

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.

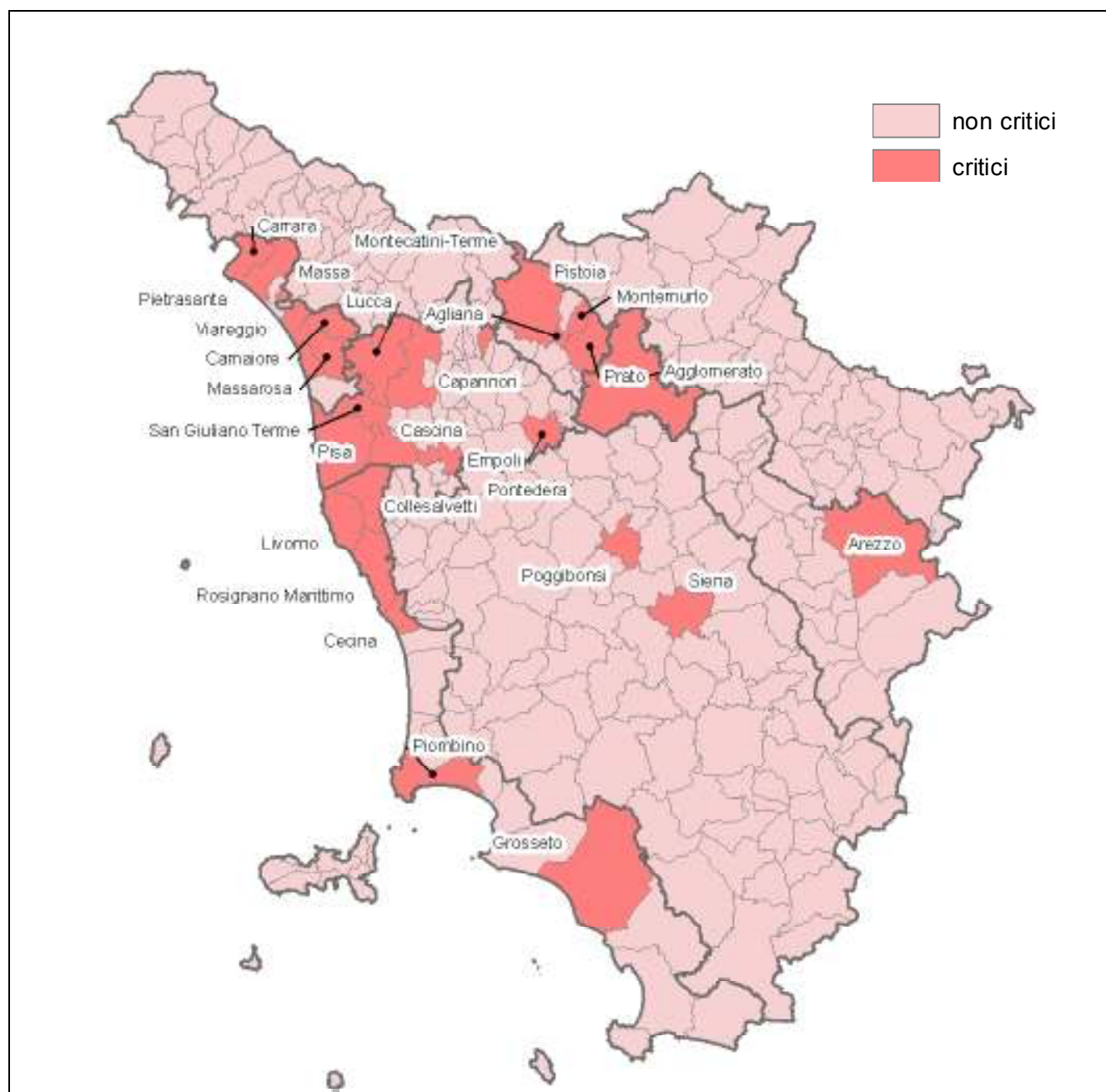
PARTE 1

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.

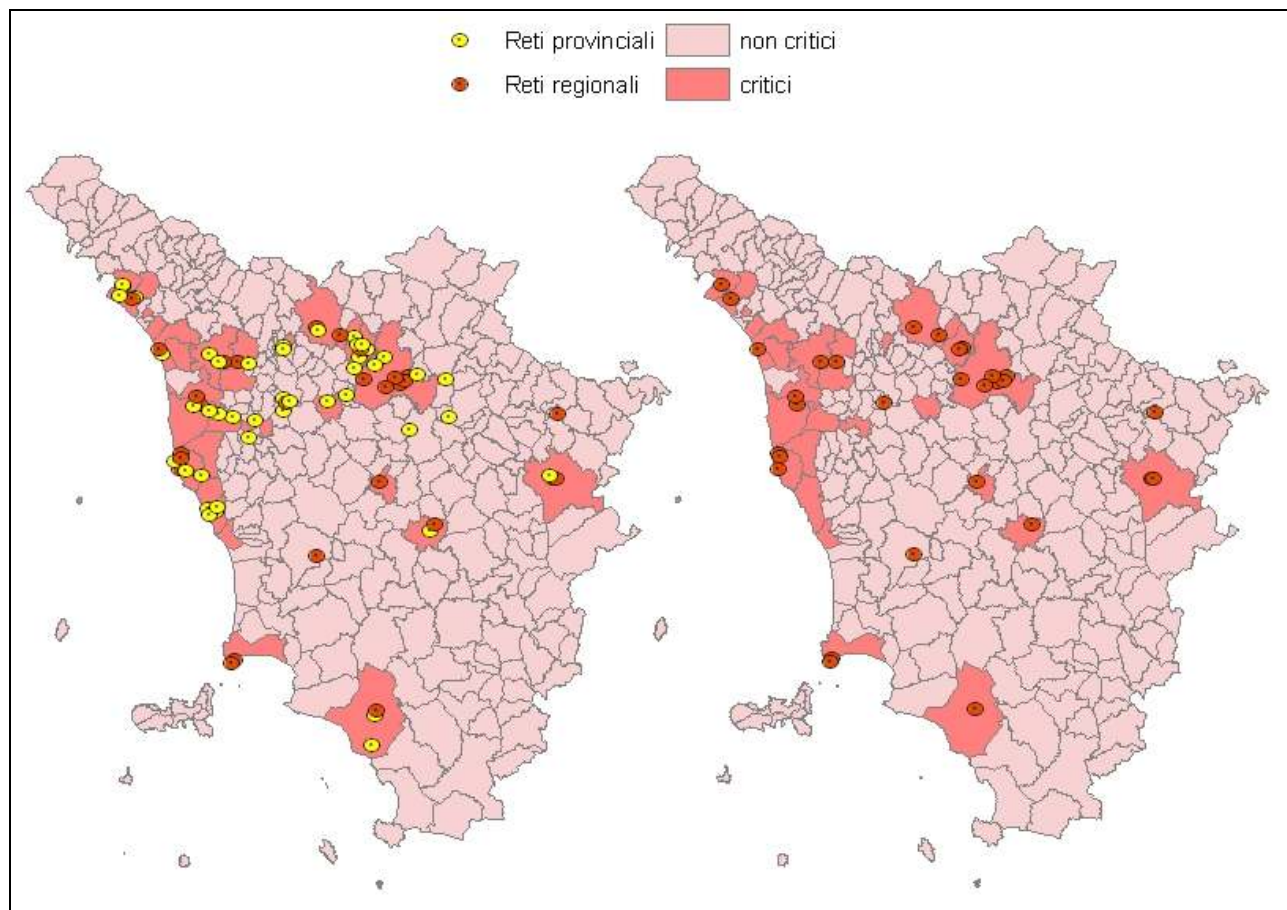
Figura 1 – Comuni critici



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



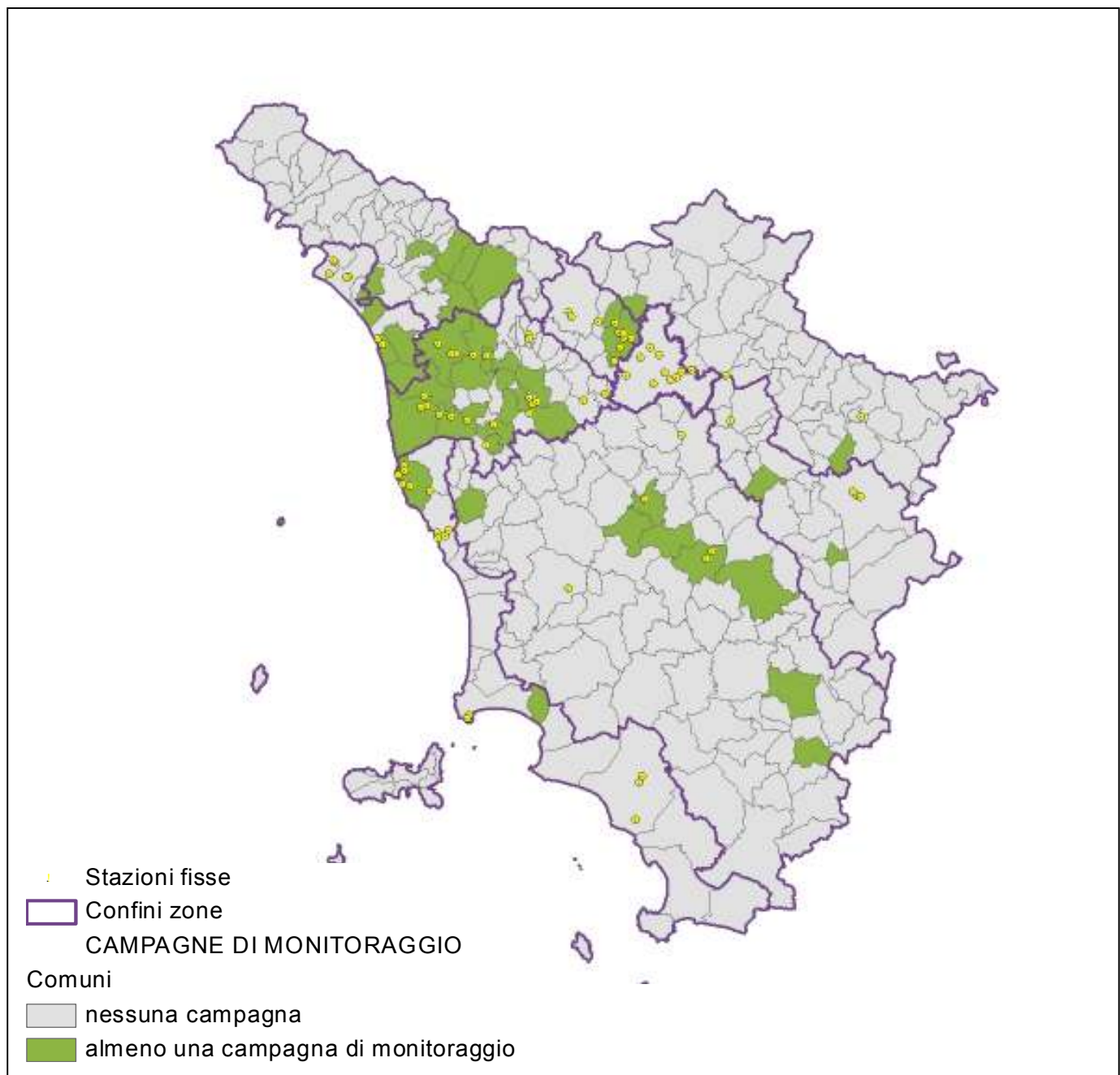
Delle 22 stazioni di PM10 di rete regionale attive già nel 2011, solo 4 si trovano in comuni definiti non critici. In particolare si tratta delle stazioni di Santa Croce Coop, Montecerboli, nel comune di Pomarance, Casa Stabbi, nel comune di Chitignano, e Montale.

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.

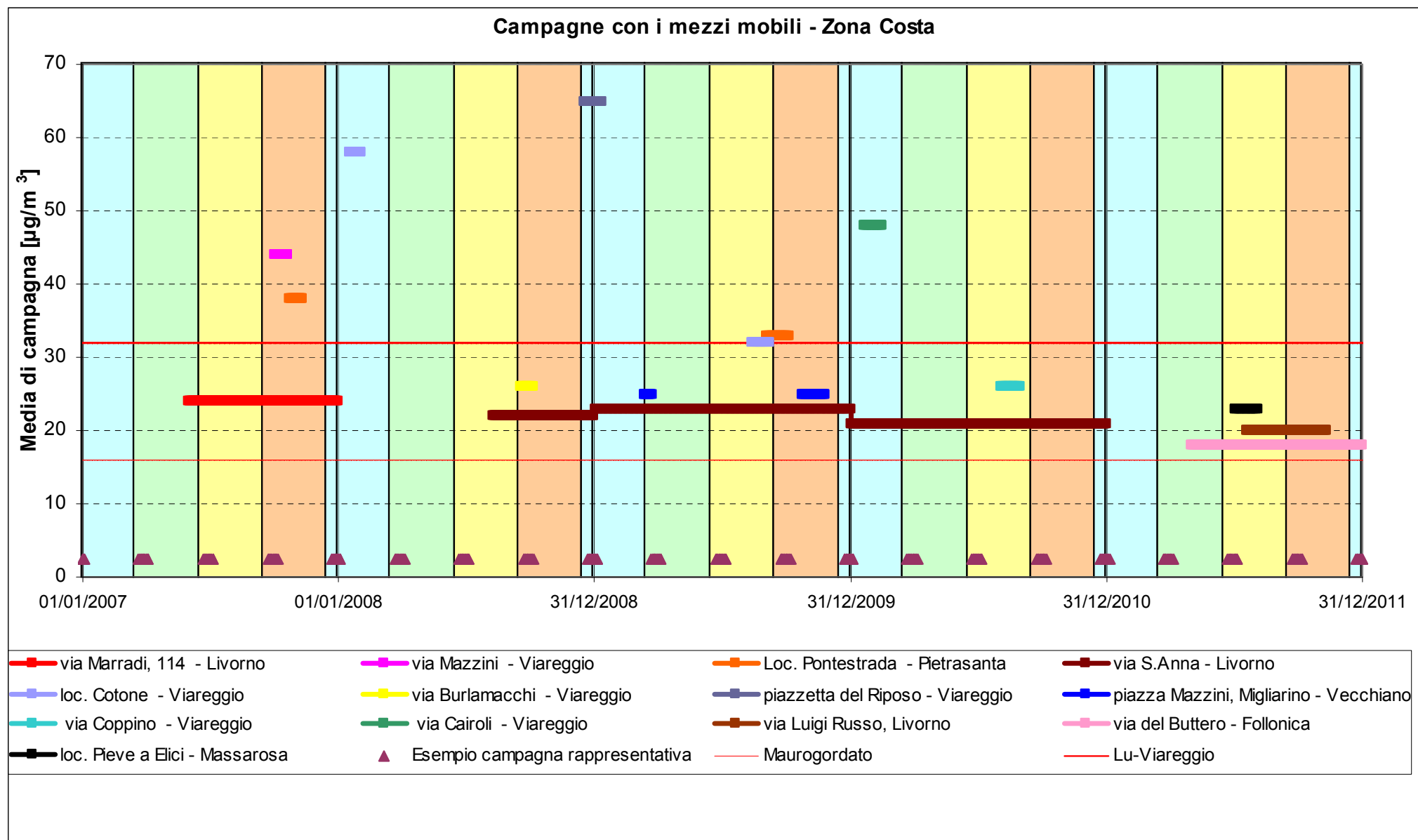
Per fornire elementi di riferimento all'interpretazione dei dati sono riportate in grafico la massima e la minima media su base quinquennale registrate nelle stazioni di fondo della zona (vedi tabella II.1 – parte 2). Nel caso della zona costiera si ha un massimo di 32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ della 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.arpat.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.

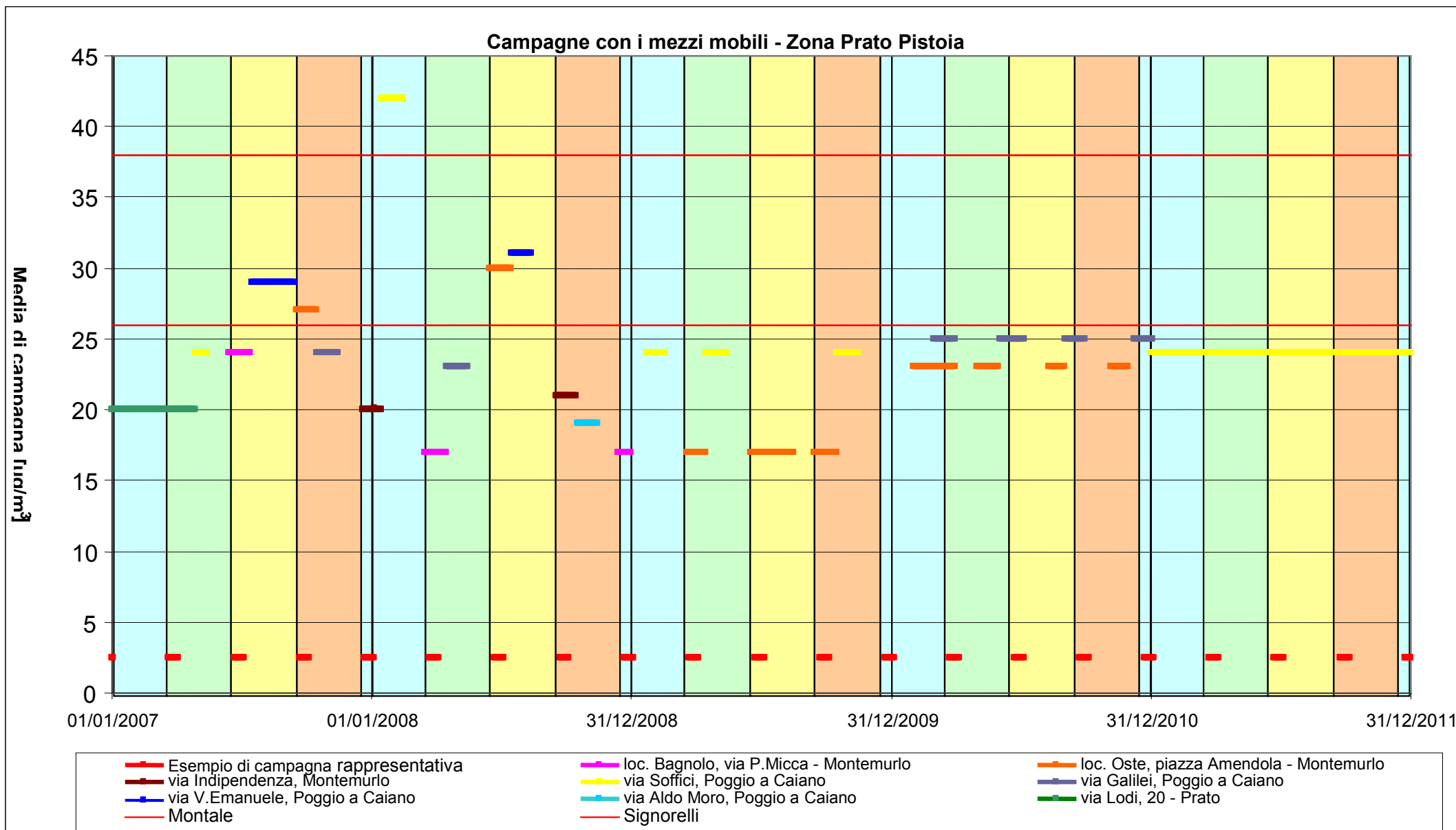
Il riepilogo dei dati misurati con i mezzi mobili è riportato in figura 3.2. Le campagne in questa zona sono state effettuate nei comuni di Prato, Montemurlo, Poggio a Caiano. Il valore più elevato è relativo ad una campagna svolta interamente in periodo invernale a Poggio a Caiano nella postazione di 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.

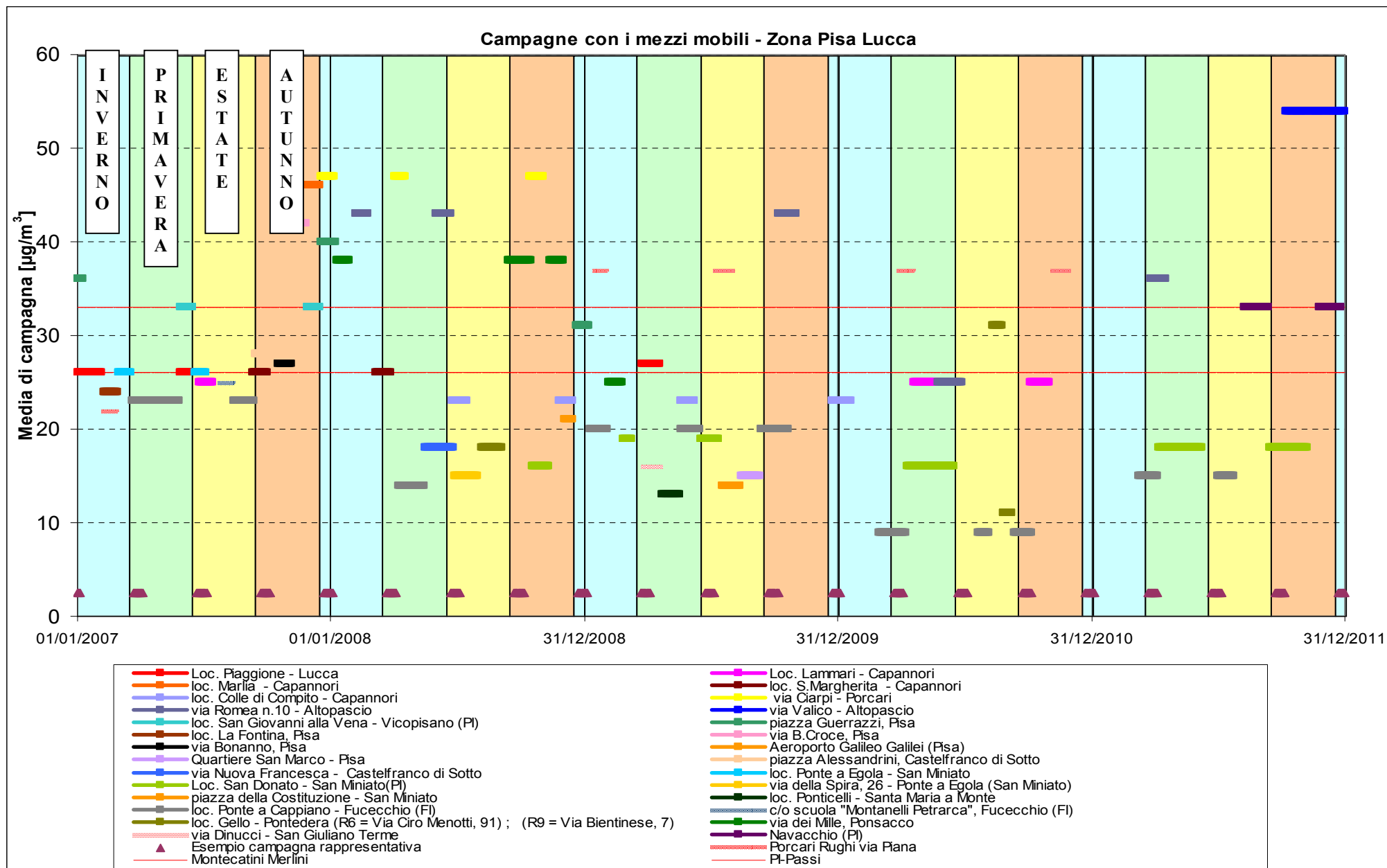
Il riepilogo dei dati misurati con i mezzi mobili è riportato in figura 4.1. Le campagne con i mezzi mobili si sono svolte sia in area pisana che in area lucchese. Per la zona i valori di riferimento relativi alle stazioni fisse riportati in grafico sono la media del quinquennio della stazione UF di 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.

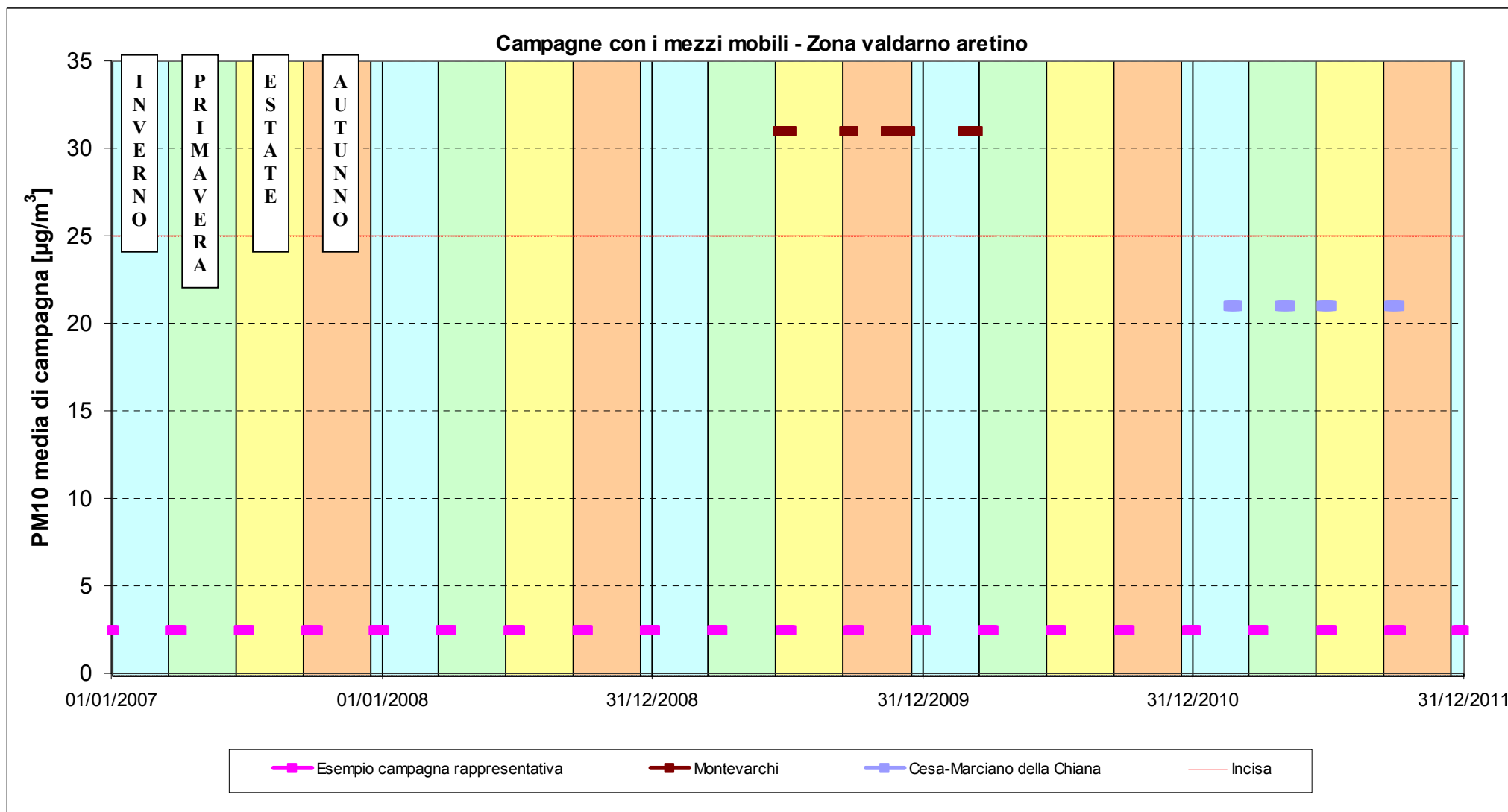
Tabella 5C Numero di superamenti della soglia annuale di 50 µg/m³ come media giornaliera – zona valdarno aretino

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 Lucciana 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	Colle Val d'Elsa	27				
Colle Val d'Elsa – via Piemonte	MM	UI	SI						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.

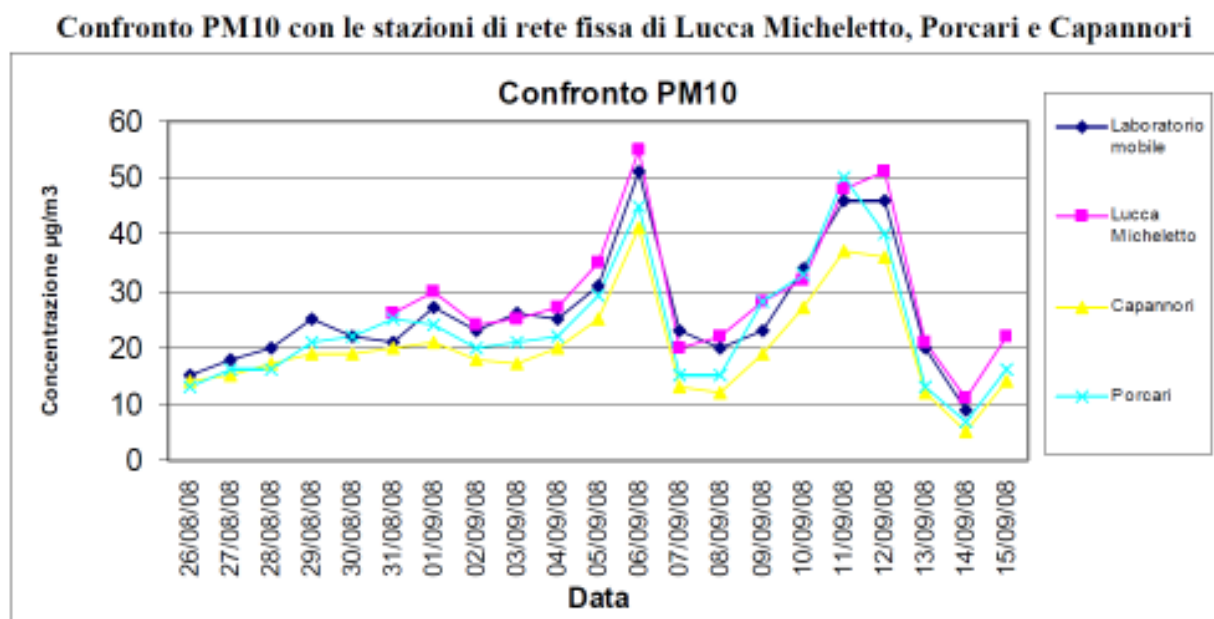
Le campagne effettuate nell'area della Garfagnana hanno evidenziato in qualche caso anche alcune criticità.

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



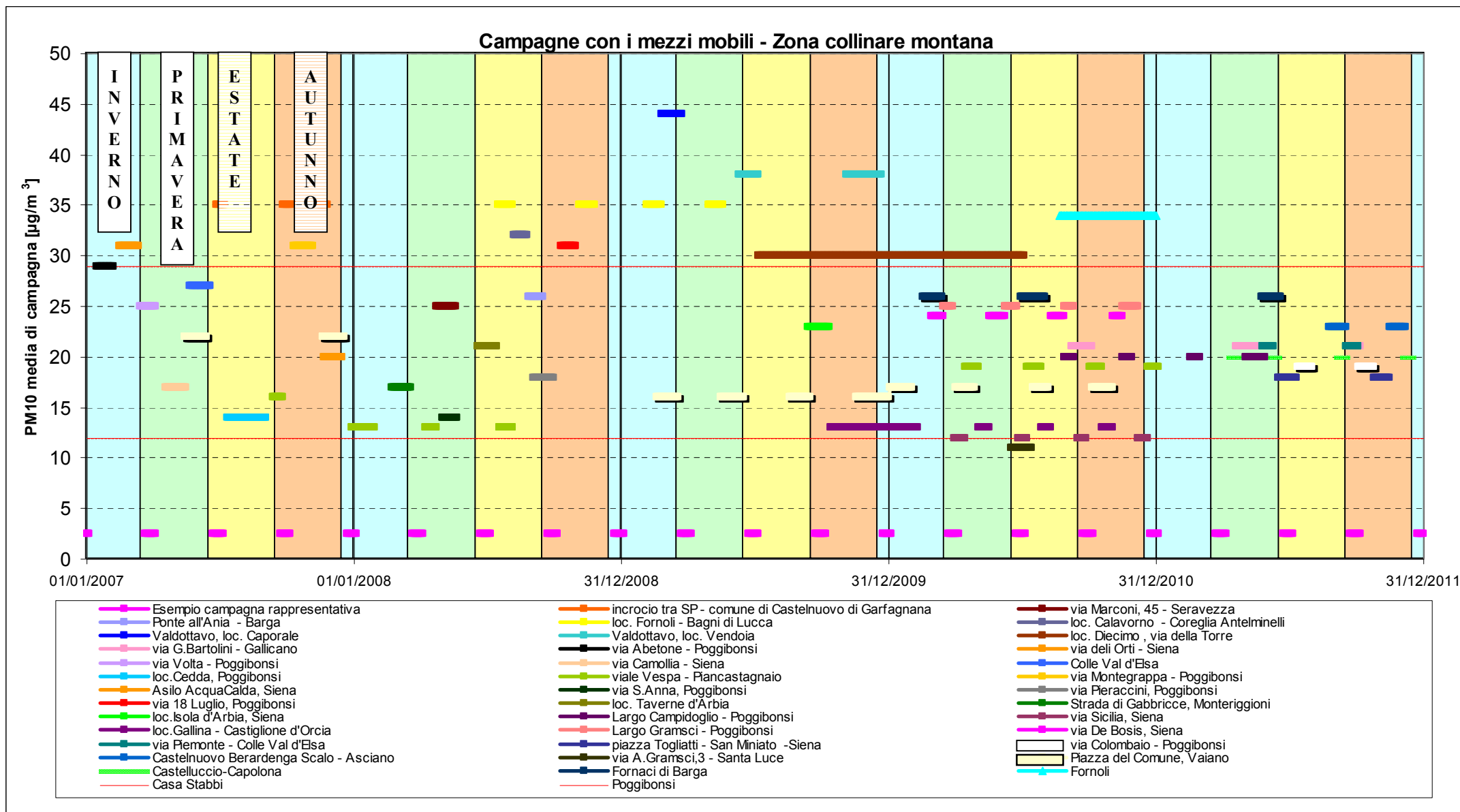
Anche se occorre una certa cautela nella valutazione di questi risultati, di questi elementi occorrerà certamente tenere conto in una futura revisione della zonizzazione.

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 graduale, 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:

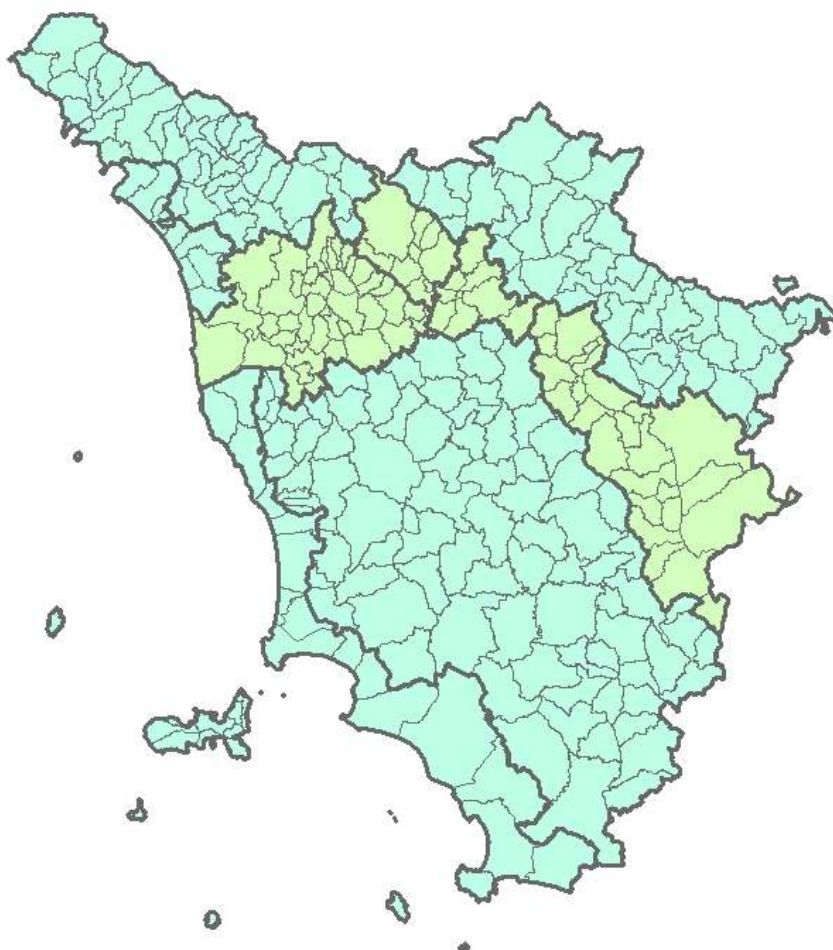
Stazione	Zona di riferimento	Classificazione	Valore	Anno
Maurogordato	Costa	PF	14	2010-11
Bassi	Agglomerato Prato/Pistoia	UF	22	2010
Incisa	Valdarno aretino	UF	21	2009
Montelupo	Lungarno pisano e piana lucchese	UF	22	2010
Chitignano	Collinare montana	RF	10	2010

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

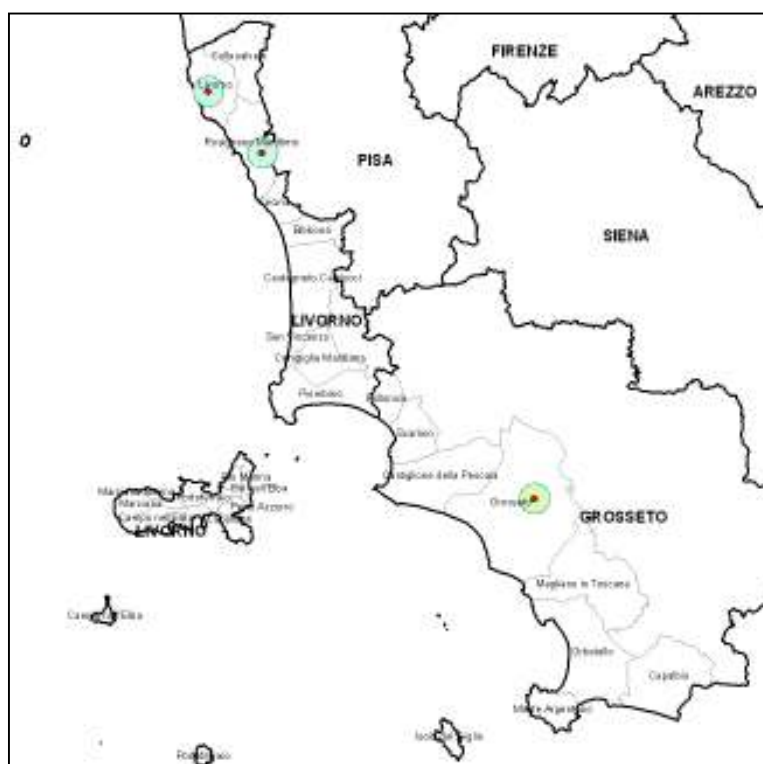
Per quanto riguarda la zona costiera i punti di riferimento per i valori di fondo sono 5 stazioni di fondo urbano e 2 di fondo periferico.

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

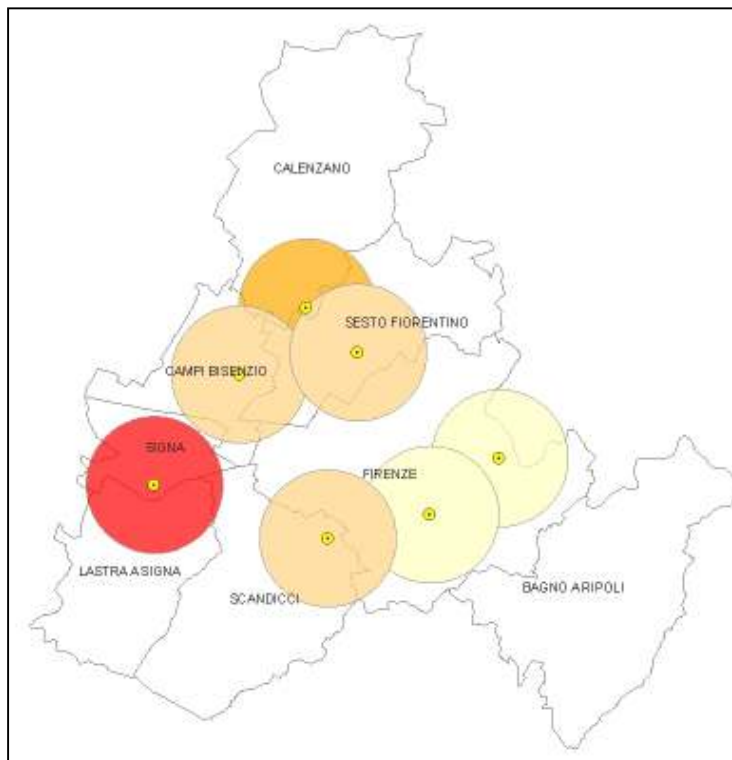


2. Agglomerato di Firenze

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 $25\text{-}29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ che nella fascia $30\text{-}34 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

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.

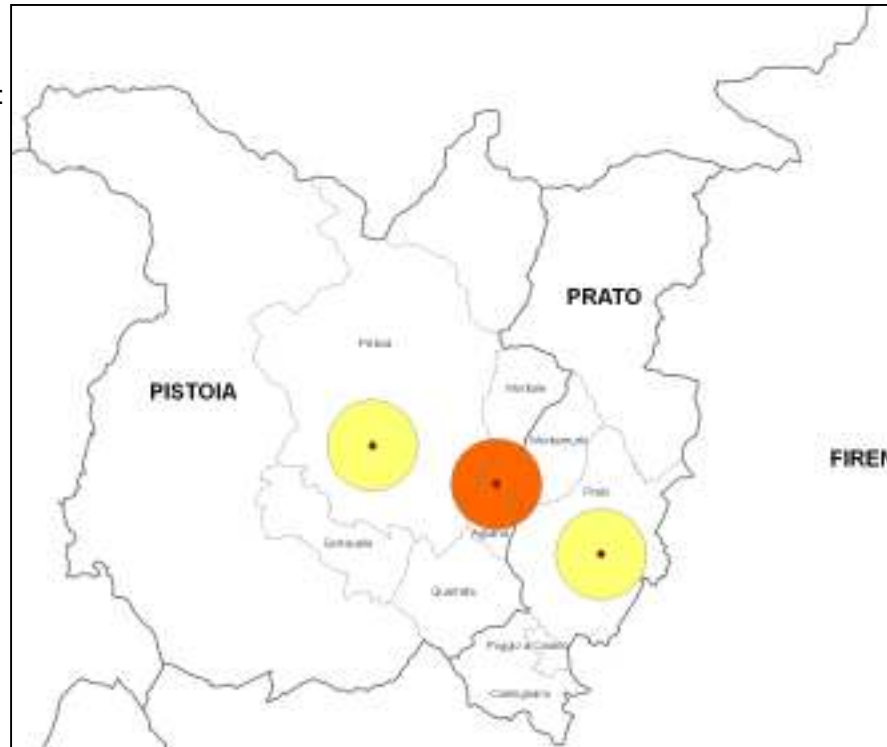
Questo esame in dettaglio dell'agglomerato non produce dirette conseguenze a livello di valutazione e gestione della qualità dell'aria per cui l'agglomerato viene considerato nel suo complesso e i dati di riferimento sono quelli di tutte le stazioni del territorio. Si deve quindi considerare che le stazioni 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:

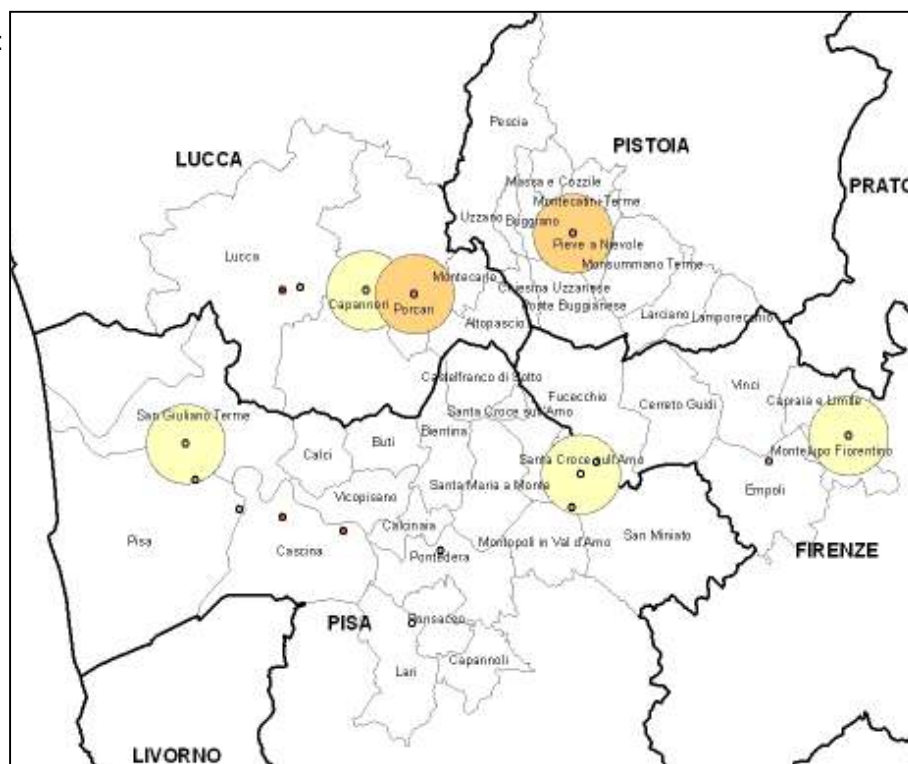


4. Zona del lungarno pisano e piana lucchese

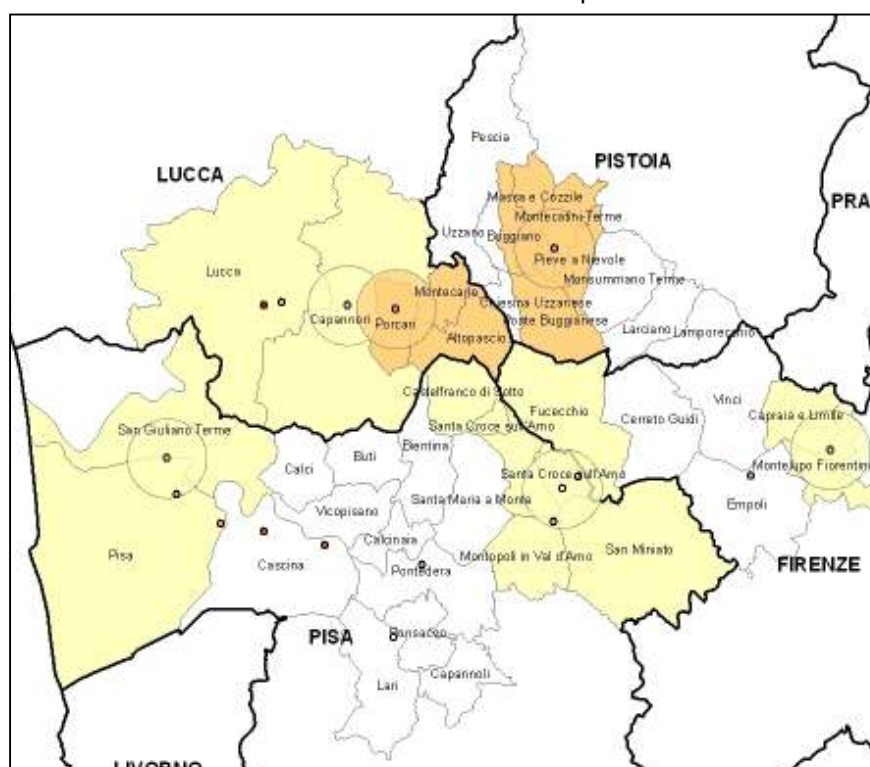
Per la zona del Lungarno pisano e piana lucchese sono disponibili 4 stazioni di fondo urbano (LU-Capannori, PI-Passi, FI-Montelupo, Montecatini Merlini) e 2 di fondo periferico (PI-Santa Croce Coop, e LU-Porcari). Tra queste le 4 stazioni di Capannori, Passi, Montecatini e Santa Croce fanno parte, dal 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 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]:

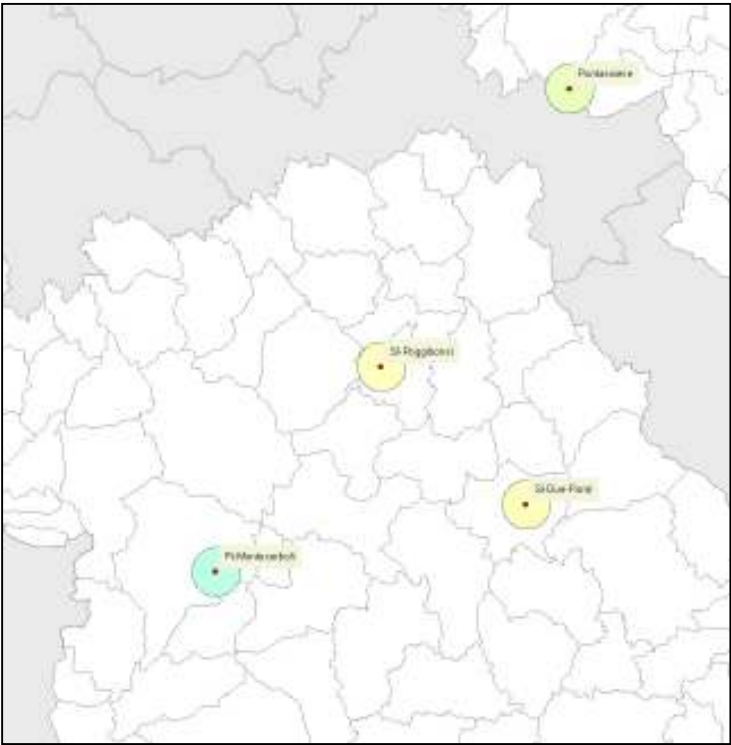
1	10-19
2	20-24
3	25-29
4	30-34
5	35-39
6	≥ 40



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 emissive. 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

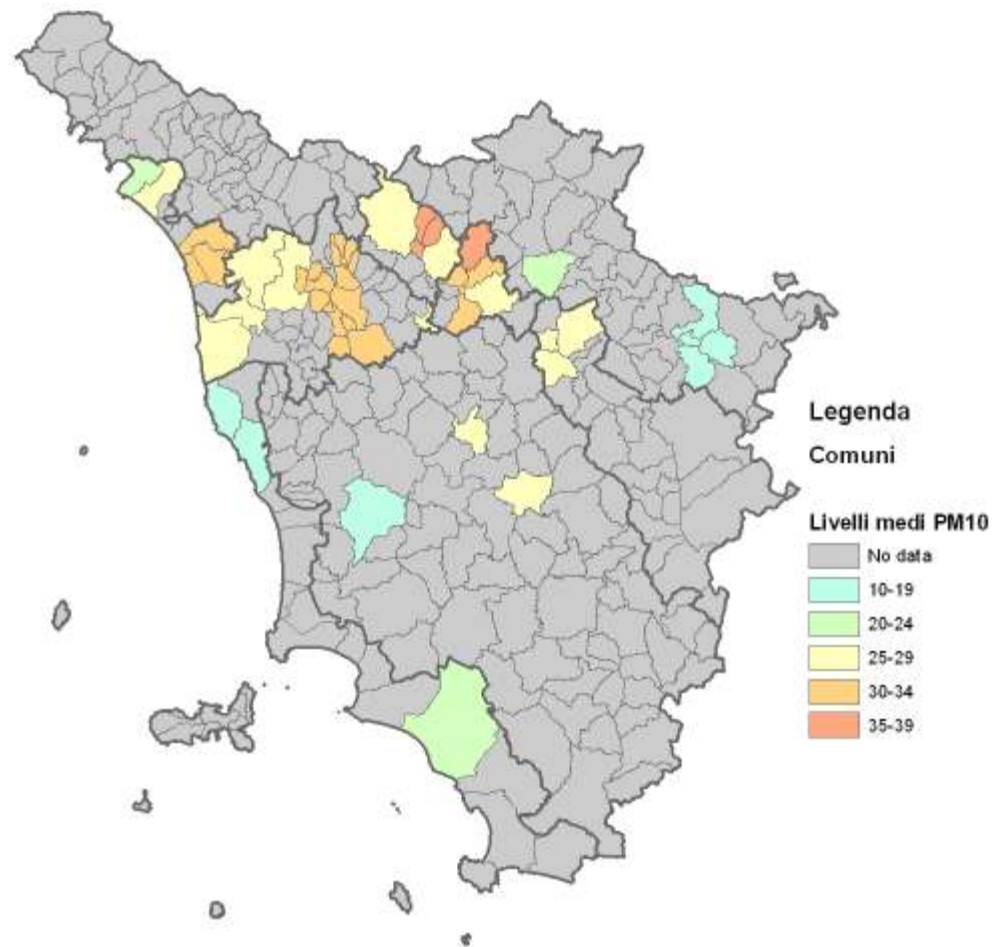
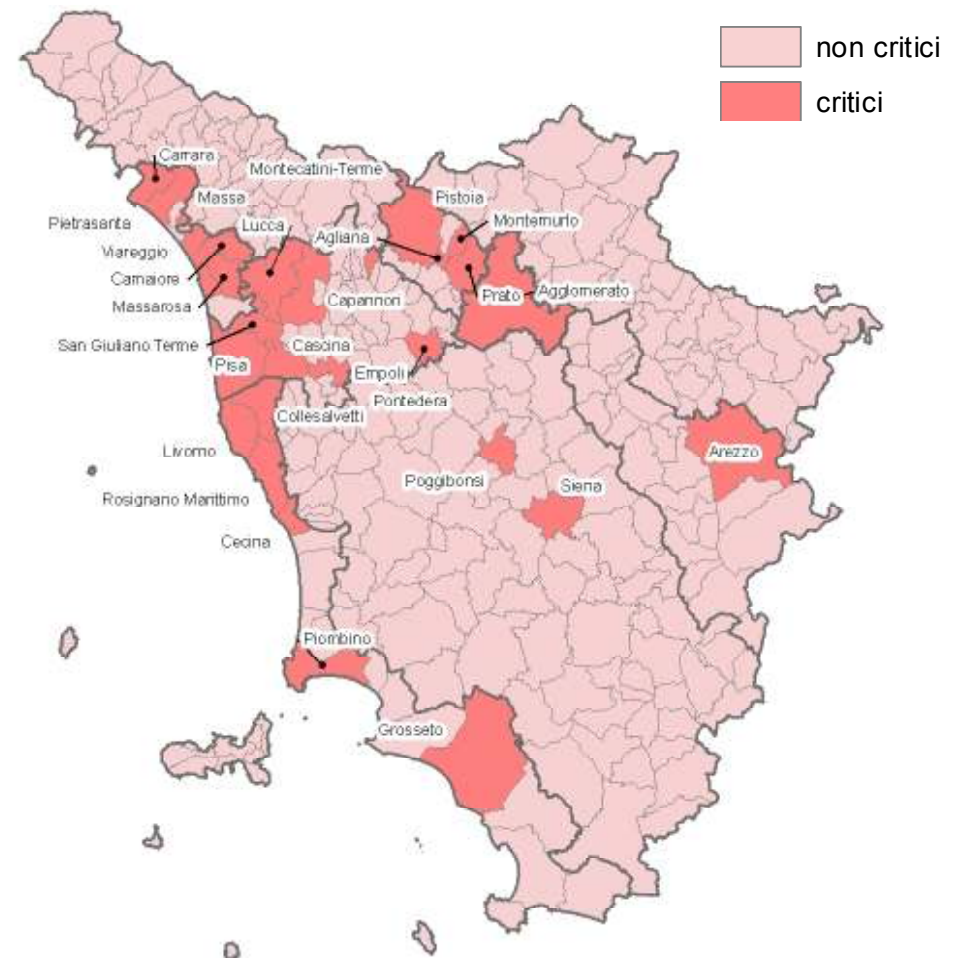


Figura 1b – Comuni critici



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
	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

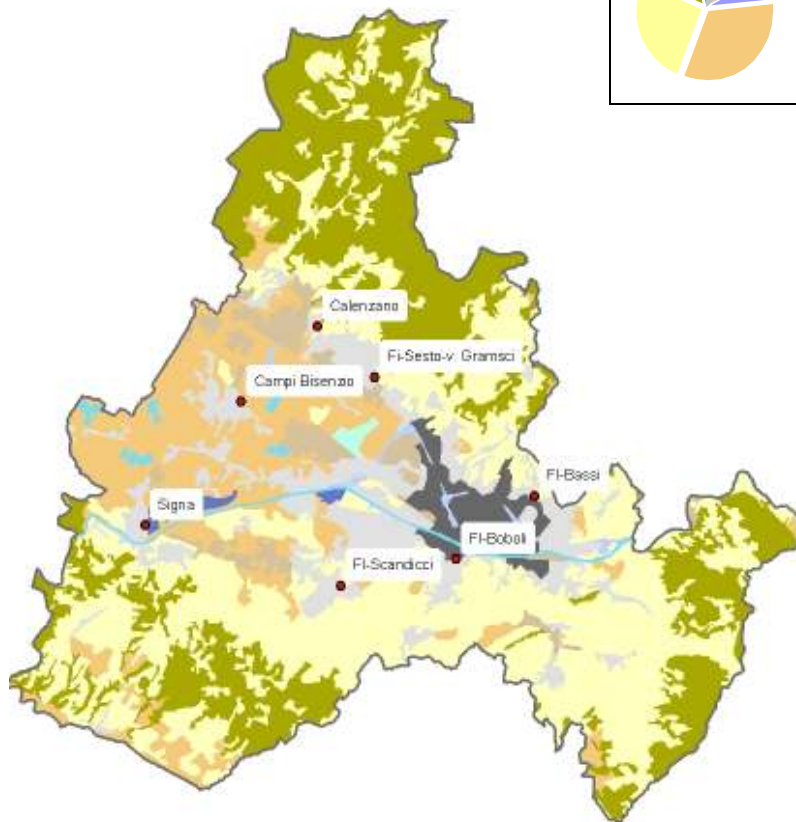
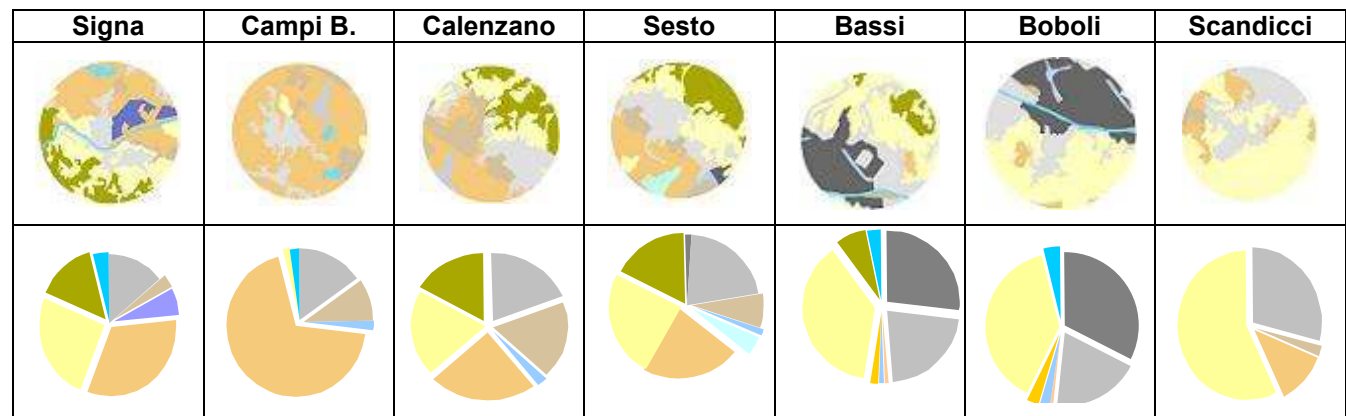
per zona:

- 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

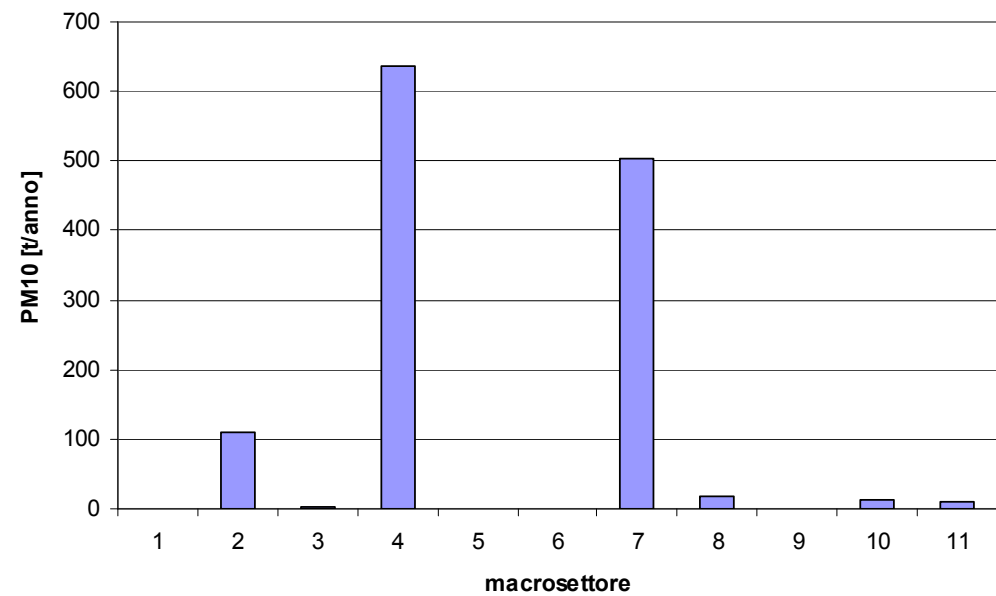
e per stazione:

- 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



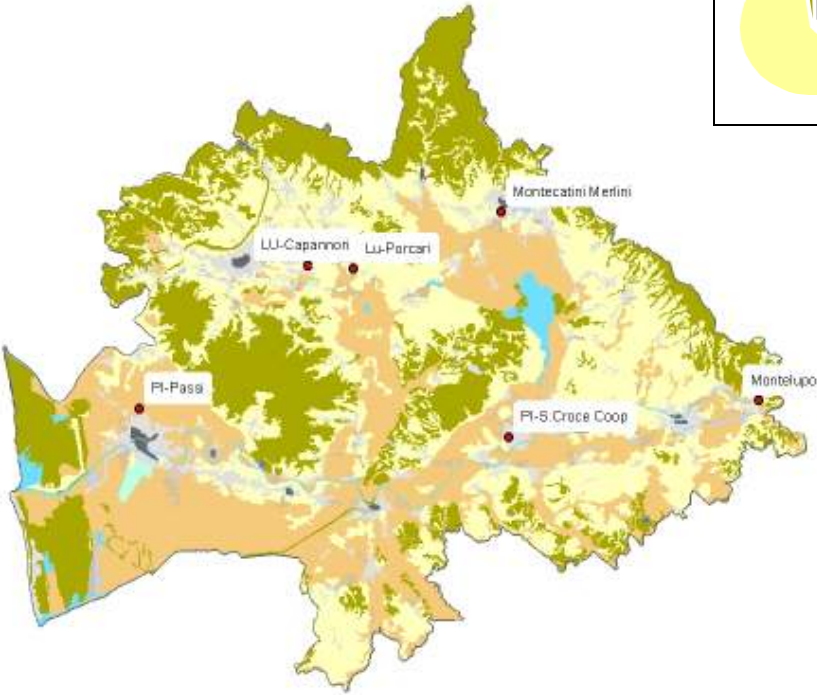
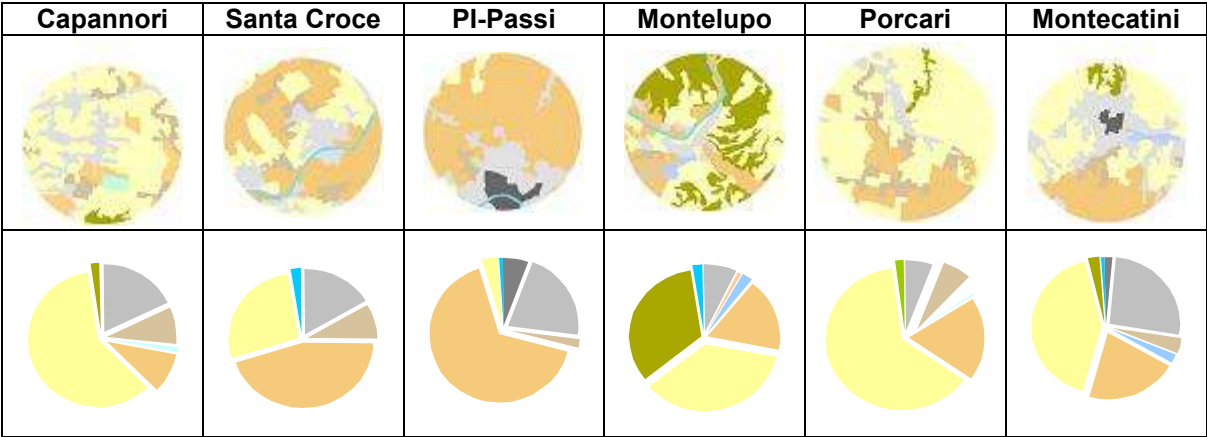
Emissioni agglomerato



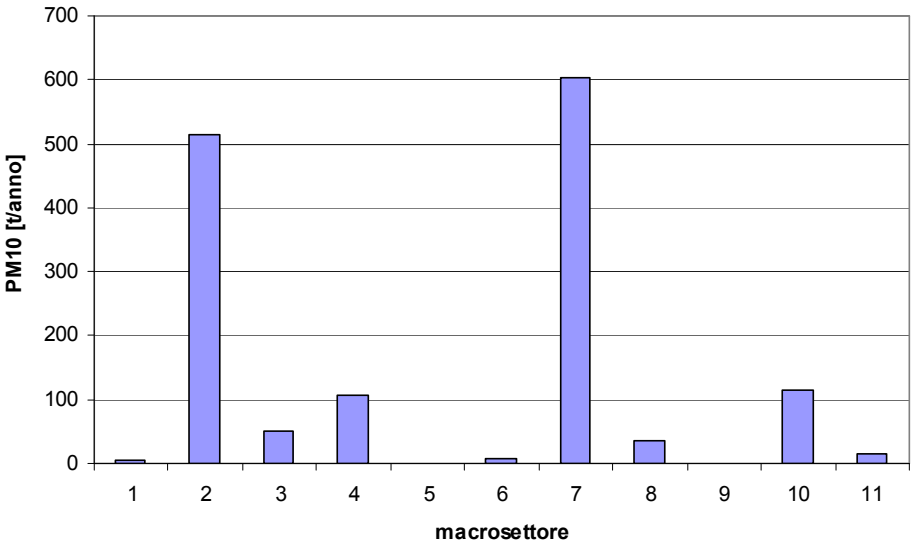
Indice Beta

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

LUNGARNO PISANO E PIANA LUCCHESA



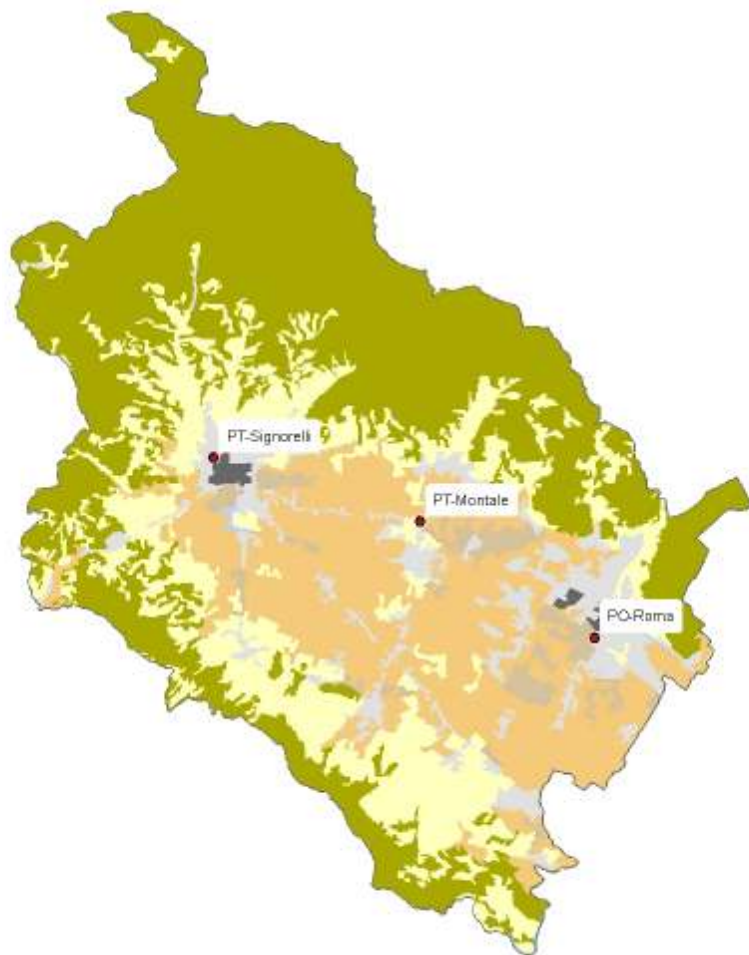
Emissioni lungarno pisano e piana lucchese



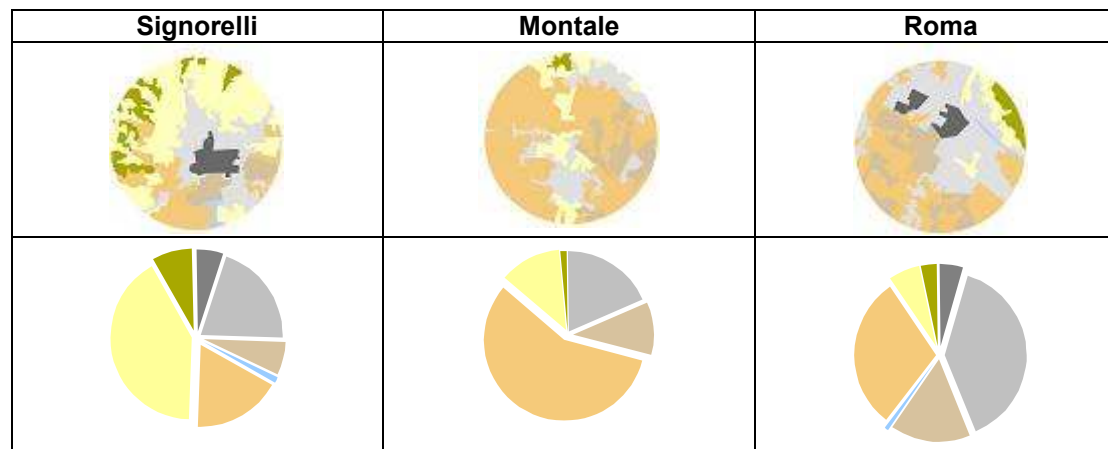
Indice Beta

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

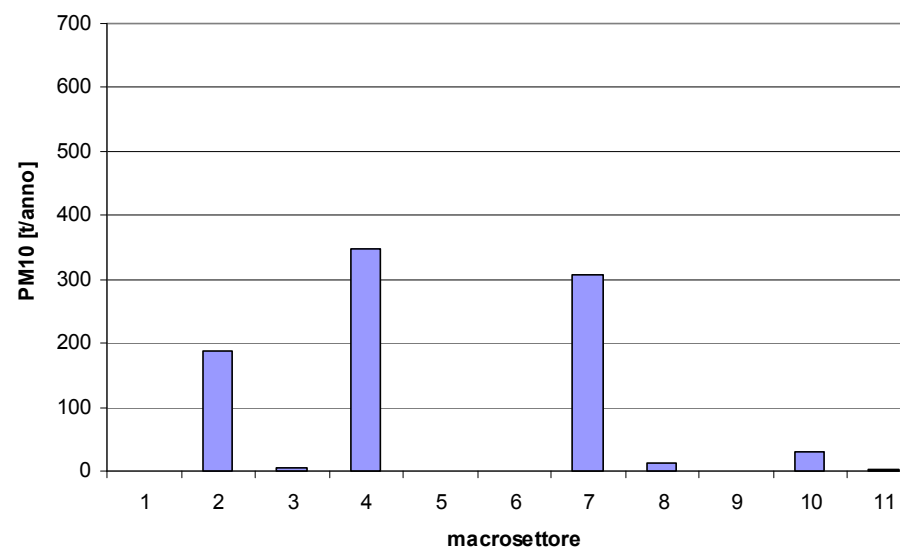
PRATO PISTOIA



Indice Beta

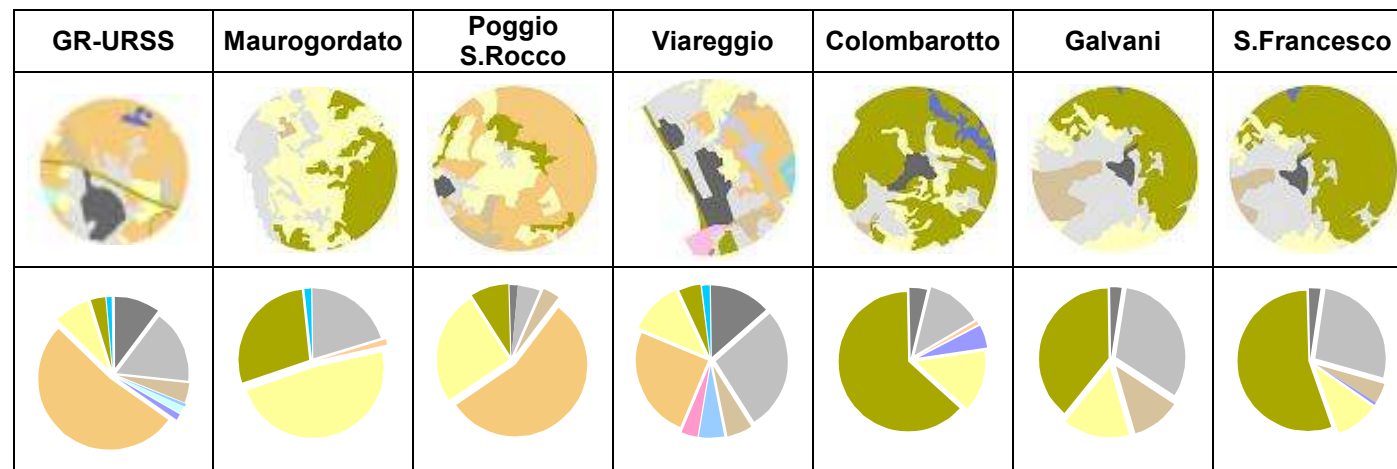
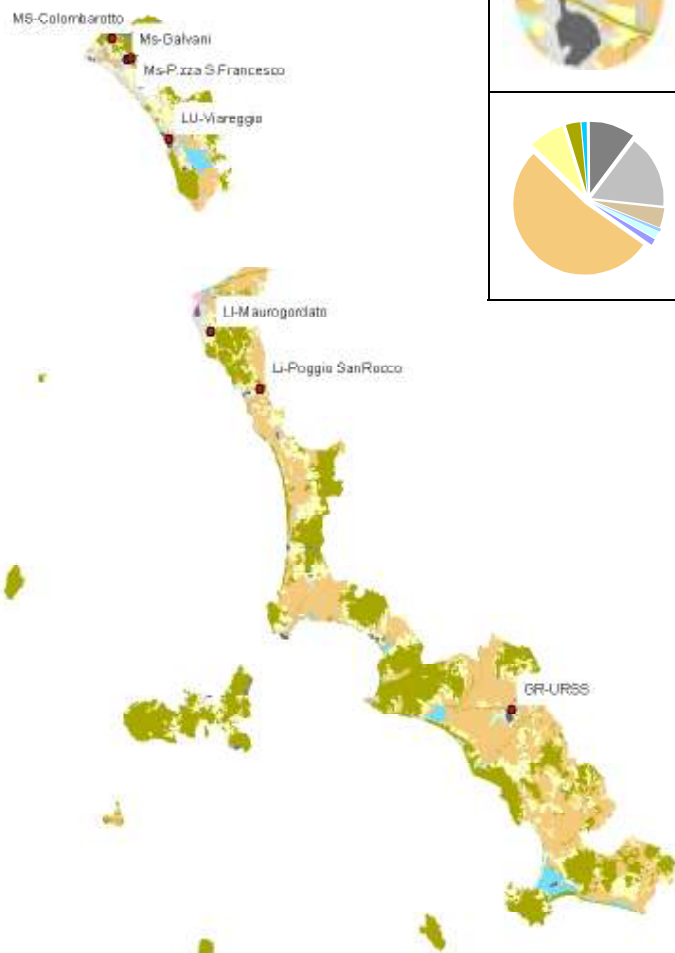


Emissioni zona Prato Pistoia

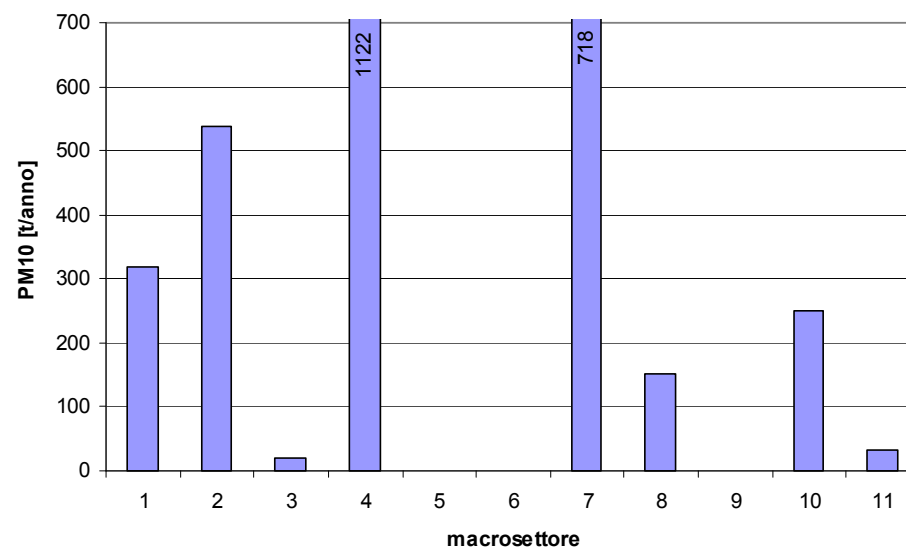


0,144	0,137	0,218
-------	-------	-------

COSTA

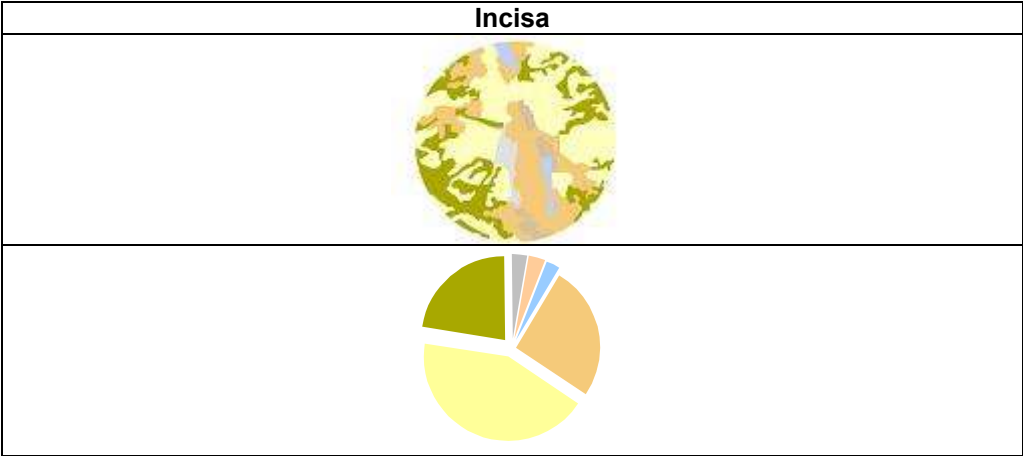


Emissioni zona costa

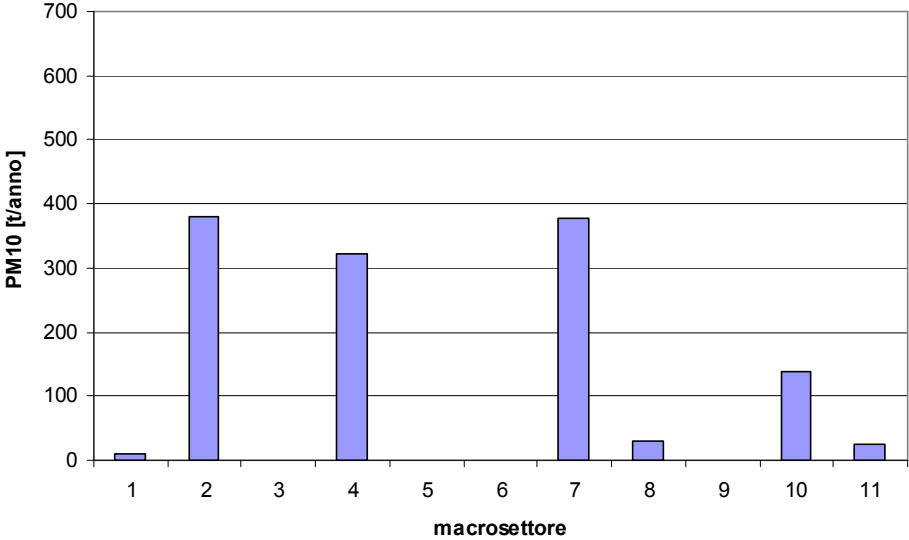


Indice Beta	0,192	0,141	0,140	0,217	0,128	0,195	0,154
-------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

VALDARNO ARETINO E VALDICHIANA

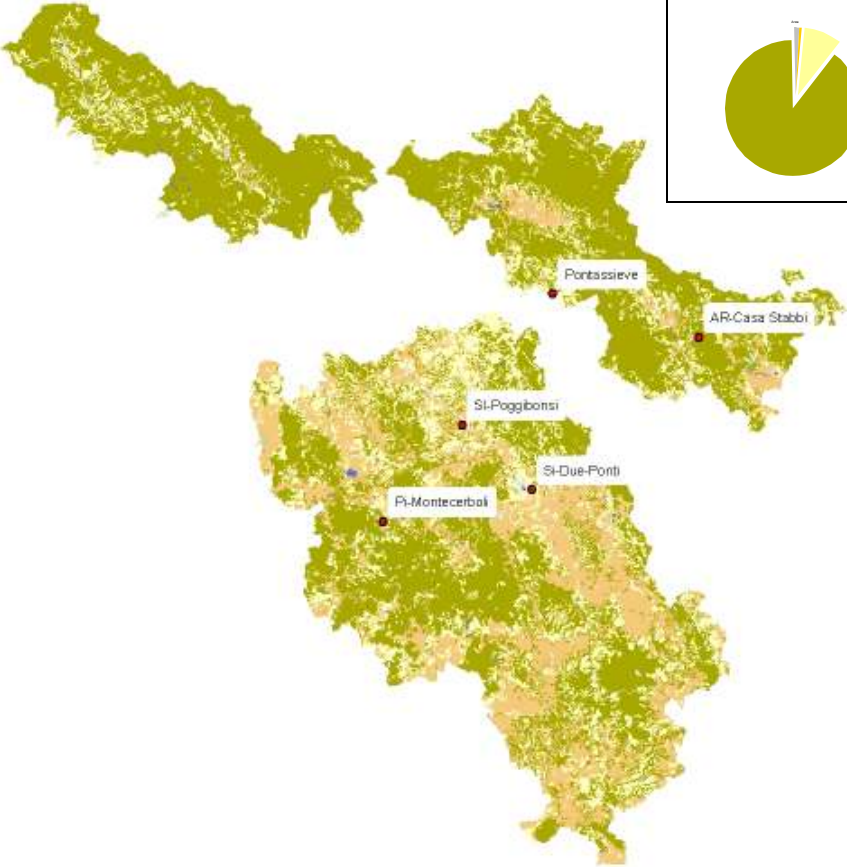
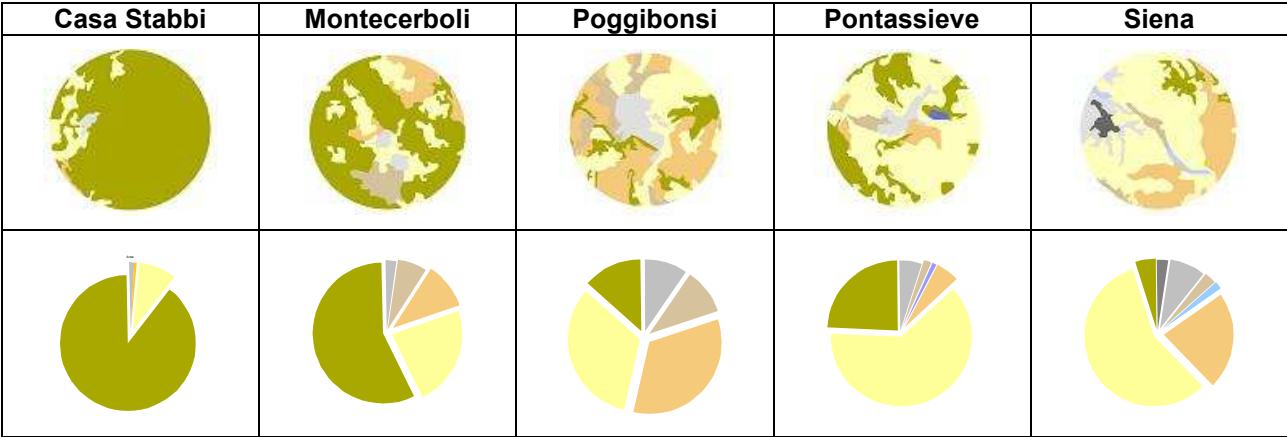


Emissioni valdarno aretino e valdichiana

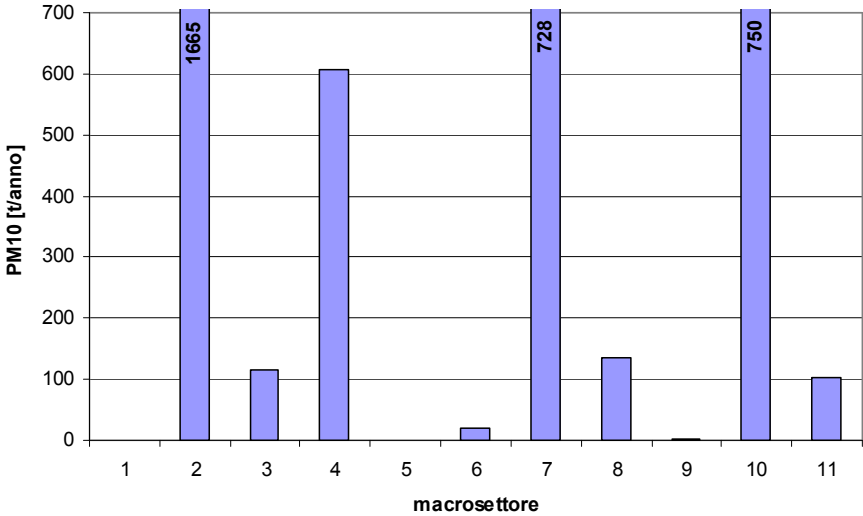


Indice Beta 0,103

COLLINARE E MONTANA



Emissioni zona collinare montana



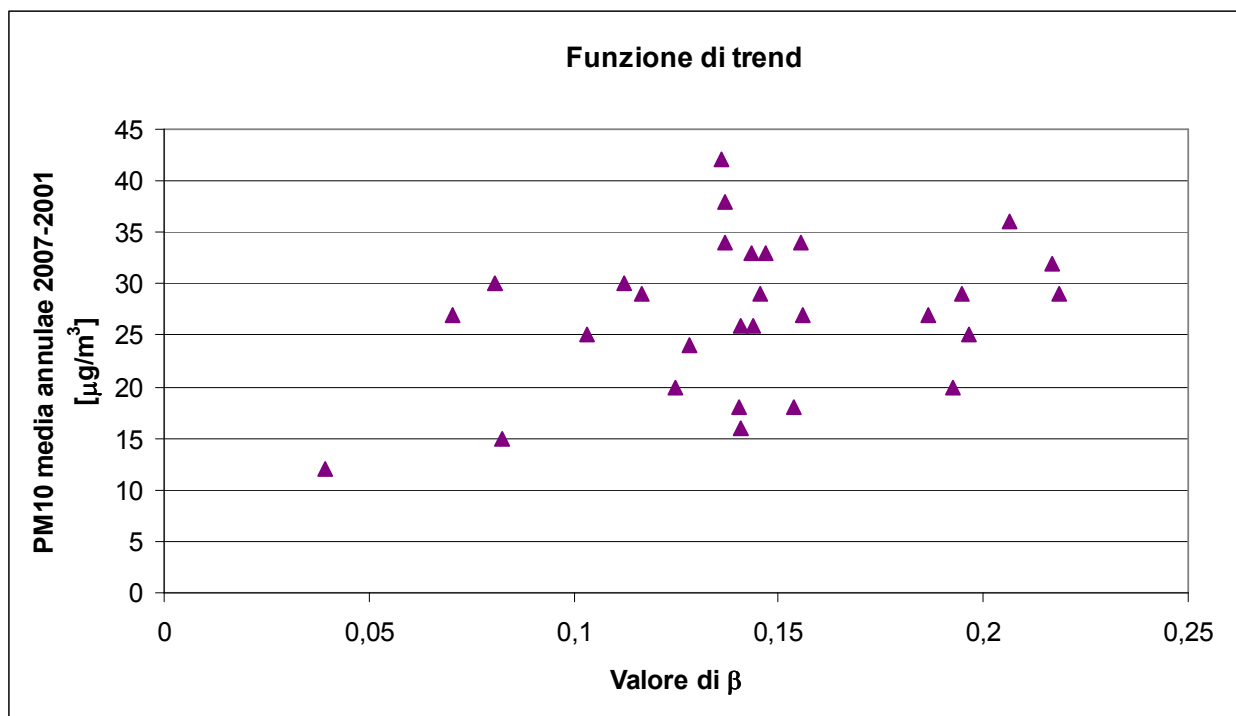
Indice Beta

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.

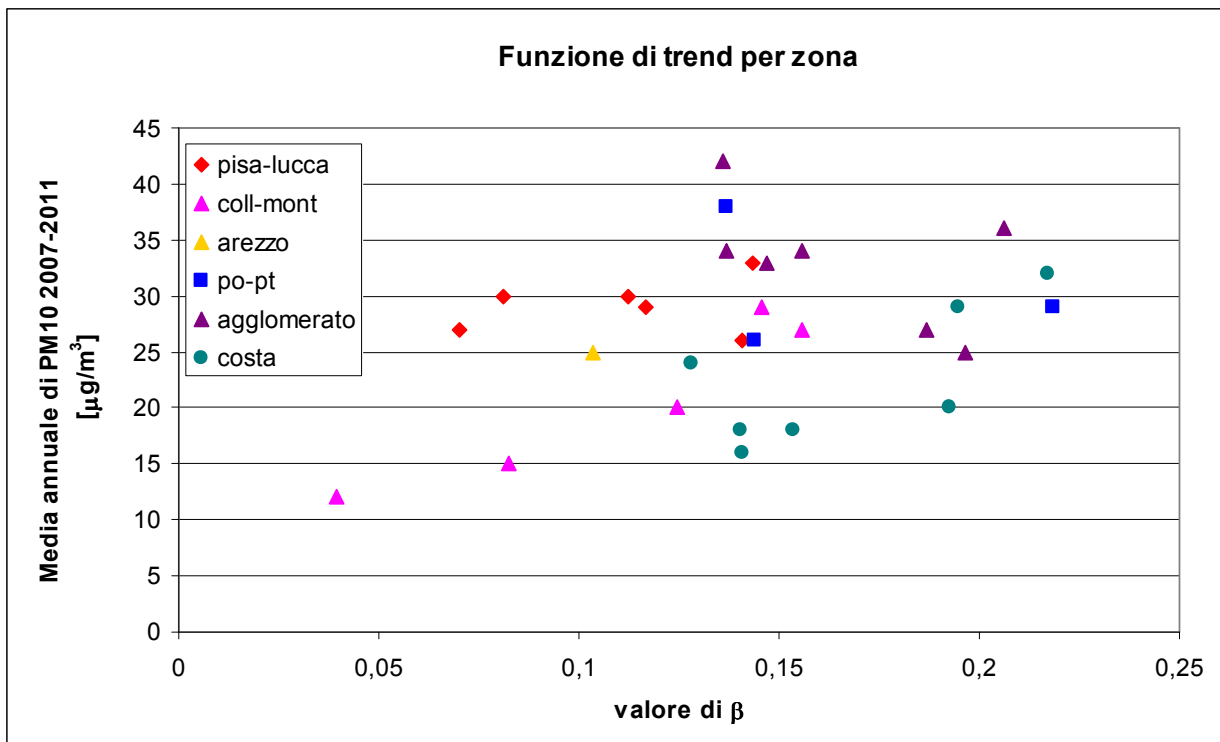
Nel nostro caso l'analisi si ferma a questo stadio e la correlazione senza ottimizzazione dei coefficienti, mostrata in figura 1, si presenta come una fascio di punti con un orientamento complessivamente crescente al crescere di β .

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



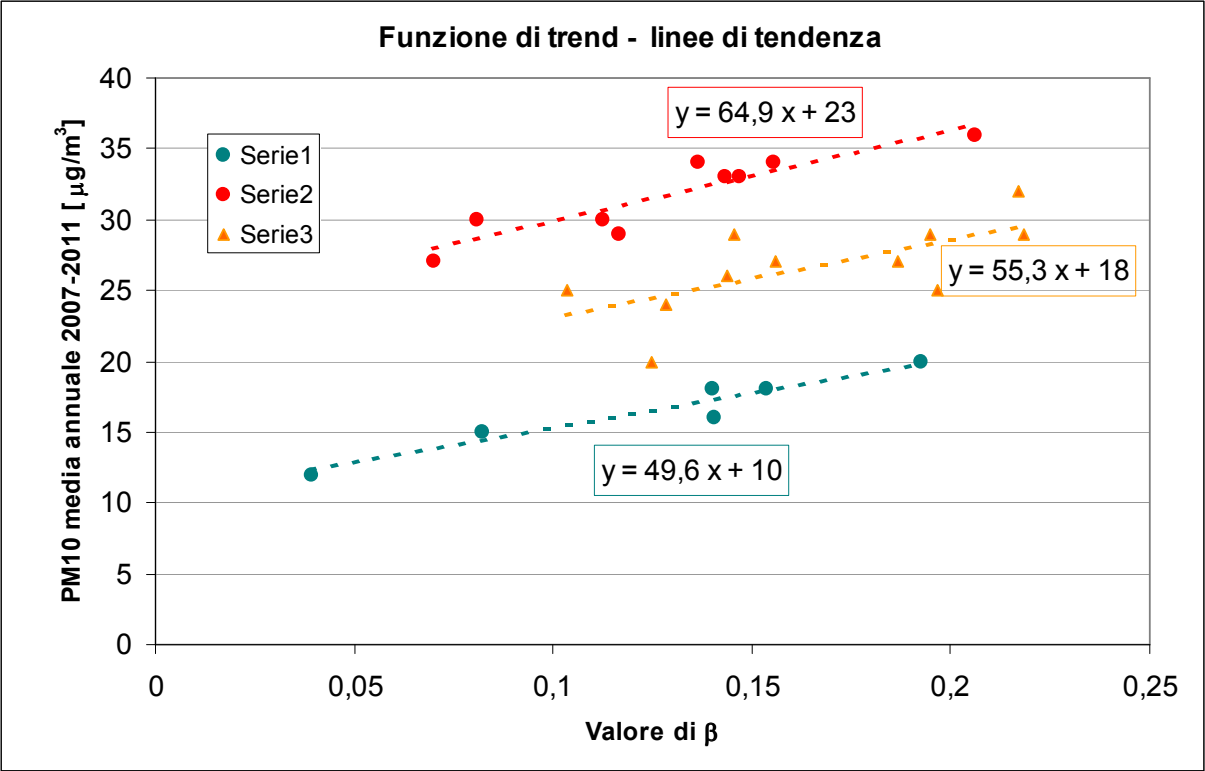
Anche una suddivisione dei dati in serie diverse per ciascuna zona non mette in luce particolari correlazioni tra i livelli di qualità dell'aria e l'indice di uso del suolo.

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

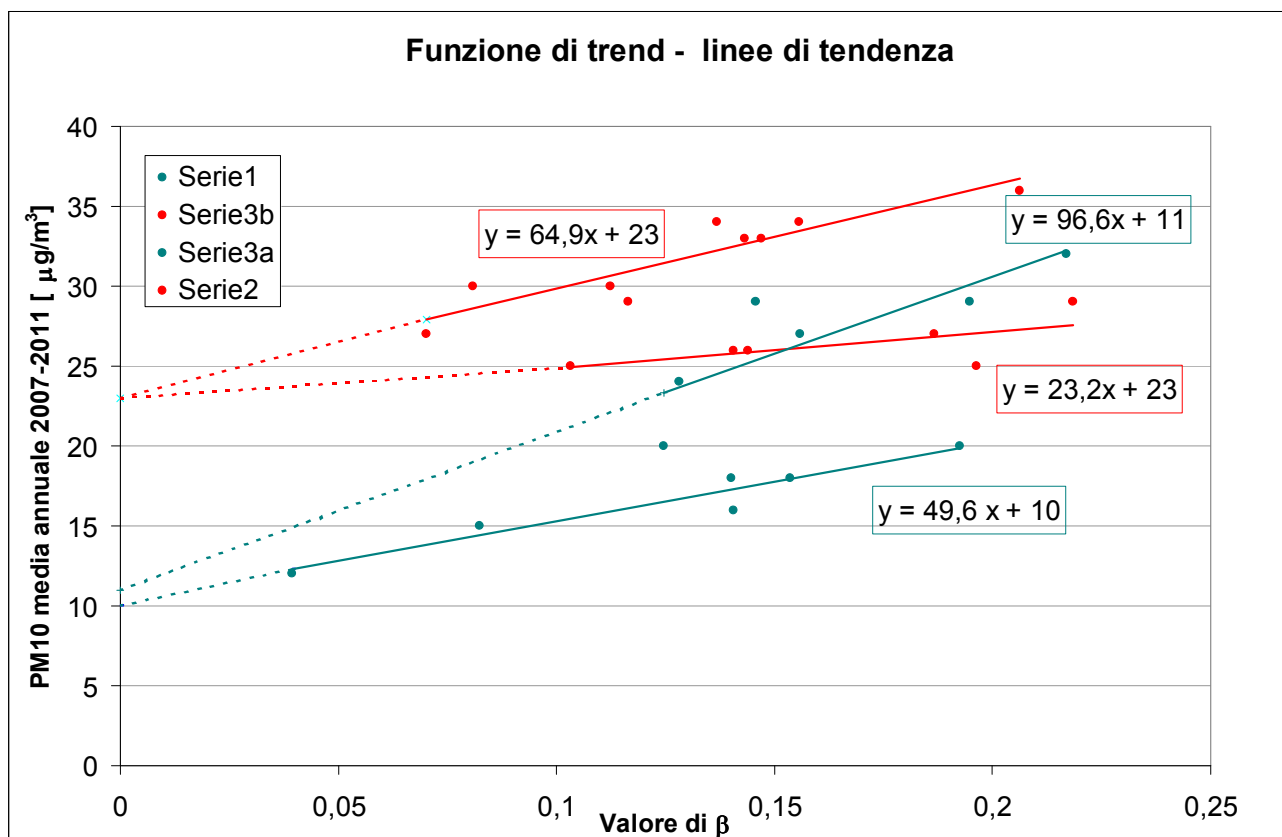
Zona	Stazione	% area urbana/ industriale	% area agricola/ naturale	β	PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
Collinare montana	Siena	10	80	0,156	27
Collinare montana	Poggibonsi	20	80	0,146	29
Collinare montana	Pontassieve	0	92	0,125	20
Costa	Galvani	25	65	0,195	29
Costa	Colombarotto	17	77	0,128	24
Costa	Viareggio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


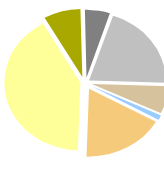

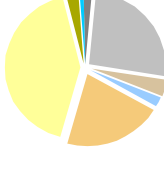


Riepilogando, l'interpolazione di β suggerisce le seguenti considerazioni:

- 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

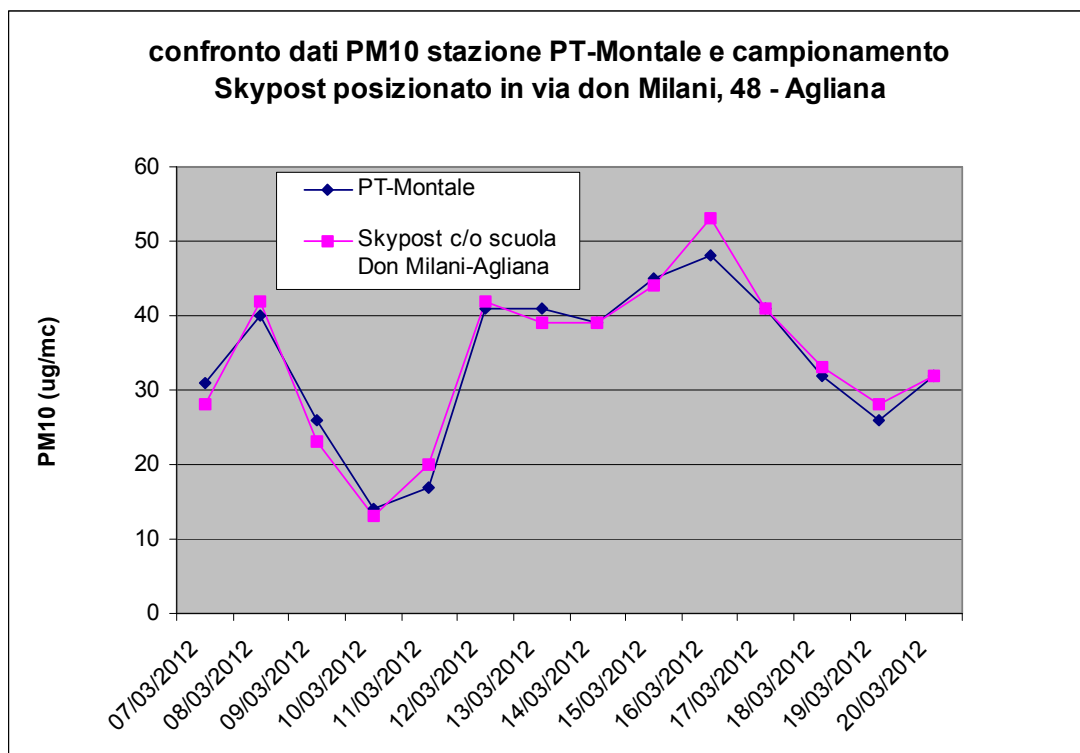
Atmospheric Environment, Volume 42, Issue 20, June 2008, Pages 4884-4903

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

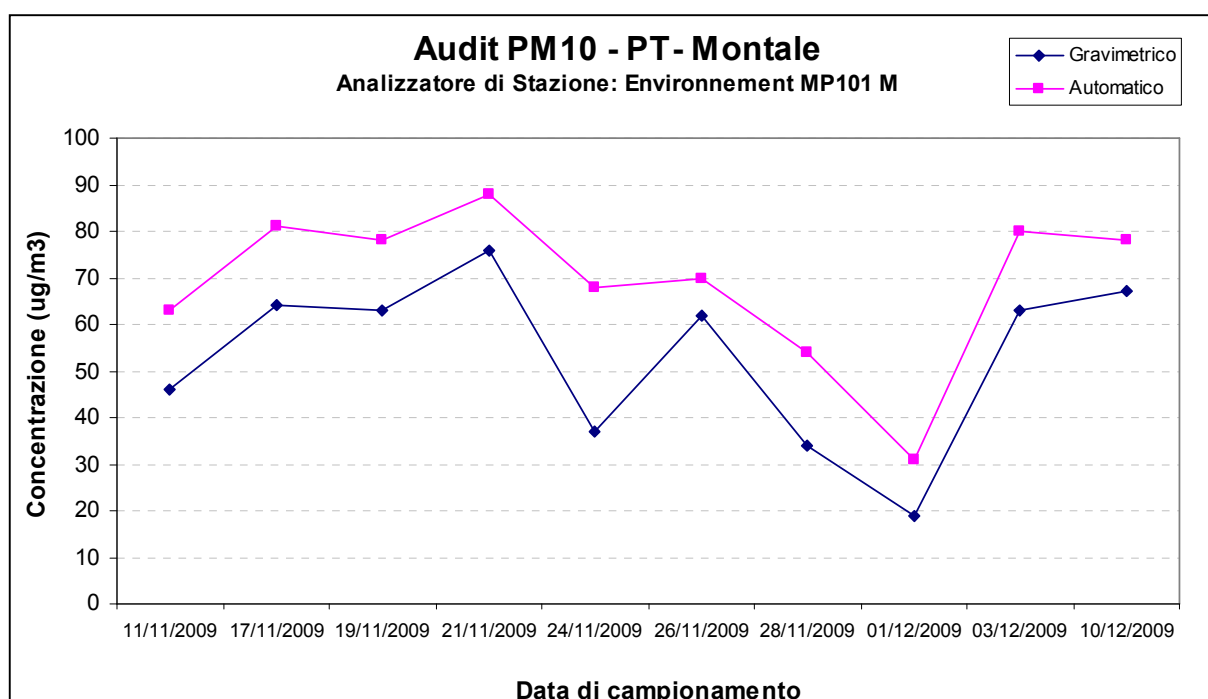
Si riportano di seguito, in maniera sintetica, i risultati dei controlli (audit) periodicamente svolti da ARPAT sull'analizzatore di polveri PM10 di PT-Montale dal 2009 al 2013 basati sul metodo UNI EN 12341/2001 "Determinazione del particolato in sospensione PM10"

:

Anno 2009

Risultati dell'audit

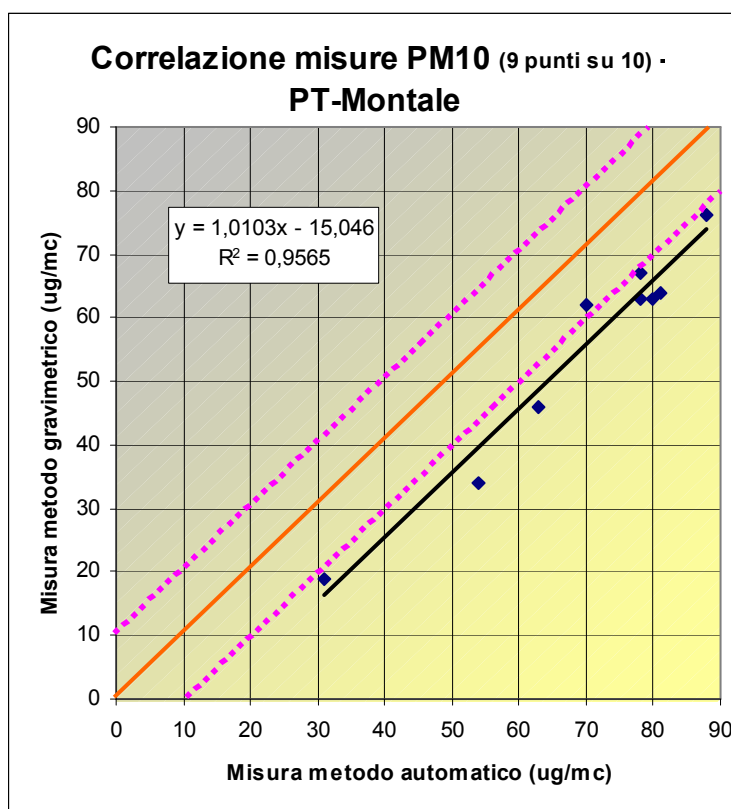
Si riporta di seguito il grafico con il confronto tra i dati rilevati con il campionatore sequenziale e quelli rilevati nello stesso periodo dall'analizzatore di Montale:



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".

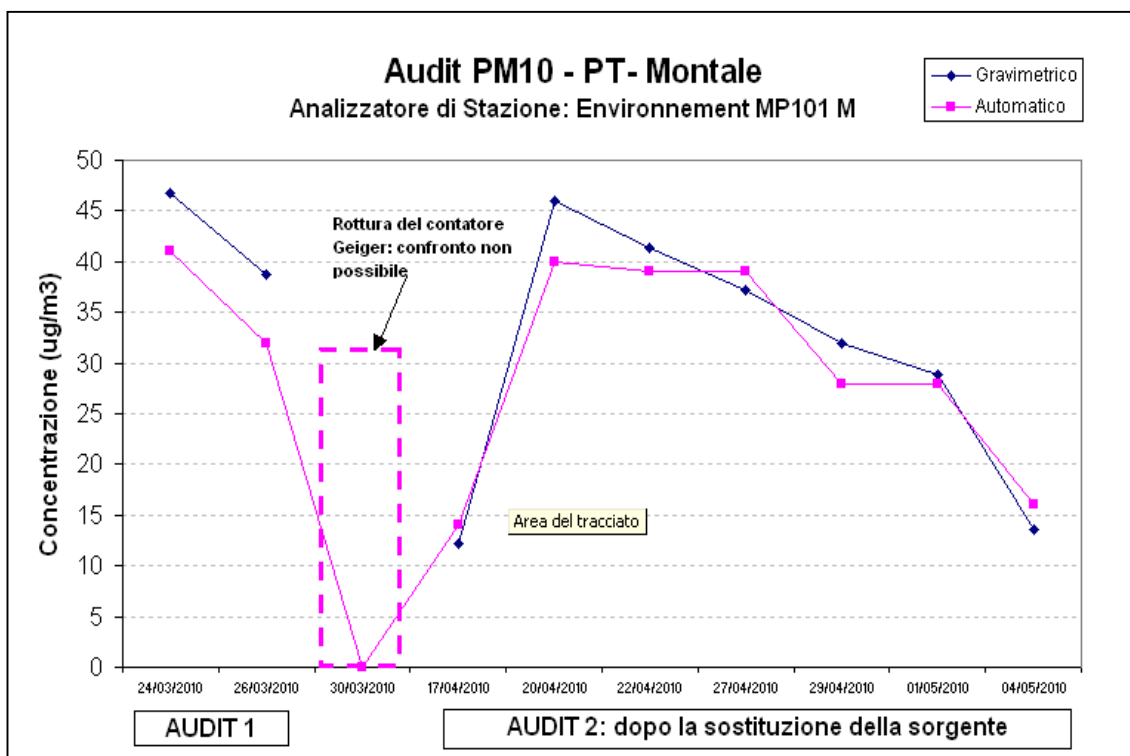
Anno 2010

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.

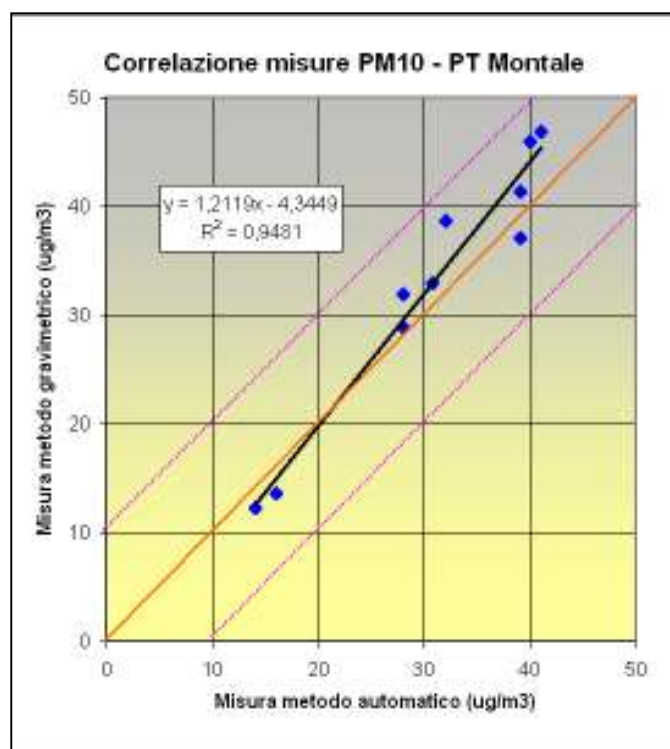
Si riporta di seguito il grafico con il confronto tra i dati rilevati con il campionatore sequenziale e quelli rilevati nello stesso periodo dall'analizzatore di Montale:



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:



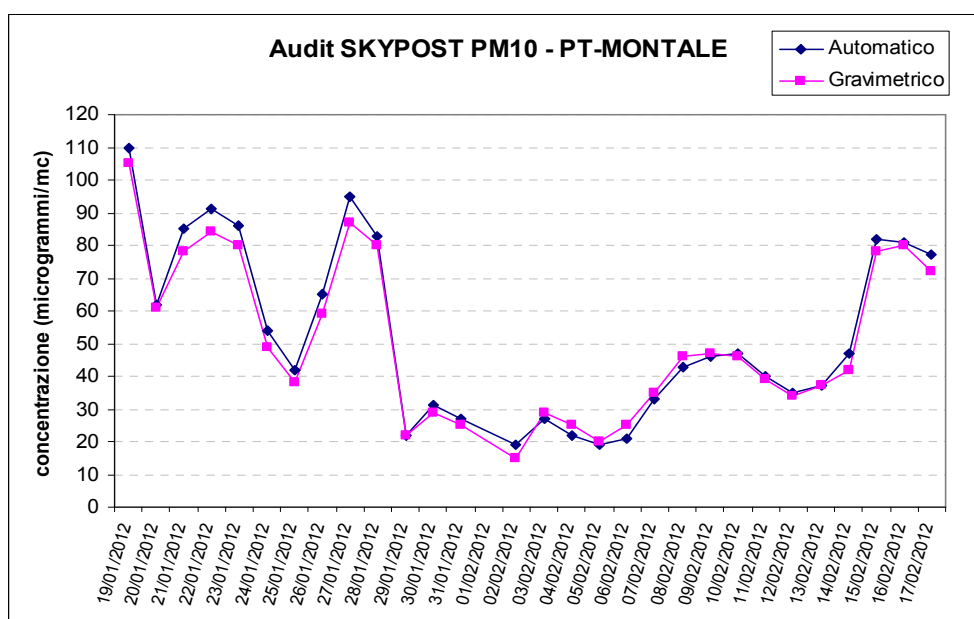
Eventuali misure di correzione prese

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

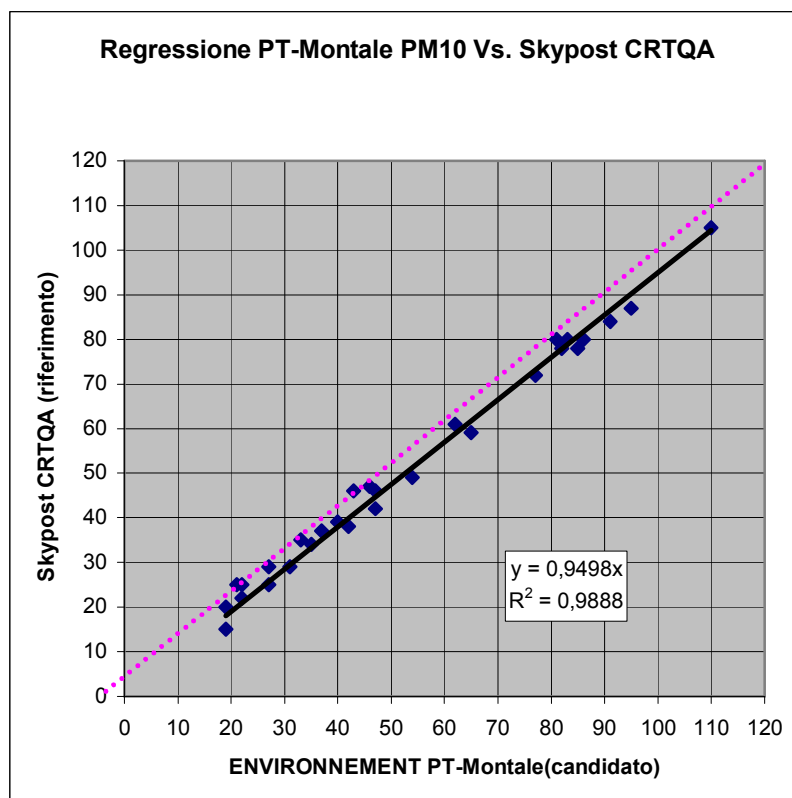
I risultati ottenuti hanno mostrato la sostanziale coerenza dei dati di concentrazione giornaliera provenienti dall'analizzatore PM10 di Montale con i dati di concentrazione rilevati con metodo gravimetrico.



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:



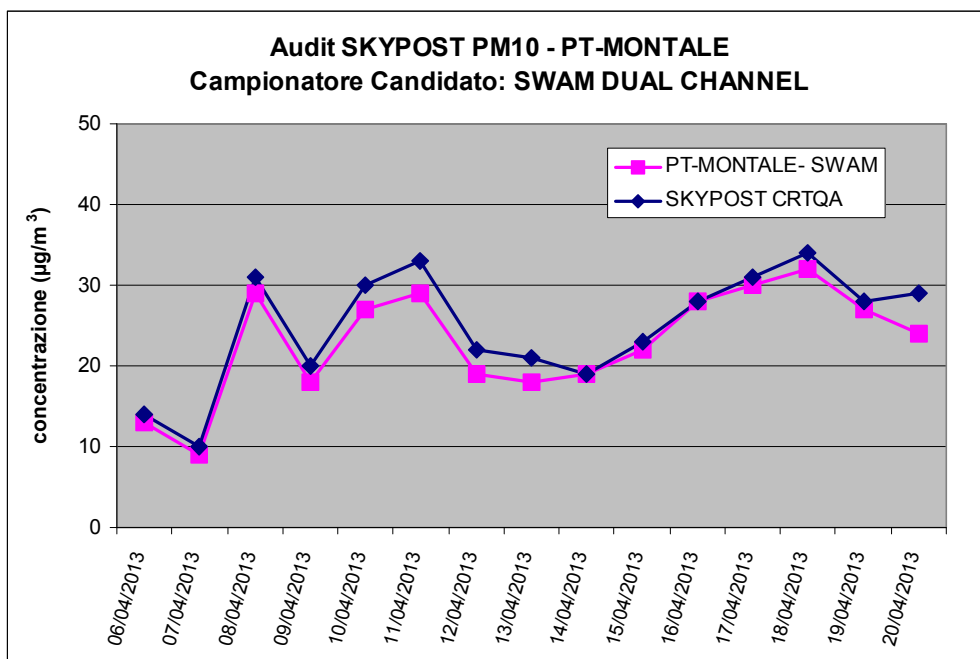
Eventuali misure di correzione prese

Nessuna misura di correzione necessaria.

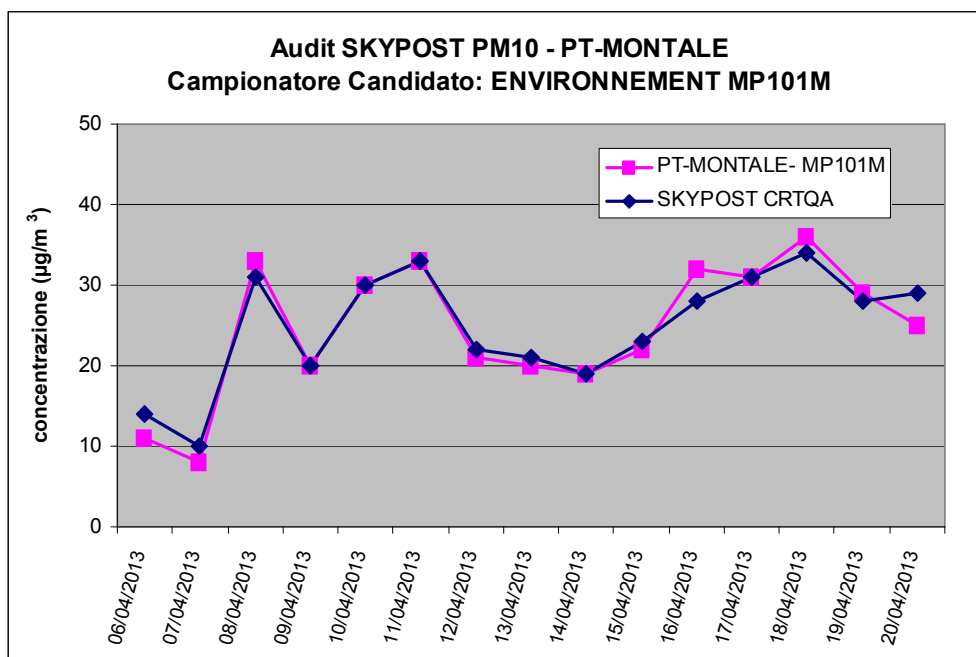
Anno 2013

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.

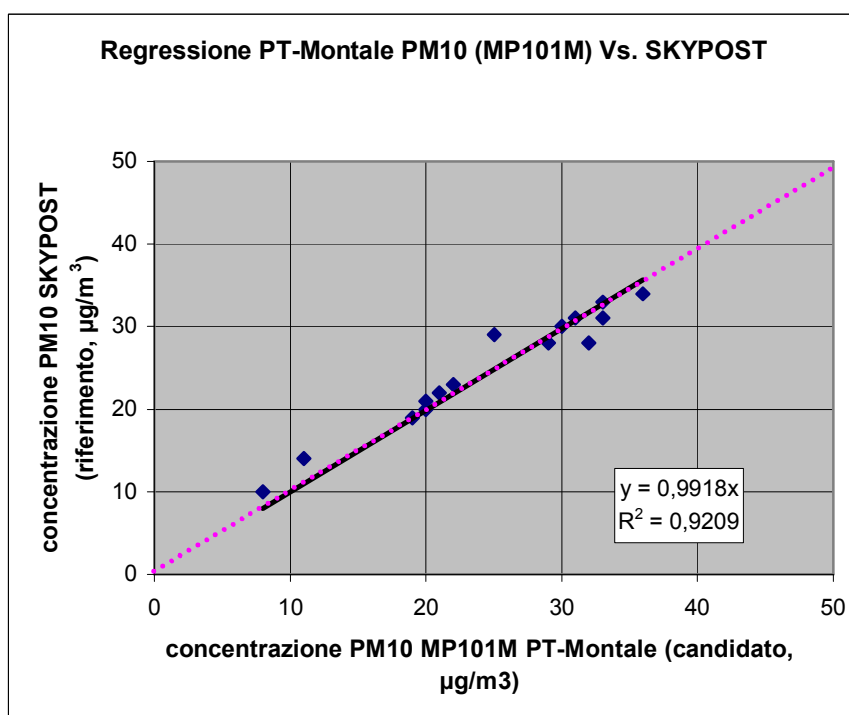
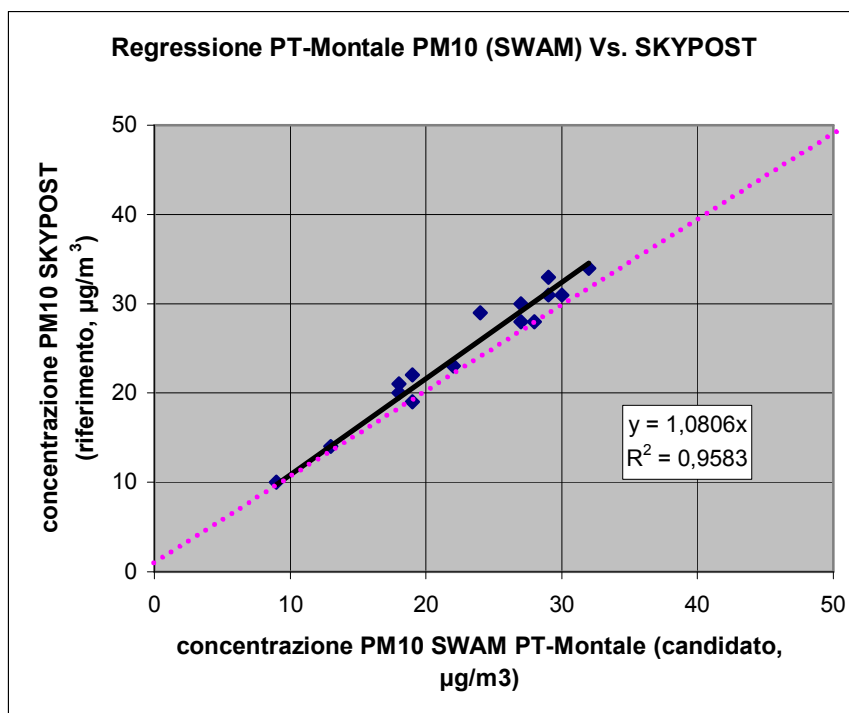


Data di Campionamento	Dati dall'analizzatore di stazione (SWAM) (µg/m ³)	Dati del campionatore SKYPOST (R) (µg/m ³)
06/04/2013	13	14
07/04/2013	9	10
08/04/2013	29	31
09/04/2013	18	20
10/04/2013	27	30
11/04/2013	29	33
12/04/2013	19	22
13/04/2013	18	21
14/04/2013	19	19
15/04/2013	22	23
16/04/2013	28	28
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) (µg/m³)	Dati del campionatore SKYPOST (R) (µg/m³)
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 analizzatori 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.

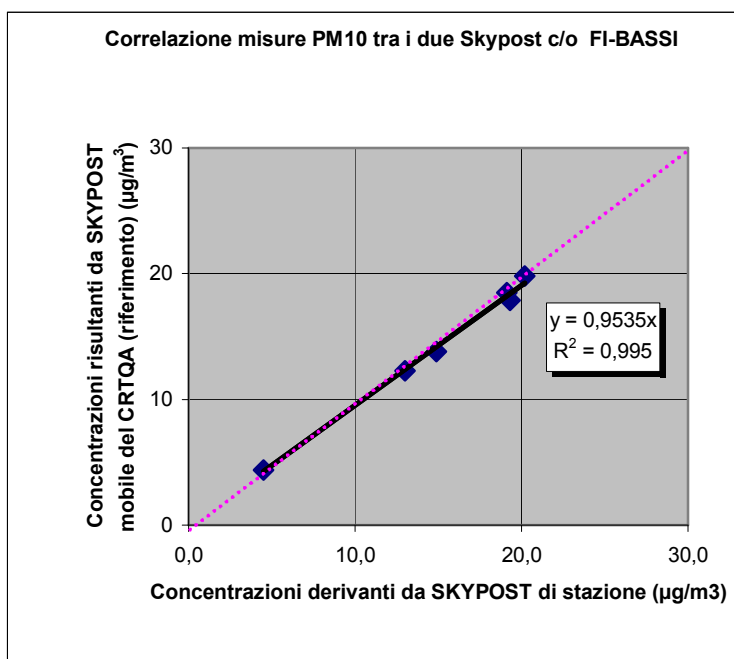
Allegato 4

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

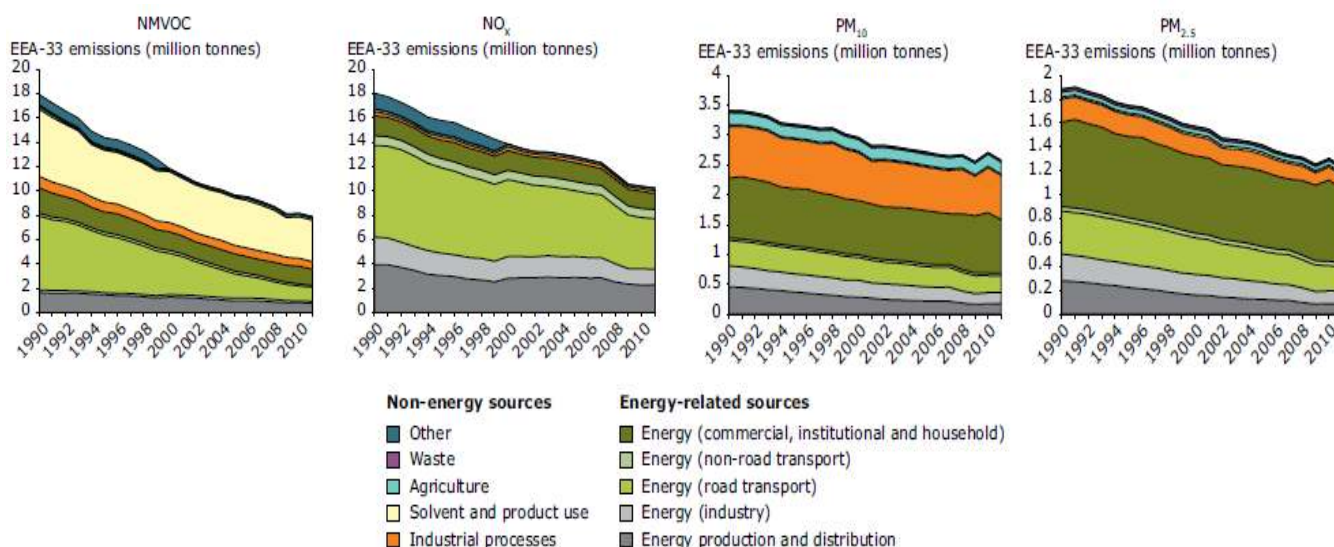
Introduzione

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)	<ol style="list-style-type: none"> 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) 	<ol style="list-style-type: none"> 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)	<ol style="list-style-type: none"> 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" 	<ol style="list-style-type: none"> 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	<p>- Associazione Italiana Energie Agroforestali (AIEL)</p> <p>- studio APAT – ARPA Lombardia, tab. 5.6.1</p>
4	Produzione di energia termica da combustione di biomassa legnosa per zone climatiche in Regione Toscana (GJ/anno)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Coefficiente termico per zona climatica 2. Comuni della Regione Toscana per zona climatica 	<ol style="list-style-type: none"> 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)	<ol style="list-style-type: none"> 1. fattori di emissione PM10 e PM2,5 2. fattori di emissione PM10 e PM2,5 	<ol style="list-style-type: none"> 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:

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

dove:

CT = coefficiente termico per ciascuna zona

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

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)
Agliaia	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

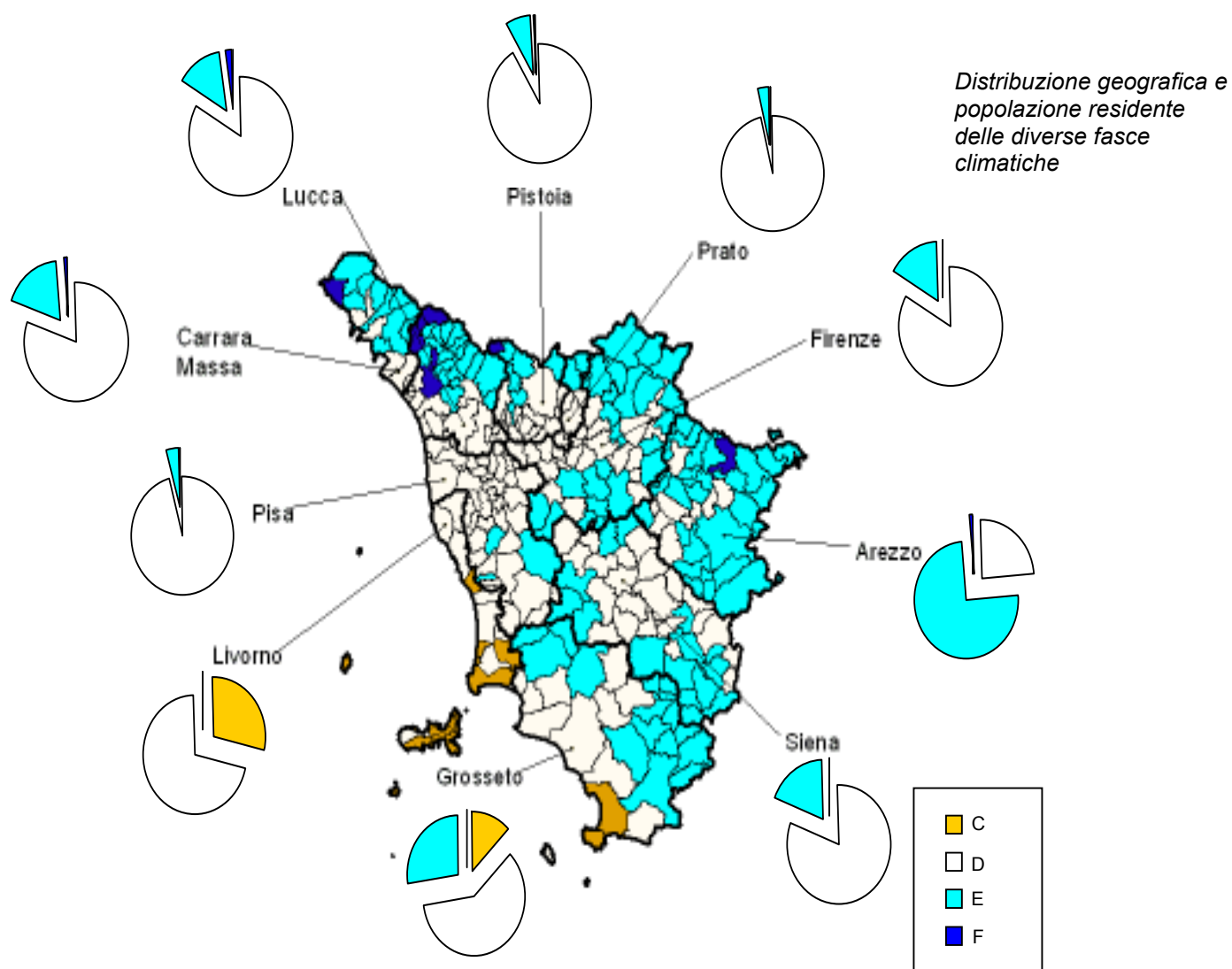
Tale scelta approssimativa è stata poi confermata attraverso un’analisi sia in termini di estensione territoriale che di popolazione esposta alle diverse zone climatiche comunali. La figura successiva mostra per ogni provincia l’estensione geografica delle diverse fasce climatiche. Sono evidenziati i 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.
[\[http://it.wikipedia.org/wiki/Gradi_giorno\]](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 <i>COMUNI</i>	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

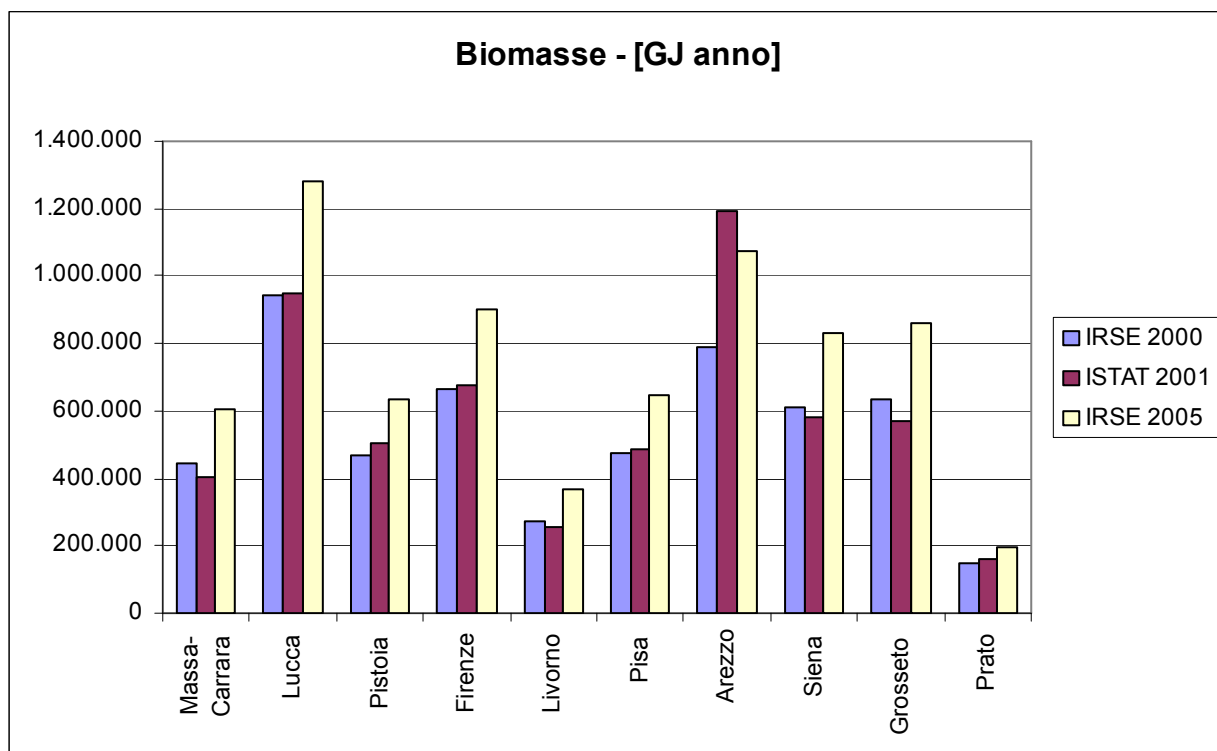
Sono state, quindi, utilizzate le seguenti aggregazioni di categorie sulla base del presupposto che il combustibile solido sia interamente assimilabile alla legna.

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.

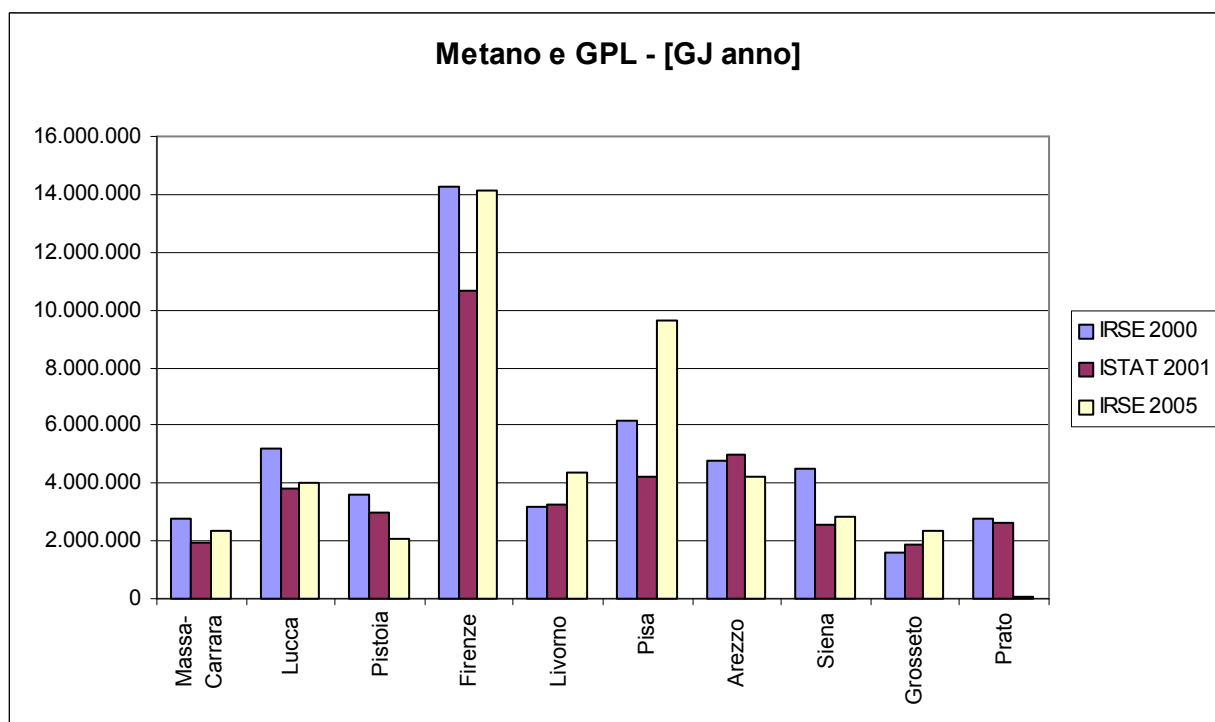
IRSE	Aggregazione	ISTAT
Combustibili vegetali	Biomasse	Combustibile solido
G. P. L.	Metano-GPL	Combustibile liquido o gassoso
Gas naturale		
Gasolio	Altro	Energia elettrica
Olio combustibile		Altro
		Olio combustibile

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	<ol style="list-style-type: none"> 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 utilizzati 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.NA.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.NA.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
INCIDENZA (%)	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 (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	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]
Agliana	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				
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
	92	17	12	74
PISTOIA - BOTTEGONE	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

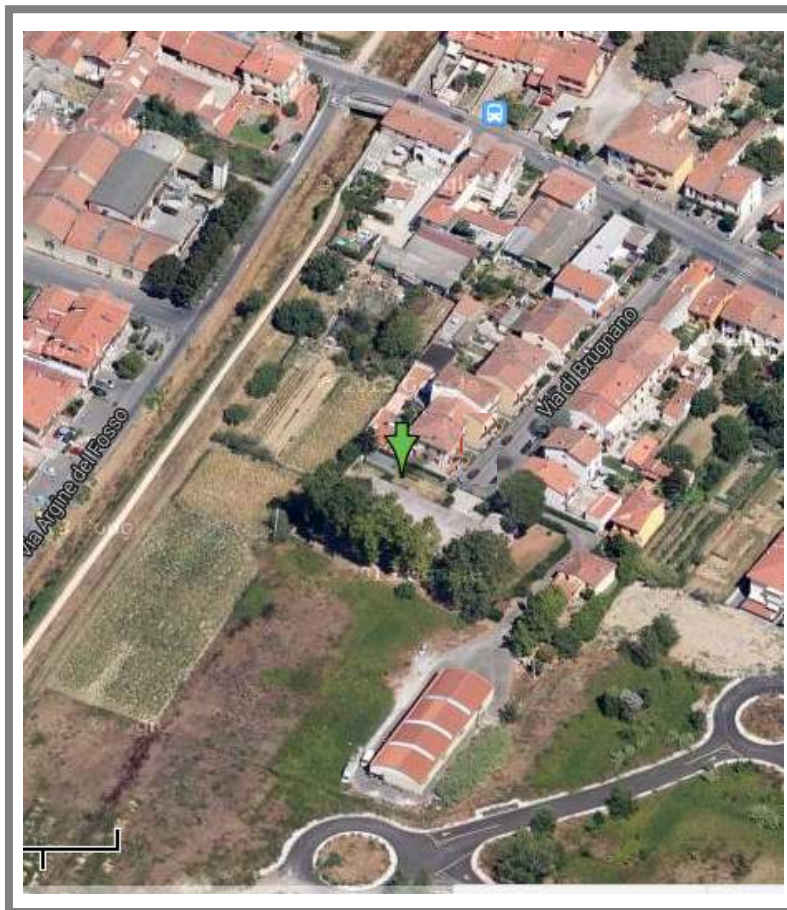


Figura 5. Immagini del sito di campionamento di Prato - Brugnano

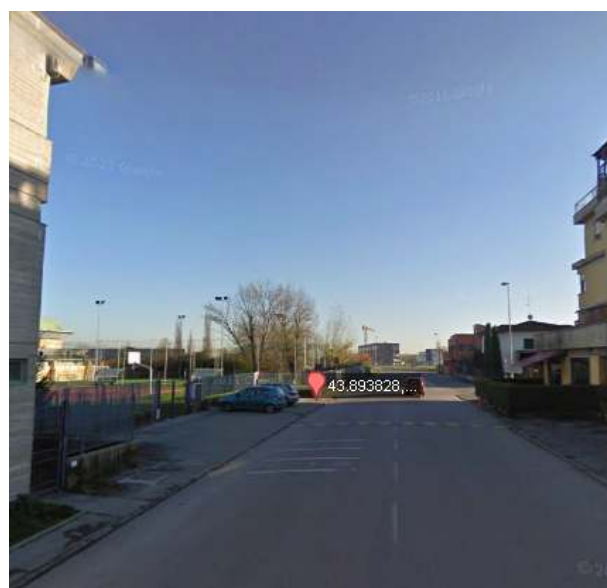


Figura 6. Immagini del sito di campionamento di Pistoia - Bottegone

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, PM2.5 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.

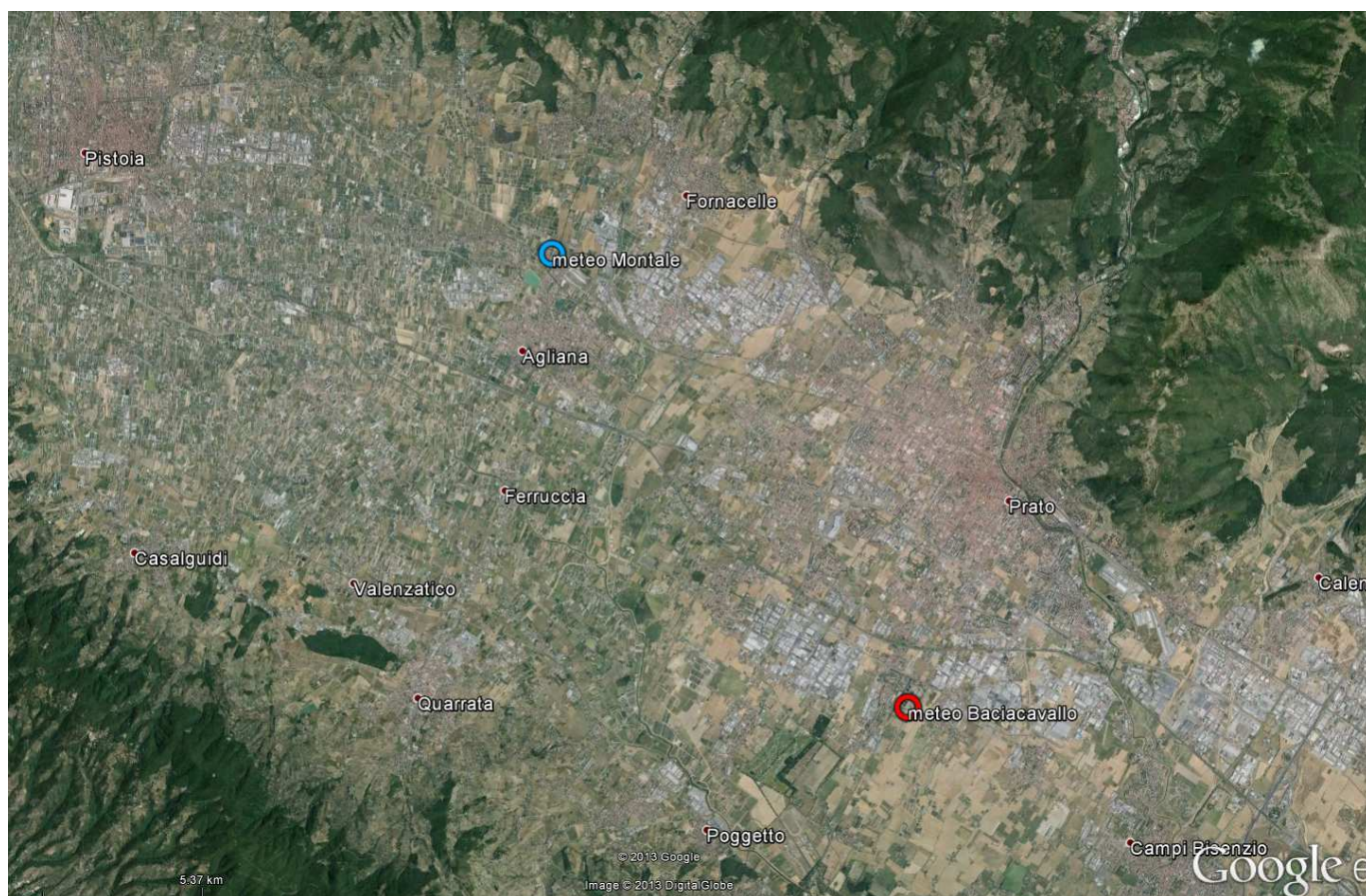


Figura C - Piana di Firenze-Prato-Pistoia, con indicazione della posizione della stazione “Montale” (cerchio azzurro) e della stazione “Baciacavallo” (cerchio rosso) [Google Earth ©].

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%.

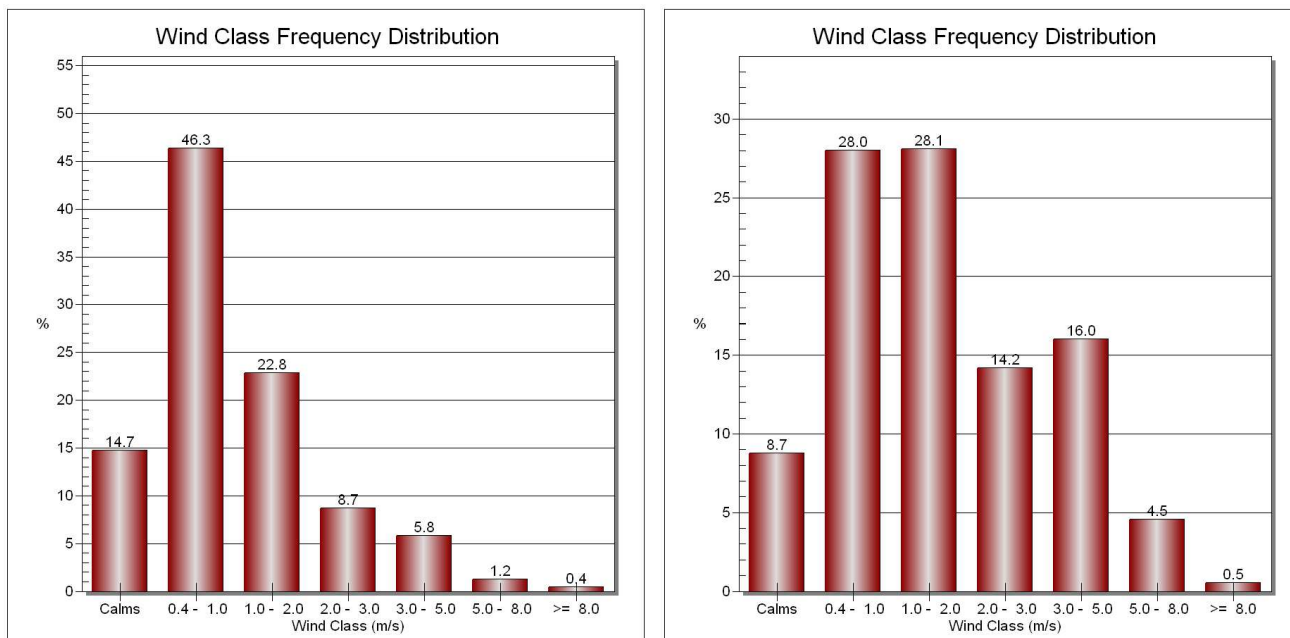


Figura D – Distribuzione in frequenza dell’intensità del vento: a sinistra dati rilevati presso “Montale”, a destra dati rilevati presso “Baciavalle” (1.1.2004-31.12.2008). I dati classificati come “calma” sono quelli con $v \leq 0.3$ m/s. Le percentuali sono calcolate escludendo le ore di “fuori servizio” del sensore.

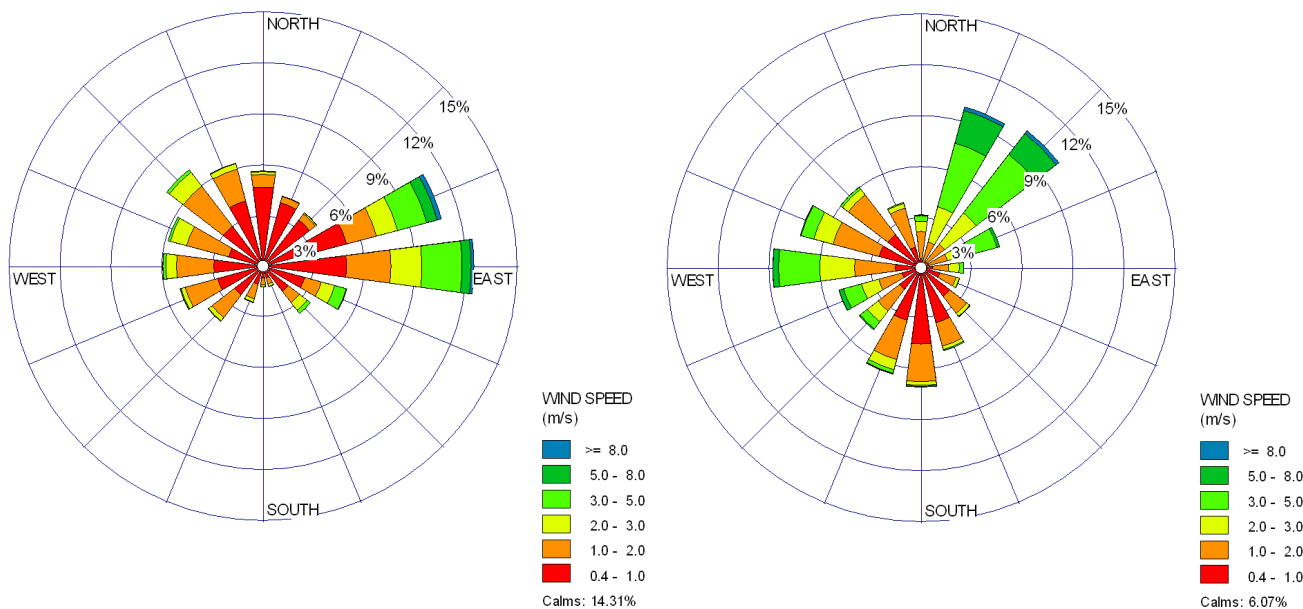


Figura E – Rosa dei venti: a sinistra dati rilevati presso “Montale”, a destra dati rilevati presso “Baciavalle” (1.1.2004-31.12.2008). I dati classificati come “calma” sono quelli con $v \leq 0.3$ m/s. Le percentuali sono calcolate includendo le ore di “fuori servizio” del sensore.

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.

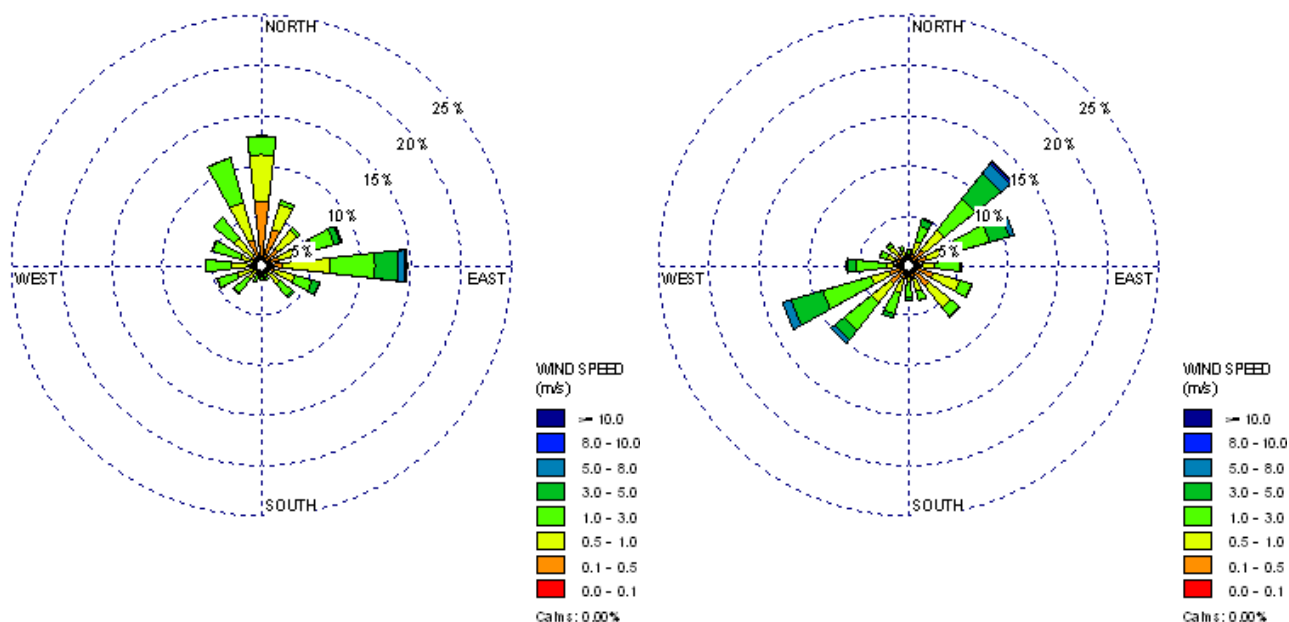


Figura F - Rosa dei venti presso “Montale” (2008): a sinistra dati rilevati, a destra dati stimati con CALMET.

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