di traffico Carducci, Navacchio e Cascina che si distinguono per valori medi più alti. Il valore medio massimo ottenuto è proprio quello della stazione urbana di Lucca Carducci, che rappresenta un alto traffico, ed è l'unica a superare il limite in tutti gli anni in esame.

Il valore minimo riscontrato per la media annuale nella zona è di 22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a Montelupo nel 2010 e potrebbe essere assunto rappresentare il fondo di zona.

Tabella 4B Medie annuali – zona del lungarno pisano e piana lucchese

Stazione	Rete	Tipo	Prov	Comune	2007	2008	2009	2010	2011
LU-Capannori	REG	UF	Lucca	Capannori	31	29	27	27	31
PI-S.Croce Coop	REG	PF	Pisa	S.Croce	30	29	29	30	31
PI-Passi	REG	UF	Pisa	Pisa				25	26
PI-Borghetto	REG	UT	Pisa	Pisa	31	29	32	29	29
Empoli	PROV	UT	Firenze	Empoli		28	32	34	
Montelupo	PROV	UF	Firenze	Montelupo		32	26	22	
Lu-Micheletto	PROV	UT	Lucca	Lucca	34	31	33	31	33
Lu-Carducci	PROV	UT	Lucca	Lucca	51	48	44	44	
Lu-Porcari	PROV	PF	Lucca	Porcari	34	30	29	28	31
Pi-Oratoio	PROV	PI	Pisa	Pisa	35	34	36	32	
Cascina	PROV	UT	Pisa	Cascina	36	43	40	35	
Cascina-Navacchio	PROV	UT	Pisa	Cascina	40	39	36	30	
Pontedera	PROV	UT	Pisa	Pontedera	37	31	30	30	28
Lari	PROV	PI	Pisa	Lari	28	26	28	31	
S.Croce Serao	PROV	PI	Pisa	S.Croce	26	25	26	24	
S.Romano	PROV	UI	Pisa	Montopoli	32	36	33	29	
Montecatini Merlini	PROV	UF	Pistoia	Montecatini	37	35	33	28	
Porcari-via Ciarpi	MM		Lucca	Porcari		47			
Porcari Rughi	MM		Lucca	Porcari	24		37***		
Lucca_Loc.Piaggione	MM		Lucca	Lucca	26		27		
Capannori-S.Margherita	MM		Lucca	Capannori	31	34			
Altopascio	MM		Lucca	Altopascio		43	34*		
Capannori- Lammari	MM		Lucca	Capannori				25**	
Capannori- Marlia	MM		Lucca	Capannori	46				
Capannori-colle di Compito	MM		Lucca	Capannori		23			
Altopascio- v. Valico	MM		Lucca	Altopascio					54

Vicopisano- S. Giovanni della Vena	MM	UT	Lucca	Vicopisano	33				
Pisa- piazza Guerrazzi	MM		Pisa	Pisa	36	40	31		
Pisa- Loc. La Fontina	MM		Pisa	Pisa	24				
Pisa- v. Croce	MM		Pisa	Pisa	42				
Pisa- v. Bonanno	MM		Pisa	Pisa	27				
Pisa - Aeroporto	MM		Pisa	Pisa			14		
Pisa – S. Marco	MM		Pisa	Pisa			15		
Castelfranco- piazza Alessandrini	MM	UT	Pisa	Castelfranco di Sotto	28				
Castelfranco – via Nuova	MM	PI	Pisa	Castelfranco di Sotto		18			
S.Miniato- Ponte a Egola	MM		Pisa	S. Miniato	26				
S.Miniato- zona interporto	MM	UF	Pisa	S. Miniato		16	19	16	18
S.Miniato- v. della Spira loc. Ponte a Egola	MM		Pisa	S. Miniato		22			
S. Miniato – loc. S. Romano	MM		Pisa	S. Miniato		21			
S.Maria a Monte – Loc Ponticelli	MM		Pisa	S. Maria a Monte			13		
Loc. Ponte a Cappiano Fucecchio	MM	PI	Firenze	Fucecchio	23	14	20	9	15
Fucecchio- scuola elementare	MM		Firenze	Fucecchio	25				
Pontedera loc. Gello (R6/R9)	MM		Pisa	Pontedera		18		11	
Pontedera loc. Gello (R9)	MM		Pisa	Pontedera				31	
Ponsacco – via dei Mille	MM	UT	Pisa	Ponsacco		38	25		
S.Giuliano- via Dinucci	MM		Pisa	S.Giuliano Terme			16		
Navacchio	MM	UT	Pisa	Cascina					33

* media tra campagne stagionali svolte tra il 2009-2011

**media tra campagne stagionali svolte tra il 2007 e 2010

*** media tra campagne stagionali svolte tra il 2009-2010

Come già accennato i dati disponibili sono prevalentemente riferiti ai comuni critici, tuttavia i dati misurati al di fuori di tale rosa sembrano confermare una distribuzione dei valori medi annuali piuttosto omogenea all'interno della zona per cui anche alcuni comuni non definiti critici, come ad esempio Porcari, Altopascio, Santa Croce e Monopoli, non rispettano per alcuni degli anni considerati il limite del numero di superamenti della soglia annuale di 50 µg/m³ come media giornaliera.

Tabella 4C Numero di superamenti della soglia annuale di 50 µg/m³ come media giornaliera – zona del lungarno pisano e piana lucchese

Stazione	Rete	Tipologia	Provincia	Comune	2007	2008	2009	2010	2011
LU-Capannori	REG	UF	Lucca	Capannori	61	40	35	38	57
PI-S.Croce Coop	REG	PF	Pisa	S.Croce	42	35	32	33	47
PI-Passi	REG	UF	Pisa	Pisa				13	28
PI-Borghetto	REG	UT	Pisa	Pisa	45	36	31	31	44
Empoli	PROV	UT	Firenze	Empoli		16	23	23	
Montelupo	PROV	UF	Firenze	Montelupo		32	4	5	
Lu-Micheletto	PROV	UT	Lucca	Lucca	50	41	50	48	65
Lu-Carducci	PROV	UT	Lucca	Lucca	131	121	92	98	
Lu-Porcari	PROV	PF	Lucca	Porcari	63	42	41	41	54
Pi-Oratoio	PROV	PI	Pisa	Pisa	46	40	45	29	
Cascina	PROV	UT	Pisa	Cascina	55	93	82	50	
Cascina-Navacchio	PROV	UT	Pisa	Cascina	66	72	49	31	
Pontedera	PROV	UT	Pisa	Pontedera	66	34	16	25	27
Lari	PROV	PI	Pisa	Lari	24	21	14	43	
S.Croce Serao	PROV	PI	Pisa	S.Croce	19	20	6	10	
S.Romano	PROV	UI	Pisa	Montopoli	43	60	38	28	
Montecatini Merlini	PROV	UF	Pistoia	Montecatini	61	59	46	30	

Per quanto riguarda il numero di superamenti valgono in generale, considerazioni analoghe a quelle relative alla media annuale, anche se questo indicatore è più sensibile alla tipologia di localizzazione della stazione e mostra perciò una maggiore variabilità.

A fronte di una distribuzione piuttosto omogenea delle medie annuali nella zona, per il numero di superamenti si rileva che la stazione di rete regionale di Lucca Capannori rappresenta un'area estesa della zona in cui si verifica il superamento del limite. Allo stesso tempo all'interno della zona esiste un'area di non superamento dei limiti che può essere riferita alla stazione di rete regionale di Pisa Passi.

Le stazioni di alto traffico di Lucca Carducci e quelle di Cascina Navacchio (in prossimità della SS 67 Tosco Romagnola), sono da considerarsi come *hot spot*. A livello regionale il traffico per la zona è rappresentato dalla stazione di Pisa Borghetto che comunque supera o si avvicina al limite annuale dei 35 superamenti.

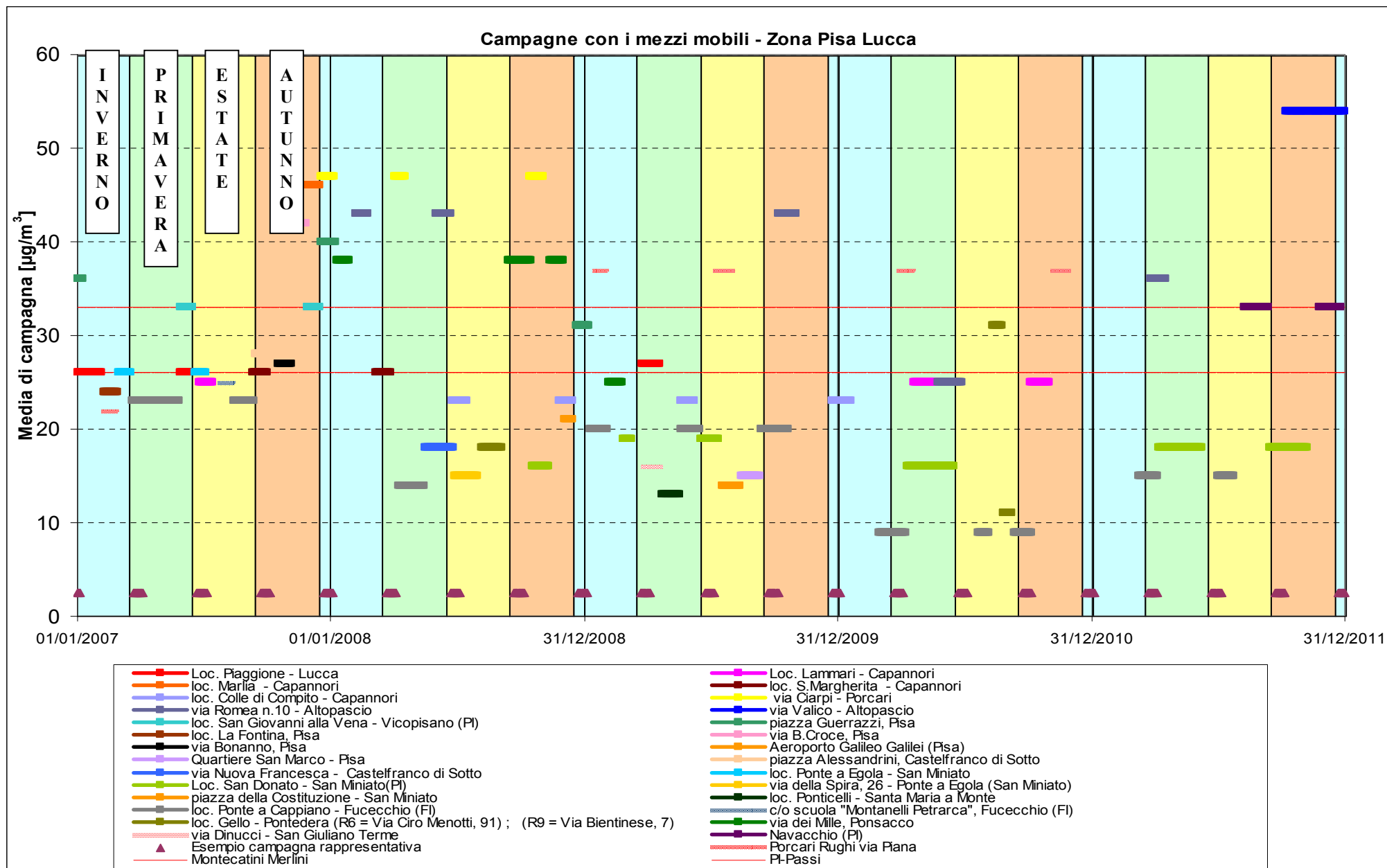
Il riepilogo dei dati misurati con i mezzi mobili è riportato in figura 4.1. Le campagne con i mezzi mobili si sono svolte sia in area pisana che in area lucchese. Per la zona i valori di riferimento relativi alle stazioni fisse riportati in grafico sono la media del quinquennio della stazione UF di Pisa Passi e della stazione UF di Montecatini Merlini (minimo e massimo di tabella II.1 – parte 2). In area pisana i monitoraggi hanno riguardato il territorio del comune di Pisa in vari siti, gli altri

comuni critici di S. Giuliano Terme, Pontedera e Cascina ed i comuni non critici di Vicopisano, Castelfranco di Sotto, S. Miniato, S. Maria a Monte, Fucecchio, Ponsacco. I valori medi più elevati riscontrati in questa area sono relativi al comune di Pisa, siti di Santa Croce e piazza Guerrazzi e sono relativi a monitoraggi interamente svolti in periodi invernali. In piazza Guerrazzi le campagne sono state ripetute in anni diversi, sempre in periodi invernali, con valori medi inferiori. Escludendo Pisa, le medie più alte sono state rilevate in 3 siti di traffico nei comuni di Ponsacco, Cascina e Vicopisano.

Nella piana lucchese i monitoraggi hanno interessato i comuni di Lucca e Capannori (critici), Altopascio e Porcari (non critici). I valori medi più elevati sono relativi alle campagne in via Ciarpi a Porcari, in località Marlia a Capannori e ad Altopascio in via Valico e via Romea.

Per quanto riguarda il comune di Altopascio va specificato che il sito di via Romea è collocato in una postazione di traffico mentre il monitoraggio in via Valico è stato effettuato a seguito di problematiche ambientali determinate da un incendio che ha interessato l'area al confine tra il comune di Altopascio e quello di Castelfranco di Sotto. Il fenomeno dell'incendio potrebbe in parte aver influito sui livelli misurati anche se durante precedenti campagne effettuate nel comune di Altopascio si erano registrati valori confrontabili. Occorre dunque considerare che nell'abitato di Altopascio si ha un incremento dei livelli di PM10 già presenti in maniera significativa nella piana lucchese, determinati probabilmente dalla vicinanza dell'autostrada A11.

Figura 4.1 Riepilogo durata e valore medio di PM10 di ciascuna campagna con i mezzi mobili



5. Zona del Val d' Arno aretino e Val di Chiana

Tabella 5A Comuni critici e ubicazione dei dati di monitoraggio – zona valdarno aretino

	COMUNE	CRITICO	MONITORAGGIO		
			REG	PROV	MM
1	Figline Valdarno				
2	Incisa in Val d'Arno			X	
3	Reggello				
4	Rignano sull'Arno				
5	Arezzo	X	X	X	
6	Bucine				
7	Castelfranco di Sopra				
8	Castiglion Fiorentino				
9	Cavriglia				
10	Civitella in Val di Chiana				
11	Cortona				
12	Foiano della Chiana				
13	Laterina				
14	Lucignano				
15	Marciano della Chiana				X
16	Monte San Savino				
17	Montevarchi				X
18	Pergine Valdarno				
19	Pian di Sco				
20	San Giovanni Valdarno				
21	Terranuova Bracciolini				
22	Chiusi				
23	Montepulciano				
24	Sinalunga				
25	Torrita di Siena				

Questa zona che si distingue dalla Collinare montana per grado di antropizzazione non presenta tuttavia elementi di criticità particolari a livello di pressioni e l'unico comune critico risulta essere il capoluogo Arezzo. Per quanto riguarda il monitoraggio del PM10, i dati dell'ultimo quinquennio relativi all'attuale rete regionale sono limitati alla stazione di traffico urbano di Arezzo Repubblica. Nella stazione AR Acropoli, selezionata per rappresentare il fondo urbano della zona, il monitoraggio del PM10 deve ancora essere attivato.

Tabella 5B Medie annuali – zona valdarno aretino

Stazione	Rete	Tipo	Provincia	Comune	2007	2008	2009	2010	2011
AR-Repubblica	REG	UT	AR	Arezzo	33	32	30	27	28
AR-Fiorentina	PROV	UT	AR	Arezzo	31	33	30	27	
Incisa	PROV	UF	FI	Incisa			21	23	32
Montevarchi	MM	UT	AR	Montevarchi				31	
Castelluccio	MM	UI	AR	Capolona					20
Cesa	MM	UF	AR	Marciano della Chiana					21

Gli unici dati di riferimento per il fondo urbano disponibili per il 2007-2011 sono quelli della stazione provinciale di FI Incisa che presenta uno sporadico e apparentemente anomalo non rispetto del limite per il numero dei superamenti nel 2011. Sulla stazione, piuttosto recente e non selezionata per la rete regionale, non ci sono elementi sufficienti a motivare i valori del 2011 a meno di ragioni locali al momento attuale non indagate.

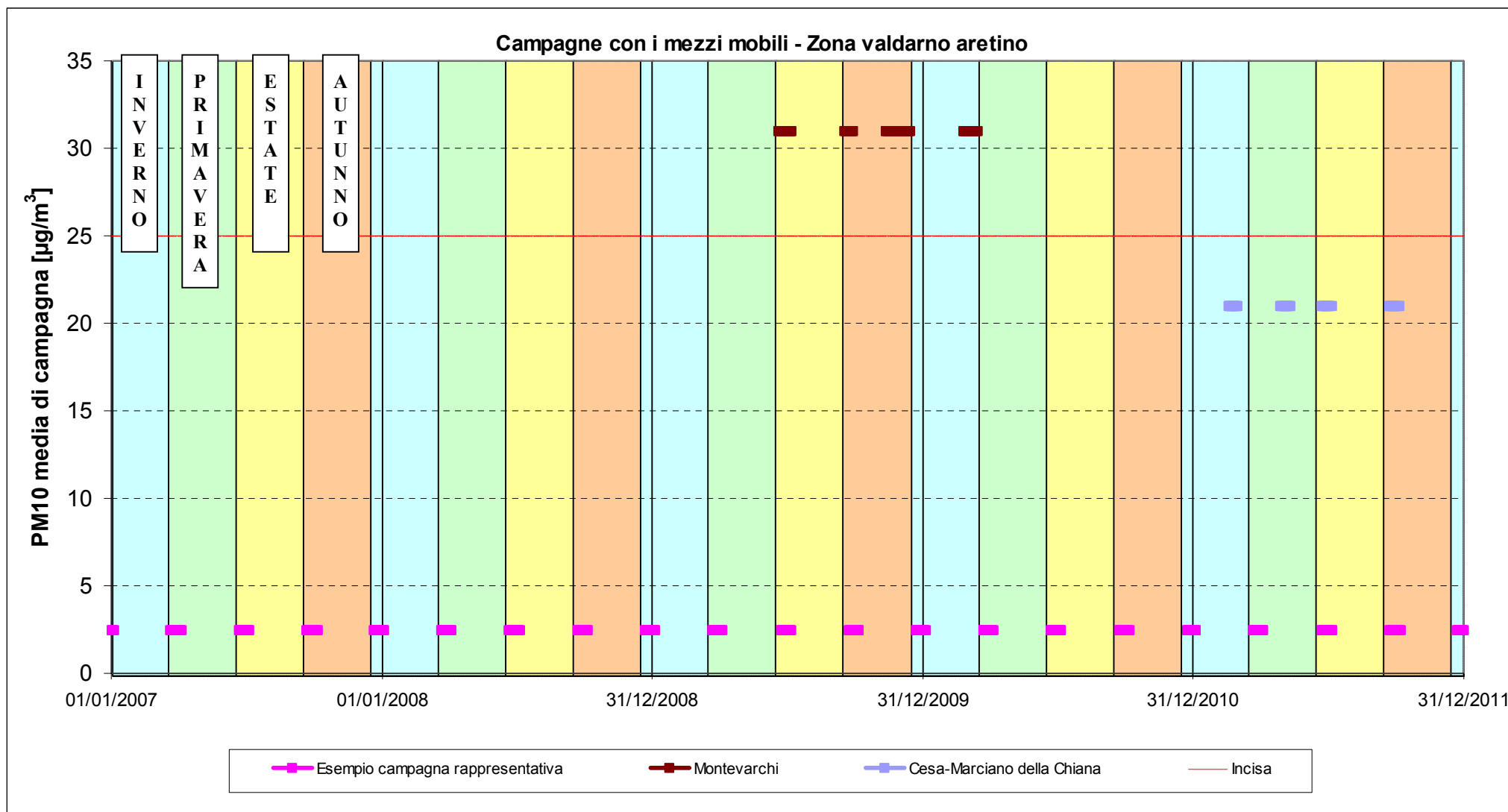
Tabella 5C Numero di superamenti della soglia annuale di 50 µg/m³ come media giornaliera – zona valdarno aretino

Stazione	Rete	Tipo	Prov	Comune	2007	2008	2009	2010	2011
AR-Repubblica	REG	UT	AR	Arezzo	23	17	14	20	34
AR-Fiorentina	PROV	UT	AR	Arezzo	55	44	36	26	
Incisa	PROV	UF	FI	Incisa			5	18	48

Il riepilogo dei dati misurati con i mezzi mobili è riportato in figura 5.1. In grafico è riportata come valore indicativo di riferimento la media relativa al quinquennio osservato dei valori misurati dalla stazione di fondo urbano Incisa (vedi tabella II.1 – parte 2). Valori più elevati, come media di campagna, si riscontrano a Montevarchi in un sito di traffico in cui il monitoraggio è stato svolto, su richiesta dell'amministrazione comunale, proprio in seguito a segnalazioni di residenti riguardante il disturbo provocato dal traffico veicolare a seguito della variazione della viabilità della zona. I valori rilevato a Montevarchi presentano analogie con i dati della stazione fissa di Arezzo Repubblica, anch'essa classificata come urbana-traffico. I rapporti completi delle campagne sono disponibili sul sito ARPAT all'indirizzo:

<http://www.arp.at.toscana.it/temi-ambientali/aria/sistema-di-rilevamento/rapporti-annuali/laboratori-mobili-arezzo>

Figura 5.1 Riepilogo durata e valore medio di PM10 di ciascuna campagna con i mezzi mobili



6. Zona collinare montana

Tabella 6A Comuni critici e ubicazione dei dati di monitoraggio – zona collinare montana

Comune	C	R	P	M	Comune	C	R	P	M	Comune	C	R	P	M
1 Cantagallo					41 Villa Basilica					81 Chianni				
2 Vaiano				X	42 Villa Collemantina					82 Crespina				
3 Vernio					43 Abetone					83 Fauglia				
4 Aulla					44 Cutigliano					84 Guardistallo				
5 Bagnone					45 Marliana					85 Lajatico				
6 Casola in Lunigiana					46 Piteglio					86 Lorenzana				
7 Comano					47 Sambuca Pistoiese					87 Montecatini Val di Cecina				
8 Filattiera					48 San Marcello Pistoiese					88 Montescudaio				
9 Fivizzano					49 Barberino di Mugello					89 Monteverdi Marittimo				
10 Fosdinovo					50 Barberino Val d'Elsa					90 Orciano Pisano				
11 Licciana Nardi					51 Borgo San Lorenzo					91 Palaia				
12 Mulazzo					52 Castelfiorentino					92 Peccioli				
13 Podenzana					53 Certaldo					93 Pomarance		X		
14 Pontremoli					54 Dicomano					94 Riparbella				
15 Tresana					55 Fiesole					95 Santa Luce				X
16 Villafranca in Lunigiana					56 Firenzuola					96 Terricciola				
17 Zeri					57 Gambassi Terme					97 Volterra				
18 Bagni di Lucca				X	58 Greve in Chianti			X		98 Anghiari				
19 Barga				X	59 Impruneta					99 Badia Tedalda				
20 Borgo a Mozzano				X	60 Londa					100 Bibbiena				
21 Camporgiano					61 Marrani					101 Capolona				X
22 Careggine					62 Montatone					102 Caprese Michelangelo				
23 Castelnuovo di Garfagnana				X	63 Montespertoli					103 Castel Focognano				
24 Castiglione di Garfagnana					64 Palazzuolo sul Senio					104 Castel San Niccolò				
25 Coreglia Antelminelli				X	65 Pelago					105 Castiglion Fibocchi				
26 Fabbriche di Vallico					66 Pontassieve			X		106 Chitignano		X		
27 Fosciandora					67 Rufina					107 Chiusi della Verna				
28 Galliciano				X	68 San Casciano in Val di Pesa					108 Loro Ciuffenna				
29 Giuncugnano					69 San Godenzo					109 Montemignaio				
30 Minacciano					70 San Piero a Sieve					110 Monterchi				
31 Molazzana					71 Scarperia					111 Ortignano Raggiolo				
32 Pescaglia					72 Tavarnelle Val di Pesa					112 Pieve Santo Stefano				
33 Piazza al Serchio					73 Vaglia					113 Poppi				
34 Pieve Fosciana					74 Vicchio					114 Pratovecchio				
35 San Romano in G.					75 Sassetta					115 Sansepolcro				
36 Seravezza				X	76 Suvereto					116 Sestino				
37 Sillano					77 Casale Marittimo					117 Stia				
38 Stazzema					78 Casciana Terme					118 Subbiano				
39 Vagli Sotto					79 Castellina Marittima					119 Talla				
40 Vergemoli					80 Castelnuovo Val di Cecina					120 Abbazia San Salvatore				

121 Asciano				X	138 Pienza					155 Castell'Azzara				
122 Buonconvento					139 Poggibonsi	X	X	X	X	156 Cinigiano				
123 Casole d'Elsa					140 Radda in Chianti					157 Civitella Paganico				
124 Castellina in Chianti					141 Radicofani					158 Gavorrano				
125 Castelnuovo rdenga					142 Radicondoli					159 Manciano				
126 Castiglione d'Orcia				X	143 Rapolano Terme					160 Massa Marittima				
127 Cetona					144 San Casciano dei Bagni					161 Montieri				
128 Chianciano Terme					145 San Gimignano					162 Pitigliano				
129 Chiusdino					146 San Giovanni d'Asso					163 Roccalbegna				
130 Colle di Val d'Elsa				X	147 San Quirico d'Orcia					164 Roccastrada				
131 Gaiole in Chianti					148 Sarteano					165 Santa Fiora				
132 Montalcino					149 Siena	X	X	X	X	166 Scansano				
133 Monteriggioni				X	150 Sovicille					167 Seggiano				
134 Monteroni d'Arbia					151 Trequanda					168 Sorano				
135 Monticiano					152 Arcidosso					169 Monterotondo Marittimo				
136 Murlo					153 Campagnatico					170 Semproniano				
137 Piancastagnaio				X	154 Castel del Piano									

Come definito nella zonizzazione, questa zona non presenta alti livelli di pressione. Gli unici centri urbani definiti critici tra i 170 Comuni appartenenti alla zona sono Siena e Poggibonsi, per i quali esistevano siti fissi di monitoraggio per il PM10 attivi a livello provinciale fino al 2010, e sono previste 2 postazioni di rete regionale.

Per quanto riguarda le postazioni di misura fisse, l'unico valore critico per la media annuale è quello della stazione di Poggibonsi Largo Campidoglio, dismessa nel 2010, che era ubicata in posizione critica rispetto al traffico urbano.

Il dato medio annuale di Arezzo-Casa-Stabbi può considerarsi riferibile al fondo regionale.

Tabella 6B Medie annuali – zona collinare montana

Stazione	Rete	Tipo	Prov	Comune	2007	2008	2009	2010	2011
AR-Casa Stabbi	REG	RF	AR	Chitignano	12	12	11	10	13
Pi-Montecerboli	REG	PF	PI	Pomarance	17	15	15	13	15
SI-Poggibonsi	REG	UF	SI	Poggibonsi				29*	29
Greve in Chianti	PROV	RI	FI	Greve in Chianti		24	23*	27*	31*
Pontassieve	PROV	UF	FI	Pontassieve			23*	19*	20
Poggibonsi L.go Campidoglio	PROV	UT	SI	Poggibonsi			44		
SI-Due-Ponti	PROV	UF	SI	Siena			20	28*	33
Barga	MM		LU	Barga		26			
Castelnuovo Garfagnana (incrocio SP)	MM		LU	Castelnuovo Garfagnana	35**				
Borgo a M-diecimo	MM		LU					29	
Borgo a M-vendoia	MM		LU	Borgo a Mozzano			38		
Borgo a M-caporale	MM		LU				44		
Galliciano	MM		LU	Galliciano				21***	
Coreglia Antelminelli	MM		LU	Coreglia Antelminelli		18			
Bagni di Lucca	MM		LU	Bagni di Lucca		33	37		
Fornoli	MM		LU	Bagni di Lucca				34	
Fornaci di Barga	MM		LU	Barga				26**	
Serravezza-v. Marconi	MM		LU	Serravezza		25			
Poggibonsi- v. Abetone	MM		SI		29				
Poggibonsi – v. Volta	MM		SI		25				
Poggibonsi – loc. Cedda	MM		SI		14				
Poggibonsi- v. Montegrappa	MM		SI		31				
Poggibonsi – v. S.Anna	MM		SI	Poggibonsi		14			
Poggibonsi- v. Pieraccini	MM		SI			18			
Poggibonsi- via 18 Luglio	MM		SI			31			
Poggibonsi – L.go Campidoglio	MM	UT	SI					20	20
Poggibonsi – L.go Gramsci	MM	UT	SI					25	
Poggibonsi- v. Colombaio	MM	UT	SI						19
Siena – v. degli Orti	MM		SI		31				
Siena – v. Camollia	MM		SI		17				
Siena – Asilo AcquaCalda	MM		SI		20				
Siena – Loc. Taverne d'Arbia	MM		SI	Siena		21			
Siena – Loc. Isola D'Arbia	MM		SI				23		
Siena- v. Sicilia	MM	UF	SI					12	
Siena – v. De Bosis	MM	UT	SI					24	
Siena – p.zza Togliatti	MM	UT	SI						18
Asciano – Castelnuovo Berardenga S.	MM	UI	SI	Asciano					23
Monteriggioni – Strada di Gabbricce	MM		SI	Monteriggioni		17			
Castiglione d'Orcia – loc. Gallina	MM	RF	SI	Castiglione d'Orcia				13	
Colle Val d'Elsa	MM		SI		27				
Colle Val d'Elsa – via Piemonte	MM	UI	SI	Colle Val d'Elsa					21
Piancastagnaio – viale Vespa	MM		SI	Piancastagnaio	16	13		19	
Castiglione d'Orcia – loc. Gallina	MM	RF	SI	Castiglione d'Orcia				13	
Vaiano – Piazza del Comune	MM	UF	PO	Vaiano	22	20	16	17	
Santa Luce- scuola v. Gramsci	MM	UT	PI	Santa Luce				11	
Castelluccio	MM	UI	AR	Capolona					20

* serie non valide per la verifica della conformità con i limiti di legge

** media di 3 campagne stagionali, 2 delle quali svolte nel 2006

*** media di 4 campagne stagionali svolte tra il 2010 e il 2012

** media di 3 campagne stagionali svolte tra il 2010 e il 2011

Tabella 6C Numero di superamenti della soglia annuale di 50 µg/m³ come media giornaliera – zona collinare montana

Stazione	Rete	Tipo	Provincia	Comune	2007	2008	2009	2010	2011
AR-Casa Stabbi	REG	RF	Arezzo	Chitignano	0	1	0	0	0
Pi-Montecerboli	REG	PF	Pisa	Pomarance	3	1	0	0	0
SI-Poggibonsi	REG	UF	Siena	Poggibonsi				NV	20
Greve in Chianti	PROV	RI	Firenze	Greve in Chianti		12	NV	NV	NV
Pontassieve	PROV	UF	Firenze	Pontassieve			NV	NV	1
Si-Due-Ponti	PROV	UF	Siena	Siena			0	NV	35
Poggibonsi L.go Campidoglio	PROV	UT	Siena	Poggibonsi			89		

Nella zona sono state effettuate numerose campagne di monitoraggio che si concentrano principalmente nell'area senese e nell'area della Garfagnana che tra le valli presenti in questa zona è quella maggiormente antropizzata. In aggiunta a queste sono state svolte alcune campagne in singoli comuni della zona collinare montana in provincia di Prato (Vaiano), Pisa (Santa Luce) e Arezzo (Capolona).

Le campagne svolte in area senese e più in particolare nei Comuni di Siena e Poggibonsi hanno fornito risultati coerenti con quelli misurati nelle rispettive stazioni fisse.

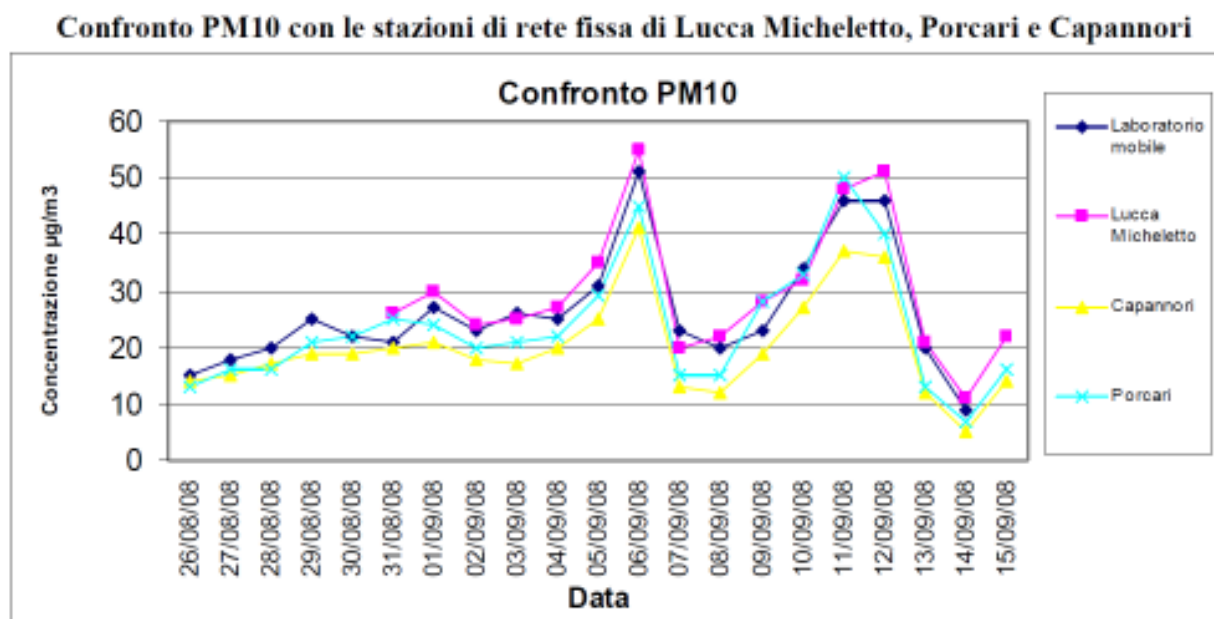
Le campagne effettuate nell'area della Garfagnana hanno evidenziato in qualche caso anche alcune criticità.

Figura 6.1 – ubicazione dei mezzi mobili in Garfagnana rispetto ai comuni della piana lucchese



Alcune di queste campagne sono state utilizzate per effettuare confronti con i livelli misurati nella piana lucchese. I risultati ottenuti sull'asse da Borgo a Mozzano a Coreglia Antelminelli mostrano un'apprezzabile similitudine tra i dati e gli andamenti del laboratorio mobile con le stazioni fisse di Lucca, Porcari e Capannori. Anche a Barga, come evidente dal grafico di figura 6, estratto da una specifica relazione sulla campagna, si verificano andamenti molto simili a quelli rilevati nella Piana lucchese.

Figura 6.2 - dati del laboratorio mobile – Barga 2008



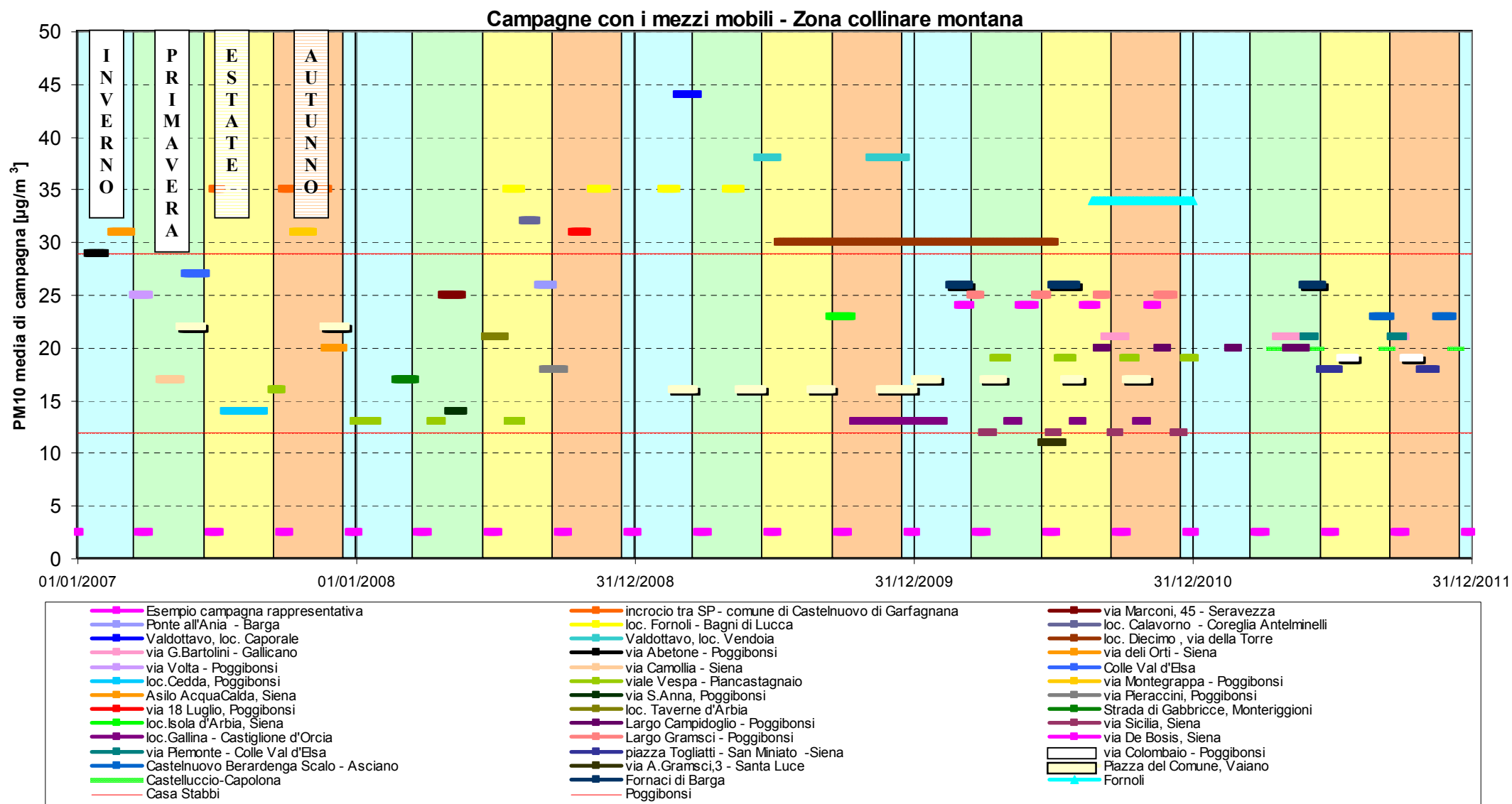
Anche se occorre una certa cautela nella valutazione di questi risultati, di questi elementi occorrerà certamente tenere conto in una futura revisione della zonizzazione.

I dati delle campagne sono riportati senza distinzioni né sulla durata della campagna (che può andare da un minimo di 27 giorni fino all'intero anno solare) né sulla validità dei dati in termini di copertura annuale. Una sintesi dei dati e della relativa durata delle campagne è riportata nel grafico di figura 6.3 dove le linee di riferimento fisse sono relative alle medie del quinquennio delle stazioni di fondo di Casa Stabbi e Poggibonsi rispettivamente minimo e massimo della zona (vedi tabella II.1 – parte 2).

Per maggiori dettagli e informazioni in proposito si rimanda alle specifiche relazioni disponibili sul sito ARPAT all'indirizzo:

<http://www.arp.at.toscana.it/temi-ambientali/aria/sistema-di-rilevamento/rapporti-annuali/campagne-di-rilevamento-della-qualita-dellaria-effettuate-con-laboratori-mobili>

Figura 6.3 Riepilogo durata e valore medio di PM10 di ciascuna campagna con i mezzi mobili



PARTE 2

Rappresentazione schematica dei livelli di PM10 in Regione Toscana

Come accennato in premessa, e reso evidente dall'analisi dei dati riportata nella Parte 1 del presente documento, la relazione tra le pressioni, sulle quali esercitare gli interventi di risanamento, e lo stato di qualità dell'aria, rappresentato dalle misure puntuali dei livelli di PM10, è il passaggio necessario per la definizione di una rappresentatività spaziale dei dati. Il problema della rappresentatività rimane pertanto una questione aperta da considerare di prioritaria importanza per l'interpretazione dei dati di qualità dell'aria ed anche a conferma della completezza dell'informazione derivante dalle stazioni di rete regionale. Si torna a sottolineare che ai fini pratici dell'applicazione degli interventi, siano essi strutturali o contingibili, aver individuato i comuni più critici a livello di pressioni rappresenta comunque il passaggio determinante.

Tuttavia in attesa dello sviluppo di una catena modellistica che possa costituire per il territorio della Regione Toscana il riferimento mancante in merito alla distribuzione spaziale dei dati di qualità dell'aria, ma anche come contributo alla realizzazione del quadro conoscitivo, nell'esercizio, proprio delle funzioni dell'Agenzia, di valutazione dei dati del monitoraggio si effettuano di seguito alcune osservazioni.

Per cercare di rappresentare, seppure in maniera approssimativa, la copertura territoriale e la distribuzione dei livelli misurati si è ipotizzato di estendere in maniera schematica la valenza delle misure puntuali. La "similitudine" tra comuni rispetto ai livelli di PM10 misurati viene qui ipotizzata, sulla base dei dati disponibili, per fornire un quadro il più possibile completo al meglio delle conoscenze attuali.

Le medie annuali disponibili per ogni zona sono state riportate su mappa con un raggio di rappresentatività ipotetico basato sui requisiti di rappresentatività previsti dalla normativa per tipologia di stazione:

stazioni di fondo urbano: area di qualche km²

stazioni di traffico: 100 metri lungo il bordo della strada

stazioni industriali: area di un quadrato di 250 m per lato

Sulla scala territoriale trattata le stazioni di traffico e le stazioni industriali portano un contributo puntuale, mentre per le stazioni di fondo sia urbano che periferico o rurale è stato adottato un raggio pari a 3 km che, anche se sottende un'area abbastanza estesa rispetto a quanto sostenuto dalla normativa per una stazione di fondo ben posizionata, permette di attribuire un'ampia copertura territoriale con i dati di fondo disponibili. La scelta è coerente con altre metodologie utilizzate per la valutazione della rappresentatività delle stazioni [1]-[3].

Il ragionamento qui proposto associa il valore di PM10, attribuito alla superficie di 30 km² intorno alla stazione, a tutto il territorio del Comune che la contiene. Se tale superficie attraversa più comuni, il dato viene esteso a tutti i comuni interessati.

Si tratta come detto di una trattazione molto semplificata e proprio per questo motivo l'unico indicatore considerato è la media annuale, che risultando da un periodo di mediazione lungo, si può considerare un indicatore meno sensibile alle oscillazioni statistiche, e con componenti di variazione spaziale gradualmente, almeno nell'ambito delle zone omogenee in cui è suddiviso il territorio regionale. Il numero di superamenti non viene considerato perché, anche se integrato su un anno, si basa su episodi giornalieri e soprattutto su un valore di soglia per cui due livelli di media giornaliera, anche molto vicini tra loro, possono determinare in un caso il superamento nell'altro il non superamento della soglia.

Considerando quindi le medie annuali, calcolate come media dell'indicatore su tutti gli anni disponibili nel periodo di riferimento (2007-2011), delle sole stazioni di fondo si giunge alla tabella di pagina seguente che contiene i dati di base delle rappresentazioni cartografiche presentate nel documento.

Il valore di fondo di zona è stato assunto pari alla media annuale minima registrata nell'ultimo quinquennio.

TABELLA II.1 – PM10 livelli di fondo per zona – medie quinquennali

Zona		Costa						Agglomerato						Prato-Pistoia		Valdarno aretino	Pisa-Lucca					Collinare Montana					TOTALE STAZIONI				
Fondo di zona		14						22						21	22					10											
Comune		Grosseto	Livorno	Rosignano M.	Viareggio	Carrara	Massa	Massa	Firenze	Firenze	Scandicci	Cadenzano	Campi Bisenzio	Signa	Sesto Fiorentino	Montale	Pistoia	Prato	Incisa	Capannori	Santa Croce	Pisa	Montelupo Fiorentino	Porcari	Montecatini	Chitignano		Montecerboli	Poggibonsi	Pontassieve	Siena
Stazione		GR-URSS	LI-Maurogordato	LI-Poggio S.Rocco	LU-Viareggio	MS-Colombarotto	MS-Galvani	MS-S.Francesco	FI-Boboli	FI-Bassi	FI-Scandicci	FI-Calenzano	FI-Campi Bisenzio	FI-Signa	FI-Sesto	PT-Montale	PT-Signorelli	PO-Roma	FI-Incisa	LU-Capannori	PI-S.Croce Coop	PI-Passi	FI-Montalupo	LU-Porcari	Montecatini Merlini	AR-Casa Stabbi	PI-Montecerboli	SI-Poggibonsi	Pontassieve	Siena	
Tipo		UF	PF	UF	UF	UF	UF	PF	UF	UF	UF	PF	PF	UF	UF	RF	UF	UF	UF	UF	PF	UF	UF	PF	UF	RF	PF	UF	UF	UF	29
Livelli media annuale	10-19		16	18			18																		12	15					5
	20-24	20				24																						20			3
	25-29						29		25	27							26	29	25	29		26	27				29		27		11
	30-34				32						34		33		34						30			30							6
	35-39											36				38									33						3
	>=40													42																	1

Per fondo di zona si considera un livello di fondo, che si aggiunge al fondo regionale di PM10, e rappresenta il contributo della combinazione di tutte le fonti di una zona che concorre a determinare un livello di base di PM10 da considerarsi come il livello minimo raggiungibile per la zona. In questo senso la scelta di valore di fondo come valore minimo misurato nell'ultimo quinquennio è coerente con la definizione. Il valore di fondo è naturalmente suscettibile di variazioni, per modifiche sostanziali delle condizioni di emissione, ma è ipotizzabile che variazioni significative siano osservabili soltanto a lungo termine. Per quanto riguarda l'area geografica, classificata come conca intermontana, che comprende l'Agglomerato di Firenze e la Zona Prato Pistoia, si è ritenuto di attribuire un unico livello di fondo proprio in considerazione della continuità fisica della piana. Dal momento che la zona collinare montana è la zona con le minori pressioni di tutto il territorio regionale, il fondo attribuito alla zona collinare montana può essere considerato come fondo regionale. Le stazioni dalle quali è ricavato il fondo per ogni zona sono rispettivamente:

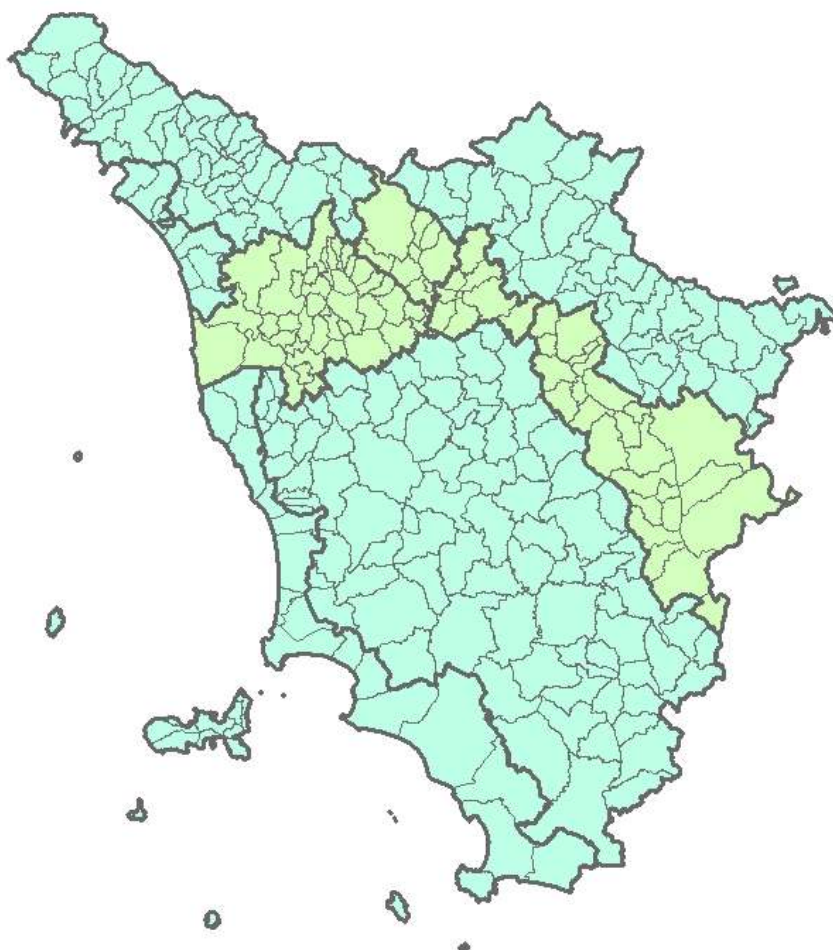
Stazione	Zona di riferimento	Classificazione	Valore	Anno
Maurogordato	Costa	PF	14	2010-11
Bassi	Agglomerato Prato/Pistoia	UF	22	2010
Incisa	Valdarno aretino	UF	21	2009
Montelupo	Lungarno pisano e piana lucchese	UF	22	2010
Chitignano	Collinare montana	RF	10	2010

Come si può osservare dai dati riportati in tabella alcune stazioni, periferiche o rurali, sono più adatte a rappresentare un livello attribuibile ad un fondo di zona; in altri casi il valore minimo misurato si riscontra per stazioni classificate come urbane fondo in cui è presente probabilmente un contributo aggiuntivo riconducibile più direttamente all'area urbana.

Di seguito è riportata la mappa con i livelli di fondo stimati per ogni zona, pari alla media annuale minima registrata nell'ultimo quinquennio.

Livelli medi PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]:

1	10-19
2	20-24
3	25-29
4	30-34
5	35-39
6	≥ 40



L'informazione sul fondo di zona, benché approssimativa, fornisce comunque elementi di valutazione interessanti, e dà evidenza del fatto che nelle zone antropizzate si ha un livello di fondo più alto rispetto al fondo regionale rappresentato dalla zona collinare e montana. Fa eccezione la zona costiera dove si registra un fondo paragonabile al fondo regionale in ragione, probabilmente, delle particolari caratteristiche meteo-diffusive proprie delle regioni costiere.

1. Zona costiera

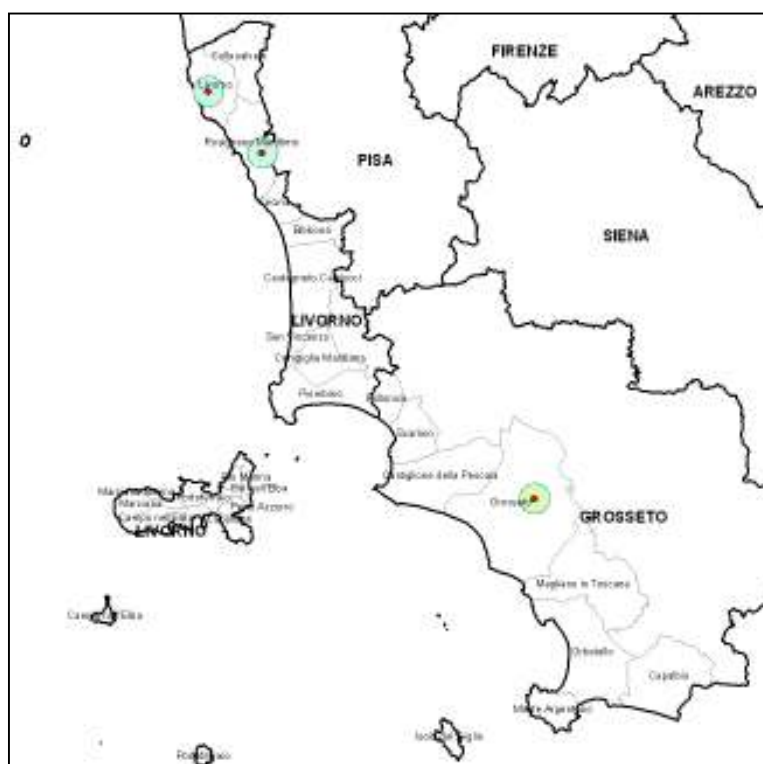
Per quanto riguarda la zona costiera i punti di riferimento per i valori di fondo sono 5 stazioni di fondo urbano e 2 di fondo periferico.

Delle stazioni urbane considerate (GR-URSS, LI- Poggio S. Rocco, LU-Viareggio, MS-Colombarotto, MS-Galvani), soltanto 3 sono confluite in rete regionale (GR-URSS, LU-Viareggio, MS-Colombarotto), mentre le 2 stazioni periferiche (LI-Maurogordato, LI-Poggio S.Rocco), sono entrambi di interesse provinciale. Per quanto riguarda il comune di Livorno in particolare, il fatto di attribuire a tutto il comune il livello misurato nella stazione periferica di Maurogordato, rappresenta molto probabilmente una sottostima. L'informazione sui livelli di fondo urbano sarà disponibile con il funzionamento a regime della nuova rete regionale che prevede il riposizionamento della stazione industriale di Gobetti in una ubicazione di fondo.

Nel caso dell'area costiera di centro sud, il livello misurato nelle stazioni di fondo considerate può essere riferito soltanto al comune di appartenenza della stazione stessa, non trovandosi nel raggio dei 3 km altri confini comunali.

Livelli medi PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]:

1	10-19
2	20-24
3	25-29
4	30-34
5	35-39
6	≥ 40

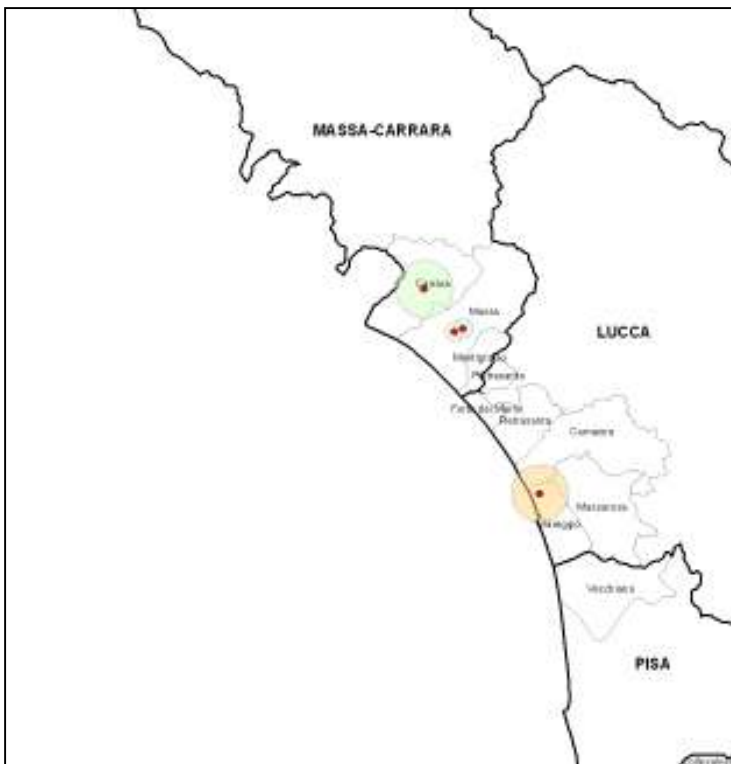


Livelli medi PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]:

1	10-19
2	20-24
3	25-29
4	30-34
5	35-39
6	≥ 40



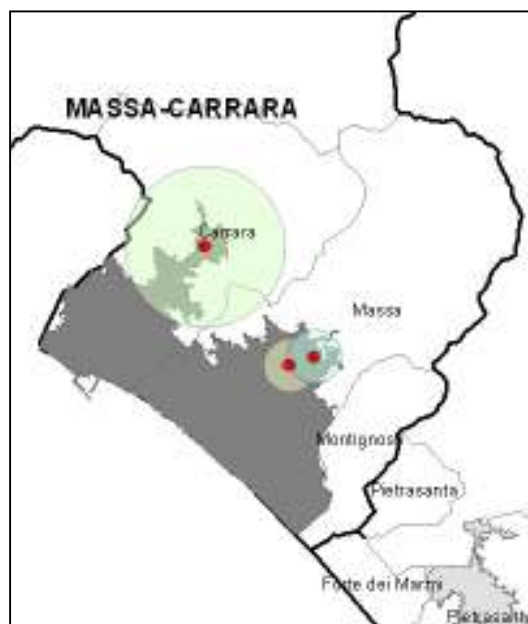
Passando invece a considerare l'area nord si rileva la seguente situazione:



Le stazioni di Massa Galvani e Massa S. Francesco, che distano meno di 1 km in linea d'aria, forniscono informazioni diverse sui livelli di PM10. Ciò significa che la rappresentatività di queste stazioni è in effetti territorialmente più ristretta o meglio, in questo caso, non uniforme nello spazio. Come si può apprezzare nella figura sottostante, in cui è stato aggiunto il dettaglio della distribuzione della popolazione, la stazione di Massa S. Francesco si trova al margine del centro urbanizzato ed è classificata infatti come periferica fondo. La stazione di Massa Galvani rappresenta presumibilmente tutto l'abitato fino alla costa, mentre la stazione di Massa S. Francesco, localizzata anche ad una maggiore altitudine slm, rappresenta quella fascia periferica del comune sottomonte.

Livelli medi PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]:

1	10-19
2	20-24
3	25-29
4	30-34
5	35-39
6	≥ 40



Ai fini dell'attribuzione all'intero territorio comunale di un livello di PM10 si è considerato più opportuno utilizzare il dato di Massa Galvani sia per un principio di cautela, in quanto si tratta del dato più elevato, sia perché fornisce un'informazione di maggior interesse sull'esposizione della popolazione. In generale, dove disponibili più dati, vengono preferibilmente utilizzati i dati urbani rispetto a quelli periferici.

Il dato di Carrara viene attribuito al solo comune di Carrara, mentre quello di Viareggio viene esteso anche a Massarosa e Camaiore. Il risultato per l'area nord della zona Costa è il seguente:



E per tutta la zona:

Livelli medi PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]:

1	10-19
2	20-24
3	25-29
4	30-34
5	35-39
6	≥ 40

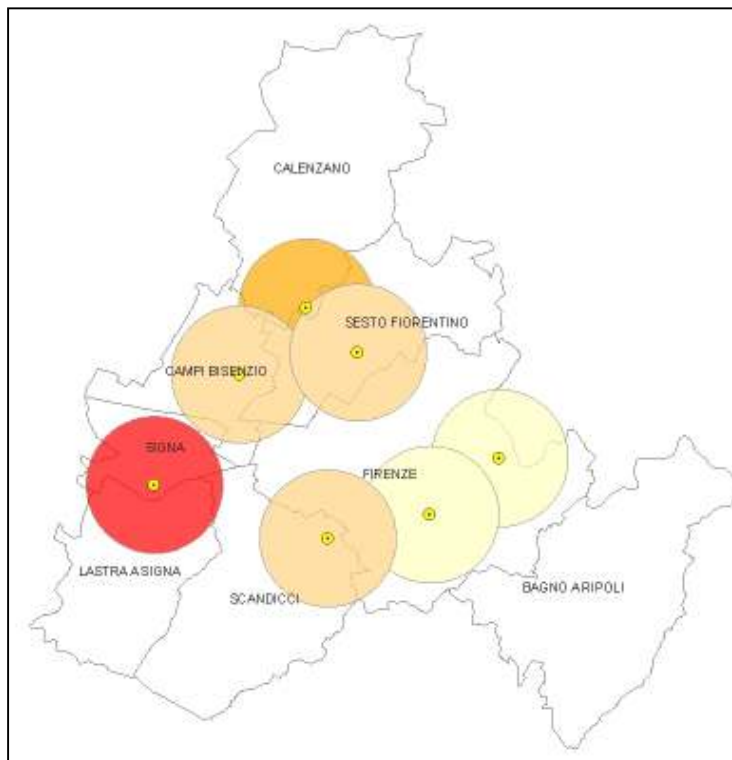


2. Agglomerato di Firenze

Per quanto riguarda l'agglomerato di Firenze sono disponibili dati provenienti da 7 stazioni di fondo, 5 urbane e 2 periferiche.

Livelli medi PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]:

1	10-19
2	20-24
3	25-29
4	30-34
5	35-39
6	≥ 40



Tra queste la stazione di Signa è stata oggetto, proprio all'atto della istituzione della rete regionale, di una revisione di classificazione. Infatti, pur essendo inizialmente posizionata e classificata come stazione di fondo, la stazione di Signa è risultata fortemente influenzata dalla sorgente di traffico di via Roma, tanto da determinare la decisione di un riposizionamento, in funzione del suo inserimento in rete regionale.

Considerando il raggio di rappresentatività di 3km, anche senza la stazione di Signa, si arriva a coprire praticamente tutto il territorio dell'agglomerato con fasce di concentrazioni variabili tra i $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di Boboli e i $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di Calenzano. A livello comunale si ha:

Livelli medi PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]:

1	10-19
2	20-24
3	25-29
4	30-34
5	35-39
6	≥ 40



L'informazione della stazione di Scandicci, in rete regionale, appare ben rappresentativa del dato misurato a Campi Bisenzio, Sesto Fiorentino e anche Calenzano che, pur ricadendo nella fascia di concentrazioni più alta, è di poco superiore ($36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ rispetto a 34 di Scandicci).

Nel raggio di rappresentatività di Scandicci, ma anche in quello di Sesto Fiorentino, ricade anche parte del territorio del comune di Firenze. Il comune di Firenze è quindi rappresentato sia nella fascia $25-29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ che nella fascia $30-34 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Torna quindi in evidenza quanto già trattato nella parte 1 come spunto di approfondimento: il livello di fondo riscontrato nel centro urbano di Firenze risulta essere in alcune aree il fondo più basso di tutto l'agglomerato, in altre si colloca nella stessa fascia del fondo dell'interland.

Questo esame in dettaglio dell'agglomerato non produce dirette conseguenze a livello di valutazione e gestione della qualità dell'aria per cui l'agglomerato viene considerato nel suo complesso e i dati di riferimento sono quelli di tutte le stazioni del territorio. Si deve quindi considerare che le stazioni di fondo urbano dell'agglomerato hanno valenza più generale per tutti i centri urbani dell'agglomerato stesso; perciò per questi comuni ed in particolare per il comune di Firenze, è corretto far riferimento, oltre alle misure di Boboli e Bassi, ai dati delle altre stazioni regionali di fondo urbano di Scandicci e Signa (quest'ultima da attivare).

3. Zona Prato Pistoia

Nella zona di Prato e Pistoia le stazioni di fondo, 1 rurale e 2 urbane, sono tutte confluite in rete regionale. Si tratta di Pt-Montale, PT-Signorelli, e PO-Roma.

Livelli medi PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]:

1	10-19
2	20-24
3	25-29
4	30-34
5	35-39
6	≥ 40



La stazione di Montale, come più volte commentato, presenta livelli quantomeno interessanti di PM10 rispetto a quanto ci si attenderebbe dal grado di urbanizzazione e dai livelli di pressione che insistono sul comune. La stazione è stata appositamente inserita in rete regionale in quanto oggetto di approfondimenti riguardo alla affidabilità e rappresentatività spaziale del dato. L'attribuzione di livelli medi di PM10 per la zona risulta:

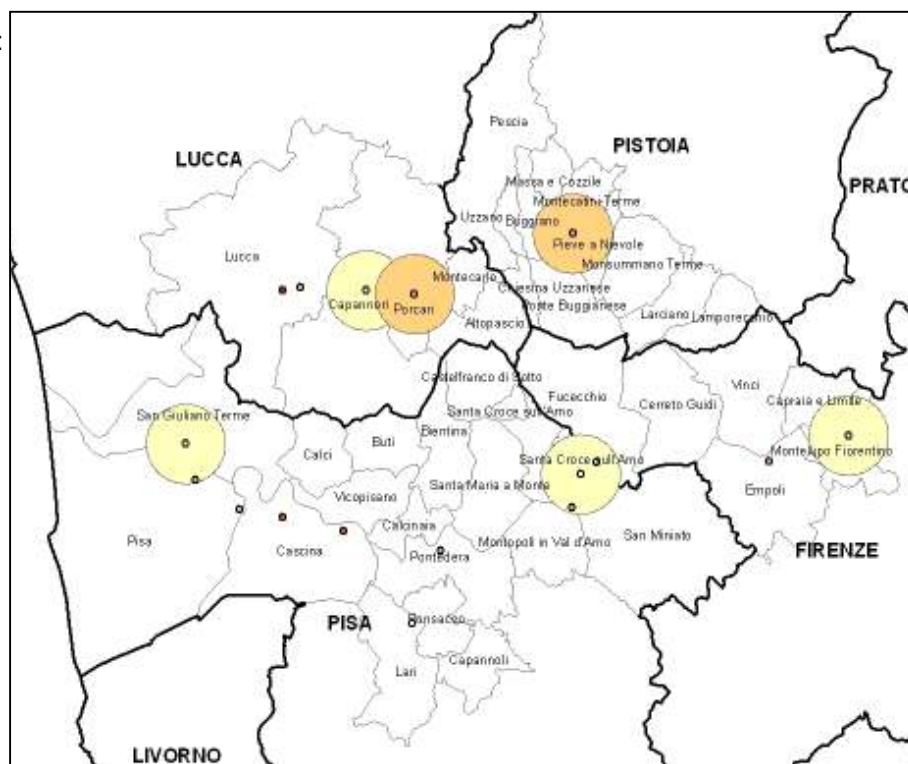


4. Zona del lungarno pisano e piana lucchese

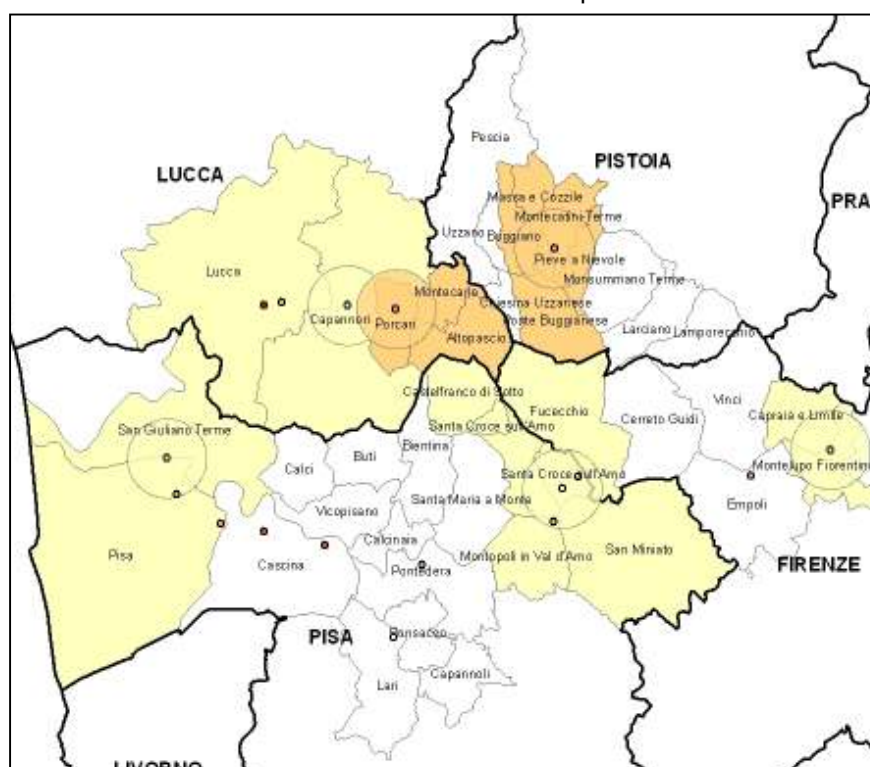
Per la zona del Lungarno pisano e piana lucchese sono disponibili 4 stazioni di fondo urbano (LU-Capannori, PI-Passi, FI-Montelupo, Montecatini Merlini) e 2 di fondo periferico (PI-Santa Croce Coop, e LU-Porcari). Tra queste le 4 stazioni di Capannori, Passi, Montecatini e Santa Croce fanno parte, dal 2010, della rete regionale.

Livelli medi PM₁₀ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]:

1	10-19
2	20-24
3	25-29
4	30-34
5	35-39
6	≥ 40



In questo caso i livelli misurati sono abbastanza uniformi nella zona e quasi tutte le stazioni sono posizionate vicino ad almeno un confine comunale e la zona risulta così abbastanza coperta a livello di informazione.



5. Zona del Val d' Arno aretino e Val di Chiana

Per quanto riguarda la zona di Arezzo mancano dati di fondo sul capoluogo. La situazione migliorerà con l'assetto definitivo della rete regionale che prevede la misurazione del PM10 nella stazione di Arezzo Acropoli. Come già commentato i dati disponibili sulla zona sono quelli di 2 stazioni urbane traffico nel comune di Arezzo, di seguito non riportate nella mappa, e una urbana fondo nel comune di Incisa.

Livelli medi PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]:

1	10-19
2	20-24
3	25-29
4	30-34
5	35-39
6	≥ 40



Il dato della stazione di Incisa, proiettato su una superficie del raggio di 3 km, tocca i comuni di Reggello e Figline Valdarno, per cui la rappresentazione della zona diventa:



6. Zona collinare montana

Per quanto riguarda infine la zona collinare montana, le stazioni di riferimento per il fondo sono: la stazione rurale AR-Casa Stabbi nel comune di Chitignano, la stazione periferica di Montecerboli, nel comune di Pomarance e le stazioni urbane di Poggibonsi, Pontassieve e Siena; di queste le ultime due non sono confluite in rete regionale.

Livelli medi PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]:

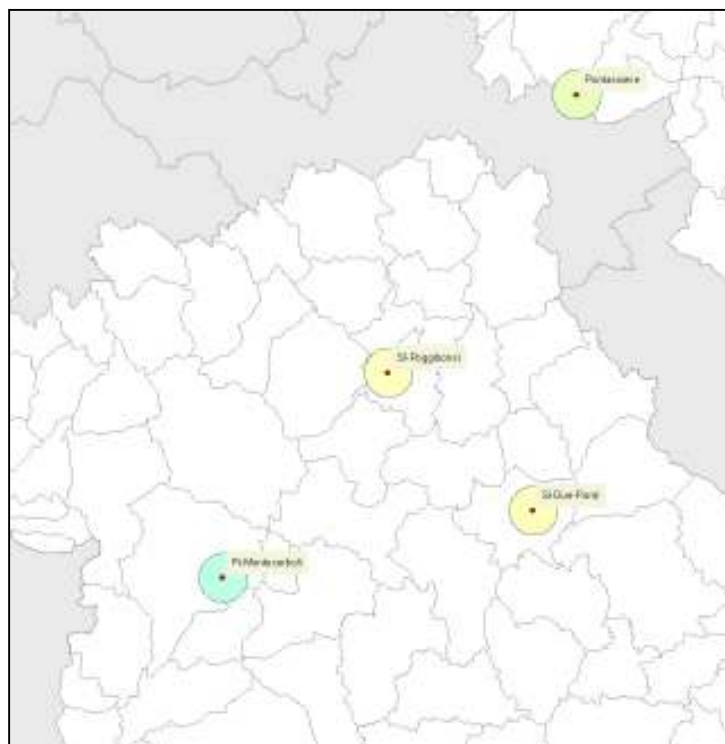
1	10-19
2	20-24
3	25-29
4	30-34
5	35-39
6	≥ 40



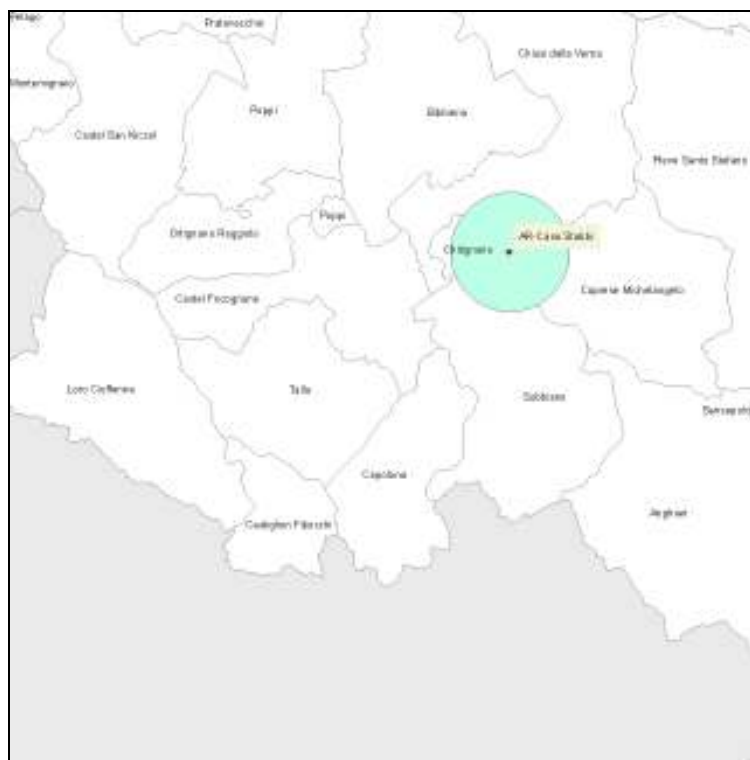
Livelli medi di PM10 tra 25 e 29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sono registrati nei due centri urbani più significativi di tutta la zona, mentre nelle altre 3 stazioni (urbana/periferica/rurale) i livelli medi misurati non vanno oltre i 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Livelli medi PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]:

1	10-19
2	20-24
3	25-29
4	30-34
5	35-39
6	≥ 40



Il dato di AR-Casa Stabbi si può estendere ai comuni di Chitignano, Chiusi della Verna, Caprese Michelangelo, Subbiano.



Conclusioni

L'analisi fin qui effettuata ha consentito di valutare la distribuzione dei livelli di PM10 e soprattutto di definire per ciascuna zona un livello di base da considerare come fondo di zona. La copertura dei dati è geograficamente simile alla localizzazione delle maggiori criticità a livello di pressioni e, anche se riguarda una superficie non molto estesa del territorio regionale, è relativa alle zone maggiormente popolate.

Dall'esame dei livelli di PM10 misurati negli ultimi cinque anni nelle stazioni di fondo si osserva, come prevedibile, una netta distinzione tra la zona collinare montana e tutte le altre zone che sono caratterizzate da un maggior grado di antropizzazione e urbanizzazione.

I livelli misurati nella zona collinare montana dalla stazione di fondo rurale di Casa Stabbi rappresentano il fondo regionale di PM10 (pari a $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$). La zona costiera ha pressioni rilevanti, tuttavia si può apprezzare un effetto di mitigazione dei livelli di PM10, rispetto alla incidenza delle pressioni, che risulta evidente in particolare per i comuni dell'area centro sud. Tale effetto è presumibilmente attribuibile, almeno in parte, a fattori meteoclimatici anche se va considerata, come detto, una probabile sottostima del livello di fondo di Livorno. Inoltre tra le pressioni attribuite alla zona sono presenti anche emissioni da sorgenti puntuali importanti con caratteristiche tali da poter produrre effetti su ampia scala territoriale piuttosto che circoscritti alla sola zona di emissione.

Per le aree interne si può invece constatare come l'incidenza delle pressioni si traduca in livelli medi di PM10 diffusamente più alti all'interno di tutta la zona. I livelli minimi registrati possono essere assunti come fondo di zona. Tali valori (tra 21 e $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$) risultano confrontabili per tutte le aree interne costituite da: zona del Valdarno pisano e piana lucchese, Valdarno aretino e Val di Chiana, zona Prato Pistoia e Agglomerato di Firenze (queste ultime trattate come unico bacino). La stessa valutazione, applicata alla zona costiera, in virtù di quanto già commentato, dà come risultato un fondo di zona di poco superiore al fondo regionale ($14 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Al valore di fondo stimato per ciascuna zona nei comuni per i quali sono disponibili dati di monitoraggio si aggiunge l'informazione relativa ai valori misurati nelle relative stazioni di fondo (urbano, periferico o rurale).

Per la zona del Valdarno pisano e Piana lucchese la distribuzione di tali valori risulta abbastanza uniforme per tutta la zona con medie annuali in classi medio alte (tra 27 e $33 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Per la pianura interna costituita dall'agglomerato di Firenze e dalla zona Prato Pistoia, entrambe zone con un elevato livello degli indici di pressione, si individua ugualmente una distribuzione dei livelli di PM10 in fasce di concentrazione medio alte, anche se i massimi livelli di concentrazione (Calenzano, Montale) non coincidono con i comuni a maggiori pressioni emmissive. Si distinguono pertanto, ponendosi come ulteriori spunti di approfondimento, sia i livelli misurati nel comune di Firenze che, diversamente dalle pressioni, non sono i più alti dell'area, che, per motivi opposti, quelli della stazione di Montale. Per quanto riguarda il comune di Firenze, si deve considerare che le stazioni di fondo urbano dell'agglomerato hanno valenza più generale per tutti i centri urbani dell'agglomerato stesso; perciò per questi comuni ed in particolare per il comune di Firenze, è corretto far riferimento, oltre alle misure delle stazioni di Boboli e Bassi, ai dati delle altre stazioni regionali di fondo urbano presenti. Altro scenario degno di nota è quello che si configura nella zona Prato Pistoia con i valori più elevati misurati nella stazione di fondo rurale di Montale. Per questa stazione, appositamente inserita in rete regionale, sono in corso studi di approfondimento mirati ad identificare l'area di rappresentatività dei dati all'interno della piana tra i centri urbani di Prato e Pistoia, e le fonti predominanti che, insieme alle condizioni meteorologiche e diffusive, concorrono a determinare i valori osservati.

La zona costiera come detto, pur avendo alti livelli di pressione, non presenta elevati livelli di PM10 con l'importante eccezione di Viareggio con valori alti/medio alti.

La zona del Valdarno aretino e Valdichiana risulta la meno caratterizzata con dati di fondo, ma la situazione conoscitiva migliorerà con l'assetto definitivo della rete regionale che prevede la misurazione del fondo urbano nel comune di Arezzo. In generale tutte le zone possono dirsi piuttosto ben rappresentate dai dati delle stazioni di rete regionale.

Un ulteriore elemento di interesse che emerge da questa analisi, ed in particolare dalle campagne effettuate con i mezzi mobili, è dato dagli studi effettuati nell'area della Garfagnana, che sembra presentare forti analogie con la zona del lungarno pisano e piana lucchese. Questo dato dovrebbe essere ulteriormente approfondito ed essere preso in considerazione in prospettiva di una futura revisione della zonizzazione del territorio regionale.

Infine, affiancando i risultati sui livelli medi di PM10 con la mappa dei comuni critici si ottiene il quadro illustrato nella figura di pagina seguente.

Il quadro generale della relazione tra i comuni critici ed i livelli misurati si compone dalla sovrapposizione delle figure 1a e 1b.

Figura 1a - Livelli di PM10 per comune

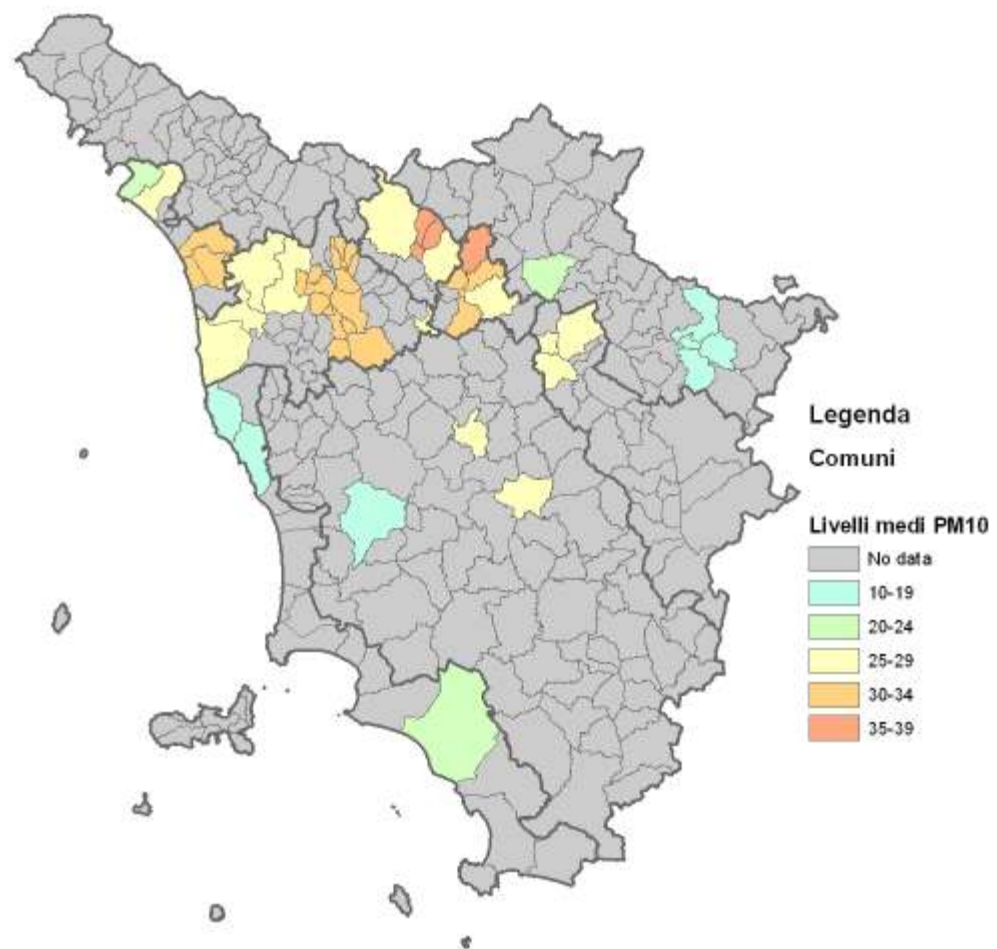
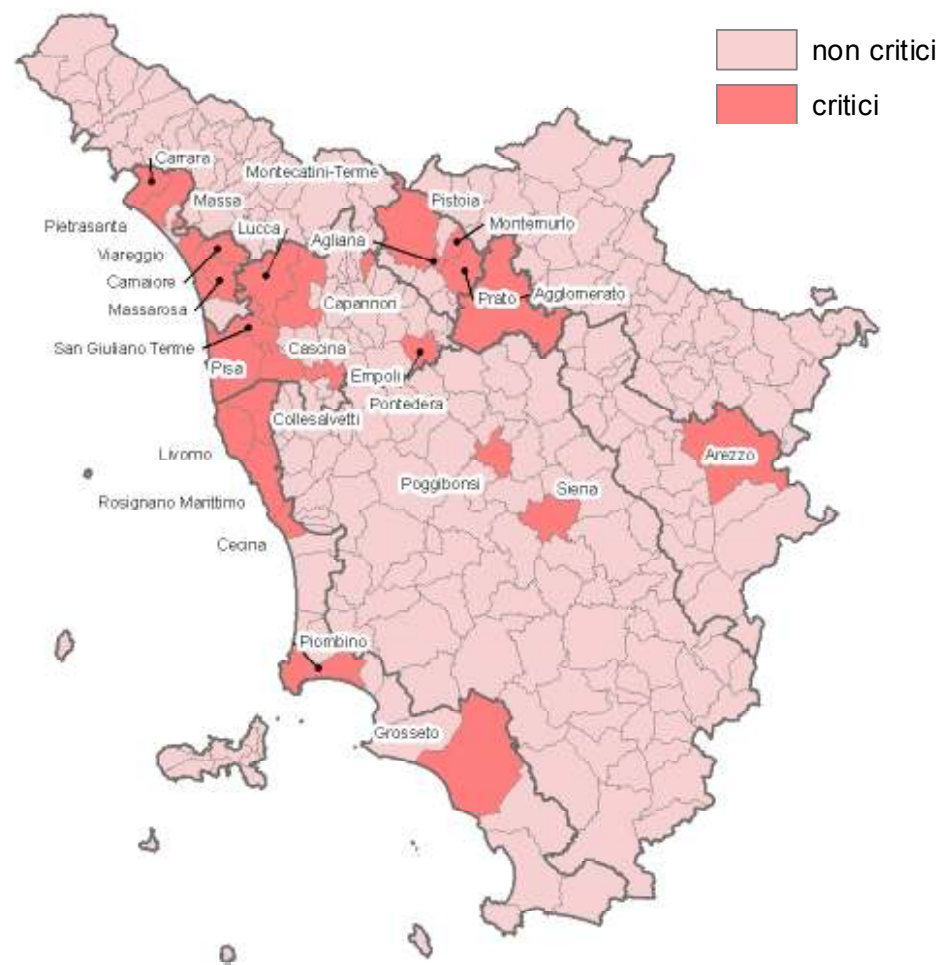


Figura 1b – Comuni critici



Considerando le classi individuate per la media di PM10, si assumono come livelli alti quelli delle classi 4 [30-34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$] e 5 [35-39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$] e, cautelativamente, come medio alti quelli della classe 3 [25-29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$]. Alle medie annuali delle classi alte è in particolare associata una forte probabilità di non rispetto del limite annuale dei 35 superamenti della soglia di 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ come media giornaliera.

Il quadro che emerge nel suo complesso non presenta, come non ci si poteva del resto aspettare, una precisa coincidenza tra le zone di criticità individuate ed i valori più critici misurati.

Infatti l'analisi dei dati disponibili, con particolare riferimento a quelli di fondo, in relazione ai comuni definiti critici ha messo in evidenza tutti i possibili tipi di situazione. In particolare:

a) **Comuni critici che presentano valori alti/medio alti (intesi come fasce 3, 4 o 5) di PM10:**

E' questo il caso della quasi totalità dei comuni critici del lungarno pisano e piana lucchese (Pisa, S. Giuliano T., Lucca, Capannori, Montecatini), dei comuni della Versilia (Viareggio, Camaiore e Massarosa) e di Massa per la zona costiera, i comuni di Siena e Poggibonsi per la zona collinare e montana, e tutti i comuni critici della Piana fiorentina (Agglomerato + Zona Prato Pistoia);

b) **Comuni NON critici che presentano valori alti/medio alti di PM10:**

E' questo il caso di Reggello, incisa e Figline Val d'Arno per la zona del Val d'Arno aretino e Val di Chiana e di 14 comuni della zona del valdarno pisano e piana lucchese distribuiti su una fascia interna della zona che attraversa l'area lucchese e quella pisana (San Miniato, Monopoli in Val d'Arno, Santa Croce sull'Arno, Santa Maria a Monte, Fucecchio, Castelfranco di Sotto, Altopascio, Porcari, Montecarlo, Ponte Buggianese, Pieve a Nievole, Montecatini Terme, Massa e Cozzile, Buggiano); in tutti questi casi si può ipotizzare che la criticità sia determinata dalla influenza dei comuni critici della zona di appartenenza o dai valori di fondo della zona stessa

c) **Comuni critici che NON presentano valori alti o medio alti di PM10:**

Questo caso riguarda esclusivamente comuni della zona costiera in particolare i comuni di Grosseto, Livorno, Rosignano e Carrara; questi comuni possono essere considerati aree di criticità potenziale, associate cioè a livelli degli indici di pressione tali da essere definite critiche, che tuttavia presentano, per le generali condizioni meteo/diffusive, valori medio bassi della media annuale di PM10;

d) **Comuni NON critici che NON presentano valori alti/medio alti di PM10.**

Questo caso si verifica nella zona collinare montana per i comuni di Pomarance, Subbiano, Chitignano, Chiusi della Verna, Caprese Michelangelo.

Non si ritiene tuttavia, come accennato in premessa, di dover modificare la rosa dei comuni critici proposta poiché non sono in questo caso individuabili, per effettuare esclusioni o integrazioni, criteri altrettanto oggettivi di quelli che hanno portato alla definizione dei comuni critici. Una eventuale scelta di questo tipo può essere effettuata e motivata caso per caso anche sulla base dei dati e delle considerazioni espresse in questo documento.

Appendice 1 – Calcolo dell'indice β per le 29 stazioni di tabella II.1

L'indice β è un parametro che può essere associato ad ogni stazione di monitoraggio e che esprime le caratteristiche della localizzazione della stazione stessa sintetizzando in un unico valore le informazioni sull'uso del suolo e sulle pressioni emissive locali.

Calcolo dell'indice β

L'indice β è stato proposto ed utilizzato in Belgio per la valutazione della rappresentatività spaziale delle stazioni [1] e per l'interpolazione dei dati di qualità dell'aria [2]. Esso viene calcolato in un raggio di 2 km intorno alla stazione.

$$\beta = \log \left[1 + \frac{\sum_i a_i \cdot n_{RCLi}}{\sum_i n_{RCLi}} \right]$$

n_{RCLi} = numero di pixel nella i-esima classe Corine Land Cover

a_i = coefficiente collegato alle emissioni per la classe i-esima, utilizzato per pesare l'importanza di una particolare classe di uso del suolo rispetto alle concentrazioni degli inquinanti in aria.

L'indice β deve essere perciò calcolato per ogni inquinante di interesse. Al fine di stabilire una relazione tra il potenziale inquinante e le classi di uso del suolo, le classi CLC sono raggruppate in 11 categorie ed abbinate ai settori EMEP delle attività che producono emissioni in atmosfera.

La correlazione tra classi di uso del suolo e settori EMEP è riportata nel dettaglio alle pagine seguenti.

Una volta calcolato per ciascuna stazione l'indice β , esso viene messo in relazione con la media annuale di PM10, calcolata come media dell'indicatore su più anni solari. I coefficienti a_i , stimati inizialmente attraverso le emissioni nazionali di PM10, vengono ricalcolati ottimizzando la correlazione tra β ed i dati di qualità dell'aria.

Utilizzo dell'indice β per l'interpolazione dei dati di qualità dell'aria per generare mappe di concentrazione

Questa funzione di correlazione, definita funzione di trend, viene utilizzata per "rimuovere" il contributo locale al dato di qualità dell'aria in un'operazione denominata de-trending. I dati di qualità dell'aria, resi in questo modo sito-indipendenti, soddisfano i requisiti di omogeneità spaziale necessari per l'interpolazione.

Su questo nuovo insieme di dati possono essere utilizzati sistemi statistici di geoprocessazione per produrre mappe di concentrazione, nelle quali reintrodurre la componente locale sulla base dei valori di β calcolati per ogni cella del dominio di interesse (re-trending).

Tale procedura permette di ottenere in maniera speditiva mappe di qualità dell'aria, ma non può ovviamente porsi come alternativa all'applicazione di modelli meteorologici e diffusionali.

Utilizzo dell'indice β per valutare la rappresentatività spaziale di un sito

Al fine della valutazione della rappresentatività, l'indice β viene calcolato sulle celle di una griglia di 3x3 km² ricadenti in un raggio di 7,5 km intorno alla stazione. La rappresentatività è valutata in base ai parametri statistici di variabilità di β all'interno della griglia (valore massimo, valore minimo, media, deviazione standard, valore di β calcolato per la stazione) che viene assunta come indicativa della variabilità del dato di qualità dell'aria. In questo senso l'indice può essere utilizzato per valutare la rappresentatività della stazione su un'area continua intorno alla stazione.

I lavori citati riguardano in particolare il territorio del Belgio dove la distanza media tra le stazioni è di 25 km e le metodologie descritte non sembrano del tutto applicabili alla situazione Toscana.

Tuttavia l'idea di utilizzare un indice β così concepito è stata ripresa per la valutazione della rappresentatività delle stazioni anche da ENEA, nell'ambito di una collaborazione con Ministero CNR e ISS, finalizzata all'avvio delle reti speciali di cui al D.Lgs 155/2010.

Ai fini del presente documento il calcolo della copertura del suolo nel raggio di 3 km, utilizzato nella parte 2 per l'estensione del dato di qualità dell'aria ai comuni, rappresenta un elemento di interesse ed è da considerarsi propedeutico in una prospettiva di ulteriori approfondimenti sulla rappresentatività di alcune stazioni, come ad esempio quella di Montale. Nel caso specifico, tutta la trattazione effettuata ha come oggetto il PM10 perciò l'indice β è stato calcolato sul raggio di 3 km con una parametrizzazione legata alle emissioni di PM10 della zona di appartenenza della stazione.

Di seguito sono riportati alcuni dettagli del calcolo effettuato.

In figura 1 sono esplicitati i dati di base utilizzati: le classi Corine Land Cover con la relativa aggregazione in macroclassi secondo l'algoritmo proposto per il calcolo di β ed i macrosettori EMEP, utilizzati per fornire una prima stima dei coefficienti a_i . I colori riportati in legenda sono utilizzati in tutte le mappe che seguono nel documento.

La relazione tra classe di uso del suolo, coefficiente ed emissioni è definita in tabella 1.

I risultati del calcolo sono riportati in tabella 2.

Figura 1 – Dati di base

EMEP CORINAIR - Nomenclatura SNAP97		
MACROSETTORE 1	Combustione: Energia e Industria di Trasformazione	
MACROSETTORE 2	Combustione non industriale	
MACROSETTORE 3	Combustione nell'industria	
MACROSETTORE 4	Processi produttivi	
MACROSETTORE 5	Estrazione e distribuzione di combustibili fossili/ geotermia	
MACROSETTORE 6	Uso di solventi e altri prodotti	
MACROSETTORE 7	Trasporto su strada	
MACROSETTORE 8	Altre sorgenti mobili e macchinari	
MACROSETTORE 9	Trattamento e smaltimento rifiuti	
MACROSETTORE 10	Agricoltura	
MACROSETTORE 11	Altre sorgenti e assorbimenti	

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

Tabella 1 – dati per la stima iniziale dei coefficienti per il calcolo di β :

Coefficiente	Cod. Corine3	Descrizione	Cod. EMEP	Descrizione	Valore
a1	111	Aree residenziali continue	M2	Combustione non industriale	1
a2	112, 141, 142	Aree residenziali discontinue e aree verdi artificiali	M2	Combustione non industriale	1
a3	121	Aree industriali commerciali e di servizi	M3, M4	Combustione nell'industria e Processi produttivi	$(M3+M4)/M2$
a4	122	Reti stradali ferroviarie e infrastrutture	M7	Trasporto su strada	$M7/M2$
a5	123	Aree portuali	M8	Altre sorgenti mobili e macchinari	$M8/M2$
a6	124	Aeroporti	M8	Altre sorgenti mobili e macchinari	$M8/M2$
a7	131-133	Zone estrattive, cantieri, discariche	M1,M4,M5,M9	Combustione energia e industria di trasformazione /Processi produttivi/ Estrazione e distribuzione di combustibili fossili/ geotermia /Trattamento e smaltimento rifiuti	$(M1+M4+M5+M9)/M2$
a8	211-213	Seminativi	M10	Agricoltura	$M10/M2$
a9	222-223, 231, 241-243	Zone agricole	M10	Agricoltura	$M10/M2$
a10	311-313, 321-324, 331-334	Zone boscate e ambienti seminaturali	M11	Altre sorgenti e assorbimenti	$M11/M2$
a11	411, 421, 511-512, 521	Zone umide e corpi idrici	M11	Altre sorgenti e assorbimenti	$M11/M2$

Tabella 2 valori risultanti di β per le 29 stazioni di fondo, secondo la metodologia originale

Zona	Stazioni	Indice β
Agglomerato	Signa	0,248
	Campi B.	0,275
	Calenzano	0,377
	Sesto	0,259
	Bassi	0,217
	Boboli	0,235
	Scandicci	0,180
Zona Pisa-Lucca	Capannori	0,135
	Santa Croce	0,132
	PI-Passi	0,156
	Montelupo	0,090
	Porcari	0,104
	Montecatini	0,162
Zona Prato-Pistoia	Signorelli	0,173
	Montale	0,174
	Roma	0,256
Zona costa	GR-URSS	0,232
	Maurogordato	0,167
	Poggio S.Rocco	0,186
	Viareggio	0,254
	Colombarotto	0,155
	Galvani	0,224
	S.Francesco	0,172
Zona valdarno aretino e Val di Chiana	Incisa	0,130
Zona collinare montana	Casa Stabbi	0,045
	Montecerboli	0,094
	Poggibonsi	0,163
	Pontassieve	0,141
	Siena	0,174

Il calcolo si limita alla stima iniziale dell'indice senza ulteriore ottimizzazione dei coefficienti attraverso la ricerca statistica del miglior fit tra β e i dati di PM10.

Questa prima elaborazione, effettuata utilizzando le corrispondenze tra uso del suolo e macrosettori EMEP di tabella 1, ha messo in luce la sottovalutazione della sorgente traffico in particolare e del contributo emissivo delle aree urbane più in generale. Il macrosettore 7 viene infatti associato al solo utilizzo del suolo come reti stradali ferroviarie e infrastrutture (codice CORINE 122) che copre aree generalmente trascurabili o scarsamente significative. Il macrosettore 7 comprende invece anche tutto il traffico urbano, che tra l'altro è una componente significativa delle emissioni da aree urbane sia continue che discontinue. Limitandoci nel nostro caso alla stima iniziale dell'indice β e non effettuando quindi l'ottimizzazione dei coefficienti, si è ritenuto importante modificare questa relazione associando ai coefficienti 1 e 2 relative al tessuto urbano, oltre al riscaldamento domestico, la componente urbana delle emissioni da traffico.

Così facendo il macrosettore 7 viene scorporato in due componenti: la componente urbana 7_u e quella extraurbana o autostradale 7_{nu} e la stima dei coefficienti per il calcolo di β viene effettuata come illustrato nella seguente tabella 3.

Tabella 3 – dati per la stima dei coefficienti secondo la modifica proposta

Coefficiente	Cod. Corine3	Descrizione	Cod. EMEP	Descrizione	Valore
a1	111	Aree residenziali continue	M2, M7u	Combustione non industriale, Trasporto su strada (urbano)	1
a2	112, 141-142	Aree residenziali discontinue e aree verdi artificiali	M2, M7u	Combustione non industriale, Trasporto su strada (urbano)	1
a3	121	Aree industriali commerciali e di servizi	M3, M4	Combustione nell'industria e Processi produttivi	$(M3+M4)/(M2+M7u)$
a4	122	Reti stradali ferroviarie e infrastrutture	M7nu	Trasporto su strada	$M7nu/(M2+M7u)$
a5	123	Aree portuali	M8	Altre sorgenti mobili e macchinari	$M8/(M2+M7u)$
a6	124	Aeroporti	M8	Altre sorgenti mobili e macchinari	$M8/(M2+M7u)$
a7	131-133	Zone estrattive, cantieri, discariche	M1,M4,M5,M9	Combustione energia e industria di trasformazione /Processi produttivi/ Estrazione e distribuzione di combustibili fossili/ geotermia /Trattamento e smaltimento rifiuti	$(M1+M4+M5+M9)/(M2+M7u)$
a8	211-213	Seminativi	M10	Agricoltura	$M10/(M2+M7u)$
a9	222-223, 231, 241-243	Zone agricole	M10	Agricoltura	$M10/(M2+M7u)$
a10	311-313, 321-324, 331-334	Zone boscate e ambienti seminaturali	M11	Altre sorgenti e assorbimenti	$M11/(M2+M7u)$
a11	411, 421, 511-512, 521	Zone umide e corpi idrici	M11	Altre sorgenti e assorbimenti	$M11/(M2+M7u)$

Di seguito sono riportati i risultati del calcolo di β ottenuti con la metodologia modificata e sintetizzati in schede grafiche per ciascuna zona.

In ogni scheda sono riportati

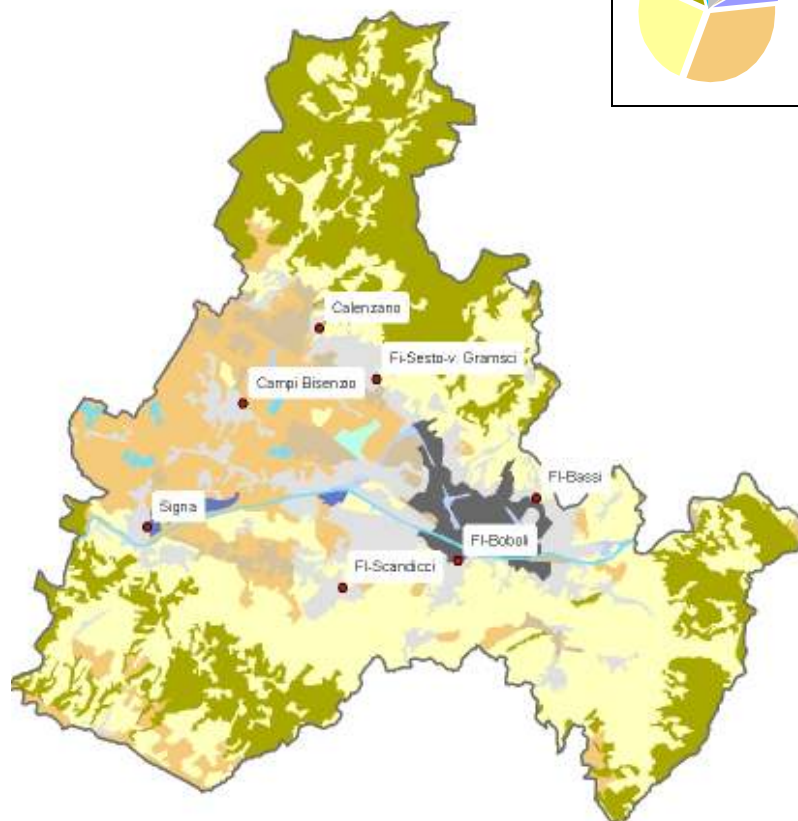
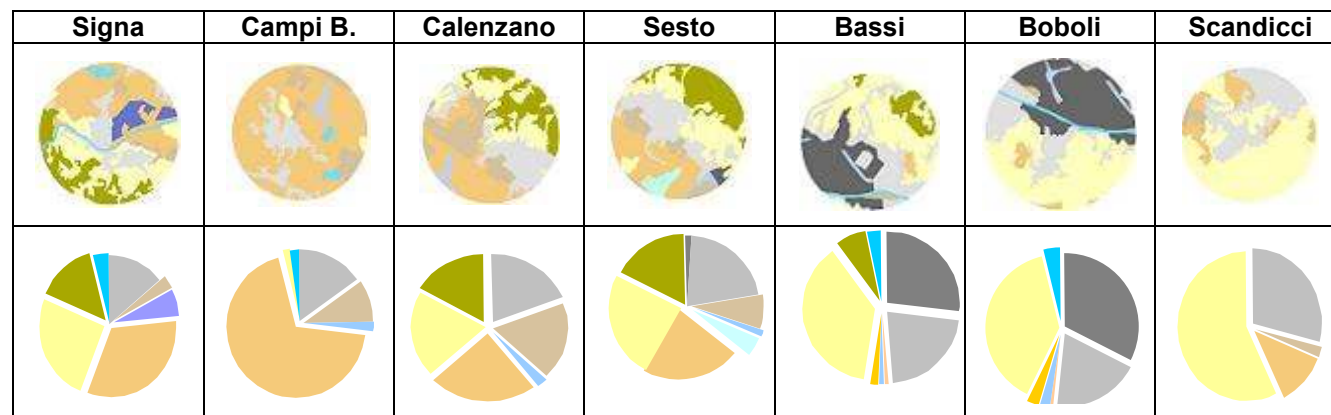
per zona:

- la mappa complessiva di uso del suolo della zona, secondo le aggregazioni e la legenda di fig 1, sulla quale sono indicate le stazioni prese in considerazione
- le emissioni di PM10 per macrosettore in t/anno relative alla zona

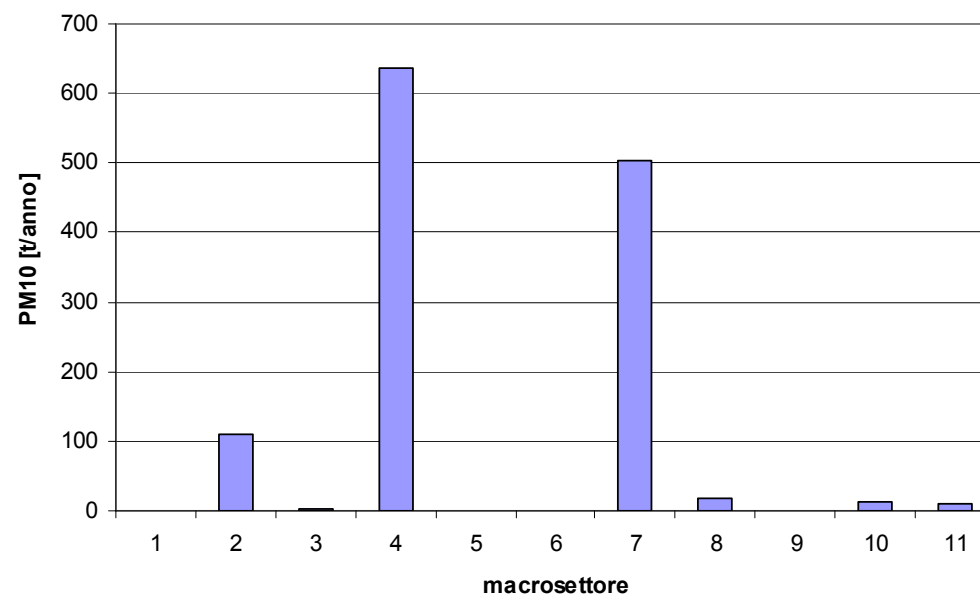
e per stazione:

- la rappresentazione dell'uso del suolo nella superficie di raggio prescelto. Le immagini relative ad ogni stazione rappresentano perciò la superficie della mappa di uso del suolo ritagliata nel raggio di 3 km intorno alle coordinate geografiche della stazione stessa.
- la ripartizione percentuale su tale superficie delle aree ricoperte dalle varie tipologie di uso del suolo (% urbana, agricola naturale ecc.), rappresentata con grafico a torta

AGGLOMERATO



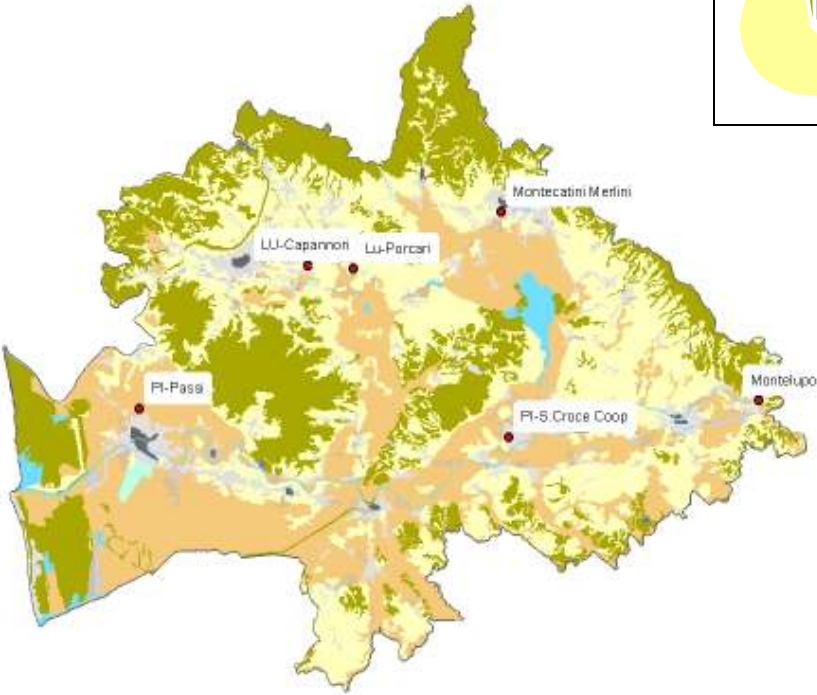
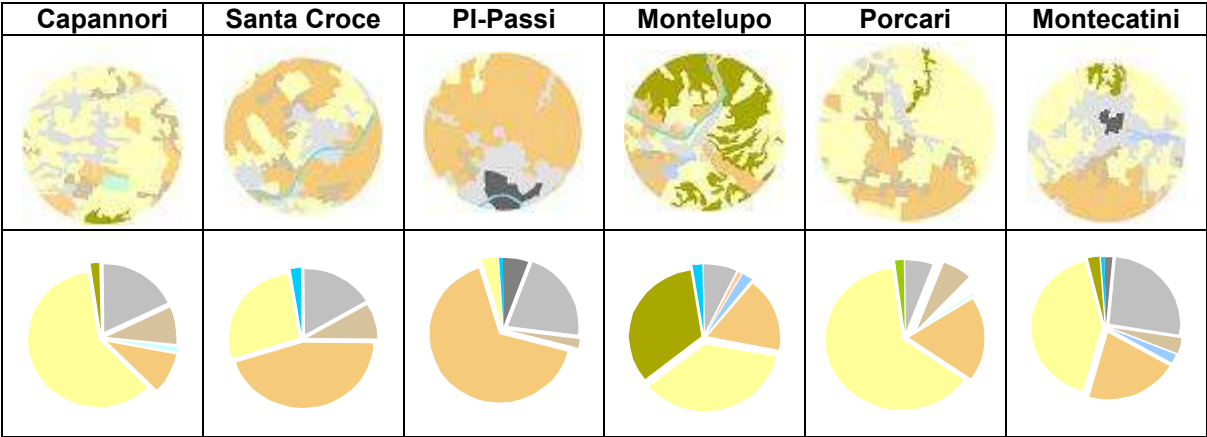
Emissioni agglomerato



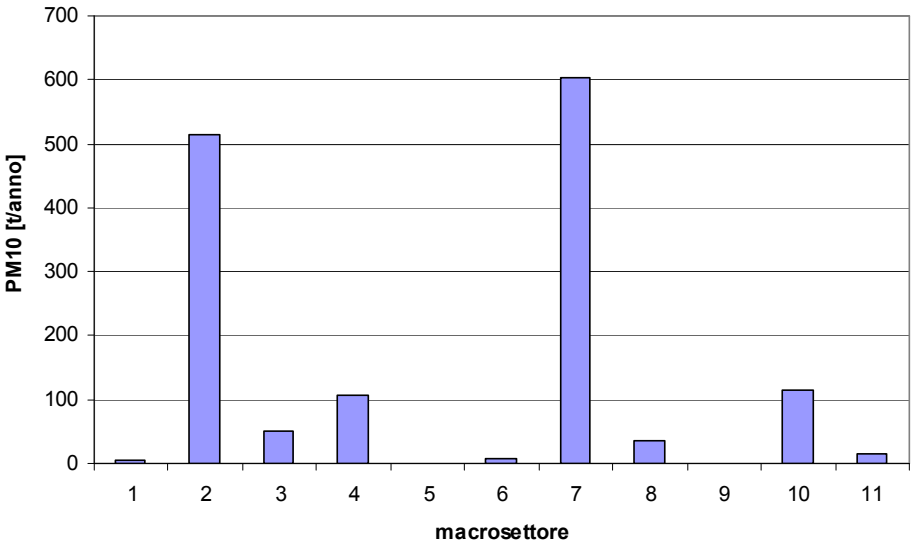
Indice Beta

0,136	0,147	0,206	0,156	0,187	0,196	0,137

LUNGARNO PISANO E PIANA LUCCHESA



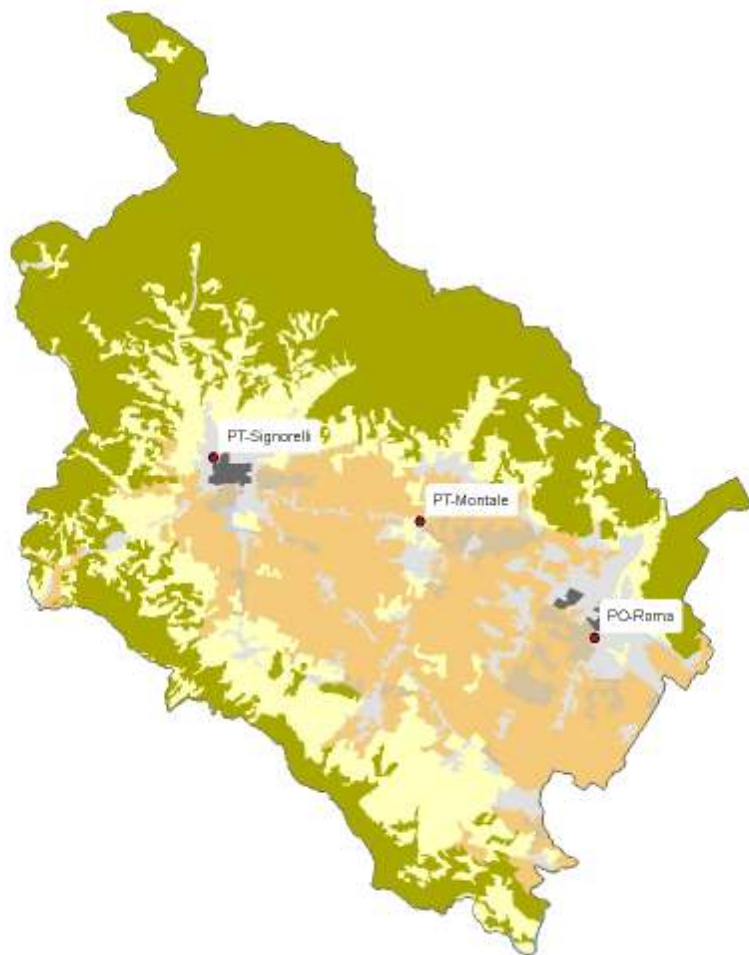
Emissioni lungarno pisano e piana lucchese



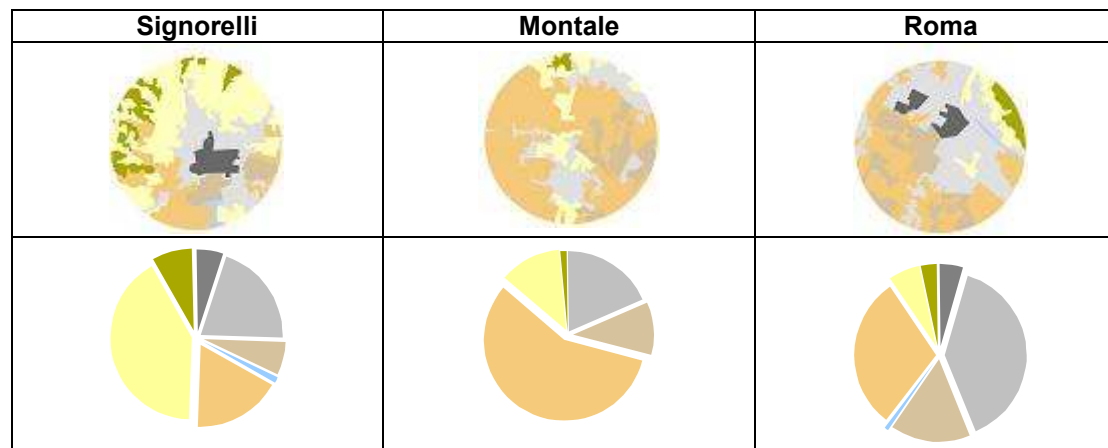
Indice Beta

0,116	0,112	0,141	0,070	0,081	0,143

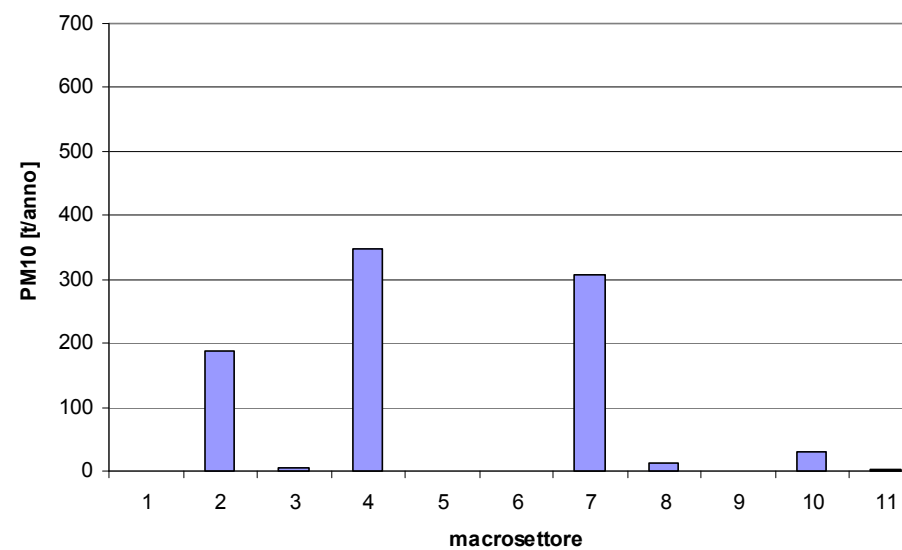
PRATO PISTOIA



Indice Beta

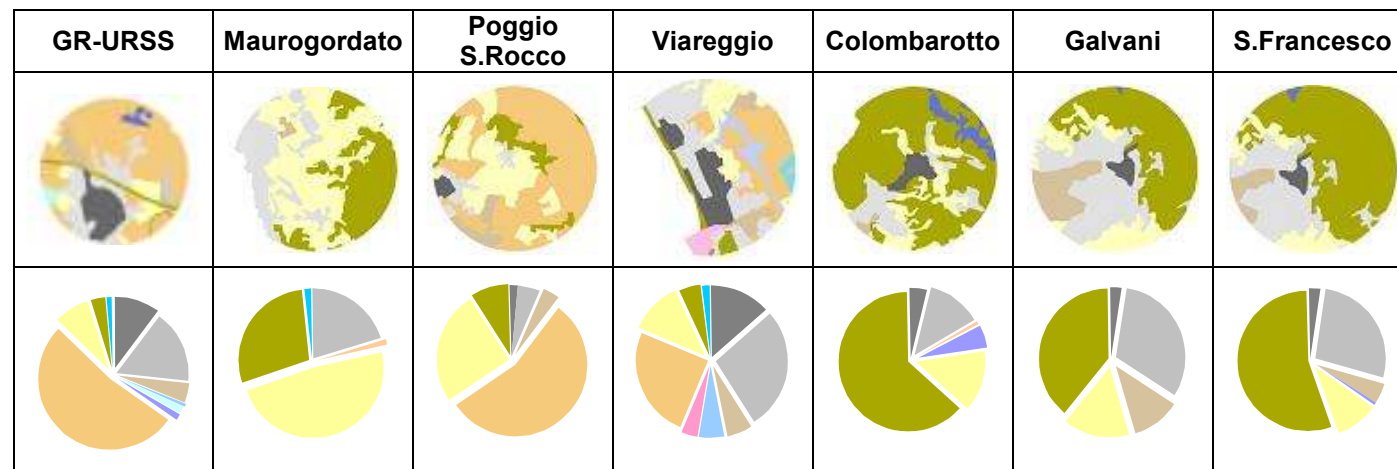
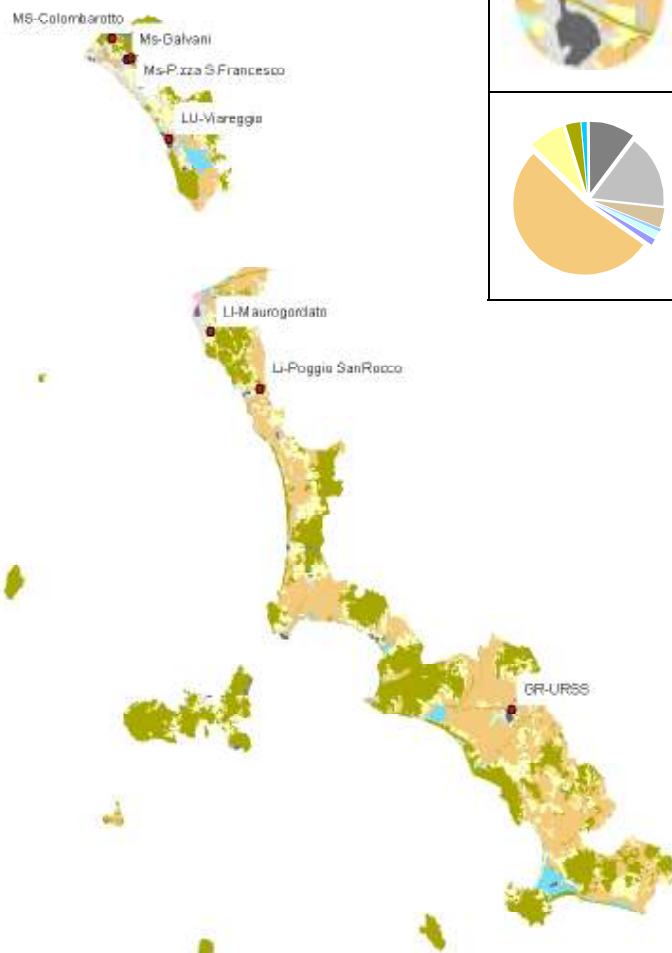


Emissioni zona Prato Pistoia

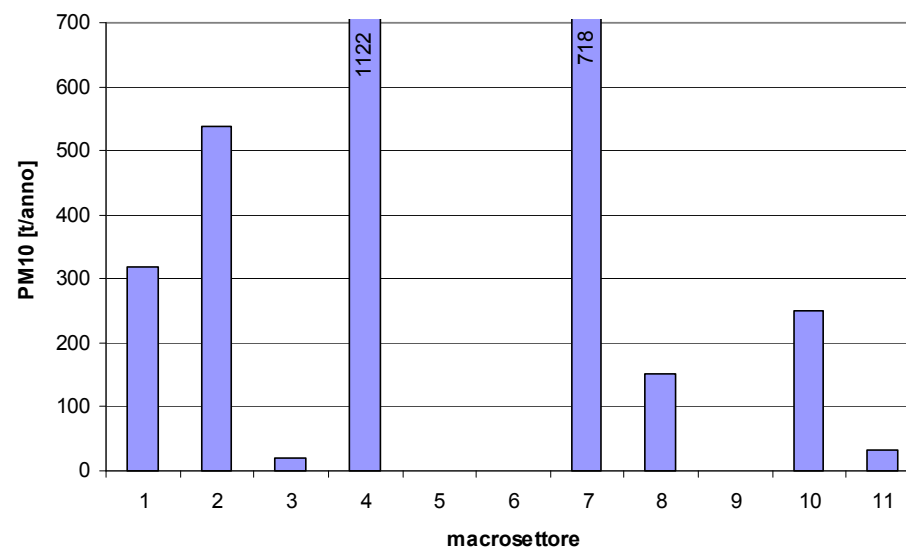


0,144	0,137	0,218

COSTA



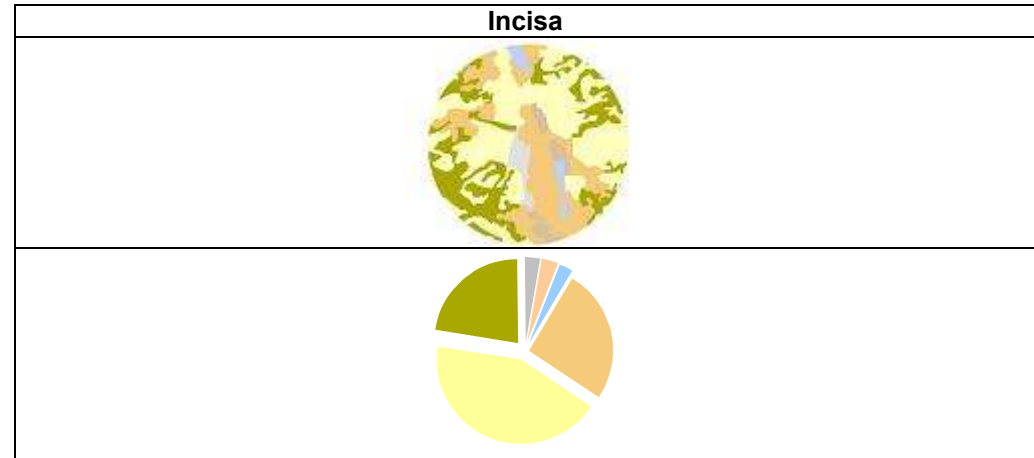
Emissioni zona costa



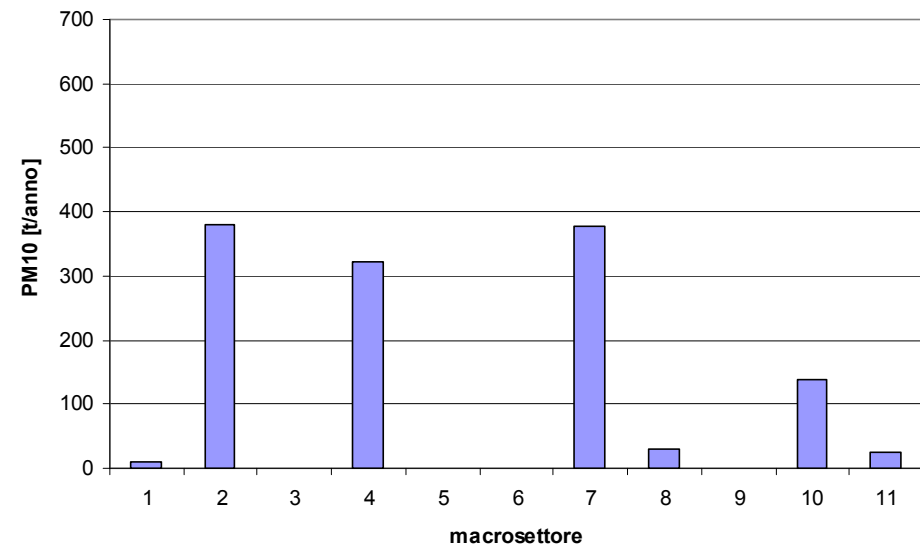
Indice Beta

0,192	0,141	0,140	0,217	0,128	0,195	0,154

VALDARNO ARETINO E VALDICHIANA



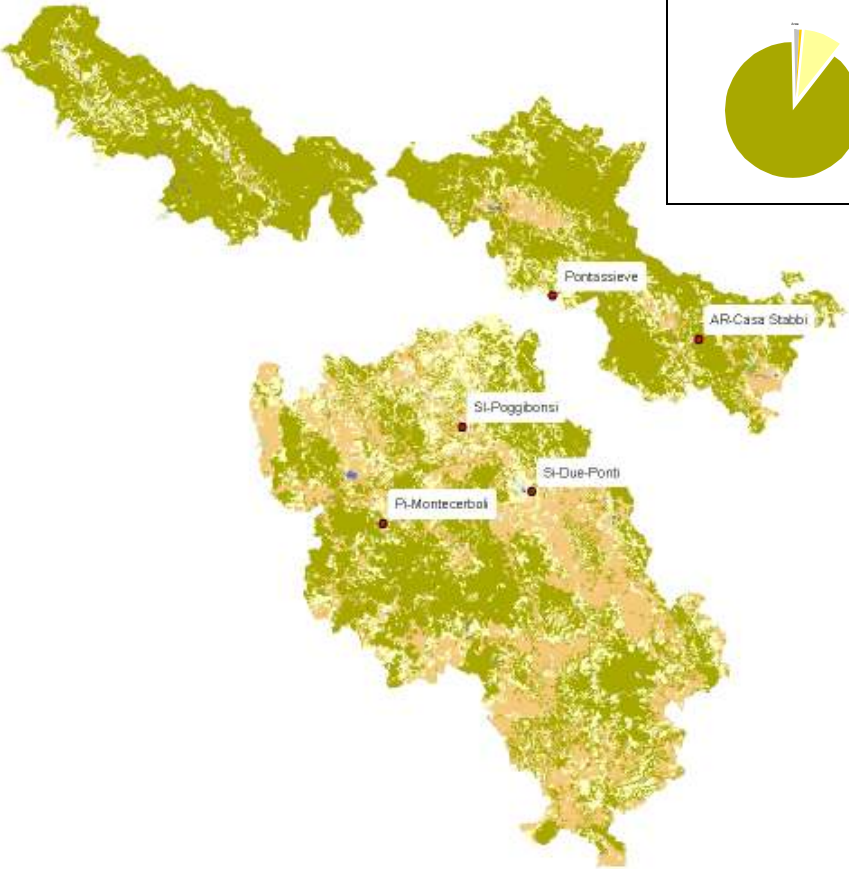
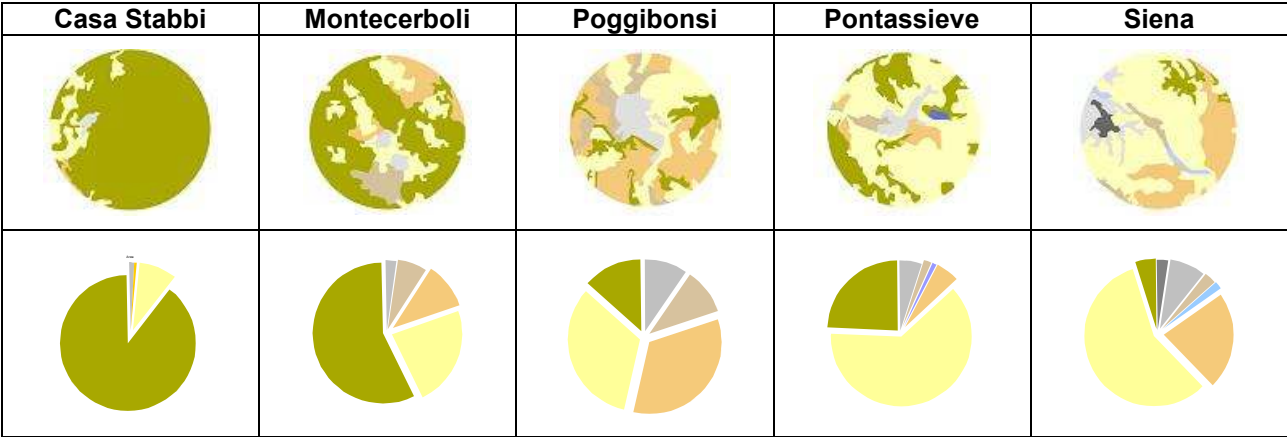
Emissioni valdarno aretino e valdichiana



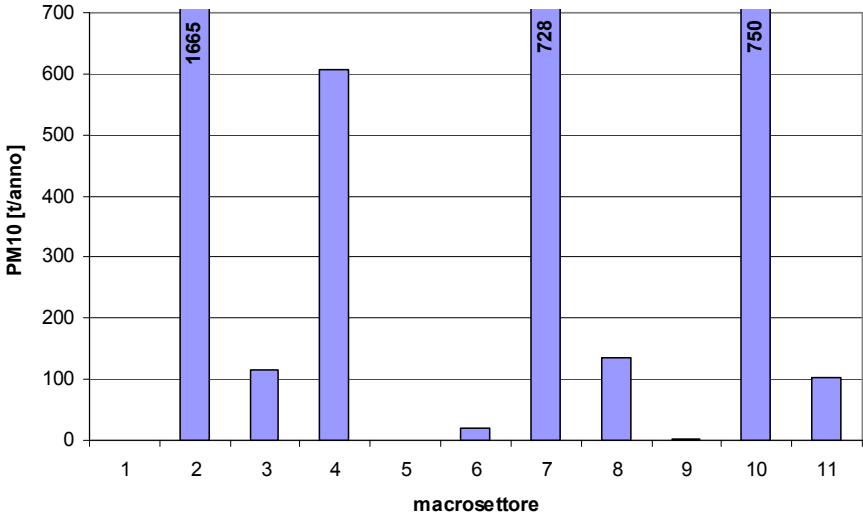
Indice Beta

0,103

COLLINARE E MONTANA



Emissioni zona collinare montana



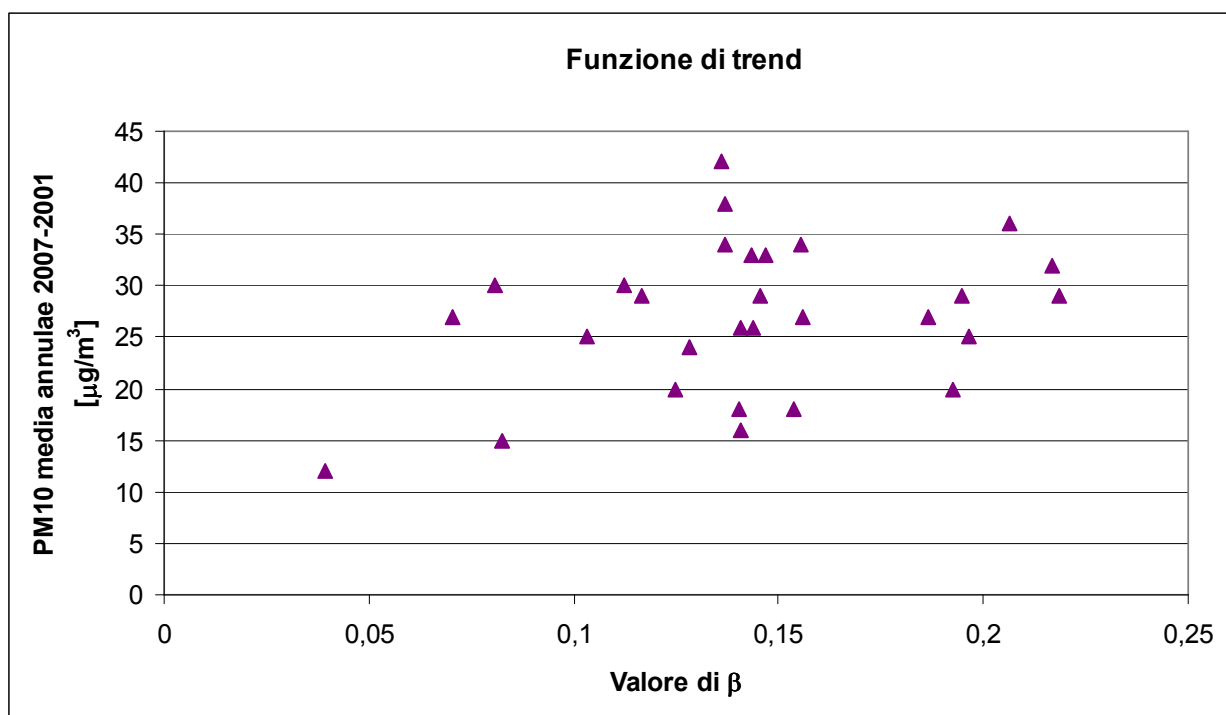
Indice Beta

0,039	0,082	0,146	0,125	0,156

Una volta effettuato il calcolo di β il metodo originale [1] prevede l'ottimizzazione della funzione di trend, con conseguente riparametrizzazione dell'indice. L'ottimizzazione dei coefficienti produce buoni risultati per NO_2 e O_3 mentre il PM_{10} mostra, tra i tre inquinanti considerati, la correlazione più debole. Ciò non rappresenta del tutto una sorpresa essendo il PM_{10} l'inquinante più problematico, data la complessità dei processi di formazione secondaria e la molteplicità delle sorgenti che contribuiscono, molte delle quali scarsamente caratterizzate.

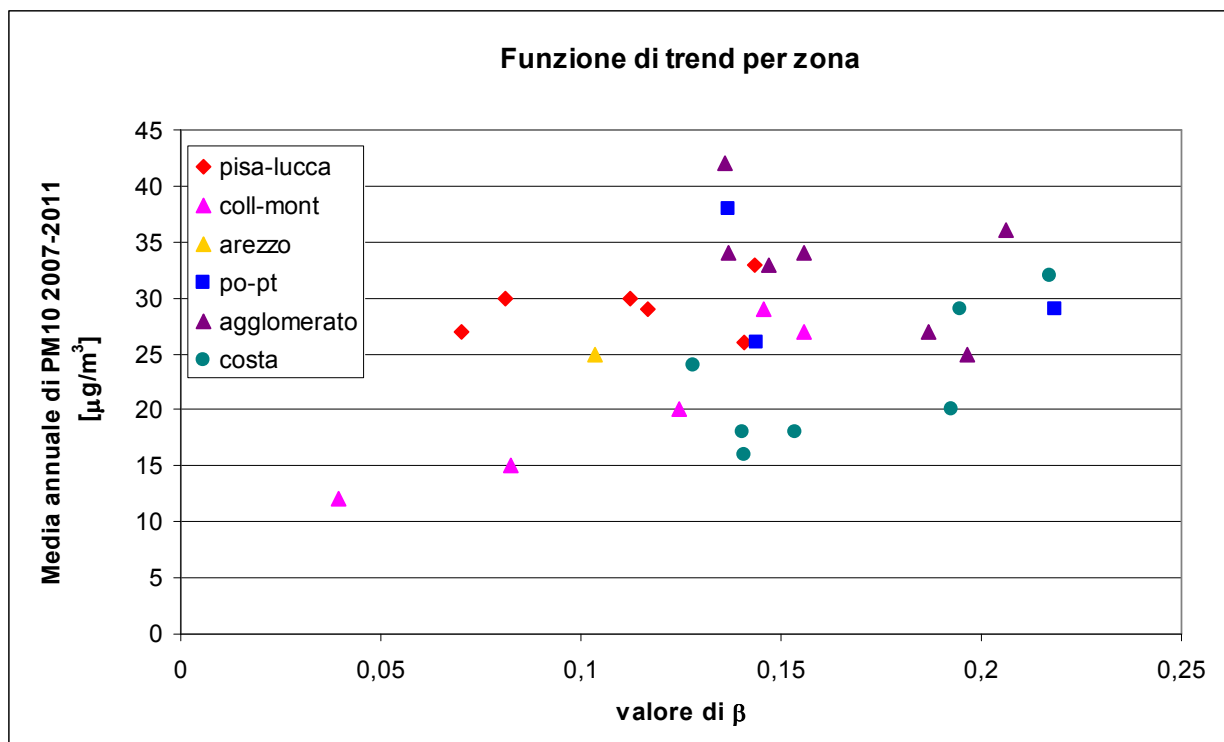
Nel nostro caso l'analisi si ferma a questo stadio e la correlazione senza ottimizzazione dei coefficienti, mostrata in figura 1, si presenta come una fascio di punti con un orientamento complessivamente crescente al crescere di β .

Figura 1 funzione di trend: correlazione tra il valore medio di PM_{10} e l'indice β di uso del suolo calcolato in un raggio di 3 km intorno alla stazione di monitoraggio



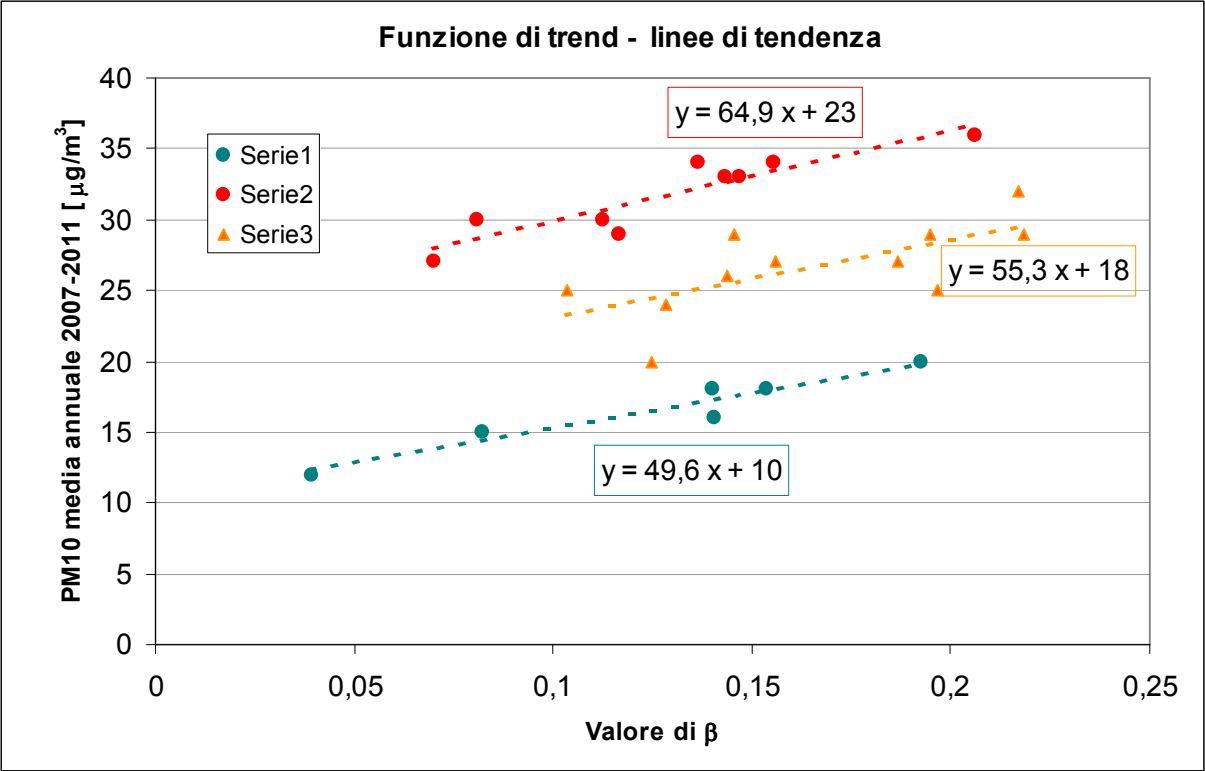
Anche una suddivisione dei dati in serie diverse per ciascuna zona non mette in luce particolari correlazioni tra i livelli di qualità dell'aria e l'indice di uso del suolo.

Figura 2 funzione di trend per zona



Eliminando tuttavia i dati di Montale e Signa, da considerarsi outliers, la nuvola di punti assume più chiaramente l'aspetto di un fascio di rette, all'interno del quale si possono individuare almeno tre diversi andamenti (vedi figura 3).

Figura 3 funzione di trend per serie lineari



Le serie, denominate Serie1, Serie2 e Serie3 sono costituite dalle seguenti stazioni:

Serie 1 – bassi valori di PM10, buona correlazione con β

Zona	Stazione	% area urbana/ industriale	% area agricola/ naturale	β	PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
Costa	Poggio S.Rocco	11	89	0,140	18
Costa	Maurogordato	21	77	0,141	16
Costa	GR_URSS	31	64	0,192	20
Costa	Ms-S.francesco	34	65	0,154	18
Collinare montana	Montecerboli	7	90	0,082	15
Collinare montana	Chitignano	0	98	0,039	12

Serie 2 – alti valori di PM10, buona correlazione con β

Zona	Stazione	% area urbana/ industriale	% area agricola/ naturale	β	PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
Pisa Lucca	Montelupo	8	87	0,070	27
Pisa Lucca	Porcari	10	82	0,081	30
Pisa Lucca	Montecatini	28	62	0,143	33
Pisa Lucca	Santa Croce Coop	26	72	0,112	30
Pisa Lucca	Capannori	26	70	0,116	29
Agglomerato	Sesto	30	65	0,156	34
Agglomerato	Campi Bisenzio	25	71	0,150	33
Agglomerato	Calenzano	38	60	0,206	36
Agglomerato	Scandicci	29	68	0,137	34

Serie 3 – valori di PM10 intermedi, scarsa correlazione con β

Zona	Stazione	% area urbana/ industriale	% area agricola/ naturale	β	PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
Collinare montana	Siena	10	80	0,156	27
Collinare montana	Poggibonsi	20	80	0,146	29
Collinare montana	Pontassieve	0	92	0,125	20
Costa	Galvani	25	65	0,195	29
Costa	Colombarotto	17	77	0,128	24
Costa	Viareggio	41	37	0,217	32
Valdarno aretino	Incisa	0	92	0,103	25
Prato Pistoia	PO-Roma	60	36	0,218	29
Prato Pistoia	Signorelli	26	67	0,144	26
Agglomerato	Boboli	51	40	0,196	25
Agglomerato	Bassi	49	45	0,187	27
Pisa Lucca	Pisa Passi	29	71	0,141	26

Per le 3 funzioni individuate come linee di tendenza l'intercetta corrisponde ad un valore di PM10 riferito ad un ipotetico contributo nullo delle emissioni dovute all'uso del suolo nell'immediato intorno della stazione, ovvero indice $\beta=0$. Si può estrapolare il significato di questo dato come valore di fondo risentito dalla stazione, o meglio dalla serie di stazioni individuata. Così, per esempio, tra le stazioni della Serie2, che secondo tale interpretazione risentono di un fondo di $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ci sono la quasi totalità delle stazioni della zona Pisa-Lucca e le stazioni dell'Agglomerato con l'esclusione di Boboli e Bassi. Per queste due zone era stato già ipotizzato nella parte seconda del documento un fondo di $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$, basato sulle misure storiche di qualità dell'aria, che risulta quindi coerente con tale interpretazione.

Analogamente la Serie1, con intercetta $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, comprende le stazioni di tipo periferico e rurale della Zona collinare e montana e stazioni periferiche e urbane dell'area centro sud della Zona Costa. Anche in questo caso l'ipotesi di un valore di fondo pari a $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ è concorde con l'attribuzione del fondo regionale e compatibile con il livello di fondo della Zona costiera, stimato ad un valore di poco superiore [$14 \mu\text{g}/\text{m}^3$].

La Serie3 riunisce probabilmente più sottoserie di dati a carattere diverso, come dimostra la scarsa correlazione rispetto alle altre due serie.

In questa serie si possono infatti individuare due gruppi di stazioni diversamente localizzate:

- le stazioni a maggior carattere urbano delle zone con il fondo più basso (area nord della Zona Costa e stazioni urbane della Zona Collinare Montana), che sommano probabilmente al contributo del fondo di zona un fondo di tipo urbano;

- b. alcune stazioni urbane relative a zone interne dove il fondo di zona è più alto (zona Prato Pistoia, Agglomerato di Firenze, zona Val d'Arno aretino e Val di Chiana e Zona Prato Pistoia) con livelli di PM10 medio bassi

Serie 3a

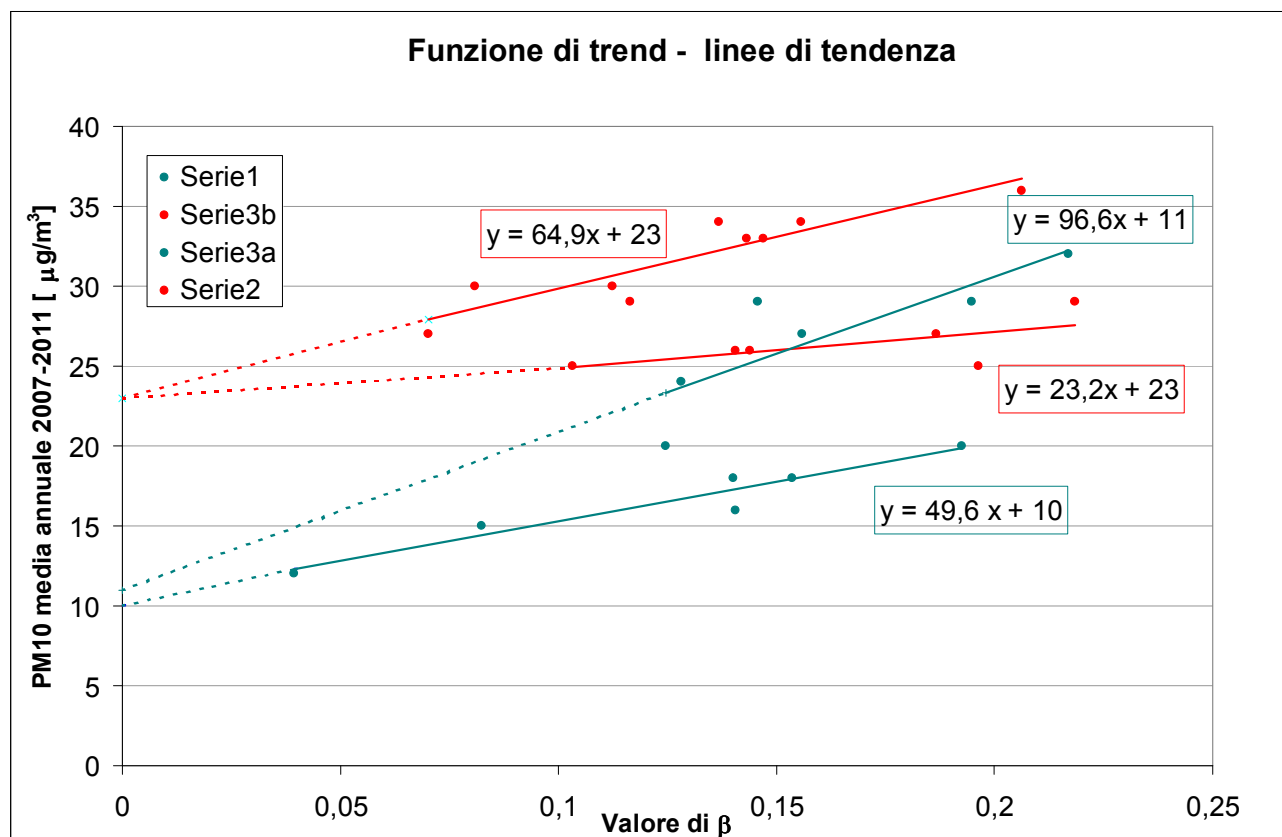
Zona	Stazione	% area urbana/ industriale	% area agricola/ naturale	β	PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
Collinare montana	Siena	10	80	0,156	27
Collinare montana	Poggibonsi	20	80	0,146	29
Collinare montana	Pontassieve	0	92	0,125	20
Costa	Galvani	25	65	0,195	29
Costa	Colombarotto	17	77	0,128	24
Costa	Viareggio	41	37	0,217	32

Serie 3b

Zona	Stazione	% area urbana/ industriale	% area agricola/ naturale	β	PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
Valdarno aretino	Incisa	0	92	0,103	25
Prato Pistoia	PO-Roma	60	36	0,218	29
Prato Pistoia	Signorelli	26	67	0,144	26
Agglomerato	Boboli	51	40	0,196	25
Agglomerato	Bassi	49	45	0,187	27
Pisa Lucca	Pisa Passi	29	71	0,141	26

Separando la Serie3 nei due gruppi che comprendono le stazioni collocate nelle due diverse tipologie di zone, anche se la correlazione non può dirsi del tutto migliorata, si ottiene un risultato interessante. Le due nuove serie generate, Serie 3a e Serie 3b, hanno infatti rispettivamente intercetta 11 (molto simile a quella trovata per la Serie 1) e 23 (come per la Serie 2) vedi figura 4.

Figura 4 funzione di trend per serie lineari- scomposizione della Serie3

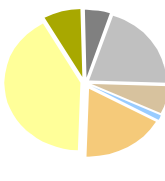
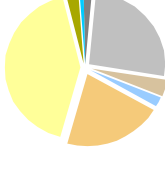


Riepilogando, l'interpolazione di β suggerisce le seguenti considerazioni:

- INTERCETTA: $\beta=0$, contributo nullo dell'uso del suolo nell'intorno della stazione, si assume indicativo del fondo risentito dal gruppo di stazioni; emerge dal grafico che ci sono due livelli di fondo, come già ipotizzato nella parte seconda del documento, pari rispettivamente a circa 23 e circa $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$
 - o **$10 \mu\text{g}/\text{m}^3$** : fondo della zona collinare e montana che, avendo bassi livelli di pressione e basso grado di antropizzazione, è assimilabile al fondo regionale; fondo della zona costiera che, nonostante le pressioni presenti, ha per le sue caratteristiche meteo-diffusive un livello di fondo più basso rispetto a quello delle altre zone antropizzate della Regione; è stato stimato a circa $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e può essere assimilato al fondo regionale. Tutte le stazioni appartenenti alle serie dati con intercetta 10 o $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ appartengono alla zona collinare montana o alla zona costiera.
 - o **$23 \mu\text{g}/\text{m}^3$** fondo di tutte le zone interne antropizzate, che risentono in maniera più pronunciata delle pressioni presenti nei rispettivi territori e ciò si traduce in livelli di fondo più alti. Tutte le stazioni appartenenti alle serie dati con intercetta $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ fanno parte delle zone interne antropizzate.
- COEFFICIENTE ANGOLARE: tra le stazioni appartenenti ad ognuno dei due gruppi di zone e quindi per ognuno dei due livelli di fondo ci sono due tipologie di situazioni:
 - o stazioni che, analizzate nel loro complesso, mostrano di risentire in maniera importante dell'influenza dell'uso del suolo (valore del coefficiente angolare dell'interpolazione più alto)
 - o stazioni che, analizzate nel loro complesso, mostrano al variare delle condizioni di uso del suolo nell'intorno della stazione, variazioni poco significative di PM10, ovvero hanno una minore dipendenza da β (valore del coefficiente angolare dell'interpolazione più basso).

Oltre a confermare le ipotesi effettuate sul fondo di zona, questa interpretazione fornisce quindi informazioni sulla diversa rappresentatività delle stazioni di fondo. Il coefficiente angolare esprime la tendenza delle pressioni emmissive derivanti dall'uso del suolo locale, rappresentate da β , ad incidere sul dato di qualità dell'aria della stazione. In altre parole per alcune stazioni, a parità di condizioni di uso del suolo (che si traduce in analoghe percentuali di area agricola, urbana, industriale e naturale), si riscontra un'influenza più diretta del contributo emissivo sul dato misurato.

Un chiaro esempio di quanto descritto è dato dalle stazioni di Signorelli e di Montecatini rispettivamente appartenenti alla Serie 3b e alla Serie2 le cui informazioni sono riepilogate nella tabella seguente. L'uso del suolo delle due stazioni si compone principalmente di due macroclassi: quella urbana- industriale al 26-28% di copertura e quella agricola-naturale al 67-62%. La similitudine di queste distribuzioni è apprezzabile chiaramente non soltanto nei grafici a torta, che riportano nel dettaglio la ripartizione percentuale delle aree, ma anche dalle immagini relative alla distribuzione geografica delle classi di uso del suolo nell'intorno delle stazioni.

Stazione	Zona	Classi uso suolo 3 km	Distribuzione aree in classi	% urbana + industriale	% agricola + naturale	β	PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Serie dati
Signorelli	Prato Pistoia			26	67	0,144	26	Serie2
Montecatini	Pisa Lucca			28	62	0,143	33	Serie3b

Anche se le due stazioni appartengono a zone diverse, per cui si fa riferimento ad un quadro emissivo diverso nei due casi, la ripartizione delle emissioni nelle classi interessate in combinazione con l'uso del suolo dà luogo ad un indice β molto simile nei due casi. Al contrario il PM10 misurato dalle due stazioni è sostanzialmente diverso e, considerando che il fondo a cui risultano esposte è lo stesso (fondo delle zone interne antropizzate pari a $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e presupponendo il corretto posizionamento delle stazioni, la differenza è da attribuirsi ad una diversa influenza del potenziale emissivo espresso da β che colloca le due stazioni in serie di dati diverse.

Si assume che questa caratteristica possa rappresentare la tendenza di un sito a risentire delle proprie emissioni e quindi, d'altra parte, la tendenza delle emissioni a permanere sul sito e ad interessarne superficie. Secondo questa interpretazione, il coefficiente angolare di una serie di dati, indicando la sensibilità dei valori di PM10 misurati rispetto alle pressioni locali, può essere considerato un indice che contiene informazioni sulla diffusività di un sito. Le suddette valutazioni non tengono conto dell'altitudine sul livello del mare delle stazioni e partono dal presupposto che il posizionamento delle stazioni sia stato correttamente effettuato.

Data questa interpretazione, relativa al coefficiente angolare e all'intercetta, si può concludere che, aver individuato alcune correlazioni nei dati, porta ad un raggruppamento delle stazioni per tipologia di fondo e tipologia di sito, caratteristiche queste già di per sé interessanti in un'ottica di rappresentatività spaziale. Inoltre, conoscendo il fondo di ogni zona, è possibile calcolare la retta passante per ogni stazione e dedurre dall'intercetta informazioni quantitative (che consentono ad esempio un ordinamento delle stazioni) riferibili alle caratteristiche di dispersione nel sito e ciò vale anche per le stazioni "fuori serie" (vedi Montale). Per questo motivo si ritiene che l'applicazione sperimentale di β abbia fornito spunti di riflessione interessanti e possa essere ulteriormente sviluppata in studi futuri.

Fondo PM 10: $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Serie1

Fondo Basso – Alta dispersione

Costa	Poggio S.Rocco
Costa	Maurogordato
Costa	GR_URSS
Costa	Ms-S.francesco
Collinare montana	Montecerboli
Collinare montana	Chitignano

Serie3a

Fondo basso – Bassa dispersione

Collinare montana	Siena
Collinare montana	Poggibonsi
Collinare montana	Pontassieve
Costa	Galvani
Costa	Colombarotto
Costa	Viareggio

Serie3b

Fondo alto – Alta dispersione

Valdarno aretino	Incisa
Prato Pistoia	PO-Roma
Prato Pistoia	Signorelli
Agglomerato	Boboli
Agglomerato	Bassi
Pisa Lucca	Pisa Passi

Serie2

Fondo alto – Bassa dispersione

Pisa Lucca	Montelupo
Pisa Lucca	Porcari
Pisa Lucca	Montecatini
Pisa Lucca	Santa Croce Coop
Pisa Lucca	Capannori
Agglomerato	Sesto
Agglomerato	Campi Bisenzio
Agglomerato	Calenzano
Agglomerato	Scandicci

Conc. PM10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Fondo PM 10: $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Conc. PM10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Alta dispersione

Bassa dispersione

Riferimenti bibliografici:

[1] Rappresentatività spaziale secondo un metodo statistico basato su fattori oggettivi

Roma 18/09/2012 presentazione

ENEA - UTVALAMB-AIR Unità Tecnica Modelli, Metodi e Tecnologie per le Valutazioni Ambientali – Laboratorio Qualità dell’Aria

[2] Land use to characterize spatial representativeness of air quality monitoring stations and its relevance for model validation

Atmospheric Environment, Volume 59, November 2012, Pages 492-500

Stijn Janssen, Gerwin Dumont, Frans Fierens, Felix Deutsch, Bino Maiheu, David Celis, Elke Trimpeneers, Clemens Mensink

[3] Spatial interpolation of air pollution measurements using CORINE land cover data

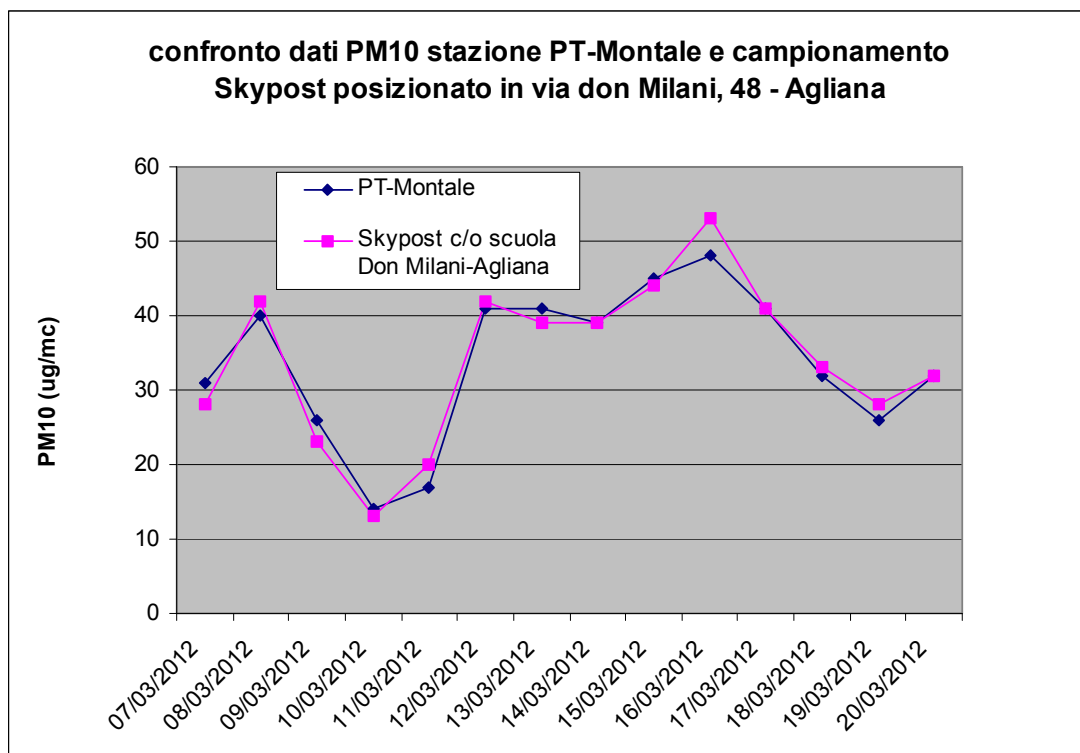
Atmospheric Environment, Volume 42, Issue 20, June 2008, Pages 4884-4903

Stijn Janssen, Gerwin Dumont, Frans Fierens, Clemens Mensink

Allegato 2

**Elaborazione dei dati risultanti dal
campionamento effettuato nel comune
di Agliana**

Di seguito si riportano il grafico di confronto dei dati rilevati presso la stazione di PT-Montale e quelli rilevati nel corso della campagna di Agliana nel 2012 e la tabella dei relativi dati:



Audit comune di Agliana: confronto con i dati rilevati presso la centralina fissa di PT-Montale

Data di Campionamento	Dati analizzatore di stazione PT-Montale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Dati campionatore SKYPOST ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Scarto assoluto ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Scarto percentuale %
07/03/2012	31	28	-3	-10%
08/03/2012	40	42	+2	+5%
09/03/2012	26	23	-3	-12%
10/03/2012	14	13	-1	-7%
11/03/2012	17	20	+3	+18%
12/03/2012	41	42	+1	+2%
13/03/2012	41	39	-2	-5%
14/03/2012	39	39	0	=
15/03/2012	45	44	-1	-2%
16/03/2012	48	53	+5	+10%
17/03/2012	41	41	0	=
18/03/2012	32	33	+1	+3%
19/03/2012	26	28	+2	+8%
20/03/2012	32	32	0	=
MEDIA	34	34	<1	<1%

Audit comune di Agliana: confronto con i dati rilevati presso la centralina fissa di PT-Montale

Per dare un giudizio sulla conformità e l'equivalenza del metodo automatico (analizzatore di PM10 della stazione di PT-Montale) rispetto al metodo manuale gravimetrico (campionatore sequenziale

SKYPOST utilizzato per il campionamento nel comune di Agliana) di misura della concentrazione di PM10 giornaliere, sono state seguite le linee guida richiamate nell'Allegato VI, Punto B, Paragrafo 1 del D.Lgs. 155/2010 (pag. 35) intitolate "*Guidances for the demonstration of equivalence of ambient air monitoring methods*" pubblicate dalla Commissione Europea. Il metodo di riferimento per la misurazione è il metodo gravimetrico descritto nella norma UNI EN 14907:2005.

Nel seguente specchietto sono elencate le tre condizioni per soddisfare la dichiarazione di equivalenza del sistema candidato rispetto al sistema di riferimento:

- (1) *Almeno il 20% delle misure deve essere maggiore o uguale al 50% del limite giornaliero previsto dalle norme vigenti;*
- (2) $|b - 1| \leq 2 \cdot u(b)$ e $|a - 1| \leq 2 \cdot u(a)$ dove a e b sono intercetta e pendenza della regressione lineare; $u(a)$ e $u(b)$ sono le incertezze rispettivamente di intercetta e pendenza, calcolate come radice quadrata delle varianze;
- (3) $W_{CM} \leq W_{dgo}$. Dove W_{dgo} è l'incertezza estesa relativa basata sugli obiettivi di qualità dei dati del metodo standard (cioè 25% = 0,25). W_{CM} è l'incertezza composta del metodo candidato, calcolata nel grafico di regressione esponenziale (Grafico 3), in corrispondenza del valore limite giornaliero per il PM₁₀ (vale a dire 50 µg/m³). Tale rappresentazione deriva dalla regressione delle concentrazioni ottenute con il metodo in continuo e delle rispettive incertezze composte.

Innanzitutto, tutti gli scostamenti delle concentrazioni ottenute per singola misura sono tutti inferiori al 25% come richiesto all'allegato I del D.Lgs. 155/2010 per la valutazione dell'incertezza nelle misurazioni in continuo come obiettivo per la qualità dei dati.

Si può inoltre affermare che, a parte la verifica di congruenza iniziale sull'insieme di dati, le condizioni elencate nello specchietto sopra sono tutte soddisfatte, dato che:

- (1) 11 risultati su 14 (metodo candidato analitico) e 12 risultati su 14 (metodo gravimetrico ufficiale) sono al di sopra o uguali alla metà del valore limite giornaliero, uguale a 25 µg/m³. Quindi questa condizione iniziale è rispettata.
- (2) $|b - 1| \leq 2 \cdot u(b)$ è rispettata visto che $|b - 1| = 0,0360$ e $2 \cdot u(b) = 0,1264$; $|a - 1| \leq 2 \cdot u(a)$ è anch'essa rispettata, essendo $|a - 1| = 1,9295$ e $2 \cdot u(a) = 4,4481$.
- (3) il calcolo effettuato secondo le linee guida europee ("Guidances") restituisce $W_{CM} = 0,0409 < 0,25$. La terza condizione è quindi rispettata.

Globalmente il test a cascata risulta quindi avere un esito positivo.

È doveroso sottolineare che non sono state applicate rigorosamente le linee guida sulla conformità ed equivalenza sopraccitate, in base alle quali si prevede l'utilizzo di almeno 40 coppie di campioni da poter confrontare: questo rende non completamente significativa la loro applicazione all'audit effettuato.

Allegato 3

Risultati degli audit effettuati sull'analizzatore di polveri della stazione di PT-Montale

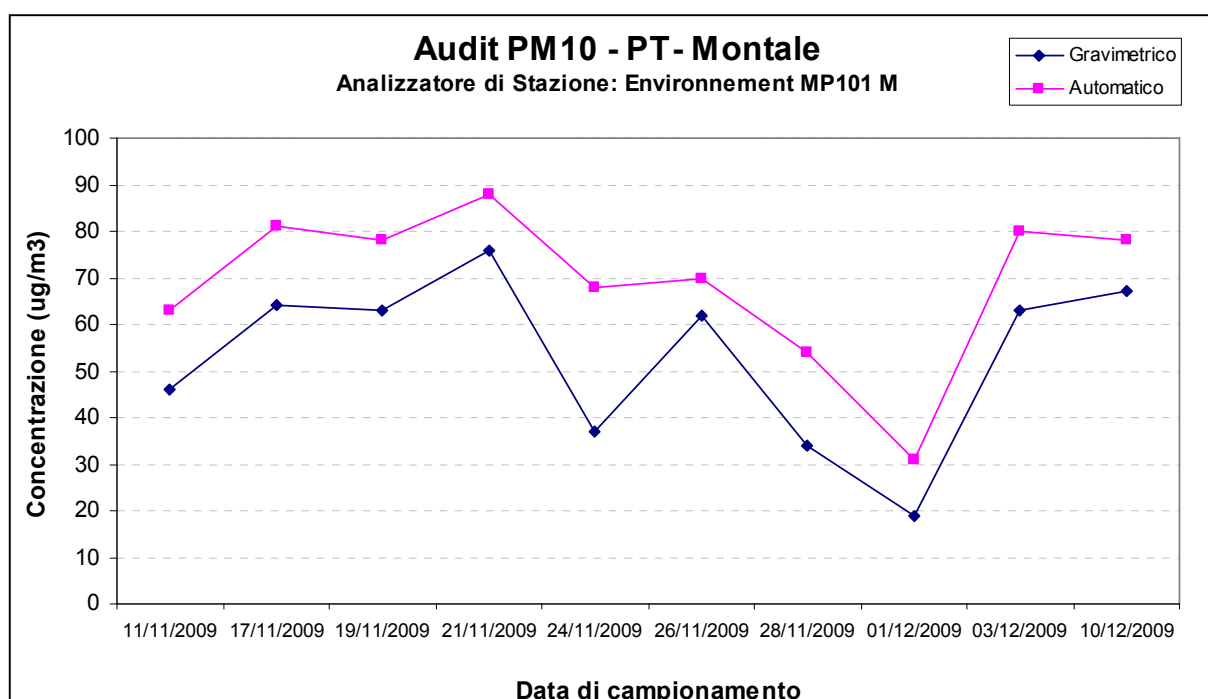
Si riportano di seguito, in maniera sintetica, i risultati dei controlli (audit) periodicamente svolti da ARPAT sull'analizzatore di polveri PM10 di PT-Montale dal 2009 al 2013 basati sul metodo UNI EN 12341/2001 "Determinazione del particolato in sospensione PM10"

:

Anno 2009

Risultati dell'audit

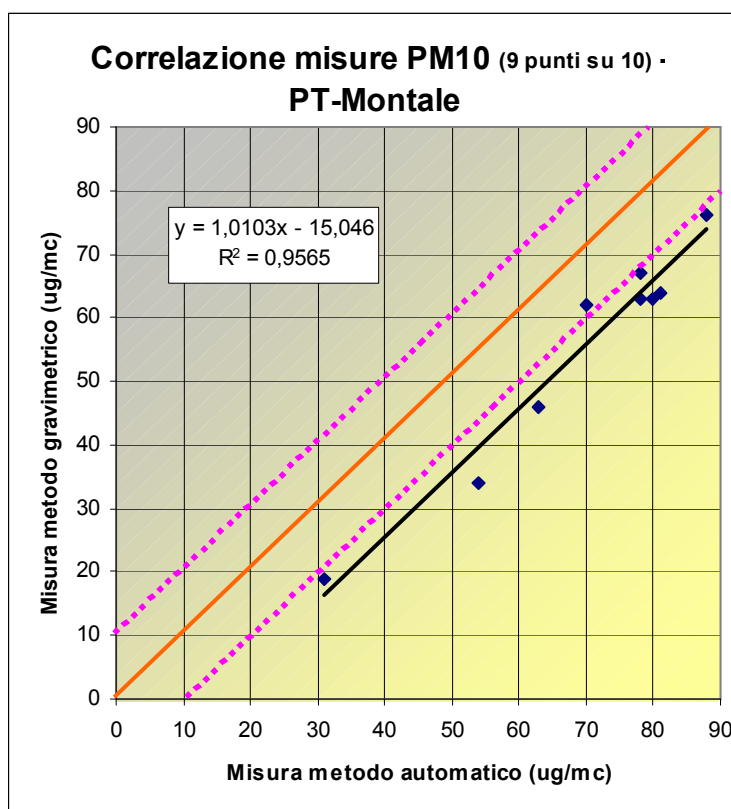
Si riporta di seguito il grafico con il confronto tra i dati rilevati con il campionatore sequenziale e quelli rilevati nello stesso periodo dall'analizzatore di Montale:



Data di campionamento	Dati metodo gravimetrico (µg/mc)	Dati PT-Montale (µg/mc)
11/11/2009	46	63
17/11/2009	64	81
19/11/2009	63	78
21/11/2009	76	88
24/11/2009	37	68
26/11/2009	62	70
28/11/2009	34	54
01/12/2009	19	31
03/12/2009	63	80
10/12/2009	67	78

L'analizzatore in continuo di PT-Montale mostra una sovrastima pressoché costante di 15 µg/m³ rispetto ai dati ottenuti mediante campionamento manuale e determinazione gravimetrica.

Tale sovrastima, superiore ai 10 µg/Nmc, si può notare dal grafico di correlazione seguente: solo uno dei punti trovati si trova tra la bisettrice e la retta $YR = YC - 10 \text{ µg/Nmc}$, tutti gli altri si collocano al di sotto.



Eventuali misure di correzione prese

In seguito alla segnalazione del problema alla ditta che si occupa della manutenzione sono state effettuate verifiche delle impostazioni strumentali di campionamento/analisi e il controllo della taratura dello strumento per verificare il livello di zero e il livello di span mediante l'ausilio di "standard foil".

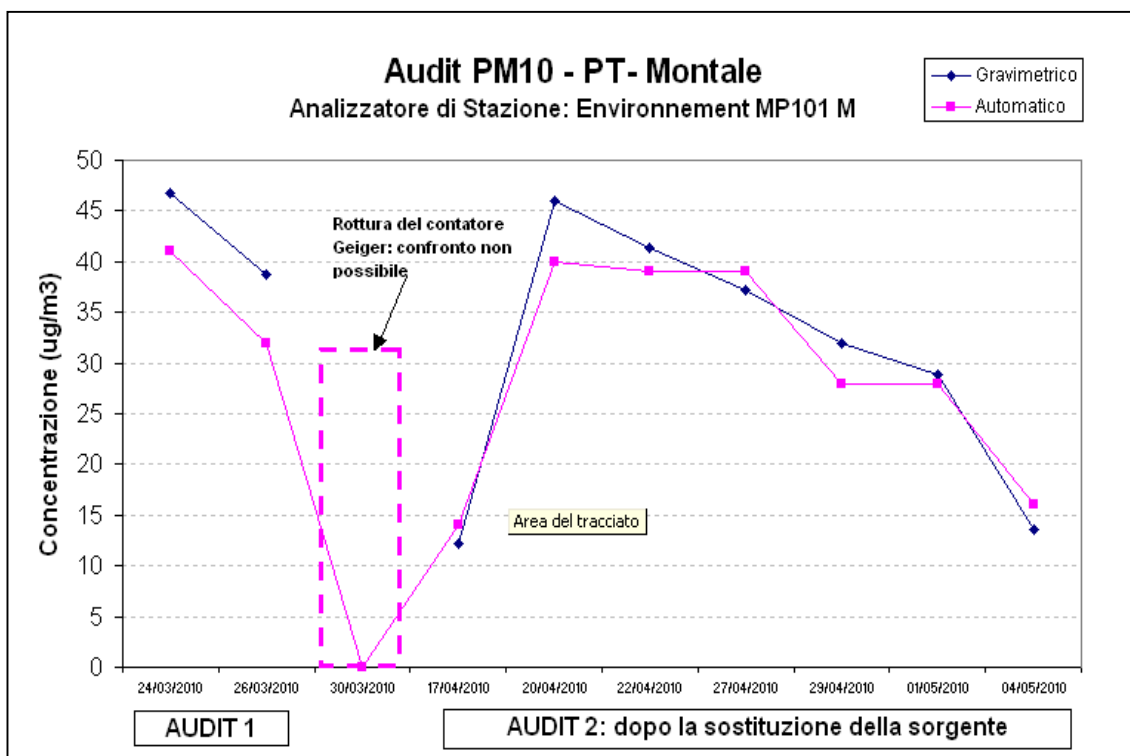
Anno 2010

Risultati dell'audit

Obiettivo della verifica era confermare le nuove impostazioni adottate per l'analizzatore PM10 dopo che l'audit effettuato nel periodo novembre–dicembre 2009 aveva evidenziato un offset positivo di 15 µg/m³ rispetto al metodo gravimetrico, quindi una sovrastima.

Nel corso del campionamento è avvenuta la rottura del contatore Geiger dell'analizzatore di PM10 della stazione di Montale; il dato analitico di concentrazione per quel giorno è quindi risultato mancante. E' stata in questo caso assunta l'ipotesi che l'analizzatore di stazione non abbia avuto discontinuità nella rilevazione del particolato fine, anche dopo la sostituzione del contatore Geiger. In questo modo è stato possibile utilizzare tutti i dati raccolti ai fini di un unico audit.

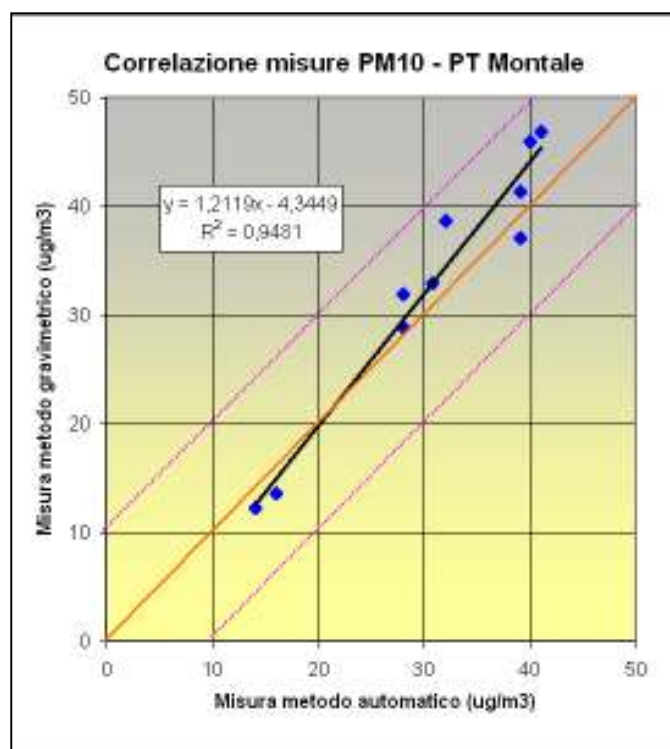
Si riporta di seguito il grafico con il confronto tra i dati rilevati con il campionatore sequenziale e quelli rilevati nello stesso periodo dall'analizzatore di Montale:



Data di campionamento	Dati metodo gravimetrico ($\mu\text{g}/\text{mc}$)	Dati PT-Montale ($\mu\text{g}/\text{mc}$)
24/03/2010	47	41
26/03/2010	39	32
30/03/2010		n.d. per rottura contatore Geiger
17/04/2010	12	14
20/04/2010	46	40
22/04/2010	41	39
27/04/2010	37	39
29/04/2010	32	28
01/05/2010	29	28
04/05/2010	14	16

I risultati ottenuti dal nuovo audit hanno permesso di verificare che l'aggiustamento delle impostazioni interne all'analizzatore a seguito dei risultati del precedente audit è risultato inappropriato, visto che, nel periodo monitorato, l'analizzatore Environnement è risultato sottostimare del 17%, con maggiore evidenza di tale comportamento sulle concentrazioni alte.

Tale sottostima si può notare dal grafico di correlazione seguente:



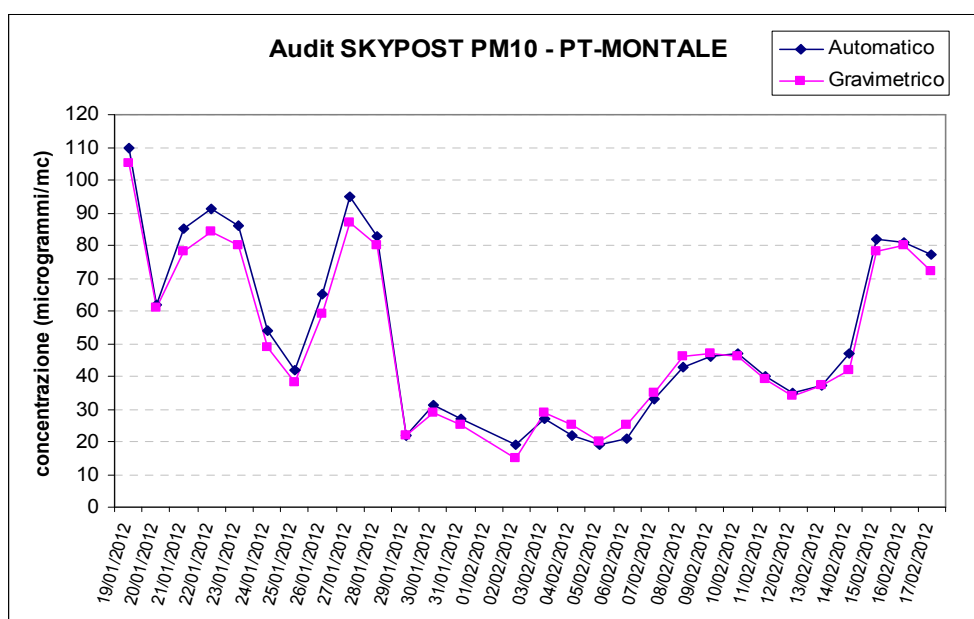
Eventuali misure di correzione prese

In seguito alla segnalazione del problema alla ditta che si occupa della manutenzione sono state modificate le impostazioni interne dell'analizzatore (pendenza della retta) del 15-20%.

Anno 2012

Risultati dell'audit

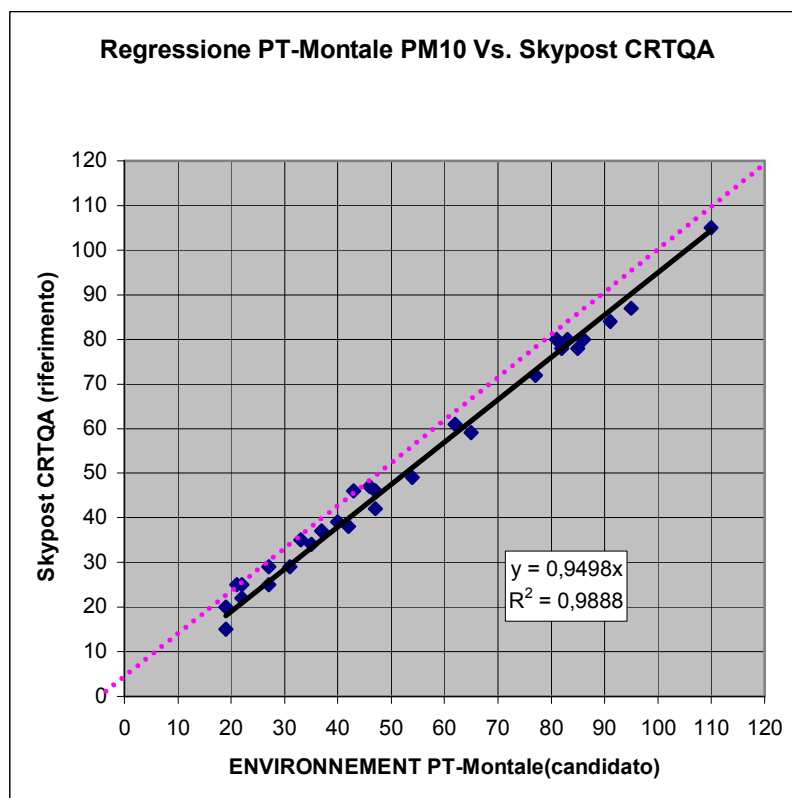
I risultati ottenuti hanno mostrato la sostanziale coerenza dei dati di concentrazione giornaliera provenienti dall'analizzatore PM10 di Montale con i dati di concentrazione rilevati con metodo gravimetrico.



Data di campionamento	Dati metodo gravimetrico ($\mu\text{g}/\text{mc}$)	Dati PT-Montale ($\mu\text{g}/\text{mc}$)
19/01/2012	110	105
20/01/2012	62	61
21/01/2012	85	78
22/01/2012	91	84
23/01/2012	86	80
24/01/2012	54	49
25/01/2012	42	38
26/01/2012	65	59
27/01/2012	95	87
28/01/2012	83	80
29/01/2012	22	22
30/01/2012	31	29
31/01/2012	27	25
02/02/2012	19	15
03/02/2012	27	29
04/02/2012	22	25
05/02/2012	19	20
06/02/2012	21	25
07/02/2012	33	35
08/02/2012	43	46
09/02/2012	46	47
10/02/2012	47	46
11/02/2012	40	39
12/02/2012	35	34
13/02/2012	37	37
14/02/2012	47	42
15/02/2012	82	78
16/02/2012	81	80
17/02/2012	77	72

L'analizzatore di Montale ha mostrato un funzionamento più che adeguato ai fini della produzione dei dati giornalieri di concentrazione entro l'incertezza prevista per i metodi di misurazione in continuo.

La sostanziale bontà dei dati restituiti dall'analizzatore di polveri della stazione di monitoraggio di Montale risulta evidente anche dal grafico di correlazione seguente:



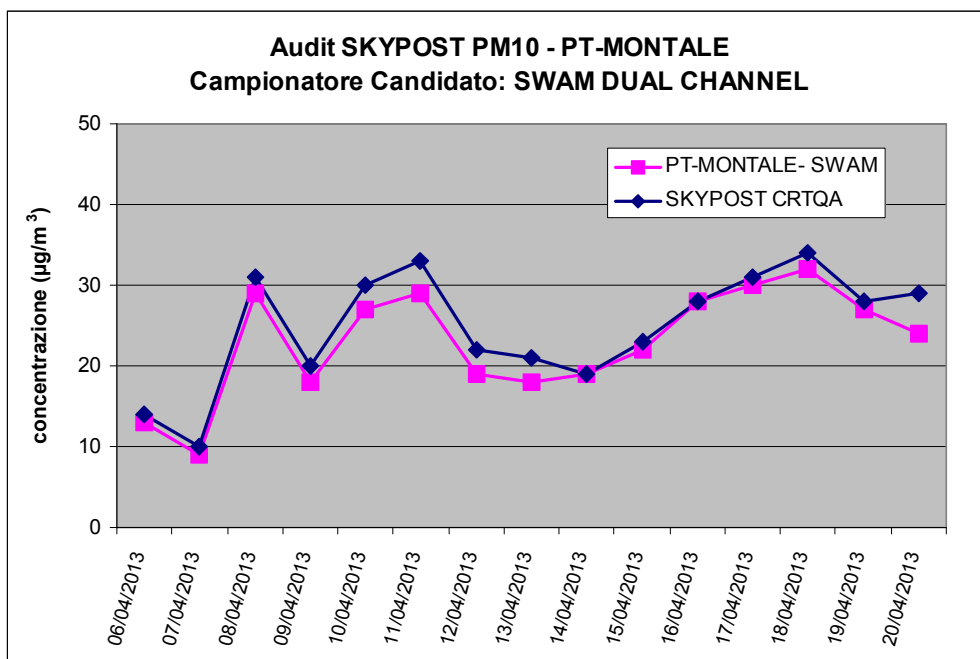
Eventuali misure di correzione prese

Nessuna misura di correzione necessaria.

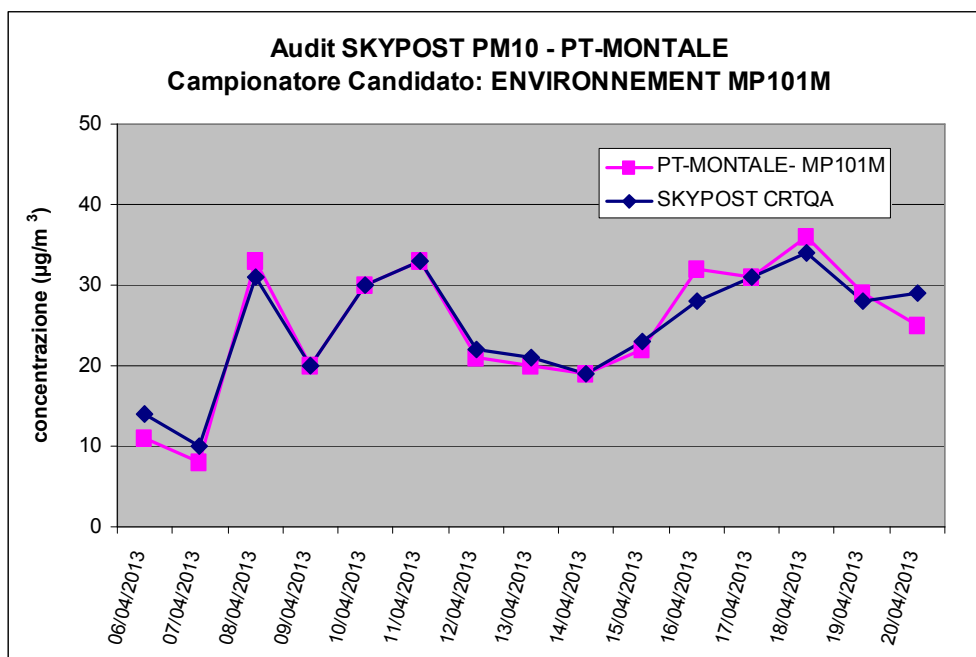
Anno 2013

Risultati dell'audit

I risultati ottenuti hanno mostrato in modo chiaro ed evidente la sostanziale aderenza dei dati di concentrazione giornaliera provenienti sia dall'analizzatore ENVIRONNEMENT (analizzatore presente in cabina prima del 2013) che dal nuovo analizzatore (FAI SWAM Dual Channel) ai dati di concentrazione sulle 24h ricavati con metodo gravimetrico tramite l'ausilio del campionatore Skypost TECORA.

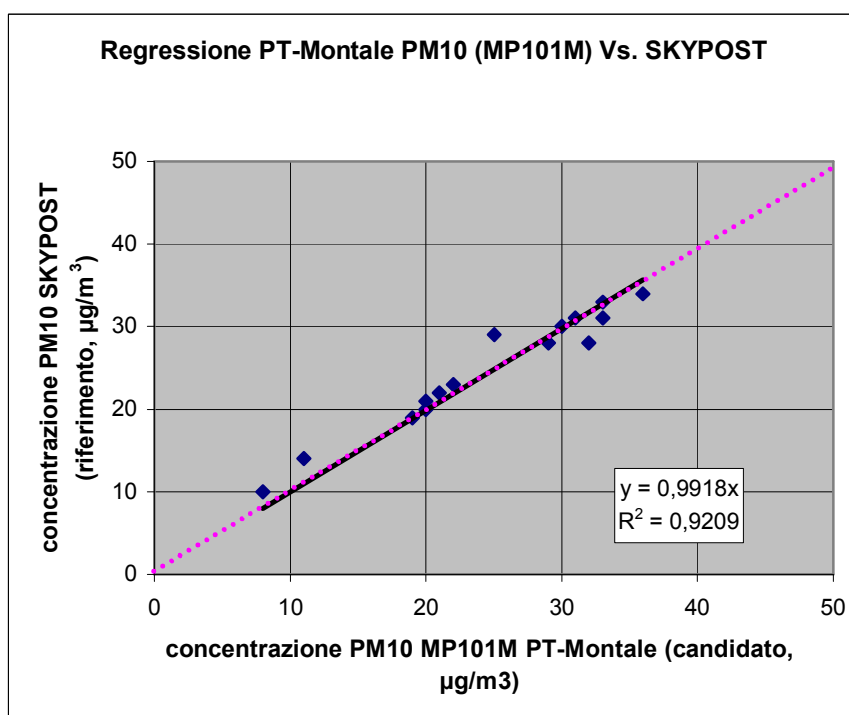
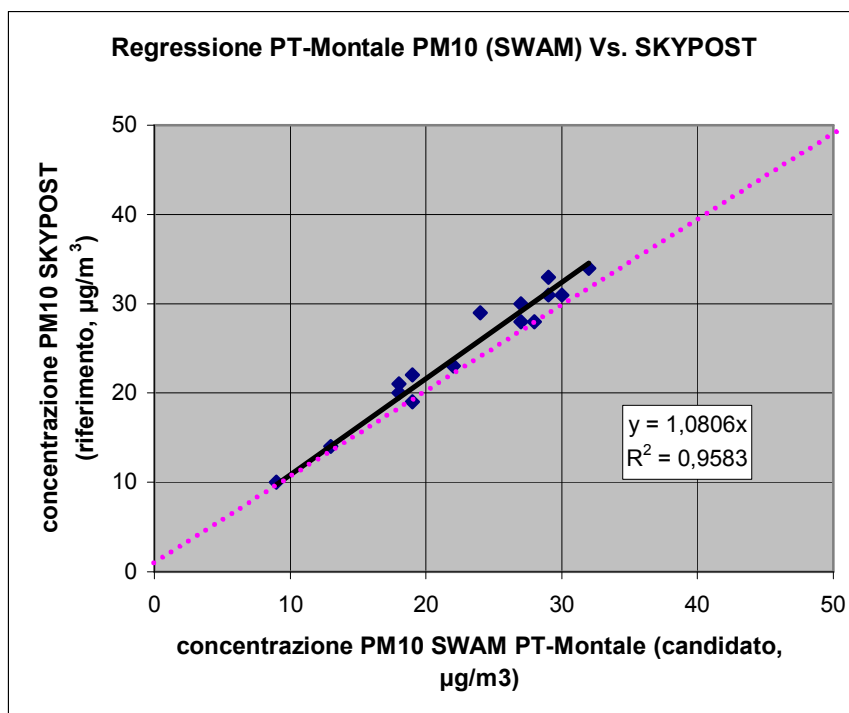


Data di Campionamento	Dati dall'analizzatore di stazione (SWAM) (µg/m ³)	Dati del campionatore SKYPOST (R) (µg/m ³)
06/04/2013	13	14
07/04/2013	9	10
08/04/2013	29	31
09/04/2013	18	20
10/04/2013	27	30
11/04/2013	29	33
12/04/2013	19	22
13/04/2013	18	21
14/04/2013	19	19
15/04/2013	22	23
16/04/2013	28	28
17/04/2013	30	31
18/04/2013	32	34
19/04/2013	27	28
20/04/2013	24	29
MEDIA	23	25



Data di Campionamento	Dati dall'analizzatore di stazione (MP101M) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Dati del campionatore SKYPOST (R) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
06/04/2013	11	14
07/04/2013	8	10
08/04/2013	33	31
09/04/2013	20	20
10/04/2013	30	30
11/04/2013	33	33
12/04/2013	21	22
13/04/2013	20	21
14/04/2013	19	19
15/04/2013	22	23
16/04/2013	32	28
17/04/2013	31	31
18/04/2013	36	34
19/04/2013	29	28
20/04/2013	25	29
MEDIA	25	25

La sostanziale bontà dei dati restituiti da entrambi gli analizzatore di polveri della stazione di monitoraggio di Montale risulta evidente anche dai grafici di correlazione seguenti:



Eventuali misure di correzione prese

Nessuna misura di correzione necessaria.

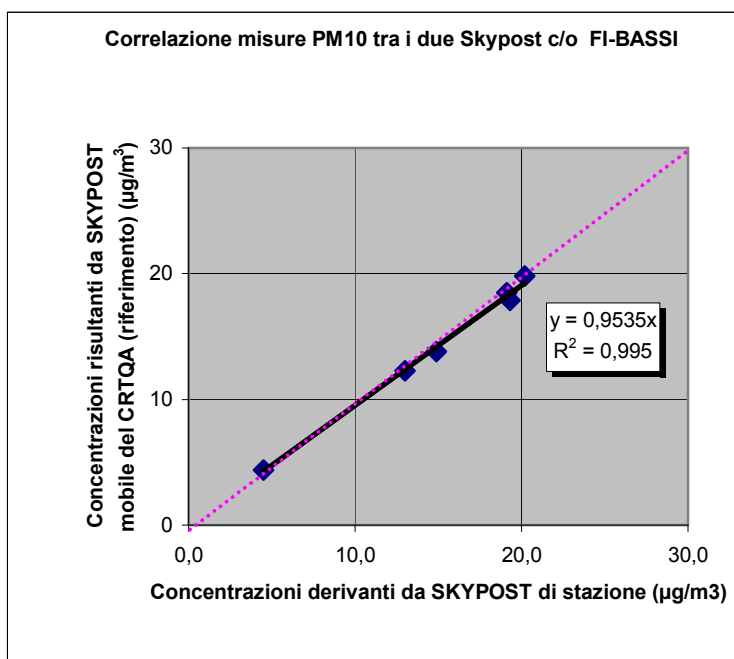
Allegato 4

Risultati dell'audit effettuato sul campionatore denominato “campionatore 2”

Di seguito si riporta la tabella con i risultati del audit effettuato sullo strumento “campionatore 2” e la loro elaborazione:

Data di Campionamento	PM10 SKYPOST FI-Bassi ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM10 SKYPOST RIFERIMENTO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Scarto assoluto ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Scarto percentuale (%)
30/03/2013	13,0	12,3	+0,7	+6%
31/03/2013	19,1	18,5	+0,6	+3%
01/04/2013	20,2	19,8	+0,4	+2%
02/04/2013	4,5	4,4	+0,1	+2%
03/04/2013	14,9	13,8	+1,1	+8%
04/04/2013	19,3	17,9	+1,4	+8%
MEDIA	15,2	14,5	+0,7	+5%

e il grafico con la correlazione tra le due misure effettuate:



Il grafico sopra riportato mostra la regressione lineare dei dati ottenuti dai due campionatori Skypost TECORA, mantenendo come riferimento lo Skypost TECORA di riferimento (“campionatore 1”), il cui funzionamento ottimale è oggetto di verifiche periodiche.

È evidente l’eccellente correlazione tra i dati ottenuti dai campionamenti dei due SKYPOST utilizzati.

La verifica effettuata ha posto, in particolare, l’attenzione sulla conformità e l’equivalenza dei campionamenti di PM10 ottenuti con lo SKYPOST “campionatore 2” rispetto allo SKYPOST di riferimento (“campionatore 1”). A questo scopo sono state seguite le linee guida richiamate nell’Allegato VI, Punto B, Paragrafo 1 del D.Lgs. 155/2010 (pag. 35) “*Guidances for the demonstration of equivalence of ambient air monitoring methods*” pubblicate dalla Commissione

Europea¹. La valutazione ottenuta dopo tale analisi ovviamente non può avere valore assoluto in quanto il numero di dati in esame è troppo ridotto, ma può dare comunque alcune informazioni riguardo al corretto funzionamento dello SKYPOST in esame (“campionatore 2”).

Dai risultati ottenuti, si può comunque affermare che il campionatore sequenziale Tecora SKYPOST denominato “campionatore 2” mostra un funzionamento soddisfacente ai fini della produzione di dati giornalieri di concentrazione di PM10 entro l’incertezza prevista dalle vigenti normative coerente con lo strumento, in ottimo accordo con lo strumento SKYPOST di riferimento (“campionatore 1”).

¹ È doveroso sottolineare nuovamente che non sono state applicate in maniera adeguata le linee guida sulla conformità ed equivalenza sopracitate, in base alle quali si prevede l'utilizzo di almeno 40 coppie di campioni da poter confrontare: questo fornisce alla loro applicazione all'audit effettuato un valore puramente indicativo.

Allegato 5

Elenco delle principali tecniche di analisi multivariata

Di seguito vengono elencate le principali tecniche di analisi multivariata valutate preliminarmente alla scelta della regressione multipla per le valutazioni del paragrafo Appendice 1.4.4.2:

- Discriminant e Multiple Discriminant Analysis (MDA)
- Multivariate Analysis of Variance (MANOVA)
- Canonical Correlation o Correlazione multipla
- Linear Probability Models
- Conjoint Analysis
- Factor Analysis
- Cluster Analysis
- Multidimensional Scaling
- Correspondence Analysis

- Multiple Regression Analysis

La regressione multipla si utilizza quando ci troviamo di fronte ad un problema nel quale si presume che una singola variabile dipendente metrica, sia correlata ad un certo numero (due o più) di variabili indipendenti, anch'esse metriche.

L'obiettivo, come sempre, è quello di prevedere i cambiamenti della variabile dipendente in seguito ai cambiamenti intervenuti nelle variabili indipendenti.

La regola da applicare è la stessa che viene utilizzata per la regressione semplice e cioè la regola dei minimi quadrati, solo che in questo caso i calcoli sono molto più complessi.

Allegato 6

La combustione della legna nel settore residenziale

INDICE

Introduzione	1
1. Applicazione del metodo 1: I risultati	3
1.1 Il progetto “Stima dei consumi di legna da ardere per riscaldamento ed uso domestico in Italia”	3
1.2 La metodologia applicata per il calcolo delle emissioni da riscaldamento con biomassa in Toscana	4
1.2.1 FASE 1: Consumi di biomassa legnosa nel residenziale in Regione Toscana (t/anno)	6
1.2.2 FASE 2: Produzione di energia termica da combustione di biomassa legnosa in Regione Toscana (GJ/anno)	8
1.2.3 FASE 3: Produzione di energia termica da combustione di biomassa legnosa per zone climatiche in Regione Toscana (GJ/anno)	9
1.2.4 FASE 4: Consumi di biomassa legnosa per i comuni della zona Prato - Pistoia (t/anno)	11
1.2.5 FASE 5 Produzione di energia termica da combustione di biomassa legnosa per tipologia di tecnologia di combustione	13
1.2.6 FASE 6: Calcolo delle emissioni di PM10 e PM2.5 (t/anno)	15
2. Applicazione del metodo 2: I risultati	19
2.1 Descrizione della metodica "Stima consumi di biomassa per riscaldamento civile in regione Piemonte"	19
2.2 Applicazione alla Regione Toscana e ai Comuni della zona Prato - Pistoia	24
3. Il confronto tra i risultati dei metodi adottate e i dati dell'inventario I.R.S.E. 2007	27
3.1 METODO 1	27
3.2 METODO 2	33

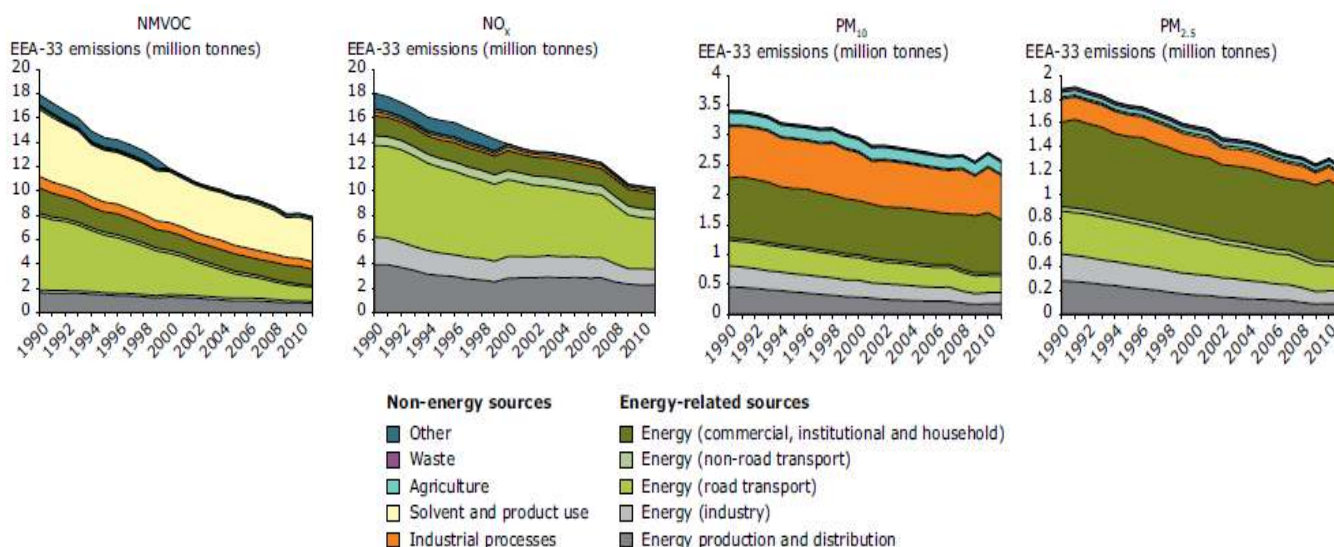
Introduzione

Le emissioni dal settore riscaldamento domestico, in particolare quelle provenienti dalla combustione della legna, sono negli ultimi anni oggetto di approfondite indagini da parte della comunità scientifica nazionale e internazionale in quanto tale settore costituisce una fonte di emissioni non trascurabile e difficilmente caratterizzabile in quanto legata a un numero molto elevato di variabili che condiziona l'incertezza delle stime.

La non trascurabile incidenza emissiva di tale settore viene rilevata non solo a livello locale e nazionale ma anche a livello europeo; nel rapporto dell'agenzia ambientale europea (E.E.A.) "Environmental Indicator Report 2013 - Natural resources and human well-being in a green economy" (6) si evidenzia che la combustione di tutti i tipi di biomassa genera produzione di gas a effetto serra e emissioni inquinanti in aria ambiente; ciò significa che, in assenza di adeguate misure di salvaguardia, alcuni tipi di biomassa possono offrire solo relativi benefici ambientale rispetto ai combustibili fossili.

Nel documento si riporta, inoltre, che la crescita del 56% della quantità di biomassa bruciata in ambito domestico nel periodo 1990-2011 è una delle principali preoccupazioni in ambito ambientale; la mancanza di filtri adeguati sui sistemi di combustione domestici porta le famiglie ad essere la principale fonte di emissione di particolato fine nell'Unione Europea, senza contare il fatto che le stesse famiglie sono direttamente esposte a queste emissioni (figura 6.5 del rapporto). Viene, infine, evidenziato che un tale incremento di uso in ambito domestico di biomassa solleva anche dubbi sul fatto che il carburante utilizzato venga acquistato in modo sostenibile.

Figure 6.5 EEA-33 emissions of selected air pollutants by main source sectors, 1990–2011



Dalle elaborazioni svolte sui dati di emissione estratti dall'aggiornamento dell'inventario regionale delle sorgenti di emissione all'anno 2007 (I.R.S.E. 2007) emerge che, sia a livello regionale che per i comuni della zona Prato-Pistoia, una massima parte delle emissioni totali di PM10 sono originate dal trasporto su strada (locale e extraurbano) e dalla combustione non industriale di biomassa solida (domestico, terziario e agricoltura).

Vista l'incidenza dell'attività di combustione non industriale di biomassa sulle emissioni totali di polveri e vista la complessità di tale settore dovuta alle numerose variabili in gioco:

- la forte variabilità delle caratteristiche del combustibile (e, quindi, anche del suo potere calorifico)
- le numerose modalità di fornitura e acquisizione della biomassa (per raccolta diretta, per acquisto da rivenditore ufficiale, per acquisto da rivenditori non ufficialmente autorizzati etc.)
- le diverse tecnologie di combustione utilizzabili (tradizionali, quali stufe e caminetti aperti, o innovative, quali ad es. stufe a pellets, caminetti chiusi etc.)

si è ritenuto necessario effettuare opportuni approfondimenti sulla metodologia di stima delle emissioni per tale settore adottata nell'inventario regionale I.R.S.E. 2007. In particolare, le emissioni di polveri da tale settore sono state valutate con due diversi metodi di stima delle emissioni; sono stati, quindi, confrontati con l'inventario regionale I.R.S.E. 2007, sia i procedimenti adottati dalle due procedure che i risultati ottenuti.

Il primo metodo prende spunto dall'indagine effettuata da ARPA Lombardia e ISPRA all'anno 2006 finalizzata a fornire una stima dei quantitativi di legna da ardere utilizzati, della diffusione dei sistemi di riscaldamento a legna e delle informazioni sull'utilizzo della legna in relazione ad altri fattori quali le modalità di approvvigionamento, le tipologie dei sistemi di combustione utilizzati etc.

Il secondo metodo utilizzato, invece, ha come riferimento la metodologia applicata dalla Regione Piemonte nel proprio inventario e resa disponibile nell'ambito del gruppo di lavoro nazionale sugli inventari locali coordinato da ISPRA. Tale metodo è già stato applicato una prima volta al fine di effettuare un confronto con i dati contenuti nell'inventario regionale I.R.S.E. all'anno 2005; non è possibile provvedere, nel presente lavoro, all'aggiornamento dei dati al fine di confrontarne i risultati con quanto presente all'interno dell'inventario I.R.S.E. all'anno 2007 in quanto i dati definitivi necessari relativi al Censimento della popolazione del 2011 saranno disponibili non prima del 31 maggio 2014.

1. Applicazione del metodo 1: I risultati

1.1 Il progetto “Stima dei consumi di legna da ardere per riscaldamento ed uso domestico in Italia”

L'indagine² “Stima dei consumi di legna da ardere per riscaldamento ed uso domestico in Italia” (7) è stata svolta da ARPA Lombardia su incarico di APAT nel corso dell'autunno 2006 e ha avuto come principale fine quello di ottenere informazioni sul fenomeno dell'utilizzo di legna da ardere per uso domestico in Italia con l'obiettivo, in particolare, di stimare sia la penetrazione di sistemi di riscaldamento a legna presso le case degli italiani, sia di dimensionare il fenomeno legna e derivati del legno in volumi.

Alcune precedenti indagini avevano, infatti, rivelato come negli ultimi anni si fosse verificata una crescita sensibile dell'utilizzo di legna per il riscaldamento domestico con le conseguenti emissioni dei principali inquinanti, tra cui le polveri sottili.

L'indagine svolta è un'indagine campionaria sul territorio italiano ed è stata realizzata combinando due metodi: parte del campione è stata contattata per telefono con tecnica CATI (Computer Assisted Telephone Interviewing) mentre altre famiglie hanno costituito il TELEPANEL, un gruppo rappresentativo della popolazione italiana connesso per via telematica al centro elaborazione dati. Al campione di 5.000 famiglie così ottenuto è stato sottoposto lo stesso questionario e le risposte ottenute sono state suddivise secondo 4 strati: macroregioni, ampiezza dei centri abitati, numero componenti della famiglia, zona altimetrica.

Nell'indagine sulla stima del consumo di legna, per la parte con metodologia CATI il campione è stato estratto in maniera casuale dagli elenchi telefonici di tutte le famiglie dotate di una linea telefonica di rete fissa; per la parte con metodologia TELEPANEL il reclutamento delle famiglie del panel avviene in maniera casuale fra tutte le famiglie presenti sul territorio italiano che accettano di collaborare.

La combinazione delle due metodologie ha consentito di dire, a livello teorico, che il campione di 5.000 famiglie che ha risposto all'indagine costituisce un campione casuale, ovvero estratto in maniera random dell'intero universo di famiglie italiane; alcuni svantaggi, solitamente considerati come trascurabili, che si hanno in un'indagine esclusivamente CATI (non completa copertura delle linee di rete fissa su tutte le famiglie o impossibilità di raggiungere telefonicamente famiglie i cui membri non sono in casa nelle ore in cui si effettua il fieldwork telefonico), sono stati in questo caso compensati dalla presenza di una metodologia ibrida: il campione del Telepanel, infatti, comprende anche famiglie sprovviste di una linea di rete fissa o difficilmente raggiungibili telefonicamente perché poco presenti in casa.

² Progetto APAT - ARPA Lombardia “Stima dei consumi di legna da ardere per riscaldamento ed uso domestico in Italia” (maggio 2008)

Responsabili della Convenzione Ing. Alfredo Leonardi per APAT, Ing. Stefano Caserini per ARPA Lombardia
Rapporto a cura di Ing. Stefano Caserini, Ing. Anna Fraccaroli, D.ssa Anna Monguzzi, Dott. Marco Moretti, D.ssa Elisabetta Angelino

Il campione è stato stratificato secondo le seguenti variabili stabilite:

- macroregioni Nielsen (aggregati di regioni)
- ampiezza dei centri di residenza
- numero componenti del nucleo familiare
- zona altimetrica del comune di residenza (pianura - da 0 a 300 m s.l.m., collina - da 300 a 600 m s.l.m., montagna - oltre 600 m s.l.m.)

In tale indagine la Regione Toscana fa parte della macroregione “Area III Centro” insieme a Marche, Umbria, Sardegna; i dati relativi alle quattro regioni sono, perciò, forniti in forma aggregata.

Tra i numerosi dati e le diverse informazioni raccolte dall'indagine³ per tale macroregione sono stati scelti quelli funzionali all'individuazione dei GJ/anno prodotti in Regione Toscana dalla combustione della biomassa legnosa considerando l'utilizzo delle varie tecnologie di combustione esistenti.

Oltre alle informazioni derivanti dallo studio APAT-ARPA Lombardia, per il calcolo dell'indicatore di attività sono stati utilizzati alcuni dei dati forniti dal 15° censimento ISTAT Popolazione e Abitazioni 2011.

1.2 La metodologia applicata per il calcolo delle emissioni da riscaldamento con biomassa in Toscana

La metodologia per la stima delle emissioni di PM10 e PM2,5 da combustione domestica di biomassa legnosa sviluppata a partire dai risultati ottenuti con l'indagine sopra descritta può essere così schematicamente riassunta:

-
- ³ - Numero abitazioni in cui si utilizza la legna (Italia: montagna, collina, pianura)
- Apparecchi a legna - distinti in caminetto aperto, stufa tradizionale, caminetto chiuso, stufa innovativa, stufa automatica (Italia: montagna, collina, pianura)
 - Apparecchi a legna - distinti in caminetto aperto, stufa tradizionale, caminetto chiuso, stufa innovativa, stufa automatica (n. per macroregione)
 - Consumi di legna (t) (Italia, macroregione)
 - Consumi di legna (t) (Italia, per dimensioni città)
 - Consumi medi di legna per abitazione (t) (Italia, macroregione)
 - Consumi medi di legna per abitazione (t) (Italia, per tipologia di abitazione)
 - Percentuale di legna utilizzata per riscaldare e per cucinare per tipologia di impianto di riscaldamento
 - Percentuale di legna utilizzata per riscaldare e per cucinare (% macroregione)
 - Percentuale di strumenti per tipologia di impianto di riscaldamento - caminetto aperto, stufa tradizionale, caminetto chiuso, stufa innovativa, stufa automatica (per riscaldamento e per cucinare macroregione)
 - Percentuale tipo di combustibile - legna da ardere comune, Legno lavorato, Cippato/truciolo, Pellets, Altro (macroregione)
 - Origine legna da ardere (autoprodotta, comprata non in negozio, comprata in negozio, comprata on line, regalata) (% macroregione)
 - Consumi per tipologia di strumento di combustione (Italia, %)

FASE	DESCRIZIONE FASE DI CALCOLO	DATI UTILIZZATI	FONTI DATI
1	Consumi di biomassa legnosa in Regione Toscana (t/anno)	1. Totale dei consumi di legna per la macroregione "Area III Centro" 2. % media italiana dei consumi di legna nelle 3 zone altimetriche (montagna, collina, pianura) 3. % territorio regionale interessato dalle tre diverse zone altimetriche per le quattro regioni della macroregione "Area III centro" 4. potenza impianti di combustione industriale a biomassa legnosa di piccola taglia (< 1MW) 5. potenza impianti di combustione industriale a biomassa solida di media-grande taglia (> 1MW)	1. studio APAT – ARPA Lombardia, tab. 5.3.1 2. studio APAT – ARPA Lombardia, tab. 5.3.3 3. Atlante De Agostini 4. Studio A.R.S.I.A. "Stima della potenzialità produttiva delle agrienergie in Toscana" 5. Studio E.N.A.M.A "Progetto biomasse"
2	Consumi di biomassa legnosa in Regione Toscana (t/anno)	1. Totale dei consumi di legna per la macroregione "Area III Centro" 2. % media italiana dei consumi di legna nelle 3 zone altimetriche (montagna, collina, pianura) 3. % territorio regionale interessato dalle tre diverse zone altimetriche per le quattro regioni della macroregione "Area III centro"	6. studio APAT – ARPA Lombardia, tab. 5.3.1 7. studio APAT – ARPA Lombardia, tab. 5.3.3 8. Atlante De Agostini
3	Produzione di energia termica da combustione di biomassa legnosa in Regione Toscana (GJ/anno)	PCI medio legna	- Associazione Italiana Energie Agroforestali (AIEL) - studio APAT – ARPA Lombardia, tab. 5.6.1
4	Produzione di energia termica da combustione di biomassa legnosa per zone climatiche in Regione Toscana (GJ/anno)	1. Coefficiente termico per zona climatica 2. Comuni della Regione Toscana per zona climatica	1. D.L. 26/08/93 n. 412 2. D.L. 26/08/93 n. 412

5	Consumi di biomassa legnosa per zone climatiche in Regione Toscana (t/anno)	PCI legna medio	Associazione Italiana Energie Agroforestali (AIEL)
6	Consumi di biomassa legnosa per i comuni della zona Prato - Pistoia (t/anno)	% territorio comuni zona Prato-Pistoia interessato dalle tre diverse zone altimetriche (montagna, collina, pianura)	IFT 400
7	Produzione di energia termica da combustione di biomassa legnosa per tipologia di tecnologia (caminetto aperto tradizionale, stufa tradizionale, caminetto chiuso, stufa innovativa, stufa automatica a pellets)	% consumi di legna per tipologia di impianto, Italia	studio APAT – ARPA Lombardia, tab. 6.3.6
8	Calcolo delle emissioni di PM10 e PM2.5 con fattori di emissione Corinair 2009 e con fattori di emissione sperimentali DIAR 2006, Livio 2006 (t/anno)	1. fattori di emissione PM10 e PM2,5 2. fattori di emissione PM10 e PM2,5	1. Corinair Guidebook 2009 2. “Stima dei fattori di emissione dalla combustione della legna” – DIAR PoliMI

Di seguito viene riportato in maniera estesa e dettagliata il metodo adottato per il calcolo delle emissioni di polveri per ciascuna fase di cui sopra:

1.2.1 FASE 1: Consumi di biomassa legnosa nel residenziale in Regione Toscana (t/anno)

Per calcolare la quantità di biomassa legnosa bruciata a fini energetici nel settore residenziale in Toscana nel corso dell'anno 2006, anno dell'indagine, sono state utilizzate le informazioni raccolte dall'indagine campionaria in merito alla quantità di biomassa legnosa bruciata nella macroregione “Area III Centro” riportate nella tabella 5.3.1 dello studio APAT-ARPA Lombardia congiuntamente ai dati relativi ai consumi di biomassa legnosa per zona altimetrica a livello italiano riportate nella tabella 5.3.3 dello stesso studio (vedi tabelle successive):

Tabella 5.3.1 – Consumi di legna per area geografica.

	ABITAZIONI	%	CONSUMI DI LEGNA	%	CONSUMO MEDIO PER ABITAZIONE
			(t)		Media (t)
TOTALE ITALIA	4.432.419	100	19.119.481	100	4,3
PIEMONTE / LIGURIA / VALLE D'AOSTA	480.115	10,8	2.268.662	11,9	4,7
LOMBARDIA	594.396	13,4	2.034.035	10,6	3,4
TRIVENETO	656.140	14,8	3.112.048	16,3	4,7
EMILIA ROMAGNA	271.260	6,1	932.336	4,9	3,4
TOSCANA / MARCHE / UMBRIA / SARDEGNA	752.458	17,0	3.461.665	18,1	4,6
LAZIO	404.453	9,1	1.707.416	8,9	4,2
ABRUZZO / MOLISE / CAMPANIA / PUGLIA	782.329	17,7	3.350.698	17,5	4,3
CALABRIA / BASILICATA / SICILIA	491.269	11,1	2.252.622	11,8	4,6

Tabella 5.3.3 – Consumi di legna per zona altimetrica

	Consumi di legna (t)	Consumo medio per abitazione (t)
Totale Italia	19.119.481	4,3
montagna	6.120.079	5,2
collina	7.552.451	4,3
pianura	5.446.951	3,7

Si è proceduto, quindi, a calcolare la quantità di biomassa legnosa consumata a fini energetici nel territorio regionale toscano in base alla percentuale di territorio occupata, per ciascuna regione della macroregione “Area III Centro”, dalle zone montagnose, collinari e dalla pianura secondo la seguente formula:

$$CLT = \Sigma [(CMm * \%mT) + (CMc * \%cT) + (CMP * \%pT)]$$

dove

CLT = consumi di legna in Regione Toscana (t/anno)

CMm = consumi di legna nella macroregione nella zona montana = CM * % consumi di legna nella zona montana (dove CM = consumi di legna nella Macroregione “Area III Centro”)

%mT = % zona montana nella Regione Toscana

CMc = consumi di legna nella macroregione nella zona collinare = CM * % consumi di legna nella zona collinare (dove CM = consumi di legna nella Macroregione “Area III Centro”)

%cT = % zona collinare nella Regione Toscana

CMp = consumi di legna nella macroregione nella zona pianeggiante = CM * % consumi di legna nella zona pianeggiante (dove CM = consumi di legna nella Macroregione "Area III Centro")

%pT = % zona pianeggiante nella Regione Toscana

Al valore così ottenuto è stata sottratta la quantità di legna utilizzata da impianti di combustione industriale; la fonte dei dati relativi ai piccoli impianti di combustione (potenza < 1 MW) è lo studio dell'A.R.S.I.A. (Agenzia Regionale per lo Sviluppo e l'Innovazione nel Settore Agricolo-Forestale) "Stima della potenzialità produttiva delle agrienergie in Toscana" (8), che riporta tali informazioni all'allegato 11 "Impianti a biomassa al 2007" mentre per gli impianti di taglia maggiore è stato preso a riferimento lo studio dell'E.N.A.M.A (Ente Nazionale per la Meccanizzazione Agricola) "Progetto biomasse" (9) che nella parte 1 "Biomasse ed energia", capitolo 3 "Censimento impianti, biocarburanti di seconda generazione e casi studio" presenta i risultati del censimento effettuato a livello nazionale circa lo stato dell'arte delle realizzazioni impiantistiche per la conversione energetica delle biomasse di origine agro-forestale (vedi in particolare la tab. 3.3 Impianti a biomasse: potenze installate ed energia prodotta al 2009).

Al fine di verificare la consistenza del dato così ottenuto si è ritenuto opportuno confrontare tale risultato con le informazioni sul consumo di legna da ardere riportate in studi specifici; in particolare, nello studio condotto dall'A.R.S.I.A. "Stima della potenzialità produttiva delle agrienergie in Toscana" viene effettuata la stima della quantità di prodotti legnosi utilizzati a fini energetici.

Il valore della quantità annua di legna da ardere ottenuto per la Regione Toscana con la presente metodologia corrisponde, come ordine di grandezza, al valore rilevato da A.R.S.I.A. per l'anno 2007, riportato all'allegato 6 al documento "Riepilogo dei risultati: settore forestale 2007": il totale dei prodotti legnosi utilizzati a fini energetici è, infatti, pari a 1.223.457 t/anno mentre 1.365.285 t/anno è il valore ottenuto nel presente lavoro.

1.2.2 FASE 2: Produzione di energia termica da combustione di biomassa legnosa in Regione Toscana (GJ/anno)

I consumi energetici derivanti dalla combustione della legna sono stati ottenuti ipotizzando che venga utilizzato solo un tipo di combustibile (biomassa legnosa) con caratteristiche ben definite per il quale è stato assunto, in base alle informazioni dedotte dalla pubblicazione "La filiera legno-energia - Risultati del progetto Interregionale Woodland Energy" dell'Agenzia Regionale per lo

Sviluppo e l'Innovazione nel Settore Agricolo - Forestale (A.R.S.I.A.) (10), un valore di P.C.I. medio (potere calorifico inferiore medio) pari a 12,5 GJ/t⁴:

$$GJ/anno da combustione legna in Toscana = CLT * PCI$$

Si riporta di seguito la tabella dei valori ottenuti per la quantità di biomassa legnosa utilizzata a fini energetici in Toscana nel settore residenziale:

REGIONE TOSCANA	
Consumi di legna (t/anno)	Produzione di energia (GJ/anno)
1.365.285	17.066.057

Tabella 1.2.2.1. Quantità di biomassa legnosa combusta in Regione Toscana e relativa produzione di energia termica

1.2.3 FASE 3: Produzione di energia termica da combustione di biomassa legnosa per zone climatiche in Regione Toscana (GJ/anno)

Le zone climatiche sono aree del territorio italiano che hanno teoricamente lo stesso clima; per tali aree è quindi possibile immaginare condizioni climatiche uguali o simili tra loro.

Nella legge 9 gennaio 1991 n.10 (Norme per l'attuazione del Piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia) si legge che, al fine del contenimento dei consumi di energia, dovranno essere definite le zone climatiche italiane in modo da poter stabilire la durata giornaliera di attivazione ed i periodi di accensione degli impianti termici.

La suddivisione del territorio italiano in zone climatiche omogenee è, perciò, una semplificazione adottata per individuare delle aree con caratteristiche climatiche simili tra loro, al fine di definire gli orari e i periodi di accensione degli impianti di riscaldamento.

Per definire le zone climatiche la normativa (Dpr 412/93) introduce un'unità di misura fittizia, il "grado-giorno": in pratica questo parametro permette di definire, zona per zona, quanti sono i "gradi necessari ogni giorno" per riscaldare una casa, il minor numero di gradi giorno designa le zone più calde e con minor necessità di riscaldamento e viceversa il maggior numero designa quelle più fredde e con maggior necessità di riscaldamento.

Le zone climatiche definite dalla normativa sono sei (A, B, C, D, E, F); i comuni in zona A sono quelli delle aree più calde, mentre i comuni in zona F sono quelli più freddi.

⁴ il valore del PCI adottato è quello utilizzato nell'indagine "Stima dei consumi di legna da ardere per riscaldamento ed uso domestico in Italia" svolta da ARPA Lombardia su incarico di APAT; in tale studio è stato individuato tale valore in

Sulla base di questi presupposti si è ritenuto, perciò, utile attribuire ai comuni toscani della zona Prato-Pistoia il consumo di biomassa legnosa valutato per l'intera regione sulla base dell'appartenenza di un comune all'una o all'altra zona climatica, presupponendo un minor consumo di legna da ardere nei comuni appartenenti alle prime zone climatiche mentre un consumo maggior e ai comuni delle zone climatiche successive.

A tale fine sono stati individuati i coefficienti termici (espressi in kwh/m²) associati a ciascuna zona climatica presente in Toscana (C, D, E, F) e la percentuale di superficie del territorio caratterizzata dall'appartenenza a ciascuna zona climatica. La produzione di energia termica da combustione di biomassa legnosa è stata così calcolata:

$$GJ/anno \text{ zone climatiche Toscana} = GJ/anno \text{ Toscana} * peso \text{ CT zona}$$

dove:

CT = coefficiente termico per ciascuna zona

$$PesoCTzona_i = \frac{(superficie \text{ del territorio per zona climatica} * CT \text{ zona})_i}{\sum_i (superficie \text{ del territorio per zona climatica}_i * CT \text{ zona}_i)}$$

Si riportano di seguito le tabelle con i valori dei coefficienti termici per tutti i tipi di zona climatica presente in Regione Toscana e la percentuale di superficie del territorio toscano attribuibile a ciascuna di esse:

ZONA CLIMATICA	Coefficiente termico (kwh/m ²)
C	58
D	91
E	140
F	190

Tabella 1.2.3.1. Valori dei coefficienti termici per ciascuna zona climatica presente in Toscana

ZONA CLIMATICA	AREA TOTALE COMUNI TOSCANA (km ²)	Peso coefficienti termici (%)
C	803.444.528	2%
D	10.656.076.246	37%
E	11.079.141.573	58%
F	450.043.347	3%

Tabella 1.2.3.2. Superficie del territorio toscano attribuibile a ciascuna zona climatica

funzione del fatto che i dati dei consumi sono riferiti a legna non stagionata, o poco stagionata. Si fa presente, comunque, che il valore del PCI dipende, in generale, dal tipo di legna prevalente.

Moltiplicando l'energia termica derivante dalla combustione della biomassa legnosa (vedi tab. 1.2.2.1) per i pesi dei coefficienti termici associati a ciascuna zona climatica si ottengono i valori di energia termica derivante dalla combustione della legna in ciascuna zona climatica. Di seguito si riporta la tabella con i risultati ottenuti espressi in GJ e in tonnellate di biomassa legnosa bruciata⁵:

ZONA CLIMATICA	GJ/anno per zona climatica	Quantità di biomassa legnosa bruciata (t)
C	302.192	24.175
D	6.234.628	498.770
E	9.979.106	798.328
F	550.130	44.010

Tabella 1.2.3.3. Produzione di energia da combustione biomassa per ciascuna zona climatica

1.2.4 FASE 4: Consumi di biomassa legnosa per i comuni della zona Prato - Pistoia (t/anno)

Si è proceduto, quindi, all'attribuzione dei consumi annuali di legna a ciascun comune appartenente alla zona Prato – Pistoia, tra cui anche il Comune di Montale. Il calcolo è stato effettuato a partire dalle percentuali di consumo della legna attribuite, nello studio APAT-ARPA Lombardia, alle zone montane, collinari e pianeggianti; conoscendo la superficie per ciascun tipo di zona all'interno dei nove comuni e la zona climatica di appartenenza (appartengono tutti alla zona climatica D), sono state attribuite a ciascun comune le relative quote di consumo di biomassa legnosa secondo la seguente formula:

$$CLC_i (t/anno) = (CLD * \%CLm * mC_i/mD) + (CLD * \%CLc * cC_i/cD) + (CLD * \%CLp * pC_i/pD)$$

dove:

CLC_i = consumi di biomassa legnosa nel comune i-esimo

CLD = consumi di biomassa legnosa nella zona climatica D

$\%CLm$, $\%CLc$, $\%CLp$ = percentuale di consumo di biomassa legnosa nelle zone montane, collinari, pianeggianti

mC_i , cC_i , pC_i = superficie montana, collinare e pianeggiante nel comune i-esimo

mD , cD , pD = superficie montana, collinare e pianeggiante nella zona climatica D

I dati relativi alla superficie montana, collinare e pianeggiante dei vari comuni sono stati ricavati da elaborazione su dati IFT 400 (Inventario Forestale della Regione Toscana, 400 m x 400 m).

Di seguito vengono riportate le tabelle con i dati utilizzati per il calcolo e la tabella con i consumi annui di biomassa legnosa stimati per ciascun comune della zona Prato-Pistoia:

⁵ La quantità di biomassa bruciata è stata ottenuta dividendo l'energia termica per il PCI della legna scelto nel presente lavoro (12,5 GJ/t)

	MONTAGNA (kmq)	COLLINA (kmq)	PIANURA (kmq)	Montagna comune/mon tagna toscana (%)	Collina comune/colli na toscana (%)	Pianura comune/pian ura toscana (%)
Agliana	0,0	0,0	8,3	0,00%	0,00%	0,25%
Prato	1,3	7,8	79,4	0,01%	0,02%	2,36%
Carmignano	0,3	5,8	27,4	0,00%	0,01%	0,81%
Quarrata	0,0	2,9	36,0	0,00%	0,01%	1,07%
Montale	6,9	10,1	8,2	0,04%	0,02%	0,24%
Serravalle Pistoiese	0,0	6,7	30,9	0,00%	0,01%	0,92%
Montemurlo	1,6	6,9	15,2	0,01%	0,02%	0,45%
Poggio a Caiano	1,3	7,8	79,4	0,01%	0,02%	2,36%
Pistoia	78,1	43,8	101,8	0,46%	0,10%	3,03%

Tabella 1.2.4.1. Superficie montana, collinare e pianeggiante per comune e percentuale sul totale regionale

	Consumi legna (t/anno)
Agliana	171
Prato	3.027
Carmignano	1.324
Quarrata	1.051
Montale	4.204
Serravalle Pistoiese	1.364
Montemurlo	1.744
Poggio a Caiano	3.027
Pistoia	11.865

Tabella 1.2.4.2. Consumi annui di biomassa legnosa stimati per ciascun comune della zona Prato-Pistoia

Per quanto riguarda, in particolare, il comune di Pistoia si è osservata una distribuzione non particolarmente uniforme della popolazione nelle varie fasce altimetriche (pianura, collina, montagna), in particolare la zona montana, particolarmente estesa rispetto agli altri comuni, è risultata ospitare solo il 5% della popolazione residente nel comune. Per il calcolo delle emissioni di PM10 relative al comune di Pistoia si è ritenuto, perciò, opportuno non tenere di conto dell'effettiva distribuzione del territorio nelle tre diverse fasce altimetriche ma piuttosto di una

distribuzione ricalibrata sull'effettiva presenza di popolazione nelle varie fasce. I nuovi dati di superficie sono stati ricavati, perciò, calcolando la percentuale di popolazione presente nelle tre fasce altimetriche e moltiplicando tale percentuale per il totale della superficie del comune. Di seguito si riportano i valori delle superfici per fascia altimetrica e delle tonnellate di legna presumibilmente utilizzate nel comune di Pistoia da esse ricavate:

	MONTAGNA (kmq)	COLLINA (kmq)	PIANURA (kmq)	Montagna comune/mon tagna toscana (%)	Collina comune/colli na toscana (%)	Pianura comune/pian ura toscana (%)
Pistoia	12,1	26,7	184,9	5%	12%	83%

	Consumi legna (t/anno)
Pistoia	11.865

Si fa presente, infine, che nello studio condotto da ARPA Lombardia e APAT, riferimento per il presente approfondimento, vengono fornite informazioni anche in relazione al consumo totale di legna in relazione a ciascuna delle 3 classi di altitudine (montagna, collina e pianura) e alla dimensione, in termini di numero di abitanti, dei comuni oggetto dello studio. Non è stato possibile, in tale contesto, utilizzare tale informazione in quanto, nel caso dei comuni di maggiori dimensioni, la distribuzione della popolazione nelle tre fasce di altitudine è risultata essere molto diversa e, quindi, l'utilizzo di tale informazione sembrava essere difficilmente adattabile al territorio preso in esame in tale documento.

1.2.5 FASE 5 Produzione di energia termica da combustione di biomassa legnosa per tipologia di tecnologia di combustione

Vista la complessità del settore di combustione domestica di biomassa legnosa legato alla tipologia di combustibile utilizzato e alle modalità di combustione si è ritenuto necessario valutare le emissioni di polveri da tale settore non solo in base al consumo totale di combustibile utilizzato (secondo l'approccio Tier 1 riportato nelle linee Corinair che permette, in forma semplificata, di utilizzare un fattore di emissione di default il quale viene moltiplicato per il relativo dato di attività) ma anche in base alle diverse modalità di combustione della biomassa, secondo l'approccio Tier 2 che si basa su una caratterizzazione più dettagliata della fonte emissiva e quindi può essere considerato un approccio più specifico in relazione alle caratteristiche del territorio in esame.

A tale proposito lo studio effettuato in collaborazione tra APAT e ARPA Lombardia fornisce informazioni sul consumo percentuale di biomassa legnosa per ciascun tipo di tecnologia valutato; in particolare tale studio indaga le seguenti tecnologie: caminetto aperto tradizionale, stufa tradizionale, caminetto chiuso, stufa innovativa, stufa automatica a pellets.

Di seguito viene riportata l'espressione con la quale viene calcolata l'energia prodotta dalla combustione di biomassa legnosa con le diverse tecnologie, secondo la distribuzione percentuale di combustione di biomassa individuata per ciascuna tecnologia dallo studio APAT-ARPA Lombardia:

$$\text{Produzione di energia per tipo di tecnologia} = \text{CLC}_i * \% \text{ legna per tecnologia} * \text{PCI medio legna}$$

dove:

CLC_i = consumo di biomassa legnosa per ciascun comune

PCI medio = Potere calorifico inferiore medio della legna da ardere assunto pari a 12,5 GJ/t

Di seguito vengono riportate le tabelle con i dati utilizzati per il calcolo e la tabella con i dati di produzione annua di energia da combustione di biomassa legnosa stimati per ciascun comune della zona Prato-Pistoia e per ciascuna tecnologia di combustione considerata:

Tecnologia di combustione	Consumo percentuale di legna in Italia normalizzato (%)
caminetto aperto tradizionale	43%
stufa tradizionale	27%
caminetto chiuso	22%
stufa innovativa o avanzata	4%
stufa automatica a pellets o cippato	3%

Tabella 1.2.5.1. Consumo percentuale di legna in Italia per tipologia di tecnologia di combustione

	caminetto aperto tradizionale (GJ/anno)	stufa tradizionale (GJ/anno)	caminetto chiuso (GJ/anno)	stufa innovativa (GJ/anno)	stufa automatica a pellets (GJ/anno)
Agliana	924	582	460	96	72
Prato	16.389	10.317	8.162	1.698	1.273
Carmignano	7.169	4.513	3.570	743	557
Quarrata	5.693	3.583	2.835	590	442
Montale	22.763	14.329	11.336	2.358	1.768

Serravalle Pistoiese	7.384	4.648	3.677	765	574
Montemurlo	9.440	5.942	4.701	978	733
Poggio a Caiano	16.389	10.317	8.162	1.698	1.273
Pistoia	64.240	40.438	31.992	6.654	4.991

Tabella 1.2.5.2. Produzione annua di energia per ciascun comune della zona Prato-Pistoia e per ciascuna tecnologia di combustione

1.2.6 FASE 6: Calcolo delle emissioni di PM10 e PM2.5 (t/anno)

Il calcolo delle emissioni di polveri (PM10 e PM2,5) da combustione domestica di biomassa legnosa è stato effettuato secondo i due diversi approcci proposti dalla linea guida europea Corinair Guidebook, TIER 1 e TIER 2.

Come già precedentemente accennato i due approcci si distinguono tra loro per livello di approfondimento con il quale vengono calcolate le emissioni; nel caso dell'approccio TIER 1 l'emissione viene calcolata con un metodo semplificato il quale prevede l'utilizzo di un fattore di emissione di default, che non tiene conto della tecnologia di combustione utilizzata né della forma specifica del combustibile utilizzato, il quale viene moltiplicato per il relativo dato di attività; nel caso dell'approccio TIER 2, invece, vengono utilizzati dati di consumo o produzione di energia per le diverse tecnologie di combustione utilizzate e fattori di emissione specifici di ciascuna tecnologia i quali tengono conto, perciò, delle diverse efficienze di combustione e/o della forma specifica della biomassa combusta (pellets, ciappato, ciocchi etc.), tale approccio può, quindi, rappresentare in maniera più circostanziata la situazione emissiva del territorio in esame.

Per il calcolo delle emissioni di polveri sono state utilizzate due diverse fonti di fattori di emissione, la linea guida Corinair Guidebook 2013 (11) e uno studio promosso dal MATTM nell'ambito dell'attività di Coordinamento Qualità dell'Aria cui hanno collaborato ENEA, ARPA Lombardia e il DIAR PoliMI (Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Ambientale, Infrastrutture viarie, e Rilevamento del Politecnico di Milano) con il quale è stata messa in campo per la prima volta una campagna estensiva sull'andamento delle emissioni determinate dalla combustione di biomassa legnosa in piccoli apparecchi domestici relativamente a «cicli reali» (3a) (4a).

Nella tabella successiva vengono schematicamente presentati gli indicatori di attività e i fattori di emissione utilizzati per il calcolo delle emissioni di PM10 e PM2,5 con i due tipi di approccio:

Tipo di approccio	Indicatori di attività	Fattori di emissione (g/GJ)			
TIER 1	> Produzione annua di energia da combustione domestica di biomassa legnosa - Regione Toscana > Produzione annua di energia da combustione domestica di biomassa legnosa - comuni della zona Prato-Pistoia	PM10 (FE individuato nella CG 2013)	PM10 (range)	PM2.5 (FE individuato nella CG 2013)	PM2.5 (range)
		Corinair guidebook 2013 (1-a-4-small-combustion, tab. 3-6)			
		760	380 - 1520	740	370 - 1480
		DIIAR, 2006; Livio 2006			
		-	-	-	-
TIER 2	PER LE DIVERSE TECNOLOGIE DI COMBUSTIONE CONSIDERATE: > Produzione annua di energia da combustione domestica di biomassa legnosa - Regione Toscana > Produzione annua di energia da combustione domestica di biomassa legnosa - comuni della zona Prato-Pistoia	CORINAIR GUIDEBOOK 2013 (1-a-4-small-combustion)			
		caminetto aperto tradizionale (tab. 3-14)			
		840	420 - 1680	820	410 - 1640
		stufa tradizionale (tab. 3-17)			
		760	380 - 1520	740	370 - 1480
		caminetto chiuso (tab. 3-24)			
		380	290 - 760	370	285 - 740
		stufa innovativa (tab. 3-25)			
		95	19 - 238	93	19 - 233
		stufa automatica a pellets (tab. 3-26)			
		29	10 - 48	29	9 - 47
		DIIAR, 2006; Livio 2006			
		caminetto aperto tradizionale			
		860	510-1200	810	480-1100
		stufa tradizionale			
		480	290-860	450	270-810
		caminetto chiuso			
		380	190-670	360	180-630
		stufa innovativa			
		380	190-670	360	180-630
		stufa automatica a pellets			
		76	67-140	71	63-130

Di seguito si riportano i valori di emissione per il PM10 e il PM2.5 ricavati rispettivamente applicando un approccio di tipo TIER 1 e uno di tipo TIER 2, a livello regionale e per i comuni della zona Prato-Pistoia:

APPROCCIO TIER 1

	Emissioni PM10_anno 2006 (t/anno)	Emissioni PM2.5_anno 2006 (t/anno)
Regione Toscana	12.970	12.629

	Emissioni PM10_anno 2006 (t/anno)	Emissioni PM2.5_anno 2006 (t/anno)
Agliana	1,6	1,6
Prato	29	28
Carmignano	13	12
Quarrata	10	10
Montale	40	39
Serravalle Pistoiese	13	13
Montemurlo	17	16
Poggio a Caiano	29	28
Pistoia	113	110

APPROCCIO TIER 2

	caminetto aperto tradizionale	stufa tradizionale	caminetto chiuso	stufa innovativa	stufa automatica a pellets
Regione Toscana					
GJ/anno	7.391.855	4.653.041	3.681.203	765.690	574.268
FE Corinair Guidebook 2013					
PM10 (t/anno)	6.209	3.536	1.399	73	17
PM2.5 (t/anno)	6.061	3.443	1.362	71	17
FE DIIAR 2006					
PM10 (t/anno)	6.357	2.233	1.399	291	44
PM2.5 (t/anno)	5.987	2.094	1.325	276	41

	caminetto aperto tradizionale	stufa tradizionale	caminetto chiuso	stufa innovativa	stufa automatica a pellets
Emissioni PM10 (t/anno) (FE Corinair Guidebook 2013)					
Agliana	0,78	0,44	0,17	0,01	0,00
Prato	13,77	7,84	3,10	0,16	0,04
Carmignano	6,02	3,43	1,36	0,07	0,02
Quarrata	4,78	2,72	1,08	0,06	0,01
Montale	19,12	10,89	4,31	0,22	0,05
Serravalle Pistoiese	6,20	3,53	1,40	0,07	0,02
Montemurlo	7,93	4,52	1,79	0,09	0,02
Poggio a Caiano	13,77	7,84	3,10	0,16	0,04
Pistoia	53,96	30,73	12,16	0,63	0,14
Emissioni PM10 (t/anno) (FE DIIAR 2006)					
Agliana	0,79	0,28	0,17	0,04	0,01
Prato	14,09	4,95	3,10	0,65	0,10
Carmignano	6,17	2,17	1,36	0,28	0,04
Quarrata	4,90	1,72	1,08	0,22	0,03
Montale	19,58	6,88	4,31	0,90	0,13
Serravalle Pistoiese	6,35	2,23	1,40	0,29	0,04
Montemurlo	8,12	2,85	1,79	0,37	0,06
Poggio a Caiano	14,09	4,95	3,10	0,65	0,10
Pistoia	55,25	19,41	12,16	2,53	0,38
Emissioni PM2,5 (t/anno) (FE Corinair Guidebook 2013)					
Agliana	0,76	0,43	0,17	0,01	0,00
Prato	13,44	7,63	3,02	0,16	0,04
Carmignano	5,88	3,34	1,32	0,07	0,02
Quarrata	4,67	2,65	1,05	0,05	0,01
Montale	18,67	10,60	4,19	0,22	0,05
Serravalle Pistoiese	6,05	3,44	1,36	0,07	0,02
Montemurlo	7,74	4,40	1,74	0,09	0,02
Poggio a Caiano	13,44	7,63	3,02	0,16	0,04
Pistoia	52,68	29,92	11,84	0,62	0,14
Emissioni PM2,5 (t/anno) (FE DIIAR 2006)					
Agliana	0,75	0,26	0,17	0,03	0,01
Prato	13,28	4,64	2,94	0,61	0,09
Carmignano	5,81	2,03	1,29	0,27	0,04

Quarrata	4,61	1,61	1,02	0,21	0,03
Montale	18,44	6,45	4,08	0,85	0,13
Serravalle Pistoiese	5,98	2,09	1,32	0,28	0,04
Montemurlo	7,65	2,67	1,69	0,35	0,05
Poggio a Caiano	13,28	4,64	2,94	0,61	0,09
Pistoia	52,03	18,20	11,52	2,40	0,35

2. Applicazione del metodo 2: I risultati

La metodologia presa a riferimento nel presente lavoro è quella utilizzata dalla Regione Piemonte nel proprio inventario e resa disponibile nell'ambito del gruppo di lavoro nazionale sugli inventari locali coordinato da ISPRA (12). Si ricorda che, vista la mancata disponibilità dei dati definitivi necessari stimati dal Censimento della popolazione del 2011 (tali dati non saranno disponibili prima del 31 maggio 2014), non è possibile provvedere, nel presente lavoro, all'aggiornamento dei dati al fine di confrontarne i risultati con quanto presente all'interno dell'inventario I.R.S.E. 2007. I risultati ottenuti con tale metodo verranno, perciò, confrontati con i dati contenuti nell'inventario regionale I.R.S.E. all'anno 2005.

Tale metodologia, con alcune semplificazioni illustrate in dettaglio nel seguito, ha permesso una stima approssimativa dei GJ prodotti attraverso l'utilizzo di dati disponibili su web.

Infine, per avere un riscontro sulle emissioni di PM10 per le quali la fonte riscaldamento con biomasse ha una rilevanza così importante, è stata effettuata un'analisi dei fattori di emissione per il PM10 disponibili in letteratura nonché di quelli utilizzati nell'inventario regionale.

2.1 Descrizione della metodica "Stima consumi di biomassa per riscaldamento civile in regione Piemonte"

Secondo la metodologia utilizzata dalla Regione Piemonte, la stima dei GJ prodotti viene effettuata a partire dai dati del Censimento ISTAT 2001; non sono ancora disponibili, infatti, tutti i dati del censimento del 2011. In particolare vengono utilizzati i seguenti dati:

1. Superficie abitativa riscaldata per comune con suddivisione in:
 - Dimora abituale
 - Dimora non abituale
 - Abitazione non occupata
2. Tipologia di combustibile utilizzato per il riscaldamento, secondo le seguenti classi:
 - Impianto a metano
 - Impianto a gasolio
 - Impianto a GPL
 - Impianto a legna
 - Impianto ad energia elettrica

- Impianto a carbone
- Impianto ad energia solare
- Impianto ad altro combustibile

Questo secondo tipo di informazione viene fornita per tutte le province ma non per tutti i comuni, in particolare per la Regione Toscana si trovano informazioni a livello comunale solo per i comuni di Livorno, Firenze e Prato.

Utilizzando questi dati è possibile risalire alla superficie riscaldata a legna per ciascun comune o provincia differenziata per abitazioni utilizzate come dimora abituale, come dimora non abituale e abitazioni non occupate.

Per le abitazioni occupate abitualmente sono assunti i seguenti fabbisogni termici annui basati sulla zona climatica di appartenenza del comune:

fabbisogno energetico medio degli edifici	140 kWh/mq anno – zona climatica E
	190 kWh/mq anno – zona climatica F
con consumi di legna corrispondenti di	62 kg di legna/mq anno – zona climatica E
	84 kg di legna/mq anno – zona climatica F

Per le abitazioni occupate non abitualmente o non occupate viene stimato un fattore di occupazione temporale di circa 60 giorni/anno a cui è associato un fabbisogno pari a circa il 25% del fabbisogno medio annuo sopra indicato.

Infine la Regione Piemonte ha tenuto conto della possibile presenza di impianti ad alimentazione mista; questo ultimo aspetto della metodologia non è stato preso in considerazione nell'applicazione alla Toscana per mancanza di dati.

Per poter applicare alla Toscana la metodologia descritta, seppure in maniera semplificata, non si è ritenuto in prima approssimazione necessario prendere in considerazione le abitazioni non occupate o occupate non abitualmente e ci si è limitati a considerare come indicatore le abitazioni occupate da persone residenti con impianto di riscaldamento.

I dati del censimento ISTAT che è stato possibile ottenere sono riportati nella tabella seguente⁶:

Indicatore	Classificazione	Livello di dettaglio geografico
Abitazioni occupate da persone residenti con impianto di riscaldamento	Tipo di combustibile	Toscana: - dettaglio provinciale - dettaglio comunale del Comune di Prato (utilizzato nel calcolo delle emissioni dei comuni della zona Prato-Pistoia)

⁶ I dati sono stati scaricati dal sito <http://dawinci.istat.it/daWinci/jsp/MD/dawinciMD.jsp>

Superficie (mq) delle abitazioni occupate da persone residenti		Toscana: - dettaglio provinciale - dettaglio comunale del Comune di Prato (utilizzato nel calcolo delle emissioni dei comuni della zona Prato-Pistoia)

Il livello di dettaglio territoriale degli indicatori si è necessariamente fermato alla provincia sia per ragioni di semplificazione che per motivi di immediata fruibilità dei dati.

Oltre ai dati forniti nel censimento ISTAT “Popolazione e abitazioni” la metodologia adottata dal Piemonte prevede l’utilizzo dei dati di fabbisogno energetico per zona climatica di appartenenza il quale viene definito a livello comunale e non a livello provinciale.

La scelta di utilizzare gli indicatori dell’ISTAT relativi al livello provinciale ha comportato, perciò, la necessità di una certa approssimazione nel calcolo del fabbisogno energetico, proprio perchè le zone climatiche sono associate ad ogni singolo comune. Per ogni provincia è stata, dunque, ipotizzata una zona climatica uniforme e corrispondente, per una prima stima, a quella del capoluogo.

Le zone climatiche risultano quindi distribuite come segue:

Provincia	Zona climatica
Massa-Carrara	D
Lucca	D
Pistoia	D
Firenze	D
Prato	D
Livorno	D
Pisa	D
Arezzo	E
Siena	D
Grosseto	D

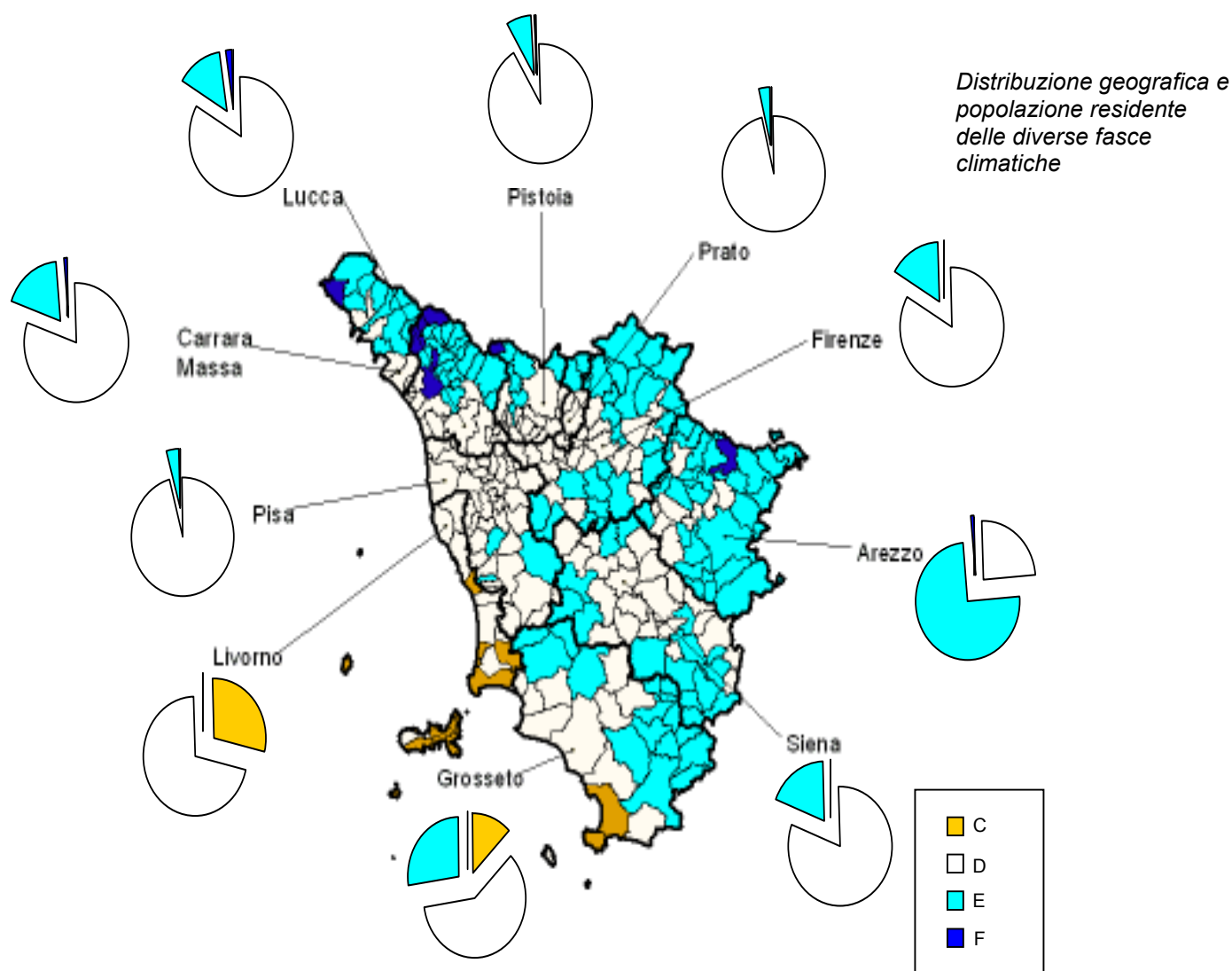
Tale scelta approssimativa è stata poi confermata attraverso un’analisi sia in termini di estensione territoriale che di popolazione esposta alle diverse zone climatiche comunali. La figura successiva mostra per ogni provincia l’estensione geografica delle diverse fasce climatiche. Sono evidenziati i capoluoghi di provincia e, vicino ad essi, un grafico a torta esprime la percentuale di popolazione residente nelle varie zone climatiche. I dati e le statistiche per superficie e popolazione sono riportati nelle seguenti tabelle:

Superficie per zona climatica								
PROV	kmq				%			
	C	D	E	F	C	D	E	F
MS	0	315	767	74	0	27	66	6
LU	0	753	778	243	0	42	44	14
PT	0	618	315	31	0	64	33	3
FI	0	1248	2265	0	0	36	64	0
LI	516	696	0	0	43	57	0	0
PI	0	2111	335	0	0	86	14	0
AR	0	507	2624	102	0	16	81	3
SI	0	2186	1636	0	0	57	43	0
GR	287	1969	2247	0	6	44	50	0
PO	0	207	159	0	0	57	43	0

Popolazione per zona climatica									
PROV	Migliaia di abitanti				%				Gradi giorno
	C	D	E	F	C	D	E	F	(media ponderata)
MS	0	160	38	2	0	80	19	1	1745
LU	0	311	56	8	0	83	15	2	1762
PT	0	242	22	1	0	91	8	0	1851
FI	0	806	162	0	0	83	17	0	1876
LI	98	239	0	0	29	71	0	0	1392
PI	0	367	16	0	0	96	4	0	1774
AR	0	75	236	2	0	24	75	1	2140
SI	0	203	48	0	0	81	19	0	2010
GR	28	129	60	0	13	60	28	0	1749
PO	0	210	8	0	0	96	4	0	1739

Utilizzando i dati della popolazione residente per fascia climatica, indicatore considerato più significativo ai fini della stima del fabbisogno energetico di una zona, è stata calcolata, a scopo indicativo, anche la media ponderata sui comuni dei gradi giorno⁷ necessari per ogni provincia.

⁷ I **Gradi Giorno** (GG), oppure HGT (dal tedesco HeizGradTage) in [Kd/a] (Kelvin * day / anno) sono un'unità di misura atta ad indicare il fabbisogno termico di una determinata area geografica relativa alle vigenti normative sul riscaldamento delle abitazioni. Indicano la somma, estesa a tutti i giorni di un periodo annuale convenzionale di riscaldamento, delle sole differenze positive giornaliere tra la temperatura convenzionale, fissata a 20 °C, e la temperatura media esterna giornaliera. Un valore di GG basso indica un breve periodo di riscaldamento e temperature medie giornaliere prossime alla temperatura fissata per l'ambiente riscaldato (appunto 20 °C). Al contrario, valori di GG elevati, indicano periodo di riscaldamento prolungati e temperature medie giornaliere nettamente inferiori ai 20 °C. [http://it.wikipedia.org/wiki/Gradi_giorno]



Facendo riferimento al DPR 413/93 che riporta la classificazione in zone climatiche dei comuni italiani in base alla quale sono e disposte le limitazioni sull'utilizzo del riscaldamento nelle abitazioni (tabella successiva) si assume per ragionevole la scelta di attribuire all'intera provincia la fascia climatica del capoluogo.

Suddivisione dei comuni in fasce climatiche				
Fascia climatica	Gradi giorno	Ore di accensione	Periodo	n. comuni ricadenti
A	<600	8	01/12 – 15/03	2
B	601-900	8	01/12 – 31/03	157
C	901-1400	10	15/11 – 31/03	989
D	1401-2100	12	01/11 – 15/04	1611
E	2101-3000	14	15/10 – 15/04	4271
F	>3000	Nessuna limitazione		1071

Le stime di fabbisogno energetico riportate nella metodologia della Regione Piemonte non comprendono la fascia D che risulta, invece, essere la prevalente in Toscana.

Tuttavia, i fabbisogni energetici delle diverse aree geografiche per unità di superficie abitativa possono essere dedotti in maniera approssimativa dai gradi giorno in virtù della proporzione esistente tra i dati disponibili.

Infatti il rapporto tra i gradi giorno (estremo inferiore) delle fasce E ed F ed il fabbisogno energetico medio per edificio utilizzato nella metodologia della Regione Piemonte ed espresso in kWh/mq anno risulta pari a circa 15,4 [kW/mq anno / gr-g].

Questo fattore è stato utilizzato per estrapolare un analogo coefficiente di fabbisogno energetico per la fascia climatica D di nostro interesse.

Fascia climatica	Gradi giorno (min)	KWh/mq anno
D	1400	91
E	2100	140
F	3000	190

2.2 Applicazione alla Regione Toscana e ai Comuni della zona Prato - Pistoia

Per l'applicazione alla Regione Toscana sono state utilizzate le seguenti tavole ISTAT:

Tavola 1: Abitazioni occupate da persone residenti con impianto di riscaldamento per tipo di combustibile o energia che alimenta l'impianto di riscaldamento - Toscana (dettaglio provinciale) - Censimento 2001.

PROVINCE	Tipi di combustibile o energia per riscaldamento				
	Combustibil e liquido o gassoso	Combustibil e solido	Energia elettrica	Olio combustibile	Altro tipo di combustibile o energia
Massa-Carrara	71.338	15.015	1.557	121	387
Lucca	126.757	31.747	3.696	574	1.908
Pistoia	93.615	15.764	2.309	365	934
Firenze	355.654	22.398	7.098	1.265	1.999
Prato	79.295	4.911	1.563	193	420
Livorno	117.630	9.136	6.542	338	1.300
Pisa	137.317	15.986	3.639	295	2.602
Arezzo	111.168	26.545	2.254	152	672
Siena	91.321	20.514	2.566	147	617
Grosseto	68.915	21.292	4.204	181	1.199
Toscana	1.253.010	183.308	35.428	3.631	12.038

Tavola 2: Superficie (mq) delle abitazioni occupate da persone residenti - Toscana (dettaglio provinciale) - Censimento 2001.

PROVINCE	Superficie (mq) delle abitazioni occupate da persone residenti
Massa-Carrara	7.226.268
Lucca	15.055.398
Pistoia	11.026.502
Firenze	35.641.847
Prato	8.696.158
Livorno	11.493.699
Pisa	14.926.512
Arezzo	12.528.712
Siena	9.924.227
Grosseto	7.802.492
Toscana	134.321.815

Utilizzando questi dati insieme al fabbisogno energetico medio per unità di superficie come sopra definito si ottengono i seguenti indicatori di attività per il riscaldamento domestico suddivisi per Provincia e combustibile utilizzato:

PROV.	MJ/anno per il riscaldamento					
	Combustibile liquido o gassoso	Combustibile solido	Energia elettrica	Olio combustibile	Altro tipo di combustibile o energia	TOTALE
Massa-C.	1.910.021.253	402.015.323	41.687.503	3.239.684	10.361.634	2.367.325.397
Lucca	3.796.312.486	950.807.707	110.693.460	17.191.030	57.143.702	4.932.148.385
Pistoia	2.992.944.185	503.987.311	73.820.522	11.669.333	29.860.705	3.612.282.055
Firenze	10.691.457.575	673.315.264	213.375.826	38.027.672	60.092.741	11.676.269.077
Prato	2.615.133.495	161.963.814	51.547.432	6.365.102	13.851.517	2.848.861.361
Livorno	3.282.175.457	254.917.580	182.538.399	9.431.058	36.273.298	3.765.335.792
Pisa	4.200.913.899	489.056.778	111.327.262	9.024.881	79.602.511	4.889.925.331
Arezzo	4.985.880.456	1.190.542.213	101.091.812	6.817.194	30.139.174	6.314.470.848
Siena	2.578.046.398	579.122.478	72.439.713	4.149.898	17.418.279	3.251.176.765
Grosseto	1.838.934.576	568.157.803	112.179.946	4.829.822	31.994.233	2.556.096.379
Toscana	38.891.819.779	5.773.886.270	1.070.701.875	110.745.674	366.737.793	46.213.891.391

Per l'applicazione della metodologia ai comuni della zona Prato – Pistoia sono stati utilizzati i dati del censimento ISTAT 2001 di MJ/anno per il riscaldamento relativi al comune di Prato, unici dati

disponibili a livello comunale per tale zona, mentre per gli altri comuni sono stati usati i dati ISTAT provinciali di MJ/anno per il riscaldamento e i dati ISTAT relativi alla superficie delle abitazioni occupate da persone residenti per comune per disaggregare i dati provinciali a livello comunale, supponendo una distribuzione dei tipi di combustibile utilizzati per il riscaldamento nelle abitazioni occupate da persone residenti uguale a quella della provincia di appartenenza.

Di seguito si riportano le tabelle con i dati utilizzati:

PROVINCE	Tipi di combustibile o energia per riscaldamento - Abitazioni occupate da persone residenti				
	Combustibil e liquido o gassoso	Combustibil e solido	Energia elettrica	Olio combustibile	Altro tipo di combustibile o energia
Pistoia	93.615	15.764	2.309	365	934
Prato	79.295	4.911	1.563	193	420
<i>Comune di Prato</i>	<i>61.260</i>	<i>2.020</i>	<i>1.121</i>	<i>141</i>	<i>285</i>

PROVINCE COMUNI	Superficie (mq) delle abitazioni occupate da persone residenti
Pistoia	11.026.502
<i>Comune di Pistoia</i>	<i>3.534.929</i>
<i>Comune di Agliana</i>	<i>540.057</i>
<i>Comune di Montale</i>	<i>398.540</i>
<i>Comune di Quarrata</i>	<i>920.190</i>
<i>Comune di Serravalle Pistoiese</i>	<i>424.868</i>
Prato	8.696.158
<i>Comune di Prato</i>	<i>6.528.357</i>
<i>Comune di Carmignano</i>	<i>474.198</i>
<i>Comune di Montemurlo</i>	<i>632.626</i>
<i>Comune di Poggio a Caiano</i>	<i>349.053</i>

PROV. COMUNI	GJ/anno per il riscaldamento					
	Combustibile liquido o gassoso	Combustibile solido	Energia elettrica	Olio combustibile	Altro tipo di combustibile o energia	TOTALE
Pistoia	2.992.944.185	503.987.311	73.820.522	11.669.333	29.860.705	3.612.282.055
<i>Pistoia</i>	<i>959.492.430</i>	<i>161.570.674</i>	<i>23.665.738</i>	<i>3.741.011</i>	<i>9.572.888</i>	<i>1.158.042.740</i>
<i>Agliana</i>	<i>146.588.688</i>	<i>24.684.336</i>	<i>3.615.588</i>	<i>571.542</i>	<i>1.462.520</i>	<i>176.922.673</i>
<i>Montale</i>	<i>108.176.462</i>	<i>18.216.031</i>	<i>2.668.156</i>	<i>421.774</i>	<i>1.079.280</i>	<i>130.561.704</i>

<i>Quarrata</i>	249.768.903	42.059.040	6.160.513	973.836	2.491.953	301.454.244
<i>Serravalle Pistoiese</i>	115.322.721	19.419.403	2.844.418	449.637	1.150.579	139.186.757
Prato	2.615.133.495	161.963.814	51.547.432	6.365.102	13.851.517	2.848.861.361
Prato	2.021.011.836	66.641.265	36.982.603	4.651.692	9.402.357	2.138.689.753
<i>Carmignano</i>	142.602.178	8.831.822	2.810.861	347.086	755.318	155.347.265
<i>Montemurlo</i>	190.245.099	11.782.504	3.749.960	463.047	1.007.667	207.248.278
<i>Poggio a Caiano</i>	104.968.216	6.501.027	2.069.050	255.487	555.983	114.349.763

3. Il confronto tra i risultati dei metodi adottate e i dati dell'inventario I.R.S.E. 2007

Di seguito vengono riportati i risultati dei confronti tra le metodologie adottate nel presente lavoro e quella dell'inventario regionale delle sorgenti di emissione (I.R.S.E. 2007) e tra i risultati ottenuti con l'applicazione dei differenti metodi in termini di emissioni di PM10 e PM2,5.

3.1 METODO 1

Al fine di potere valutare nel modo più ponderato possibile i dati di emissione ottenuti con il primo metodo con quelli riportati all'interno del database I.R.S.E. 2007, è necessario confrontare i dati in base ai quali vengono calcolati i valori di emissione, non solo in termini quantitativi ma anche in termini qualitativi; occorre, cioè, non solo valutare l'entità delle differenze tra i dati di emissione ma anche tra le fonti dei dati (indicatori di attività e fattori di emissione) tramite i quali questi vengono calcolati, occorre, perciò, effettuare un confronto tra le metodologie di calcolo applicate.

La metodologia ideale per la realizzazione di un inventario delle emissioni prevederebbe, infatti, la quantificazione diretta (tramite misurazioni) di tutte le emissioni delle diverse tipologie di sorgenti per l'area e il periodo di interesse; tale approccio è, però, utilizzabile solo per alcune particolari tipologie di inquinanti e di sorgenti, tipicamente grandi impianti industriali le cui emissioni sono generalmente molto rilevanti e per questo controllate. Nella maggior parte dei casi è, quindi, necessario ricorrere ad un approccio che effettui la stima delle emissioni sulla base di un indicatore (indicatore di attività) che caratterizza l'attività della sorgente e di un fattore di emissione, specifico del tipo di sorgente, del tipo di processo industriale e dell'eventuale tecnologia di abbattimento adottata. Questo metodo si basa su una relazione lineare fra l'indicatore di attività e il valore di emissione: $E_i = IA * FE_i$

dove:

E_i = emissione dell'inquinante i (espresso, ad es., in g/anno)

IA = indicatore dell'attività (espresso, ad es., in t/anno)

FE_i = fattore di emissione dell'inquinante i (espresso, ad es., in g/t).

La metodologia adottata nel metodo 1 viene descritta nei capitoli precedenti, anche a riguardo delle fonti dei dati utilizzati.

La metodologia adottata per il calcolo delle emissioni da combustione delle biomasse in ambito non industriale nell'Inventario Regionale delle Sorgenti di Emissione del 2007, invece, utilizza fonti dati molto differenti per il calcolo della quantità di biomassa legnosa combusta (indicatore di attività). Si fa presente che, nel caso della biomassa, la metodologia di calcolo adottata per l'inventario regionale stima il dato di consumo di legna impiegato nel settore domestico a partire dai dati regionali sulle utilizzazioni legnose pubblicati dall'ISTAT, in particolare il dato di utilizzazione della legna come combustibile (espresso in m³); tale dato viene, poi, disaggregato a livello provinciale, per il settore domestico e per tutti gli anni ad eccezione del 1995, 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 per 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.

Mentre, quindi, nella metodologia adottata per l'inventario della Regione Toscana i consumi di legna vengono stimati a partire da un dato annuo regionale di utilizzo della legna come combustibile, nel metodo 1 si stimano i consumi di legna per combustione in ambito domestico in base ai consumi di biomassa legnosa ricavati da un'indagine campionaria effettuata nel corso dell'anno 2006.

Di seguito viene riportata una tabella con i valori dei consumi di legna utilizzati nell'I.R.S.E. 2007 per il calcolo delle emissioni da combustione di biomassa legnosa in ambito non industriale (indicatore di attività) e con i valori degli indicatori di attività ricavati con l'applicazione del metodo 1:

REGIONE TOSCANA Consumi di biomassa legnosa			
Metodo 1 (anno 2006)		IRSE 2007 (anno 2007)	
t/anno	GJ/anno	t/anno*	GJ/anno
1.365.285	17.066.057	374.546	4.681.824

* stimato ipotizzando un PCI medio della biomassa legnosa di 12,5 GJ/t

COMUNI ZONA PO-PT Consumi di biomassa legnosa				
	Metodo 1 (anno 2006)		IRSE 2007 (anno 2007)	
	t/anno	GJ/anno	t/anno*	GJ/anno
Agliana	171	2.133	613	8.882
Prato	3.027	37.839	3.621	52.511
Carmignano	1.324	16.551	959	13.910
Quarrata	1.051	13.143	2.294	33.262
Montale	4.204	52.554	940	13.625
Serravalle Pistoiese	1.364	17.047	1.070	15.514
Montemurlo	1.744	21.795	791	11.466
Poggio a Caiano	3.027	37.839	336	4.869
Pistoia	11.865	148.315	7.005	101.578
TOTALE PIANA	27.777	347.216	17.629	255.617

* stimato ipotizzando un PCI medio della biomassa legnosa di 12,5 GJ/t

Come si può osservare dalle tabelle sopra riportate, nell'inventario regionale i valori di consumo di biomassa legnosa a livello regionale sono molto inferiori rispetto a quelli stimati sulla base dei dati ricavati dall'indagine effettuata da ISPRA - Arpa Lombardia nel 2006; se si osserva, invece, la tabella relativa al consumo di biomassa legnosa associata ai comuni della zona Prato – Pistoia si nota che per alcuni comuni (Prato, Carmignano, Serravalle Pistoiese) il dato IRSE è paragonabile al dato calcolato in base al metodo 1 mentre per gli altri (Carmignano, Montale, Serravalle P., Montemurlo, Poggio a C., Pistoia) il dato presente nell'inventario è molto superiore (Agliana e Quarrata) o molto inferiore (Montale, Montemurlo, Poggio a Caiano, Pistoia) a quello stimato con il metodo 1.

La differenza riscontrata nella definizione delle tonnellate di legna utilizzate per la combustione in ambito domestico tramite il metodo 1 e l'IRSE 2007 (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 1) 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 - up⁸; mentre nel caso della metodologia 1, 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

⁸ 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.

vengono poi disaggregati a livello provinciale in base ai dati dell'indagine ISTAT 2001 sulla popolazione.

In generale, nella stesura di un inventario delle emissioni, è preferibile potere effettuare una quantificazione il più diretta possibile dei dati in base ai quali verranno calcolate le emissioni (approccio di tipo bottom-up). Entrambe le metodologie presentano, in ogni caso, difetti intrinseci.

Nel caso del metodo 1, infatti, i dati originari utilizzati non sono direttamente associati alla Regione Toscana ma ad un'aggregazione di quattro differenti regioni; la metodologia adottata parte, quindi, da dati di tipo bottom-up ma la disponibilità di soli dati aggregati porta necessariamente ad aggiungere all'incertezza del metodo di calcolo della quantità di legna combusta (indagine telefonica) l'incertezza dovuta alla disaggregazione del dato di macroregione a dato regionale.

Nel caso, invece, della metodologia adottata nell'inventario regionale l'incertezza intrinseca del metodo è associata oltre che al tipo di approccio (top-down) e, quindi, alle successive disaggregazioni necessarie ad ottenere un dato a livello locale, anche al tipo di fonti cui attinge. In particolare, l'indagine ISTAT sulle utilizzazioni legnose presenta, per sua natura, caratteristiche non perfettamente idonee al tipo di informazione necessaria al calcolo delle emissioni da combustione domestica di biomassa legnosa; l'indagine ISTAT si basa, infatti, sulle informazioni fornite dalle varie regioni in merito alle superfici tagliate e ai prelievi legnosi "in foresta" relativamente ai territori di loro competenza, ai dati forniti dall'indagine ISTAT andrebbero, perciò, sommati i prelievi relativi al "fuori foresta", cioè alle utilizzazioni di legname effettuate in "formazioni composte da alberi" che non rientrano nella classificazione di "foresta" dell'ISTAT (si tratta di piante sparse, filari e boschetti presenti prevalentemente in ambiti agricoli di collina e pianura), inoltre non vengono considerate le superfici forestali generate da processi di rinaturalizzazione su aree golenali ed agricole in abbandono. Essendo il dato riferito ai territori di competenza di ciascuna Regione vengono a mancare anche le informazioni inerenti la biomassa legnosa eventualmente proveniente da luoghi esterni al territorio regionale.

In base alle informazioni fornite da ISTAT i dati di prelievi legnosi forniti dalle regioni si riferiscono ai soli prelievi sottoposti a procedure di autorizzazione, non considerando, invece, la legna raccolta senza autorizzazione. Infine, nella classificazione "Legna per uso energetico" viene conteggiata la legna generalmente utilizzata come combustibile vegetale; alla legna destinata ad essere impiegata come legna da ardere viene aggiunta, quindi, la legna destinata a essere utilizzata come carbone e carbonella.

Dal confronto tra i fattori di emissione di PM10 e PM2,5 utilizzati nella metodologia 1 e nell'I.R.S.E. 2007 (vedi tabella successiva) 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.

		Domestico caminetti	Domestico stufe tradizionali
		IRSE 2007	
PM10	g/GJ	860	810
PM2,5	g/GJ	850	810
		CORINAIR GUIDEBOOK 2013	
PM10	g/GJ	840	760
PM2,5	g/GJ	820	740
		DIIAR, 2006; Livio 2006	
PM10	g/GJ	860	480
PM2,5	g/GJ	810	450

Le differenze riscontrabili, perciò, tra i valori di emissione di PM10 e PM2,5 presenti nell'inventario regionale e quelli calcolati con la metodologia 1 ivi adottata (vedi tabella successiva) sembrerebbero essere in buona 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)
	IRSE 2007 (anno 2007)	
Totale	3.131	3.107
	Metodologia 1 (anno 2006)	
Totale	12.970	12.629
	IRSE 2007 (anno 2007)	
Caminetti aperti	2.081	2.057
Stufe tradizionali	980	980
	Metodologia 1 (anno 2006) ¹	
Caminetti aperti	6.209	6.061
Stufe tradizionali	3.536	3.443

1. Fattori di emissione Corinair Guidebook 2013

	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)	
Agliaiana	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
Montale	40	6,07	39	2,86
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>	<i>20%</i>	<i>10%</i>	<i>35%</i>	<i>10%</i>
<i>COMUNE MONTALE Incidenza combustione legna su emissioni totali</i>	<i>79%</i>	<i>47%</i>	<i>75%</i>	<i>25%</i>

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.

Dal confronto con i dati della disaggregazione al 2010 dell'inventario nazionale delle emissioni emerge, infine, che la percentuale di incidenza sul totale delle emissioni regionali di PM10 rilevabile con i dati riportati nel database dell'inventario regionale al 2007 è ridotta rispetto all'incidenza che il settore combustione domestica di legna ha sulla base dei dati riportati nella disaggregazione provinciale dell'inventario nazionale delle emissioni del 2010.

Come si può osservare dalla tabella successiva la percentuale di incidenza sul totale regionale (IRSE 2007) delle emissioni di PM10 da tale settore derivante dall'applicazione del metodo 1 è molto simile a quella stimata nella disaggregazione dell'inventario nazionale.

Emissioni PM10 (t/a)	Disaggregazione inventario nazionale		IRSE 2007	Metodo 1
	Anno 2005	Anno 2010	Anno 2007	Anno 2006
Totali regionali	12.330	13.410	13.548	23.387
Totali combustione legna	4.593	7.869	3.131	12.970
<i>INCIDENZA (%)</i>	<i>37%</i>	<i>59%</i>	<i>23%</i>	<i>55%</i>

3.2 METODO 2

Come già accennato per il confronto effettuato tra la metodologia 1 e l'inventario regionale, al fine di potere valutare nel modo più ponderato possibile i dati di emissione ottenuti con il secondo metodo con quelli riportati all'interno del database I.R.S.E. 2007 all'anno 2005, è necessario confrontare i dati in base ai quali vengono calcolati i valori di emissione, non solo in termini quantitativi ma anche in termini qualitativi; occorre, cioè, non solo valutare l'entità delle differenze tra i dati di emissione ma anche tra le fonti dei dati (indicatori di attività e fattori di emissione) tramite i quali questi vengono calcolati, occorre, perciò, effettuare un confronto tra le metodologie di calcolo applicate.

In merito a ciò, si fa presente che, nel caso della biomassa, la metodologia di calcolo adottata per l'inventario regionale utilizza gli stessi dati presi a riferimento anche nella metodologia adottata dalla Regione Piemonte, anche se differisce da essa per alcune differenti scelte di utilizzo di tali dati; Il dato di consumo di legna impiegato nel settore domestico è stato, infatti, stimato utilizzando i dati regionali sulle utilizzazioni legnose pubblicati dall'ISTAT, in particolare il dato di utilizzazione della legna come combustibile (espresso in m³); tale dato viene, poi, disaggregato a livello provinciale, per il settore domestico e per tutti gli anni ad eccezione del 1995, 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 per 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.

Come già visto nel paragrafo dedicato al confronto tra la metodologia 1 e l'inventario regionale, anche per la seconda metodologia non si riscontrano differenze significative tra i fattori di emissione utilizzati (nella metodologia 2 vengono adottati i fattori di emissione della Corinair Guidebook).

Per poter confrontare i dati di consumo energetico con gli indicatori di attività presenti in IRSE 2007 è stato, innanzitutto, necessario uniformare la classificazione dei combustibili.

Infatti in IRSE i combustibili utilizzati per il riscaldamento domestico sono classificati in:

- Combustibili vegetali
- G.P.L.
- Gas naturale
- Gasolio
- Olio combustibile

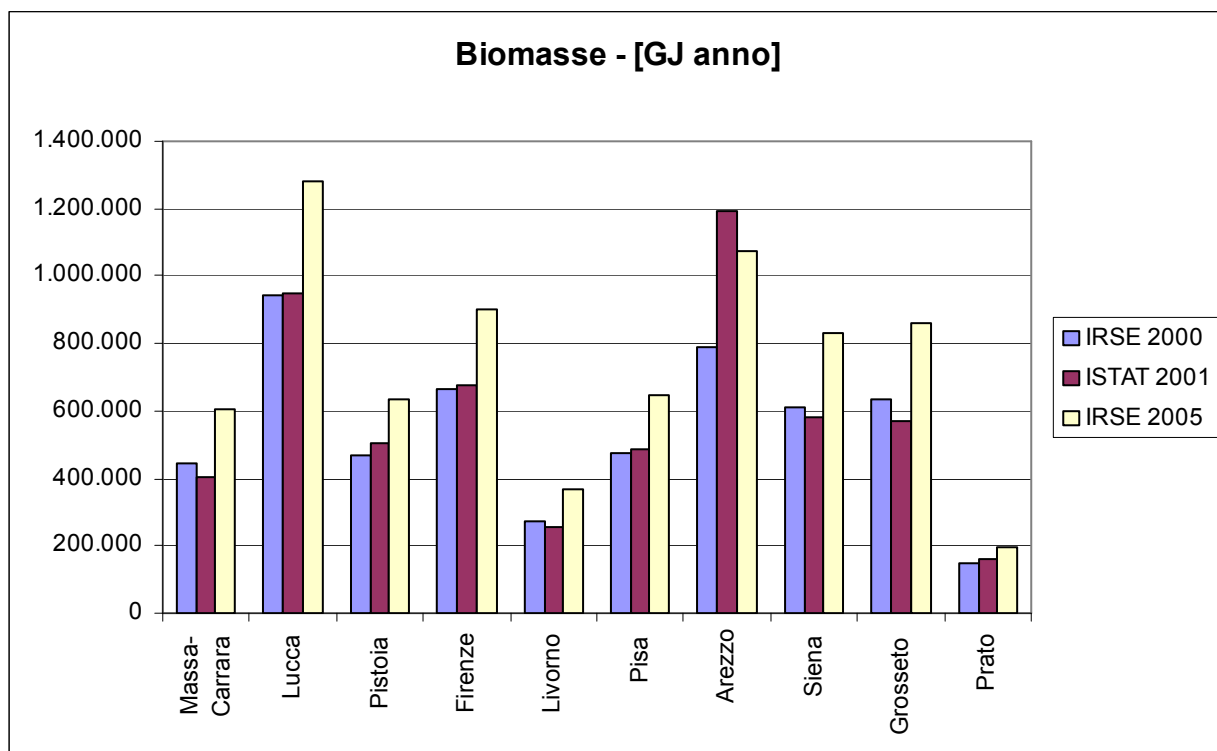
Sono state, quindi, utilizzate le seguenti aggregazioni di categorie sulla base del presupposto che il combustibile solido sia interamente assimilabile alla legna.

In assenza di informazioni più dettagliate si considera inoltre che la categoria “Combustibile liquido o gassoso” presente in ISTAT comprenda metano e GPL, mentre il gasolio è considerato compreso nella categoria “Altro”. Si tratta di una scelta discrezionale che fa parte delle approssimazioni del presente calcolo e di cui occorre tenere conto, in termini di fonte di incertezza, nella valutazione dei risultati finali.

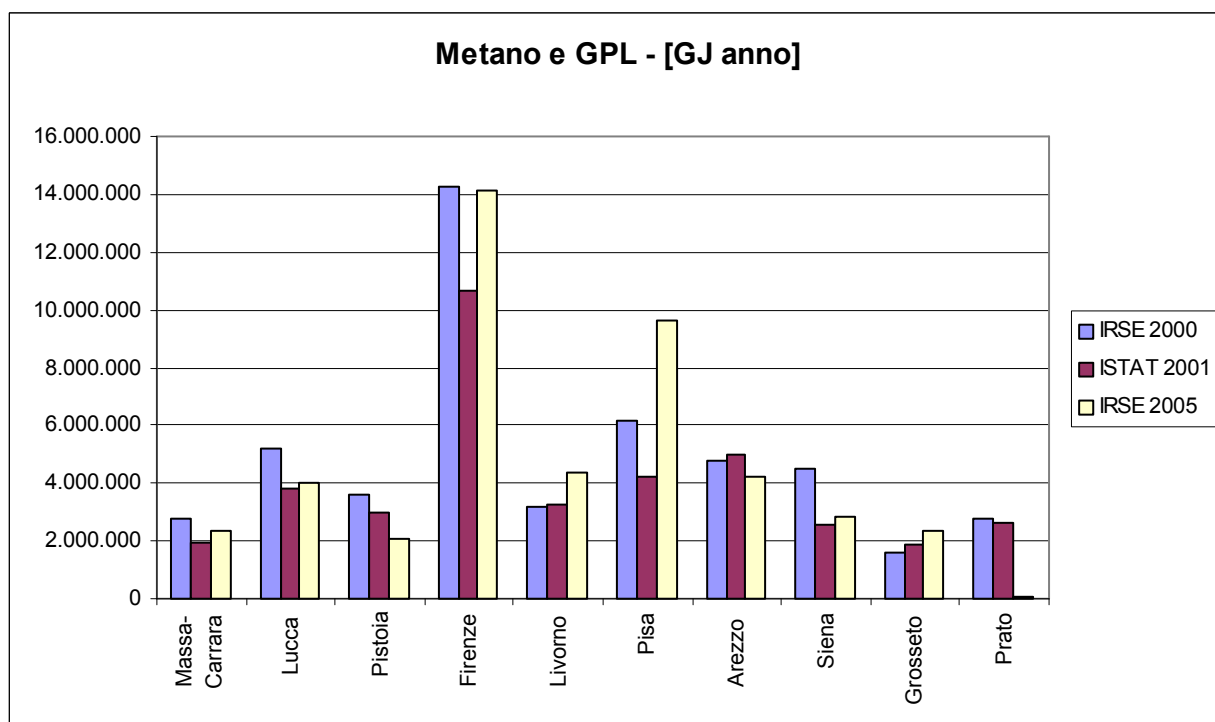
IRSE	Aggregazione	ISTAT
Combustibili vegetali	Biomasse	Combustibile solido
G. P. L.	Metano-GPL	Combustibile liquido o gassoso
Gas naturale		
Gasolio	Altro	Energia elettrica
Olio combustibile		Altro
		Olio combustibile

Mentre l'aggregazione “Altro” non è particolarmente interessante ai fini della presente analisi, la categoria Metano-GPL è utile come controprova della corretta applicazione della metodologia semplificata qui proposta. Infatti il dato IRSE, basato sui consumi, può essere considerato piuttosto affidabile e, quindi, una buona corrispondenza con il dato stimato conferirebbe maggiore credito anche alla stima effettuata per le biomasse.

I dati calcolati utilizzando la metodologia semplificata sulla base della fonte ISTAT (censimento 2001) sono stati confrontati con i dati dell'IRSE 2007 relativi all'anno 2000 che costituiscono il riferimento temporale più vicino. Negli istogrammi che seguono, per le biomasse e per il metano-GPL, è riportato anche il dato IRSE 2007 all'anno 2005 che rende conto del trend di questa attività.



Confronto tra consumi per riscaldamento da biomasse utilizzati in IRSE 2007 (2000, 2005) e stimati con dati ISTAT (2001)



Confronto tra consumi per riscaldamento da metano-GPL utilizzati in IRSE 2007 (2000, 2005) e stimati con dati ISTAT (2001)

Il confronto con i dati IRSE 2007 per metano-GPL evidenzia un discreta rappresentazione da parte della metodologia utilizzata dei consumi per riscaldamento domestico (figura precedente). In questo caso, come detto, si considera il dato IRSE 2007 riferito all'anno 2000 come dato reale.

In alcune province il dato stimato ha una rispondenza molto buona con scostamenti percentuali inferiori addirittura al 5%.

Mediamente lo scarto percentuale è del 20% con punte superiori rappresentate da Lucca, Massa Carrara, Pisa, Firenze e Siena.⁹

Nella maggior parte dei casi il dato calcolato sottostima il dato IRSE. Si può ipotizzare che l'approssimazione di considerare esclusivamente la superficie delle abitazioni occupate da residenti, incida in maniera determinante su questo risultato almeno per quanto riguarda l'alimentazione a GPL-Metano. Ciò sembra confermato dal fatto che i maggiori scarti in difetto si hanno per le città universitarie (Pisa, Firenze e Siena) dove sicuramente esiste una quota di appartamenti, di non facile censimento, occupati nella stagione invernale dagli studenti.

Sulle differenze riscontrate incide, inoltre, la differente metodologia adottata nella determinazione degli indicatori di attività; nel caso dell'inventario, infatti, l'indicatore di attività è inteso come combustibile distribuito/venduto localmente in quanto i dati vengono ricavati, per quanto riguarda GPL, gasolio e olio combustibile, dai dati di vendita regionali del Bollettino mentre per quanto riguarda il gas naturale sono stati utilizzati i dati forniti da SNAM Rete Gas dalle aziende distributrici che operano sul territorio toscano, nel caso della metodologia adottata dal Piemonte, invece, l'indicatore di attività è inteso come combustibile consumato localmente per il solo riscaldamento dell'abitazione stimato anche sulla base della zona climatica di appartenenza.

Va infine sottolineato che il dato IRSE 2007 per l'anno 2005, riportato esclusivamente per avere un riferimento sull'andamento negli anni dei consumi, evidenzia una forte anomalia nel dato della provincia di Prato che risulta avere per quell'anno consumi assolutamente inadeguati a livello di ordine di grandezza.

Il confronto, per l'aggregazione dei combustibili GPL-metano, può comunque considerarsi soddisfacente affinché si possa ritenere che la metodologia proposta fornisca buoni dati indicativi e spunti interessanti nel confronto con IRSE.

Per quanto riguarda le biomasse, invece, si osservano risultati che per il confronto tra IRSE 2007 all'anno 2000 e ISTAT 2001 potrebbero addirittura essere definiti sorprendenti (figura precedente).

Gli scarti percentuali dei dati calcolati dal dato IRSE sono in media del 10%, valore entro il quale sono praticamente tutti contenuti, con l'unica eccezione degna di nota data dalla provincia di Arezzo (vedi tabella successiva).

⁹ Ripetendo il calcolo con una diversa aggregazione di combustibili (considerando cioè il gasolio compreso nella categoria "combustibili liquidi o gassosi") il confronto fornisce risultati peggiori ma sempre contenuti all'interno delle possibili incertezze di un inventario. Le migliori differenze percentuali tra IRSE e il dato calcolato si attesterebbero, per un'ipotetica aggregazione di combustibili GPL-metano-gasolio entro il 15% e lo scostamento % medio intorno al 30%. Il quadro delineato non cambierebbe in maniera sostanziale in quanto il contributo preponderante resta in ogni caso quello del metano

PROVINCIA	Biomasse scarto % IRSE (2000) - ISTAT (2001)
Massa-Carrara	9,51
Lucca	-0,83
Pistoia	-7,69
Firenze	-1,39
Livorno	5,77
Pisa	-3,03
Arezzo	-50,67
Siena	5,12
Grosseto	10,37
Prato	-11,20

Si ricorda che, nel caso della biomassa, la metodologia di calcolo adottata per l'inventario regionale utilizza gli stessi dati presi a riferimento anche nella metodologia adottata dalla Regione Piemonte; Il dato di consumo di legna impiegato nel settore domestico è stato, infatti, stimato utilizzando i dati regionali sulle utilizzazioni legnose pubblicati dall'ISTAT (Dati annuali sulle superfici e le utilizzazioni forestali - Utilizzazioni legnose totali per assortimento e regione), tale dato viene, poi, disaggregato a livello provinciale, per il settore domestico e per tutti gli anni ad eccezione del 1995, 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 per 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.

Mentre, quindi, nella metodologia adottata per l'inventario della Regione Toscana i consumi di legna vengono stimati a partire da un dato annuo di utilizzo della legna come combustibile, nella metodologia adottata dal Piemonte si stimano i consumi di legna in base ai volumi che ipoteticamente vengono scaldati con biomassa legnosa, e, quindi, al fabbisogno energetico degli edifici il quale viene stimato anche in base alla zona climatica di appartenenza.

Visti i dati di base utilizzati da entrambe le metodologie, non troppo dissimili tra di loro e visti gli ottimi risultati ottenuti nel confronto tra i dati di emissione di PM10 ricavati applicando le due metodologie (fatta eccezione per la Provincia di Arezzo), sembrerebbe ragionevole ritenere che la differenza più rilevante tra le due metodologie risiede nel fatto che nell'inventario regionale della Toscana, per il calcolo dei consumi di biomassa legnosa, non si tiene di conto delle diverse zone climatiche cui appartengono i vari comuni toscani.

Arezzo si distingue dalle altre province toscane, infatti, per essere l'unica provincia con un clima mediamente più freddo (la maggior parte dei comuni della Provincia di Arezzo appartengono ad una zona climatica fredda, E e alcuni comuni appartengono alla zona più fredda, la F) mentre le altre province appartengono mediamente alla stessa zona climatica (D); in quest'ottica sembra verosimile che sia questo il motivo per cui il dato calcolato sulla base dei dati ISTAT risulta essere maggiore di quello presente nell'I.R.S.E.

PROVINCIA	Biomasse (GJ)		
	IRSE (2000)	ISTAT (2001)	IRSE (2005)
Massa-Carrara	444.275	402.015	603.628
Lucca	942.938	950.808	1.281.152
Pistoia	468.014	503.987	635.882
Firenze	664.089	673.315	902.286
Livorno	270.538	254.918	367.575
Pisa	474.686	489.057	644.947
Arezzo	790.140	1.190.542	1.073.548
Siena	610.387	579.122	829.321
Grosseto	633.917	568.158	861.291
Prato	145.649	161.964	197.891

PROVINCIA	Biomasse % sul totale GJ		
	IRSE (2000)	ISTAT (2001)	IRSE (2005)
Massa-Carrara	8,16	7	8,16
Lucca	17,32	16	17,32
Pistoia	8,60	9	8,60
Firenze	12,20	12	12,20
Livorno	4,97	4	4,97
Pisa	8,72	8	8,72
Arezzo	14,51	21	14,51
Siena	11,21	10	11,21
Grosseto	11,64	10	11,64
Prato	2,68	3	2,68

Come è possibile osservare dalle tabelle precedenti, la distribuzione provinciale dei GJ in IRSE 2007 agli anni 2000 e 2005 risulta molto simile alla distribuzione derivante dall'applicazione della metodologia basata sui dati ISTAT con la sola eccezione di Arezzo. Salvo approfondimenti ulteriori, è possibile ipotizzare di perfezionare la variabile utilizzata per la disaggregazione tenendo conto del fatto che la provincia di Arezzo è mediamente più fredda (inserendo ad esempio un fattore dipendente dalla climatologia).

COMUNI ZONA PRATO - PISTOIA	Biomasse (GJ)		
	IRSE2007 (2000)	ISTAT (2001)	IRSE2007 (2005)
Pistoia	118.038	161.571	149.641
Agliana	10.306	24.684	13.065
Montale	15.875	18.216	20.126
Quarrata	38.721	42.059	49.088
Serravalle P.	18.080	19.419	22.920
Prato	59.809	66.641	75.821
Carmignano	16.203	8.832	20.541
Montemurlo	13.284	11.783	16.841
Poggio a Caiano	5.629	6.501	7.137

COMUNI ZONA PRATO - PISTOIA	Biomasse % sul totale GJ		
	IRSE2007 (2000)	ISTAT (2001)	IRSE2007 (2005)
Pistoia	39,89	44,92	39,89
Agliana	3,48	6,86	3,48
Montale	5,36	5,06	5,36
Quarrata	13,08	11,69	13,08
Serravalle P.	6,11	5,40	6,11
Prato	20,21	18,53	20,21
Carmignano	5,48	2,46	5,48
Montemurlo	4,49	3,28	4,49
Poggio a Caiano	1,90	1,81	1,90

Come già osservato nel caso delle Province, anche nel caso dei comuni della zona Prato – Pistoia, una possibile ipotesi è che il dato sull'utilizzazione di legna sia disponibile a livello regionale e venga disaggregato sulle province attraverso una opportuna variabile proxy. L'applicazione di una variabile proxy sembrerebbe confermata dalla distribuzione percentuale dei GJ per provincia rispetto al totale regionale che rimane esattamente costante tra il 2000 ed il 2005.

Nel caso dei comuni appartenenti alla zona Prato – Pistoia, per quanto riguarda le biomasse, si osservano risultati per il confronto tra IRSE 2000 e ISTAT 2001 variabili a seconda del comune; in generale, infatti, gli scarti percentuali dei dati calcolati dal dato IRSE sono circa del 10%, fanno eccezione, però, i comuni di Pistoia, Agliana e Carmignano (vedi tabella successiva).

COMUNI ZONA PRATO - PISTOIA	Biomasse scarto % IRSE (2000) - ISTAT (2001)
Pistoia	27
Agliana	58
Montale	13
Quarrata	8
Serravalle Pistoiese	7
Prato	10
Carmignano	-83
Montemurlo	-13
Poggio a Caiano	13

Allegato 7

La combustione incontrollata dei residui agricoli

INDICE

Introduzione	1
1. L'attività di combustione dei residui agricoli negli inventari delle emissioni	3
1.1 La stima delle emissioni di polveri da attività di combustione dei residui agricoli nell'I.R.S.E. 2007	4
1.1.1 Attività 100301 – Combustione delle stoppie	4
1.1.2 Attività 090700 – Incenerimento di rifiuti agricoli	11
2. Il confronto tra i risultati del metodo adottato nel presente lavoro e i dati dell'inventario I.R.S.E. 2007: la combustione delle stoppie (SNAP 100301)	20

Introduzione

I residui dell'attività agricola - fra i quali rientrano i residui delle potature, le sterpaglie ma anche i vari imballaggi utilizzati - sono spesso eliminati accatastandoli e bruciandoli direttamente sui campi. Questo processo di combustione incontrollata di rifiuti, il più delle volte non autorizzato, è fonte di un inquinamento atmosferico non trascurabile. Un'altra pratica spesso utilizzata è quella dell'eliminazione delle stoppie dai campi attraverso la loro combustione su campo al fine di liberare rapidamente e a spese ridotte il terreno dai residui della raccolta e, per alcune colture, di favorire l'eliminazione dei parassiti.

La quantità e tipologia di emissioni derivanti da tali tipi di combustione variano in base ad una serie di fattori quali il tipo di rifiuti bruciati e il contenuto di umidità del rifiuto, le condizioni di temperatura, il vento e la densità/compattezza del cumulo di rifiuti; tali fattori influiscono, infatti, fortemente sulle condizioni di combustione e quindi sulla tipologia e quantità delle sostanze emesse.

In ogni caso, indipendentemente dalle caratteristiche del materiale bruciato, la combustione avviene comunque sempre in modo non completo sia perché la temperatura del fuoco acceso all'aperto non è sufficientemente alta sia perché il materiale resta nel fuoco per un tempo insufficiente. Questo tipo di combustione produce quindi polveri (tra cui anche il black carbon - particolato molto fine di circa 1 μm di diametro, potenzialmente cancerogeno e con effetto riscaldante sul clima) e altre sostanze che derivano dalla combustione non completa quali monossido di carbonio, idrocarburi, metalli pesanti e sostanze organiche tossiche quali gli idrocarburi policiclici aromatici, diossine e furani. Insieme a tali sostanze, la combustione non controllata dei residui agricoli può produrre anche l'emissione di altri inquinanti quali ammoniaca, ossidi di azoto, composti organici volatili non metanici e biossido di zolfo. Per dare un'idea indicativa dell'incidenza in termini di emissioni di polveri di tale tipo di attività basta pensare che, pur essendo emissioni rilevanti soprattutto su scala locale e per periodi di breve durata, il livello di emissione delle polveri PM10 (espresso in kg/anno) derivante dalla combustione di una tonnellata di rifiuti agricoli è in media circa 1.700 volte superiore a quello in generale stimabile per un'attività di combustione controllata di RSU effettuata presso un moderno impianto di incenerimento fornito di opportuni impianti di abbattimento e di modalità e tecniche di combustione controllate e con valori di efficienza elevati e in media circa 17 volte superiore a quello in generale stimabile per un impianto di incenerimento rifiuti dotato di impianti di abbattimento per le polveri (vedi tabelle successive):

Fattori di emissione PM10 – codice SNAP 09020100 – Attività di incenerimento RSU						
Inquinante	Valore	U.M.	Intervallo di confidenza (95 %)		Riferimenti	Fonte
			Minore	Maggiore		
PM10	0,003	kg/Mg	0,0011	0,0083	CEPMEIP	*
PM10	13,07	kg/Mg	4,57	41,1	Guidebook (2006)	**
PM10	0,3	kg/Mg	0,7	0,1	Guidebook (2006)	***

*EMEP/EEA Emission Inventory Guidebook 2013. Capitolo 5.C.1.a "Incenerimento dei rifiuti urbani", Tabella 3-1. Il fattore di emissione si riferisce ai moderni impianti di incenerimento dei rifiuti forniti di opportuni impianti di abbattimento delle polveri e di modalità e tecniche di combustione controllate e con valori di efficienza elevati

** EMEP/EEA Emission Inventory Guidebook 2013. Capitolo 5.C.1.a "Incenerimento dei rifiuti urbani", Tabella 3-2. Il fattore di emissione si riferisce agli impianti di incenerimento dei RSU non forniti di alcun tipo di impianto di controllo/abbattimento degli inquinanti.

*** EMEP/EEA Emission Inventory Guidebook 2013. Capitolo 5.C.1.a "Incenerimento dei rifiuti urbani", Tabella 3-2 e Tabella 3-3. Il fattore di emissione è ricavato dal fattore associato agli impianti di incenerimento con assenza totale di impianti di abbattimento ridotto del 95% in quanto si considera la presenza di impianti di abbattimento delle polveri PM10 con la minima efficienza proposta nella EMEP/EEA Emission Inventory Guidebook 2013

Inquinante	Valore	U.M.	Intervallo di confidenza (95 %)		Riferimenti	Fonte
			Minore	Maggiore		
Fattore di emissione PM10 – codice SNAP 100301 – Attività di combustione stoppie						
PM10	5,7	kg/Mg	4,4	7,1	Jenkins et al. (1996a)	*
Fattore di emissione PM10 – codice SNAP 090700 – Attività di combustione rifiuti agricoli						
PM10	4,51	kg/Mg	1,50	13,53	Jenkins et al. (1996a)	**

* EMEP/EEA Emission Inventory Guidebook 2013. Capitolo 3.F, tabella 3-1. Il fattore di emissione scelto è quello con valore inferiore rispetto a tutti quelli proposti nella Corinair

** EMEP/EEA Emission Inventory Guidebook 2013. Capitolo 5.C.2, tabella 3-1.

	Incenerimento RSU (con impianti di abbattimento e modalità e tecniche di combustione controllate)	Incenerimento RSU (con impianti abbattimento polveri 95% efficienza)
Combustione stoppie (100301)	1/2000	1/19
Combustione rifiuti agricoli (090700)	1/1500	1/15

Considerando, invece, un impianto di incenerimento RSU con assenza totale di impianti di abbattimento, in base ai valori dei fattori di emissione sopra riportati, il livello di emissione delle polveri PM10 (espresso in kg/anno) derivante dalla combustione di una tonnellata di rifiuti agricoli è in media circa il 40% di quello in generale stimabile per un'attività di combustione di RSU non controllata.

Si fa presente, inoltre, che la stima della quantità di residui derivanti dal comparto agricolo è piuttosto complessa e, di conseguenza, la stima della quantità e tipologia delle sostanze inquinanti correlate

alla bruciatura all'aperto di tali residui non sempre risulta essere corrispondente alla realtà emissiva di tale settore.

La base informativa, costituita dalle dichiarazioni effettuate ai sensi della legge 25 gennaio 1994 n. 70 attraverso il modello unico di dichiarazione ambientale (MUD), non è, infatti, adeguata per la stima dei rifiuti speciali prodotti dal settore agricolo, in quanto, ai sensi della normativa vigente, sono previste numerose esenzioni dall'obbligo di dichiarazione per gli operatori agricoli.

Sono, ad esempio, esonerati dall'obbligo della dichiarazione MUD, a norma dell'art. 11 del D.Lgs 22/97 e successive modifiche e integrazioni, gli imprenditori agricoli che producono esclusivamente rifiuti speciali non pericolosi e gli imprenditori agricoli, di cui all'art. 2135 del Codice civile, con volume d'affari annuo non superiore ai 7.000 €..

L'obbligo di dichiarazione sussiste, pertanto, esclusivamente per i rifiuti pericolosi prodotti da aziende agricole con volume d'affari annuo superiore ai 7.000 €. La base dei dati MUD non è, pertanto, in grado di fornire un quadro esaustivo a causa dell'assenza dell'obbligo di dichiarazione per la maggior parte delle tipologie dei rifiuti agricoli, tra cui i residui legnosi, e per una quota non irrilevante degli imprenditori in quanto non interessata al problema.

Vista, quindi, 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 Pistoia¹⁰), 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 dalla combustione incontrollata dei residui agricoli.

1. L'attività di combustione dei residui agricoli negli inventari delle emissioni

All'interno di un inventario delle emissioni in atmosfera l'attività di combustione dei rifiuti agricoli viene distinta in due diverse tipologie di incenerimento: la combustione all'aperto di rifiuti generati dal settore agricolo (identificata con il codice di attività 090700, secondo la nomenclatura SNAP¹¹) e la bruciatura su campo dei residui agricoli (identificata con il codice di attività 100300).

In particolare l'attività trattata dal codice SNAP 090700 riguarda la riduzione del volume da combustione all'aria aperta di rifiuti agricoli; in tale attività non viene inclusa la combustione delle stoppie che viene identificata dal codice SNAP 100300.

¹⁰ Fonte: ISTAT – V Censimento generale dell'agricoltura (tavola 4.11)

¹¹ Per la realizzazione di un inventario è importante utilizzare una nomenclatura che permetta di individuare tutte le attività rilevanti per la valutazione delle emissioni atmosferiche. La classificazione generalmente utilizzata per la redazione di un inventario delle emissioni è quella definita nell'ambito del progetto CORINAIR nella sua ultima versione denominata SNAP 97 (Selected Nomenclature for sources of Air Pollution - anno 1997). Il codice che identifica le attività è formato da tre cifre, rappresentanti rispettivamente il macrosettore, il settore e l'attività a cui si riferisce la stima delle emissioni.

I rifiuti agricoli che vengono attribuiti all'attività di combustione 090700 sono i residui colturali (ad esempio colture di cereali, piselli, fagioli, soia, barbabietola da zucchero, olio di semi di colza, ecc), potature, foglie, plastica e altri rifiuti generali.

Con il codice 100300 viene, invece, identificata la pratica di eliminazione delle stoppie dai campi attraverso la loro combustione sul campo; questa attività non include la combustione dei prodotti vegetali che vengono bruciati dopo essere stati utilizzati in azienda, ad esempio la paglia utilizzata per proteggere i prodotti agricoli durante la conservazione in azienda.

1.1 La stima delle emissioni di polveri da attività di combustione dei residui agricoli nell'I.R.S.E. 2007

Nell'inventario regionale delle sorgenti di emissione I.R.S.E. 2007 vengono valutate le sole emissioni dall'attività di "Combustione delle stoppie" derivanti dalle colture cerealicole (SNAP 100301); non vengono, invece, stimate le emissioni da incenerimento di rifiuti agricoli (SNAP 090700).

Nel presente lavoro verranno stimate, con modalità alternative a quelle utilizzate per l'inventario regionale, le emissioni di PM10 e PM2,5 presumibilmente derivanti da entrambe le attività di combustione dei residui agricoli; vista la complessità di tale settore e l'oggettiva difficoltà di ottenere dati inerenti la quantità di residui bruciata in maniera incontrollata effettivamente rispondente alla realtà, non verrà determinato un unico valore di emissione per ciascun codice di attività ma sarà individuato un range di valori di emissione plausibili.

Al fine di potere valutare nel modo più ponderato possibile i dati di emissione ottenuti con il metodo adottato nel presente rapporto con quelli riportati all'interno del database I.R.S.E. 2007, è necessario confrontare i dati in base ai quali vengono calcolati i valori di emissione, non solo in termini quantitativi ma anche in termini qualitativi; occorre, cioè, non solo valutare l'entità delle differenze tra i dati di emissione ma anche tra le fonti dei dati (indicatori di attività e fattori di emissione) tramite i quali questi vengono calcolati, occorre, perciò, effettuare un confronto tra le metodologie di calcolo applicate.

1.1.1 Attività 100301 – Combustione delle stoppie

I residui derivanti dall'attività del settore agricolo di coltivazione delle colture erbacee vengono utilizzati in diversi modi, i principali sono la copertura delle superfici investite a seminativi per proteggere nella stagione invernale il terreno dai diversi processi di degrado, l'utilizzo nel settore zootecnico e l'utilizzo in ambito energetico.

La metodologia adottata per il calcolo delle emissioni da combustione delle stoppie nell'Inventario Regionale delle Sorgenti di Emissione del 2007 individua quale indicatore di attività il dato relativo agli ettari di superficie cerealicola bruciata. Tale dato viene stimato a partire dalla superficie coltivata a cereali a livello provinciale, i cui dati sono stati forniti dal Settore Statistico Regionale, cui è stato

applicato un fattore costante pari al 3% avendo ipotizzato che tale sia la quota media annua di superficie bruciata. La disaggregazione a livello comunale è stata effettuata utilizzando i dati relativi alla superficie agricola utilizzata (SAU) forniti dal V Censimento generale dell'Agricoltura dell'ISTAT relativo all'anno 2000. Il fattore di emissione utilizzato è espresso in grammi di polveri per ettaro di superficie bruciata.

La metodologia sviluppata nel presente lavoro individua, come indicatore di attività la quantità – espressa in tonnellate/anno – di residui derivanti dalla lavorazione delle colture erbacee e, nello specifico delle colture cerealicole, alla quale viene sottratta la quantità stimata come potenzialmente utilizzabile a scopo energetico e, quindi, non utilizzata a fini diversi da quelli della combustione controllata, la quantità di residui utilizzata per le pratiche di copertura mediante residui colturali delle superfici investite a seminativi per proteggere nella stagione invernale il terreno dai diversi processi di degrado e la quota di residui utilizzati dal settore zootecnico.

La metodologia adottata per la stima delle emissioni di PM10 e PM2,5 da combustione delle stoppie e le fonti dei dati utilizzate vengono descritte schematicamente nella tabella successiva:

FASE	DESCRIZIONE FASE DI CALCOLO	DATI UTILIZZATI	FONTI DATI
1	Individuazione della quantità di residui non utilizzabili a scopo energetico (residui totali – residui a scopo energetico)	1. Quantità di residui derivanti dalla lavorazione delle colture erbacee e delle colture cerealicole 2. Quantità di residui potenzialmente utilizzati a scopi energetici	1a. “Stima della potenzialità produttiva delle agrienergie in Toscana”, A.R.S.I.A. (Agenzia Regionale per lo Sviluppo e l'Innovazione nel settore Agricolo-forestale) 1b. “Progetto biomasse”, E.N.A.M.A. (Ente nazionale per la meccanizzazione agricola) 2a. “Stima della potenzialità produttiva delle agrienergie in Toscana”, A.R.S.I.A. (Agenzia Regionale per lo Sviluppo e l'Innovazione nel settore Agricolo-forestale) 2b. “Progetto biomasse”, E.N.A.M.A. (Ente nazionale per la meccanizzazione agricola)
2	Stima dei residui utilizzati per la copertura invernale dei terreni	Ettari di superficie investita a seminativi su cui vengono realizzate pratiche di copertura mediante residui colturali per proteggere il terreno dai diversi processi di degrado nella stagione invernale	VI censimento agricoltura (ISTAT)

3	Stima dei residui utilizzati dal settore zootecnico	Percentuale della quantità di residui utilizzati nel settore zootecnico	1. Facoltà di Medicina Veterinaria, Università degli Studi di Napoli Federico II - Scienze e Tecnologie delle Produzioni animali http://www.federica.unina.it/medicina-veterinaria/valutazione-nutrizionale-degli-alimenti-e-dei-sottoprodotti/valutazione-sottoprodotti/ 2. "Rilievo indici di relazione tra produzioni agricole e biomassa residuale associata, analisi del mercato della biomassa residuale nelle province delle regioni: Molise, Campania, Puglia, Basilicata, Calabria, Sicilia, Sardegna" (ENEA, Min. sviluppo economico)

FASE 1: Individuazione della quantità di residui non utilizzabili a scopo energetico (residui totali – residui a scopo energetico)

La quantità di residui derivanti dalle attività agricole di coltivazione delle colture erbacee per ciascuna provincia della Regione Toscana è stata ricavata dallo studio dell'A.R.S.I.A. (Agenzia Regionale per lo Sviluppo e l'Innovazione nel settore Agricolo-forestale) "Stima della potenzialità produttiva delle agrienergie in Toscana" (8) che stima la potenzialità del settore agroforestale in termini energetici al fine di valorizzare le biomasse già disponibili sul territorio (residui delle produzioni agricole, delle attività forestali, della zootecnia, dell'agroindustria e della prima trasformazione del legno) e confrontata con le informazioni relative alla quantità di residui prodotti in tale settore riportate nello studio dell'E.N.A.M.A. (Ente Nazionale per la meccanizzazione agricola) "Progetto biomasse" (9), in particolare nella parte 1 "Biomasse ed energia", capitolo 2. I dati ricavati dalle due pubblicazioni sembrano confermarsi reciprocamente mostrando discrepanze relativamente ridotte vista la differente metodologia di raccolta e elaborazione dei dati adottata; per ciascuna provincia, infatti, si discostano, in media, di un 15% fatta eccezione per la provincia di Lucca per la quale la differenza tra i dati è circa il 35% mentre a livello regionale di solo il 10% (vedi tabella seguente):

Provincia	ARSIA [t/anno s.s.] (anno 2007)	ENAMA [t/anno s.s.] (stima annuale sugli anni 2006-2009)	Rapporto percentuale (%)
Arezzo	25.692	30.901	81%
Firenze	54.137	46.581	86%
Grosseto	87.774	82.096	93%
Livorno	35.583	26.944	75%
Lucca	18.027	11.214	61%
Massa-Carrara	5.137	4.699	91%
Pisa	79.984	62.865	78%
Pistoia	12.095	9.790	80%
Prato	3.353	2.368	70%
Siena	118.367	117.620	99%
TOSCANA	440.149	395.078	89%

La quantità di residui derivanti dalla coltivazione delle colture cerealicole, sottoinsieme delle colture erbacee, è stata, invece, stimata sulla base delle informazioni riportate nello studio dell'A.R.S.I.A. "Stima delle agrienergie in Toscana" da cui risulta che circa il 51% dei seminativi (colture erbacee) coltivati nel 2007 era occupato da colture cerealicole; i cereali occupavano, sempre nel 2007, tra il 40% e il 55% dei seminativi di tutte le province, a eccezione di Massa Carrara, dove i circa 6.800 ha di seminativi coltivati erano occupati da cereali solo per il 22% mentre in provincia di Pisa i cereali coprivano una superficie pari al 63% dei 47.700 ha di seminativi coltivati. In base a tali informazioni, per ciascuna provincia, il quantitativo di residui da colture cerealicole è stato stimato come il 50% del totale dei residui derivanti dall'attività di coltivazione delle colture erbacee:

Provincia	ARSIA [t/anno s.s.]	ENAMA [t/anno s.s.]
Arezzo	12.846	15.451
Firenze	27.069	23.291
Grosseto	43.887	41.048
Livorno	17.792	13.472
Lucca	9.014	5.607
Massa-Carrara	1.130	1.034
Pisa	50.390	39.605
Pistoia	6.048	4.895
Prato	1.677	1.184
Siena	59.184	58.810
TOSCANA	220.075	197.539

La stima dei residui da colture cerealicole è necessaria al fine di potere effettuare i confronti tra i valori di emissione ottenuti dall'applicazione della presente metodologia con quelli dell'I.R.S.E. 2007 in quanto, come già precedentemente accennato, nell'inventario regionale le emissioni relative all'attività 100301 – Combustione delle stoppie vengono stimate a partire dal dato di ettari di terreno coltivati a cereali.

Il passaggio dalla stima della disponibilità potenziale di residui agricoli destinabili ad un uso energetico alla valutazione del quantitativo ragionevolmente accessibile per tale scopo si basa sulle valutazioni fatte nei documenti prodotti da A.R.S.I.A. e E.NA.M.A. circa le difficoltà economiche, logistiche organizzative da affrontare.

In alcuni casi tali difficoltà possono essere superate attraverso soluzioni da valutare di volta in volta in relazione al contesto in cui si opera, in altri casi le problematiche si presentano talmente complesse da lasciare margini d'azione estremamente limitati e poco incoraggianti per attivare un sistema di valorizzazione energetica della biomassa residuale.

Dal documento dell'E.NA.M.A. emerge che sulla base di indagini svolte in Italia, la disponibilità effettiva di paglia di frumento destinabile ad usi alternativi a quelli tipici delle aziende agricole, sia del 40% (gli altri residui delle colture erbacee non si discostano di molto da tale valore).

In base a quanto rilevato da A.R.S.I.A., invece, per i residui di tipo erbaceo è stato supposto, come limite massimo, lo sfruttamento del 20% del potenziale dei residui stimato, ipotizzando di sottrarre residui dallo stesso appezzamento con ritmo non superiore ai 5 anni, al fine di evitare un eccessivo impoverimento in sostanza organica dei suoli agrari.

Al fine del calcolo delle emissioni di polveri da attività di combustione in loco dei residui vengono fatte due ipotesi: un'ipotesi di minima effettuata sulla base di quanto riportato nello studio dell'E.NA.M.A. in quanto si ipotizza un valore massimo di consumo dei residui associato al settore energetico e un'ipotesi di massima basata sulle informazioni riportate nello studio dell'A.R.S.I.A.

I risultati ottenuti dalla differenza tra la quantità di residui derivanti dal settore delle coltivazioni erbacee e la quantità di residui potenzialmente utilizzabili dal settore energetico sono riportati nella tabella seguente:

Provincia	IPOTESI DI MINIMA			
	Colture erbacee		Colture cerealicole	
	ARSIA [t/anno s.s.]	ENAMA [t/anno s.s.]	ARSIA [t/anno s.s.]	ENAMA [t/anno s.s.]
Arezzo	15.415	18.541	7.708	9.270
Firenze	32.482	27.949	16.241	13.974
Grosseto	52.664	49.258	26.332	24.629
Livorno	21.350	16.166	10.675	8.083
Lucca	10.816	6.728	5.408	3.364
Massa-Carrara	3.082	2.819	678	620
Pisa	47.990	37.719	30.234	23.763

Pistoia	7.257	5.874	3.629	2.937
Prato	2.012	1.421	1.006	710
Siena	71.020	70.572	35.510	35.286
TOSCANA	264.089	237.047	132.045	118.523

Provincia	IPOTESI DI MASSIMA			
	Colture erbacee		Colture cerealicole	
	ARSIA [t/anno s.s.]	ENAMA [t/anno s.s.]	ARSIA [t/anno s.s.]	ENAMA [t/anno s.s.]
Arezzo	20.554	24.721	10.277	12.360
Firenze	43.310	37.265	21.655	18.632
Grosseto	70.219	65.677	35.110	32.838
Livorno	28.466	21.555	14.233	10.778
Lucca	14.422	8.971	7.211	4.486
Massa-Carrara	4.110	3.759	2.055	1.880
Pisa	63.987	50.292	31.994	25.146
Pistoia	9.676	7.832	4.838	3.916
Prato	2.682	1.894	1.341	947
Siena	94.694	94.096	47.347	47.048
TOSCANA	352.119	316.062	176.060	158.031

FASE 2 Stima dei residui utilizzati per la copertura invernale dei terreni

La stima dei residui utilizzati per la copertura invernale dei terreni viene effettuata a partire dal totale delle superfici investite a seminativi su cui vengono realizzate pratiche di copertura mediante residui colturali per proteggere il terreno da diversi processi di degrado nella stagione invernale fornito dal VI censimento dell'Agricoltura dell'ISTAT relativamente all'anno 2010 (espresso in ha) per ciascuna provincia e per ciascun comune della piana.

Secondo le diverse fonti consultate, per effettuare una buona pacciamatura lo spessore di paglia prevedibile può variare tra 3 e 10 cm; la densità della paglia è pari a circa 60 kg/m³.

In base a tali informazioni è stato possibile stimare una quantità minima di paglia utilizzata per la copertura invernale dei terreni, ipotizzando uno spessore minimo della copertura pari a 3 cm.

Di seguito si riportano le quantità di residui stimate per la copertura invernale dei terreni per ciascuna provincia:

	Superfici totali con copertura (ha/anno)	Superfici totali con copertura (mq/anno)	Superfici cerealicole con copertura (mq/anno)	Residui per copertura (t/anno)
Arezzo	4.226	42.258.500	21.129.250	2.282
Firenze	1.260	12.599.000	6.299.500	680
Grosseto	7.034	70.339.700	35.169.850	3.798
Livorno	817	8.166.700	4.083.350	441
Lucca	800	7.995.700	3.997.850	432
Massa-Carrara	28	278.800	139.400	15
Pisa	5.295	52.954.400	26.477.200	2.860
Pistoia	1.070	10.697.300	5.348.650	578
Prato	134	1.336.700	668.350	72
Siena	4.016	40.161.400	20.080.700	2.169
TOSCANA	24.679	246.788.200	123.394.100	13.327

FASE 3 Stima dei residui utilizzati dal settore zootecnico

La stima dei residui utilizzati in ambito zootecnico è stata effettuata in base alla percentuale di paglia consumata dal settore zootecnico; in base alle informazioni pubblicate nella sezione del sito dell'Università Federico II di Napoli dedicata al Dipartimento di Scienze Zootecniche e Ispezione degli Alimenti e in particolare al corso di Scienze e Tecnologie delle Produzioni animali¹² e alle informazioni riportate nello studio condotto da ENEA e dal Ministero per lo sviluppo economico "Rilievo indici di relazione tra produzioni agricole e biomassa residuale associata, analisi del mercato della biomassa residuale nelle province delle regioni: Molise, Campania, Puglia, Basilicata, Calabria, Sicilia, Sardegna" (13) risulta che circa il 30% dei residui prodotti dalla coltivazione delle colture erbacee sia destinato al settore della zootecnia.

Di seguito si riportano i valori delle quantità di residui colturali utilizzati dal settore zootecnico per ciascuna provincia:

Provincia	Residui erbacee zootecnia (t/anno)	Residui cerealicole zootecnia (t/anno)
Arezzo	7.708	3.854
Firenze	16.241	8.121
Grosseto	26.332	13.166
Livorno	10.675	5.337
Lucca	5.408	2.704
Massa	1.541	339

¹² <http://www.federica.unina.it/medicina-veterinaria/valutazione-nutrizionale-degli-alimenti-e-dei-sottoprodotti/valutazione-sottoprodotti/>

Pisa	23.995	15.117
Pistoia	3.629	1.814
Prato	1.006	503
Siena	35.510	17.755
TOSCANA	132.045	66.022

I residui da combustione delle stoppie

Il calcolo delle emissioni e i relativi confronti con i valori riportati nell'inventario regionale delle sorgenti di emissione sono stati effettuati utilizzando esclusivamente i valori degli indicatori di attività ricavati dai dati contenuti nello studio di A.R.S.I.A.; si è valutato opportuno effettuare tale scelta vista la ridotta differenza riscontrata tra i valori degli indicatori di attività ricavabili dai dati raccolti da A.R.S.I.A. rispetto a quelli raccolti nel lavoro di E.N.A.M.A. e vista la specificità territoriale dello studio di A.R.S.I.A.. orientato esclusivamente all'analisi della realtà agricola toscana.

Di seguito si riporta la tabella con i dati relativi alla quantità minima e massima di residui che si stima vengano bruciati liberamente in loco per ciascuna provincia secondo la metodologia adottata nel presente documento:

Provincia	Quantità di residui bruciati liberamente (t/a)			
	IPOTESI DI MASSIMA		IPOTESI DI MINIMA	
	colture erbacee	colture cerealicole	colture erbacee	colture cerealicole
Arezzo	10.564	5.282	5.426	2.713
Firenze	26.388	13.194	15.561	7.780
Grosseto	40.089	20.044	22.534	11.267
Livorno	17.350	8.675	10.234	5.117
Lucca	8.582	4.291	4.976	2.488
Massa	2.553	1.277	1.526	336
Pisa	37.132	18.566	21.136	13.315
Pistoia	5.470	2.735	3.051	1.525
Prato	1.604	802	934	467
Siena	57.015	28.507	33.341	16.671
TOSCANA	220.075	110.037	132.045	66.022

Al fine di potere accertare la validità dei risultati ottenuti è stata effettuata una verifica parallela con i dati di percentuale di utilizzo dei residui cerealicoli (paglia) pubblicati dall'Ente Nazionale per la Meccanizzazione Agricola (E.N.A.M.A.) nell'ambito del "Progetto Biomasse" (9) (Parte 1 "Biomasse ed energia", Capitolo 1 "Caratteristiche tecniche delle biomasse e dei biocombustibili"), in particolare si è fatto riferimento ai dati relativi all'attività di bruciatura in campo:

Coltura	Residuo	Utilizzo	Percentuale di utilizzo	
			minima	massima
Frumento	Paglia	Bruciata in campo	30	50
Orzo			50	60
Avena			40	60
Riso			70	80

Per il confronto della quantità di residui che potenzialmente vengono liberamente bruciati in campo sono state utilizzate la media tra tutti i valori forniti per la percentuale di utilizzo, la media delle percentuali minime di utilizzo e la media delle percentuali massime di utilizzo. Di seguito si riporta la tabella dei risultati ottenuti:

	ARSIA (ipotesi minima)	ARSIA (ipotesi massima)	Δ risultati metod. adottata (ip. minima)	Δ risultati metod. adottata (ip. massima)
Bruciata in campo (media)	72.625	96.833	-10%	12%
Bruciata in campo (minima)	62.721	83.629	5%	24%
Bruciata in campo (massima)	82.528	110.038	-25%	0%
<i>Risultati metodologia adottata</i>	66.022	110.037		

Come si può osservare le differenze riscontrabili tra i risultati ottenuti dall'applicazione delle due diverse metodologie sono molto relative. In particolare, si riscontrano differenze percentuali minime nei casi in cui vengono tra loro confrontate le ipotesi di massima di entrambe le metodologie (differenza percentuale pari a - 0,0005%) e le ipotesi di minima di entrambe le metodologie (differenza percentuale pari a 5%). I risultati del confronto possono, perciò, dirsi pienamente soddisfacenti; si ritiene, quindi, che i dati relativi ai residui da colture cerealicole liberamente bruciati in campo siano attendibili.

La stima dei residui agricoli da colture erbacee e da colture cerealicole per i comuni della Piana di Prato e Pistoia è stata, invece, effettuata considerando la percentuale di SAU (superficie agricola utilizzata) per seminativi e per coltivazioni legnose agrarie per ciascun comune rispetto alla rispettiva provincia (fonte: Tabella 4.11, 5° censimento generale agricoltura, anno 2000); di seguito si riportano i valori della quantità di residui stimati e delle relative emissioni di PM10 per ciascun comune:

	Quantità di residui bruciati liberamente (t/a)			
	IPOTESI DI MASSIMA		IPOTESI DI MINIMA	
	colture erbacee	colture cerealicole	colture erbacee	colture cerealicole
Comune				
Agliana (PT)	108	61	30	54
Montemurlo (PO)	126	73	37	63
Pistoia	1.194	666	333	597
Prato	1.231	716	358	616
Quarrata (PT)	292	163	81	146
Montale (PT)	115	64	32	58

1.1.2 Attività 090700 – Incenerimento di rifiuti agricoli

Come già precedentemente accennato, nell'inventario regionale delle sorgenti di emissione I.R.S.E. 2007 non vengono stimate le emissioni da incenerimento di rifiuti agricoli (codice SNAP 090700).

Come per i residui da colture erbacee anche i residui derivanti dall'attività del settore agricolo di coltivazione delle colture arboree vengono utilizzati in diversi modi, i principali sono la triturazione e interrimento per contrastare la progressiva diminuzione della fertilità del terreno agrario, caratteristica di ordinamenti colturali semplificati, in assenza di prati avvicendati ed allevamenti animali, la bruciatura su campo e l'utilizzo in ambito energetico.

La metodologia sviluppata nel presente lavoro individua, come indicatore di attività la quantità – espressa in tonnellate/anno – di residui derivanti dalla lavorazione delle colture arboree alla quale viene sottratta la quantità stimata come potenzialmente utilizzabile a scopo energetico e, quindi, non utilizzata a fini diversi da quelli della combustione controllata e la quantità di residui utilizzata per l'interrimento. In particolare i residui vengono distinti in residui da coltivazione della vite e residui derivanti dalla coltivazione dell'olivo in quanto è stato possibile reperire informazioni specifiche relativamente a tali tipi di coltivazioni; mentre la quantità di residui prodotti dalla coltivazione della vite e la modalità di gestione degli stessi viene considerata come indicativa solo per lo stesso tipo di coltivazione, viene, invece, fatta l'ipotesi che la percentuale di residui prodotti da un ettaro di coltivazione arborea e le modalità di gestione degli stessi residui siano uguali a quelli relativi alla coltivazione dell'olivo per tutti gli altri tipi di coltivazioni arboree (agrumi e fruttiferi).

La metodologia adottata per la stima delle emissioni di PM10 e PM2,5 da combustione delle stoppie e le fonti dei dati utilizzate vengono descritte schematicamente nella tabella successiva:

FASE	DESCRIZIONE FASE DI CALCOLO	DATI UTILIZZATI	FONTI DATI
1	Individuazione della quantità di residui da coltivazione di vite e olivo e colture assimilate	1. Quantità di residui derivanti dalla lavorazione delle colture arboree 2. Superficie destinata alla coltivazione delle varie colture arboree nelle province toscane	1a. “Stima della potenzialità produttiva delle agrienergie in Toscana”, A.R.S.I.A. (Agenzia Regionale per lo Sviluppo e l’Innovazione nel settore Agricolo-forestale) 1b. “Progetto biomasse”, E.N.A.M.A. (Ente nazionale per la meccanizzazione agricola) 2. VI Censimento Agricoltura (Aziende con coltivazioni legnose agrarie e relativa superficie per le principali coltivazioni praticate e provincia)
2	Stima dei residui utilizzati a scopi energetici da coltivazione di vite e olivo e colture assimilate	Percentuale della quantità di residui utilizzati a scopo energetico	1a. “Stima della potenzialità produttiva delle agrienergie in Toscana”, A.R.S.I.A. (Agenzia Regionale per lo Sviluppo e l’Innovazione nel settore Agricolo-forestale) 2a. “Caratterizzazione della ZVN “Lago di Massaciuccoli”, Dipartimento di Agronomia e Gestione dell’Agroecosistema, Università di Pisa
3	Stima dei residui interrati	Percentuale della quantità di residui interrati	“Caratterizzazione della ZVN “Lago di Massaciuccoli”, Dipartimento di Agronomia e Gestione dell’Agroecosistema, Università di Pisa

FASE 1: Individuazione della quantità di residui da coltivazione di vite e olivo e colture assimilate

La quantità di residui derivanti dalle attività agricole di coltivazione delle colture arboree per ciascuna provincia della Regione Toscana è stata ricavata dallo studio dell’A.R.S.I.A. (Agenzia Regionale per lo Sviluppo e l’Innovazione nel settore Agricolo-forestale) “Stima della potenzialità produttiva delle agrienergie in Toscana” (8) e confrontata con le informazioni relative alla quantità di residui prodotti in tale settore riportate nello studio dell’E.N.A.M.A. (Ente Nazionale per la meccanizzazione agricola) “Progetto biomasse” (9), in particolare nella parte 1 “Biomasse ed energia”, capitolo 2. Come nel caso delle colture erbacee, anche i dati relativi alle colture arboree ricavati dalle due pubblicazioni sembrano confermarsi reciprocamente mostrando discrepanze relativamente ridotte vista la differente

metodologia di raccolta e elaborazione dei dati adottata; per ciascuna provincia, infatti, si discostano, in media, di un 19% e a livello regionale di circa il 18% (vedi tabella seguente):

Provincia	ARSIA (t/anno s.s.)	ENAMA (t/anno s.s.)	Rapporto percentuale (%)
Arezzo	30.988	25.800	83%
Firenze	76.582	61.252	80%
Grosseto	50.298	38.727	77%
Livorno	12.404	11.959	96%
Lucca	7.802	5.939	76%
Massa-Carrara	3.031	2.738	90%
Pisa	20.660	16.430	80%
Pistoia	18.950	12.203	64%
Prato	4.433	3.268	74%
Siena	50.998	47.466	93%
TOSCANA	276.146	225.782	82%

Per la stima della quantità di residui da coltivazione di vite e olivo e colture assimilate sono stati utilizzati i dati relativi alla superficie dedicata alle coltivazioni legnose agrarie per le principali coltivazioni praticate per ciascuna provincia pubblicati dall'ISTAT nell'ambito del VI Censimento Agricoltura e relativi all'anno 2010. In particolare è stata calcolata la percentuale di superficie dedicata alla coltivazione della vite e a tutte le altre coltivazioni di tipo arboreo (olivo, agrumi e fruttiferi); tale valore percentuale è stato utilizzato assumendo che la quantità di residui prodotti da colture di tipo arboreo fosse ripartita tra le varie tipologie di colture con la stessa modalità di ripartizione associata alla superficie dedicata alla coltivazione di ciascun tipo di coltura. Si riporta di seguito la tabella con i dati e le percentuali associate alle colture della vite e delle colture assimilate all'olivo:

Province	Superficie (ha)				vite/tot colture arboree (%)	olivo e assimilati/tot colturearboree (%)
	vite	olivo	agrumi	fruttiferi		
Arezzo	7.046,89	10.884,00	6,45	3.453,26	33%	67%
Firenze	18.393,39	25.093,08	16,46	3.370,05	39%	61%
Grosseto	7.471,03	17.355,65	6,63	2.329,57	28%	72%
Livorno	2.444,71	5.003,84	9,95	371,85	31%	69%
Lucca	1.058,04	3.219,98	10,99	3.494,22	14%	86%
Massa-Carrara	763,03	1.207,28	8,94	1.514,00	22%	78%
Pisa	3.187,33	7.787,35	2,91	805,53	27%	73%
Pistoia	786,11	6.359,79	1,58	797,17	10%	90%

Prato	511,73	1.915,32	1,36	235,93	19%	81%
Siena	18.330,39	13.081,02	1,22	1.452,63	56%	44%
TOSCANA	59.992,65	91.907,31	66,49	17.824,21	35%	65%

FASE 2: Stima dei residui utilizzati a scopi energetici da coltivazione di vite e olivo e colture assimilate

La determinazione dei quantitativi di residui utilizzati a scopi energetici è stata effettuata sulla base delle informazioni riportate nel documento dell'A.R.S.I.A. "Stima della potenzialità produttiva delle agrienergie in Toscana" (8) e nel documento "Caratterizzazione della ZVN "Lago di Massaciuccoli" (14) del Dipartimento di Agronomia e Gestione dell'Agroecosistema dell'Università di Pisa; mentre per l'olivo viene considerata, nello studio di A.R.S.I.A., una percentuale di sfruttamento in ambito energetico pari al 75% (simile al 70% riportato nello studio dell'Università di Pisa), per la vite viene considerata una percentuale del 30% in quanto nello studio dell'Università di Pisa si specifica che tale è la quantità di superficie occupata da vigneti dalla quale i residui vengono asportati dal campo e, quindi, ipoteticamente anche la quantità di residui utilizzabili a scopo energetico.

Di seguito viene riportata la tabella con la quantità di residui potenzialmente utilizzati a scopo energetico:

Quantità di residui per impiego energetico (t/a s.s)		
Provincia	VITE	OLIVO E ASSIMILATI
Arezzo	3.063	15.585
Firenze	9.015	34.898
Grosseto	4.150	27.348
Livorno	1.162	6.399
Lucca	318	5.056
Massa	199	1.777
Pisa	1.677	11.304
Pistoia	563	12.806
Prato	255	2.686
Siena	8.533	16.916
TOSCANA	28.935	134.773

FASE 3: Stima dei residui interrati

La determinazione dei quantitativi di residui triturati e interrati è stata effettuata sulla base delle informazioni riportate nel documento dell'A.R.S.I.A. "Stima della potenzialità produttiva delle

agrienergie in Toscana” (8) e nel documento “Caratterizzazione della ZVN “Lago di Massaciuccoli” (14) del Dipartimento di Agronomia e Gestione dell’Agroecosistema dell’Università di Pisa; mentre per l’olivo viene considerata una percentuale di residui tritati e interrati pari al 3%, in base a quanto riportato nello studio dell’Università di Pisa, per la vite viene considerata una percentuale del 70% in quanto nello studio dell’Università di Pisa si specifica che tale è la quantità di superficie occupata da vigneti dalla quale i residui vengono tritati e interrati.

Di seguito viene riportata la tabella con la quantità di residui tritati e interrati:

Quantità di residui tritati e interrati (t/a s.s)		
Provincia	VITE	OLIVO E ASSIMILATI
Arezzo	7.146	306
Firenze	21.036	902
Grosseto	9.684	415
Livorno	2.711	116
Lucca	742	32
Massa	463	20
Pisa	3.912	168
Pistoia	1.313	56
Prato	596	26
Siena	19.911	853
TOSCANA	67.514	2.893

Anche nel caso dei residui da coltivazioni arboree, come per i residui da coltivazioni erbacee, al fine del calcolo delle emissioni di polveri da attività di combustione in loco dei residui, vengono fatte due ipotesi: un’ipotesi di minima che quantifica i residui bruciati liberamente come differenza tra i residui totali, i residui utilizzati a fini energetici e quelli interrati e un’ipotesi di massima che prevede che tutti i residui derivanti da coltivazioni arboree vengano bruciati liberamente.

Di seguito si riporta la tabella con i dati relativi alla quantità minima e massima di residui che si stima vengano bruciati liberamente in loco secondo la metodologia adottata nel presente documento (espressa in t/anno):

Quantità di residui delle colture arboree (t/a s.s.)				
IPOTESI DI MASSIMA			IPOTESI DI MINIMA	
Provincia	VITE	OLIVO E ASSIMILATI	VITE	OLIVO E ASSIMILATI
Arezzo	10.209	20.779	0	4.889
Firenze	30.051	46.531	0	10.731
Grosseto	13.834	36.464	0	8.701
Livorno	3.873	8.531	0	2.017
Lucca	1.061	6.741	0	1.654
Massa	662	2.369	0	572
Pisa	5.589	15.071	0	3.600
Pistoia	1.875	17.075	0	4.212
Prato	851	3.582	0	870
Siena	28.444	22.554	0	4.785
TOSCANA	96.449	179.697	0	42.031

Il calcolo delle emissioni e i relativi confronti con i valori riportati nell'inventario regionale delle sorgenti di emissione sono stati effettuati utilizzando esclusivamente i valori degli indicatori di attività ricavati dai dati contenuti nello studio di A.R.S.I.A.; si è valutato opportuno effettuare tale scelta vista la ridotta differenza riscontrata tra i valori degli indicatori di attività ricavabili dai dati raccolti da A.R.S.I.A. rispetto a quelli raccolti nel lavoro di E.N.A.M.A. e vista la specificità territoriale dello studio di A.R.S.I.A. orientato esclusivamente all'analisi della realtà agricola toscana.

Di seguito si riportano i valori ottenuti a livello provinciale per le emissioni di polveri da attività di combustione su campo dei residui di colture arboree:

Provincia	IPOTESI DI MASSIMA (t/a)		IPOTESI DI MINIMA (t/a]	
	PM10	PM2,5	PM10	PM2,5
Arezzo	140	130	22	20
Firenze	345	321	48	45
Grosseto	227	211	39	36
Livorno	56	52	9	8
Lucca	35	33	7	7
Massa	14	13	3	2
Pisa	93	87	16	15
Pistoia	85	79	19	18
Prato	20	19	4	4

Siena	230	214	22	20
TOSCANA	1.245	1.157	190	176

La quantità di residui per tipologia di coltura e, quindi, le emissioni di PM10 e PM2,5 associate all'attività di incenerimento dei rifiuti agricoli relative ai comuni presenti nella piana di Prato e Pistoia (Agliana, Montemurlo, Pistoia, Prato, Quarrata, Montale) vengono stimate a partire dalla ripartizione indicata per le superfici e i dati di produzione dal V Censimento generale dell'Agricoltura del 2000 (ultima data per la quale sono disponibili dati a livello di dettaglio comunale); tale procedura è stata adottata sulla base delle indicazioni date nel rapporto dell'A.R.S.I.A. nel quale si fa presente che poiché i dati annuali sulle coltivazioni dell'ISTAT utilizzati per la caratterizzazione del comparto agricolo e zootecnico sono riferiti alla scala provinciale, al fine di ottenere una stima a livello comunale delle superfici e delle produzioni, è stato assunto che le superfici di ciascuna coltura nel 2007 fossero ripartite tra i diversi comuni con le stesse proporzioni del dato rilevato dal V Censimento generale dell'Agricoltura. Di seguito si riportano le tabelle con i valori dell'indicatore di attività e delle emissioni per ciascun comune della piana:

Comune	Coltivazioni legnose agrarie (ha)	Percentuale sul totale provinciale	Residui bruciati su campo (t/a)	
			IPOTESI DI MASSIMA (t/a)	IPOTESI DI MINIMA (t/a)
Agliana	105	1%	164	36
Montemurlo	381,35	13%	556	109
Pistoia	4.825,75	40%	7.536	1.675
Prato	491,35	16%	717	141
Quarrata	1021,47	8%	1.595	355
Montale	373,52	3%	583	130

	IPOTESI DI MASSIMA (t/a)		IPOTESI DI MINIMA (t/a)	
	PM10	PM2,5	PM10	PM2,5
Agliana	0,7	0,7	0,2	0,2
Montemurlo	2,5	2,3	0,5	0,5
Pistoia	34,0	31,6	7,6	7,0
Prato	3,2	3,0	0,6	0,6
Quarrata	7,2	6,7	1,6	1,5
Montale	2,6	2,4	0,6	0,5
PIANA PO-PT	50	47	11	10

In termini di incidenza delle emissioni di polveri da attività di incenerimento di residui agricoli rispetto alle emissioni derivanti da tutte le fonti presenti sul territorio si osserva che, pur rimanendo un apporto relativamente ridotto, risulta 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%
TOSCANA	9%	1%

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%
PIANA PO-PT	4,51%	0,99%

Di seguito si riportano i risultati del confronto con i dati relativi alla Regione Toscana riportati nella disaggregazione al 2010 dell'inventario nazionale delle emissioni:

Emissioni (t/a)	Disaggregazione inventario nazionale		IRSE 2007	Metodo 1	
	Anno 2005	Anno 2010	Anno 2007	Ipotesi di massima	Ipotesi di minima
Totali regionali	12.330	13.410	13.548	14.793	13.738
Totali combustione residui agricoli	382	389	0	1.245	190
<i>INCIDENZA (%)</i>	3%	3%	0%	8%	1%

2. Il confronto tra i risultati del metodo adottato nel presente lavoro e i dati dell'inventario I.R.S.E. 2007: la combustione delle stoppie (SNAP 100301)

Come già accennato nei precedenti paragrafi, entrambe le metodologie, quella adottata nell'inventario regionale e quella applicata nel presente lavoro, ricorrono a un approccio che effettua la stima delle emissioni sulla base di un indicatore (indicatore di attività) che caratterizza l'attività della sorgente e di un fattore di emissione, specifico del tipo di sorgente, del tipo di processo industriale e dell'eventuale tecnologia di abbattimento adottata.

Di seguito si riporta schematicamente la tipologia degli indicatori di attività e dei fattori di emissione utilizzati nei due diversi approcci:

	Indicatore di attività	Fattore di emissione (PM10/PM2,5)
Metodologia adottata nel presente studio	Quantità di residui bruciati liberamente (t/a)	Emissione/quantità di residui bruciati (kg/kg s.s.) ¹³
I.R.S.E. 2007	Superficie cerealicola bruciata (ha/a)	Emissione/superficie bruciata (g/ha)

Ricorrendo entrambe le metodologie allo stesso tipo di approccio, il confronto tra i risultati ottenuti in termini di emissioni di PM10 e PM2,5 consisterà nel confronto tra la fonte e i valori degli indicatori di attività e dei fattori di emissione utilizzati.

Per quanto riguarda gli indicatori di attività utilizzati, non è possibile effettuare un confronto diretto in quanto di origine e tipologia molto diversa tra loro. Si osserva, però, che i valori dell'indicatore individuato per l'I.R.S.E. 2007 potrebbero essere sottostimati; infatti, in base a quanto rilevato da altre fonti dati¹⁴, la superficie coltivata potenzialmente bruciata è pari al 30% e non al 3% come indicato nel

¹³ Fonte: Corinair Guidebook 2013, cap 3F, tab. 3-1

¹⁴ IN.EM.AR. (INventario EMISSIONi ARia): database progettato per realizzare l'inventario delle emissioni in atmosfera, attualmente utilizzato in sette regioni e due provincie autonome. Inizialmente realizzato nel periodo 1999-2000 dalla Regione Lombardia, con una collaborazione della Regione Piemonte, dal 2003 è gestito e sviluppato da ARPA Lombardia. Dal 2006 il suo utilizzo è condiviso nel quadro di un accordo interregionale, fra le regioni Lombardia, Piemonte, Emilia Romagna, Veneto, Friuli Venezia Giulia, Puglia, Marche e le Provincie Autonome di Trento e di Bolzano. ARPA della Lombardia partecipa alla convenzione con funzioni di supporto tecnico, formazione e coordinamento.

report relativo all'inventario regionale del 2007. E' importante, tuttavia, sottolineare che non esistono dati affidabili sull'entità della superficie bruciata e che, quindi, la sottostima dei valori dell'indicatore utilizzato per l'inventario è solo un'ipotesi; si ritiene, comunque, opportuno valutare tale eventualità nel miglior modo possibile in base alle informazioni a disposizione.

Al fine di potere confermare o meno quanto assunto nel database IN.EM.AR. è stato effettuato il calcolo della percentuale di ettari coltivati a cereali bruciati a partire dalle informazioni ricavabili dal documento dell'A.R.S.I.A. "Stima della potenzialità produttiva delle agrienergie in Toscana" (8) e da altre fonti ufficiali:

1. La superficie agricola utilizzata per le coltivazioni erbacee in ambito regionale è pari a 355.055 ha ("Stima della potenzialità produttiva delle agrienergie in Toscana", A.R.S.I.A.)
2. Le tonnellate di residui delle colture erbacee valutate nello stesso documento A.R.S.I.A. sono pari a 440.149
3. La resa media per le colture cerealicole all'anno 2010 è di circa 36 q/ha (AGRIT 2012¹⁵, Ministero delle politiche agricole alimentari e forestali); dato confermato dalle statistiche sull'agricoltura della Regione Toscana (tabella "Dati congiunturali sulle coltivazioni")¹⁶ da cui si deduce un valore medio della resa per l'anno 2007 pari a circa 37 quintali/ha
4. Circa il 51% dei seminativi (colture erbacee) coltivati nel 2007 era occupato da colture cerealicole ha ("Stima della potenzialità produttiva delle agrienergie in Toscana", A.R.S.I.A.)

In base a tali informazioni sono stati stimati gli ettari di terreno bruciati sul totale di ettari coltivati:

SAU (superficie agricola utilizzata) colture erbacee (ha/anno)	355.055
SAU (superficie agricola utilizzata) colture cerealicole (ha/anno)	177.528
residui colture cerealicole - IPOTESI DI MASSIMA (ha/anno)	61.132
residui colture cerealicole - IPOTESI DI MINIMA (ha/anno)	36.679
residui colture cerealicole/SAU (cereali) - IPOTESI DI MINIMA	34%
residui colture cerealicole/SAU (cereali) - IPOTESI DI MASSIMA	21%

In base alle informazioni fornite dall'A.R.S.I.A. e dal Ministero dell'Agricoltura la percentuale di superficie teoricamente utilizzata per la bruciatura delle stoppie varia tra il 21 e il 34% a seconda che si consideri l'ipotesi di bruciare il 60% (ipotesi di minima adottata per l'Individuazione della quantità di residui non utilizzabili a scopo energetico, par. 1.1.1, fase 1) delle stoppie ipotizzando che il restante 40% venga utilizzato per altri scopi (ipotesi di minima) o nel caso venga bruciato il 100% dei residui stimati (ipotesi di massima).

I risultati ottenuti dall'elaborazione delle informazioni sopra riportate sembrerebbero confermare l'ipotesi presentata nel database IN.EM.AR. del 30% di superficie bruciata piuttosto che l'ipotesi del 3% adottata nell'inventario regionale.

¹⁵ <http://www.politicheagricole.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/5231>

¹⁶ <http://ius.regione.toscana.it/cif/stat/index-agric.shtml>

Non è stato possibile effettuare un confronto diretto nemmeno tra i fattori di emissione utilizzati nelle due metodologie in quanto espresso con unità di misura tra loro molto diversi; il fattore di emissione utilizzato nella metodologia sviluppata nel presente lavoro è, infatti, espresso in quantità di emissione (PM10 e PM2,5) sul totale in peso dei residui liberamente combusti mentre il fattore di emissione adottato per l'inventario regionale è espresso in termini di quantità di emissione (PM10 e PM2,5) sul totale della superficie coltivata bruciata.

E' stato, perciò, effettuato un confronto indiretto utilizzando le informazioni fornite dal Ministero delle politiche agricole alimentari e forestali nel documento AGRIT 2012 e le informazioni fornite dalla Regione Toscana nelle tabelle relative alle statistiche sull'agricoltura in merito al valore della resa media delle colture cerealicole in Toscana agli anni 2007 e 2010.

In base a tali indicazioni è stato possibile esprimere il fattore di emissione utilizzato nell'inventario regionale negli stessi termini con cui è espresso quello utilizzato nel presente lavoro in modo da potere procedere ad un loro confronto in termini quantitativi. Si riporta di seguito la tabella con i valori dei fattori di emissione adottati dalle due metodologie e quelli ottenuti per i fattori di emissione dell'inventario regionale utilizzando i dati relativi alla resa media delle colture cerealicole:

I.R.S.E. 2007		I.R.S.E. 2007 modificato		Metodologia presente studio	
PM10 (g/ha)	PM2.5 (g/ha)	PM10 (kg/kg)	PM2.5 (kg/kg)	PM10 (kg/kg s.s.)	PM2.5 (kg/kg s.s.)
25.987	24.917	0,0072	0,0069	0,0057	0,0054

Come si può osservare dalla tabella le differenze riscontrabili tra i fattori di emissione così ottenuti e quelli adottati nella metodologia del presente studio sono dello stesso ordine di grandezza e presentano una differenza percentuale relativa piuttosto ridotta (27% per il PM10 e 28% per il PM2,5) considerando il fatto che derivano da fonti dati tra loro diverse e che il confronto effettuato non è di tipo diretto.

Di seguito vengono riportati i valori di emissione per PM10 e PM2,5 ottenuti dall'applicazione della metodologia sviluppata nel presente lavoro e i dati di emissione presenti nell'inventario regionale all'anno 2007:

Provincia	PM10 [t/a]					PM2,5 [t/a]				
	IPOTESI DI MASSIMA		IPOTESI DI MINIMA		IRSE 2007 anno 2007	IPOTESI DI MASSIMA		IPOTESI DI MINIMA		IRSE 2007 anno 2007
	Colture erbacee	Colture cerealicole	Colture erbacee	Colture cerealicole		Colture erbacee	Colture cerealicole	Colture erbacee	Colture cerealicole	
Arezzo	60,22	30,11	30,93	15,46	7,87	57,05	28,52	29,30	14,65	7,54
Firenze	150,41	75,21	88,70	44,35	14,19	142,50	71,25	84,03	42,01	13,60
Grosseto	228,51	114,25	128,44	64,22	48,74	216,48	108,24	121,68	60,84	46,73

Livorno	98,90	49,45	58,33	29,17	10,96	93,69	46,85	55,26	27,63	10,51
Lucca	48,92	24,46	28,37	14,18	2,33	46,34	23,17	26,87	13,44	2,24
Massa	14,55	7,28	8,70	1,91	0,95	13,79	6,89	8,24	1,81	0,91
Pisa	211,66	105,83	120,47	75,90	16,84	200,52	100,26	114,13	71,90	16,14
Pistoia	31,18	15,59	17,39	8,69	1,81	29,54	14,77	16,47	8,24	1,73
Prato	9,14	4,57	5,32	2,66	0,74	8,66	4,33	5,04	2,52	0,71
Siena	324,98	162,49	190,05	95,02	36,65	307,88	153,94	180,04	90,02	35,15
TOSCANA	1.254,42	627,21	752,65	376,33	141,07	1.188,40	594,20	713,04	356,52	135,26

In base alla definizione dell'indicatore di attività utilizzato nell'inventario regionale si ritiene opportuno confrontare i dati di emissione relativi alle sole colture cerealicole.

Come si può osservare dalla tabella precedente i valori di emissione, sia per il PM10 che per il PM2,5, presenti all'interno dell'inventario regionale sono 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" specificate nei paragrafi precedenti e circa il 20% nel caso dell'applicazione delle condizioni "dell'ipotesi di massima".

Vista la relativa differenza tra i fattori di emissione utilizzati precedentemente riscontrata, tale differenza sembrerebbe risiedere nella differenza tra i valori degli indicatori di attività adottati dalle due metodologie; non essendo, però, possibile effettuare un confronto diretto vista la differenza di tipologia di indicatore utilizzata è stata effettuata una verifica indiretta tramite il confronto tra i valori di emissione.

Sulla base di quanto emerso in merito alla percentuale di superficie bruciata ipotizzabile, sono state ricalcolate le emissioni presenti nell'inventario regionale ipotizzando una diversa percentuale di superficie bruciata; è stato, quindi, effettuato il confronto tra i valori di emissione così ottenuti e i valori di emissione ottenuti con metodologia alternativa nell'ipotesi di minima e nell'ipotesi di massima. In particolare si è potuto osservare che le differenze tra i dati di emissione si riducono ipotizzando una percentuale di superficie bruciata compresa tra il 10 e il 20%; in particolare, nel caso delle emissioni ottenute adottando le condizioni adottate nell'ipotesi di massima (percentuale minima di residui utilizzati a scopo energetico) si è osservato che si ottengono differenze relative che in termini percentuali assumono valori anche del 99% con una media su tutte le province pari al 75% e un valore dell'83% per le emissioni regionali assumendo una percentuale di superficie bruciata pari al 16%, mentre nel caso delle emissioni ottenute adottando l'ipotesi di minima (percentuale massima di residui utilizzati a scopo energetico) si ottengono valori percentuali simili ipotizzando una percentuale di superficie bruciata pari a circa l'8%. In entrambi i casi, perciò, si osserva un valore della percentuale ipotizzata per la superficie bruciata superiore al 3% adottato nell'inventario regionale I.R.S.E. 2007. Si riportano di seguito i valori di emissione ottenuti dai dati dell'inventario, i valori di emissione ottenuti con la metodologia alternativa e le percentuali relative ottenute adottando percentuali di superficie bruciata come sopra indicato:

IPOTESI DI MASSIMA		IPOTESI DI MINIMA	
I.R.S.E. 2007 16% superficie bruciata	Rapporto percentuale emissioni	I.R.S.E. 2007 8% superficie bruciata	Rapporto percentuale emissioni
41,96	72%	20,98	74%
75,66	99%	37,83	85%
259,93	44%	129,96	49%
58,44	85%	29,22	100%
12,44	51%	6,22	44%
5,06	70%	2,53	76%
89,79	85%	44,90	59%
9,64	62%	4,82	55%
3,96	87%	1,98	74%
195,49	83%	97,75	97%
752,37	83%	376,19	100%

La quantità di residui per tipologia di coltura e, quindi, le emissioni di PM10 e PM2,5 associate all'attività di combustione delle stoppie relative ai comuni presenti nella piana di Prato e Pistoia (Agliaia, Montemurlo, Pistoia, Prato, Quarrata, Montale) vengono stimate a partire dalla ripartizione indicata per le superfici e i dati di produzione dal V Censimento generale dell'Agricoltura del 2000 (ultima data per la quale sono disponibili dati a livello di dettaglio comunale); tale procedura è stata adottata sulla base delle indicazioni date nel rapporto dell'A.R.S.I.A. nel quale si fa presente che poiché i dati annuali sulle coltivazioni dell'ISTAT utilizzati per la caratterizzazione del comparto agricolo e zootecnico sono riferiti alla scala provinciale, al fine di ottenere una stima a livello comunale delle superfici e delle produzioni, è stato assunto che le superfici di ciascuna coltura nel 2007 fossero ripartite tra i diversi comuni con le stesse proporzioni del dato rilevato dal V Censimento generale dell'Agricoltura. Di seguito si riportano le tabelle con i valori dell'indicatore di attività e delle emissioni per ciascun comune della piana:

Comune	Seminativi [t/a]	SEMINATIVI Percentuale sul totale provinciale	Residui colture erbacee bruciati liberamente IPOTESI DI MASSIMA [t/a]	Residui colture erbacee bruciati liberamente IPOTESI DI MINIMA [t/a]	Residui colture cerealicole bruciati liberamente IPOTESI DI MASSIMA [t/a]	Residui colture cerealicole bruciati liberamente IPOTESI DI MINIMA [t/a]
Agliaia	158	2%	108	61	30	54
Montemurlo	302	8%	126	73	37	63
Pistoia	1.739	22%	1.194	666	333	597
Prato	2.951	77%	1.231	716	358	616

Quarrata	425	5%	292	163	81	146
Montale	167	2%	115	64	32	58

Comune	IPOTESI DI MASSIMA				IPOTESI DI MINIMA			
	PM10 (t/a)		PM2,5 (t/a)		PM10 (t/a)		PM2,5 (t/a)	
	Colture erbacee	Colture cerealicole	Colture erbacee	Colture cerealicole	Colture erbacee	Colture cerealicole	Colture erbacee	Colture cerealicole
Agliana	0,62	0,31	0,59	0,29	0,34	0,17	0,33	0,16
Montemurlo	0,72	0,36	0,68	0,34	0,42	0,21	0,4	0,2
Pistoia	6,81	3,4	6,45	3,22	3,8	1,9	3,6	1,8
Prato	7,02	3,51	6,65	3,32	4,08	2,04	3,87	1,93
Quarrata	1,66	0,83	1,58	0,79	0,93	0,46	0,88	0,44
Montale	0,66	0,33	0,62	0,31	0,37	0,18	0,35	0,17

Comune	IPOTESI DI MASSIMA		IPOTESI DI MINIMA		IRSE 2007 anno 2007		IRSE 2007/altra metodologia (%)	
	PM10 (t/a)	PM2,5 (t/a)	PM10 (t/a)	PM2,5 (t/a)	PM10 (t/a)	PM2,5 (t/a)	IPOTESI DI MASSIMA	IPOTESI DI MINIMA
	Colture cerealicole	Colture cerealicole	Colture cerealicole	Colture cerealicole	PM10 (t/a)	PM2,5 (t/a)	IPOTESI DI MASSIMA	IPOTESI DI MINIMA
Agliana	0,31	0,29	0,17	0,16	0,05	0,05	17%	32%
Montemurlo	0,36	0,34	0,21	0,2	0,05	0,05	14%	24%
Pistoia	3,4	3,22	1,9	1,8	0,19	0,18	6%	10%
Prato	3,51	3,32	2,04	1,93	0,60	0,58	17%	29%
Quarrata	0,83	0,79	0,46	0,44	0,15	0,14	18%	32%
Montale	0,33	0,31	0,18	0,17	0,04	0,04	12%	23%

Si può osservare che le emissioni stimate con la metodologia sviluppata nel presente lavoro hanno valori di un ordine di grandezza superiore a quelli stimati all'interno dell'inventario regionale.

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%
TOSCANA	5%	3%	1%

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%
PIANA PO-PT	0,78%	0,45%	0,00%

Di seguito si riportano i risultati del confronto con i dati relativi alla Regione Toscana riportati nella disaggregazione al 2010 dell'inventario nazionale delle emissioni:

Emissioni (t/a)	Disaggregazione inventario nazionale		IRSE 2007	Metodo 1	
	Anno 2005	Anno 2010	Anno 2007	Ipotesi di massima	Ipotesi di minima
Totali regionali	12.330	13.410	13.548	15.289	14.536
Totali combustione stoppie	83	59	141	1.882	1.129
INCIDENZA (%)	1%	0,4%	1%	12%	8%

Allegato 8

I dati rilevati presso i siti di campionamento

Di seguito viene riportata la tabella con i dati relativi alle concentrazioni medie giornaliere di PM 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) rilevate in ciascuno dei siti di campionamento individuati suddivise secondo la tipologia del periodo di campionamento (inverno, primavera, estate, autunno):

	INVERNO	PRIMAVERA	ESTATE	AUTUNNO
AGLIANA - DON MILANI	42	24	25	26
	46	30	23	13
	82	29	15	6
	37	15	22	9
	40	36	28	14
	43	37	27	20
	25	42	23	17
	37	41	25	20
	42	47	24	16
	47	28	28	19
	13	18	25	-
	34	18	31	25
	46	21	28	18
	52	21	27	24
	33	24	27	29
AGLIANA - SAN MICHELE	20	26	10	20
	23	25	9	18
	38	23	17	16
	78	17	15	25
	76	15	16	16
	32	22	19	6
	29	23	24	10
	64	16	22	17
	21	16	22	24
	9	18	19	21
	36	15	18	23
	76	15	17	20
	57	17	23	23
	43	17	29	38
	63	13	29	27
QUARRATA - VIGNOLE	15	19	26	24
	20	20	25	31
	51	24	20	14
	54	12	21	14
	21	17	19	32
	24	23	15	22
	20	19	18	23
	34	22	19	18
	64	20	13	14
	43	18	18	23
	57	23	27	79
	34	29	26	64
	29	27	23	19
	60	24	23	22
	33	18	-	50
MONTALE - VIA VIGNOLINI	77	7	22	29
	29	9	14	29

	17	15	22	18
	16	15	25	22
	24	15	24	28
	19	8	23	19
	21	14	22	22
	44	19	21	13
	28	20	24	22
	41	14	20	26
	26	12	27	27
	29	19	28	22
	39	20	24	20
	62	15	24	8
	35	18	23	10
PRATO - BRUGNANO	115	22	19	19
	76	27	21	13
	73	24	18	29
	52	23	25	31
	27	21	29	22
	29	18	28	29
	66	26	32	18
	67	32	20	17
	-	31	17	22
	82	27	13	17
	57	19	17	27
	25	18	19	15
	59	20	17	15
	91	21	10	17
PISTOIA - BOTTEGONE	92	17	12	74
	56	18	8	55
	79	21	13	83
	69	32	20	109
	47	37	24	125
	49	33	21	96
	73	18	12	99
	35	41	21	103
	46	40	17	135
	43	47	15	108
	26	49	16	135
	46	50	14	106
	43	33	18	89
	41	22	17	78
	11	22	21	100
	39	27	21	126

Allegato 9

Le immagini dei siti delle campagne di campionamento



Figura 1. Immagini del sito di campionamento di Agliana – Don Milani



Figura 2. Immagini del sito di campionamento di Agliana – S. Michele



Figura 3. Immagini del sito di campionamento di Quarrata - Vignole



Figura 4. Immagini del sito di campionamento di Montale – via Vignolini

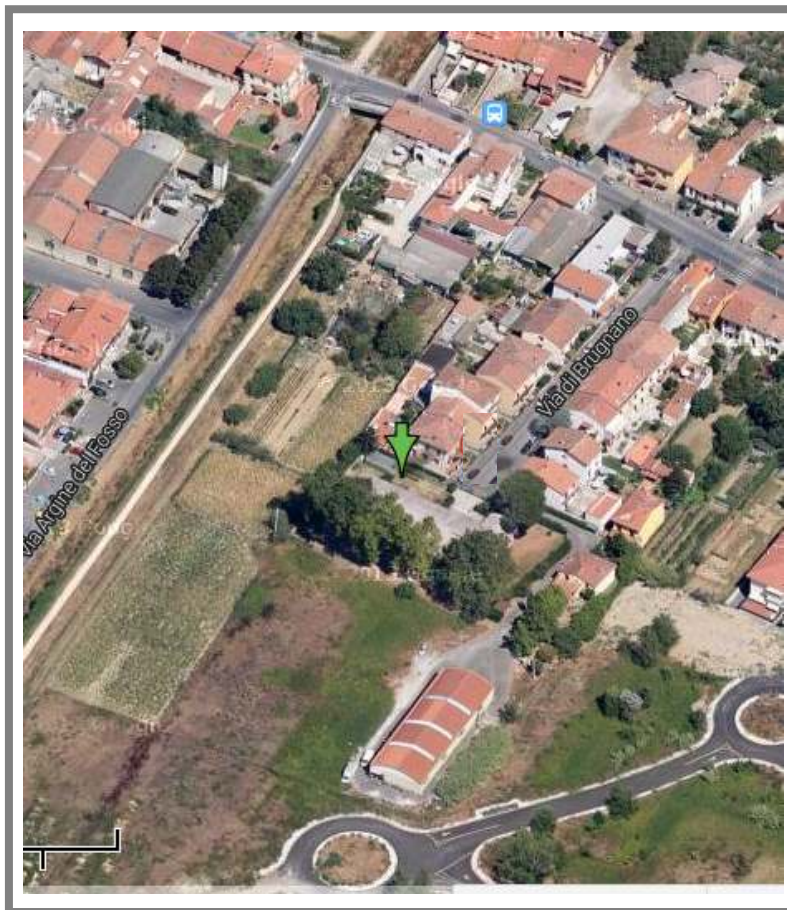


Figura 5. Immagini del sito di campionamento di Prato - Brugnano

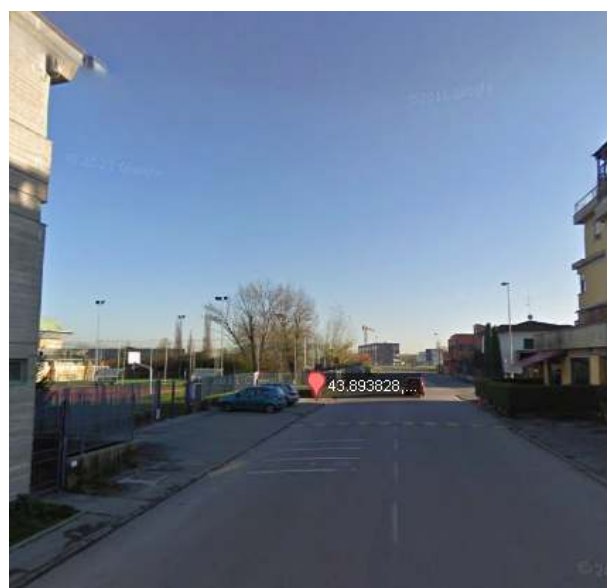


Figura 6. Immagini del sito di campionamento di Pistoia - Bottegone

Allegato 10

**“ Valutazione della strumentazione
anemologica presso la stazione
“Montale” della Rete
regionale della qualità dell’aria”**

Area Vasta Centro

Settore Modellistica previsionale
via Ponte alle Mosse, 211 - 50144 Firenze
tel. 055.32061 - fax 055.3206218
PEC: arpat.protocollo@postacert.toscana.it
www.arpat.toscana.it - urp@arpat.toscana.it
p.iva 04686190481

- ☐ originale
- ☐ copia per conoscenza
- ☐ minuta per archivio
- ☒ unico originale agli atti

del 15 novembre 2013

COMUNICAZIONE INTERNA

Dott.ssa Bianca Patrizia Andreini
Responsabile CRTQA
Area Vasta Costa

E p.c.

Dott. Andrea Poggi
Direttore tecnico

Dott.ssa Maura Ceccanti
Coordinatore Area Vasta Centro

Oggetto: Invio relazione tecnica - Valutazione della strumentazione anemologica presso la stazione "Montale" della Rete regionale della qualità dell'aria.

In relazione:

- allo studio in corso circa i valori di PM10 rilevati nell'area di Montale (PT) (punto 20 delle attività INO per la Regione Toscana incluso nel "Piano delle attività 2013" di ARPAT, Decreto DG n. 5/2013);
 - a quanto concordato a questo proposito nel corso della riunione congiunta CRTQA-SMP del 21.3.2013;
 - al Piano di lavoro 2013 di questo Settore (redatto in ottemperanza al Decreto DG n. 144/2012);
- si invia l'allegata relazione tecnica «Valutazione della strumentazione anemologica presso la stazione "Montale" della Rete regionale della qualità dell'aria» del 15.11.2013, redatta dal sottoscritto con la collaborazione di Silvia Maltagliati e Franco Giovannini.

Si rimane a disposizione per gli approfondimenti del caso e per le eventuali ulteriori iniziative in merito.

Dott. *Antongiulio Barbaro*
Responsabile del Settore Modellistica previsionale
Area Vasta Centro

Documento informatico sottoscritto con firma digitale ai sensi del D.Lgs 82/2005. L'originale informatico è stato predisposto e conservato presso ARPAT in conformità alle regole tecniche di cui all'art. 71 del D.Lgs 82/2005. Nella copia analogica la sottoscrizione con firma autografa è sostituita dall'indicazione a stampa del nominativo del soggetto responsabile secondo le disposizioni di cui all'art. 3 del D.Lgs 39/1993.

Allegato: «Valutazione della strumentazione anemologica presso la stazione "Montale" della Rete regionale della qualità dell'aria», 15.11.2013.



Il Sistema di gestione ARPAT
è certificato secondo la norma
UNI EN ISO 9001 : 2008
Registrazione n. 3198 - A

Regione Toscana



Valutazione della strumentazione anemologica presso la stazione “Montale” della Rete regionale della qualità dell’aria

Premessa

La Rete regionale della qualità dell’aria, definita con la D.G.R. n. 1025/2010 (Allegato 3)¹, include la stazione “Montale”, classificata “rurale – fondo”, presso la quale sono misurate le concentrazioni di PM₁₀, PM_{2.5} ed NO₂. La stazione è dotata anche di un anemometro collocato su palo di altezza 10 m, di proprietà della Provincia di Pistoia.

Con la presente nota si intende analizzare la collocazione della stazione, in riferimento agli standard relativi alle misure meteorologiche, nonché i dati anemologici osservati negli anni scorsi, al fine di valutare la congruità di tale posizione e la rappresentatività delle misure del vento.

Riferimenti tecnici in materia di misure anemologiche

In materia di misure meteorologiche i riferimenti tecnici accreditati sono quelli indicati dal World Meteorological Organization e dall’US-Environmental Protection Agency:

- [WMO, 2008]: WMO, “Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation”, WMO No. 8, 2008/2010
(http://ftp.wmo.int/Documents/MediaPublic/Publications/WMO8_CIMOguide/WMO8_Ed2008_Up2010_CORR1_en.pdf);
- [US-EPA, 2000]: US-EPA, “Meteorological Monitoring Guidance for Regulatory Modeling Applications”, EPA 454/R 99-005, 2000
(<http://www.epa.gov/ttn/scram/guidance/met/mmgrma.pdf>).

Per quanto riguarda le misure anemologiche, in sintesi viene raccomandato che:

- a) il sensore sia in grado di offrire le seguenti prestazioni (Annex 1.D in [WMO, 2008]; Table 5-1 e Table 5.2 in [US-EPA, 2000]):
 - a. intensità del vento: accuratezza ± 0.2 m/s, minima risoluzione 0.1 m/s, soglia di funzionamento ≤ 0.5 m/s;
 - b. direzione del vento: accuratezza $\pm 5^\circ$, minima risoluzione 1° , soglia di funzionamento ≤ 0.5 m/s;
- b) il sensore sia collocato su un palo meteo di altezza 10 m, opportunamente controventato (Annex 1.B e par. 5.9 in [WMO, 2008]; par. 3.2.1 in [US-EPA, 2000]);
- c) il palo meteo sia collocato ad una distanza superiore ad almeno 10 volte l’altezza degli ostacoli circostanti quali edifici, alberi, torri, silos, ecc. (Annex 1.B e par. 5.9 in [WMO, 2008]; par. 3.2.1 in [US-EPA, 2000]);
- d) il sistema di acquisizione dati consenta un’elevata frequenza di campionamento (almeno un dato elementare ogni minuto), e sia in grado di calcolare ogni ora almeno le grandezze scalari u e θ (intensità media e direzione media, componente orizzontale del vento) nonché le rispettive standard deviation, σ_u e σ_θ (par. 6.2.1 in [US-EPA, 2000]).

Analisi della collocazione della stazione

La stazione “Montale” è costituita da una cabina, in cui sono alloggiati gli strumenti di campionamento e misura degli inquinanti, il datalogger, il sistema di condizionamento dell’aria; il palo meteo, sulla cui sommità è montato l’anemometro, solidale con la stessa cabina. La stazione è

¹ Deliberazione della Giunta regionale della Toscana 6 dicembre 2010, n. 1025, “Zonizzazione e classificazione del territorio regionale ai sensi della L.R. 9/2010 e del D.Lgs. 155/2010 ed individuazione della rete regionale di rilevamento della qualità dell’aria – Revoca D.G.R. 27/2006, 337/2006, 21/2008, 1406/2001, 1325/2003”.

collocata nel territorio del Comune di Montale, via Compietra di Sotto, su un prato prospiciente un parcheggio (Figura A). In Tabella 1 sono riportate le coordinate della stazione.

Quota s.l.m. m	UTM - WGS84		Gauss Boaga - Roma40	
	E m	N m	E m	N m
50	661074.71	4864394.87	1661104.536	4864411.870

Tabella 1 - Coordinate della stazione di qualità dell'aria "Montale".



Figura A - Stazione di qualità dell'aria "Montale" (cerchio azzurro): in alto veduta satellitare (Google Earth ©), in basso inquadramento cartografico (CTR Toscana). A, B, C e D (in rosso) sono gli edifici più vicini alla stazione.

Area Vasta Centro

Settore Modellistica previsionale

via Ponte alle Mosse, 211 - 50144 Firenze

tel. 055.32061, fax 055.3206218 - p.iva 04686190481 - PEC: arpat.protocollo@postacert.toscana.it

www.arpat.toscana.it - urp@arpat.toscana.it

Il sensore per la misura del vento è rimasto in attività dal 1.1.2001 al 14.2.2013² ed è suddiviso in taco-anemometro (intensità) e gonio-anemometro (direzione): le caratteristiche dei sensori sono riepilogate in Tabella 1.

Sensore	Marca	Modello	Campo di misura	Sensibilità	Soglia di funzionamento	Precisione
taco-anemometro	LASTEM	C100S	0 – 50 m/s	0.1 m/s	0.3 m/s	0.1 m/s
gonio-anemometro	LASTEM	DNA515	0 – 365 °	0.4 °	0.3 m/s	2 °

Tabella 2 - Caratteristiche dei sensori anemologici presso la stazione di qualità dell'aria "Montale".

Le caratteristiche della strumentazione, unitamente alla sua collocazione sulla sommità di un palo meteo di 10 m, risultano coerenti alle specifiche WMO e US-EPA. Invece la collocazione generale della strumentazione non appare congrua: in Tabella 3 sono indicati gli edifici più vicini alla stazione (come indicati in Figura A), unitamente alla loro altezza, alla distanza dalla stazione e alla distanza minima necessaria per soddisfare i criteri indicati da WMO e US-EPA.

Edificio	Altezza	Distanza e posizione rispetto alla stazione "Montale"	Distanza minima per soddisfare i criteri WMO e US-EPA
A	3 piani fuori terra, circa 10 m	43 m – NNW	100 m
B	3 piani fuori terra, circa 10 m	25 m – SE	100 m
C	2 piani fuori terra, circa 6 m	57 m – S	60 m
D	1 piano fuori terra, circa 3 m	17 m – NNE	30 m

Tabella 3 - Edifici vicini alla stazione di qualità dell'aria "Montale", loro altezza, distanza dalla stazione e distanza minima per soddisfare i criteri WMO e US-EPA (misure stimate con Google Earth ©).

Come si può notare, solo l'edificio C può essere considerato ad una distanza accettabile, mentre gli altri sono significativamente più vicini rispetto a quanto richiesto.



Figura B – Stazione di qualità dell'aria "Montale" (nell'ellisse azzurra): a sinistra vista da W (foto ARPAT), a destra vista da S (foto Google Earth ©).

Oltre a tali edifici attorno alla stazione "Montale" sono presenti diverse alberature (per lo più di specie "sempre verdi": Figura B), caratterizzate da altezze paragonabili o superiori a quelle del palo

² La manutenzione si è protratta fino al 2011.

meteo e poste a distanze ancora inferiori (<10 m) rispetto a quelle degli edifici in Tabella 3.

In sostanza, la presenza ravvicinata di edifici ed alberature di alto fusto rende la collocazione della stazione non adeguata per misure del vento che possano considerarsi rappresentative dell'anemologia della zona, in quanto tali ostacoli costituiscono una schermatura capace di alterare il flusso delle masse d'aria nei pressi della stazione.

Analisi dei dati anemologici

Sono stati elaborati i dati di vento (intensità e direzione) rilevati presso la stazione “Montale” nel periodo 1.1.2004-31.12.2008 (cinque anni), al fine di valutare la risposta dei sensori sul lungo periodo. Al fine di rendere più immediata tale valutazione, sono stati elaborati anche i dati di vento rilevati nello stesso periodo presso la stazione meteo “Baciacavallo”, facente parte delle rete di monitoraggio della qualità dell'aria della Provincia di Prato (attualmente non attiva). Tale stazione è stata scelta in quanto distante solo 9.7 km a SE della stazione “Montale”, ed in quanto collocata nello stesso bacino aerologico (la Piana di Firenze-Prato-Pistoia): Figura C.

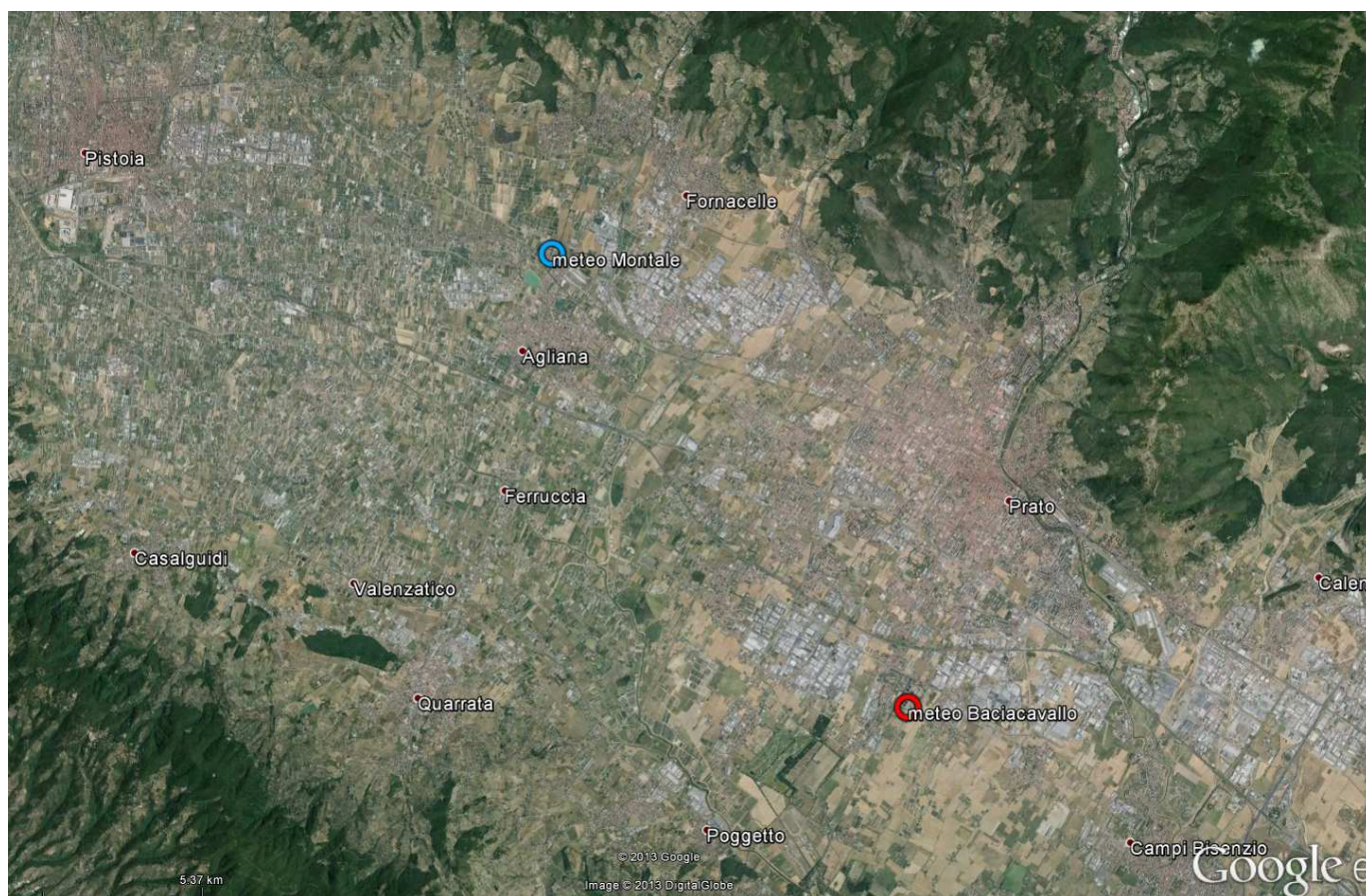


Figura C - Piana di Firenze-Prato-Pistoia, con indicazione della posizione della stazione “Montale” (cerchio azzurro) e della stazione “Baciacavallo” (cerchio rosso) [Google Earth ©].

Come si può notare dalla Figura D, presso “Montale” è stato registrato un gran numero di ore classificate come “calma” ($v \leq 0.3$ m/s): il 14.7%, contro l'8.7% misurato a “Baciacavallo”. Più in generale la distribuzione relativa a “Montale” appare ben più popolata di ore con intensità del vento

Area Vasta Centro

Settore Modellistica previsionale

via Ponte alle Mosse, 211 - 50144 Firenze

tel. 055.32061, fax 055.3206218 - p.iva 04686190481 - PEC: arpat.protocollo@postacert.toscana.it

www.arpat.toscana.it - urp@arpat.toscana.it

debole ($v < 2$ m/s) rispetto a quella relativa a “Baciavalle”: 83.8% contro 64.8%. Al contrario appaiono con scarsa frequenza le ore con vento teso ($v \geq 5$ m/s): 1.6% contro 5.0%.

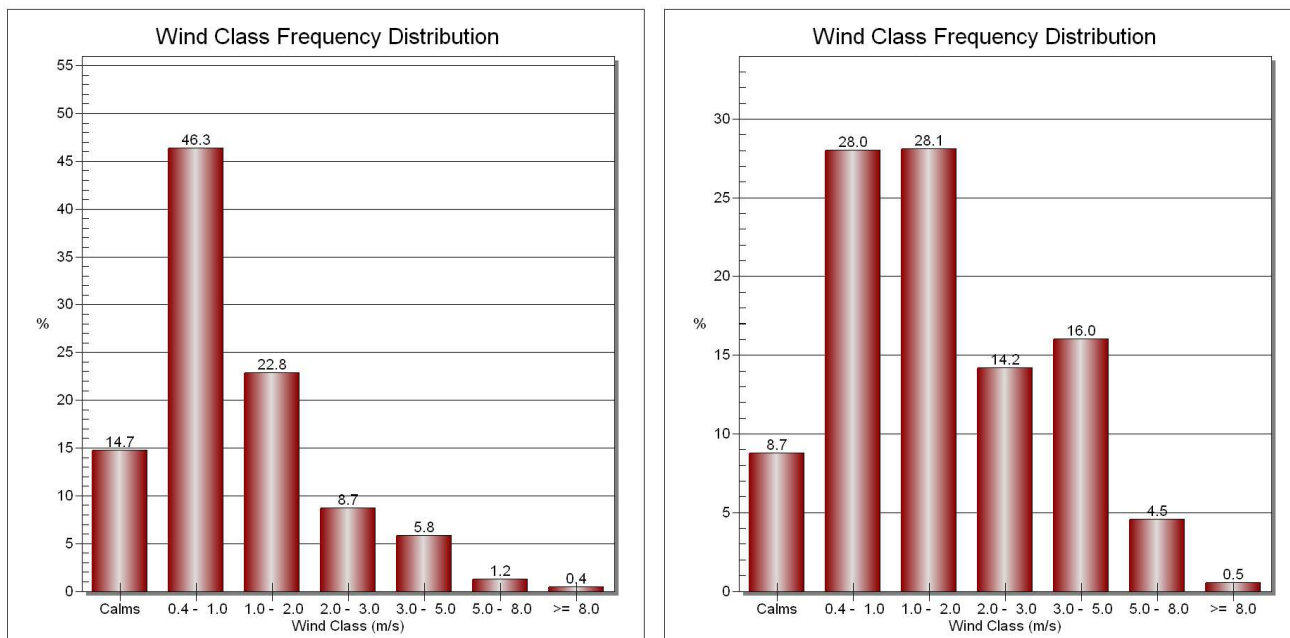


Figura D – Distribuzione in frequenza dell’intensità del vento: a sinistra dati rilevati presso “Montale”, a destra dati rilevati presso “Baciavalle” (1.1.2004-31.12.2008). I dati classificati come “calma” sono quelli con $v \leq 0.3$ m/s. Le percentuali sono calcolate escludendo le ore di “fuori servizio” del sensore.

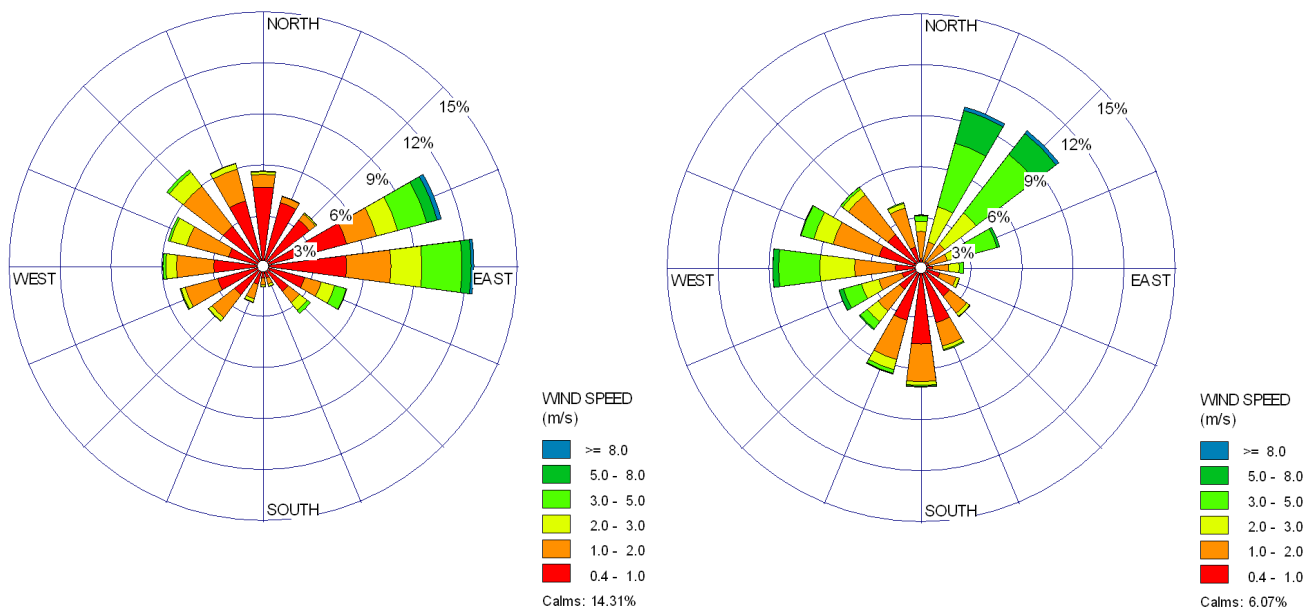


Figura E – Rosa dei venti: a sinistra dati rilevati presso “Montale”, a destra dati rilevati presso “Baciavalle” (1.1.2004-31.12.2008). I dati classificati come “calma” sono quelli con $v \leq 0.3$ m/s. Le percentuali sono calcolate includendo le ore di “fuori servizio” del sensore.

Dalla Figura E invece emerge come nei dati rilevati presso “Montale”, rispetto a “Baciavalle”, siano pressoché assenti le direzioni di provenienza del vento dai quadranti meridionali (circostanza

Area Vasta Centro

Settore Modellistica previsionale

via Ponte alle Mosse, 211 - 50144 Firenze

tel. 055.32061, fax 055.3206218 - p.iva 04686190481 - PEC: arpat.protocollo@postacert.toscana.it

www.arpat.toscana.it - urp@arpat.toscana.it

piuttosto anomala); risultino enfatizzati i venti tesi ($v \geq 5$ m/s) da E; siano molto meno intensi e frequenti quelli dai quadranti occidentali e da NE. Inoltre si conferma come a “Montale”, rispetto a “Baciacavallo”, siano più frequenti le ore con intensità del vento debole ($v < 2$ m/s).

Le difformità tra le due rose dei venti in Figura E potrebbero in parte essere attribuite alla presenza degli ostacoli sopra evidenziata, in parte ad eventuali disallineamenti dei gonio-anemometri rispetto alla direzione N.

Le anomalie che emergono dai dati anemologici rilevati presso la stazione “Montale” sono avvalorate anche dal confronto con il campo anemologico nella zona ricostruito per mezzo del pre-processore meteorologico CALMET (Appendice A).

Quindi, dall’analisi del complesso dei dati storici rilevati presso la stazione “Montale” sembra emergere una conferma sostanziale delle problematiche inerenti la collocazione della stazione evidenziate dalla verifica dei criteri stabiliti da WMO e US-EPA. Ovvero, la presenza di ostacoli elevati posti a distanza ravvicinata al palo meteo (edifici e alberature ad alto fusto) è in grado di determinare una “schermatura” dell’anemometro talché:

- l’intensità del vento rilevata risulta significativamente diminuita;
- la direzione del vento rilevata risulta alterata.

Naturalmente una verifica più accurata potrebbe essere effettuata con misure “in situ” da effettuarsi in parallelo, ponendo un anemometro di riferimento in posizione vicina, nel rispetto dei criteri di corretta collocazione indicati da WMO e US-EPA.

Conclusioni

Dall’analisi della collocazione rispetto ai criteri stabiliti a livello internazionale e dei dati rilevati in cinque anni di misure emerge la non corretta posizione dell’anemometro presso la stazione di qualità dell’aria “Montale” a causa della presenza ravvicinata di ostacoli elevati, in grado di modificare il campo di vento locale attorno alla stazione e quindi di condurre a misure di vento non rappresentative, se non a microscala.

Tali conclusioni potrebbero eventualmente essere confermate, se necessario, per mezzo di una campagna di misure “in situ” condotta con altro strumento correttamente installato.

Tenuto conto che il palo meteo ed i sensori risultano invece adeguati, qualora le informazioni sul campo dei venti nella zona in questione fossero effettivamente necessarie si ritiene opportuno studiare il riposizionamento dell’anemometro nelle vicinanze, in zona pianeggiante priva di ostacoli, nel rispetto dei criteri sopra ricordati.

Dott. Antongiulio Barbaro
Responsabile Settore Modellistica previsionale
Area Vasta Centro

Documento informatico sottoscritto con firma digitale ai sensi del D.Lgs 82/2005. L'originale informatico è stato predisposto e conservato presso ARPAT in conformità alle regole tecniche di cui all'art. 71 del D.Lgs 82/2005. Nella copia analogica la sottoscrizione con firma autografa è sostituita dall'indicazione a stampa del nominativo del soggetto responsabile secondo le disposizioni di cui all'art. 3 del D.Lgs 39/1993.

Firenze, 15.11.2013

Area Vasta Centro
Settore Modellistica previsionale
via Ponte alle Mosse, 211 - 50144 Firenze
tel. 055.32061, fax 055.3206218 - p.iva 04686190481 - PEC: arpat.protocollo@postacert.toscana.it
www.arpat.toscana.it - urp@arpat.toscana.it

Appendice A – Il campo anemologico nella zona di Montale ricostruito con CALMET

Il Settore Modellistica previsionale ha condotto uno studio finalizzato a ricostruire la micrometeorologia su una vasta area centrata sulla Piana Firenze-Prato-Pistoia (50 km x 50 km, con estensione verticale fino ad alla quota di 2200 m dal suolo, tale da includere l'intero PBL³). Lo studio ha l'obiettivo di rendere disponibile un archivio di dati meteorologici necessari alle simulazioni della dispersione degli inquinanti emessi dalle sorgenti presenti nell'area.

A tal fine le simulazioni, effettuate con il pre-processore meteorologico CALMET⁴, hanno stimato le variabili meteorologiche con elevata risoluzione temporale (1 ora) e spaziale (200 m e 1000 m sul piano orizzontale, 8 livelli verticali), per l'intera durata di due anni (2007 e 2008). Il territorio su cui è stata effettuata la simulazione è stato descritto per mezzo del DTM della Regione Toscana (avente risoluzione 100 m x 100 m) e con i codici di uso del territorio CORINE LAND USE. I dati meteo di input utilizzati sono:

- quelli rilevati da cinque stazioni al suolo⁵: direzione e intensità del vento, temperatura, umidità, pressione, copertura nuvolosa⁶;
- quelli stimati dal modello meteorologico COSMO⁷ lungo la verticale nei punti di griglia inclusi nell'area di interesse (9), come elaborati nel dataset LAMA curato da ARPA Emilia-Romagna⁸: pressione, temperatura, vento (tridimensionale), umidità, precipitazione, copertura nuvolosa, rugosità, albedo, radiazione, flusso di calore (latente e sensibile), lunghezza di Monin-Obukhov, stabilità atmosferica, altezza di rimescolamento.

I dati meteo in output ottenuti con CALMET sono, per ciascuna ora:

- alle diverse quote: vento (intensità e direzione) e temperatura;
- alla quota 10 m dal suolo: classe di stabilità atmosferica, velocità di attrito, altezza di rimescolamento, lunghezza di Monin-Obukhov, precipitazione, temperatura, radiazione solare, umidità.

La qualità della ricostruzione del campo anemologico ottenuta con queste modalità è stata verificata confrontando i risultati ottenuti in alcuni punti specifici sul territorio: quelli in cui sono presenti le stesse cinque stazioni meteo di terra utilizzate come input, e quelli in cui sono presenti altre quattro stazioni meteo i cui dati non sono stati forniti al codice. Il confronto è stato condotto anche con l'ausilio di alcuni indici prestazionali suggeriti dalla letteratura di settore ed ormai codificati nella documentazione tecnica dell'Agenzia europea per l'ambiente⁹.

Tra le stazioni meteo utilizzate per il confronto prestazionale è stata inclusa anche quella

³ Il PBL (planetary boundary layer) è la parte più bassa dell'atmosfera, direttamente influenzata dal contatto con la superficie planetaria; in tale strato le grandezze fisiche (velocità di flusso, temperatura, ecc.) mostrano fluttuazioni rapide (turbolenza) ed il rimescolamento verticale è intenso.

⁴ CALMET è il pre-processore realizzato per il codice di dispersione CALPUFF, entrambi inclusi nella lista dei "modelli preferiti" redatta da US-EPA: http://www.epa.gov/ttn/scram/dispersion_prefrec.htm#calpuff.

⁵ Le stazioni al suolo scelte, per le quali sono disponibili le serie storiche per gli anni 2007 e 2008, sono: Prato-Baciacavallo, Montespertoli-Casa Sartori, Empoli-Riottoli, Prato-Galceti, e Firenze-Ximeniano.

⁶ La copertura nuvolosa è quella osservata presso la stazione Firenze-Peretola del Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare.

⁷ <http://www.cosmo-model.org/>.

⁸ ARPA Emilia-Romagna, "Le analisi meteorologiche di ARPA-SIM: costruzione del dataset LAMA", 2008: http://www.arpa.emr.it/cms3/documenti/_cerca_doc/meteo/ambiente/descrizione_lama.pdf.

⁹ Si veda l'Annex 2 in: EEA e JRC, "The application of models under the European Union's Air Quality Directive: a technical reference guide", EEA Technical report No 10/2011, ISSN 1725-2237 (<http://www.eea.europa.eu/publications/fairmode>).

“Montale”: in Tabella 4 sono riportati i valori di due indici significativi ottenuti (*Skill variance*: R_{STD} o R_{STD} ; *Index of agreement* o *Willmott's index*: IOA o I) per l'intensità e la direzione del vento, in entrambi gli anni considerati. In particolare:

- R_{STD} è il rapporto tra la standard deviation dei dati stimati con CALMET e quella dei dati misurati: quando tende a 1 indica che la simulazione è realistica;
- I è una misura delle differenze tra i dati stimati con CALMET e la media di quelli misurati, messi a confronto con le differenze tra i valori misurati e la media dei valori misurati: quando tende a 1 indica un buon accordo tra dati stimati e dati misurati.

I valori ottenuti per tali indici indicano che il campo di vento simulato presso “Montale” fornisce valori realistici, ma significativamente diversi da quelli misurati “in situ”.

Indice prestazionale	Intensità del vento		Direzione del vento		Valore ideale
	2007	2008	2007	2008	
R_{STD} - Skill variance	1.4	1.4	0.9	0.8	1
I – Willmott's index	0.4	0.3	0.4	0.3	1

Tabella 4 - Valori degli indici prestazionali R_{STD} e I ottenuti dal confronto tra i dati rilevati e quelli stimati con CALMET presso la stazione “Montale” (anni 2007 e 2008), sia per l'intensità che per la direzione del vento.

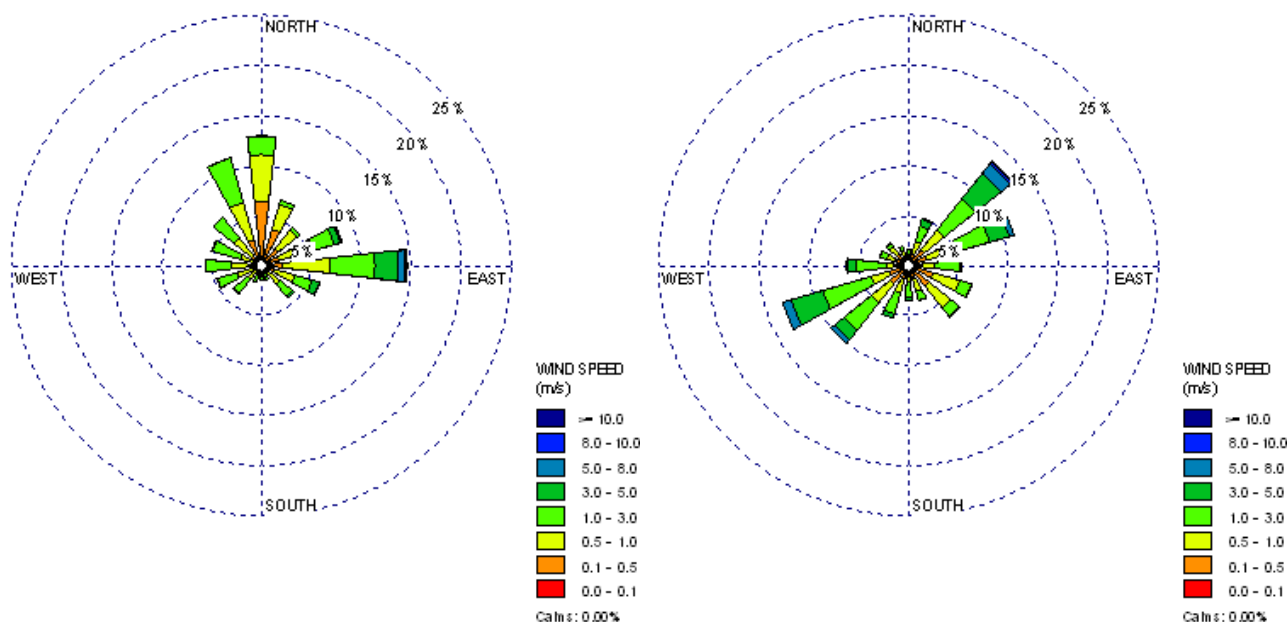


Figura F - Rosa dei venti presso “Montale” (2008): a sinistra dati rilevati, a destra dati stimati con CALMET.

Il confronto tra la rosa dei venti misurata presso “Montale” e quella stimata con CALMET nella stessa posizione evidenzia alcune differenze significative (Figura F, anno 2008):

- una presenza più accentuata di venti tesi (da SW e da NE) tra i dati stimati rispetto a quelli misurati, dove invece sono maggiormente presenti venti deboli;
- la presenza di componenti da N-NW e da E più accentuate nei dati misurati rispetto a quelli stimati, in cui invece prevalgono le componenti da NE e da SW;
- l'anomala assenza delle componenti meridionali nei dati misurati, presenti invece tra quelli stimati.

Tali differenze possono essere in parte attribuite alla particolare collocazione della stazione “Montale” (presenza ravvicinata di ostacoli elevati), in parte ad un eventuale disallineamento del gonio-anemometro della stazione.

Area Vasta Centro

Settore Modellistica previsionale

via Ponte alle Mosse, 211 - 50144 Firenze

tel. 055.32061, fax 055.3206218 - p.iva 04686190481 - PEC: arpat.protocollo@postacert.toscana.it

www.arpat.toscana.it - urp@arpat.toscana.it

APPENDICE

I RISULTATI DEGLI STUDI EFFETTUATI E L'ANALISI DEI DATI DISPONIBILI

INDICE

1. I RISULTATI DEGLI STUDI EFFETTUATI E L'ANALISI DEI DATI DISPONIBILI	1
1.1 Introduzione	1
1.2 Gli studi effettuati: i risultati	1
1.2.1 Progetto PATos: sintesi risultati su composizione e origine del particolato a Montale	2
1.2.1.1 <i>La correlazione tra i dati di concentrazione di PM10 e i parametri meteorologici</i>	5
1.2.1.2 <i>Confronto dei risultati: Montale e le altre centraline di tipo fondo</i>	7
1.2.2 Polveri sottili e inceneritore di Montale: documento di valutazione congiunta ARPAT-ASL 3	12
1.2.3 Classificazione della diffusività atmosferica nella conca intermontana Firenze – Prato – Pistoia	14
1.2.4 Progetto MoDiVaSET	16
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"	18
1.2.6 Studio delle caratteristiche della localizzazione della stazione di PT - Montale (indice β)	21
1.2.6.1 <i>Rappresentazione schematica dei livelli di PM10 nella zona Prato - Pistoia</i>	21
1.2.6.2 <i>Calcolo dell'indice β per le stazioni della zona Prato - Pistoia</i>	24
1.3 Analisi dei dati disponibili: la qualità dell'aria nella zona Prato-Pistoia	32
1.3.1 Analisi dei dati di monitoraggio delle stazioni di rete regionale e provinciale nella zona Prato-Pistoia	33
1.3.1.1 <i>I monitoraggi con mezzo mobile nella zona Prato-Pistoia: i risultati</i>	39
1.3.2 Il campionamento effettuato nel comune di Agliana: i risultati	52
1.4 La stazione di PT-Montale: analisi dei dati di qualità dell'aria	52
1.4.1 Gli audit effettuati sull'analizzatore PM10 di Montale: i risultati	52
1.4.2 Lo strumento di riferimento per le misure di PM10: il campionatore sequenziale Tecora	53
1.4.3 La stazione di Pistoia Montale: andamenti dei dati di concentrazione, media giornaliera e media annuale	54
1.4.4 La stazione di Pistoia Montale: correlazione tra le concentrazioni di PM10 e le altre variabili di qualità dell'aria e meteorologiche	60
1.4.4.1 <i>La correlazione tra i parametri di qualità dell'aria</i>	60
1.4.4.2 <i>La correlazione tra i parametri di qualità dell'aria e i parametri meteorologici</i>	63
1.4.5 Analisi del rapporto PM10/PM2,5	75
1.5 Analisi dei dati disponibili: le emissioni	80

1.5.1 Le sorgenti di emissione del comune di Montale e dei comuni limitrofi (elaborazione dati I.R.S.E. 2007)	81
<i>Le sorgenti di emissione di ossidi di azoto, ammoniaca e COVNM a Montale e nei comuni limitrofi</i>	87
1.5.2 Le sorgenti di emissione di tipo puntuale di polveri nella Piana di Prato e Pistoia e nella zona Prato – Pistoia	92

1. I RISULTATI DEGLI STUDI EFFETTUATI E L'ANALISI DEI DATI DISPONIBILI

1.1 Introduzione

La singolarità dei dati di qualità dell'aria, in particolare di PM10, della stazione ubicata in via Pacinotti nel comune di Montale è messa in evidenza non solo dai numerosi superamenti dei limiti normativi registrati nel corso degli anni ma anche dal fatto che la stazione, classificata come rurale fondo, fornisce dati di PM10 non in linea con le altre stazioni equivalentemente classificate nel territorio regionale e anche superiori a quelli di stazioni poste in contesti urbani, generalmente a più diretto contatto con le principali fonti di emissione.

Le verifiche sin qui svolte dai vari soggetti coinvolti nello studio delle cause di tale particolarità hanno fornito ad oggi risposte parziali in merito ai motivi per cui ciò avvenga né sull'estensione territoriale della problematica connessa agli alti livelli di PM10 rilevati e, quindi, su quanto i dati rilevati dalla centralina di Montale siano rappresentativi di un'area più ampia.

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 è stata effettuata una preliminare analisi di tutti i dati prodotti e degli studi già effettuati nel corso degli ultimi anni. Inoltre, 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 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.

1.2 Gli studi effettuati: i risultati

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 i quali 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. Nei paragrafi successivi vengono analizzati i vari documenti esaminati e le informazioni in esse riportati utili ad approfondire l'anomalia della stazione di PT – Montale.

1.2.1 Progetto PATos: sintesi risultati su composizione e origine del particolato a Montale

Il progetto regionale PATos (Particolato Atmosferico in TOscana) è stato promosso dalla Regione Toscana allo scopo di fornire elementi conoscitivi affidabili e scientificamente rigorosi sia sulla distribuzione spaziale del livello di concentrazione del PM₁₀, sia sulla composizione e l'origine del particolato, in particolare nelle zone della Toscana dove si sono verificati vari superamenti dei parametri previsti dalla normativa tra cui anche la centralina di Montale. Come specificato nella relazione di chiusura del progetto P.A.Tos. (1), i risultati ottenuti per il sito di Montale non hanno portato ad un'identificazione definitiva del problema in quanto i dati raccolti hanno una limitata significatività a causa del ridotto numero di campionamenti effettuati. Riportiamo tuttavia tutte le informazioni rilevanti ai fini del presente studio.

Il campionamento presso la stazione di Montale è stato realizzato nel periodo 17 dicembre 2005 - 10 gennaio 2006 e 30 marzo 2006 - 17 giugno 2006; la campagna di monitoraggio è stata, quindi, effettuata in maniera discontinua, in due sole stagioni (inverno e primavera) per un numero ristretto di campioni in ciascun periodo.

Le conclusioni tratte dallo studio per la centralina di Montale e riportate nella relazione finale (pubblicata nel 2008) in merito alla composizione e origine del particolato vengono riassunte nella seguente tabella:

COMPONENTE	ANDAMENTO	POSSIBILI CAUSE
POM (particolato di natura organica)	- stagione invernale: valori di concentrazione giornaliera molto elevati (media 30µg/m³) con variazioni giornaliere significative - stagione primaverile: valori di concentrazione giornaliera più bassi (media 6 µg/m³) e più costanti	I valori di concentrazione più elevati osservati nella stagione invernale possono essere attribuiti: a) all'accensione degli impianti di riscaldamento b) ad un maggior uso di auto private c) alle condizioni meteorologiche (basse temperature, minor intensità della radiazione solare, basso strato di rimescolamento, etc.) che favoriscono l'accumulo di inquinanti.
componente crostale	contributo < 8 µg/m ³ con valori più elevati in primavera	-
spray marino	contribuisce sporadicamente in occasione di eventi di trasporto di masse d'aria dal Tirreno	-
aerosol secondario inorganico (solfati, nitrati e ammonio)	contributo medio annuo dell'ordine dei 7,5 µg/m ³ , con valori invernali generalmente maggiori di quelli primaverili (valore massimo, 10 µg/m ³)	a) gli elevati valori osservati in inverno sono riconducibili al fatto che la sorgente riscaldamento è più attiva e i processi di circolazione

		verticale delle masse d'aria sono impediti dalla frequente formazione di strati di inversione termica b) in inverno può essere supposta una maggiore persistenza dei nitrati a causa della ridotta demolizione fotochimica
solforati	scarsa stagionalità con valori leggermente superiori alla media in primavera	a) prevalentemente proveniente da fonti localizzate in ambito regionale (soprattutto da impianti termo-elettrici per la produzione di energia) b) i valori superiori in primavera e estate sono riconducibili a una più veloce distribuzione delle masse d'aria su scala regionale e a un maggiore irraggiamento solare che rende più efficiente l'ossidazione atmosferica delle emissioni di biossido di zolfo a solfato
nitrati	ben definito massimo invernale con medie 2,5 volte superiori a quelle misurate nel periodo primaverile	a) derivano principalmente dall'ossidazione atmosferica degli ossidi di azoto emessi dai processi di combustione b) gli alti valori invernali possono essere spiegati principalmente con la differente importanza della sorgente riscaldamento nelle varie stagioni
ammonio	non definito carattere stagionale	a) prevalenti fonti locali (traffico, agricoltura, riscaldamento, processi industriali) b) il modesto aumento in inverno è prevalentemente da imputarsi alla scarsa circolazione verticale delle masse d'aria

Tabella 1.2.1. Montale: composizione e origine del particolato (fonte: Relazione finale progetto PATos, 2008)

Nel documento si evidenzia, inoltre, che:

- la componente secondaria del PM₁₀ risulta maggioritaria e di gran lunga superiore rispetto alla componente primaria nella stagione primaverile quando sono più probabili eventuali conversioni della componente primaria ad opera di reazioni fotolitiche. Nella stagione invernale, invece, la

componente primaria antropica (normalmente correlabile alla combustione, in particolare, di biomasse) supera (sebbene di poco, 7%) la componente secondaria.

- la componente naturale aumenta notevolmente durante la stagione primaverile diventando quasi paragonabile al contributo antropico primario mentre risulta sostanzialmente bassa nella stagione invernale.

I risultati delle analisi presentati nella relazione del progetto sui dati meteorologici e di concentrazione del PM₁₀ rilevati negli anni 2001-2004 dalla centralina di Montale e dalle altre centraline analizzate dallo studio possono essere così riassunti:

- la centralina di Montale (PT) presenta i valori di concentrazione più alti, con 70 superamenti del valore soglia, di cui 64 nel semestre freddo e solo 6 in estate (4 superamenti sono riconducibili all'evento di trasporto di sabbia del deserto). Nei giorni in cui è presente un vento sopra i 3 m/s i livelli di inquinamento sono decisamente più bassi, anche nel semestre freddo; la pioggia sopra i 10 mm ha anch'essa un importante effetto di riduzione (nello stesso giorno o nel successivo), ma in alcuni casi le concentrazioni di PM₁₀ superano comunque la soglia di 50 µg/m³
- è osservabile un forte andamento stagionale per il gruppo delle stazioni dell'entroterra, tra cui quella di Montale
- può essere individuata una vasta area che va da Firenze verso Prato e Pistoia e verso Empoli, in cui le misure delle centraline sono ben correlate. Calcolando il coefficiente di correlazione per i dati di medie giornaliere negli anni considerati (2001-2004) si verifica una sistematica buona correlazione (valori di $r > 0.85$) per le centraline esterne all'area urbana fiorentina ed in particolare per le centraline di Prato Roma e Fontanelle tra loro e insieme alle centraline di Empoli, Calenzano, Scandicci e Pistoia Montale. Le centraline dell'area urbana Bassi, Gramsci e Rosselli sono scorrelate da tutte le altre e anche tra loro. A queste considerazioni fa eccezione la stazione di Firenze Boboli che, pur con una certa variabilità negli anni, verifica un'alta correlazione con quasi tutte le centraline di misura ($r > 0.85$) dell'area. Una buona correlazione (coefficiente superiore a 0.8) si conferma per quasi tutte le centraline esterne all'area urbana di Firenze, con coefficienti di correlazione superiori a 0.9 per le coppie Roma – Fontanelle e Roma – Strozzi (provincia di Prato), Zamenhof – Montale (provincia di Pistoia) e Roma – Montale, Fontanelle – Montale, Strozzi – Montale.

Questo verifica anche la classificazione per tipo di stazione (traffico, industria, fondo), in quanto sia la bassa variabilità temporale riscontrata nelle stazioni di Boboli, Bassi, Calenzano, Montale e Strozzi che gli alti valori di correlazione che legano le centraline di Firenze a quelle di Empoli e Montale sembrano identificare una situazione di inquinamento diffuso e strettamente legato.

L'analisi condotta con diverse tecniche chimiche e fisiche su tutti i campioni prelevati presso la stazione di Montale ha permesso di ricostruire la composizione del particolato in tutti i giorni di campionamento e di individuare in modo indicativo le sorgenti principali del particolato.

Per individuare e quantificare con maggiore certezza le fonti di emissione sia naturali sia antropiche del PM10 è necessario analizzare i dati ottenuti tramite opportuni metodi di analisi statistica multivariata, detti modelli a recettore; allo stato attuale il modello più accreditato ed utilizzato a livello internazionale (ad es. da EPA, l'agenzia per la protezione dell'ambiente degli Stati Uniti) è il PMF (Positive Matrix Factorisation).

L'applicazione di tali modelli si basa sul fatto che le particelle di aerosol mantengono, entro certi limiti, la composizione chimica caratteristica della sorgente che le ha prodotte, perciò la rivelazione degli elementi e dei composti che costituiscono il particolato, realizzata su lunghe serie temporali, permette di ottenere importanti informazioni sulle fonti sia naturali sia antropiche del PM10.

A causa del limitato numero di campioni raccolti nella stazione di PT-Montale non è stato possibile effettuare un'analisi esauriente con il modello PMF (Positive Matrix Factorisation) per la caratterizzazione delle sorgenti emmissive. L'applicazione del PMF ha dato risultati solo approssimativi ma comunque utili a descrivere in maniera indicativa le principali sorgenti da cui derivano in massima parte le concentrazioni di PM10 rilevate presso la stazione di Montale. Si riportano di seguito i risultati:

Sorgenti di emissione	Percentuale sulla massa	Periodo di maggiore incidenza
Suolo	19%	primavera-estate
Impianti termoelettrici (solfati secondari)	10.5%	primavera-estate
Mare	5%	-
Combustione biomasse	32%	inverno
Traffico	18.5%	omogenea durante l'anno
Combustione di olii (contributo primario)	15%	estate

Tabella 1.2.2. Montale: applicazione incompleta del modello PMF

1.2.1.1 La correlazione tra i dati di concentrazione di PM10 e i parametri meteorologici

All'appendice 2 "Studio finalizzato all'individuazione dei parametri meteorologici in grado di influenzare in modo significativo i livelli di concentrazione di PM10" del progetto regionale P.A.Tos. Particolato Atmosferico In Toscana, viene riportato uno studio finalizzato all'individuazione, sulla base di misure rilevate nel corso di cinque anni (2000 – 2004), dei parametri meteorologici che influenzano in modo più significativo l'accumulo o la dispersione del PM10.

Il lavoro ha richiesto una prima analisi della base-dati costituita dalle misure di PM10 rilevate sull'intero territorio regionale dalla rete di monitoraggio gestita da ARPAT, e messe a disposizione dalla Regione Toscana, attraverso il sistema informativo SIRA. I risultati, ottenuti elaborando le matrici di correlazione ed applicando la Factor Analysis alle serie storiche delle concentrazioni di PM10 registrate nelle 47 centraline presenti sul territorio regionale, evidenziano due gruppi principali

con differenti comportamenti. Il primo gruppo, di cui fa parte la stazione di PT-Montale, è caratterizzato da un forte andamento stagionale, il secondo mostra un andamento pressoché costante: al primo tipo appartengono tutte le serie storiche misurate nelle stazioni dell'entroterra, al secondo tipo quelle relative a tre stazioni sulla costa. Un terzo gruppo di stazioni – ubicate comunque in prossimità della costa – mostrano un comportamento intermedio. Resta fuori da questo quadro un numero limitato di stazioni, che non possono essere accomunate a nessuno dei tre gruppi. In ogni caso, il risultato più sorprendente consiste nella possibilità di individuare tre gruppi, che caratterizzano la maggior parte delle serie storiche misurate sull'intero territorio regionale. Si può quindi ipotizzare una marcata influenza delle condizioni meteorologiche alla scala sinottica sui valori di concentrazione giornaliera di PM₁₀.

Quantitativamente, i valori di concentrazione hanno una marcata dipendenza spaziale, da cui si può supporre che le condizioni sinottiche determinino a scala regionale le condizioni favorevoli o meno all'accumulo degli inquinanti, ma che, in ciascuna area, le concentrazioni possano essere più o meno alte a seconda delle caratteristiche delle sorgenti emissive locali.

Nella seconda parte del lavoro sono state evidenziate le relazioni che legano alcuni parametri meteorologici – velocità del vento, temperatura, pioggia cumulata – ed i valori di concentrazione di PM₁₀. Dopo la selezione della base-dati meteorologica - sono state scelte le serie storiche dei dati misurati presso le sedi del LaMMA e presso l'aeroporto di Pisa - sono state determinati i coefficienti di correlazione tra parametri meteo e misure di PM₁₀. Successivamente sono stati individuati alcuni valori-soglia, in particolare per la pioggia cumulata su base giornaliera e per la velocità media del vento, anch'essa su base giornaliera. La scelta dei valori-soglia è stata effettuata valutando la riduzione percentuale delle condizioni di inquinamento critiche – presenza di valori di concentrazione di PM₁₀ superiori a 50 µg/m³ – in corrispondenza di condizioni in cui i valori degli indicatori meteorologici siano superiori a tali soglie.

In sintesi, per quanto riguarda la velocità del vento, è stato concluso che gli eventi influenti ai fini della riduzione delle concentrazioni siano quelli caratterizzati da un vento medio-forte, persistente per molte ore o addirittura qualche giorno: queste condizioni, generalmente, si verificano alla scala sinottica e non si tratta quindi di eventi locali. L'indicatore meteo “velocità media giornaliera del vento” risulta quindi caratterizzante delle condizioni meteo anche a scala sinottica, inoltre, per questo parametro sono stati individuati dei valori-soglia, variabili però in relazione alla stazione meteo scelta.

Per quanto riguarda l'indicatore temperatura media giornaliera, si distinguono due comportamenti diversi: nel primo gruppo di centraline si registrano valori di concentrazione decisamente più alti nel semestre freddo rispetto ai valori registrati nel semestre caldo, mentre nel secondo gruppo si evidenzia un andamento delle concentrazioni correlato con quello delle temperature. Ad una più attenta analisi, osservando gli stessi coefficienti di correlazione effettuati su base stagionale, si scopre che per le stazioni del primo gruppo esiste una marcata anticorrelazione durante il semestre

freddo ed una correlazione nel semestre caldo. Un controllo puntuale degli eventi di freddo più intenso nel periodo invernale confermano un corrispondente aumento delle concentrazioni nelle stazioni del primo gruppo: la causa di questo fenomeno è probabilmente imputabile alle emissioni da riscaldamento, che aumentano quando si registrano temperature più basse. Spesso, inoltre, quando si verificano episodi di freddo intenso, si instaurano anche condizioni stabili, favorevoli all'accumulo degli inquinanti.

Meno immediato è risultato interpretare la correlazione che lega la temperatura ed i valori di concentrazione nel semestre caldo: una possibile spiegazione potrebbe riguardare i meccanismi di formazione del particolato di origine secondaria, in cui l'intensità della radiazione solare svolge un ruolo fondamentale. Per le stazioni del secondo gruppo non si riscontrano differenze nei periodi invernale ed estivo: esiste sempre una evidente correlazione tra i dati di concentrazione e di temperatura; si sottolinea comunque che, trattandosi di misure di concentrazione rilevate in aree influenzate dal mare, la causa della correlazione con la temperatura potrebbe essere diversa da quella ipotizzata per le centraline del primo gruppo, magari da ricercarsi nei processi di formazione dell'aerosol marino; in entrambi i casi, comunque, si tratta di semplici ipotesi. Per quanto riguarda le misure di pioggia, sono stati individuati come indicatori la pioggia cumulata giornaliera (RAIN_mm) ed un secondo indicatore (g.d.RAIN_mm), che ha la funzione di correlare i valori di pioggia con i valori di concentrazione di PM10 registrati il giorno successivo all'evento di pioggia. Per entrambi gli indicatori, solo gli eventi di pioggia con intensità superiore ad una determinata soglia – ad esempio 10 mm – hanno un effetto sulle concentrazioni di PM10. Dal momento che l'intensità degli eventi di pioggia, soprattutto nei mesi estivi, può essere molto diversa sul territorio regionale, questi indicatori devono essere valutati sulla base di dati rilevati in zone vicine o comunque rappresentative delle aree in cui si trovano le centraline di monitoraggio.

1.2.1.2 Confronto dei risultati: Montale e le altre centraline di tipo fondo

Al fine di rendere maggiormente completo il quadro relativo all'origine delle polveri campionate presso la centralina e in mancanza di risultati definitivi e completi derivanti dall'applicazione del modello PMF si è ritenuto utile affiancare le conclusioni tratte nel progetto PaTos per Montale con quelle dedotte per le altre stazioni di fondo analizzate: Livorno-Maurogordato, Lucca-Capannori, Firenze-Bassi, Grosseto - URSS.

Si sottolinea il fatto che i risultati riportati nel seguente paragrafo, non essendo stati ottenuti dall'applicazione di una metodologia atta a individuare con sufficiente certezza le fonti di emissione correlabili alle diverse componenti chimiche ma solo tramite un semplice confronto con i risultati ottenuti dall'applicazione del modello per le altre stazioni indagate, devono essere considerati come meramente indicativi.

Nella tabella successiva vengono indicati i periodi dei campionamenti effettuati presso le stazioni di monitoraggio utilizzate per il confronto:

Stazione di monitoraggio	Tipologia stazione	Periodo di campionamento
Livorno-Maurogordato	PF	8 Settembre 2005 – 15 Settembre 2006
Lucca-Capannori	UF	8 Settembre 2005 – 4 Ottobre 2006
Firenze-Bassi	UF	8 Settembre 2005 – 4 Ottobre 2006
Grosseto - URSS	UF	23 Settembre 2005 – 3 Ottobre 2006

Tabella 1.2.1.2.1 Progetto PATos: periodi di campionamento nelle stazioni di fondo (eccetto Montale)

Di seguito viene riportata una tabella riassuntiva sui contributi percentuali delle componenti maggioritarie del PM10 riscontrati per le diverse stazioni nelle quattro stagioni (POM - Particulate Organic Matter, CE – Carbonio Elementare, secondari inorganici - solfati, nitrati e ammonio, crostale, marino, altro):

Stagione	Stazione	POM (%)	CE (%)	Secondari inorganici (%)	Crostale (%)	Marino (%)	Altro (%)
INVERNO	PT-Montale	64	3	20	8	2	3
	LI-Maurogordato	45	4	27	13	11	0
	LU-Capannori	50	5	21	12	4	7
	FI-Bassi	43	7	25	15	4	5
	GR-URSS	30	5	25	19	7	14
PRIMAVERA	PT-Montale	38	4	27	23	4	4
	LI-Maurogordato	23	1	33	19	8	16
	LU-Capannori	29	4	29	25	3	10
	FI-Bassi	39	6	25	26	2	1
	GR-URSS	21	4	32	28	4	11
ESTATE	PT-Montale	-	-	-	-	-	-
	LI-Maurogordato	25	3	31	26	8	7
	LU-Capannori	22	4	25	29	4	15
	FI-Bassi	25	4	23	29	2	17
	GR-URSS	23	4	26	34	5	8
AUTUNNO	PT-Montale	-	-	-	-	-	-
	LI-Maurogordato	40	3	22	13	8	14
	LU-Capannori	54	7	18	13	2	6
	FI-Bassi	44	13	21	16	2	4
	GR-URSS	40	10	19	20	3	8

Tabella 1.2.1.2.2 Progetto PATos: risultati della speciazione per le stazioni di fondo

Seppur sulla base di informazioni parziali per la stazione di Montale, si può osservare che nel periodo autunno - inverno è prevalente per tutte le stazioni indicate il contributo della componente organica (POM); in particolare emerge che, per il periodo invernale, la stazione di Montale è quella che presenta il massimo valore percentuale della componente organica mentre mostra valori simili alle altre stazioni per quanto riguarda il carbonio elementare.

Per il periodo primavera – estate si osserva un contributo simile per la componente organica, il carbonio elementare e la componente crostale le quali presentano contributi percentuali variabili tra il 20 e il 40%; in particolare in tale periodo il contributo percentuale della componente organica rilevato presso la stazione di Montale è tra i più alti, insieme a quello di FI-Bassi.

Per quanto riguarda l'aerosol secondario inorganico rilevato nei campioni raccolti nel corso del monitoraggio presso la stazione di Montale, è stata osservata la presenza di solfati in quantità scarsamente variabili con le stagioni, nitrati in quantità 2,5 volte superiori nel periodo invernale rispetto a quelle del periodo primaverile, ammonio con non definito carattere stagionale.

A partire dalle concentrazioni del carbonio elementare e della componente organica del carbonio è possibile dare una stima approssimativa di quale sia la frazione primaria dei composti organici del carbonio e quale quella secondaria; è così possibile stimare quali siano i contributi percentuali alla massa totale del PM10 della componente naturale (somma dello spray marino e della polvere naturale), dell'aerosol antropico di origine primaria (prevalentemente locale) e dell'aerosol secondario.

Di seguito viene riportata una tabella con i valori dei contributi percentuali delle componenti primarie e secondarie del PM10 riscontrate per le quattro stagioni presso ciascuna stazione analizzate:

Stagione	Stazione	Antropico primario (%)	Totale secondario (%)	Naturale (%)	n.r. (%)
INVERNO	PT-Montale	47	40	10	3
	LI-Maurogordato	38	38	24	0
	LU-Capannori	29	48	17	7
	FI-Bassi	29	47	19	5
	GR-URSS	24	36	26	14
PRIMAVERA	PT-Montale	29	41	26	4
	LI-Maurogordato	7	50	27	16
	LU-Capannori	21	41	28	10
	FI-Bassi	30	41	28	1
	GR-URSS	19	38	32	11
ESTATE	PT-Montale	-	-	-	-
	LI-Maurogordato	18	41	34	7
	LU-Capannori	17	34	33	15
	FI-Bassi	17	35	31	17
	GR-URSS	14	39	39	8
AUTUNNO	PT-Montale	-	-	-	-
	LI-Maurogordato	32	32	22	14
	LU-Capannori	36	43	15	6
	FI-Bassi	45	33	18	4
	GR-URSS	34	34	24	8

Tabella 1.2.1.2.3 Progetto PATos: tipologia sorgenti PM10 per le stazioni di fondo

Dai dati riportati in tabella si osserva che la componente secondaria risulta dominante nella stagione calda mentre è paragonabile alla primaria nei mesi più freddi. La componente naturale rimane all'incirca costante in tutte le stagioni.

In particolare, seppur sulla base di informazioni parziali per la stazione di Montale, si può osservare che, per il periodo invernale, la stazione di Montale è quella che presenta il massimo valore percentuale del contributo antropico primario mentre mostra valori simili alle altre stazioni per quanto riguarda il contributo secondario.

Per il periodo primaverile si osserva che il contributo percentuale della componente primaria rilevato presso la stazione di Montale è tra i più alti, insieme a quello di FI-Bassi mentre mostra valori simili alle altre stazioni per il contributo della componente secondaria.

Nella tabella seguente vengono riportati i risultati conseguiti con l'applicazione del modello PMF agli esiti delle analisi di speciazione ottenuti per le stazioni di fondo analizzate dal progetto PATos:

Stazione	Sorgenti identificate (PMF)	Componente relativa
LI-Maurogordato	Traffico e combustioni locali	Carbonio elementare e organico (correlato ad elementi traccianti quali Cu, Zn, K e Fe)
	Secondari regionali – impianti	Aerosol secondario inorganico – solfati
	Secondari locali - combustioni	Aerosol secondario inorganico – nitrati
	Aerosol crostale	Crostale
	Spray marino	Marino
LU-Capannori	Traffico veicolare	Carbonio elementare e organico (correlato ad elementi traccianti quali Cu, Zn, K e Fe)
	Secondari regionali – impianti termoelettrici e combustioni	Aerosol secondario inorganico – solfati secondari e POM secondario (in minor misura)
	Secondari locali - combustioni	Aerosol secondario inorganico – nitrati secondari e POM secondario (in minor misura)
	Combustione di biomasse	POM (caratterizzata da traccianti quali K - prodotto nella combustione della legna, glicolati e Cl)
	Aerosol crostale	Crostale
	Spray marino	Marino
FI-Bassi	Traffico veicolare	Carbonio elementare e organico (correlato ad elementi traccianti quali Cu, Zn, K e Fe)
	Secondari regionali – impianti termoelettrici e combustioni	Aerosol secondario inorganico – solfati secondari e POM secondario (in minor misura)
	Secondari locali - combustioni	Aerosol secondario inorganico – nitrati secondari e POM secondario (in minor misura), K - prodotto nella combustione della legna, glicolati e Cl (in minor misura)
	Aerosol crostale	Crostale
	Spray marino	Marino
GR-URSS	Traffico veicolare	Carbonio elementare e organico (correlato ad elementi traccianti quali Cu, Zn, K e Fe)
	Secondari regionali – impianti termoelettrici e combustioni	Aerosol secondario inorganico – solfati secondari (in parte correlati a V e Ni, tipici marker della combustione di olii)
	Secondari locali - combustioni	Aerosol secondario inorganico – nitrati secondari e POM secondario (in minor misura)
	Aerosol crostale	Crostale
	Spray marino	Marino

Tabella 1.2.1.2.4 Progetto PATos: risultati del modello PMF per le stazioni di fondo (eccetto Montale)

Dal confronto con quanto emerso dalle analisi di speciazione effettuate sui campioni raccolti nel corso dei monitoraggi effettuati presso le diverse centraline e in base ai risultati delle analisi statistiche effettuate con modello PMF (vedi tabella precedente), le principali fonti di emissione da cui sembra potrebbero avere origine le polveri PM10 rilevate dalla centralina di Montale sono:

- Traffico e combustioni locali (prevalenza di POM e aerosol secondario inorganico in particolare nel periodo invernale - in particolare si evidenzia un alto valore dei nitrati rispetto alle altre componenti)
- Impianti termoelettrici - secondari regionali (aerosol secondario inorganico – solfati secondari e POM secondario, in minor misura)
- Aerosol crostale (componente crostale)

Approfondimenti previsti

E' in corso di svolgimento un ulteriore approfondimento degli argomenti trattati con il progetto PATOS (DGRT n. 623 del 22-07-2013 "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"); lo studio della caratterizzazione chimica del particolato atmosferico in Toscana è stata estesa con il nuovo progetto alla frazione dimensionale del PM_{2,5} al fine di valutare lo stato di qualità dell'aria regionale in seguito all'attuazione degli interventi previsti del Piano Regionale di Risanamento e Mantenimento della qualità dell'aria, PRRM 2008-2010. Questo obiettivo viene realizzato attraverso l'individuazione e la quantificazione di sorgenti naturali e antropiche del PM_{2.5} e la loro variazione nel tempo in funzione dell'attivazione degli interventi previsti nel PRRM e dei mutati scenari emissivi. Obiettivi del progetto sono anche la quantificazione delle condizioni meteorologiche ed in particolare dell'altezza dello strato di inversione termica in relazione ai livelli di concentrazione misurati di PM₁₀ e PM_{2,5}, la messa a punto di modellistica per corretta valutazione delle reazioni chimiche connesse alla natura secondaria del materiale particolato fine, avere informazioni sulla concentrazione numerica delle Particelle Ultra Fini (PUF) e sulla loro composizione e natura e mantenere aggiornato il data base sull'inventario regionale delle sorgenti di emissione. I principali risultati attesi del nuovo progetto sono:

- aumentare le conoscenze sulla distribuzione di dettaglio spaziale e temporale, dei livelli di concentrazione del materiale particolato fine PM₁₀ e PM_{2,5} attraverso misure con mezzi mobili sulle varie zone della Regione Toscana al fine di verificare l'efficacia degli interventi di risanamento e mantenimento della qualità dell'aria contenuti nel PRRM
- la determinazione della composizione chimica, fisica (impronta isotopica) e morfologica del particolato PM_{2,5} nelle varie aree della regione al fine della speciazione e della valutazione della natura del particolato (primaria, secondaria, etc.)
- l'utilizzo metodologia PMF (Positive Matrix Factorisation) per l'identificazione delle principali sorgenti di emissione del materiale particolato fine a partire dalle informazioni sulla composizione chimica, impronta isotopica e morfologica del particolato stesso
- aumentare le conoscenze scientifiche sui potenziali livelli di esposizione a Particelle Ultra Fini generate dal traffico urbano e ricerca delle eventuali correlazioni tra le concentrazioni in numero

delle PUF ed i parametri normativi correntemente misurati ($\mu\text{g}/\text{m}^3$ di concentrazione di PM_{10} e $\text{PM}_{2,5}$) al fine di migliorare le stime del contributo della componente traffico di questi parametri

- la messa a punto, taratura e verifica, dei modelli per la simulazione delle reazioni chimiche che si svolgono in atmosfera per la formazione di particolato secondario utilizzando la modellistica diffusionale comparata con i livelli di concentrazione e con la composizione chimica del particolato misurata nelle varie aree della regione. Valutazione delle correlazioni tra le condizioni meteorologiche e l'accadimento, la persistenza e la spazialità di episodi con elevate concentrazioni
- la misura dello strato di inversione termica (Planetary Boundary Layer) in alcune zone del territorio regionale al fine di verificarne la dinamica e sua correlazione con le concentrazioni di particolato atmosferico del PM_{10} e $\text{PM}_{2,5}$ al suolo
- l'individuazione di marker specifici e valutazione del contributo ai livelli di materiale particolato fine di natura secondaria delle emissioni derivanti dalle centrali geotermoelettriche

In particolare l'approfondimento relativo alla stazione di PT-Montale riguarderà, tra l'altro, l'utilizzo della metodologia PMF (Positive Matrix Factorisation) al fine di identificare le principali sorgenti di emissione del materiale particolato fine a partire dalle informazioni sulla composizione chimica, impronta isotopica e morfologica del particolato stesso.

1.2.2 Polveri sottili e inceneritore di Montale: documento di valutazione congiunta ARPAT-ASL 3

In relazione alla problematica della valutazione del contributo dell'inceneritore di Montale alle concentrazioni di PM_{10} rilevate dalla centralina di qualità dell'aria di PT-Montale, era stata sollevata da parte di vari enti (ASL 3, Regione, Provincia di Pistoia e Comune di Montale) la necessità di approfondire il tema; a marzo del 2012 è stato predisposto un documento congiunto contenente una relazione dettagliata sull'argomento presentata al Comune ed alla Provincia di Pistoia (2).

Di seguito vengono sinteticamente riassunti i punti salienti di tale documento:

- > I valori di PM_{10} rilevati dalla centralina per il monitoraggio della qualità dell'aria di Montale sono sempre stati piuttosto elevati, tanto che nel 2011 si sono riscontrati 65 superamenti della soglia giornaliera di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ben oltre il limite di legge di 35 giorni di superamento. Proprio per la particolarità dei dati PM_{10} rilevati, la stazione di Montale era stata inserita nella rete regionale. La qualità dei dati della centralina è stata più volte indagata da ARPAT, anche nel corso del 2012, con verifiche sistematiche dell'accuratezza della misura del PM_{10} le quali hanno confermato la qualità dei dati prodotti dall'analizzatore di PM_{10} di Montale;
- > Come è possibile rilevare dai risultati dei controlli effettuati da ARPAT e dagli autocontrolli del gestore, l'impianto, nel normale funzionamento, è caratterizzato da emissioni reali di polveri (PTS) inferiori ad $1 \text{ mg}/\text{Nm}^3$ e nettamente inferiori anche al limite imposto nella autorizzazione. Si tratta di valori che, considerata la diluizione che i fumi necessariamente

subiscono dopo l'immissione in atmosfera, non possono determinare incrementi significativi del PM10;

- > Una parte del PM10 rilevato dalle stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria deriva da complesse reazioni chimico-fisiche che possono avvenire in atmosfera a partire da inquinanti gassosi e che conducono alla formazione di PM10 definito secondario. Questo PM10 secondario si può formare in relazione alle condizioni meteorologiche a distanza di giorni e in luoghi anche lontani dal punto di emissione. Tra questi inquinanti, gli ossidi di azoto risultano tra i maggiori precursori di PM10 secondario. In base ai dati rilevati dal campionamento in continuo, dai controlli di ARPAT e dagli autocontrolli del gestore, l'impianto è caratterizzato da emissioni di NOx che, su base annua (anno di riferimento, 2011), risultano essere pari a circa 35 t/anno (circa il 23% delle emissioni di NOx presenti nel comune di Montale, in base alle stime dell'inventario regionale delle sorgenti di emissione, IRSE 2007). Sulla base dei dati rilevati con il progetto PATOS presso la stazione di Montale, si osserva che il contributo al PM10 secondario riferibile in parte anche agli ossidi di azoto, è pari a $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (stima media annua), con un massimo di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nel periodo invernale. Anche se tutto il PM10 secondario si originasse dagli ossidi di azoto, il contributo dell'inceneritore al PM10 secondario nel periodo invernale potrebbe essere al massimo il 23% di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ cioè inferiore a $2,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$; considerando, poi, che il contributo dello ione nitrato costituisce nel periodo invernale circa il 50% del particolato secondario, il contributo attribuibile all'inceneritore risulterebbe al massimo di poco superiore a $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$;
- > I dati disponibili sulla qualità dell'aria rilevata dalla centralina di Montale e quelli sulle caratteristiche delle attuali emissioni dell'inceneritore di Montale attentamente analizzati confermano, quindi, 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;
- > ARPAT e ASL, considerati gli elevati valori di PM10 rilevati nella stazione di monitoraggio della qualità dell'aria di Montale, ritengono necessario aumentare le conoscenze riguardo all'estensione territoriale della problematica ed alle cause di tale anomale concentrazioni. Questo miglioramento di conoscenze è utile ad individuare gli interventi più efficaci da perseguire per ridurre significativamente i livelli di inquinamento nella zona. A questo è necessario pervenire con uno studio appositamente progettato che comprenda un'analisi di dettaglio delle fonti di pressione presenti sul territorio, correlandole alla diffusività atmosferica ed alla composizione del PM10.

1.2.3 Classificazione della diffusività atmosferica nella conca intermontana Firenze – Prato – Pistoia

Nel presente paragrafo vengono riportati brevemente i risultati di uno studio effettuato nel 2000 dal Laboratorio per la Meteorologia e la Modellistica Ambientale (La.M.M.A.) sulla classificazione della diffusività atmosferica nella Regione Toscana (“Classificazione della diffusività atmosferica nella regione Toscana”) (3). Tale studio era inquadrato nell’ambito delle attività svolte dalla Regione Toscana per la tutela della qualità dell’aria, finalizzate in particolare ad una classificazione del territorio regionale per quanto riguarda le condizioni di inquinamento atmosferico. Per tale classificazione, oltre all’analisi dei valori dei principali inquinanti rilevati dalle stazioni di monitoraggio ambientale, risulta, infatti, utile uno studio climatologico del territorio.

La conoscenza dei parametri meteorologici che corrispondono a condizioni di maggiore o minore turbolenza nei bassi strati dell’atmosfera può essere di supporto nello studio della diffusione degli inquinanti. Riveste quindi un particolare interesse l’individuazione di aree in cui si possono verificare con maggiore frequenza condizioni critiche per la diffusione degli inquinanti. Scopo di tale lavoro è stato pertanto quello di determinare un metodo per effettuare una classificazione dell’intero territorio della regione Toscana in base alle diverse condizioni di diffusività atmosferica.

La classificazione è stata condotta prendendo in esame, come parametri meteoclimatici, l’intensità del vento e la turbolenza atmosferica, utilizzando i dati misurati dalle stazioni meteorologiche dislocate sul territorio. Al fine di operare una classificazione su base comunale, è stato attribuito a ciascuna stazione un gruppo di comuni, rappresentati dalle caratteristiche diffusive rilevate dalla stazione stessa. Una volta calcolate le percentuali di accadimento per le classi di stabilità e le classi di velocità del vento, è stato individuato un criterio per determinare un indice di sintesi delle caratteristiche di diffusività atmosferica. Sono stati calcolati due indici parziali, relativi alla stabilità (indice di stabilità) e all’intensità del vento (indice di intensità del vento), e da questi è stato ricavato un unico indice di diffusività, calcolato come media dei due indici.

Si riporta di seguito la mappa degli indici di diffusività atmosferica per ciascun comune della Regione Toscana prodotta dallo studio del LaMMA:

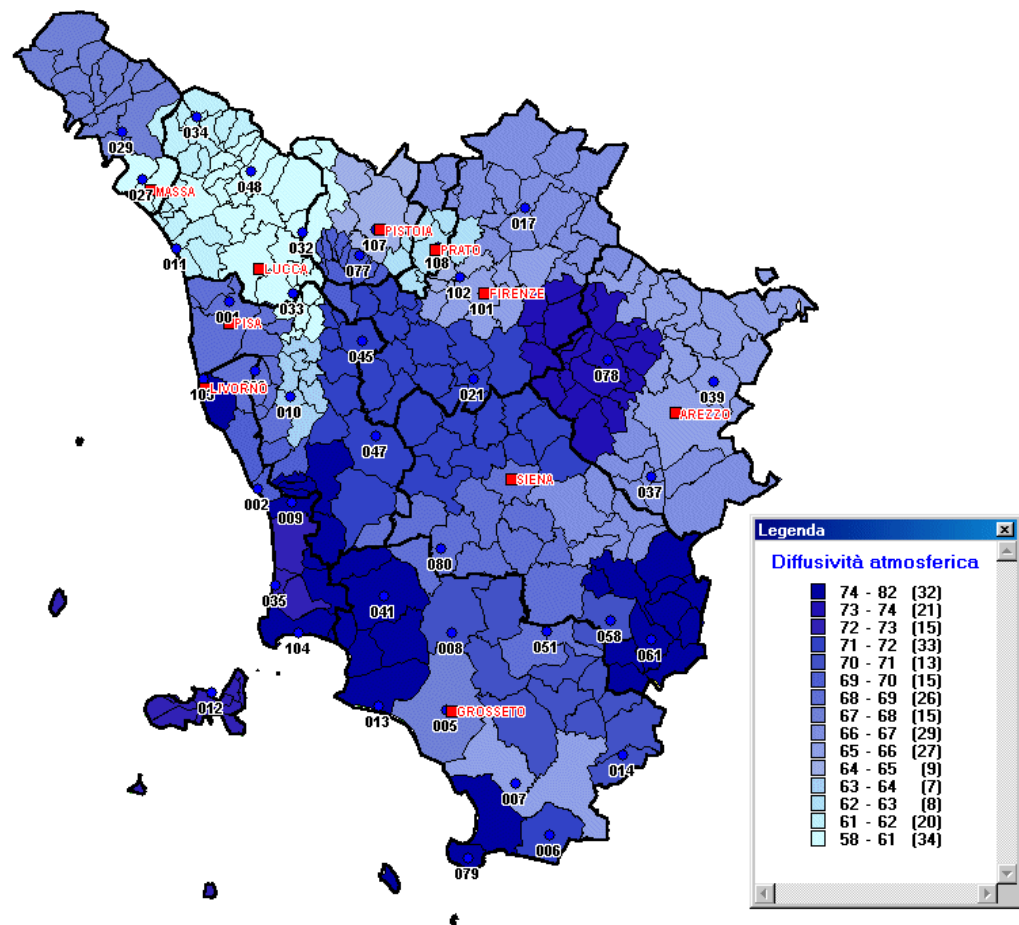


Figura 2.2.3.1 Rappresentazione degli indici di diffusività atmosferica per i comuni della Toscana

Il territorio regionale è stato, quindi, suddiviso in base a tre diverse categorie di classificazione, intese come diffusività alta, media e bassa (vedi figura successiva):

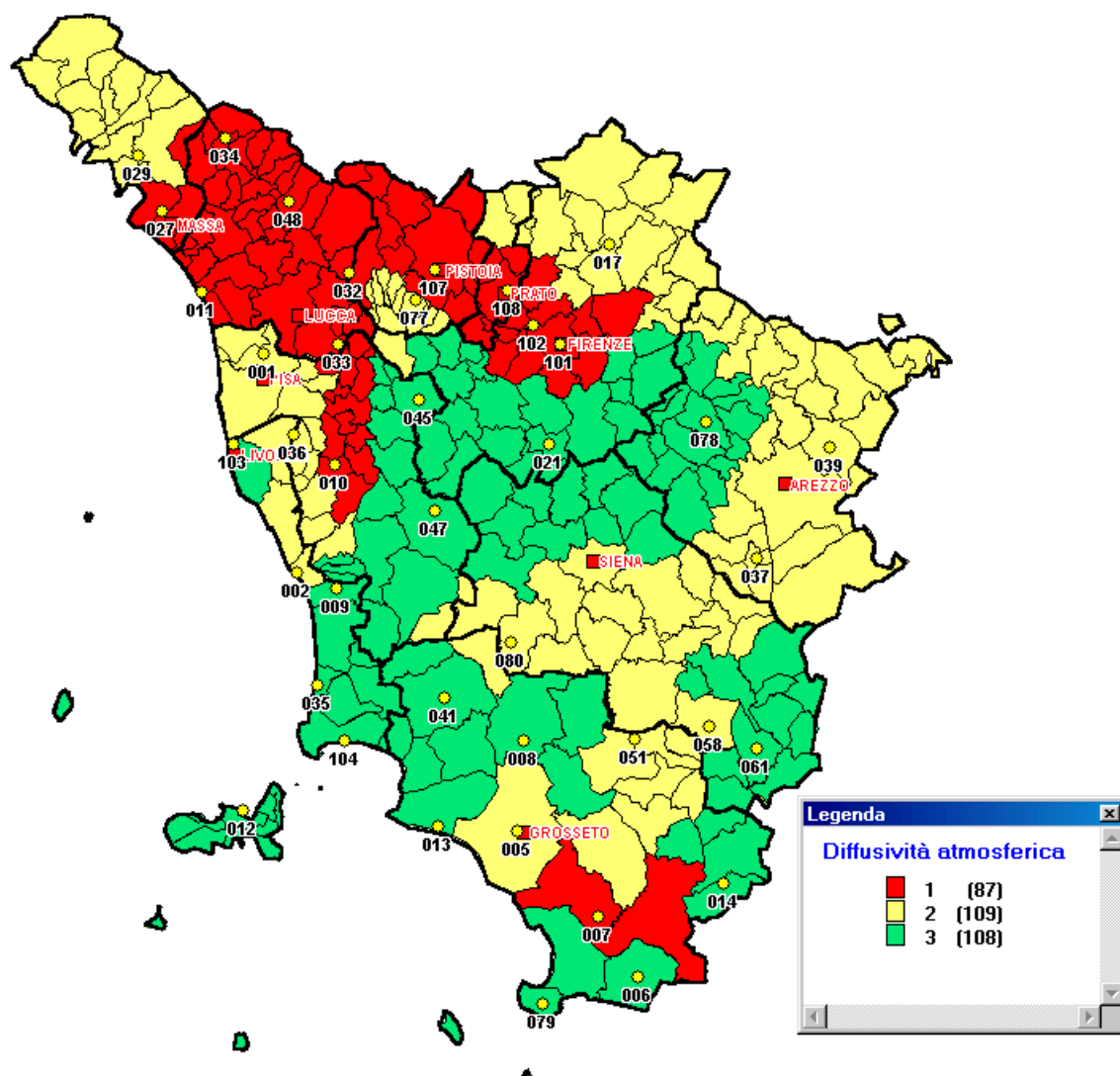


Figura 2.2.3.2 Rappresentazione delle classi di diffusività atmosferica per i comuni della Toscana

Dalle mappe sopra riportate si può osservare che la conca intermontana di Firenze, Prato e Pistoia fa interamente parte della prima classe di diffusività atmosferica che include tutte le aree a ridotta diffusività atmosferica (classe 1); in particolare dalla mappa degli indici di diffusività atmosferica (figura 2.2.3.1) 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.

1.2.4 Progetto MoDiVaSET

Il progetto MoDiVaSET si inserisce nell'ambito della convenzione tra Regione Toscana e l'Università degli studi di Firenze – Dipartimento di Energetica per lo sviluppo e l'applicazione dei modelli

diffusionali nell'ambito dei piani di risanamento della qualità dell'aria, con particolare attenzione all'area metropolitana di Firenze – Prato – Pistoia (4).

Lo scopo del progetto è stato quello di sviluppare metodologie modellistiche finalizzate a simulare la dispersione in atmosfera di PM₁₀, NO_x e SO_x nell'area metropolitana di Firenze – Prato – Pistoia; obiettivo ultimo del progetto risulta la valutazione di diversi scenari emissivi nell'area di riferimento. L'area di studio prescelta è quella riportata nella figura successiva comprendente la zona che si estende da Incisa a Montecatini in direzione est-ovest e da Barberino del Mugello a Castelfiorentino in direzione nord-sud, per un'estensione totale di 40x49 km².

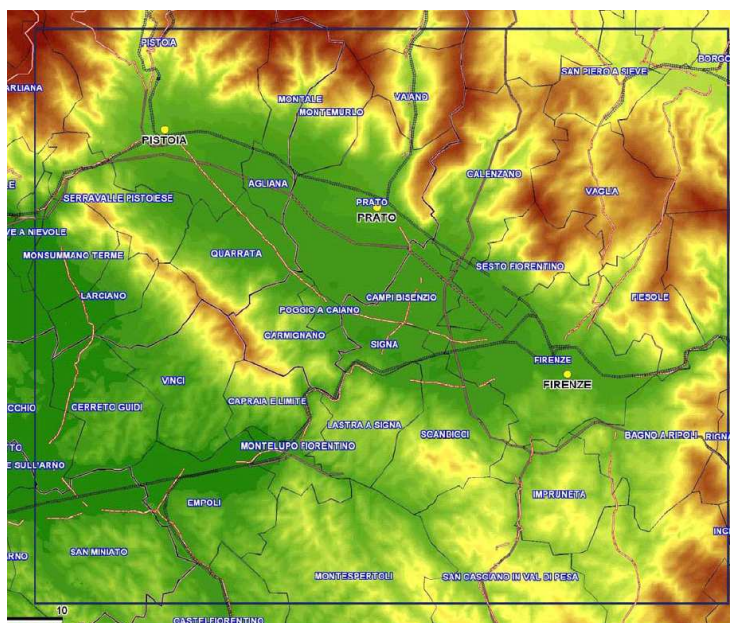


Figura 2.2.4.1. Area di studio del Progetto MoDiVaSET

Le sorgenti emissive presenti nell'area di studio sono state caratterizzate, per lo scenario base, a partire dai dati presenti nell'Inventario Regionale delle Sorgenti Emissive (IRSE 2003). Tali sorgenti sono state suddivise in tre tipologie: le principali sorgenti puntuali, le principali sorgenti lineari (le autostrade A1 ed A11), e le altre sorgenti emissive (simulate come sorgenti areali diffuse); quest'ultima categoria comprende tutte le sorgenti minori non considerate nelle categorie precedenti.

Nello studio vengono presentati i risultati relativi alle simulazioni effettuate in modalità "inquinante inerte" con CALINE4, SAFE AIR e ADMS-Urban successivamente validati anche sulla base dei risultati forniti dal LaMMA relativamente alle simulazioni con CALPUFF e CALGRID.

Sono stati, inoltre, presentati i risultati relativi alle simulazioni in modalità "inquinante reattivo" effettuate con CAMx.

In particolare, a conclusione dello studio viene affermato che, nonostante l'applicazione dei vari modelli scelti abbia fornito risultati incoraggianti per la previsione del carico di inquinanti nell'area di studio, si sono evidenziati tre elementi critici fondamentali:

1. le stazioni di monitoraggio sono spesso posizionate in aree geometricamente molto complesse (effetti di scala locale), ciò diminuisce l'efficacia degli studi di validazione;
2. la non inclusione delle sorgenti esterne al dominio di studio e, quindi, delle concentrazioni di background regionale e continentale è sicuramente uno degli elementi che provoca la sistematica differenza tra valori misurati e calcolati; questo è vero soprattutto per il PM10, per il quale ci si aspettano maggiori livelli di background (proprio per il PM10 sono state evidenziate le maggiori differenze);
3. i livelli di PM10 primario, come evidenziato anche dallo studio tramite CAMx, sono solo una quota parte della concentrazione totale di particolato fine; oltre al background regionale di cui sopra, buona parte del PM10 urbano è prodotto da trasformazioni chimiche e altri fenomeni fisici (ad esempio la risospensione).

I risultati dello studio effettuato appaiono interessanti, non solo relativamente alle conclusioni tratte in relazione ai modelli utilizzabili per la simulazione della concentrazione degli inquinanti in atmosfera nella zona di Firenze – Prato – Pistoia, ma anche relativamente alle conclusioni generali sopra riportate; lo studio, infatti, evidenzia e conferma due risultati interessanti già emersi in altri studi aventi obiettivi molto diversi dal progetto MoDiVaSET: i livelli di concentrazione dei vari inquinanti valutati nel dominio di studio, ma soprattutto del PM10, sono influenzati dal background regionale e continentale ossia da sorgenti di emissione non presenti nella zona oggetto dello studio, inoltre i livelli di PM10 primario rilevati (come evidenziato anche dallo studio tramite CAMx) sono solo una quota parte della concentrazione totale di particolato fine in quanto parte dei livelli di concentrazione rilevati per il PM10 derivano da PM10 di origine secondaria (oltre al background regionale di cui sopra, parte del PM10 è prodotto da trasformazioni chimiche e altri fenomeni fisici).

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”

In seguito ad alcuni episodi di superamento dei limiti emissivi di diossine e furani da parte dell'impianto di incenerimento di RSU di Montale, l'amministrazione provinciale ha costituito un tavolo istituzionale composto dalla stessa Provincia di Pistoia, dai Comuni di Montale, Agliana e Quarrata, da ARPAT, dall'Azienda USL 3 e dall'ATO 5; tale gruppo di lavoro ha provveduto ad attivare un tavolo tecnico costituito da ARPAT e Azienda USL che predisponesse un piano di monitoraggio ambientale e sanitario nei comuni di Montale, Agliana e Montemurlo.

Il progetto predisposto dal tavolo tecnico “Indagine ambientale e sanitaria nelle aree poste in prossimità dell'impianto di incenerimento di RSU di Montale” (5) ha avuto come obiettivo, tra gli altri, quello di acquisire adeguate conoscenze relative allo stato dell'ambiente circostante l'impianto di incenerimento di RSU di Montale nonché di valutare lo stato di salute della popolazione esposta alle sue emissioni. Un ulteriore obiettivo del progetto è quello di permettere di seguire, nel tempo, l'evolversi degli aspetti ambientale e sanitario, anche in considerazione delle modifiche impiantistiche ad oggi ipotizzate per l'impianto. Il progetto ha, inoltre, curato gli aspetti

dell'informazione e comunicazione partecipata con la popolazione ed i suoi organismi di rappresentanza.

Le aree e le popolazioni oggetto di studio sono state quelle prossime all'impianto di incenerimento di RSU di Montale e quindi ricomprese nei territori dei comuni di Montale, Agliana e Montemurlo.

Nel suo complesso lo studio si è composto di cinque linee progettuali ognuna delle quali costituita da una o più azioni. Di seguito si riporta una citazione sintetica delle linee progettuali e delle relative azioni:

Linea progettuale/azione	Descrizione	Scopi
LP1	Evoluzione dell'impianto e delle sue emissioni	Conoscere lo stato dell'ambiente circostante l'inceneritore e definire il contributo dell'inceneritore e delle altre possibili fonti emissive presenti nel territorio
LP2	Indagine ambientale	Caratterizzare l'incidenza delle emissioni degli inquinanti emessi dall'inceneritore e la loro successiva ricaduta su alcune matrici ambientali come suolo e vegetazione
A2.1	Controllo delle emissioni	Acquisire informazioni sulle emissioni prodotte dall'impianto di incenerimento di Montale e valutare i contributi di altre fonti emissive presenti nell'area Valutare le prestazioni e la gestione del sistema di monitoraggio in continuo delle emissioni (SMCE) installato presso l'impianto e esaminare i dati di letteratura relativi alla efficacia dei sistemi di campionamento in continuo per microinquinanti organici
A2.2	Campionamento di suoli e vegetazione	- Verificare la previsione fornita dai modelli matematici circa la ricaduta al suolo degli inquinanti di maggiore persistenza ambientale emessi dall'impianto di incenerimento di RSU di Montale attraverso il campionamento e la successiva analisi dei suoli - Verificare, attraverso il campionamento e la successiva analisi delle foglie di Conifere, l'eventuale presenza di PCDD e PCDF sulla cuticola cerosa esterna delle stesse (deposizione recente) o nel loro parenchima fogliare (deposizione pregressa)
A2.3	Analisi di suoli e vegetazione	Implementazione dei modelli per la rappresentazione cartografica di fattori di pressione legati alle emissioni pregresse grazie alle informazioni acquisite con le campagne di rilevamento e indagine dei suoli
A2.4	Biomonitoraggio	Valutare la qualità dell'aria dell'ambiente circostante l'inceneritore mediante tecniche di Biomonitoraggio (Bioindicazione e Bioaccumulo) che stimano gli effetti combinati di più inquinanti sulla componente biologica
LP3	Emissione di inquinanti e produzioni alimentari	Quantificare l'eventuale presenza di inquinanti nelle carni e nelle produzioni animali che siano di accertata provenienza dalle zone che, la modellistica validata, indica come interessate dalla possibile ricaduta delle sostanze emesse dall'inceneritore di Montale
LP4	Indagine sanitaria	Sorveglianza sanitaria di tutta la popolazione potenzialmente esposta, indipendentemente dalla Azienda USL di residenza. Verrà monitorato lo stato di salute dei residenti dei Comuni di Agliana, Montale e Montemurlo
A4.1	Stato di salute della popolazione	Elaborazione dei dati immediatamente disponibili con particolare riferimento alla mortalità.

A4.2	Definizione di un protocollo per la valutazione di impatto sanitario	- Valutazione di altri dati riconducibili a flussi regionali e nazionali (ad es. le schede di dimissioni ospedaliere, i certificati di nascita, le segnalazioni di malformazioni alla nascita, le prestazioni ambulatoriali etc.) e integrazione di tali banche dati al fine di meglio delineare il profilo di salute delle popolazioni dei tre comuni secondo un modello predisposto allo scopo. - Valutazione degli aspetti connessi alla georeferenziazione dei dati.
LP5	Comunicazione	Definizione di un sistema di comunicazione con gli stakeholder e la popolazione in merito alla "Indagine ambientale e sanitaria nelle aree poste in prossimità dell'impianto di incenerimento di RSU di Montale"
A5.1	Rapporti con i cittadini	Organizzazione di incontri periodici aperti al pubblico (con cadenza indicativamente trimestrale) per illustrare i risultati dei principali risultati dell' "Indagine"
A5.2	Informazioni e sito web	- Individuazione di una lista di stakeholder considerati quali interlocutori privilegiati della nostra comunicazione e reperimento indirizzi di posta elettronica - Predisposizione di una sezione del sito web dell'A.R.P.A.T. dedicata alla "Indagine ambientale e sanitaria nelle aree poste in prossimità dell'impianto di incenerimento di RSU di Montale" - Invio di una comunicazione mail agli stakeholder con i risultati dei vari elaborati prodotti nell'ambito della "Indagine" via via che sono disponibili - Aggiornamento della sezione del sito web con i risultati dei vari elaborati prodotti nell'ambito della "Indagine" via via che sono disponibili

Tabella 1.2.5.1. Schema delle linee progettuali e delle relative azioni del progetto

Il progetto ha avuto una durata di circa 3 anni (2008 – 2010) e ha avuto termine alla fine dell'anno 2010. Le conclusioni del progetto possono essere così brevemente riassunte:

Il progetto "Indagine ambientale e sanitaria nelle aree poste in prossimità dell'impianto di incenerimento di RSU di Montale" è il primo studio sistematico del territorio circostante l'inceneritore di Montale e, quindi, non si dispone di un adeguato termine di paragone che permetta di definire il reale contributo delle possibili fonti degli inquinanti indagati. Il termine di riferimento dato dalla normativa è tutto ciò di cui si dispone, anche se esso definisce il limite inquinato/non inquinato e non individua, né esclude, i contributi delle diverse sorgenti.

Pur con queste limitazioni, gli ambiti entro cui ricercare possibili relazioni di causa/effetto tra la sorgente emissiva dell'inceneritore ed i contaminanti al suolo indicati dall'estensione areale del modello di ricaduta, appaiono solo in parte confermati.

Per contro, lo studio ha confermato un contesto territoriale fortemente antropizzato evidenziando aree caratterizzate da elementi di alterazione dovuti ad altre e, in molti casi, più importanti sorgenti emmissive: tra tutte la stessa autostrada A11 e, più in generale, il traffico veicolare, ma certamente anche altre fonti che, ad oggi, non è stato ancora possibile individuare.

In altre parole, la condizione ambientale riscontrata 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.

1.2.6 Studio delle caratteristiche della localizzazione della stazione di PT - Montale (indice β)

Nel documento "PM10 in Toscana - Studio propedeutico alla verifica della rappresentatività delle stazioni di monitoraggio" (riportato all'[allegato 1](#)) predisposto da ARPAT su richiesta della Regione Toscana al fine di integrare e approfondire le informazioni utilizzate per la definizione dell'elenco dei comuni critici, viene effettuato un approfondimento sulla rappresentatività dei dati monitorati estendendo ad un livello territoriale più ampio i dati puntuali delle stazioni di monitoraggio di fondo.

In appendice al documento vengono, inoltre, presi in considerazione alcuni studi di letteratura che hanno lo scopo di valutare la rappresentatività delle stazioni di monitoraggio e di estendere i dati misurati a porzioni di territorio più ampie attraverso tecniche di interpolazione geostatistiche. Questi studi sono basati su un indice, denominato indice β , che riassume le caratteristiche di uso del suolo nell'intorno di una stazione, combinate con le emissioni dell'inquinante di interesse. L'indice β è stato calcolato, in via sperimentale, anche per tutte le stazioni di fondo tra le quali anche quella di PT-Montale.

1.2.6.1 Rappresentazione schematica dei livelli di PM10 nella zona Prato - Pistoia

La relazione tra le pressioni e lo stato di qualità dell'aria, rappresentato dalle misure puntuali dei livelli di PM10, è il passaggio necessario per la definizione di una rappresentatività spaziale dei dati. Tuttavia, in attesa dello sviluppo di una catena modellistica che possa costituire per il territorio della Regione Toscana il riferimento mancante in merito alla distribuzione spaziale dei dati di qualità dell'aria ma anche come contributo alla realizzazione del quadro conoscitivo nell'esercizio - proprio delle funzioni dell'Agenzia - di valutazione dei dati di monitoraggio, sono state effettuate alcune valutazioni.

Le medie annuali disponibili per ogni zona sono state riportate su mappa con un raggio di rappresentatività ipotetico basato sui requisiti di rappresentatività previsti dalla normativa per tipologia di stazione:

- stazioni di fondo urbano: area di qualche km²
- stazioni di traffico: 100 metri lungo il bordo della strada
- stazioni industriali: area di un quadrato di 250 m per lato

Sulla scala territoriale trattata le stazioni di traffico e le stazioni industriali portano un contributo puntuale, mentre per le stazioni di fondo sia urbano che periferico o rurale si è scelto di adottare un raggio pari a 3 km che, se è vero che sottende un'area abbastanza estesa rispetto a quanto sostenuto dalla normativa per una stazione di fondo ben posizionata, permette di attribuire una certa copertura territoriale con i dati di fondo disponibili.

Il ragionamento proposto nel documento associa il valore di PM10, attribuito alla superficie di 30 km²

intorno alla stazione, a tutto il territorio del Comune che la contiene. Se tale superficie attraversa più comuni, il dato viene esteso a tutti i comuni interessati.

Si tratta come detto di una trattazione molto semplificata e proprio per questo motivo l'unico indicatore considerato è la media annuale che, risultando da un periodo di mediazione lungo, si può considerare un indicatore meno sensibile alle oscillazioni statistiche e con componenti di variazione spaziale gradualmente, almeno nell'ambito delle zone omogenee in cui è suddiviso il territorio regionale. Il numero di superamenti non viene considerato perché, anche se integrato su un anno, si basa su episodi giornalieri e soprattutto su un valore di soglia per cui due livelli di media giornaliera, anche molto vicini tra loro, possono determinare in un caso il superamento nell'altro il non superamento della soglia.

Considerando quindi le medie annuali delle sole stazioni di fondo, calcolate come media dell'indicatore su tutti gli anni disponibili nel periodo preso a riferimento (2007-2011), è stata definita una tabella che contiene i dati di base delle rappresentazioni cartografiche presentate nel documento. Il valore di fondo di zona è stato assunto pari alla media annuale minima registrata nel quinquennio considerato.

Ai fini del presente studio, si riportano di seguito i risultati ottenuti per la sola zona Prato – Pistoia:

Fondo di zona		22 ¹		
Comune		Montale	Pistoia	Prato
Stazione		PT-Montale	PT- Signorelli	PO-Roma
Tipo		RF	UF	UF
Livelli media annuale	10-19			
	20-24			
	25-29		26	29
	30-34			
	35-39	38		
	>=40			

Tabella 1.2.6.1.1 – PM10 livelli di fondo per la zona Prato – Pistoia medie quinquennali

Con il termine “fondo di zona” viene definito un livello di fondo che si aggiunge al fondo regionale di PM10 e che rappresenta il contributo della combinazione di tutte le fonti di una zona che concorrono a determinare un livello di base di PM10 da considerarsi come il livello minimo raggiungibile per la zona. In questo senso la scelta di valore di fondo come valore minimo misurato nel quinquennio considerato risulta essere coerente con la definizione. Il valore di fondo è naturalmente suscettibile di variazioni, ad es. per modifiche sostanziali delle condizioni di emissione, ma è ipotizzabile che variazioni significative siano osservabili soltanto a lungo termine.

¹ Per quanto riguarda l'area geografica, classificata come conca intermontana, che comprende l'Agglomerato di Firenze e la Zona Prato Pistoia, si è ritenuto di attribuire un unico livello di fondo proprio in considerazione della continuità fisica della piana. La media annuale minima per tale area è stata registrata nel 2010 nella stazione di FI-Bassi (UF).

Nella zona di Prato e Pistoia le stazioni di fondo, 1 rurale e 2 urbane, sono tutte confluite in rete regionale. Si tratta di PT-Montale, PT-Signorelli e PO-Roma.

Livelli medi di PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

1	10-19
2	20-24
3	25-29
4	30-34
5	35-39
6	≥ 40

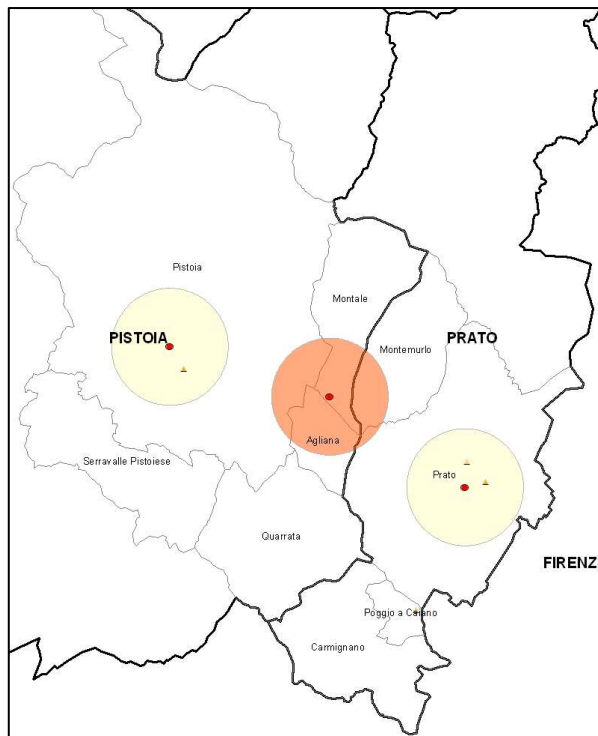


Figura 1.2.6.1.1. Rappresentazione grafica del raggio di rappresentatività per le stazioni di fondo della zona Prato - Pistoia

La stazione di Montale presenta livelli quantomeno interessanti di PM10 rispetto a quanto ci si attenderebbe dal grado di urbanizzazione e dai livelli di pressione che insistono sul comune. La stazione è stata appositamente inserita in rete regionale in quanto oggetto di approfondimenti riguardo alla affidabilità e rappresentatività spaziale del dato. In base ai criteri adottati, l'attribuzione di livelli medi di PM10 per la zona risulta la seguente:

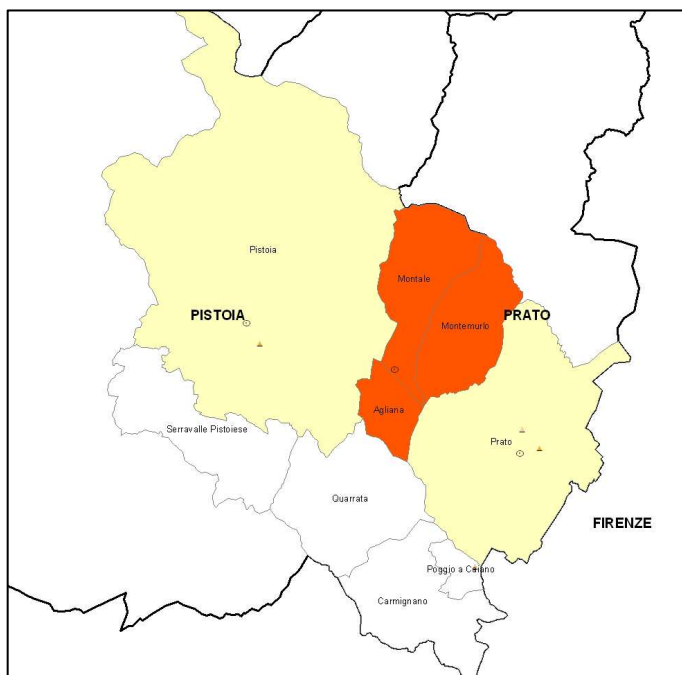


Figura 1.2.6.1.2. Livelli medi di PM10 nella zona Prato - Pistoia

Per la zona Prato - Pistoia si individua una distribuzione dei livelli di PM10 in fasce di concentrazione medio alte, anche se i massimi livelli di concentrazione (Montale) non coincidono con i comuni a maggiori pressioni emissive.

1.2.6.2. Calcolo dell'indice β per le stazioni della zona Prato - Pistoia

L'indice β è un parametro che può essere associato ad ogni stazione di monitoraggio e che esprime le caratteristiche della localizzazione della stazione stessa sintetizzando in un unico valore le informazioni sull'uso del suolo e sulle pressioni emissive locali.

Calcolo dell'indice β

L'indice β è stato proposto ed utilizzato in Belgio per la valutazione della rappresentatività spaziale delle stazioni (1a) e per l'interpolazione dei dati di qualità dell'aria (2a). Esso viene calcolato in un raggio di 2 km intorno alla stazione.

$$\beta = \log \left[1 + \frac{\sum_i a_i \cdot n_{RCLi}}{\sum_i n_{RCLi}} \right]$$

n_{RCLi} = numero di pixel nella i-esima classe Corine Land Cover

a_i = coefficiente collegato alle emissioni per la classe i-esima, utilizzato per pesare l'importanza di una particolare classe di uso del suolo rispetto alle concentrazioni degli inquinanti in aria.

L'indice β deve essere perciò calcolato per ogni inquinante di interesse. Al fine di stabilire una relazione tra il potenziale inquinante e le classi di uso del suolo, le classi CLC sono raggruppate in 11 categorie ed abbinate ai settori EMEP delle attività che producono emissioni in atmosfera.

La correlazione tra classi di uso del suolo e settori EMEP è riportata nel dettaglio alle pagine seguenti.

Una volta calcolato per ciascuna stazione l'indice β esso viene messo in relazione con la media annuale di PM10, calcolata come media dell'indicatore su più anni solari. I coefficienti a_i stimati inizialmente attraverso le emissioni nazionali di PM10, vengono ricalcolati ottimizzando la correlazione tra β ed i dati di qualità dell'aria.

Utilizzo dell'indice β per valutare la rappresentatività spaziale di un sito – applicazione alla zona Prato - Pistoia

Al fine della valutazione della rappresentatività, l'indice β viene calcolato sulle celle di una griglia di 3x3 km² ricadenti in un raggio di 7,5 km intorno alla stazione. La rappresentatività è valutata in base ai parametri statistici di variabilità di β all'interno della griglia (valore massimo, valore minimo, media, deviazione standard, valore di β calcolato per la stazione) che viene assunta come indicativa della variabilità del dato di qualità dell'aria. In questo senso l'indice può essere utilizzato per valutare la rappresentatività della stazione su un'area continua intorno alla stazione

I lavori citati riguardano in particolare il territorio del Belgio dove la distanza media tra le stazioni è di 25 km e le metodologie descritte non sembrano del tutto applicabili alla situazione Toscana.

Tuttavia l'idea di utilizzare un indice β così concepito è stata ripresa per la valutazione della rappresentatività delle stazioni anche da ENEA, nell'ambito di una collaborazione con Ministero CNR e ISS, finalizzata all'avvio delle reti speciali di cui al D.Lgs 155/2010.

Tutta la trattazione effettuata di seguito ha come oggetto il PM10 perciò l'indice β è stato calcolato sul raggio di 3 km con una parametrizzazione legata alle emissioni di PM10 della zona di appartenenza della stazione. Di seguito sono riportati alcuni dettagli del calcolo effettuato.

Nelle tabelle successive sono esplicitati i dati di base utilizzati: le classi Corine Land Cover con la relativa aggregazione in macroclassi secondo l'algoritmo proposto per il calcolo di β , ed i macrosettori EMEP, utilizzati per fornire una prima stima dei coefficienti a_i . I colori riportati in legenda sono utilizzati in tutte le mappe che seguono nel documento.

I risultati del calcolo sono riportati in tabella 1.2.6.2.4.

EMEP CORINAIR - Nomenclatura SNAP97

MACROSETTORE 1	Combustione: Energia e Industria di Trasformazione
MACROSETTORE 2	Combustione non industriale
MACROSETTORE 3	Combustione nell'industria
MACROSETTORE 4	Processi produttivi
MACROSETTORE 5	Estrazione e distribuzione di combustibili fossili/ geotermia
MACROSETTORE 6	Uso di solventi e altri prodotti
MACROSETTORE 7	Trasporto su strada
MACROSETTORE 8	Altre sorgenti mobili e macchinari
MACROSETTORE 9	Trattamento e smaltimento rifiuti
MACROSETTORE 10	Agricoltura
MACROSETTORE 11	Altre sorgenti e assorbimenti

Tabella 1.2.6.2.1 – Dati di base - macrosettori EMEP

CORINE3

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

Tabella 1.2.6.2.2. Dati di base - classi Corine Land Cover (aggregazione in macroclassi per il calcolo di β)

Coefficiente	Cod. Corine3	Descrizione	Cod. EMEP	Descrizione	Valore
a1	111	Aree residenziali continue	M2	Combustione non industriale	1
a2	112, 141, 142	Aree residenziali discontinue e aree verdi artificiali	M2	Combustione non industriale	1
a3	121	Aree industriali commerciali e di servizi	M3, M4	Combustione nell'industria e Processi produttivi	(M3+M4)/M2
a4	122	Reti stradali ferroviarie e infrastrutture	M7	Trasporto su strada	M7/M2
a5	123	Aree portuali	M8	Altre sorgenti mobili e macchinari	M8/M2
a6	124	Aeroporti	M8	Altre sorgenti mobili e macchinari	M8/M2
a7	131-133	Zone estrattive, cantieri, discariche	M1,M4,M5,M9	Combustione energia e industria di trasformazione /Processi produttivi/ Estrazione e distribuzione di combustibili fossili/ geotermia /Trattamento e smaltimento rifiuti	(M1+M4+M5+M9)/M2
a8	211-213	Seminativi	M10	Agricoltura	M10/M2
a9	222-223, 231, 241-243	Zone agricole	M10	Agricoltura	M10/M2
a10	311-313, 321-324, 331-334	Zone boscate e ambienti seminaturali	M11	Altre sorgenti e assorbimenti	M11/M2
a11	411, 421, 511-512, 521	Zone umide e corpi idrici	M11	Altre sorgenti e assorbimenti	M11/M2

Tabella 1.2.6.2.3. Dati per la stima iniziale dei coefficienti per il calcolo di β)

Zona	Stazioni	Indice β
Zona Prato-Pistoia	Signorelli	0,173
	Montale	0,174
	Roma	0,256

Tabella 1.2.6.2.4. Valori risultanti di β per le stazioni di fondo della zona Prato - Pistoia, secondo la metodologia originale

Il calcolo si limita alla stima iniziale dell'indice senza ulteriore ottimizzazione dei coefficienti attraverso la ricerca statistica del miglior fit tra β e i dati di PM10.

Questa prima elaborazione, effettuata utilizzando le corrispondenze tra uso del suolo e macrosettori EMEP, ha messo in luce la sottovalutazione della sorgente traffico in particolare e del contributo emissivo delle aree urbane più in generale. Il macrosettore 7 viene infatti associato al solo utilizzo del suolo come reti stradali ferroviarie e infrastrutture (codice CORINE 122) che copre aree generalmente trascurabili o scarsamente significative. Il macrosettore 7 comprende, invece, anche tutto il traffico urbano che, tra l'altro, è una componente significativa delle emissioni da aree urbane sia continue che discontinue. Limitandoci nel nostro caso alla stima iniziale dell'indice β e non effettuando quindi l'ottimizzazione dei coefficienti, si è ritenuto importante modificare questa relazione associando ai coefficienti 1 e 2 relative al tessuto urbano, oltre al riscaldamento domestico, la componente urbana delle emissioni da traffico.

Così facendo il macrosettore 7 viene scorporato in due componenti: la componente urbana $7u$ e quella extraurbana o autostradale $7nu$ e la stima dei coefficienti per il calcolo di β viene effettuata come illustrato nella seguente tabella.

Coefficiente	Cod. Corine3	Descrizione	Cod. EMEP	Descrizione	Valore
a1	111	Aree residenziali continue	M2, M7u	Combustione non industriale, Trasporto su strada (urbano)	1
a2	112, 141-142	Aree residenziali discontinue e aree verdi artificiali	M2, M7u	Combustione non industriale, Trasporto su strada (urbano)	1
a3	121	Aree industriali commerciali e di servizi	M3, M4	Combustione nell'industria e Processi produttivi	$(M3+M4)/(M2+M7u)$
a4	122	Reti stradali ferroviarie e infrastrutture	M7nu	Trasporto su strada	$M7nu/(M2+M7u)$
a5	123	Aree portuali	M8	Altre sorgenti mobili e macchinari	$M8/(M2+M7u)$
a6	124	Aeroporti	M8	Altre sorgenti mobili e macchinari	$M8/(M2+M7u)$
a7	131-133	Zone estrattive, cantieri, discariche	M1, M4, M5, M9	Combustione energia e industria di trasformazione /Processi produttivi/ Estrazione e distribuzione di combustibili fossili/ geotermia /Trattamento e smaltimento rifiuti	$(M1+M4+M5+M9)/(M2+M7u)$
a8	211-213	Seminativi	M10	Agricoltura	$M10/(M2+M7u)$
a9	222-223, 231, 241-243	Zone agricole	M10	Agricoltura	$M10/(M2+M7u)$
a10	311-313, 321-324, 331-334	Zone boscate e ambienti seminaturali	M11	Altre sorgenti e assorbimenti	$M11/(M2+M7u)$
a11	411, 421, 511-512, 521	Zone umide e corpi idrici	M11	Altre sorgenti e assorbimenti	$M11/(M2+M7u)$

Tabella 1.2.6.2.5. Dati per la stima dei coefficienti secondo la modifica proposta

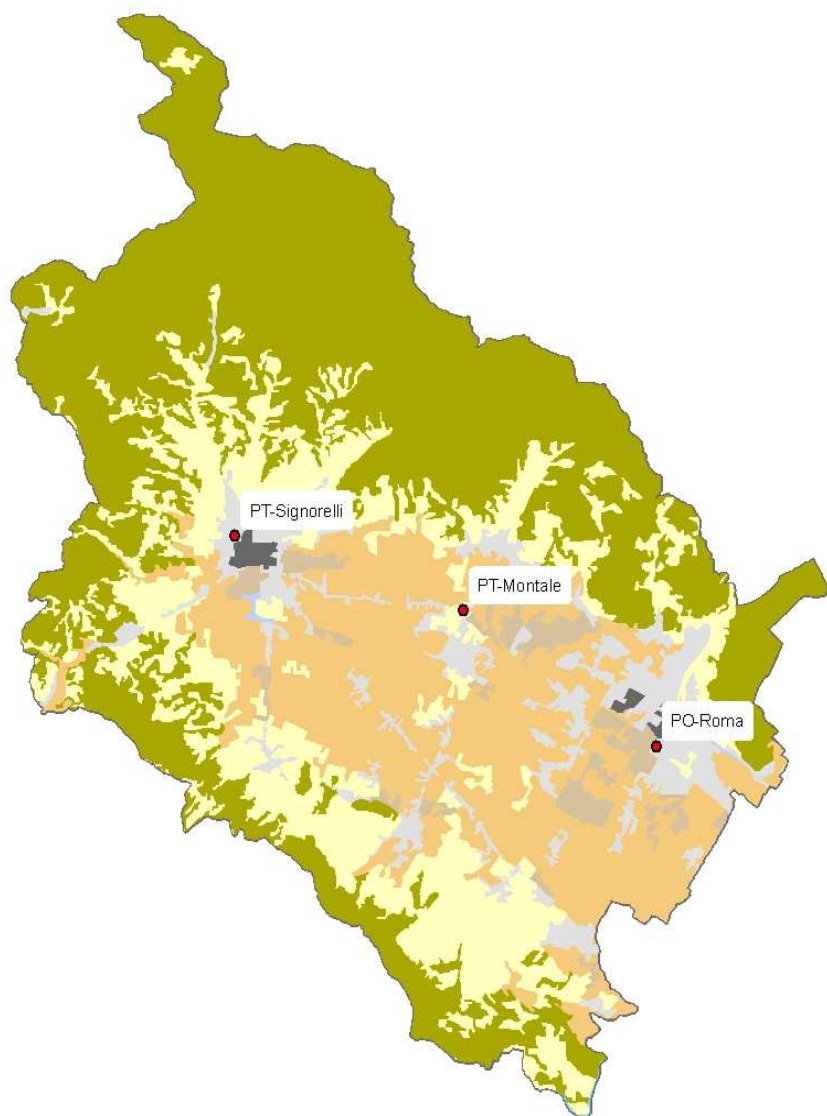
Di seguito sono riportati i risultati del calcolo di β ottenuti per la sola zona Prato - Pistoia con la metodologia modificata sintetizzati in una scheda grafica. Nelle scheda sono riportati:

per zona:

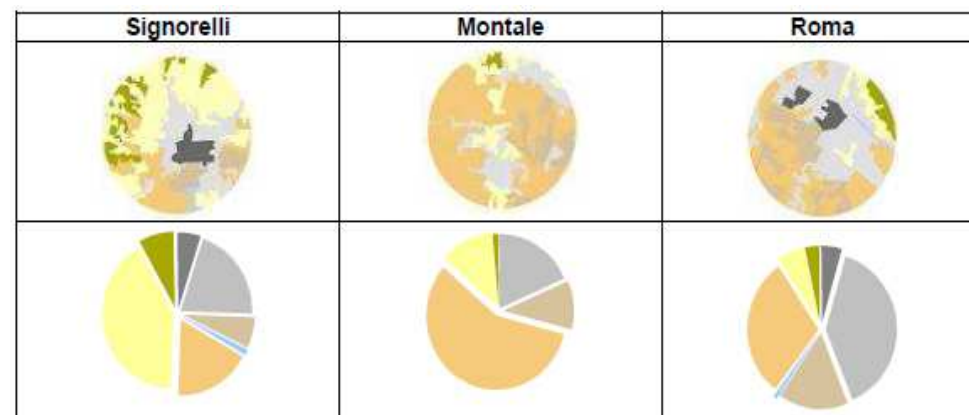
- la mappa complessiva di uso del suolo della zona, secondo le aggregazioni e la legenda della tabella sulla quale sono indicate le stazioni prese in considerazione
- le emissioni di PM10 per macrosettore in t/anno relative alla zona

e per stazione:

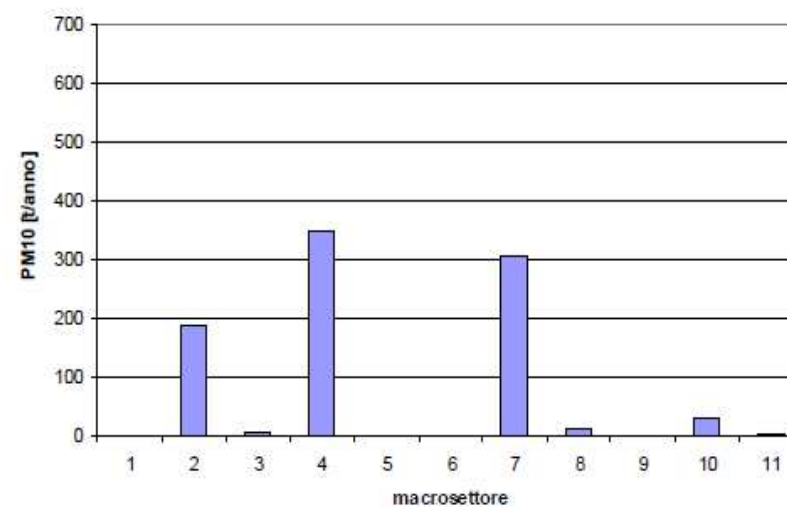
- la rappresentazione dell'uso del suolo nella superficie di raggio prescelto. Le immagini relative ad ogni stazione rappresentano perciò la superficie della mappa di uso del suolo ritagliata nel raggio di 3 km intorno alle coordinate geografiche della stazione stessa.
- la ripartizione percentuale su tale superficie delle aree ricoperte dalle varie tipologie di uso del suolo (% urbana, agricola naturale ecc.), rappresentata con grafico a torta



Indice beta



Emissioni zona Prato Pistoia



0,144	0,137	0,218

L'analisi della correlazione tra il valore medio di PM10 misurato da tutte le stazioni di fondo e l'indice β di uso del suolo calcolato in un raggio di 3 km intorno alla centralina effettuata per tutte le stazioni di fondo di ciascuna zona ha portato alla classificazione delle caratteristiche di dispersione dei siti di monitoraggio esaminati in quattro categorie a seconda del fondo di zona cui è esposta la stazione individuato dallo studio e delle caratteristiche di dispersione del sito in cui la stazione è ubicata. In particolare, per la zona Prato – Pistoia, le stazioni di PT-Signorelli e PO-Roma rientrano nella categoria delle stazioni collocate in un'area con fondo alto e in siti che presentano condizioni di dispersione favorevoli mentre la stazione di PT-Montale è collocata nella stessa zona con fondo alto ma in un sito con condizioni di dispersione più sfavorevoli.

Le conclusioni cui si giunge nello studio "PM10 in Toscana - Studio propedeutico alla verifica della rappresentatività delle stazioni di monitoraggio" sembrano dare una buona interpretazione del fatto che le stazioni di Signorelli e Roma pur essendo collocate in una zona con alti indici di pressione per il PM10 registrino valori medio-alti di concentrazione rispetto a tutte le stazioni di fondo analizzate mentre la stazione di Montale, pur essendo collocata nella stessa zona, registri valori di concentrazione del PM10 molto elevati rispetto alla media delle stazioni di fondo analizzate.

1.3 Analisi dei dati disponibili: la qualità dell'aria nella zona Prato-Pistoia

Il monitoraggio della qualità dell'aria e dei parametri meteorologici effettuato presso le centraline fisse e con i mezzi mobili nella zona Prato - Pistoia ha prodotto negli anni numerosi dati; nei paragrafi successivi verranno analizzati i dati di concentrazione di PM10 monitorati nel corso degli ultimi anni (2005-2013). I dati delle campagne sono da considerarsi significativi in questo contesto proprio perché portano un contributo di conoscenza in zone non monitorate, ma devono essere valutati con le dovute cautele. Infatti essi hanno una valenza diversa dai valori misurati in stazioni fisse con una copertura di almeno il 90% dell'anno di riferimento. Per quanto riguarda la media si ottiene un valore che può rappresentare approssimativamente la media annuale solo quando la campagna si è svolta secondo determinati requisiti di copertura temporale sia quantitativi che di distribuzione nelle diverse stagioni dell'anno solare. A livello normativo i requisiti di qualità per le campagne indicative prevedono una copertura minima del 14% con distribuzione equa nell'arco dell'anno interessando tutte le stagioni e su base settimanale. Nella presente analisi i dati sono proposti con il significato di valori medi di campagna in quanto, per riferirsi ad un'informazione il più possibile completa, sono prese in rassegna tutte le campagne effettuate nel periodo senza distinzione per durata e rappresentatività temporale. Il numero di superamenti, relativo al periodo del monitoraggio, non può essere valutato in quanto ancora più sensibilmente dipendente dal periodo in cui la campagna si è svolta e ancora meno confrontabile con i limiti annuali rispetto alla media. Il dato dei superamenti riferito a livello annuale richiederebbe operazioni poco affidabili di estrapolazione.

I valori misurati presso le stazioni fisse di fondo della zona evidenziano una situazione tranquillamente al di sotto dei limiti per quanto riguarda Pistoia-Signorelli, mentre la stazione di Prato, che pure rispetta il limite della media annuale per tutto il periodo osservato, si assesta su valori più elevati e presenta un numero di superamenti vicino ed in alcuni casi superiore al limite. Ciò probabilmente dipende in parte dal maggior grado di urbanizzazione rispetto a Pistoia ed in parte dalla maggiore influenza del centro attrattore fiorentino.

L'anomalia di questa zona è rappresentata dalla stazione di Montale, stazione rurale di fondo 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.

Dai dati di PM10 rilevati nel corso delle campagne di monitoraggio effettuate con mezzo mobile nella zona Prato-Pistoia si osserva che le campagne si collocano in genere al di sotto della media di periodo per le stazioni delle province di Prato e Pistoia rilevate nei vari anni; tra i valori rilevati il più elevato è relativo ad una campagna svolta interamente in periodo invernale a Poggio a Caiano nella postazione di traffico urbano di via Soffici. Nella stessa postazione campagne prolungate o distribuite su tutto l'arco dell'anno, svolte negli anni successivi, hanno fornito valori medi decisamente inferiori.

1.3.1 Analisi dei dati di monitoraggio delle stazioni di rete regionale e provinciale nella zona Prato-Pistoia

Di seguito vengono esaminati i valori di PM10 misurati nella zona Prato-Pistoia sia presso le stazioni di rete regionale che in quelle provinciali nel corso degli anni 2005-2013, nonché nel corso delle campagne effettuate con mezzi mobili.

Nella tabella seguente per ciascun comune appartenente alla zona Prato-Pistoia viene indicata la media annuale dei dati di monitoraggio distinta per tipologia: REG dati da stazioni di rete regionale, PROV dati da stazioni di rete provinciale. Può verificarsi il caso che in alcuni comuni siano contemporaneamente presenti dati delle diverse tipologie. Nella tabella successiva viene riportato, invece, il numero di superamenti. Sono state riportate solo le serie di dati che raggiungono il rendimento annuale del 90%².

² copertura temporale minima (al netto delle perdite di dati dovute alla taratura periodica o alla manutenzione ordinaria) in accordo con i criteri di qualità definiti nella normativa vigente

Stazione	Rete	Tipo	Prov.	Comune	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
PO-Roma	REG	UF	PO	Prato	31	39	*	26	25	31	30	30	27
PO-Ferrucci	REG	UT	PO	Prato	*	*	*	32	34	33	35	31	30
PT-Montale	REG	RF	PT	Montale	40	40	42	39	*	*	34	34	29
PT-Signorelli	REG	UF	PT	Pistoia	**	**	**	**	*	26	25	24	23
PT-Zamenhof	PROV	UT	PT	Pistoia	38	37	35	34	35	31	***	***	***
PO-Strozzi	PROV	UT	PO	Prato	29	36	35	27	28	32	***	***	***
PO-XX Settembre	PROV	UT	PO	Poggio a C.	44	38	35	34	31	31	***	***	***

Tabella 1.3.1.1. Medie annuali PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – zona Prato - Pistoia

Stazione	Rete	Tipo	Prov.	Comune	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
PO-Roma	REG	UF	PO	Prato	50	72	*	29	27	30	43	43	35
PO-Ferrucci	REG	UT	PO	Prato	*	*	*	41	51	45	50	44	37
PT-Montale	REG	RF	PT	Montale	77	76	82	70	*	*	65	63	45
PT-Signorelli	REG	UF	PT	Pistoia	**	**	**	**	*	19	25	22	28
PT-Zamenhof	PROV	UT	PT	Pistoia	74	65	61	51	57	41	***	***	***
PO-Strozzi	PROV	UT	PO	Prato	30	59	52	35	31	36	***	***	***
PO-XX Settembre	PROV	UT	PO	Poggio a Caiano	96	65	40	39	53	34	***	***	***

Tabella 1.3.1.2. Numero di superamenti della soglia annuale di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ come concentrazione media giornaliera di PM10 – zona Prato - Pistoia

* L'indicatore non è disponibile perché la serie di dati relativa non ha raggiunto il 90% di dati validi come richiesto dalla norma

** Analizzatore non presente nella stazione

*** Monitoraggio non effettuato - la stazione non fa parte della rete regionale di monitoraggio della qualità dell'aria, attiva dall'anno 2011 (DGRT 1025/2010)

Analizzando in particolare i dati monitorati dalle stazioni di fondo presenti nella zona Prato – Pistoia (tra queste si trovano anche quelle di tipo “urbana” sulla base delle cui misurazioni viene determinato il livello medio di concentrazione che riflette l'esposizione della popolazione - indicatore di esposizione media), si osserva per tutte le centraline che i superamenti del limite giornaliero di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ si riscontrano prevalentemente nel periodo invernale sebbene in generale si registri presso la centralina di Montale un numero di superamenti generalmente maggiore.

I valori calcolati per le medie annuali di PO-Roma non sono troppo dissimili da quelli rilevati a PT-Montale mentre si può notare una notevole differenza con quelli di PT-Signorelli, inferiori rispetto alle altre due centraline. Sebbene i valori di media annuale della stazione di Prato e quelli di Montale non siano molto diversi tra loro si può osservare una notevole differenza tra i valori della media invernale; nel periodo invernale, infatti, i dati di concentrazione di PM10 registrati dalla centralina di Montale presentano valori anche molto elevati i quali danno origine a medie invernali con valori anomali rispetto a quelli delle altre centraline di fondo della zona (vedi grafici e tabelle successive).

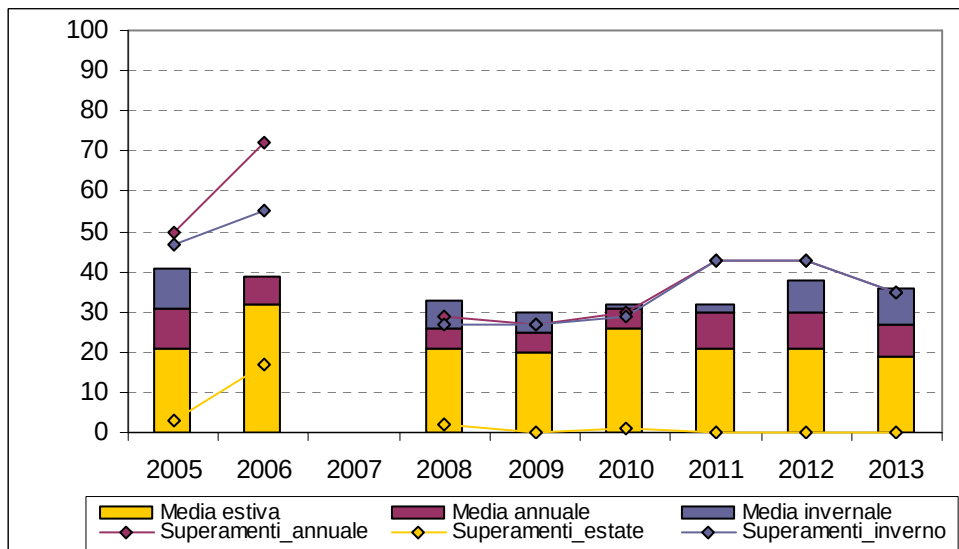


Figura 1.3.1.1. PO-Roma - Andamenti medie ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) e numero superamenti

PO-ROMA		2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
	media annuale	31	39	34	26	25	31	30	30	27
	media estiva	21	32	23	21	20	26	21	21	19
	media invernale	41	39	41	33	30	32	32	38	36
	superam anno	50	72	**	29	27	30	43	43	35
	superam estate	3	17	**	2	0	1	0	0	0
	superam inverno	47	55	**	27	27	29	43	43	35

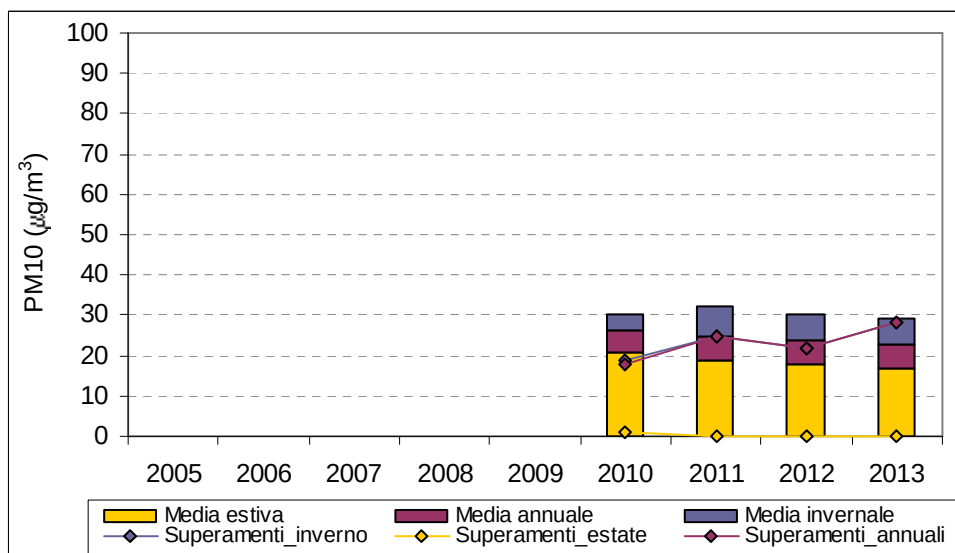


Figura 1.3.1.2. PT-Signorelli - Andamenti medie e numero superamenti

PT-SIGNORELLI		2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
	media annuale	*	*	*	*	**	26	25	24	23
	media estiva	*	*	*	*	**	21	19	18	17
	media invernale	*	*	*	*	**	30	32	30	29
	superam anno	*	*	*	*	**	19	25	22	28
	superam estate	*	*	*	*	**	1	0	0	0
	superam inverno	*	*	*	*	**	18	25	22	28

* Analizzatore PM10 assente

** Numero dati validi < 90%

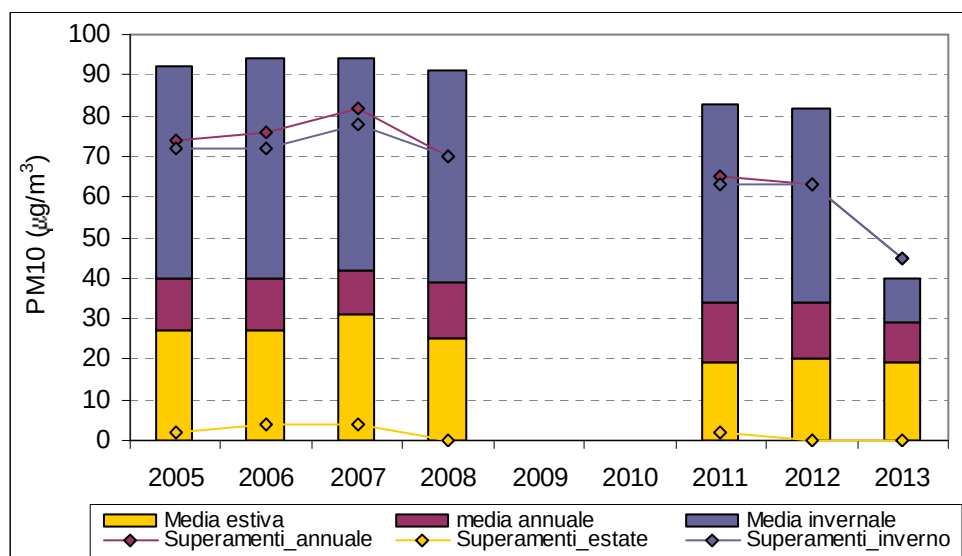


Figura 1.3.1.3. PT-Montale - Andamenti medie (µg/m³) e superamenti

		2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
PT-MONTALE	media annuale	40	40	42	39	*	*	34	34	29
	media estiva	27	27	31	25	*	*	19	20	19
	media invernale	92	94	94	91	*	*	83	82	40
	superam anno	74	76	82	70	*	*	65	63	45
	superam estate	2	4	4	0	*	*	2	0	0
	superam inverno	72	72	78	70	*	*	63	63	45

* Numero dati validi < 90%

Il valore del rapporto tra la media invernale e quella estiva rilevato per la stazione di Montale risulta essere molto sbilanciato verso la media invernale la quale risulta essere, per tutti gli anni, circa 3 – 4 volte superiore a quella estiva (ad eccezione dell'anno 2013). Tale rapporto non si rileva, invece, per le altre stazioni di fondo della zona Prato – Pistoia (PO – Roma e PT – Signorelli) per le quali la media invernale risulta essere al massimo due volte superiore rispetto a quella estiva (vedi grafico successivo).

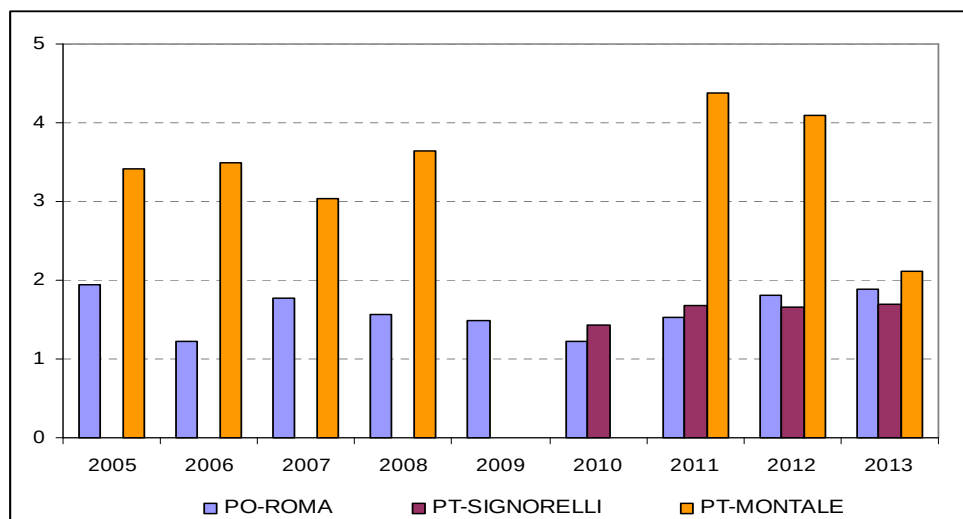


Figura 1.3.1.4. Rapporto media invernale/media estiva PM10

I dati riportati evidenziano il rispetto dei limiti nella stazione di Pistoia (PT- Signorelli), mentre nella stazione di Prato (PO-Roma), che pure rispetta il limite della media annuale per tutto il periodo osservato, si rilevano valori della media annuale più elevati e un numero di superamenti della media giornaliera vicino ed in alcuni casi superiore al limite. Anomala appare la stazione di Montale.

Vista la singolarità dei livelli di PM10 riscontrati presso la centralina di PT-Montale, si è proceduto al confronto tra i livelli di concentrazione del PM10 e i livelli di concentrazione dell'NO₂ registrati presso la stazione; il rapporto tra i due inquinanti può, infatti, variare molto a seconda delle fonti, antropiche o naturali, che incidono in modo diretto o indiretto sulla qualità dell'aria monitorata. Per la stazione di Montale si può osservare un rapporto PM10/NO₂ molto sbilanciato rispetto al PM10 il quale risulta avere una media relativamente agli anni 2005 – 2013 in media circa due volte superiore a quella dell'NO₂; tale tipo di rapporto non si riscontra, invece, per tutte le altre stazioni di fondo appartenenti alla rete regionale, fatta eccezione per la stazione rurale fondo di AR – Casa Stabbi (vedi grafico successivo).

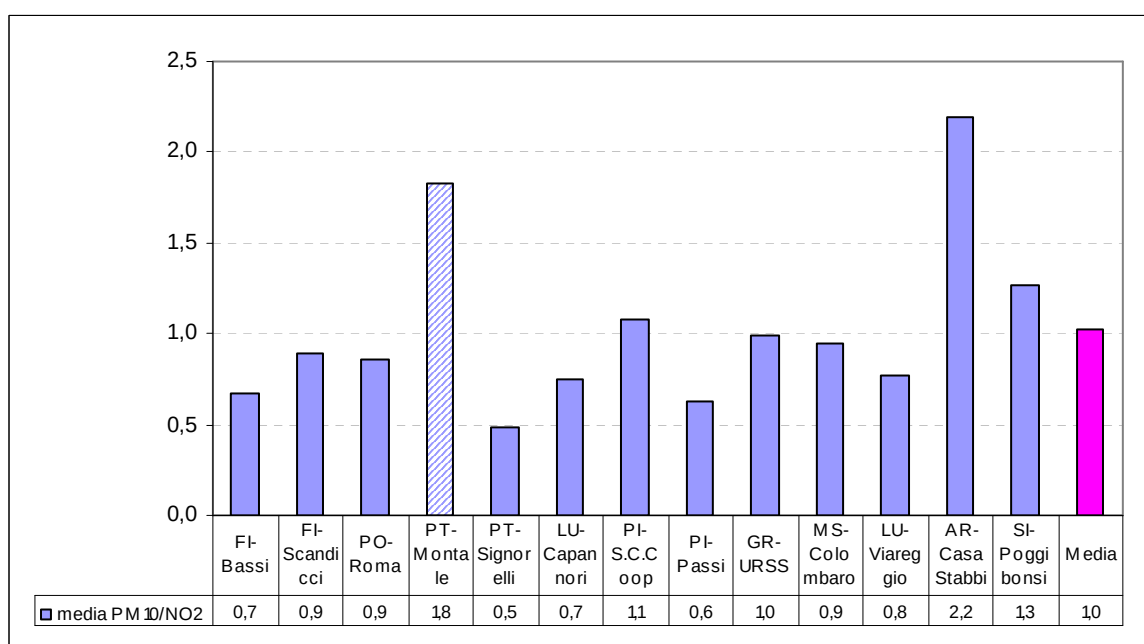


Figura 1.3.1.5. Rapporto medio PM10/NO₂ stazioni di fondo della rete regionale_anni 2007-2013

Si ricorda che AR – Casa Stabbi è la stazione di fondo di riferimento regionale e che, vista la sua localizzazione in zona rurale, in generale il PM10 misurato presso questa centralina è in massima parte derivante da fonti indirette di emissione di tipo antropico e da fonti dirette di tipo naturale.

E' ipotizzabile, quindi, che il valore elevato del rapporto tra i dati annuali di PM10 e NO₂ riscontrato per la centralina di PT-Montale, in analogia a quanto detto per la stazione di Arezzo, sia in parte rapportabile al fatto che parte del valore di concentrazione di PM10 registrati nel corso dell'anno sia correlabile a fonti di emissione indirette.

Nel grafico successivo vengono riportati i valori giornalieri dei livelli di concentrazione di PM10 e NO₂ rilevati nel periodo 2005 – 2013; si può osservare un andamento simile tra i due inquinanti con valori medi giornalieri di PM10 generalmente superiori a quelli dell'NO₂; in particolare nel periodo invernale si osservano valori della media giornaliera di PM10 3 – 4 volte superiori a quelli dell'NO₂.

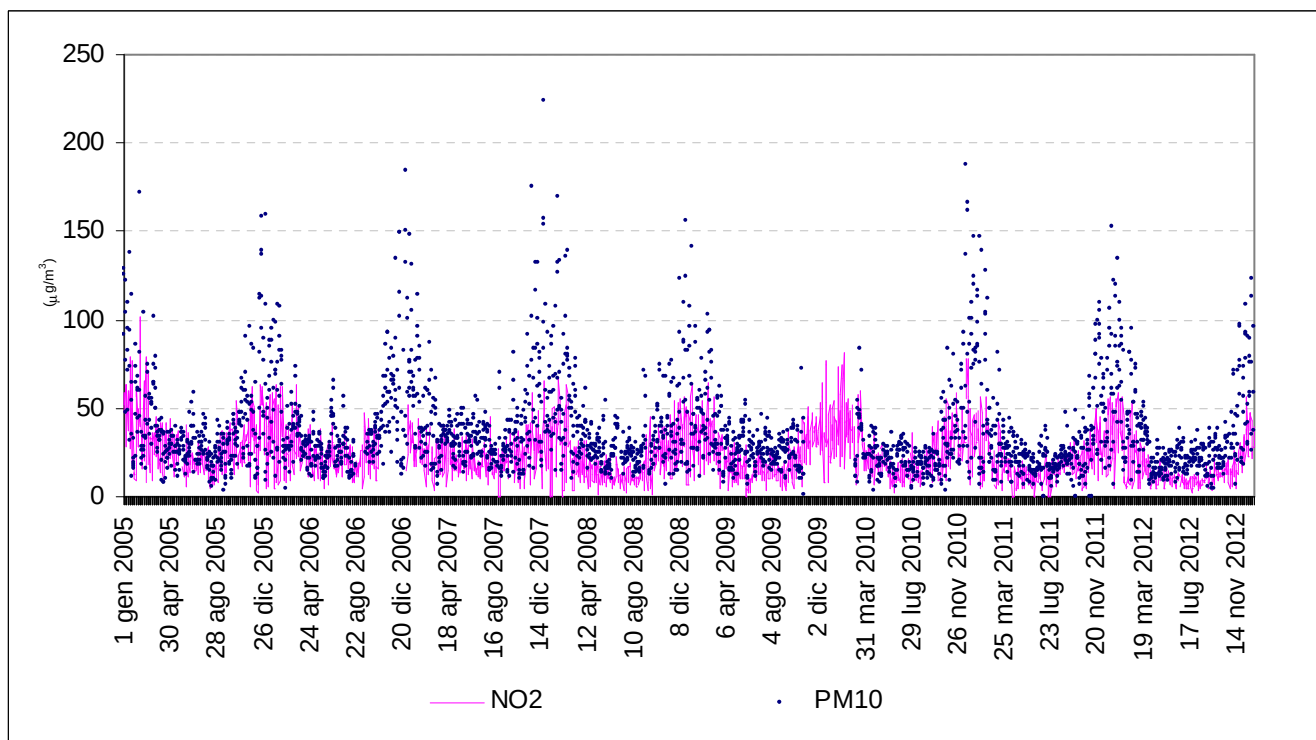


Figura 1.3.1.6. Andamento PM10-NO₂_PT-Montale

Questa caratteristica è tipica della stazione di Montale; in altri siti analoghi, infatti, la media di PM10 nel periodo autunno – inverno è di norma circa il doppio della media estiva.

Inoltre, relativamente agli anni 2005 – 2013, il rapporto PM10/NO_x osservabile per la stazione di Montale risulta maggiore rispetto al valore medio rilevabile per le stazioni di fondo e, quindi, maggiormente sbilanciato rispetto al PM10.

	PT-Montale	Media stazioni di fondo
PM10/NO _x	1,0	0,7

Lo stesso sbilanciamento a favore del PM10 si può osservare per il rapporto tra le emissioni di NO_x e PM10 che provengono dalla combustione domestica di combustibili vegetali in caminetti e stufe tradizionali, diversamente da quanto accade per le attività di riscaldamento con caldaie a gasolio e per il traffico veicolare (preso come valore medio di emissione per il parco veicolare circolante). In generale le quantità ed il rapporto relativo degli inquinanti primari PM10 e ossidi di azoto sono

molto dipendenti dalla sorgente emissiva; di seguito si riportano i valori del rapporto PM10/NOx ottenuti in base ai valori dei fattori di emissione della CorInAIR Guidebook³: 2013:

	Caminetti¹	Stufe tradizionali²	Riscaldamento con caldaie alimentate a gasolio³	Incenerimento rifiuti⁴	Traffico veicolare⁵
Rapporto PM10/NOx	in media 17/1	in media 15/1	in media 1/50	in media 1/400	in media 1/12

Riferimenti Corinair Guidebook 2013:

1. Tab. 3-14, cap. 1.A.4 Small combustion; 2. Tab. 3-17, cap. 1.A.4 Small combustion; 3. Tab. 3-21, cap. 1.A.4 Small combustion; 4. Tab. 3-1, cap. 5.C.1.a Municipal waste incineration; 5. Tab. 3-6, cap. 1.A.3.b Road transport

Tabella 1.3.1.3. Valori del rapporto PM10/NOx da diversa fonte emissiva

In base a quanto sopra illustrato, oltre all'ipotesi di influenza di fonti indirette sui livelli di concentrazione di PM10 rilevati presso la centralina di Montale appare plausibile ipotizzare una relazione tra i livelli di PM10 e le emissioni derivanti da sorgenti di emissione locali quali attività di combustione, in particolare di biomasse solide, con sistemi di combustione a ridotta efficienza.

Un ulteriore fattore da tenere in considerazione nella valutazione dei livelli di PM10 riscontrati presso la centralina di Montale è la presenza della ferrovia ad una distanza di circa 200 metri dalla stazione di monitoraggio per cui non sono da escludere eventuali fenomeni di risollevarimento di polveri che possono ulteriormente contribuire ad innalzare il rapporto PM10/NO₂.

1.3.1.1 I monitoraggi con mezzo mobile nella zona Prato-Pistoia: i risultati

Al fine di approfondire e avere un quadro completo delle concentrazioni di PM10 rilevate nella zona Prato-Pistoia sono stati esaminati anche i risultati ottenuti nel corso delle campagne di monitoraggio effettuate con mezzo mobile nella stessa zona.

Non sono state effettuate campagne di monitoraggio nel territorio della Provincia di Pistoia nel corso degli ultimi anni; per quanto riguarda, invece, la provincia di Prato è stato eseguito, nel corso degli anni 2007-2011, un programma di monitoraggio-spot con analizzatore in continuo del parametro PM10 in alcune postazioni individuate nei comuni di Montemurlo, Poggio a Caiano e Prato. Il monitoraggio ha avuto la finalità di indicare l'entità di inquinamento da PM10 nei vari siti in relazione alla media di rete rilevata dal sistema delle centraline fisse della rete provinciale per il monitoraggio della qualità dell'aria.

In particolare, il programma di campionamento per l'anno 2010 ha previsto un mese di misura per ogni postazione per un totale di 4 mesi di misura per ogni postazione al fine di ottenere una copertura di ca. 120 gg/anno pari ad una efficienza del 33%, distribuiti in modo omogeneo in tutto l'anno solare. In tal modo, al netto delle inevitabili perdite di dati dovute ai fermi per lo spostamento

³ La guida EMEP/AEA CorInAIR fornisce indicazioni tecniche su come compilare un inventario delle emissioni in atmosfera. La Guida è

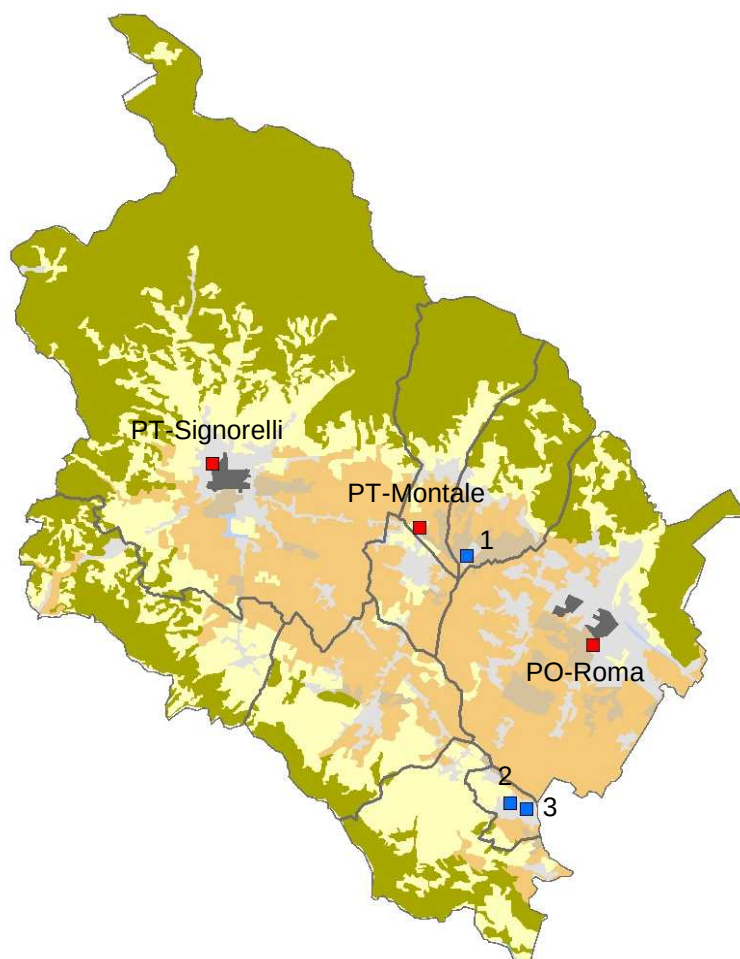
del mezzo e ad eventuali guasti alla strumentazione, si può avere la ragionevole certezza di ottenere un'efficienza maggiore del 14%, limite minimo di copertura temporale previsto dall'Allegato I del DLgs 155/2010 per le misure indicative. Le postazioni di campionamento si collocano all'interno della zona Prato – Pistoia e sono state così individuate: la prima nel Comune di Montemurlo con classificazione assimilabile ad urbana-fondo, la seconda nel Comune di Poggio a Caiano con classificazione assimilabile ad urbana-traffico.

Nella tabella seguente vengono illustrati il luogo e il periodo di campionamento per ciascuna campagna di monitoraggio:

		gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
Anno 2007													
Prato	Via Lodi 20												
Poggio a Caiano	Via A. Soffici												
Poggio a Caiano	Via Vittorio Emanuele												
Poggio a Caiano	Via G. Galilei												
Montemurlo	Via Indipendenza	2008											
Montemurlo	Via P. Micca												
Montemurlo	Piazza Amendola												
Anno 2008													
Poggio a Caiano	Via G. Galilei												
Poggio a Caiano	Via A. Soffici												
Poggio a Caiano	Via Vittorio Emanuele												
Poggio a Caiano	Via Aldo Moro												
Montemurlo	Piazza Amendola												
Montemurlo	Via P. Micca												
Montemurlo	Via Indipendenza												
Anno 2009													
Poggio a Caiano	Via A. Soffici												
Montemurlo	Piazza Amendola												
Anno 2010													
Poggio a Caiano	Via G. Galilei	2011											
Montemurlo	Piazza Amendola												
Anno 2011													
Poggio a Caiano	Via A. Soffici												

Tabella 1.3.1.1.1 Luogo e periodo di campionamento delle campagne con mezzo mobile nella zona PO - PT

Di seguito viene riportata la tabella con le coordinate e la quota e la mappa dei siti di campionamento presso i quali sono state effettuate le campagne indicative (in rosso le stazioni fisse di tipo fondo della zona PO-PT, in blu siti delle campagne di campionamento):



		Latitudine	Longitudine	Quota (m slm)
1	Montemurlo - Piazza Amendola	43.904794	11.029675	48
2	Poggio a Caiano - Via G. Galilei	43.816445	11.048006	41
3	Poggio a Caiano - Via Soffici	43.814030	11.055989	36

Gli esiti vengono riportati in maniera estesa nelle relazioni annuali della rete di monitoraggio della Provincia di Prato degli anni 2008-2011 (le relazioni complete possono essere scaricate dal sito dell'Agenzia al seguente indirizzo http://www.arpat.toscana.it/temi-ambientali/aria/sistema-di-rilevamento/rapporti-annuali/ar_relazioni2.html), di seguito si riportano in sintesi, per ciascun anno, i risultati dei diversi campionamenti confrontati con i valori rilevati dalle reti fisse delle Province di Prato e Pistoia nello stesso periodo:

Anno 2007

Periodo di campionam.	Mezzo mobile			Rete fissa Prato: media giornaliera (µg/m3)					Rete fissa Pistoia: media giornaliera (µg/m3)				Postazione
	Media periodo campio nam. (µg/m3)	n. super. limite 50 µg/m3	Rendim. (%)	Poggio XX settembre (UT)	Ferrucci (UT)	Roma (UF)	Strozzi (UT)	Media di rete fissa	Zamenhof (UT)	Merlini (UF)	Montale (RF)	Media di rete fissa	
Comune di Prato													
01/01 – 28/04	20	0	72	30	22	31	31	29	41	47	47	45	Via Lodi
Comune di Montemurlo													
15/06 – 15/07	24	0	81	32	19	22	26	25	24	29	33	29	Via P. Micca
17/09 – 15/10	27	2	76	31	22	26	30	27	31	30	32	31	P.zza Amendola (UF)
19/12 – 15/01	20	0	7	42	31	45	42	40	60	53	74	62	P.zza Indipendenza
Comune di Poggio a Caiano													
29/04 – 14/05	24	0	100	29	19	25	23	24	21	23	29	24	Via Soffici (UT)
16/07 – 16/09	29	0	70	29	18	22	25	24	26	26	28	27	Via V. Emanuele
10/10 – 14/11	24	0	94	31	19	24	28	26	31	38	37	35	Via Galilei

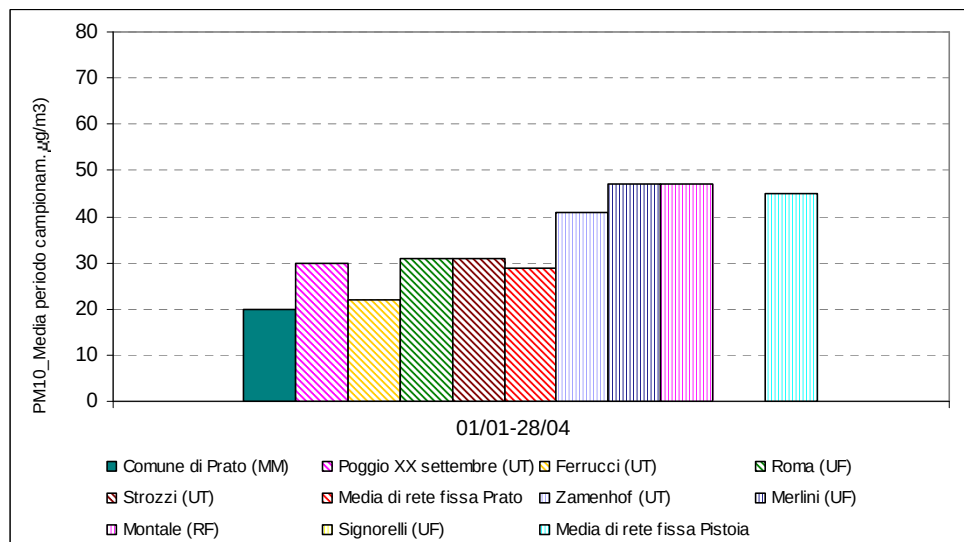


Fig 1.3.1.1.1 Confronto media periodo campagne – rete fissa PO-PT (2007)

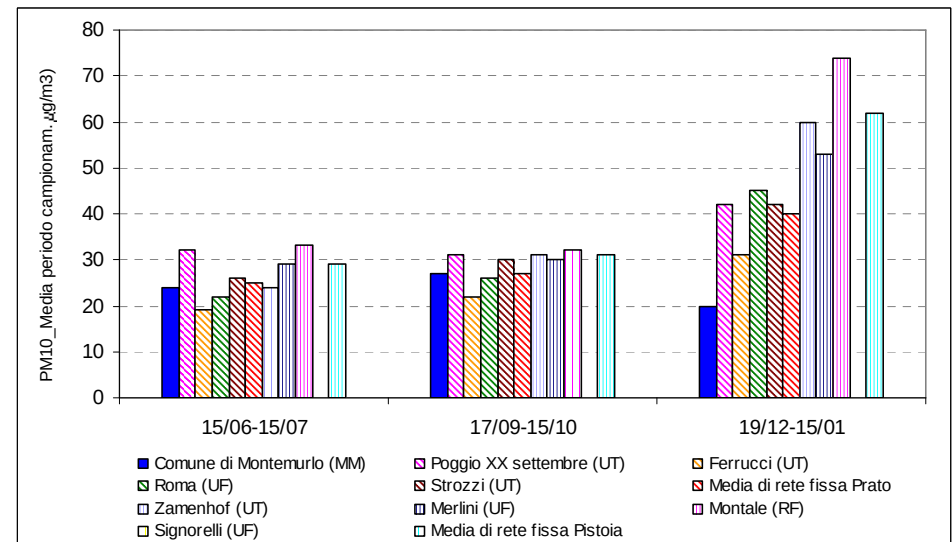


Fig 1.3.1.1.2 Confronto media periodo campagne – rete fissa PO-PT (2007)

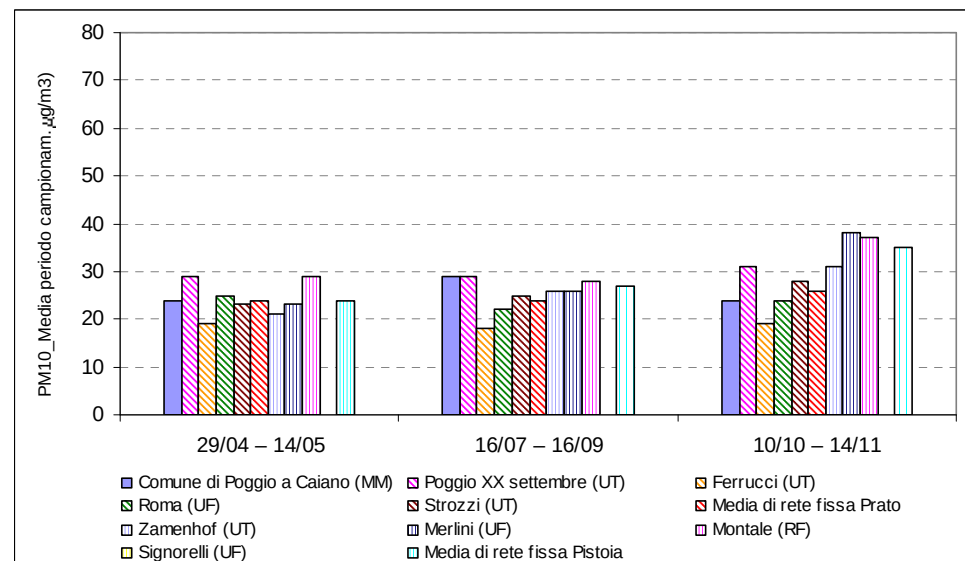


Fig 1.3.1.1.3 Confronto media periodo campagne – rete fissa PO-PT (2007)

Anno 2008

Periodo di campionam.	Mezzo mobile			Rete fissa Prato: media giornaliera (µg/m3)					Rete fissa Pistoia: media giornaliera (µg/m3)				Postazione
	Media periodo campio nam. (µg/m3)	n. super. limite 50 µg/m3	Rendim. (%)	Poggio XX settemb re (UT)	Ferrucci (UT)	Roma (UF)	Strozzi (UT)	Media di rete fissa	Zamenhof (UT)	Merlini (UF)	Montale (RF)	Media di rete fissa	
Comune di Montemurlo													
17/03 – 14/04	20	0	83	36	24	23	22	26	31	31	31	31	Via P. Micca
17/06 – 11/07	30	0	44	37	34	25	24	30	31	33	34	33	P.zza Amendola (UF)
16/09 – 14/10	21	0	97	34	31	20	20	26	27	26	33	29	P.zza Indipendenza
12/12 – 16/01	13	0	53	34	41	33	35	35	43	44	65	51	Via P. Micca
Comune di Poggio a Caiano													
15/01 – 15/02	42	10	91	41	32	42	42	39	52	64	64	60	Via Soffici (UT)
08/04 – 15/05	23	0	87	34	31	20	20	26	28	24	30	27	Via Galilei
16/07 – 14/08	31	0	73	30	28	19	20	24	24	17	24	22	Via V. Emanuele
16/10 – 14/11	19	0	67	27	42	31	31	33	37	30	39	35	Via Aldo Moro

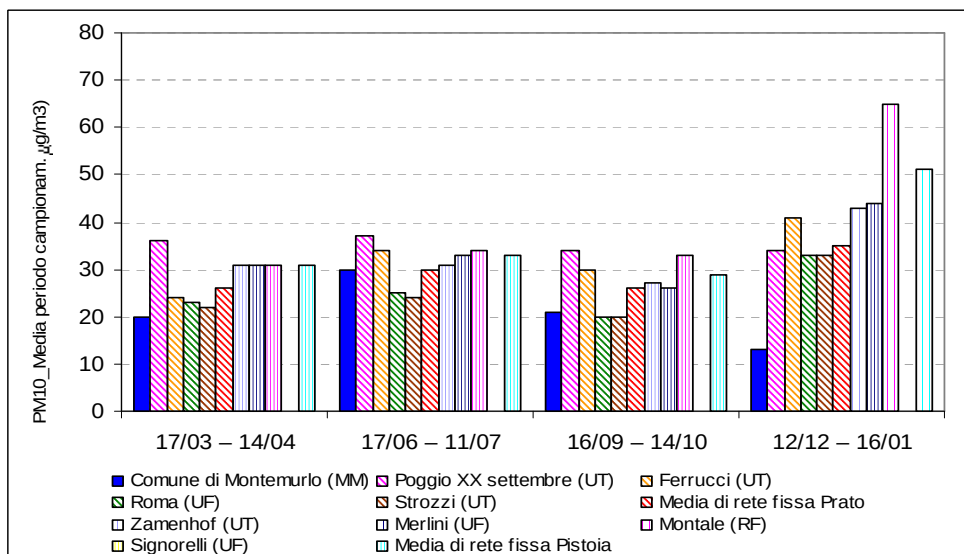


Fig 1.3.1.1.4 Confronto media periodo campagne – rete fissa PO-PT (2008)

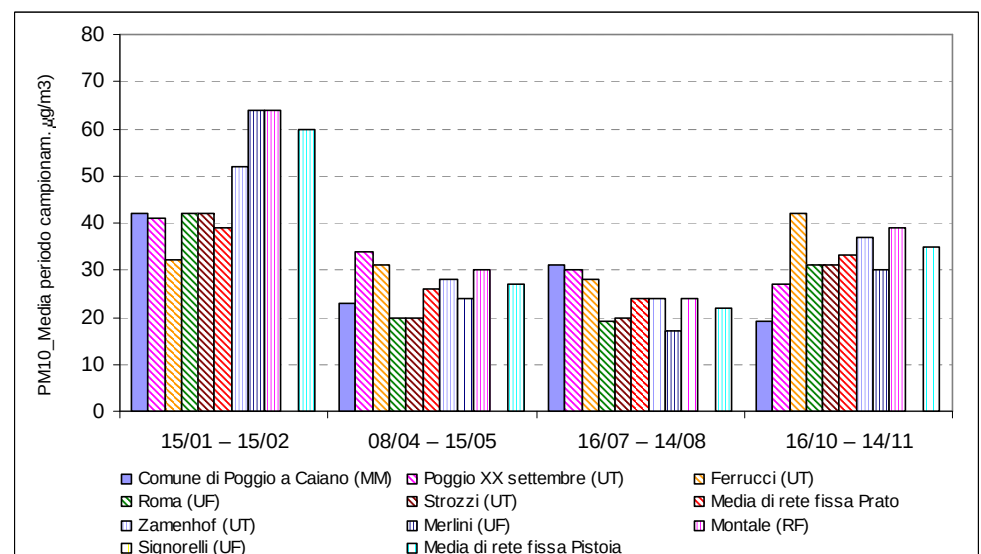


Fig 1.3.1.1.5 Confronto media periodo campagne – rete fissa PO-PT (2008)

Anno 2009

Periodo di campionam.	Mezzo mobile			Rete fissa Prato: media giornaliera (µg/m3)					Rete fissa Pistoia: media giornaliera (µg/m3)					Postazione
	Media periodo campio nam. (µg/m3)	n. super. limite 50 µg/m3	Rendim. (%)	Poggio XX settembre (UT)	Ferrucci (UT)	Roma (UF)	Strozzi (UT)	Media di rete fissa	Zamenhof (UT)	Merlini (UF)	Montale (RF)	Signorelli ¹ (UF)	Media di rete fissa	
Comune di Montemurlo														
19/03 – 14/04	21	0	> 90	30	32	23	24	28	34	30	32	-	32	P.zza Amendola (tipologia assimilabile a UF)
17/06 – 17/08	13	0	< 50	26	31	20	20	24	24	23	25	-	24	
14/09 – 15/10	12	0	< 50	31	29	23	27	28	29	24	26	-	26	
Comune di Poggio a Caiano														
21/01 – 16/02	26	1	> 90	34	30	26	27	29	34	37	44	-	38	Via Soffici (tipologia assimilabile a UT)
15/04 – 14/05	22	0	> 90	29	27	18	19	23	24	20	24	-	23	
15/10 – 15/11	23	1	> 90	35	30	25	67	39	35	38	24	34	33	

Nota 1. L'analizzatore è stato installato nella stazione ad ottobre 2009 (rendimento < 90%)

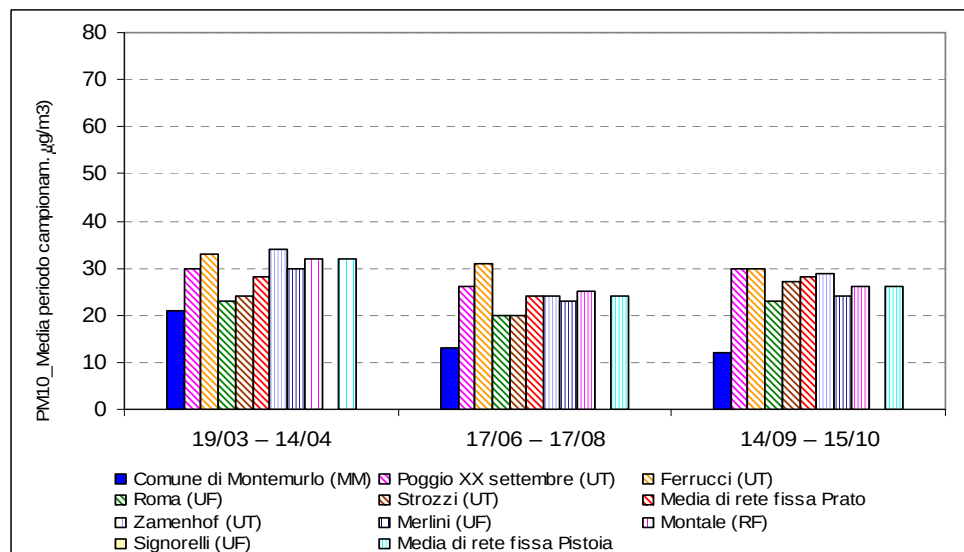


Fig 1.3.1.1.6 Confronto media periodo campagne – rete fissa PO-PT (2009)

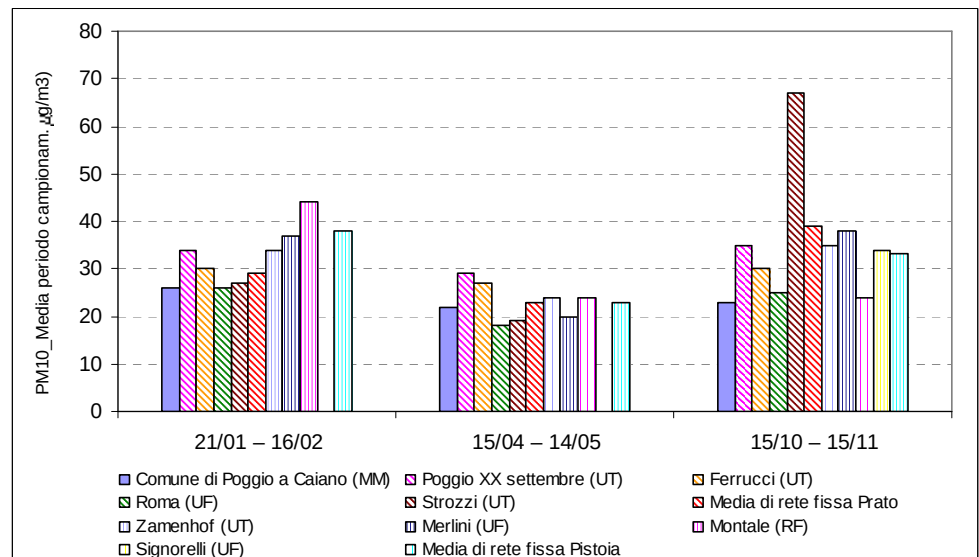


Fig 1.3.1.1.7 Confronto media periodo campagne – rete fissa PO-PT (2009)

Anno 2010

Periodo di campionam.	Mezzo mobile			Rete fissa Prato: media giornaliera (µg/m3)					Rete fissa Pistoia: media giornaliera (µg/m3)					Postazione
	Media periodo campio nam. (µg/m3)	n. super. limite 50 µg/m3	Rendim. (%)	Poggio XX settembre (UT)	Ferrucci (UT)	Roma (UF)	Strozzi (UT)	Media di rete fissa	Zamenhof (UT)	Merlini (UF)	Montale (RF)	Signorelli (UF)	Media di rete fissa	
Comune di Montemurlo														
01/02 – 01/03	30	3	> 90	37	37	35	40	37	40	39	-	32	37	P.zza Amendola (tipologia assimilabile a UF)
01/05 – 31/05	17	0	> 90	27	26	25	24	26	23	19	20	19	20	
09/08 – 31/08	16	0	> 90	21	31	24	23	25	21	21	19	19	20	
04/11 – 29/11	27	1	> 90	35	34	40	33	36	28	29	39	25	30	
Comune di Poggio a Caiano														
01/03 – 31/03	28	2	> 90	37	40	38	39	39	39	33	36	32	35	Via Galilei (tipologia assimilabile a UT)
01/06 – 07/07	20	0	> 90	29	32	26	29	29	25	22	22	22	23	
01/09 – 30/09	18	0	> 90	27	28	27	24	27	19	19	19	18	19	
07/12 – 03/01	35	4	> 90	43	54	59	49	53	46	48	73	45	53	

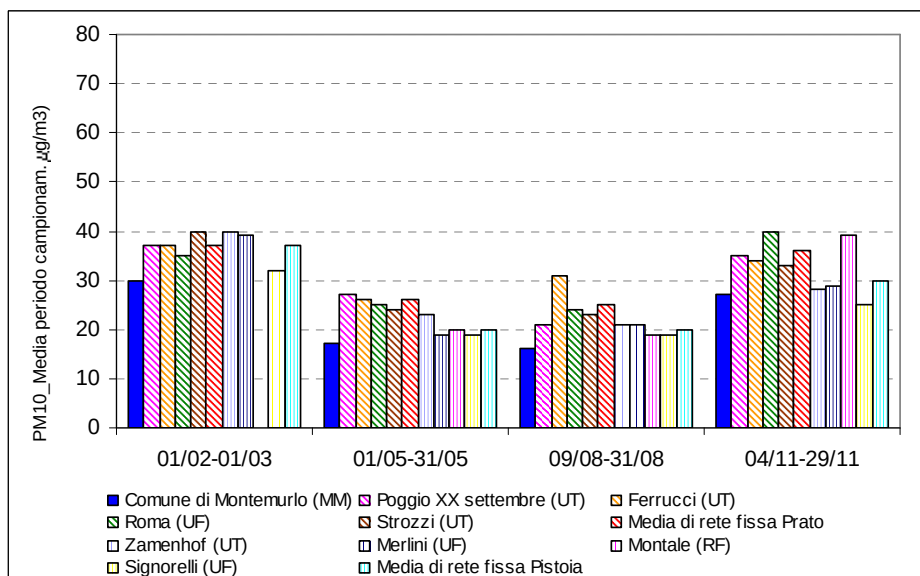


Fig 1.3.1.1.8 Confronto media periodo campagne – rete fissa PO-PT (2010)

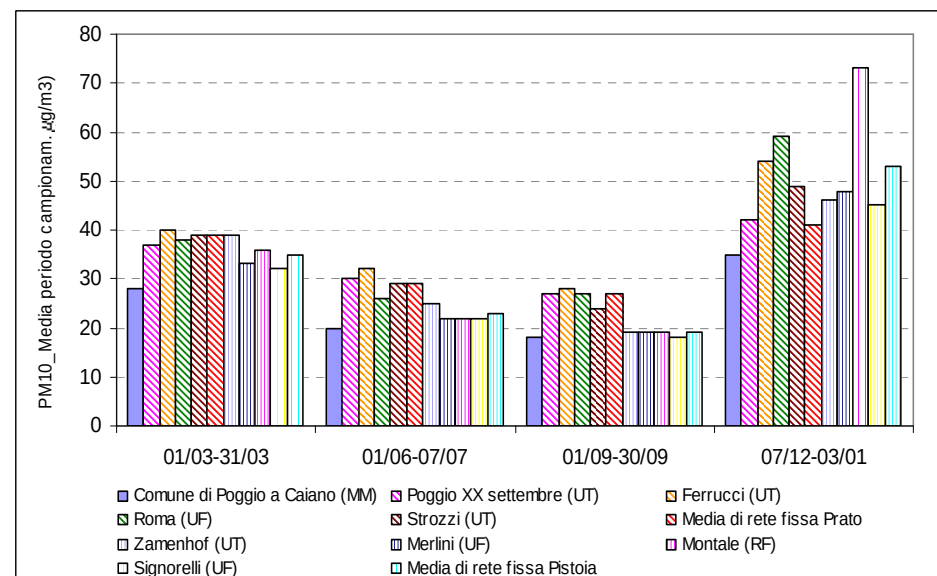


Fig 1.3.1.1.9 Confronto media periodo campagne – rete fissa PO-PT (2010)

Anno 2011

Periodo di campionam.	Mezzo mobile			Rete fissa Prato: media giornaliera (µg/m3)					Rete fissa Pistoia: media giornaliera (µg/m3)				Postazione	
	Media periodo campio nam. (µg/m3)	n. super. limite 50 µg/m3	Rendim. (%)	Poggio XX settembre (UT)	Ferrucci (UT)	Roma (UF)	Strozzi (UT)	Media di rete fissa	Zamenhof (UT)	Merlini (UF)	Montale (RF)	Signorelli (UF)		Media di rete fissa
Comune di Poggio a Caiano														
01/01-31/12	28	-	77	-	31	30	-	31	-	-	34	25	30	Via Soffici (tipologia assimilabile a UT)

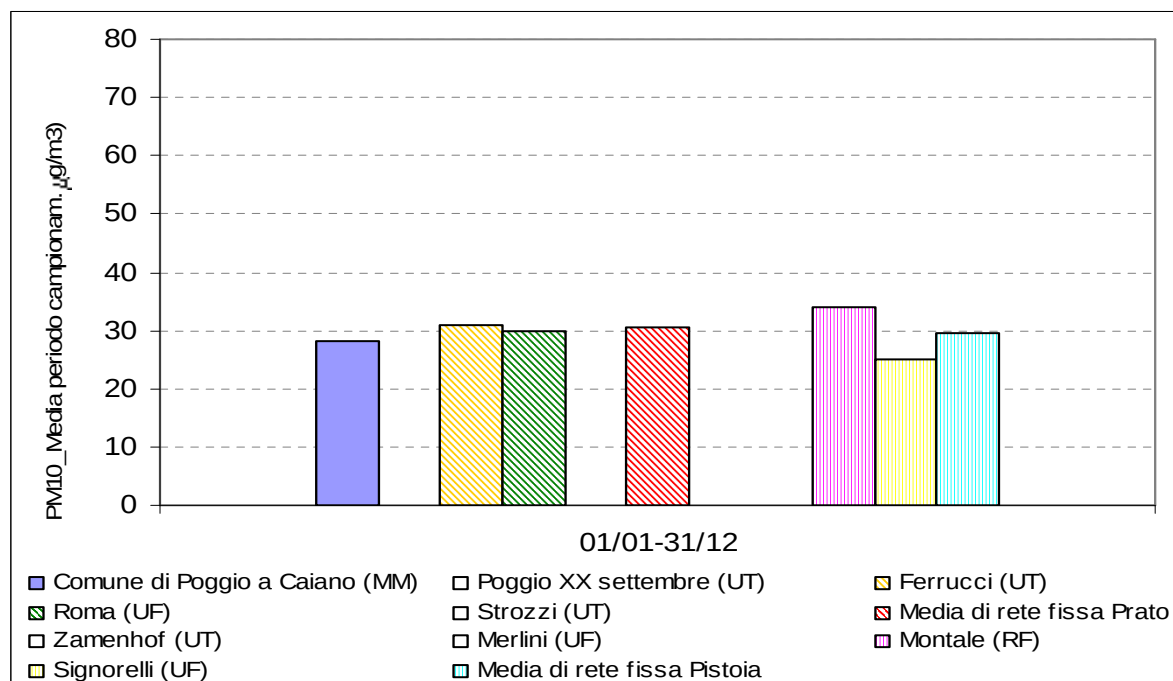


Figura 1.3.1.1.10 Confronto media periodo campagne – rete fissa PO-PT (2010)

Dai dati sopra riportati si osserva che tra i valori rilevati il più elevato è relativo ad una campagna svolta interamente in periodo invernale a Poggio a Caiano nella postazione di traffico urbano di via Soffici. Nella stessa postazione campagne prolungate o distribuite su tutto l'arco dell'anno, svolte negli anni successivi, hanno fornito valori medi decisamente inferiori. Le altre campagne svolte si collocano in genere al di sotto della media di periodo per le stazioni delle province di Prato e Pistoia rilevate nei vari anni. Nella tabella successiva sono riportati i valori della media del quinquennio 2007-2011 delle medie annue rilevate presso le stazioni di fondo di PT-Signorelli e PT-Montale come valori di riferimento per la zona Prato-Pistoia in quanto rispettivamente minimo e massimo della media annua rilevate nel periodo (vedi tabella seguente). Sono inoltre riportate le medie annuali delle campagne indicative condotte a Montemurlo e a Poggio a Caiano conformi al D.Lgs 155/2010.

Stazione	Tipo	2007	2008	2009	2010	2011	Media 2007-2011
PO-Roma	UF	*	26	25	31	30	28
PT-Montale	RF	42	39	*	*	34	38
PT-Signorelli	UF	**	**	*	26	25	26
Montemurlo	UF				23		
Poggio a Caiano-Galilei	UT				25		
Poggio a Caiano-Soffici	UT					28	

Tabella 1.3.1.1.2.PM 10- Medie annuali (UF della zona Prato – Pistoia e campagne

** rendimento annuo < 90%*

*** stazione non attiva*

Un ulteriore confronto con i valori delle stazioni della rete provinciale di riferimento, quella di Prato, ha messo in evidenza valori medi delle campagne inferiori o uguali alla media di rete relativa allo stesso periodo. Fa eccezione in particolare il monitoraggio di via Vittorio Emanuele che concorre a confermare, insieme ai dati di via Soffici, l'esistenza di un problema PM10 su tutto l'asse della strada statale che attraversa il Comune di Poggio a Caiano.

Il riepilogo dei dati misurati con i mezzi mobili è riportato nella figura successiva.

Il grafico proposto successivamente rappresenta, su una timeline relativa al quinquennio 2007-2011, durata e distribuzione di ogni campagna effettuata attribuendo a ciascun giorno di monitoraggio il valore della media di campagna. Per alcune campagne il dato medio riportato risulta dalla combinazione dei dati relativi a campagne stagionali effettuate in anni diversi nella stessa postazione; i dati di queste campagne sono stati infatti pubblicati in un unico rapporto proprio per fornire un quadro più rappresentativo del sito in esame.

La suddivisione del grafico in quattro periodi corrispondenti alle stagioni per ogni anno permette di apprezzare in maniera qualitativa quanto la misura sia rappresentativa in virtù della sua durata e distribuzione nell'anno solare. Allo stesso scopo è riportata in grafico una serie fittizia dal valore di $2,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ con una distribuzione che soddisfa i criteri del D.Lgs 155/2010 per campagne

rappresentative e che consiste, nel caso preso ad esempio, in 15 giorni di monitoraggio all'inizio di ogni stagione dell'anno solare.

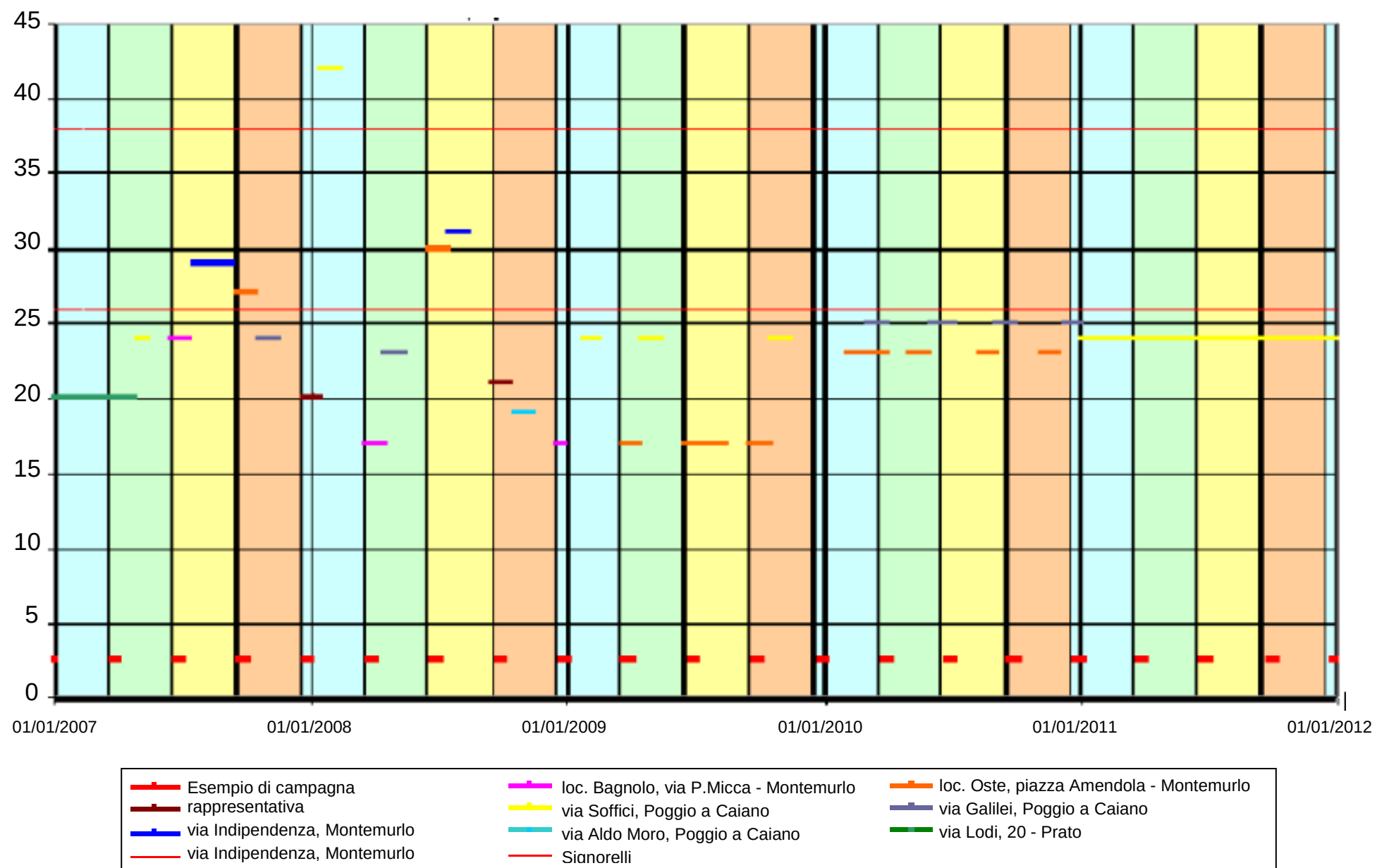


Figura 1.3.1.1.11. Riepilogo durata e valore medio di PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) di ciascuna campagna con i mezzi mobili zona Prato - Pistoia

1.3.2 Il campionamento effettuato nel comune di Agliana: i risultati

Il campionamento effettuato nel Comune di Agliana si collocava nell'ambito di un progetto di studio della situazione della qualità dell'aria nella zona di interesse della stazione di PT-Montale il cui obiettivo era valutare l'estensione territoriale dell'informazione per le concentrazioni di PM10 rilevate dalla suddetta stazione. Tale indagine è stata realizzata successivamente all'audit effettuato sull'analizzatore PM10 in dotazione alla stazione di monitoraggio di PT-Montale, che ha dato un risultato positivo riguardo al corretto funzionamento dell'analizzatore in esame.

Il sito di monitoraggio individuato per l'effettuazione del campionamento si colloca presso la scuola elementare e materna "Don Milani", ubicata in via Don Milani, 48 ad Agliana (PT), localizzata a circa 800 metri di distanza dalla stazione di monitoraggio PT-Montale, ad una latitudine simile e, rispetto ad essa, spostato ad ovest, al di là della linea ferroviaria e della via Provinciale Pratese. La campagna di monitoraggio si è svolta nel periodo 7-20 marzo 2012.

Risultati dell'audit

I risultati ottenuti hanno mostrato l'eccellente coerenza tra i dati di concentrazione giornaliera provenienti dall'analizzatore PM10 di Montale con i dati di concentrazione rilevati con metodo gravimetrico nel sito di campionamento scelto, tramite l'ausilio del campionatore Skypost TECORA; i dati rilevati dall'analizzatore PM10 di Montale si allineano in modo eccellente alle concentrazioni di PM10 presenti nella zona oggetto del campionamento. Le elaborazioni dei dati rilevati nel corso del campionamento vengono riportate nell'[allegato 2](#).

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

Nel presente capitolo vengono analizzati i dati di concentrazione di PM10 registrati nel corso degli ultimi anni presso la stazione di PT-Montale sia in termini di andamenti stagionali e di verifica del rispetto dei limiti imposti dalla normativa di settore, sia tramite la verifica e lo studio della correlazione con gli altri parametri di qualità dell'aria e meteorologici monitorati presso la stazione. La stazione di PT-Montale è stata, infatti, dotata per numerosi anni di una stazione di misura dei parametri meteorologici dismessa a partire dall'anno 2011, anno di attivazione della nuova rete regionale di monitoraggio (DGRT 1025/2010).

Tali elaborazioni fondano la loro validità e utilità, in particolare, sul corretto funzionamento dell'analizzatore MP101M utilizzato per il monitoraggio delle concentrazioni di PM10.

1.4.1 Gli audit effettuati sull'analizzatore PM10 di Montale: i risultati

Le verifiche del corretto funzionamento della strumentazione automatica di rilevamento delle polveri (PM10 e PM2,5) vengono di norma effettuate posizionando a fianco della stazione di monitoraggio un campionatore a basso volume e campionando in parallelo; i valori delle masse relative ai campioni di

PM10 effettuati con il campionatore vengono, quindi, confrontate con i valori registrati dall'analizzatore a raggi β presente in stazione. In base a quanto indicato dalla normativa vigente, infatti, il metodo di riferimento per il campionamento e la misurazione delle concentrazioni in atmosfera del PM10 è il metodo gravimetrico; le misurazioni effettuate in cabina con l'analizzatore a raggi β vengono, quindi, confrontate con le misurazioni effettuate con il metodo di riferimento su campioni raccolti tramite campionamenti realizzati presso lo stesso sito e nello stesso periodo.

I risultati degli audit effettuati sull'analizzatore di polveri MP101M di PT-Montale nel corso degli ultimi anni hanno permesso di individuare eventuali problematiche inerenti il suo funzionamento e di effettuare conseguenti verifiche delle impostazioni strumentali di campionamento/analisi e il controllo della taratura dello strumento. In particolare, nel corso dell'ultimo audit - effettuato nell'anno 2012 - non è stato necessario predisporre alcuna misura di correzione in quanto i risultati ottenuti hanno mostrato la sostanziale coerenza dei dati di concentrazione giornaliera provenienti dall'analizzatore PM10 di Montale con i dati di concentrazione rilevati con metodo gravimetrico.

A febbraio 2013 nella cabina di PT-Montale è stato installato un nuovo strumento per il monitoraggio contemporaneo di PM10 e PM2.5; il nuovo analizzatore è stato fatto funzionare per qualche mese parallelamente a quello precedentemente presente in cabina in modo da potere valutare le eventuali differenze di misura tra i due strumenti.

Ad aprile dello stesso anno è stato effettuato un audit su entrambi gli analizzatori; i risultati ottenuti hanno mostrato un funzionamento più che adeguato per entrambi gli strumenti ai fini della produzione di dati giornalieri di concentrazione di PM10 entro l'incertezza prevista per i metodi di misurazione in continuo.

I risultati degli audit sono riportati in maniera estesa all'[allegato 3](#).

1.4.2 Lo strumento di riferimento per le misure di PM10: il campionatore sequenziale Tecora SKYPOST

Lo strumento utilizzato per valutare la qualità dei dati di PM10 e per individuare eventuali deviazioni dei dati di concentrazione rilevati dallo strumento con metodo automatico presente nella centralina di monitoraggio di PT – Montale è un campionatore sequenziale per esterni per il monitoraggio continuo del particolato atmosferico mediante il metodo di campionamento su membrana filtrante, Tecora SKYPOST. Lo strumento, certificato da TÜV in accordo alla norma EN12341 e DM60, ha 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. Il percorso rettilineo del tubo di aspirazione e la separazione della zona di permanenza dei filtri da fonti di calore interne o radianti, consente di raccogliere e mantenere l'integrità dei campioni. Un sistema di ventilazione e riscaldamento termostato e differenziato, rende possibile il funzionamento del sistema in ogni condizione meteorologica nel pieno rispetto delle esigenze della componentistica. Lo strumento è riferito allo strumento di riferimento di ISPRA tramite la partecipazione a circuiti interlaboratorio organizzati da ISPRA.

1.4.3 La stazione di Pistoia Montale: andamenti dei dati di concentrazione di PM10, media giornaliera e media annuale

Il sito di campionamento di via Pacinotti a Montale (PT) è posizionato all'interno di un giardino pubblico alberato, confinante con il cortile di una scuola e un piccolo parcheggio. Questa zona non presenta urbanizzazione in continuo, né estese edificazioni. Inoltre, essa è posta fra l'abitato di Montale e la stazione ferroviaria di Montale-Agliana, in un'area non particolarmente gravata da traffico locale. La stazione era stata classificata come "rurale/fondo" ai sensi della Decisione 2001/752/CE.



Figura 1.4.3.1. Stazione di monitoraggio di PT-Montale

Si analizzano di seguito i dati di concentrazione di PM10 registrati presso la centralina di monitoraggio di Montale tra gli anni 2005 – 2013 e i valori degli indicatori (media annuale e media giornaliera) per i quali la normativa in vigore detta valori limite.

Nel grafico seguente vengono rappresentate le medie mensili per gli anni che presentano almeno il 90% dei dati validi e l'anno tipo calcolato come media delle medie mensili per ciascun anno:

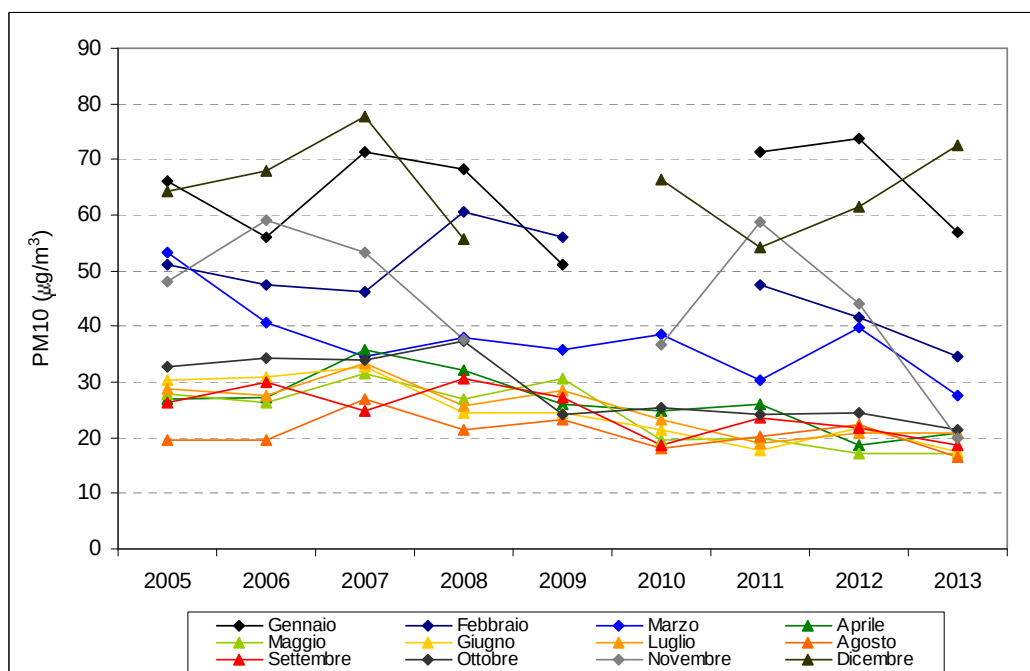


Figura 1.4.3.2 Medie mensili PM10 (anni di riferimento 2005-2013)

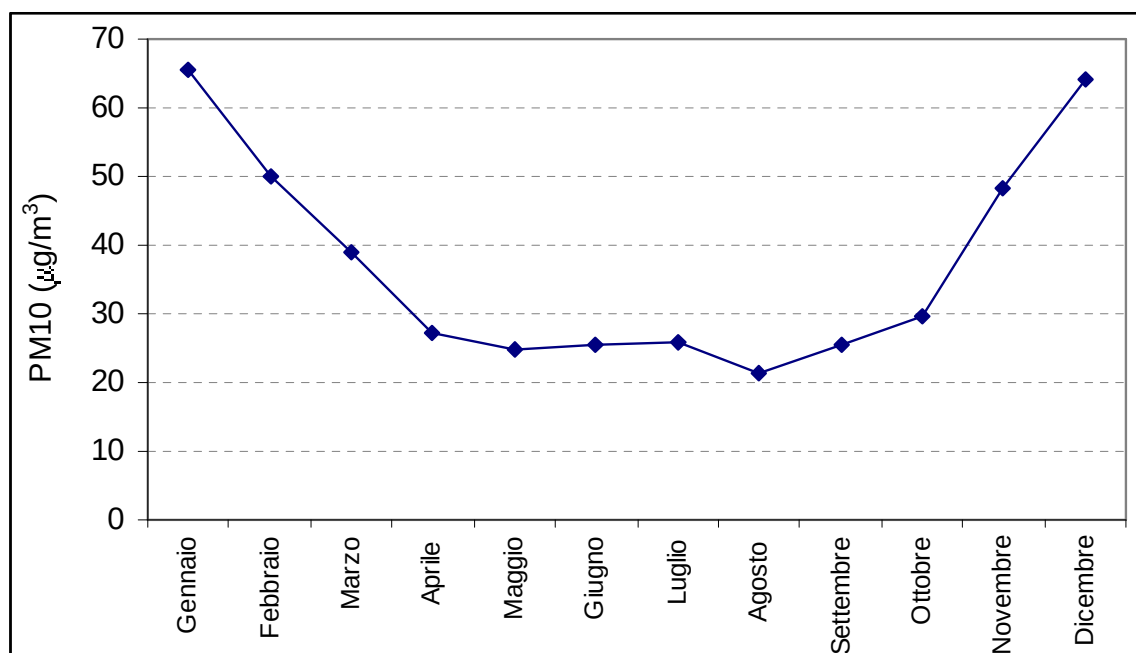


Figura 1.4.3.3 Anno tipo PM10 (anni di riferimento 2005-2013)

Come si può osservare da entrambi i grafici i valori di concentrazione di PM10 risultano mediamente maggiori nella stagione invernale piuttosto che in quella estiva. Nel grafico relativo alle medie mensili si nota una forte riduzione del valore della media del mese di Novembre per gli anni 2008 e 2010 la quale è verosimilmente imputabile alle intense piogge registrate nello stesso periodo differentemente dagli altri anni (stazione di Sesto Fiorentino – LaMMA-CNR-IBIMET); la pioggia di una certa intensità (> 10 mm) ha, infatti, un effetto di riduzione delle concentrazioni relative allo stesso giorno o a quello successivo.

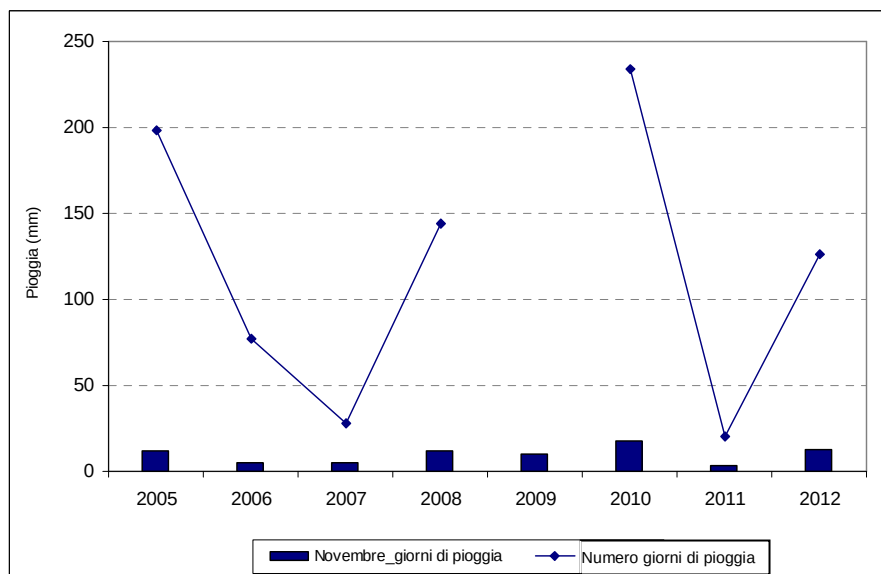


Figura 1.4.3.4 Pioggia cumulata numero di giorni di pioggia registrati nel mese di Novembre (stazione di Sesto F.no – LaMMA-CNR-IBIMET)

I superamenti della media giornaliera e della media annuale

Come precedentemente osservato, le concentrazioni giornaliere maggiori di PM₁₀ si rilevano durante la stagione invernale (01/01-20/03 e 21/09-31/12), sebbene alcuni superamenti del valore limite giornaliero di PM₁₀ di 50 µg/m³ si riscontrino anche durante la stagione estiva (21/03-20/09). Il grafico e la tabella di seguito riportati forniscono un esempio di quanto osservabile a partire dall'anno 2005 riguardo a tali differenze (non vengono riportati gli anni in cui non è stato raggiunto lo standard del 90% di dati validi richiesto dalla normativa).

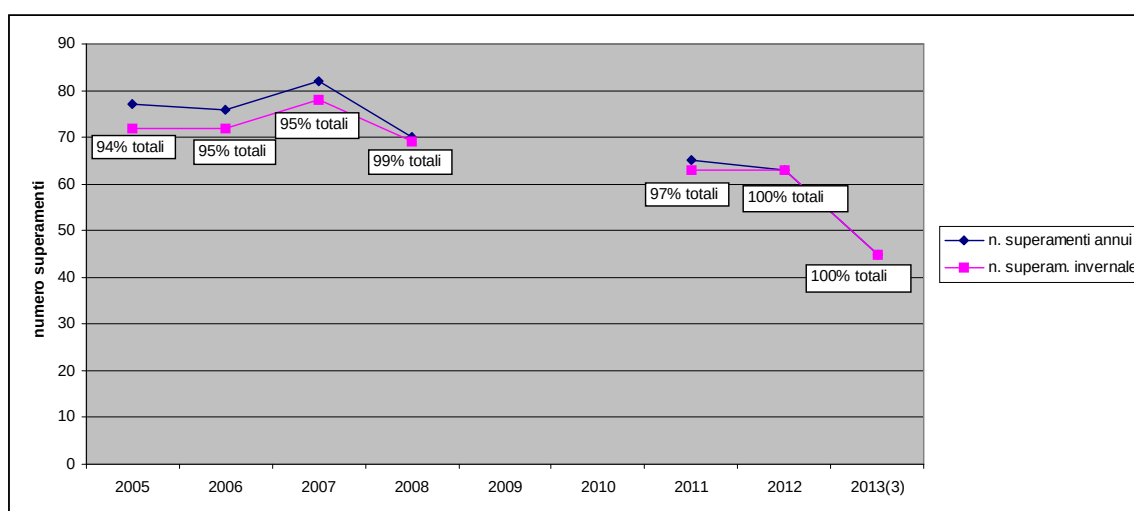


Figura 1.4.3.5. PT-Montale: numero superamenti limite media giornaliera e percentuale del numero di superamenti nel periodo invernale rispetto al numero totale di superamenti

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013 ⁽³⁾
n. superamenti	77	76	82	70	35	28	65	63	45
n. dati validi	348	335	351	343	295	281	358	350	350
% dati validi	95%	92%	96%	94%	81% ¹	77% ²	98%	96%	96%
n. superam. invernale	72	72	78	69	33	28	63	63	45
n. sup inv./n. sup tot.	94%	95%	95%	99%	94%	100%	97%	100%	100%
% superam./n. dati validi	22%	23%	23%	21%	12%	10%	18%	18%	13%

- (1) i dati invalidati sono tutti raggruppati in un singolo periodo dell'anno: dal 27 ottobre al 31 dicembre 2009 - ad ottobre 2009 sono stati eseguiti dei lavori di adeguamento dell'analizzatore in seguito all'audit effettuato per la verifica di conformità al DM 60/02
- (2) i dati invalidati sono tutti raggruppati in un singolo periodo dell'anno: dello strumento, dal 1 gennaio al 5 marzo 2010 – a causa di un lungo periodo di malfunzionamento dell'analizzatore
- (3) A febbraio 2013 è stato installato un nuovo strumento per il monitoraggio contemporaneo di PM10 e PM2.5; il nuovo analizzatore ha funzionato per qualche mese parallelamente a quello precedentemente presente in cabina in modo da potere valutare le eventuali differenze di misura tra i due strumenti

Dall'analisi dei dati registrati nel corso degli anni 2005-2013 si può osservare che in media circa il 20% dei valori di media giornaliera rilevati sono superiori al limite giornaliero dei 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (evidenziati in rosso). Di queste in media il 97% si riscontrano nel periodo invernale per il quale in media il 32% delle medie giornaliere supera il limite mentre solo il 3% dei superamenti si registra nel periodo estivo per il quale circa il 4% dei valori di media giornaliera è superiore al limite.

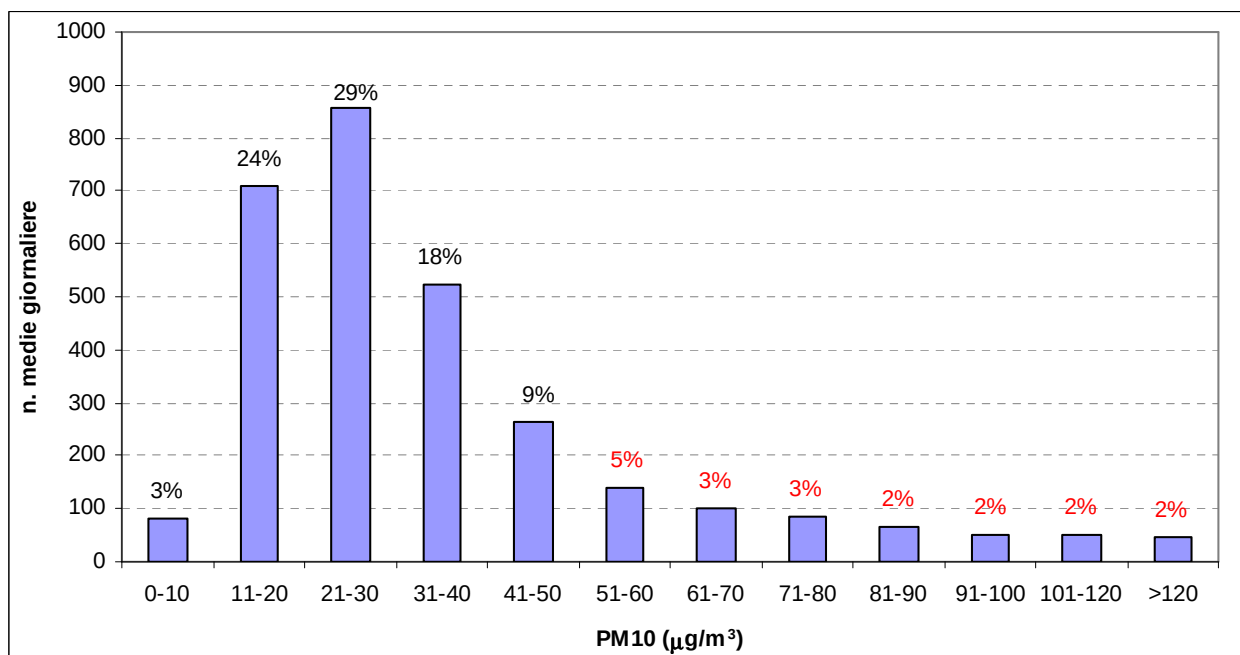


Figura 1.4.3.6. PT-Montale: Distribuzione dei valori di concentrazione nel periodo 2005-2013

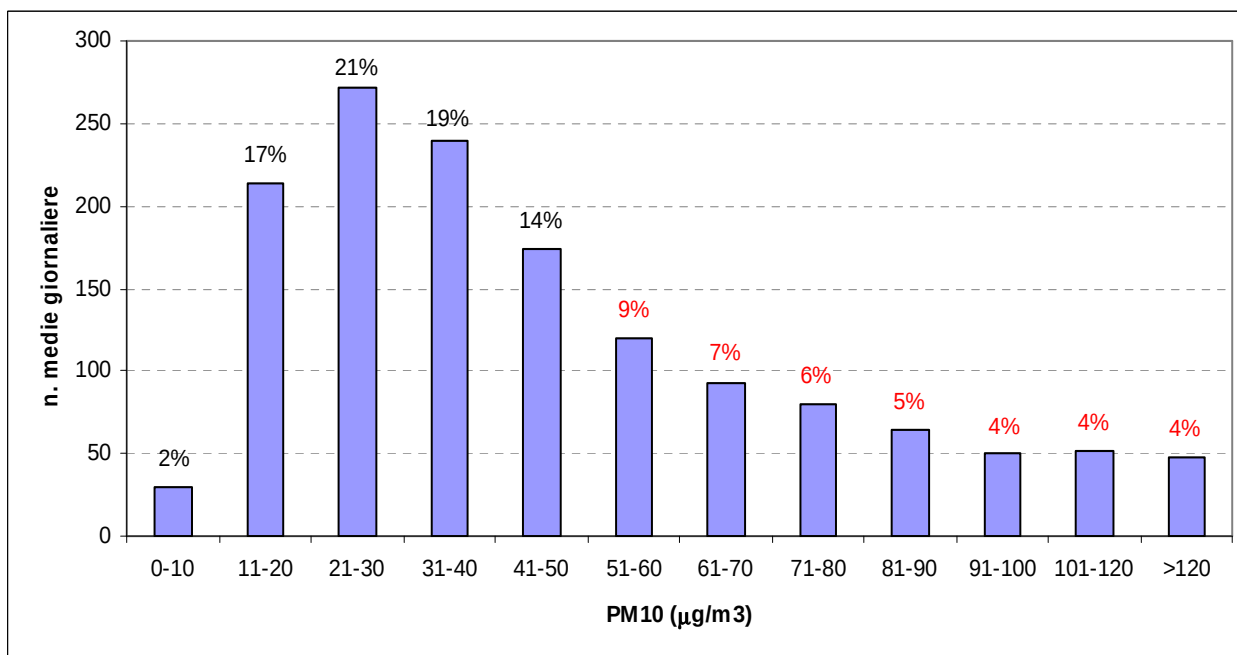


Figura 1.4.3.7. PT-Montale: Distribuzione dei valori di concentrazione nel periodo invernale anni 2005-2013

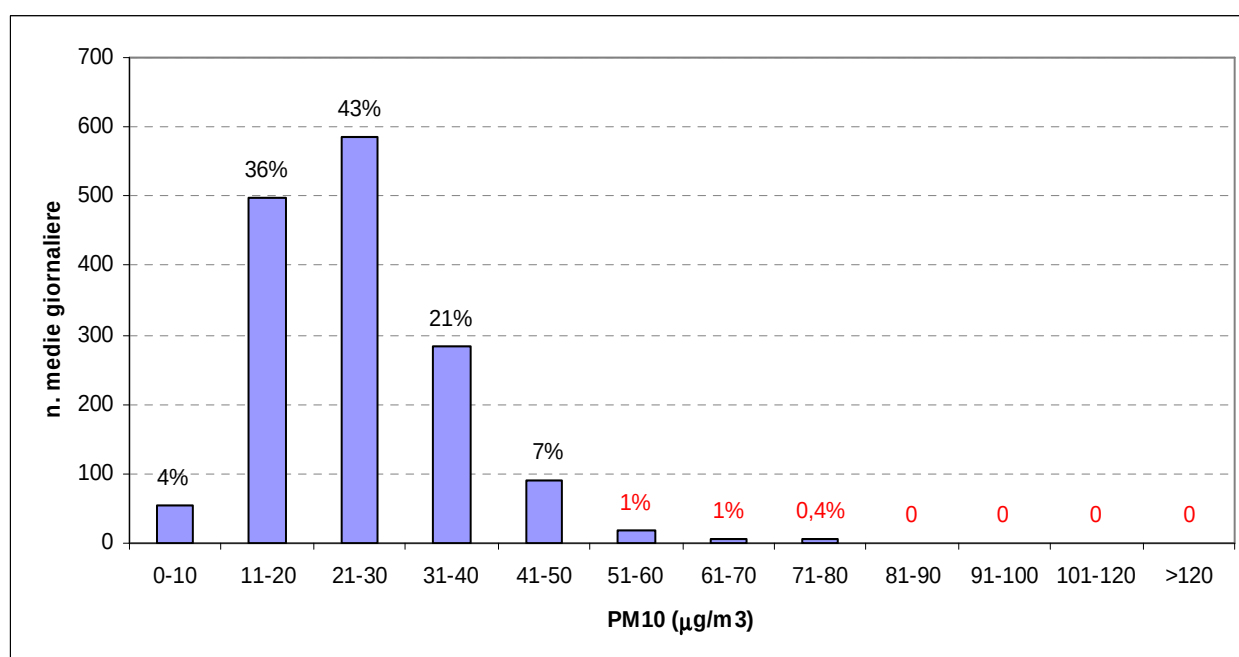


Figura 1.4.3.8. PT-Montale: Distribuzione dei valori di concentrazione nel periodo estivo anni 2005-2013

La media annuale è generalmente al di sotto del limite normativo di 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ fatta eccezione per l'anno 2007.

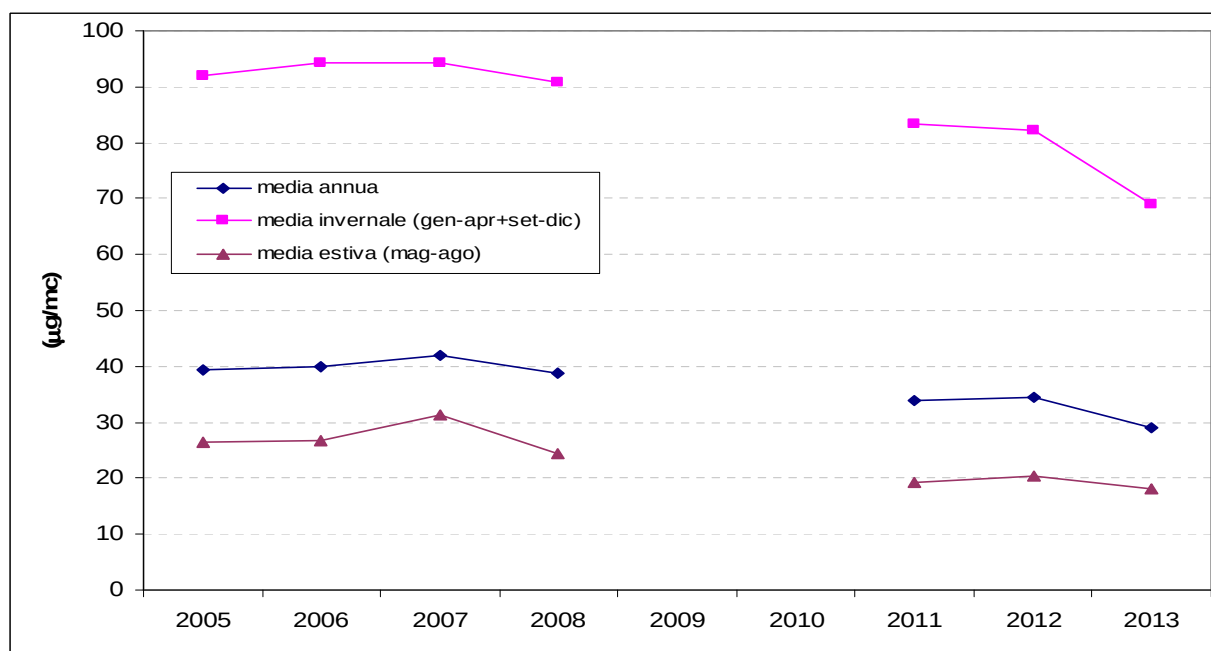


Figura 1.4.3.9. PT-Montale:PM 10- Media annuale, media periodo invernale, media periodo estivo

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
media annuale	40	40	42	39	*	*	34	34	29
media periodo invernale	92	94	94	91	*	*	83	82	69
media periodo estivo	27	27	31	25	*	*	19	20	18

1.4.4 La stazione di Pistoia Montale: correlazione tra le concentrazioni di PM10 e le altre variabili di qualità dell'aria e meteorologiche

1.4.4.1 La correlazione tra i parametri di qualità dell'aria

La successiva analisi dei dati è consistita nella valutazione delle relazioni tra i valori di PM10 rilevati e le altre variabili di qualità dell'aria monitorate presso la centralina, in particolare si è posta l'attenzione allo studio dell'eventuale correlazione con i dati di concentrazione degli inquinanti precursori del PM10 di origine secondaria⁴; nel caso della centralina di Montale i parametri monitorati, precursori del PM10 secondario, sono NO_x e SO₂.

In tale studio verrà verificata l'eventuale relazione tra le coppie di variabili PM10-NO_x e PM10-SO₂.

Distintamente per il periodo invernale (01/01 – 20/03, 21/09 – 31/12) e per il periodo estivo (21/03 – 20/09), si è proceduto prima al calcolo dell'indice di correlazione di Bravais-Pearson, allo scopo di evidenziare tra le variabili legami di interdipendenza, e successivamente allo studio della regressione lineare semplice, allo scopo di ricercare eventuali legami di dipendenza. Lo studio della correlazione si premette alla regressione perché se le variabili sono prive di legame dovranno essere forzatamente indipendenti.

INDICE DI CORRELAZIONE DI PEARSON

In teoria degli errori, l'indice di correlazione di Pearson, anche detto coefficiente di correlazione di Pearson (o di Bravais-Pearson) tra due variabili aleatorie è un coefficiente che esprime la linearità tra la loro covarianza e il prodotto delle rispettive deviazioni standard.

Date due variabili statistiche X e Y, l'indice di correlazione di Pearson è definito come la loro covarianza divisa per il prodotto delle deviazioni standard delle due variabili:

$$\rho_{xy} = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y}$$

dove

σ_{xy}

è la covarianza tra X e Y

σ_x, σ_y

sono le due deviazioni standard

Il coefficiente assume sempre valori compresi tra -1 e 1:

$$-1 \leq \rho_{xy} \leq 1$$

Se:

$$\rho_{xy} > 0$$

le variabili x e y si dicono *direttamente correlate*, oppure *correlate positivamente*

$$\rho_{xy} = 0$$

le variabili x e y si dicono *incorrelate*

$$\rho_{xy} < 0$$

le variabili x e y si dicono *inversamente correlate*, oppure *correlate negativamente*

Per la correlazione diretta si distingue inoltre:

⁴ In generale i precursori di PM10 secondario sono il biossido di zolfo (SO₂), gli ossidi di azoto (NO_x), i composti organici volatili (COV) e l'ammoniaca (NH₃)

$$0 < \rho_{xy} < 0,3$$

correlazione debole

$$0,3 < \rho_{xy} < 0,7$$

correlazione moderata

$$\rho_{xy} > 0,7$$

correlazione forte

L'indice di correlazione vale 0 se le due variabili sono indipendenti. Non vale la conclusione opposta: in altri termini, l'assenza di correlazione è condizione *necessaria* ma non *sufficiente* per l'indipendenza. L'ipotesi di assenza di autocorrelazione è più restrittiva ed implica quella di indipendenza fra due variabili.

L'indice di correlazione vale + 1 in presenza di correlazione lineare positiva ($y = a + b x$, dove $b > 0$), mentre vale -1 in presenza di correlazione lineare negativa (p.es.: $y = a + b x$, con $b < 0$).

Gli indici di Pearson di n variabili possono essere presentati in una matrice di correlazione, che è una matrice quadrata di dimensione $[n,n]$ avente nelle righe e colonne le variabili oggetto di studio. La matrice è simmetrica ($\rho_{ji} = \rho_{ij}$) e i coefficienti sulla diagonale valgono 1, in quanto:

$$\rho_{ij} = \frac{\sigma_{ij}}{\sigma^2}$$

Di seguito si riporta una tabella con i risultati dell'applicazione della metodologia dell'indice di correlazione di Pearson ai dati rilevati nel corso degli anni 2005-2011; si ritiene che un periodo di osservazione superiore a 5 anni sia sufficiente ad individuare eventuali dipendenze tra i parametri:

	INDICE DI CORRELAZIONE PEARSON	
PM10/NO _x INVERNO	0,82	correlazione forte
PM10/NO _x ESTATE	0,44	correlazione moderata
PM10/SO ₂ INVERNO	0,48	correlazione moderata
PM10/SO ₂ ESTATE	0,48	correlazione moderata

Tabella 1.4.4.1.1 Applicazione dell'indice di correlazione di Pearson ai dati di PM10, NO_x e SO₂ di PT-Montale

Si può osservare come il test evidenzi una forte correlazione tra i dati rilevati nel periodo invernale tra PM10 e NO_x 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 quelle di SO₂.

Nei grafici successivi vengono riportati i risultati relativi alla regressione lineare applicata, separatamente per il periodo estivo e per il periodo invernale, ai parametri PM10 e NO_x e PM10 e SO₂:

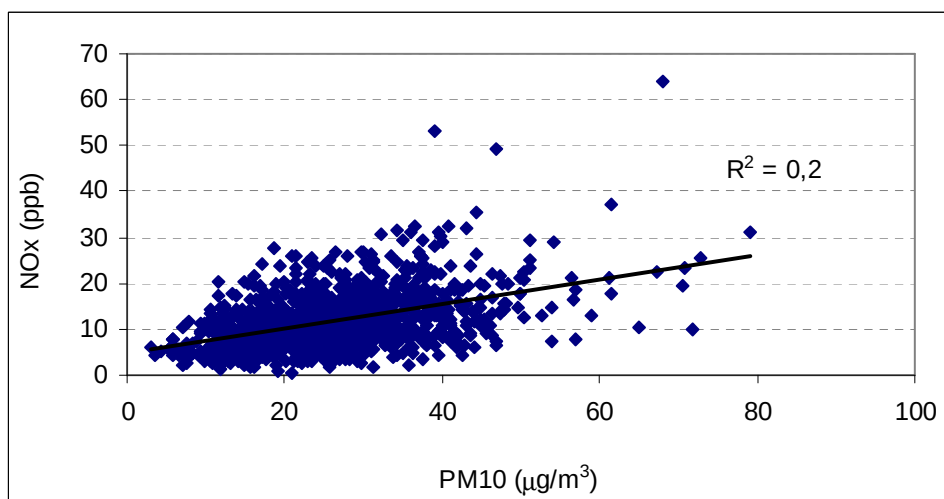


Figura 1.4.4.1.1. PERIODO ESTIVO: Correlazione lineare PM10/NOx, stazione di PT-Montale

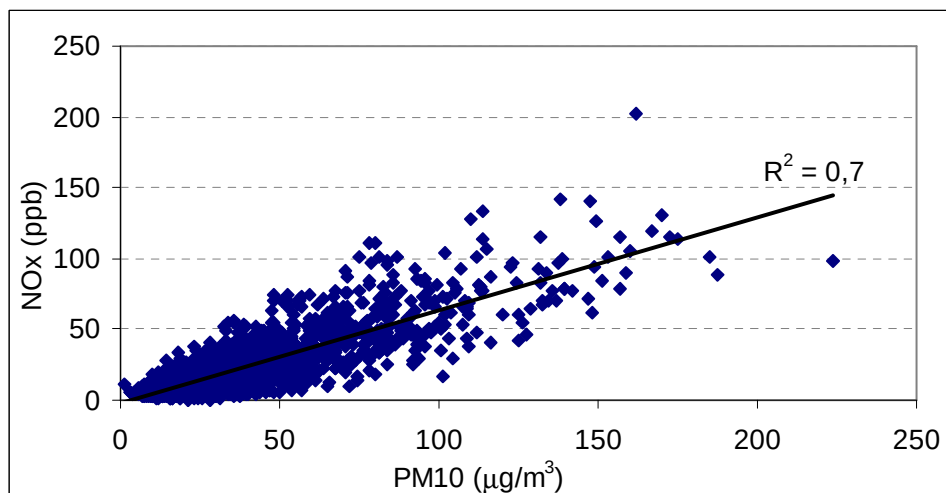


Figura 1.4.4.1.2. PERIODO INVERNALE: Correlazione lineare PM10/NOx, stazione di PT-Montale

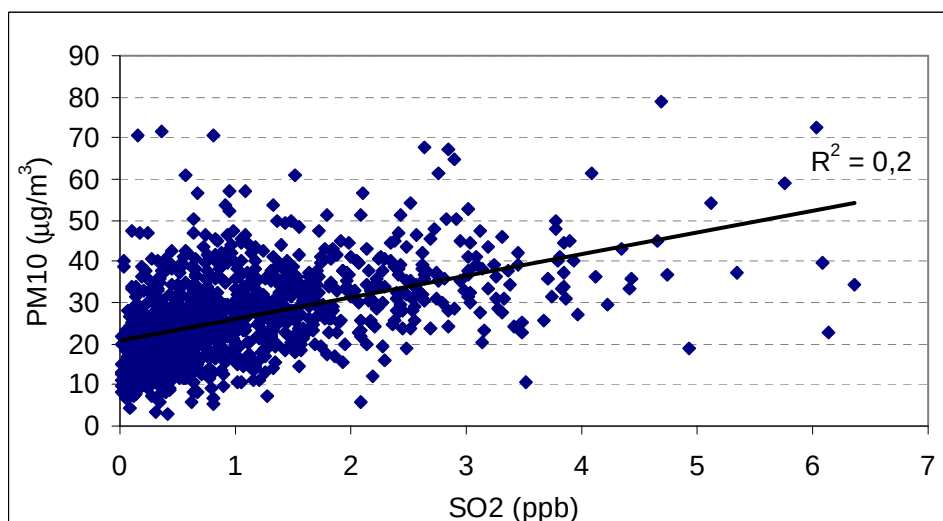


Figura 1.4.4.1.3. PERIODO ESTIVO: Correlazione lineare PM10/SO₂, stazione di PT-Montale

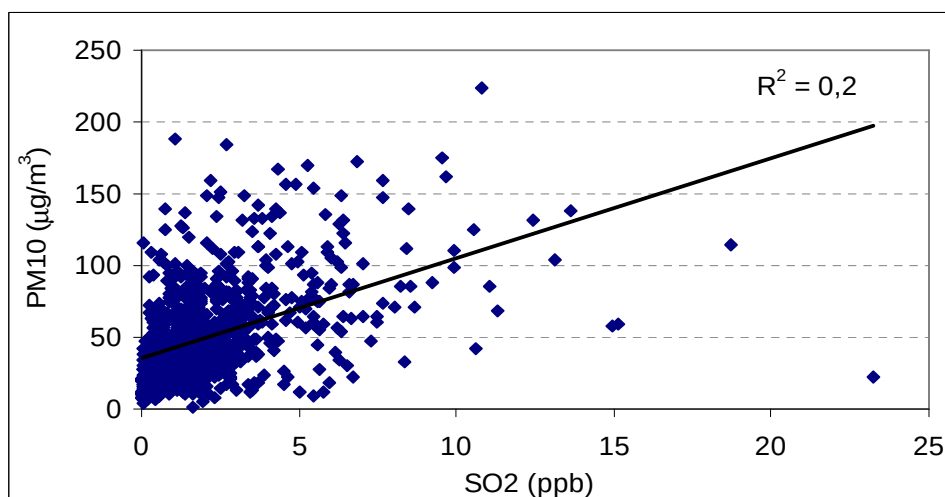


Figura 1.4.4.1.4. PERIODO INVERNALE: Correlazione lineare PM10/SO₂, stazione di PT-Montale

Come si può osservare, il coefficiente di determinazione (R^2)⁵ ha un valore elevato (correlazione forte) solo nel caso del rapporto tra le concentrazioni di PM10 e NO_x rilevate nel periodo invernale mentre presenta valori ridotti (correlazione debole) in tutti gli altri casi.

Si è, inoltre, potuto osservare che il valore del coefficiente di correlazione (R^2) relativo all'intero periodo di osservazione è molto simile a quello individuato per il periodo invernale.

In base, perciò, a quanto emerso dall'analisi della correlazione tra il PM10 e gli inquinanti suoi precursori monitorati presso la stazione di Montale, sembra emergere una forte dipendenza tra i livelli invernali di concentrazione di ossidi di azoto e polveri.

1.4.4.2 La correlazione tra i parametri di qualità dell'aria e i parametri meteorologici

Le elaborazioni effettuate sui dati di concentrazione del PM10 rilevati nel corso del periodo 2005-2013 evidenziano uno stretto legame tra le concentrazioni e le stagioni; le concentrazioni maggiori di PM10 si rilevano durante la stagione invernale, sebbene superamenti del valore limite giornaliero di PM10 di 50 µg/m³ si possono generalmente riscontrare anche durante la stagione estiva. Il grafico seguente fornisce un esempio di quanto osservato durante il periodo di studio riguardo a tali differenze:

⁵ In statistica, il coefficiente di determinazione, (più comunemente R^2), è una proporzione tra la variabilità dei dati e la correttezza del modello statistico utilizzato. R^2 varia tra 0 ed 1: quando è 0 il modello utilizzato non spiega per nulla i dati; quando è 1 il modello spiega perfettamente i dati. Nel caso della correlazione lineare semplice il modello di riferimento è la retta ($y = a + bx$).

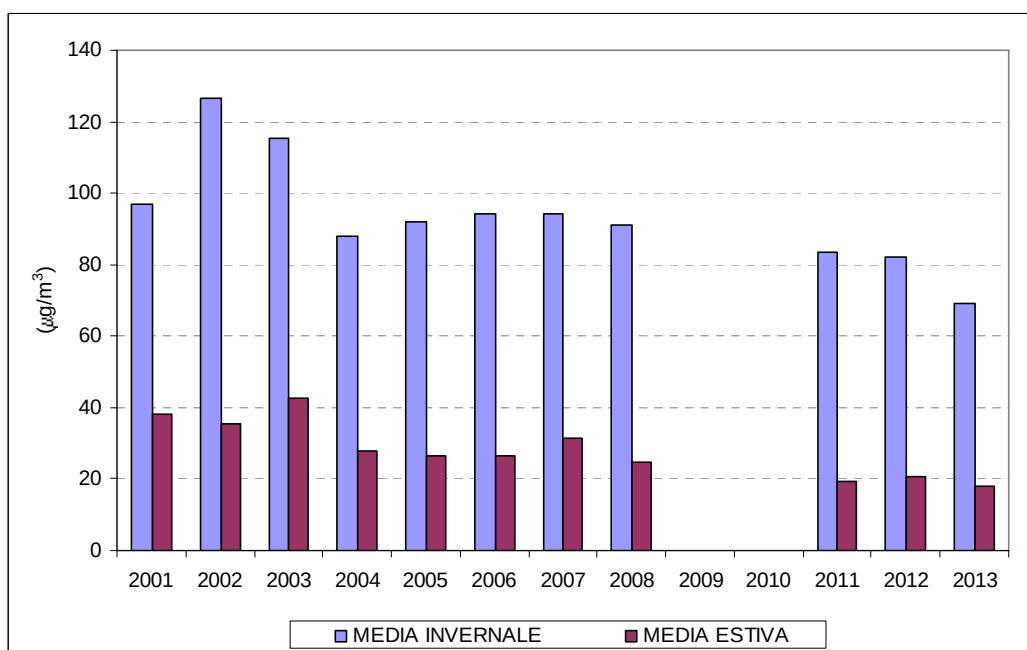


Figura 1.4.4.2.1. PT-Montale: Concentrazioni medie stagionali PM10

Al fine di potere valutare il legame esistente tra variabili meteorologiche, parametri di qualità dell'aria e concentrazioni di PM10 e di individuare i parametri che più significativamente possono incidere sui livelli di PM10 misurati, si è proceduto ad approfondire ulteriormente lo studio di correlazione effettuando uno studio del legame statistico esistente tra le concentrazioni di PM10 e i parametri meteorologici e di qualità dell'aria dell'aria rilevati dalla centralina di Montale tramite un'analisi multivariata. Si è scelto di adottare la tecnica statistica dell'analisi multivariata in quanto l'interpretazione dei fenomeni che portano alla determinazione dei valori di concentrazione di PM10 coinvolgono necessariamente un numero $n > 1$ di variabili.

Per analisi statistica multivariata si intende un insieme di tecniche e metodi statistici che mirano a descrivere e analizzare la struttura dell'insieme di individui osservati. All'[allegato 5](#) sono state analizzate le possibili tecniche di analisi multivariata.

Nel caso del presente studio, obiettivo specifico dell'analisi era quello di determinare le relazioni tra le variabili al fine di prevedere il valore di una variabile (la concentrazione di PM10) sulla base delle osservazioni disponibili sulle altre variabili (le variabili di qualità dell'aria e meteorologiche monitorate). Vista la natura delle variabili oggetto dell'approfondimento e l'obiettivo che si intende raggiungere, tra le varie tecniche di analisi multivariata disponibili è stato deciso adottare la tecnica della regressione multipla sviluppandola distintamente sui dati invernali ed estivi⁶.

⁶. L'analisi della regressione è una tecnica usata per analizzare una serie di dati che consistono in una variabile dipendente e una o più variabili indipendenti. La variabile dipendente nell'equazione di regressione è modellata come una funzione delle variabili indipendenti più un termine d'errore. Quest'ultimo è una variabile casuale e rappresenta una variazione non controllabile e imprevedibile nella variabile dipendente; i parametri sono stimati in modo da descrivere al meglio i dati. In particolare nella regressione lineare multipla ci sono più variabili indipendenti o funzioni di variabili indipendenti.

Da un'indagine svolta in merito a studi di correlazione tra variabili meteorologiche e di qualità dell'aria è, inoltre, emerso che la stessa metodologia è stata adottata per l'analisi dei dati ottenuti dai monitoraggi effettuati nell'ambito del Progetto Parfil (PARTicolato Fine in regione Lombardia) promosso dalla Regione Lombardia al fine di approfondire la conoscenza della composizione del particolato e dei meccanismi di formazione e diffusione nel territorio regionale.

L'analisi è stata effettuata sui dati rilevati nel periodo 2006-2011 separatamente per il periodo estivo (21 marzo – 20 settembre) e per il periodo invernale (1 gennaio – 20 marzo, 21 settembre – 31 dicembre); si ritiene che un periodo di osservazione superiore a 5 anni sia sufficiente ad individuare eventuali dipendenze tra i parametri.

Le variabili utilizzate per l'analisi sono i parametri rilevati presso la centralina di Montale:

- parametri meteorologici: velocità del vento (VV), umidità (U) e temperatura (T)⁷
- parametri di qualità dell'aria: NO_x, O₃, SO₂

Dall'applicazione della tecnica di regressione multipla sono state ottenute le seguenti formulazioni, ovviamente non estrapolabili a livello generale, seppur con i limiti riportati anche in nota 7:

Periodo invernale:

$$PM10_{\text{previsto}} = 0,86 \text{ NO}_x + 0,21 \text{ O}_3 - 2,44 \text{ SO}_2 - 6,27 \text{ VV} - 0,05 \text{ U} - 1,44 \text{ T} + 37,25$$

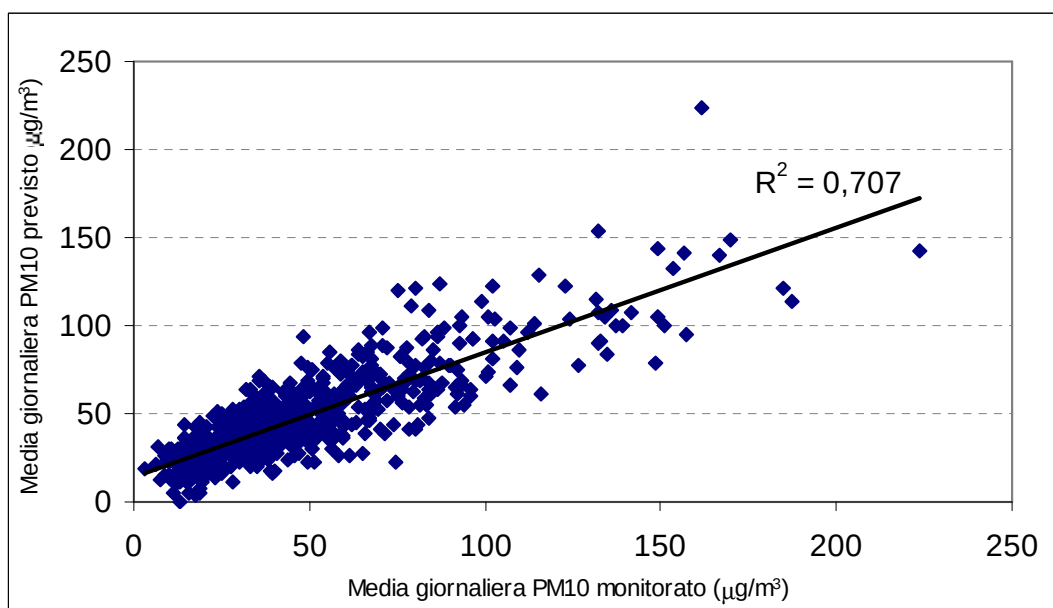


Figura 1.4.4.2.2. Correlazione tra valore previsto con il modello e valore osservato con il monitoraggio di PM10 periodo INVERNALE

⁷ Nello studio "Calcolo dei campi di vento e variabili micrometeorologiche nella macroarea FI-PO-PT tramite Calmet ®Eartech inc." del 15.11.13, Allegato 10 effettuato dal Settore Modellistica previsionale dell'ARPAT, per la stazione di PT-Montale viene osservato che la rosa dei venti delle simulazioni effettuate appare più verosimile di quella delle misure in quanto riproduce le direzioni attese per la posizione della stazione (NE e OSO). Le misure (anno 2007) infatti presentano una netta direzione prevalente E e, senza ragione, la completa assenza delle direzioni S ed O, inoltre i valori del modulo della velocità sono nettamente inferiori alle simulazioni. La distribuzione dei venti rilevata presso la stazione di PT - Montale presenta direzionalità e frequenze concentrate nei quadranti E e N e mostra assenza di venti provenienti dal quadrante meridionale e valori residui nel quadrante occidentale. La scomparsa di venti dai quadranti meridionali risulta difficile da comprendere. In base a tali risultati viene ritenuto che la stazione sia influenzata molto localmente da ostacoli che deviano o bloccano il flusso del vento.

Nonostante queste valutazioni successive all'effettuazione dell'analisi multivariata del punto 1.4.4.2, le considerazioni conseguenti rimangono comunque invariate.

Al fine di verificare l'effettiva correlazione delle variabili indipendenti individuate con i valori stimati di concentrazione di PM10 si è provveduto ad effettuare la regressione con i dati normalizzati delle variabili; in tale modo è stato possibile riportare tutte le variabili indipendenti ad una stessa scala di valori per cui i coefficienti ottenuti dall'analisi rappresentano l'effettiva influenza che ciascuna variabile ha sui valori calcolati del PM10. L'equazione in tal modo ottenuta è la seguente:

$$\text{PM10}_{\text{previsto}} = \mathbf{0,78 \text{ NOx}} + 0,1 \text{ O3} + 0,13 \text{ SO2} - 0,21 \text{ VV} - 0,02 \text{ U} - 0,15 \text{ T} + 0,17$$

Si può osservare da subito la prevalenza del termine relativo al contributo del parametro NOx rispetto agli altri parametri. Quanto sopra osservato viene confermato anche da quanto emerso dallo studio della correlazione tra i parametri NO_x e PM10 presentato nel precedente paragrafo; si può osservare, infatti, che il coefficiente di correlazione ottenuto dal confronto tra il PM10 monitorato e quello stimato con l'analisi di regressione multipla sia molto simile a quello ottenuto dal confronto diretto tra i valori di concentrazione di PM10 e di NO_x monitorati.

Stagione estiva:

$$\text{PM10}_{\text{previsto}} = 0,46 \text{ NOx} - 0,03 \text{ O3} + 3,73 \text{ SO2} - 1,64 \text{ VV} - 0,07 \text{ U} + 0,30 \text{ T} + 20,32$$

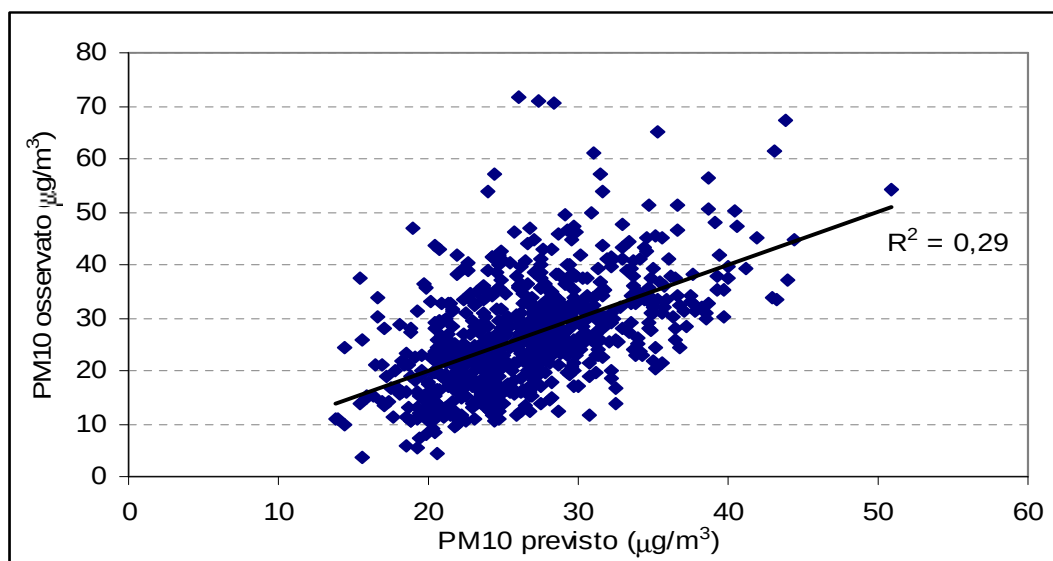


Figura 1.4.4.2.3. Correlazione tra valore previsto con il modello e valore osservato con il monitoraggio di PM10_periodo ESTIVO

Mentre l'analisi di regressione lineare multipla applicata ai dati rilevati nella stagione invernale ha fornito risultati soddisfacenti in quanto per essa si è ottenuto un valore molto vicino a 1 del quadrato del coefficiente di correlazione (R^2), lo stesso non si può dire per l'elaborazione effettuata sui dati della stagione estiva in quanto, in tale caso, il valore di tale coefficiente è risultato essere molto ridotto (vedi grafico precedente). Il coefficiente di correlazione esprime, infatti, la proporzione di variazione della variabile dipendente y spiegata dal modello, quindi, nel caso in cui tale valore fosse circa 1 si può ritenere buono il modello utilizzato (i valori stimati e quelli osservati sono fortemente correlati) mentre nel caso in cui il suo valore fosse vicino allo zero il modello utilizzato deve essere ritenuto non

adeguato a descrivere la correlazione della variabile dipendente oggetto dello studio (la concentrazione di PM10 rilevata) con le variabili indipendenti individuate.

Visto l'elevato valore del coefficiente di correlazione e la netta prevalenza del termine relativo al contributo del parametro NO_x rilevati per il periodo invernale, periodo nel quale si rilevano anche elevati valori di concentrazione per il PM10, si è ritenuto utile effettuare approfondimenti in merito verificando la correlazione tra i dati di concentrazione di PM10 e quelli delle principali specie chimiche degli ossidi di azoto che destano maggiori preoccupazioni in termini di inquinamento atmosferico (NO e NO₂).

Si ricorda che la verifica della correlazione consente di misurare la relazione fra due insiemi di dati indipendenti dall'unità di misura. È possibile utilizzare lo strumento di correlazione per determinare se due intervalli di dati crescono proporzionalmente, ovvero se i valori elevati di un insieme sono associati ai valori elevati dell'altro (correlazione positiva), se i valori bassi di un insieme sono associati ai valori elevati dell'altro (correlazione negativa) o se non esiste correlazione tra i valori dei due insiemi (correlazione prossima a zero).

L'ossido di azoto (NO) è un inquinante primario che si forma generalmente nei processi di combustione ad alta temperatura (processi per la produzione di calore, vapore, energia elettrica, energia meccanica – autotrazione, esplosioni, incenerimento, ecc.); in particolare le combustioni che superano i 1.200°C producono prevalentemente NO e in misura ridotta NO₂.

Il biossido di azoto (NO₂) può essere un contaminante di origine primaria emesso prevalentemente dai motori diesel (nei quali vengono raggiunte temperature di combustione generalmente inferiori ai 1000°C, minori rispetto a quelle raggiunte nei motori a scoppio), ma è per lo più un inquinante di origine secondaria che si genera in seguito all'ossidazione in atmosfera dell'ossido di azoto (NO)⁸.

Al fine di verificare in modo completo la correlazione tra il PM10 e i composti dell'NO_x e quindi di trarre deduzioni utili e il più possibile esaurienti in merito ad eventuali particolarità o eccezioni dei dati di concentrazione rilevati presso la stazione di Montale, si è proceduto alla verifica della correlazione tra NO e PM10 tramite il test di Pearson per tutte le stazioni di rete regionale presso le quali sono monitorati entrambi i parametri, sia di traffico che di fondo, sia per il periodo invernale che estivo per gli anni 2011⁹ e 2012.

Si riportano di seguito i valori degli indici di correlazione ($\rho_{xy} = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y}$) ottenuti per ciascuna stazione

in ordine decrescente; si ricorda che, la correlazione viene detta “debole” (D) se $0 < \rho_{xy} < 0,3$, “moderata” (M) se $0,3 < \rho_{xy} < 0,7$ e “forte” (F) se $\rho_{xy} > 0,7$:

⁸ In caso di inquinamento fortuito da monossido di azoto (NO), la concentrazione in atmosfera decade in 2-5 giorni, ma nel caso di emissioni continue si assiste all'attivazione di un ciclo giornaliero che porta alla produzione di inquinanti secondari, quali il biossido di azoto.

⁹ Per le stazioni di monitoraggio che non hanno ottenuto una percentuale di dati validi per i parametri PM10 o NO_x nell'anno 2011 superiore o uguale al 90% sono stati utilizzati i dati relativi all'anno precedente nel quale tale percentuale è stata raggiunta per entrambi i parametri

Zona	Tipo	Stazione	Coefficiente di correlazione di Pearson sull'anno	Coefficiente di correlazione di Pearson INVERNO	Coefficiente di correlazione di Pearson ESTATE
Prato-Pistoia	RF	PT-MONTALE	0,84	0,82	0,52
Valdarno Pisano e Piana Lucchese	UF	LU-CAPANNORI	0,84	0,79	0,39
Valdarno Pisano e Piana Lucchese	UT	PI-BORGHETTO	0,82	0,81	0,33
Prato-Pistoia	UF	PO-ROMA	0,81	0,80	0,31
Agglomerato	UT	FI-MOSSE	0,79	0,78	0,42
Valdarno Aretino E Valdichiana	UT	AR-REPUBBLICA	0,76	0,74	0,16
Prato-Pistoia	UT	PO-FERRUCCI	0,75	0,82	0,18
Valdarno Pisano e Piana Lucchese	PF	PI-S.C.COOP	0,75	0,72	0,17
Agglomerato	UT	FI-GRAMSCI_2011	0,74	0,70	0,26
Prato-Pistoia	UF	PT-SIGNORELLI	0,72	0,72	0,58
Valdarno Pisano e Piana Lucchese	UF	PI-PASSI	0,71	0,69	0,21
Agglomerato	UF	FI-BASSI	0,71	0,68	0,21
Agglomerato	UF	FI-SCANDICCI	0,71	0,70	0,20
Agglomerato	UF	FI-BOBOLI	0,70	0,74	0,47
Costiera	UF	COLOMBAROTTO	0,66	0,65	0,36
Costiera	UF	LU-VIAREGGIO 2	0,65	0,67	0,04
Collinare Montana	UF	SI-POGGIBONSI	0,54	0,48	0,26
Costiera	UT	LI-CARDUCCI	0,43	0,45	0,25
Costiera	UF	GR-URSS	0,31	0,38	-0,002
Collinare Montana	RF	AR-CASA STABBI	-0,04	-0,01	0,08

Tabella 1.4.4.2.1 Applicazione dell'indice di correlazione di Pearson ai dati di PM10 ed NO di tutte le stazioni di rete regionale

Zona	Tipo	Stazione	Classe coeff. correlazione Pearson sull'anno	Classe coeff. correlazione Pearson INVERNO	Classe coeff. correlazione Pearson ESTATE
Prato-Pistoia	RF	PT-MONTALE	F	F	M
Valdarno Pisano e Piana Lucchese	UF	LU-CAPANNORI	F	F	M
Valdarno Pisano e Piana Lucchese	UT	PI-BORGHETTO	F	F	M
Prato-Pistoia	UF	PO-ROMA	F	F	M
Agglomerato	UT	FI-MOSSE	F	F	M
Valdarno Aretino E Valdichiana	UT	AR-REPUBBLICA	F	F	D
Prato-Pistoia	UT	PO-FERRUCCI	F	F	D
Valdarno Pisano e Piana Lucchese	PF	PI-S.C.COOP	F	F	D
Agglomerato	UT	FI-GRAMSCI_2011	F	F	D
Prato-Pistoia	UF	PT-SIGNORELLI	F	F	M

Valdarno Pisano e Piana Lucchese	UF	PI-PASSI	F	M	D
Agglomerato	UF	FI-BASSI	F	M	D
Agglomerato	UF	FI-SCANDICCI	F	F	D
Agglomerato	UF	FI-BOBOLI	F	F	M
Costiera	UF	COLOMBAROTTO	M	M	M
Costiera	UF	LU-VIAREGGIO 2	M	M	D
Collinare Montana	UF	SI-POGGIBONSI	M	M	D
Costiera	UT	LI-CARDUCCI	M	M	D
Costiera	UF	GR-URSS	M	M	D
Collinare Montana	RF	AR-CASA STABBI	D	D	D

Tabella 1.4.4.2.2. Classe indice di correlazione di Pearson applicato a PM10 ed NO

Si può, innanzitutto, osservare che la stazione di PT-Montale è la stazione con maggiore valore dell'indice di correlazione sia relativo all'intero anno di riferimento che al solo periodo invernale mentre presenta un indice di correlazione relativo al periodo estivo inferiore. La stretta correlazione tra PM10 e NO indica che all'incremento del livello di concentrazione di NO corrisponde un incremento della concentrazione di PM10; i due parametri, perciò, hanno andamenti simili.

Essendo l'NO un inquinante di origine principalmente primaria e quindi derivante da fonti dirette di emissione, sembra plausibile correlare le concentrazioni di PM10 rilevate presso la stazione di Montale nel periodo invernale con le emissioni di fonti presenti in zone limitrofe alla centralina; parte del PM10 rilevato presso la centralina sembrerebbe, cioè, di origine primaria.

E' possibile, inoltre, individuare due gruppi di stazioni in base ai diversi "livelli di correlazione" tra PM10 e NO; in particolare nel primo gruppo (in *corsivo* nella tabella precedente) si inseriscono tutte le centraline con correlazione di tipo "forte" sia per il periodo invernale che per l'intero anno o con valori dell'indice comunque molto prossimi allo 0,7, valore discriminante tra "correlazione forte" e "correlazione moderata" (vedi ad es. FI-Bassi e PI-Passì per il periodo invernale), mentre del secondo gruppo fanno parte le stazioni con indice di correlazione di tipo "moderato" o "debole" per tutti i periodi considerati.

In particolare si osserva che nel primo gruppo sono presenti, come prevedibile, tutte le stazioni di traffico fatta eccezione per la stazione di LI-Carducci la quale, però, si trova in una zona (la zona costiera) che presenta particolari caratteristiche meteorologiche che creano condizioni di elevata dispersione atmosferica.

Al fine di analizzare ulteriormente tali informazioni e di valutare il più approfonditamente possibile l'appartenenza della stazione di Montale al primo gruppo di stazioni, si è proceduto ad affiancare i risultati ottenuti tramite l'applicazione di una metodologia (indice β) proposta ed utilizzata in Belgio per

la valutazione della rappresentatività spaziale delle stazioni (vedi par. 1.2.6). L'indice β , associato ad ogni stazione di monitoraggio di tipo fondo e utilizzato relativamente al PM10, sintetizza in un unico valore le informazioni sull'uso del suolo e sulle pressioni emissive locali; ai risultati ottenuti tramite l'analisi dei soli dati di qualità dell'aria (correlazione PM10/NO) sono state, perciò, affiancate informazioni dedotte dall'analisi dei dati di uso del suolo e di pressione emissiva.

Zona	Tipo	Stazione	Classe coeff. corr. Pearson sull'anno	Classe coeff. corr. Pearson INVERNO	Classe coeff. corr. Pearson ESTATE	Risultati indice β
Prato-Pistoia	RF	PT-MONTALE	F	F	M	Alto fondo e bassa dispersione
Valdarno Pisano e Piana Lucchese	UF	LU-CAPANNORI	F	F	M	Alto fondo e bassa dispersione
Valdarno Pisano e Piana Lucchese	UT	PI-BORGHETTO	F	F	M	-
Prato-Pistoia	UF	PO-ROMA	F	F	M	Alto fondo e alta dispersione
Agglomerato	UT	FI-MOSSE	F	F	M	-
Valdarno Aretino E Valdichiana	UT	AR-REPUBBLICA	F	F	D	-
Prato-Pistoia	UT	PO-FERRUCCI	F	F	D	-
Valdarno Pisano e Piana Lucchese	PF	PI-S.C.COOP	F	F	D	Alto fondo e bassa dispersione
Agglomerato	UT	FI-GRAMSCI_2011	F	F	D	-
Prato-Pistoia	UF	PT-SIGNORELLI	F	F	M	Alto fondo e alta dispersione
Valdarno Pisano e Piana Lucchese	UF	PI-PASSI	F	M	D	Alto fondo e alta dispersione
Agglomerato	UF	FI-BASSI	F	M	D	Alto fondo e alta dispersione
Agglomerato	UF	FI-SCANDICCI	F	F	D	Alto fondo e bassa dispersione
Agglomerato	UF	FI-BOBOLI	F	F	M	Alto fondo e alta dispersione
Costiera	UF	COLOMBAROTTO	M	M	M	Basso fondo e bassa dispersione
Costiera	UF	LU-VIAREGGIO 2	M	M	D	Basso fondo e bassa dispersione
Collinare Montana	UF	SI-POGGIBONSI	M	M	D	Basso fondo e bassa dispersione
Costiera	UT	LI-CARDUCCI	M	M	D	-

Costiera	UF	GR-URSS	M	M	D	Basso fondo e alta dispersione
Collinare Montana	RF	AR-CASA STABBI	D	D	D	Basso fondo e alta dispersione

Tabella 1.4.4.2.3. Classe indice di correlazione di Pearson applicato a PM10 ed NO e risultati metodo indice β

Dalla tabella precedente si può osservare che il gruppo di stazioni analizzate può essere suddiviso in due sottogruppi: del primo sottogruppo fanno parte tutte le stazioni di traffico e le stazioni di fondo collocate in zone che presentano valori elevati degli indici di pressione relativamente al PM10 (alto fondo) - tra queste anche PT-Montale, nel secondo sottogruppo, invece, si collocano solo stazioni di fondo situate in zone che presentano valori ridotti degli indici di pressione relativamente al PM10 (basso fondo).

Si osserva, inoltre, che le due stazioni di tipo rurale fondo hanno comportamenti opposti relativamente alla correlazione tra PM10 e NO; per la stazione di AR-Casa Stabbi si osserva una correlazione debole tra i due inquinanti, per la stazione di PT-Montale si osserva, invece, una correlazione molto forte.

E' stata, quindi, condotta un'analisi di correlazione tra le concentrazioni di PM10 e quelle di NO₂ rilevate al fine di definire anche l'eventuale rapporto tra un inquinante principalmente secondario quale l'NO₂¹⁰ e le concentrazioni di PM10.

I valori dei coefficienti di Pearson calcolati per ciascuna stazione di rete regionale presso la quale sono stati monitorati entrambi i parametri sono riportati nella tabella seguente, mentre nella tabella successiva sono riportati schematicamente i risultati dell'indagine:

Zona	Tipo	Stazione	Coefficiente di correlazione di Pearson sull'anno	Coefficiente di correlazione di Pearson INVERNO	Coefficiente di correlazione di Pearson ESTATE
Prato - Pistoia	RF	PT-MONTALE	0,83	0,81	0,50
Prato - Pistoia	UF	PO-ROMA	0,76	0,75	0,31
Valdarno Pisano e Piana Lucchese	PF	PI-S.C.COOP	0,76	0,78	0,21
Agglomerato	UF	FI-BASSI	0,74	0,79	0,34
Valdarno Pisano e Piana Lucchese	UF	PI-PASSI	0,73	0,73	0,28
Agglomerato	UF	FI-SCANDICCI	0,68	0,69	0,33

¹⁰ La produzione di NO₂, aumentando col diminuire della temperatura, si ha durante il processo di raffreddamento dei fumi derivanti dai processi di combustione. Tale produzione, inoltre, è proporzionale alla concentrazione di O₂ ed al quadrato della concentrazione di NO. Così, poiché durante il raffreddamento dei fumi la concentrazione di O₂ aumenta mentre quella di NO diminuisce, l'effetto globale porta ad una limitata produzione di NO₂, stimata pari a circa il 10% dell'NO presente nei fumi. Questa è la porzione di produzione primaria di NO₂. Il biossido di azoto può essere, inoltre, originato anche da processi produttivi senza combustione, come ad esempio la produzione di acido nitrico, fertilizzanti azotati, ecc..., ed anche da sorgenti naturali (attività batterica, eruzioni vulcaniche, incendi)

Agglomerato	UT	FI-MOSSE	0,65	0,64	0,42
Prato - Pistoia	UF	PT-SIGNORELLI	0,63	0,59	0,42
Valdarno Pisano e Piana Lucchese	UT	PI-BORGHETTO	0,61	0,53	0,46
Costiera	UF	LU-VIAREGGIO 2	0,59	0,60	0,03
Valdarno Aretino E Valdichiana	UT	AR-REPUBBLICA	0,55	0,48	0,25
Collinare-Montana	UF	SI-POGGIBONSI	0,53	0,45	0,22
Agglomerato	UT	FI-GRAMSCI	0,44	0,42	0,29
Costiera	UF	GR-URSS	0,37	0,44	0,20
Costiera	UT	LI-CARDUCCI	0,31	0,46	0,20
Prato - Pistoia	UT	PO-FERRUCCI	0,26	0,52	-0,04
Agglomerato	UF	FI-BOBOLI	0,25	0,41	-0,17
Valdarno Pisano e Piana Lucchese	UF	LU-CAPANNORI	0,12	0,49	-0,05
Costiera	UF	MS-COLOMBAROTTO	0,06	0,32	0,03
Collinare-Montana	RF	AR-CASA STABBI	-0,04	-0,01	0,08

Tabella 1.4.4.2.4. Applicazione dell'indice di correlazione di Pearson ai dati di PM10 ed NO₂ di tutte le stazioni di rete regionale

Zona	Tipo	Stazione	Classe coeff. corr. Pearson sull'anno	Classe coeff. corr. Pearson INVERNO	Classe coeff. corr. Pearson ESTATE	Risultati metodo indice β
Prato - Pistoia	RF	PT-MONTALE	F	F	M	Alto fondo e bassa dispersione
Prato - Pistoia	UF	PO-ROMA	F	F	M	Alto fondo e alta dispersione
Valdarno Pisano e Piana Lucchese	PF	PI-S.C.COOP	F	F	D	Alto fondo e bassa dispersione
Agglomerato	UF	FI-BASSI	F	F	M	Alto fondo e alta dispersione
Valdarno Pisano e Piana Lucchese	UF	PI-PASSI	F	F	D	Alto fondo e alta dispersione
Agglomerato	UF	FI-SCANDICCI	F	F	M	Alto fondo e bassa dispersione

Agglomerato	UT	FI-MOSSE	M	M	M	
Prato - Pistoia	UF	PT-SIGNORELLI	M	M	M	Alto fondo e alta dispersione
Valdarno Pisano e Piana Lucchese	UT	PI-BORGHETTO	M	M	M	
Costiera	UF	LU-VIAREGGIO 2	M	M	D	Basso fondo e bassa dispersione
Valdarno Aretino E Valdichiana	UT	AR-REPUBBLICA	M	M	D	
Collinare-Montana	UF	SI-POGGIBONSI	M	M	D	Basso fondo e bassa dispersione
Agglomerato	UT	FI-GRAMSCI	M	M	D	
Costiera	UF	GR-URSS	M	M	D	Basso fondo e alta dispersione
Costiera	UT	LI-CARDUCCI	M	M	D	
Prato - Pistoia	UT	PO-FERRUCCI	D	M	anticorr.	
Agglomerato	UF	FI-BOBOLI	D	M	anticorr.	Alto fondo e alta dispersione
Valdarno Pisano e Piana Lucchese	UF	LU-CAPANNORI	D	M	anticorr.	Alto fondo e bassa dispersione
Costiera	UF	MS-COLOMBAROTTO	D	M	D	Basso fondo e bassa dispersione
Collinare-Montana	RF	AR-CASA STABBI	anticorr.	anticorr.	D	Basso fondo e alta dispersione

Tabella 1.4.4.2.5. Classe indice di correlazione di Pearson applicato a PM10 ed NO₂ e risultati metodo indice β

Si può, innanzitutto, osservare che la stazione di PT-Montale è la stazione con maggiore valore dell'indice di correlazione sia relativo all'intero anno di riferimento che al solo periodo invernale. La stretta correlazione tra PM10 e NO₂ indica che all'incremento del livello di concentrazione di NO₂ corrisponde un incremento della concentrazione di PM10; i due parametri, perciò, hanno andamenti simili.

Essendo l'NO₂ un inquinante di origine principalmente secondaria e quindi derivante da fonti di emissione anche molto distanti dal sito della stazione di monitoraggio, sembra plausibile correlare le concentrazioni di PM10 rilevate presso la stazione di Montale nel periodo invernale con le emissioni di fonti presenti in zone anche molto lontane dalla centralina; parte del PM10 rilevato presso la centralina sembrerebbe, cioè, di origine secondaria.

Anche in questo caso si può osservare che il gruppo di stazioni analizzate può essere suddiviso in due sottogruppi: del primo sottogruppo fanno parte tutte le stazioni di fondo collocate in zone che presentano valori elevati degli indici di pressione relativamente al PM10 e caratterizzate da condizioni

che non permettono una rapida dispersione degli inquinanti (fatta eccezione per la stazione di LU-Capannori) - tra queste anche PT-Montale, nel secondo sottogruppo, invece, si collocano tutte le stazioni di traffico e le stazioni fondo situate in zone che presentano valori ridotti degli indici di pressione relativamente al PM10 (basso fondo) o condizioni che permettono una rapida dispersione degli inquinanti. Si osserva, inoltre, che le due stazioni di tipo rurale fondo hanno comportamenti opposti relativamente alla correlazione tra PM10 e NO₂; per la stazione di AR-Casa Stabbi si osservano condizioni di anticorrelazione tra i due inquinanti, per la stazione di PT-Montale si osserva, invece, una correlazione molto forte.

Infine, è stata valutata la distribuzione dei valori di concentrazione per NO₂ e NO nel corso dell'anno e la distribuzione delle differenze di concentrazione di tali parametri per la stazione di PT-Montale. Dal successivo grafico si può osservare, come già evidenziato dalle prove effettuate per la verifica della correlazione con il PM10, l'andamento coerente tra PM10, NO₂ e NO; in particolare si può notare che in generale 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 numerosi episodi in cui i valori di concentrazione di NO sono superiori rispetto a quelli dell'NO₂.

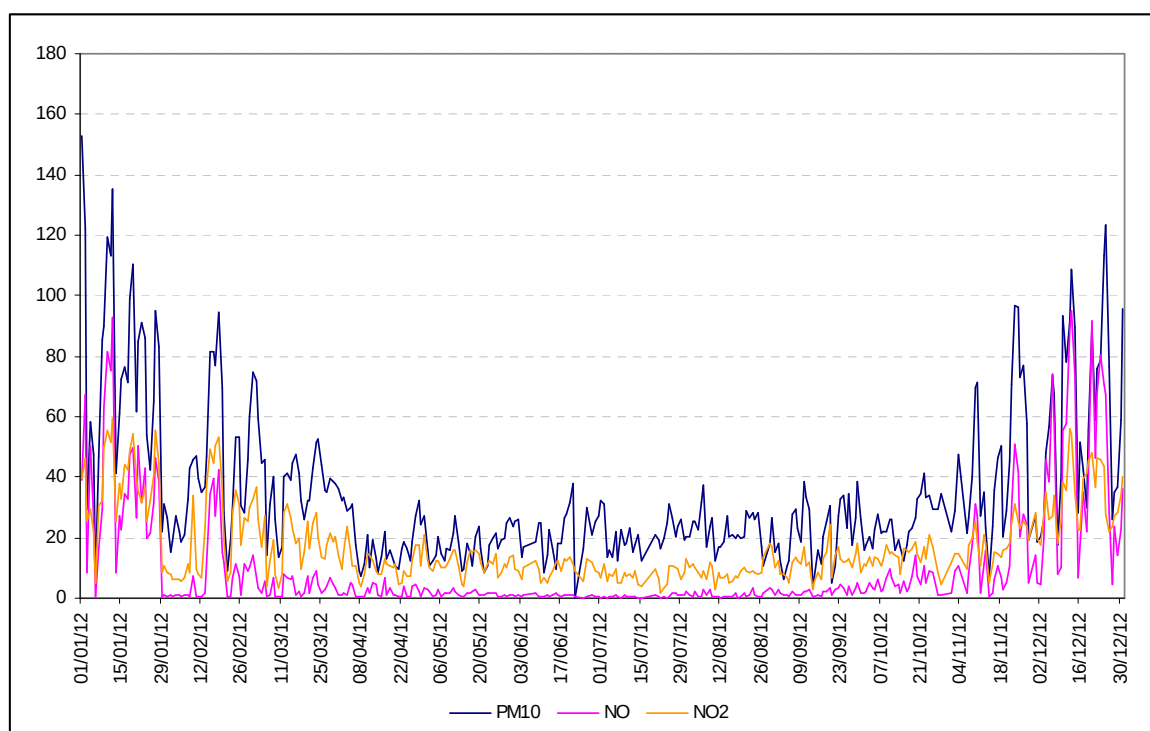


Figura 1.4.4.2.4. Andamento PM10, NO2, NO rilevato presso la stazione di PT-Montale, anno 2012

L'insieme delle informazioni emerse dall'analisi della correlazione tra PM10, NO e NO₂ 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.

Dalle analisi emerge, inoltre, una stretta correlazione tra PM10 e NO₂; essendo l'NO₂ un inquinante di origine principalmente secondaria, tale risultato sembra supportare l'ipotesi della presenza, nel periodo invernale, di una componente secondaria nei livelli di concentrazione registrati per il PM10.

1.4.5 Analisi del rapporto PM10/PM2,5

Al fine di verificare la corretta classificazione della stazione di PT-Montale (di tipo fondo), si è ritenuto utile approfondire i valori riscontrati per il parametro PM10 anche in relazione al suo rapporto rispetto al parametro PM2,5¹¹.

Il rapporto PM2,5 su PM10 è, infatti, un semplice strumento per valutare in modo qualitativo il peso della componente più fine; nel PM10 sono infatti contenute tutte le polveri con diametro inferiore a 10 µm e quindi anche le polveri PM2,5.

Più il rapporto ha valori ridotti più significa che il contributo della porzione più grossolana è preponderante; la maggiore percentuale della frazione “coarse” del PM10 (frazione PM2,5-10, con granulometria, cioè, superiore a 2,5 µm) viene solitamente riscontrata nelle stazioni di traffico; in tali stazioni, infatti, si registra un forte contributo del risollevarimento di polvere dovuto al traffico veicolare, polvere principalmente di granulometria “coarse”. Per le stazioni di tipo “traffico” si osservano, quindi, valori del rapporto PM2,5/PM10 generalmente inferiori rispetto a quelli osservabili per quelle di tipo “fondo”.

Nel presente paragrafo sono stati calcolati i rapporti tra concentrazioni medie annuali di PM2,5 e concentrazioni medie annuali di PM10 per le stazioni di rete regionale presso le quali vengono misurati entrambi i parametri ed è stata valutata l'eventuale variazione stagionale di tale rapporto.

Di seguito, in particolare, vengono riportati tabelle e grafici con i valori percentuali del rapporto PM2,5/PM10 rilevati per tutte le stazioni di rete regionale per le quali si è ottenuto nel corso dell'anno un numero di dati validi per il parametro PM10 superiore al 90%:

Stazione	Tipologia	Rapporti % tra le concentrazioni medie annue di PM2,5 e di PM10			
		2010	2011	2012	2013
FI-Bassi	Urbana Fondo	-	67%	70%	70%
PO-Roma	Urbana Fondo	71%	73%	73%	74%
PI-Passi	Urbana Fondo	64%	69%	64%	70%
GR-URSS	Urbana Fondo	61%	63%	58%	65%
PT-Montale ¹	Rurale fondo	-	-	-	66%
FI-Gramsci	Urbana Traffico	-	57%	52%	57%
LI-Carducci	Urbana Traffico	-	55%	56%	56%
Rapporto % medio complessivo tipologia fondo	67%				

¹¹ Si fa presente che, secondo quanto indicato nella DGRT 1025/2010 nella centralina di Montale è presente, a partire da febbraio 2013 un analizzatore PM10/PM2,5 che consente il monitoraggio il contemporaneo dei due parametri

Rapporto % medio complessivo tipologia traffico	56%

Tabella 1.4.5.1. Rapporto percentuale tra medie annuali di PM_{2,5} e di PM₁₀

1. L'analizzatore PM₁₀/PM_{2,5} è attivo dal 16/02/2013

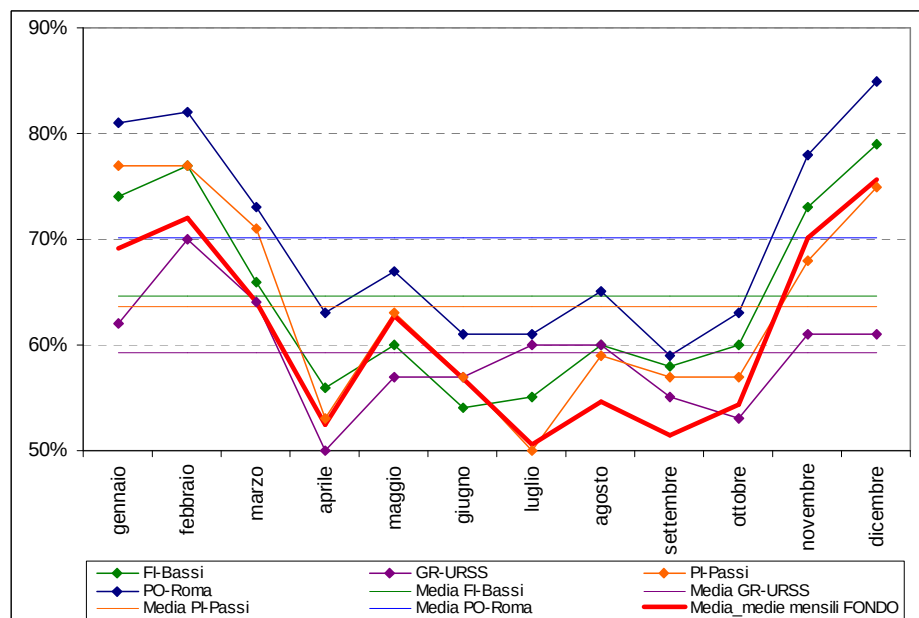
Dai valori in tabella si può notare che il rapporto in esame è minore presso le stazioni di traffico dove i valori sono compresi tra il 52 e il 57% con 56% di media.

Presso le stazioni di fondo il rapporto varia tra il minimo del 58% registrato nel 2012 presso la stazione di fondo di GR-URSS ed il valore massimo del 74% registrato presso la stazione di Prato nel 2012.

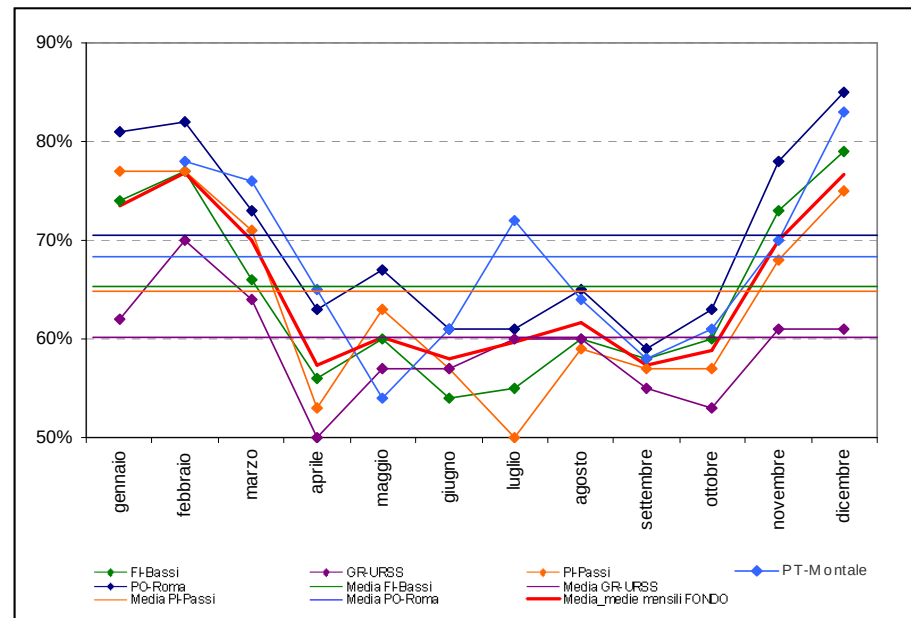
E' stata, inoltre, valutata la distribuzione del rapporto percentuale tra PM_{2,5} e PM₁₀ nei vari mesi degli anni 2012-2013 in modo da analizzare l'eventuale variazione stagionale di tale dato:

	PO-ROMA		FI-BASSI		PI-PASSI		GR-URSS		PT-MONTALE
	2012	2013	2012	2013	2012	2013	2012	2013	2013
gennaio	82%	81%	76%	74%	78%	77%	67%	62%	-
febbraio	82%	82%	78%	77%	78%	77%	73%	70%	78%
marzo	73%	73%	74%	66%	65%	71%	60%	64%	76%
aprile	66%	63%	63%	56%	57%	53%	55%	50%	65%
maggio	57%	67%	55%	60%	46%	63%	54%	57%	54%
giugno	65%	61%	63%	54%	58%	57%	63%	57%	61%
luglio	72%	61%	67%	55%	69%	50%	70%	60%	72%
agosto	66%	65%	65%	60%	61%	59%	62%	60%	64%
settembre	61%	59%	56%	58%	53%	57%	54%	55%	58%
ottobre	68%	63%	65%	60%	58%	57%	57%	53%	61%
novembre	71%	78%	69%	73%	61%	68%	63%	61%	70%
dicembre	88%	85%	90%	79%	80%	75%	78%	61%	83%
Max	88%	85%	90%	79%	80%	77%	78%	70%	83%
Min	57%	59%	55%	54%	46%	50%	54%	50%	54%

Tabella 1.4.5.2. Stazioni di fondo: andamento mensile del rapporto tra PM_{2,5} e PM₁₀, anni 2012 e 2013



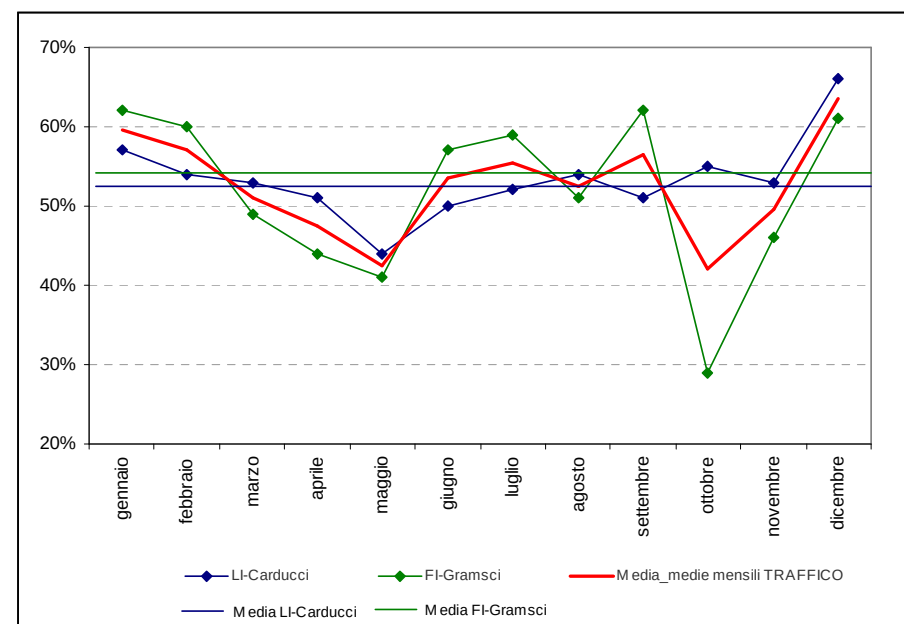
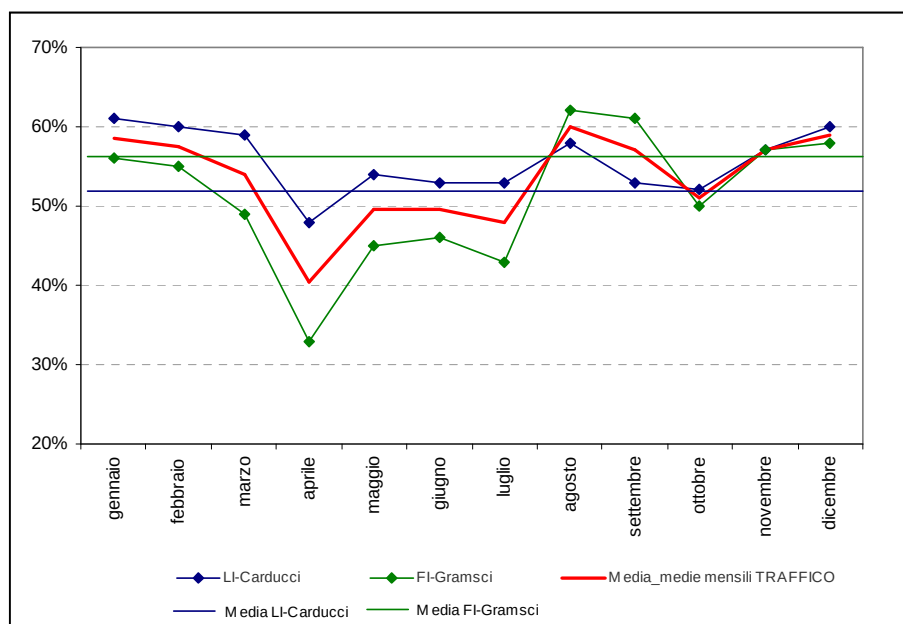
Andamento mensile del rapporto tra PM_{2,5} e PM₁₀ nelle stazioni di fondo, 2012



Andamento mensile del rapporto tra PM_{2,5} e PM₁₀ nelle stazioni di fondo, 2013

	FI-Gramsci		LI-Carducci	
	2012	2013	2012	2013
gennaio	61%	57%	56%	62%
febbraio	60%	54%	55%	60%
marzo	59%	53%	49%	49%
aprile	48%	51%	33%	44%
maggio	54%	44%	45%	41%
giugno	53%	50%	46%	57%
luglio	53%	52%	43%	59%
agosto	58%	54%	62%	51%
settembre	53%	51%	61%	62%
ottobre	52%	55%	50%	29%
novembre	57%	53%	57%	46%
dicembre	60%	66%	58%	61%
Max	61%	72%	62%	72%
Min	48%	53%	33%	53%

Tabella 1.4.5.3. Stazioni di traffico: andamento mensile del rapporto tra PM2,5 e PM10, anni 2012 e 2013



Andamento mensile del rapporto tra PM2,5 e PM10 nelle stazioni di traffico, 2012 Andamento mensile del rapporto tra PM2,5 e PM10 nelle stazioni di traffico, 2013

Per le stazioni di traffico si osserva che il parametro $PM_{2,5}/PM_{10}$ presenta valori pressoché costanti nel corso dell'anno e non presenta, in ogni caso, marcate variazioni stagionali.

Per quanto riguarda, invece, le stazioni di fondo, mentre in generale per gli anni antecedenti il 2013 si osserva un incremento della frazione di $PM_{2,5}$ nei mesi invernali rispetto a quelli estivi, dall'analisi dei dati riportati nel grafico e in tabella relativi al 2013 si osserva un andamento anomalo riscontrabile per tutte le stazioni di fondo della rete: nel periodo tra luglio e agosto si è, infatti, verificato un innalzamento del rapporto $PM_{2,5}/PM_{10}$.

Da entrambi i grafici si può osservare che il rapporto $PM_{2,5}/PM_{10}$ relativo ai parametri registrati presso la stazione di PT-Montale ha avuto un comportamento simile a quello rilevato per tutte le altre stazioni di fondo della rete regionale, con l'eccezione dei mesi di maggio e luglio. Anche lo studio di tale parametro sembrerebbe, quindi, confermare la correttezza della definizione della tipologia della centralina di Montale, identificata come stazione di fondo; in base a ciò sembrerebbe, perciò, plausibile che i valori dei parametri registrati presso la centralina descrivano la qualità dell'aria di un sito di tipo "fondo" il quale, per sua stessa definizione, misura i livelli di inquinamento non influenzati, se non in maniera ridotta, da emissioni di specifiche fonti ma dal contributo integrato di tutte le fonti che possono influire sui livelli di qualità dell'aria della zona.

1.5 Analisi dei dati disponibili: le emissioni

Il Decreto 261/02 che reca le direttive tecniche per la valutazione preliminare della qualità dell'aria ambiente e i criteri per l'elaborazione del piano e dei programmi di cui agli articoli 8 e 9 del D.Lgs 351/99 prevede l'integrazione di tre strumenti di conoscenza: le reti di monitoraggio, l'inventario delle emissioni e la modellistica.

Oltre i dati di qualità dell'aria esaminati nei precedenti capitoli, nel presente rapporto verranno, perciò, valutati, come ulteriore fonte di informazione, i dati presenti nell'ultimo aggiornamento disponibile dell'Inventario Regionale delle Sorgenti di Emissione, l'I.R.S.E. 2007.

L'inventario è uno strumento fondamentale per la valutazione delle diverse sorgenti di emissione e la conseguente impostazione e verifica delle politiche attuate. In esso sono contenute stime dei contributi annui di emissione dei diversi inquinanti anche in settori non direttamente "misurabili", come quello dei trasporti o delle sorgenti agricole e naturali; l'inventario è costituito da una serie organizzata per aree e tipologie di sorgenti di dati relativi alla quantità degli inquinanti introdotti in atmosfera da attività antropiche e da sorgenti naturali. La valutazione delle emissioni avviene attraverso opportune metodologie di stima per la compilazione degli inventari internazionalmente riconosciute¹².

L'analisi ed elaborazione dei dati di emissione contenuti nell'inventario permetterà, quindi, di individuare i principali fattori di pressione presenti nel territorio del comune di Montale e in quello dei comuni limitrofi e, quindi, le principali fonti di emissione di PM10 primario¹³ e dei principali precursori di PM10 secondario¹⁴, gli ossidi di azoto (NO_x) e i composti organici volatili (COV).

La presenza di particolato in atmosfera non è, infatti, attribuibile esclusivamente a sorgenti di emissione primaria ma anche a meccanismi di formazione secondaria che si sviluppano in atmosfera a causa della presenza di gas e inquinanti precursori.

In particolare, nel presente lavoro, si indagheranno le sole sorgenti di emissione di ossidi di azoto e composti organici volatili sia in qualità di principali precursori del PM10 secondario sia in qualità di sostanze inquinanti emesse nella zona e nella piana Prato – Pistoia in modo preponderante rispetto agli altri precursori; in base ai dati riportati nell'inventario regionale delle sorgenti di emissione, infatti, risulta che più del 90% del totale delle emissioni di inquinanti precursori del PM10 siano imputabili ai COV (poco meno del 70%) e agli NO_x (circa il 25%).

Inoltre viene stimato che la frazione di inquinanti primari che viene convertita in particolato secondario è stimata originarsi per il 65% da NO_x, per il 60% da NH₃ e per il 35% da SO₂. In base a tali stime, le emissioni di NO_x originate da sorgenti localizzate nel territorio in esame potrebbero dare luogo al 20% circa delle concentrazioni di particolato secondario della zona. Tale assunzione non può essere

¹² Per quanto riguarda i gas serra, la metodologia di riferimento è quella indicata dall'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Per gli altri inquinanti la metodologia utilizzata è quella indicata dal Progetto CORINAIR (CooRdination-INformation-AIR) dell'Agenzia Europea dell'Ambiente secondo la nomenclatura per le sorgenti emissive SNAP97 (Selected Nomenclature for Air Pollution).

¹³ Emesso direttamente dalle sorgenti presenti sul territorio in esame.

¹⁴ Generato in un momento successivo dalle reazioni chimiche tra inquinanti primari; la formazione avviene in atmosfera attraverso processi di natura fotochimica che coinvolgono composti gassosi detti precursori quali biossido di zolfo (SO₂), ossidi di azoto (NO_x), ammoniaca (NH₃) e composti organici volatili (COV).

ritenuta effettivamente corrispondente o comunque esaustiva della realtà effettiva dell'origine degli alti livelli di concentrazione di PM10 riscontrati presso la centralina di Montale in quanto i fenomeni che danno origine alla formazione di particolato secondario sono estremamente complessi da un punto di vista chimico; il particolato secondario, è, infatti, composto da particelle che possono risiedere in atmosfera per periodi che vanno da alcuni giorni a intere settimane, per cui tali particelle possono essere trasportate anche per migliaia di chilometri¹⁵. Questo significa che parte del particolato PM10 registrato dagli analizzatori di una centralina di qualità dell'aria potrebbe essersi originato da emissioni imputabili a sorgenti presenti anche in zone molto distanti dalle aree limitrofe alla centralina stessa, in presenza di condizioni atmosferiche tali da permettere tali episodi. La vocazione alla ricezione di tali particelle da parte di un dato territorio risiederà, perciò, principalmente nelle caratteristiche meteorologiche dell'area stessa nella quale risiede la centralina di monitoraggio e delle aree circostanti.

In base ai risultati emersi dal Progetto P.A.Tos. in relazione alla componente secondaria del PM10 in Toscana, inoltre, risulta che l'aerosol secondario totale costituisca una parte non indifferente del PM10 monitorato presso le centraline di qualità dell'aria selezionate per l'indagine in misura variabile tra il 30 e il 45% (rispetto alla media annuale).

1.5.1 Le sorgenti di emissione del comune di Montale e dei comuni limitrofi (elaborazione dati I.R.S.E. 2007)

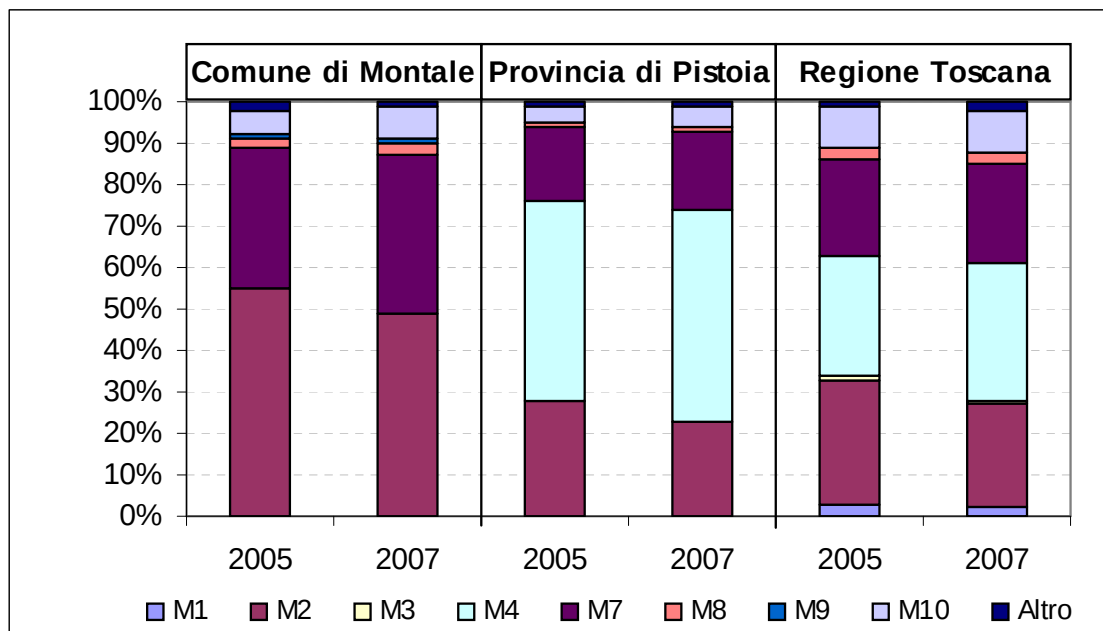
Le sorgenti di emissione del PM10 primario

IL COMUNE DI MONTALE

Da una prima analisi dei dati di emissione di PM10 primario presenti nell'Inventario Regionale delle Sorgenti di Emissioni aggiornato al 2007 (I.R.S.E. 2007) relativamente agli anni 2005 e 2007 emerge che le principali sorgenti di emissione di PM10 primario presenti nel territorio del comune di Montale sono gli impianti di combustione non industriali (macrosettore 2 - Impianti di combustione nel settore residenziale, nel terziario e nell'agricoltura) e i trasporti stradali (macrosettore 7) .

¹⁵ La grandezza delle particelle determina il tempo di permanenza nell'atmosfera. Mentre la sedimentazione e le precipitazioni eliminano le PM10 dall'atmosfera nel giro di poche ore dall'emissione, le PM2,5 possono restare per giorni o addirittura per settimane. Per lo stesso principio, particelle di ridotte dimensioni possono essere trasportate per lunghe distanze. I costituenti grossolani del PM hanno breve tempo di vita in atmosfera; per questo i loro effetti tendono ad essere localizzati. Il trasporto e la trasformazione dei precursori può avvenire su distanze di centinaia di chilometri, è pertanto difficile identificare una singola sorgente di secondari.

Tali sorgenti risultano contribuire per circa il 90% del totale delle emissioni di PM10 primario emesse nel territorio del comune di Montale (vedi grafico successivo); l'incidenza di tali settori, pur rimanendo fonti di primaria importanza, viene molto "diluata" considerando zone più ampie (provincia di Pistoia, Regione Toscana) per le quali particolare rilevanza rivestono anche le attività produttive (macrosettore 4).

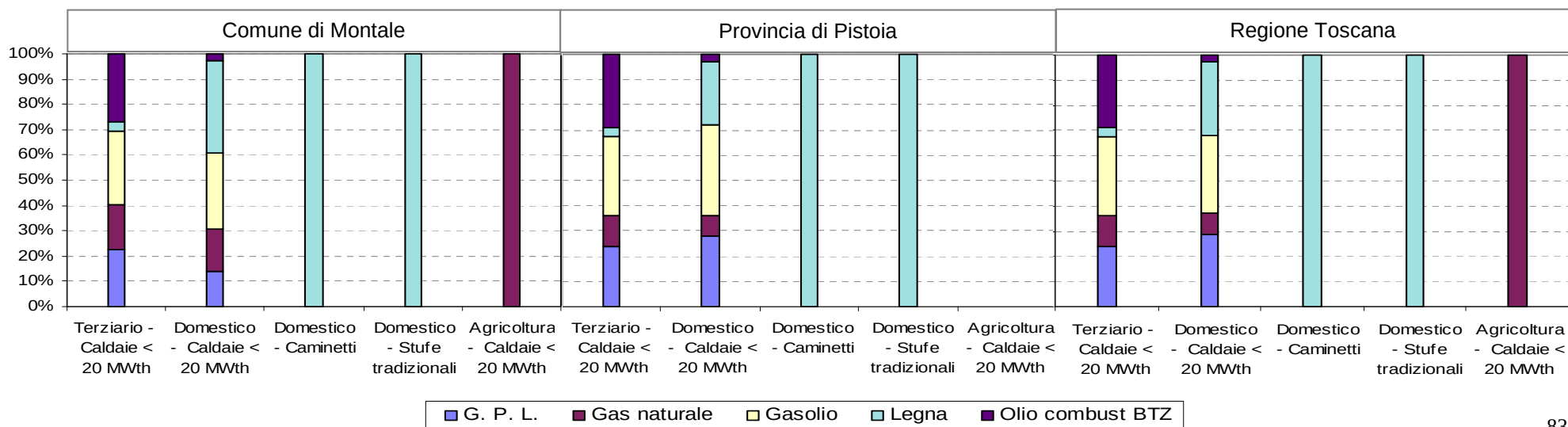


M1	Macrosettore 1	Combustione nell'industria dell'energia e trasformazione fonti energetiche
M2	Macrosettore 2	Impianti di combustione non industriali
M3	Macrosettore 3	Impianti di combustione industriale e processi con combustione
M4	Macrosettore 4	Processi produttivi
M7	Macrosettore 7	Trasporti su strada
M8	Macrosettore 8	Altre sorgenti mobili e macchine
M9	Macrosettore 9	Trattamento e smaltimento rifiuti
M10	Macrosettore 10	Agricoltura
Altro	Macrosettore 5 +	Estrazione, distribuzione combustibili fossili e geotermia +
	Macrosettore 6 +	Uso di solventi +
	Macrosettore 11	Natura e altre sorgenti

Figura 1.5.1.1. Emissioni di PM10 – contributo dei macrosettori che maggiormente concorrono all'emissione di PM10, anni 2005-2007 (fonte: IRSE 2007)

In particolare, per quanto riguarda la combustione non industriale (macrosettore 2), sia a livello comunale (Montale) che a livello provinciale (Pistoia) e regionale, più del 90% delle emissioni di PM10 primario risulta essere proveniente dalla combustione di combustibili vegetali in caminetti e stufe tradizionali sia all'anno 2005 che al 2007 (vedi tabella e grafico successivi).

		PM10 (t/anno) anno 2005						PM10 (t/anno) anno 2007					
	Attività	G. P. L.	Gas naturale	Gasolio	Legna	Olio combust BTZ	Totale	G. P. L.	Gas naturale	Gasolio	Legna	Olio combust BTZ	Totale
Comune di Montale	Terziario - Caldaie < 20 MWth	0,03	0,03	0,04	0,01	0,04	0,15	0,06	0,01	0,04	0,00	0,03	0,14
	Domestico - Caldaie < 20 MWth	0,11	0,13	0,24	0,29	0,02	0,80	0,09	0,05	0,19	0,20	-	0,54
	Domestico - Caminetti	-	-	-	9,00	-	9,00	-	-	-	6,07	-	6,07
	Domestico - Stufe tradizionali	-	-	-	4,24	-	4,24	-	-	-	2,86	-	2,86
	Agricoltura - Caldaie < 20 MWth	-	1,E-04	-	-	-	1,E-04	-	3,E-04	-	-	-	3,E-04
Provincia di Pistoia	Terziario - Caldaie < 20 MWth	1,35	0,69	1,76	0,20	1,63	5,64	2,48	0,42	1,38	0,14	1,21	5,63
	Domestico - Caldaie < 20 MWth	9,58	2,76	12,60	8,61	0,95	34,50	8,12	1,96	9,86	5,81	-	25,75
	Domestico - Caminetti	-	-	-	265,33	-	-	-	-	-	178,91	-	178,91
	Domestico - Stufe tradizionali	-	-	-	124,95	-	-	-	-	-	84,25	-	84,25
	Agricoltura - Caldaie < 20 MWth	-	-	-	-	-	-	-	0,01	-	-	-	0,01
Regione Toscana	Terziario - Caldaie < 20 MWth	17,35	9,03	22,58	2,60	20,90	72,46	31,87	7,85	17,67	1,83	15,49	74,70
	Domestico - Caldaie < 20 MWth	98,62	28,98	107,22	100,22	9,43	344,47	83,61	25,48	83,91	67,58	-	260,58
	Domestico - Caminetti	-	-	-	3086,73	-	3086,73	-	-	-	2081,32	-	2081,32
	Domestico - Stufe tradizionali	-	-	-	1453,64	-	1453,64	-	-	-	980,16	-	980,16
	Agricoltura - Caldaie < 20 MWth	-	0,07	-	-	-	0,07	-	0,19	-	-	-	0,19



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.

I COMUNI LIMITROFI

Nell'analisi delle possibili fonti di emissione che influenzano la qualità dell'aria nell'intorno della stazione di Montale, oltre a quelle situate all'interno del Comune che possono avere un'influenza in massima parte diretta sui livelli di PM10 misurati, si è ritenuto necessario indagare anche sulle sorgenti di emissione presenti nel territorio dei comuni appartenenti alla zona Prato-Pistoia. Nel grafico e nella tabella successiva sono riportate le principali sorgenti di emissione rilevabili dall'analisi dei dati del database I.R.S.E. 2007 per l'anno 2007:

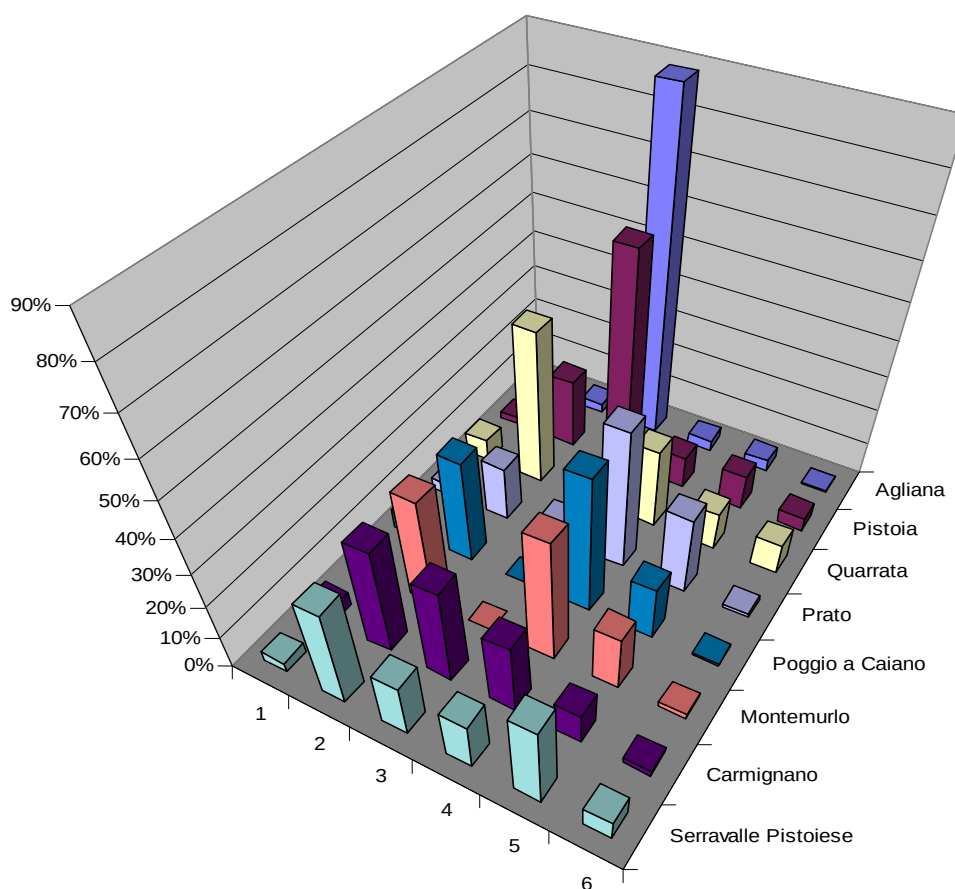


Figura 1.5.1.2. Principali sorgenti di emissione di PM10 per i comuni della piana compresa tra le aree urbane di Prato e Pistoia, anno 2007 (fonte: IRSE 2007)

dove:

	Attività	Codici SNAP corrispondenti
1	Combustione non industriale in caldaie	02010400 Terziario - Caldaie < 20 MWth
		02020300 Domestico - Caldaie < 20 MWth
		02030300 Agricoltura - Caldaie < 20 MWth
2	Combustione domestica di biomassa solida (legna)	02020620 Domestico- - Caminetti
		02020630 Domestico- - Stufe tradizionali
3	Produzione di calcestruzzo	04064200 Produzione di calcestruzzo
4	Traffico - strade urbane	07010300 Automobili - Strade Urbane
		07020300 Veicoli leggeri < 3.5 t - Strade Urbane
		07030300 Veicoli pesanti > 3.5 t e autobus - Strade Urbane
		07040000 Motocicli cc < 50 cm3
		07050300 Motocicli cc > 50 cm3 - Strade Urbane
		07070103 Freni Automobili - Strade Urbane
		07070203 Freni Veic. leggeri <3.5t - Strade Urbane
		07070303 Freni Veic. Pesanti >3.5t e Autobus - Strade Urbane
		07070503 Freni Motocicli cc>50cm3 - Strade Urbane
		07080103 Gomme Automobili - Strade Urbane
		07080203 Gomme Veic. leggeri <3.5t - Strade Urbane
		07080303 Gomme Veic. pesanti >3.5t e Autobus - Strade Urbane
		07080503 Gomme Motocicli cc>50cm3 - Strade Urbane
		07090103 Abrasione strada Automobili - Strade Urbane
		07090203 Abrasione strada Veic.leggeri <3.5t - Strade Urbane
		07090303 Abrasione strada Veic. pesanti >3.5t e Autobus - Strade Urbane
		07090503 Abrasione strada Motocicli cc>50cm3 - Strade Urbane
5	Traffico - strade extraurbane e autostrade	07010200 Automobili - Strade Extraurbane
		07020200 Veicoli leggeri < 3.5 t - Strade Extraurbane
		07030200 Veicoli pesanti > 3.5 t e autobus - Strade Extraurbane
		07050200 Motocicli cc > 50 cm3 - Strade Extraurbane
		07070102 Freni Automobili - Strade Extraurbane
		07070202 Freni Veic. leggeri <3.5t - Strade Extraurbane
		07070302 Freni Veic. pesanti >3.5t e Autobus - Strade Extraurbane
		07070502 Freni Motocicli cc>50cm3 - Strade Extraurbane
		07080102 Gomme Automobili - Strade Extraurbane
		07080202 Gomme Veic. leggeri <3.5t - Strade Extraurbane
		07080302 Gomme Veic. pesanti >3.5t e Autobus - Strade Extraurbane
		07080502 Gomme Motocicli cc>50cm3 - Strade Extraurbane
		07090102 Abrasione strada Automobili - Strade Extraurbane
		07090202 Abrasione strada Veic. leggeri <3.5t - Strade Extraurbane
		07090302 Abrasione strada Veic. pesanti >3.5t e Autobus - Strade Extraurbane
		07090502 Abrasione strada Motocicli cc>50cm3 - Strade Extraurbane
6	Agricoltura - uso fertilizzanti	10010100 Coltivazioni- permanenti - fertilizzate
		10010200 Terreni- arabili - fertilizzati
		10010400 Vivai- - fertilizzati
		10010600 Maggesi- - fertilizzati

Dal grafico e dalla tabella precedente si può osservare in generale che in tutti i comuni una percentuale variabile tra il 30% e il 60% delle emissioni primarie di PM10 sono originate dal trasporto su strada (locale e extraurbano) e una percentuale variabile tra il 15% e il 45% dalla combustione non industriale di biomassa solida (domestico, terziario e agricoltura); fa eccezione il comune di Agliana all'interno del cui territorio è presente un'attività di produzione di calcestruzzo con emissioni primarie

di polveri stimate pari a circa il 90% delle emissioni totali di PM10 di tutte le sorgenti presenti nel comune all'anno 2007; anche i comuni di Pistoia, Carmignano, Serravalle Pistoiese e Prato presentano emissioni di PM10 primario non trascurabili, seppur con percentuali di incidenza inferiori, derivanti da attività di produzione di calcestruzzo.

L'alta incidenza della quantità di particolato prodotto dalle attività di produzione di calcestruzzo è dovuta al fatto che, per tali tipi di sorgenti, vengono in genere conteggiate non solo le emissioni a camino ma anche tutte le emissioni che si generano dalle attività di gestione dei materiali polverulenti. È necessario, inoltre, sottolineare che, a differenza di altre attività produttive, le emissioni da questo tipo di lavorazione sono di origine esclusivamente primaria e perciò sono interamente computate nell'inventario delle emissioni. Volendo, quindi, considerare il contributo di questa attività al PM10 atmosferico in senso relativo rispetto ad attività che implicano emissioni di polveri di tipo secondario, ad esempio la combustione, si ha certamente una "sovrastima"; le emissioni da produzione di calcestruzzo, che risultano importanti sia a livello regionale che locale, hanno un riflesso sulla qualità dell'aria che non sembra, allo stato attuale delle conoscenze, altrettanto determinante. Inoltre, in termini di esposizione, va considerata anche la natura e la granulometria delle polveri prodotte. Trattandosi di materiali inerti e di frazioni più coarse¹⁶ del PM10, esse non partecipano a processi di trasformazione, hanno una minore permanenza in atmosfera e subiscono maggiormente gli effetti del dilavamento. La preponderanza nelle emissioni di PM10 derivanti dall'attività della produzione di calcestruzzo non è, perciò, presumibilmente riscontrabile allo stesso livello sulla qualità dell'aria della zona. Tale conclusione sembra essere confortata anche dai risultati ottenuti per la stazione di Montale dal progetto P.A.Tos.

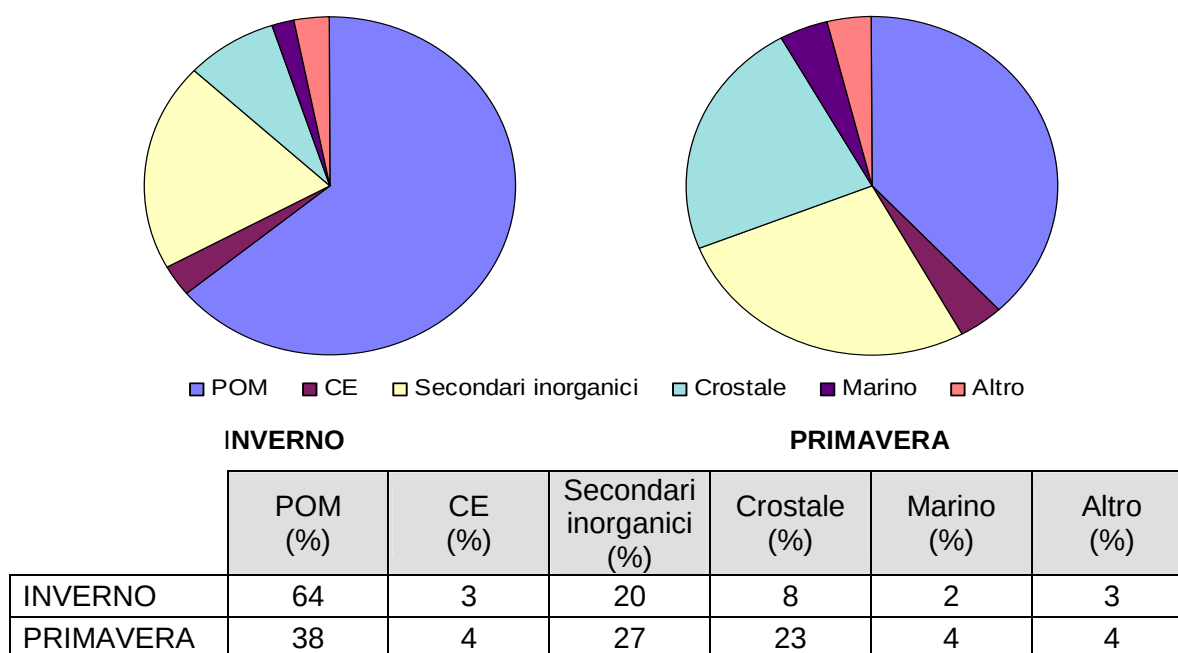


Figura 1.5.1.3. Contributi percentuali delle componenti maggioritarie del PM10 nelle stagioni (fonte: Progetto P.A.Tos. 2008)

¹⁶ La frazione coarse è costituita prevalentemente da particelle minerali di diametro compreso tra 2,5 e 10 µm e deriva principalmente da processi d'erosione del suolo e delle rocce; essa presenta composizione variabile a seconda della sua origine (ad es. geologia del luogo).

Come si può osservare dalla figura e dalla tabella precedenti, sia in base ai risultati dei campionamenti effettuati nel periodo invernale che in quello primaverile, risultano essere prevalenti le componenti di particolato di natura organica (POM) e di secondari inorganici (solfati, nitrati e ammonio); in particolare, nel periodo primaverile aumenta la componente crostale, evento che si riscontra per tutti i siti di campionamento analizzati dal progetto P.A.Tos. (anche per il periodo estivo) per i quali la componente crostale rilevata nel periodo primavera-estate, risulta avere un'incidenza circa doppia o superiore al doppio rispetto a quella rilevata nel periodo autunno-inverno.

Le polveri che si originano direttamente dalle attività di produzione di calcestruzzo sono costituite da materiale inerte principalmente appartenente alla frazione coarse delle polveri fini (diametro aerodinamico compreso tra i 2,5 e i 10 micron), quindi assimilabili alle polveri che costituiscono la componente crostale del particolato campionato presso la centralina; inoltre, le emissioni derivanti da tale tipo di attività produttiva non presentano, in generale, evidenti variazioni stagionali, quindi la forte variabilità di tale componente tra il periodo autunno-inverno e quello primavera-estate non può essere imputabile alla sua componente di origine antropica ma alla sua componente di origine naturale.

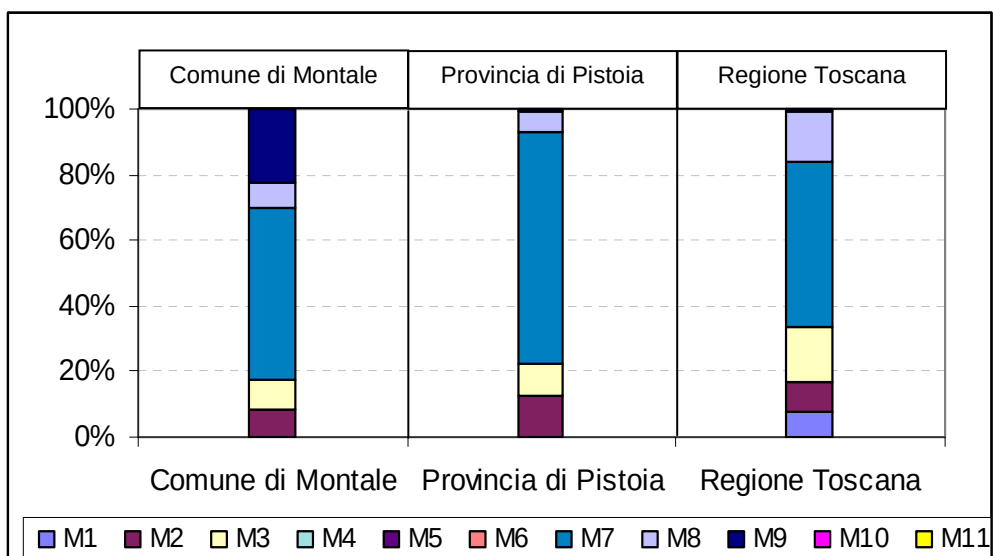
In base a quanto emerso dal progetto P.A.Tos., quindi, si può ragionevolmente dedurre che, come precedentemente sostenuto, le emissioni primarie di polveri derivanti dalle attività di produzione del calcestruzzo, non incidono in maniera determinante sui dati di qualità dell'aria così quanto, invece, su quelli di emissione.

Le sorgenti di emissione di ossidi di azoto, ammoniaca e COVNM a Montale e nei comuni limitrofi

Di seguito vengono riportati i risultati delle analisi effettuate sui valori di emissione relativi ai principali precursori del PM₁₀ di origine secondaria: ossidi di azoto (NO_x), ammoniaca (NH₃) e composti organici volatili non metanici (COVNM). La fonte di tali dati è l'inventario regionale delle sorgenti di emissione I.R.S.E. 2007, i valori sono quelli forniti per l'anno 2007.

Le sorgenti di emissione degli ossidi di azoto

Da una prima analisi dei dati di emissione di NO_x presenti nell'Inventario Regionale delle Sorgenti di Emissioni aggiornato al 2007 (I.R.S.E. 2007) relativamente all'anno 2007 emerge che le principali sorgenti di emissione di NO_x 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%); anche a livello provinciale e regionale emerge quale principale sorgente di emissione il settore dei trasporti (71% a livello provinciale e 66% a livello regionale) e, in modo maggiormente preponderante a livello regionale, la combustione industriale (17%).



M1	Macrosettor 1	Combustione nell'industria dell'energia e trasformazione fonti energetiche
M2	Macrosettor 2	Impianti di combustione non industriali
M3	Macrosettor 3	Impianti di combustione industriale e processi con combustione
M4	Macrosettor 4	Processi produttivi
M5	Macrosettor 5	Estrazione, distribuzione combustibili fossili e geotermia
M6	Macrosettor 6	Uso di solventi
M7	Macrosettor 7	Trasporti su strada
M8	Macrosettor 8	Altre sorgenti mobili e macchine
M9	Macrosettor 9	Trattamento e smaltimento rifiuti
M10	Macrosettor 10	Agricoltura
M11	Macrosettor 11	Natura e altre sorgenti

Figura 1.5.1.4. Emissioni di NO_x – contributo dei macrosettori che maggiormente concorrono all'emissione di NO_x, anno 2007 (fonte: IRSE 2007)

I dati riportati in numerose pubblicazioni mostrano che le quantità e il rapporto relativo tra gli inquinanti principali PM₁₀ e ossidi di azoto dipendono molto dal tipo di sorgente emissiva; dai dati estratti dall'I.R.S.E. 2007 per i macrosettori che maggiormente incidono sulle emissioni di PM₁₀ primario e NO_x si può osservare che in generale il rapporto tra le emissioni di PM₁₀ e quelle di NO_x che provengono dalla combustione domestica di combustibili vegetali in caminetti e stufe tradizionali è molto elevato, quindi molto spostato verso le emissioni di PM₁₀, mentre si osservano risultati opposti nel caso delle emissioni da riscaldamento con caldaie tradizionali che utilizzano gasolio, il combustibile dalla cui combustione vengono emesse maggiori quantità di PM₁₀ dopo la legna, nel caso delle emissioni da incenerimento dei rifiuti e del traffico veicolare:

	Caminetti		Stufe tradizionali		Riscaldamento con caldaie alimentate a gasolio		Incenerimento rifiuti		Traffico veicolare	
	NOx (t/anno)	PM10 (t/anno)	NOx (t/anno)	PM10 (t/anno)	NOx (t/anno)	PM10 (t/anno)	NOx (t/anno)	PM10 (t/anno)	NOx (t/anno)	PM10 (t/anno)
Comune di Montale	0,35	6,07	0,18	2,86	0,87	0,19	31,5	0,2	73,40	7,49
Provincia di Pistoia	10,4	178,91	5,2	84,25	44,81	9,86	31,5	0,2	2.661,06	243,34
Regione Toscana	121,01	2.081,32	60,5	980,16	381,41	83,91	249,8	4,64	35.897,03	3.235,70
Rapporto PM10/NOx	in media 17/1		in media 16/1		in media 1/5		in media 1/100		in media 1/10	

Tabella 1.5.1.1. Rapporto PM10/NOx per tipologia di sorgente di emissione

Come già evidenziato nel paragrafo 1.3.1, anche il rapporto riscontrato tra le concentrazioni dei parametri rilevati presso la centralina di Montale PM10 e NO₂ presenta valori insolitamente alti; tale anomalia potrebbe essere, quindi, almeno parzialmente correlata all'esteso utilizzo di combustibili solidi vegetali in ambito domestico con tecnologie di combustione a basso rendimento che emerge dall'inventario regionale.

Analogamente il rapporto rilevato tra le medie estive e invernali del PM10 della stazione di Montale risulta essere anomalo rispetto a quello rilevato presso le altre stazioni di fondo della zona Prato – Pistoia in quanto molto sbilanciato verso la media invernale la quale risulta essere, per tutti gli anni, circa 3 – 4 volte superiore a quella estiva; anche questa singolarità potrebbe essere correlabile, almeno in parte, agli elevati livelli di emissione di PM10 originati dalla combustione di biomasse solide vegetali in ambito domestico.

Le sorgenti di emissione di ammoniaca

Nella tabella e nel grafico successivi sono riportate le principali sorgenti di emissione rilevabili dall'analisi dei dati del database I.R.S.E. 2007 per l'anno 2007:

	Montale	Agliana	Pistoia	Quarrata	Serravalle Pistoiese	Carmignano	Montemurlo	Poggio a Caiano	Prato
Combustione non industriale	1%	1%	1%	1%	1%	2%	2%	2%	1%
Industria	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Altro	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Uso solventi	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Trasporti	36%	17%	17%	9%	28%	34%	40%	74%	61%
Gestione rifiuti	0%	0%	38%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Agricoltura	63%	81%	44%	90%	71%	64%	58%	23%	38%

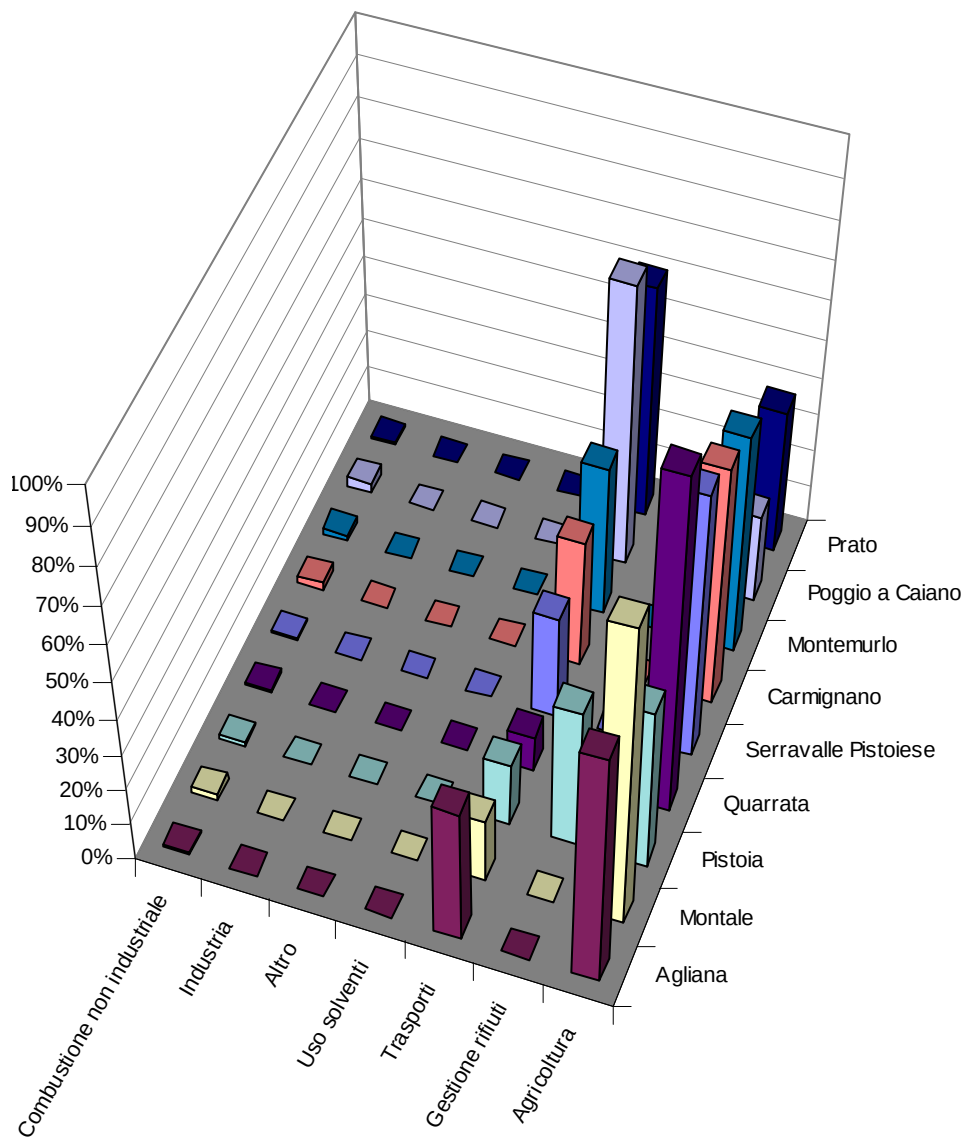


Figura 1.5.1.5. Principali sorgenti di emissione di NH_3 per i comuni della piana compresa tra le aree urbane di Prato e Pistoia, anno 2007 (fonte: IRSE 2007)

dove:

Attività	Macrosettori SNAP corrispondenti
Combustione non industriale	Macrosettore 2 – Combustione non industriale
Trasporti	Macrosettore 7 - Trasporto su strada Macrosettore 8 - Altre sorgenti mobili e macchinari
Uso solventi	Macrosettore 6 - Uso di solventi
Gestione rifiuti	Macrosettore 9 - Trattamento e smaltimento rifiuti
Agricoltura	Macrosettore 10 - Agricoltura
Industria	Macrosettore 3 - Combustione nell'industria Macrosettore 4 - Processi produttivi

Altro	Macrosettore 1 - Produzione energia e trasformazione combustibili
	Macrosettore 11 - Altre sorgenti e assorbimenti
	Macrosettore 5 - Estrazione e distribuzione combustibili

Dalla figura 1.5.1.5 si può osservare che per tutti i comuni le principali sorgenti di emissione di NH_3 sono i trasporti (con una media del 35%) e l'agricoltura (con una media del 60%); in particolare, per il comune di Pistoia, si può osservare un contributo rilevante anche da parte dell'attività di gestione dei rifiuti relativamente alla produzione di compost che incide sul totale delle emissioni del comune per circa il 36%.

La sorgente principale di emissione per quanto riguarda il settore trasporti sono le automobili a benzina le cui emissioni di ammoniaca contribuiscono al totale del settore per più del 90%.

Le sorgenti di emissione dei composti organici volatili non metanici

Nella tabella e nel grafico successivi sono riportate le principali sorgenti di emissione rilevabili dall'analisi dei dati del database I.R.S.E. 2007 per l'anno 2007:

	Montale	Agliana	Pistoia	Quarrata	Serravalle Pistoiese	Carmignano	Montemurlo	Poggio a Caiano	Prato
Combustione non industriale	2%	5%	4%	2%	4%	4%	2%	2%	1%
Industria	3%	1%	2%	1%	1%	1%	2%	1%	2%
Altro	2%	7%	7%	1%	2%	6%	6%	1%	2%
Uso solventi	49%	47%	47%	77%	63%	53%	58%	56%	54%
Trasporti	43%	40%	40%	19%	29%	37%	32%	40%	41%
Gestione rifiuti	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Agricoltura	1%	1%	0%	1%	1%	0%	0%	0%	0%

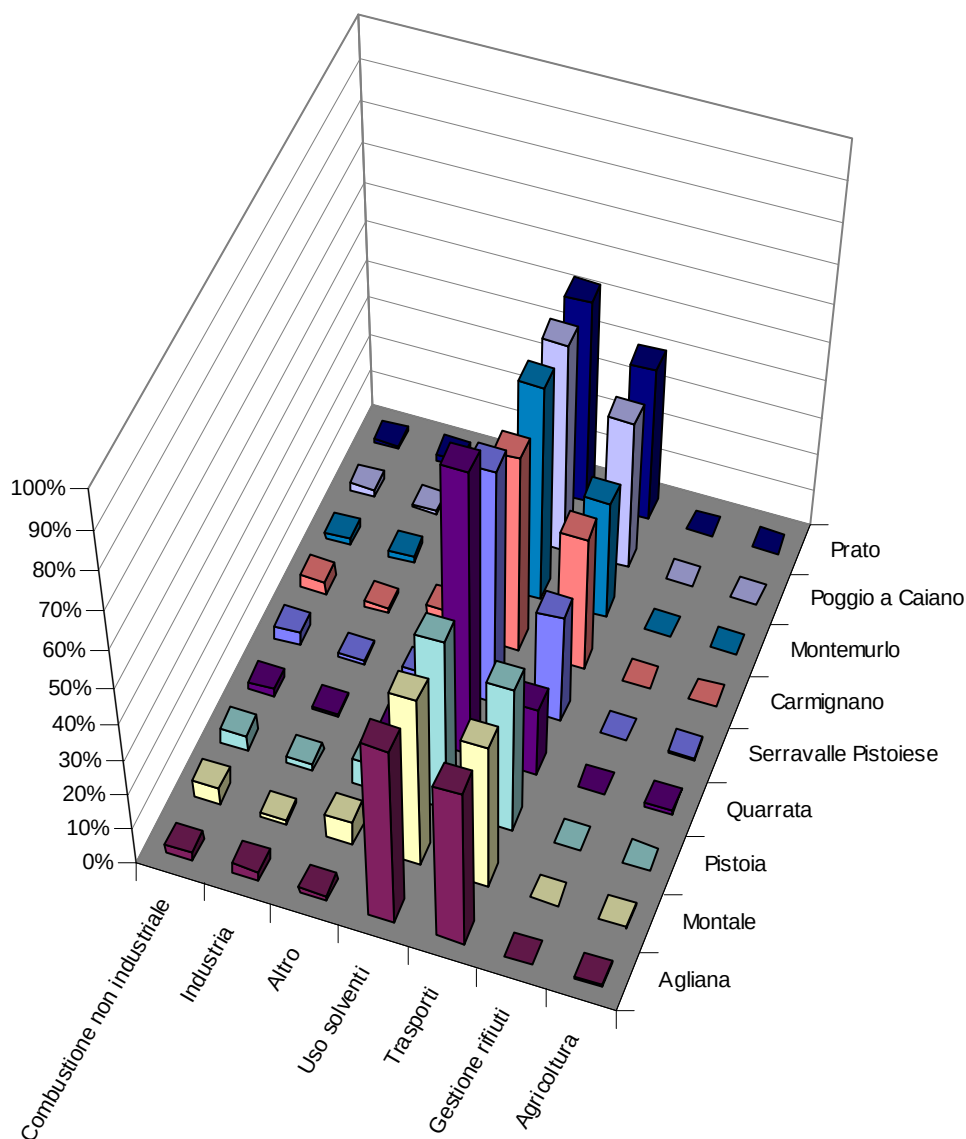


Figura 1.5.1.6. Principali sorgenti di emissione di COVNM per i comuni della piana compresa tra le aree urbane di Prato e Pistoia, anno 2007 (fonte: IRSE 2007)

Dalla figura 1.5.1.6 si può osservare che per tutti i comuni le principali sorgenti di emissione di COVNM sono i trasporti (con una media del 36%) e l'uso di solventi (con una media del 56%); la sorgente principale di emissione per quanto riguarda il settore trasporti sono i motocicli e i ciclomotori le cui emissioni di COVNM contribuiscono al totale del settore per più dell'80%.

1.5.2 Le sorgenti di emissione di tipo puntuale di polveri nella Piana di Prato e Pistoia e nella zona Prato – Pistoia

All'interno di un inventario delle emissioni in atmosfera le sorgenti di emissione vengono distinte in diffuse, lineari e puntuali. Le sorgenti di emissione di tipo diffuso sono sorgenti non localizzabili ma distribuite sul territorio, le puntuali sono sorgenti di emissione localizzabili geograficamente con precisione, le sorgenti di tipo lineare sono sorgenti assimilabili a linee, come ad esempio le strade. In questo paragrafo verranno valutate le emissioni da sorgente puntuale presenti nella piana di Prato e Pistoia e nella zona Prato – Pistoia; al fine di definire e caratterizzare una sorgente come puntuale all'interno dell'inventario regionale sono state definite soglie di emissione specifiche per ciascun

inquinante (per le polveri la soglia di emissione è stata fissata a 25 t/anno), se le emissioni totali di uno degli inquinanti censiti sono maggiori delle soglie indicate l'impianto viene trattato come sorgente puntuale. Oltre alle sorgenti di tipo puntuale censite all'interno dell'inventario regionale verranno valutate anche le emissioni di polveri da attività produttive non ricadenti nella definizione di sorgenti puntuali dell'inventario ma comunque di una certa rilevanza per il territorio oggetto della presente indagine.

Si riportano di seguito i dati di emissione di PM10 delle sorgenti puntuali presenti all'interno dell'inventario regionale delle sorgenti di emissione all'anno 2007 (ultimo anno attualmente disponibile) relativi ai comuni della zona Prato – Pistoia:

	Emissioni da sorgenti puntuali	Emissioni totali	Incidenza puntuali/totale
	PM10 (t/a)	PM10 (t/a)	PM10 (%)
Agliana	229,22	257,49	89%
Pistoia	157,28	325,38	48%
Quarrata	-	49,11	-
Serravalle Pistoiese	-	35,38	-
Carmignano	-	29,00	-
Montemurlo	0,01	23,43	0,04%
Poggio a Caiano	-	10,53	-
Prato	0,70	209,95	0,33%
Montale	0,20	19,51	1%
Totale	299,32	890,96	34%

In base alle informazioni riportate nell'I.R.S.E. 2007 si può osservare una non ridotta incidenza delle emissioni da sorgenti puntuali solo per i comuni di Agliana e Pistoia nel cui territorio sono presenti due impianti per la produzione di calcestruzzo.

Le emissioni di polveri derivanti dalle ditte considerate di una certa rilevanza per la zona Prato – Pistoia ma non inserite tra le sorgenti puntuali dell'inventario regionale sono state valutate sulla base degli autocontrolli, delle relazioni tecniche inviate dalle stesse ditte e dei controlli effettuati nel corso degli anni 2011-2013. In base ai dati raccolti non emergono particolari criticità in termini di emissioni di polveri derivanti da tali attività; il valore di emissione totale ottenuto è pari a circa 1,5 tonnellate/anno pari a circa lo 0,17% delle emissioni totali valutate per la zona Prato – Pistoia nell'inventario regionale delle sorgenti di emissione all'anno 2007.

Nel territorio del comune di Montale, in particolare, è presente, tra le varie sorgenti analizzate, una sola sorgente di emissione di una certa rilevanza classificata come sorgente di tipo puntuale nell'inventario regionale, l'impianto di termovalorizzazione C.I.S. S.p.A. L'impianto ha come finalità lo smaltimento dei rifiuti urbani e dei rifiuti speciali assimilati agli urbani prodotti entro il bacino di raccolta costituito dai comuni di Agliana, Quarrata e Montale; l'impianto è inserito nel Piano

Interprovinciale per la gestione degli RSU e assimilati dell'ex ATO n. 5, ora ricompreso nell'ATO Toscana Centro, insieme agli impianti di incenerimento della Provincia di Firenze.

Attualmente l'impianto è gestito da Ladurner Impianti srl che ha effettuato le opere di ristrutturazione e ampliamento dello stesso come previsto dagli atti autorizzativi. Le opere di ristrutturazione sono state pressoché concluse nel corso del 2010 e attualmente l'impianto è in funzione nella sua nuova configurazione. Con la ristrutturazione la potenzialità di smaltimento dell'impianto è passata da 120 t/g a 150 t/g.

Prima della recente ristrutturazione l'impianto era costituito da tre forni di incenerimento e due linee di depurazione fumi: la prima per il forno 1, la seconda per i forni 2 e 3, l'uno funzionante in alternativa all'altro. Tutte le linee erano servite da un'unica ciminiera; attualmente ognuno dei tre forni di incenerimento è dotato di una linea di abbattimento fumi dedicata e di una propria canna di espulsione. La nuova configurazione permette pertanto di potere caratterizzare e controllare ognuna delle tre singole emissioni dell'impianto mentre, prima della ristrutturazione, era possibile solo una caratterizzazione complessiva dell'emissione.

Delle tre linee di incenerimento attualmente solo due funzionano in contemporanea (in genere la linea 1 e la linea 3), la terza viene utilizzata come riserva qualora una delle altre due debba essere fermata. La linea 2 e la 3 possono incenerire RSU tal quale mentre la linea 1 tratta rifiuti con potere calorifico costante come CDR e RSU trattati meccanicamente. Per quanto riguarda il monitoraggio, ogni linea di incenerimento è dotata di un sistema di controllo in continuo alle emissioni (SMCE) per la determinazione di alcuni parametri fisici dell'emissione e della concentrazione di alcuni parametri chimici caratteristici del processo di incenerimento (SO_2 , CO, NO_x , O_2 , HCl, HF, COT, Polveri); per ogni linea è previsto, inoltre, un sistema di campionamento in continuo dei fumi per la determinazione delle concentrazioni emesse di microinquinanti organici quali diossine, furani, IPA, PCB etc.

La linea 1 e la linea 3 sono dotate di recupero energetico mentre non lo è la linea 2.

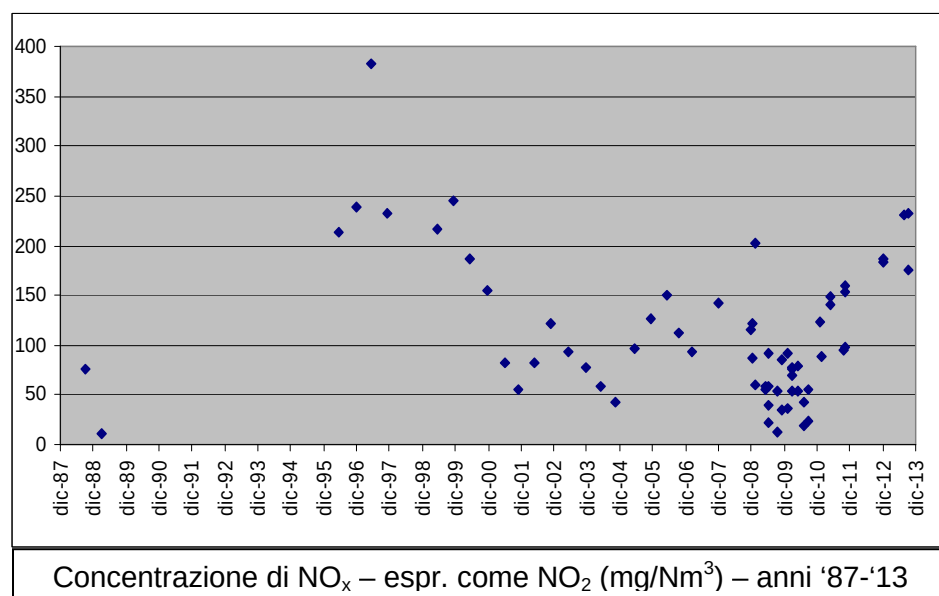
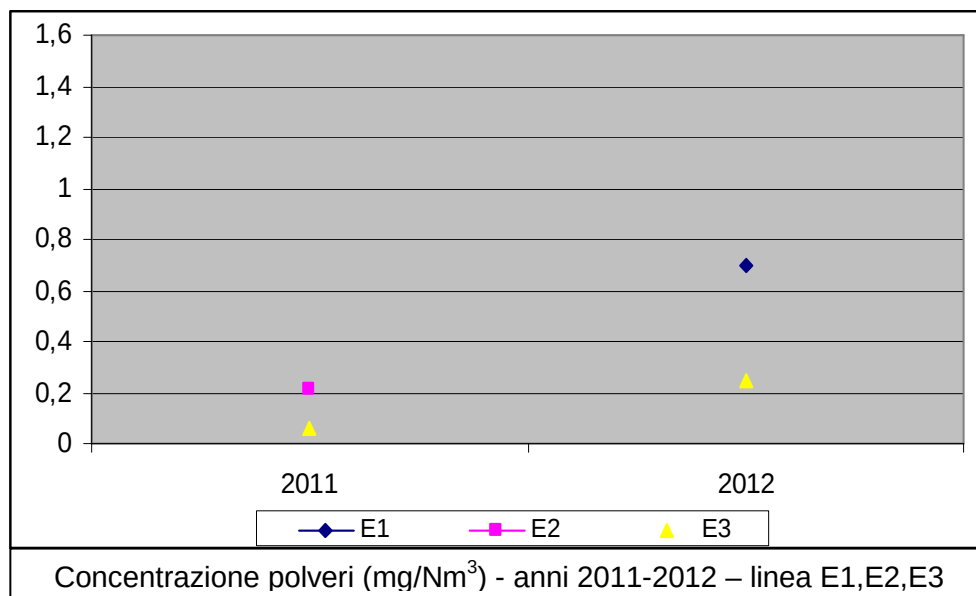
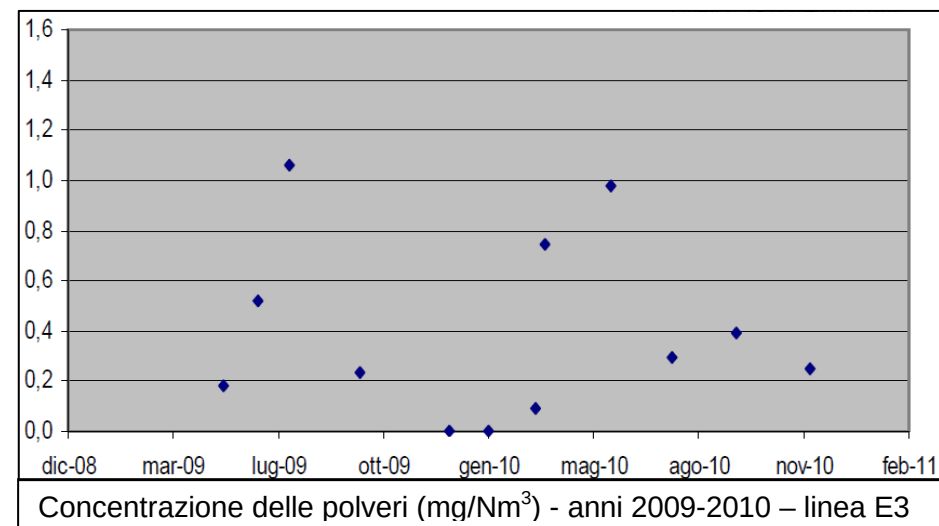
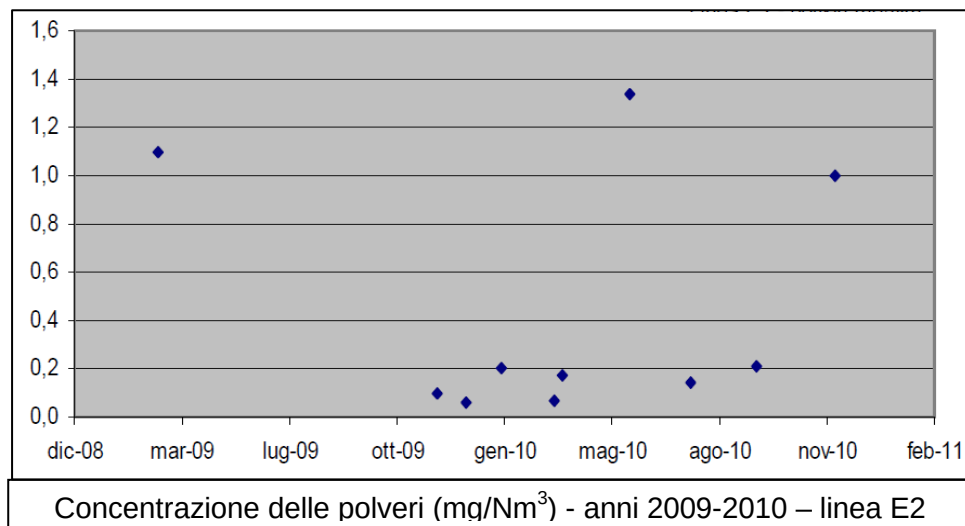
Di seguito si riporta schematicamente l'evoluzione dell'impianto e delle sue emissioni di polveri e ossidi di azoto, in base a quanto rilevato nel corso degli autocontrolli e dei campionamenti effettuati dal Dipartimento ARPAT di Pistoia:

Dal - al	Sistema di abbattimento	Sistema di combustione	Potenzialità impianto	Recupero energetico
1978 - 1988	Abbattimento ad acqua	due forni rotativi in controcorrente di capacità nominale di 2.500 kg/h ciascuno ¹	90 t/d	
1989 - 1997	Camera di post combustione, elettrofiltro e torre di lavaggio		90 t/d	dal 1 ottobre 1993
1998 - 2001	Fase di progressivo adeguamento	Dal 2001 è entrato in funzione un nuovo forno da 75 t/d (linea 3)	120 t/d	
2002 - 2005	Camera di post combustione, elettrofiltro, filtri a manica, reattori bicarbonato/carbone attivo (0,6 kg/h)			
2006 - 2007	Camera di post combustione, elettrofiltro, filtri a manica, reattori bicarbonato/carbone attivo (2,5 kg/h o più)			
2007 - 2008	Camera di post combustione, elettrofiltro, filtri a manica in Goretex, reattori bicarbonato/carbone attivo (2,5 kg/h o più) Realizzazione sistema di depurazione a servizio della linea 3		90 t/d	Realizzazione linea di recupero energetico a servizio della linea 3
2009	Ristrutturazione e separazione delle linee emissive ed eliminazione degli elettrofiltri. Confermati gli altri sistemi di abbattimento.		iniziati i lavori per adeguare l'impianto alla potenzialità di 150 t/giorno	Nel corso del 2009 hanno operato in maniera saltuaria la linea 1 (fino al 3 dicembre 2009), la linea 2 (sospesa dal 10 maggio al 13 ottobre 2009) e la linea 3 (dal 3 febbraio 2009) Per quasi tutto il 2010, infatti, hanno funzionato la linea 2 e la linea 3. La linea 1 è stata ricostruita nell'ottobre 2010 con un forno in equicorrente da 75 t/giorno

Nota: Fino ai primi anni '90 l'impianto operava in maniera discontinua, dal lunedì al venerdì e veniva spento il sabato e la domenica

Parallelamente alle modifiche impiantistiche si è verificata una variazione dei livelli emissivi dell'impianto (vedi grafici successivi). In particolare per quanto riguarda i macroinquinanti polveri e ossidi di azoto, le polveri emesse in quantità variabili fra 200 e 2000 mg/Nm³ nel periodo 1979 – 1989, sono scese a qualche decina di milligrammi nel periodo 1996 – 2000, a qualche unità fra il 2000 ed il 2007 e a valori attorno ad 1 mg/Nm³ negli ultimi anni mentre le concentrazioni di ossidi di azoto non hanno subito variazioni altrettanto sensibili pur registrandosi negli anni una diminuzione dei valori monitorati, si può osservare, infatti, che la maggior parte dei superamenti della soglia di 200 mg/Nm³ si concentra nel decennio 1990 - 2000.

NB: nel corso dell'anno 2011 sono state in funzione le linee E2 e E3, nel corso del 2012 le linee E1 e E3



NB: nel corso dell'anno 2011 sono state in funzione le linee E2 e E3, nel corso del 2012 le linee E1 e E3

In base ai livelli di concentrazione rilevati 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_x 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 sono scarsamente rilevanti rispetto alle altre sorgenti emissive rilevate nel territorio del Comune di Montale e dei comuni limitrofi.

Sulla base dei dati rilevati presso la centralina di PT-Montale con il progetto P.A.Tos. risulta che il contributo al PM10 secondario riferibile in parte anche agli ossidi di azoto è pari a 6 µg/m³ (stima media annua), con un massimo di 10 µg/m³ nel periodo invernale. Se, quindi, anche tutto il PM10 secondario fosse formato dagli ossidi di azoto, il contributo degli ossidi di azoto emessi dall'inceneritore - pari al 23% delle emissioni totali degli NO_x emessi da sorgenti presenti nel territorio del comune di Montale - al PM10 secondario potrebbe essere al massimo pari a 2,5 µg/m³; considerando, poi, che il contributo dello ione nitrato (derivabile dagli ossidi di azoto) costituisce nel periodo invernale circa il 50% del particolato secondario, il contributo attribuibile all'inceneritore risulterebbe, perciò, al massimo di poco superiore a 1 µg/m³.

SITOGRAFIA

- (1) "Progetto P.A.Tos. Particolato Atmosferico in Toscana"
<http://servizi.regione.toscana.it/aria/index.php?idDocumento=18348>
- (2) "Inceneritore di Montale e polveri sottili – Documento di valutazione congiunta", A.R.P.A.T., Azienda USL 3 di Pistoia
<http://www.arp.at.toscana.it/notizie/comunicati-stampa/2012/inceneritore-di-montale-e-polveri-sottili>
oppure
http://www.provincia.pistoia.it/AMBIENTE/QUALITA_ARIA/ARPAT%20ASL%20su%20PM10.pdf
- (3) "Classificazione della diffusività atmosferica nella regione Toscana", 31 agosto 2000, Regione Toscana - La.M.M.A.
http://servizi.regione.toscana.it/aria/img/getfile_img1.php?id=21371
- (4) "Progetto MO.DI.VA.S.E.T. MOdellistica DIffusionale per la VAlutazione di Scenari Emissivi in Toscana"
<http://servizi.regione.toscana.it/aria/index.php?idDocumento=17878>
- (5) Le pubblicazioni inerenti l'"Indagine ambientale e sanitaria nelle aree poste in prossimità dell'impianto di incenerimento di RSU di Montale" sono riportate nella sezione "INDAGINI AMBIENTALI E SANITARIE, A.R.P.A.T. e A.S.L. 3 Pistoia"
<http://www.provincia.pistoia.it/AMBIENTE/InformazioneAmbientale/TermovalorizzatoreMontale/TermovalorizzatoreMontale.asp>
- (6) "Environmental Indicator Report 2013 - Natural resources and human well-being in a green economy", EEA - European Environment Agency, 20 novembre 2013
<http://www.eea.europa.eu/publications/environmental-indicator-report-2013>
- (7) "Stima dei consumi di legna da ardere per riscaldamento ed uso domestico in Italia", ARPA Lombardia, APAT, 2006
<http://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/rapporti/stima-dei-consumi-di-legna-da-ardere-per>
- (8) "Stima della potenzialità produttiva delle agrienergie in Toscana", A.R.S.I.A. (Agenzia Regionale per lo Sviluppo e l'Innovazione nel Settore Agricolo-Forestale), 2009
<http://www.arsia.toscana.it/vstore/dettaglio.aspx?id=635>
- (9) "Progetto biomasse", E.N.A.M.A (Ente Nazionale per la Meccanizzazione Agricola)
http://www.enama.it/it/biomasse_studio.php

(10) "La filiera legno-energia - Risultati del progetto Interregionale Woodland Energy", Agenzia Regionale per lo Sviluppo e l'Innovazione nel Settore Agricolo - Forestale (A.R.S.I.A.)

<http://www.arsia.toscana.it/vstore/dettaglio.aspx?id=631>

(11) EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2013, EEA (European Environment Agency), 29 Aug 2013

<http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2013>

(12) "Stima consumi di biomassa per riscaldamento civile in Regione Piemonte", Adriano Mussinatto (*), Gianluigi Truffo (*), Daniela Rampone (**), Tatiana De Carli (**), * Regione Piemonte, ** CSI-Piemonte, Dicembre 2007

http://www.google.it/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CDAQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.sinanet.isprambiente.it%2Fit%2Fsia-ispra%2Finventaria%2Fgruppo-inventari-locali%2Fstima-dei-consumi-di-biomassa-per-riscaldamento-regione-piemonte%2Fat_download%2Ffile&ei=rkAgU_OgDLGZ0AXNjYHQcw&usq=AFQjCNHiEOzXdj2v9BqFU9saPsOE0XegTw&sig2=F2RltsBfC1M6Z7StUZeUqw&bvm=bv.62788935,d.bGQ

(13) Rilievo indici di relazione tra produzioni agricole e biomassa residuale associata, analisi del mercato della biomassa residuale nelle province delle regioni: Molise, Campania, Puglia, Basilicata, Calabria, Sicilia, Sardegna

http://www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/censimento-biomasse/rse50.pdf

(14) "Caratterizzazione della ZVN - Lago di Massaciuccoli", Leonardo Lulli, Alessandro Masoni, Dipartimento di Agronomia e Gestione dell'Agroecosistema, Università di Pisa

<http://risorseidriche.arsia.toscana.it/UserFiles/File/idrico/RIANPA/3-Car.ne%20Massaciuccoli.pdf>

(15)

http://studiosstat.unibocconi.it/uni/POPUP/Shared/S_04_Coefficiente%20di%20variazione%20e%20scarto%20quadratico%20medio.pdf

BIBLIOGRAFIA

- (1a) "Rappresentatività spaziale secondo un metodo statistico basato su fattori oggettivi", *Roma 18/09/2012 presentazione* ENEA - UTVALAMB-AIR Unità Tecnica Modelli, Metodi e Tecnologie per le Valutazioni Ambientali – Laboratorio Qualità dell'Aria.
- (2a) "Land use to characterize spatial representativeness of air quality monitoring stations and its relevance for model validation", *Atmospheric Environment, Volume 59, November 2012, Pages 492-500*, Stijn Janssen, Gerwin Dumont, Frans Fierens, Felix Deutsch, Bino Maiheu, David Celis, Elke Trimpeneers, Clemens Mensink.
- (3a) DIIAR (2006), "Indicazioni tecnico-gestionali per la realizzazione di progetti di utilizzo energetico di biomasse (impianti termici e digestione anaerobica) e stima del loro contributo al bilancio energetico regionale. Combustione delle Biomasse", Rapporto Progetto Kyoto UO SP2C.
- (4a) Livio S. (2006), "Valutazione energetica ed ambientale della combustione di biomasse", Tesi di Laurea, DIIAR Politecnico di Milano, A.A. 2005/2006.
- (5a) "Valutazione di qualità delle misure di concentrazione degli inquinanti atmosferici nello studio dell'effetto a breve termine dell'inquinamento sulla salute" - A. Biggeri, M. Baccini, G. Accetta, A. Bellini, D. Grechi, Gruppo MISA – EP anno 27, novembre-dicembre 2003.
- (6a) A.Piersanti, L.Ciancarella G.Cremona, G.Righini, L.Vitali. Rappresentatività spaziale di misure di qualità dell'aria- Valutazione di un metodo di stima basato su fattori oggettivi. ENEA RT/2013/1/ENEA.
- (7a) "Land use to characterize spatial representativeness of air quality monitoring stations and its relevance for model validation *Atmospheric Environment*", Volume 59, November 2012, Pages 492-500, Stijn Janssen, Gerwin Dumont, Frans Fierens, Felix Deutsch, Bino Maiheu, David Celis, Elke Trimpeneers, Clemens Mensink.
- (8a) "Spatial interpolation of air pollution measurements using CORINE land cover data *Atmospheric Environment*", Volume 42, Issue 20, June 2008, Pages 4884-4903, Stijn Janssen, Gerwin Dumont, Frans Fierens, Clemens Mensink.