

REGIONE TOSCANA



GIUNTA
REGIONALE

**PIANO REGIONALE
PER LA QUALITÀ DELL'ARIA AMBIENTE**

PRQA

MIGLIORIAMO L'ARIA CHE RESPIRIAMO

Allegato 1

Quadro conoscitivo



Il quadro conoscitivo è stato predisposto a cura di ARPAT. I contributi di Lamma e della Regione Toscana sono esplicitamente indicati all'inizio dei paragrafi.

Referenti di ARPAT:

Elisa Bini¹, Bianca Patrizia Andreini¹, Chiara Collaveri¹, Fiammetta Dini¹ Guglielmo Tanganelli¹,
Antongiulio Barbaro²

¹Settore Centro Regionale Tutela della Qualità dell'Aria (CRTQA)

²Settore Modelistica Previsionale (SMP)

INDICE

PREMESSA

1. LA ZONIZZAZIONE DEL TERRITORIO AI FINI DELLA VALUTAZIONE E GESTIONE DELLA QUALITÀ DELL'ARIA

2. LA RETE DI MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA

S1- Scheda di approfondimento: *il CRRQA*

3. LA RAPPRESENTATIVITÀ SPAZIALE DELLE STAZIONI DELLA RETE DI MONITORAGGIO DI QUALITÀ DELL'ARIA TOSCANA

3.1 La rappresentatività per il PM10

3.2 Le aree di superamento

4. LO STATO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA

4.1. Analisi dei livelli di concentrazione del particolato PM10/PM2,5

S2 – Scheda di approfondimento: Area di superamento Piana Lucchese

S3 - Scheda di approfondimento: Zona Prato-Pistoia ;

S4 - Scheda di approfondimento: Agglomerato di Firenze

S5 - Scheda di approfondimento: Il contributo delle polveri Sahariane

4.2 Analisi dei livelli di concentrazione del biossido di azoto (NO2)

4.3 Analisi dei livelli di concentrazione dell'ozono (O3)

4.4 Inquinanti che rispettano i valori limite

4.5 Le campagne di monitoraggio indicative

4.6 Le stazioni locali di monitoraggio

5. LE PRINCIPALI SORGENTI REGIONALI DI EMISSIONE

5.1 Emissioni macroinquinanti

5.2 Emissioni macroinquinanti per area di superamento (PM10)

5.3 Emissioni microinquinanti e benzene

5.4 Emissioni dei principali gas serra

S6 - Scheda di approfondimento: Lo sfruttamento della risorsa geotermica

S7 - Scheda di approfondimento: Il settore conciario

S8 - Scheda di approfondimento: Alcuni spunti sulle polveri da combustione - il black carbon

6 GLI SCENARI EMISSIVI DI RIFERIMENTO

7 INFLUENZA DELLE CONDIZIONI METEOROLOGICHE SULL'INQUINAMENTO ATMOSFERICO

\

8 L'ELABORAZIONE DEI RISULTATI DEI MODELLI AI FINI DELLA VALUTAZIONE DELLO STATO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA

8.1 La catena modellistica

8.2 La configurazione adottata

8.3 La meteorologia

8.4 Le emissioni e le condizioni al contorno

8.5 Le concentrazioni medie mensili

8.6 Le concentrazioni medie annuale

BIBLIOGRAFIA

PREMESSA

In Toscana, la **valutazione della qualità dell'aria** avviene tramite un sistema di monitoraggio basato sulla **Rete Regionale di Rilevamento**, individuata dalla Regione sulla base delle indicazioni comunitarie e statali e composta da 37 stazioni e 2 mezzi mobili che misurano i principali inquinanti, e dai risultati della **catena modellistica WRF-CAMx**. Ogni anno, i dati prodotti dalla rete regionale di rilevamento della qualità dell'aria gestita dall'Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale (ARPAT) e dall'applicazione della catena modellistica WRF-CAMx gestita dal Laboratorio di Monitoraggio e Modellistica Ambientale per lo sviluppo sostenibile (LaMMA), vengono pubblicati in uno specifico rapporto per la diffusione dell'informazione. Quotidianamente i dati misurati attraverso le stazioni della rete regionale di rilevamento della qualità dell'aria centraline sono messi a disposizione del pubblico, con bollettini giornalieri consultabili sul sito dell'Agenzia o tramite una apposita app. Ogni cittadino può quindi, in qualsiasi momento, con un semplice collegamento internet, avere **un'informazione chiara e precisa sulla qualità dell'aria che respira**.

Il **quadro conoscitivo in materia di qualità dell'aria** risulta costituito principalmente dai risultati derivanti dal quadro aggiornato al 2016 del monitoraggio della qualità dell'aria, contenuti nel relativo rapporto sulla qualità dell'aria, predisposto da ARPAT, dalle simulazioni per l'anno 2015 prodotte tramite il sistema modellistico WRF-CAMX predisposto da LaMMA, dalle stime delle emissioni in atmosfera ottenute mediante **l'Inventario delle sorgenti di emissione della Regione Toscana (IRSE)** aggiornato al 2010 e dai risultati di progetti speciali promossi dalla Regione in collaborazione con Università ed enti di Ricerca quali in particolare il **Progetto regionale PATOS (Particolato Atmosferico in TOScana)**. In particolare Il progetto PATOS, iniziato nel 2006, e promosso dalla Regione, in collaborazione con le Università di Firenze e Pisa, ARPAT, LaMMA, Istituto Superiore di Sanità, e Techne Consulting, ha lo scopo di approfondire la conoscenza sull'inquinamento da materiale particolato fine PM10 e PM2,5 che, data la sua natura cancerogena, rappresenta l'inquinante con il maggior impatto sulla salute umana. La natura di questo inquinante che ha sia una componente primaria, cioè direttamente emessa dalle varie sorgenti, sia secondaria, cioè che si forma in atmosfera attraverso complesse reazioni chimiche a partire da precursori, rende molto complesso risalire e quantificare le sorgenti dell'inquinamento rilevato in una zona. Il progetto ha messo a punto una metodica che, a partire da una sofisticata speciazione chimica dei singoli campioni rilevati nelle centraline, e applicando una metodica statistica ha potuto quantificare le componenti primarie e secondarie del particolato e determinarne le principali sorgenti e quindi permettere una mirata identificazione delle azioni e interventi più efficaci per il risanamento e miglioramento della qualità dell'aria.

Complessivamente i risultati del rilevamento dei livelli di concentrazione in atmosfera delle diverse sostanze inquinanti mostrano una criticità solo in alcune porzioni del territorio toscano, e solo per gli inquinanti materiale particolato fine PM10 limitatamente ai superamenti del valore limite giornaliero, al biossido di azoto NO2 limitatamente alla media annua e al superamento del valore obiettivo dell'ozono O3.

Data la quantità di dati e informazioni di quadro conoscitivo che si sono accumulate nel corso degli ultimi anni sulla qualità dell'aria, nel presente allegato sono riportate in modo esaustivo ma sintetico i principali risultati relativi allo stato della qualità dell'aria, alle emissioni, agli scenari emissivi e di qualità dell'aria al 2020. Viceversa molte informazioni di dettaglio di quadro conoscitivo, direttamente connesse ai singoli interventi di piano sono riportate come scheda di approfondimento connessa allo specifico intervento, nel documento Parte I Documento di piano. Per quanto attiene invece all'inquadramento su caratteristiche generali del territorio e meteorologia, si rimanda al documento Rapporto Ambientale.

Deve esser precisato che il quadro conoscitivo allegato al piano, contiene per ovvie ragioni un compendio dei dati sull'inquinamento atmosferico con degli approfondimenti solo alcuni aspetti, per esempio per le aree di maggiore criticità: Piana Lucchese, Zona Prato-Pistoia e Agglomerato di Firenze, cioè quelle aree dove ad oggi persistono valori di qualità dell'aria eccedenti il limiti previsti dalla normativa. Per il complesso dei dati disponibili utilizzati per la redazione del piano si può fare riferimento ai documenti pubblicati sulle pagine web della Regione sull'inquinamento atmosferico all'indirizzo <http://www.regione.toscana.it/-/inquinamento-atmosferico>.

In particolare preme evidenziare i documenti relativi al progetto PATOS per una esame sulla determinazione delle sorgenti di PM10 in molte aree della Toscana (Firenze, Prato, Arezzo, Livorno, ecc..) così come i documenti sull'inventario regionale delle sorgenti di emissione in aria ambiente IRSE per un dettaglio a livello di singolo Comune sulle emissioni associate alle 300 tipologie di sorgenti presenti nella banca dati.

1. LA ZONIZZAZIONE DEL TERRITORIO AI FINI DELLA VALUTAZIONE E GESTIONE DELLA QUALITÀ DELL'ARIA

L'analisi delle caratteristiche orografiche, paesaggistiche e climatiche e delle caratteristiche legate alle pressioni esercitate sul territorio come demografia, uso del suolo ed emissioni in atmosfera ha portato alla classificazione del territorio regionale in zone ed agglomerati.

La zonizzazione, adottata con delibera di Giunta regionale n. 964 del 12 ottobre 2015 [1] definisce le unità territoriali sulle quali viene eseguita la valutazione della qualità dell'aria ed alle quali si applicano le misure gestionali. La classificazione delle zone effettuata secondo i criteri stabiliti dal D.Lgs. 155/2010 per la zonizzazione del territorio relativa agli inquinanti indicati all'allegato V del Decreto è mostrata nella Figura 1 mentre in Figura 2 viene riportata la zonizzazione relativa all'ozono (All. VII e IX del D.lgs. 155/2010) ed è stata definita con la DGRT 1125/2010.

Figura 1. Zonizzazione inquinanti All V D.lgs 155/2010

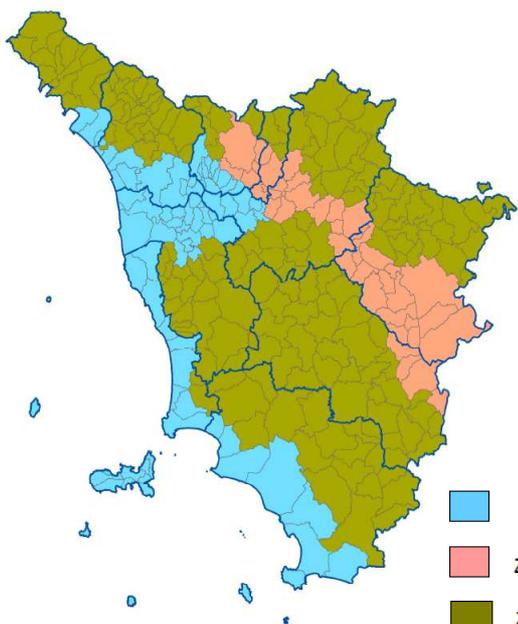
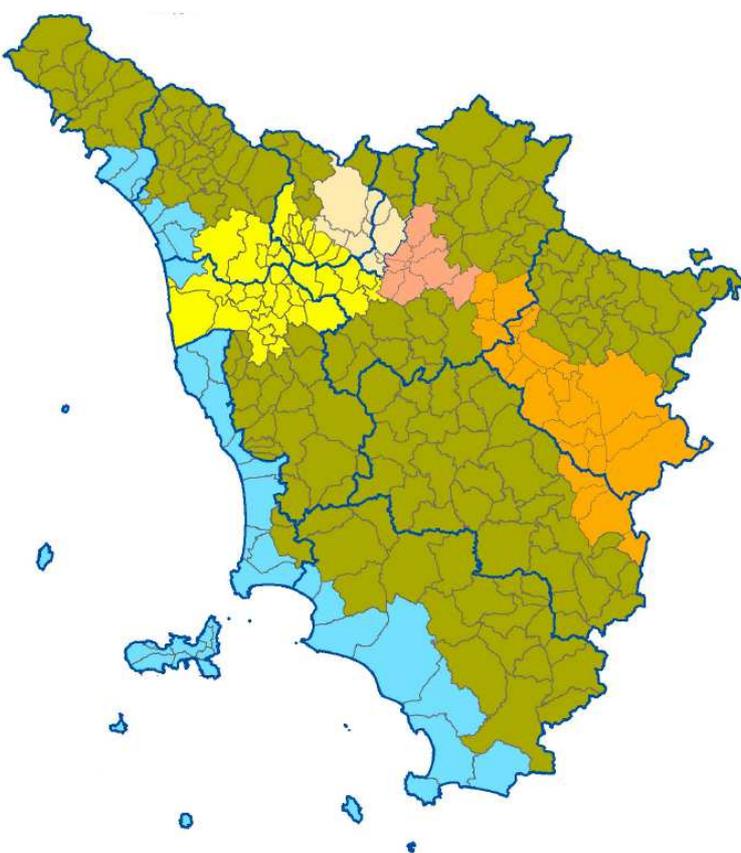


Figura 2. Zonizzazione ozono

2. LA RETE DI MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA

La struttura delle Rete Regionale definita dall'allegato III della DGRT 1025/2010 è stata modificata negli anni fino alla struttura attualmente attiva riportata all'allegato C della Delibera n.964 del 12 ottobre 2015. Si deve considerare che la rete è in continua evoluzione e numerosi interventi sono stati attuati anche in seguito all'emanazione della DGRT 964/15 attraverso attività di adeguamento alla normativa sulla sicurezza, sostituzione e rimozione di apparati e strumentazione obsoleti e rilocalizzazione di alcune stazioni. In particolare, nei primi mesi del 2016 sono state inoltre attivate le stazioni di GR-Sonnino (UT), nel comune di Grosseto e la stazione di FI-Figline (UF), nel comune di Figline ed Incisa Val d'Arno completando la rosa delle 37 stazioni previste nella nuova Rete Regionale, che in base alla L.R.9/2010 è gestita da ARPAT. Il sistema di gestione della rete della qualità dell'aria è certificato secondo la norma UNI EN ISO 9001 dal 2009.

La qualità dei dati rilevati viene assicurata anche garantendo il mantenimento degli standard di qualità richiesti dalla normativa relativi in particolare all'approvazione degli strumenti di campionamento e misura della qualità dell'aria (art. 17 del D.lgs 155/2010); a tale scopo, come previsto dalla L.R. 9/2010 art. 5 comma 4, la Regione si avvale del Centro regionale di Riferimento per il controllo e l'assicurazione di qualità dei dati (C.R.R.Q.A.) di ARPAT.

Si riportano di seguito le mappe di localizzazione delle stazioni di monitoraggio e le tabelle della delibera Delibera n.964 del 12 ottobre 2015, relative all'attuale configurazione della Rete Regionale.

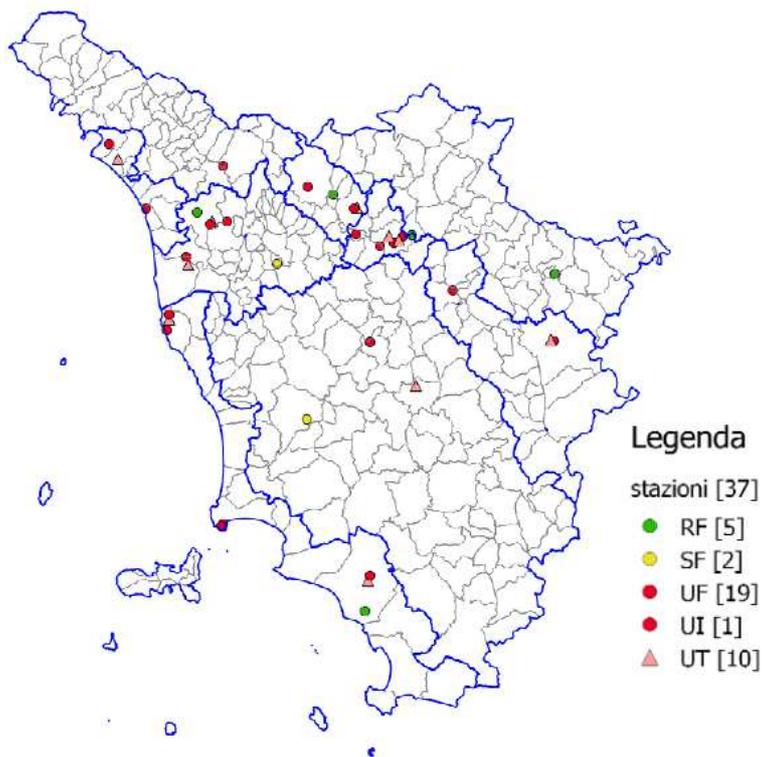


Figura 3. Rete regionale inquinanti all.V D.Lgs 155/2010

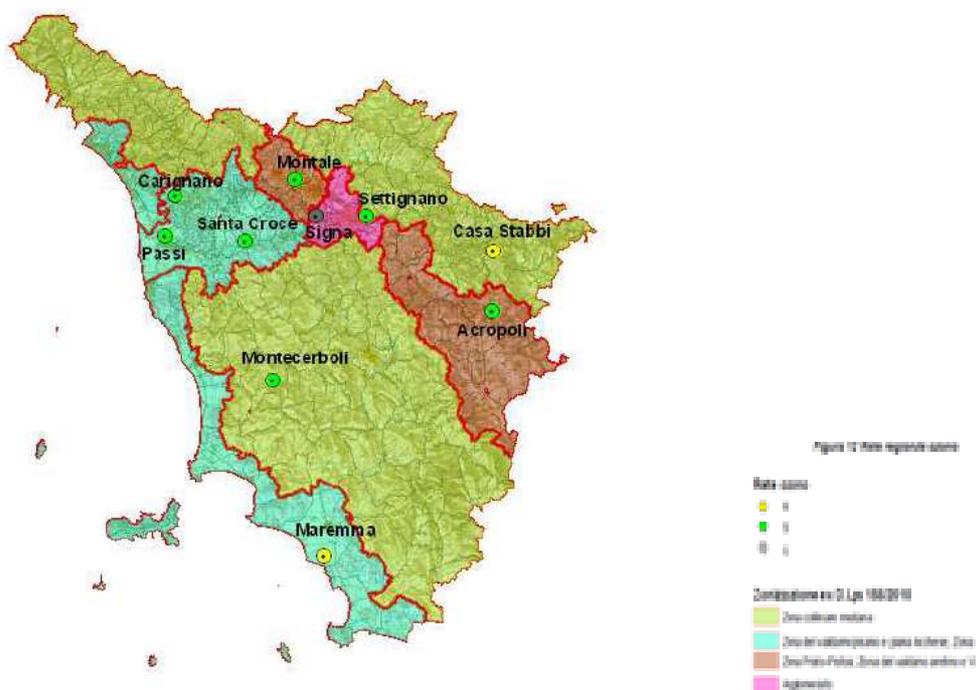


Figura 4. Rete regionale ozono

Rete regionale di rilevamento della qualità dell'aria

Zonizzazione	Class. Zona Stazione	Prov.	Comune	Codice EoI	Denominazione	PM ₁₀	PM _{2.5}	NO ₂	SO ₂	CO	Benz.	B(a)P	As	Ni	Cd	Pb	Zonizzazione per Ozono	Class. Ozono	O ₃	Altro		
IT0906 Agglomerato Firenze	SF	FI	Firenze	IT0883A	FI-SETTIMANO			X									IT0906 Agglomerato Firenze	S	X			
	UF	FI	Firenze	IT0948A	FI-BORBOLI	X																
	UF	FI	Firenze	IT0952A	FI-KASSI	X	X	X	X			X	X									
	UF	FI	Scandicci	IT1551A	FI-SCANDICCI	X		X														
	UF	FI	Signa	IT2153A	FI-SIGNA	X		X														
IT0907 Zona Prato Piola	UT	FI	Firenze	IT0851A	FI-GRAMSCI	X	X	X			X	X	X	X	X	X	IT0913 Zona pianure interne	S	X			
	UT	FI	Firenze	IT0960A	FI-MOSSE	X		X														
	UF	PO	Prato	IT1654A	PO-ROMA	X	X	X			X	X										
IT0910 Zona Valdarno aretino e Valdichiana	UT	PO	Prato	IT0945A	PO-FERRUCCI	X	X	X		X							IT0912 Zona pianure costiere	S	X			
	SF	PT	Montale	IT1553A	PT-MONTALE	X	X	X														
	UF	PT	Pistoia	IT1571A	PT-SEGNORIELLI	X		X														
IT0908 Zona costiera	UF	AR	Arezzo	IT0950A	AR-CROPOLI	X	X	X									IT0912 Zona pianure costiere	S	X			
	UF	FI	Figline e Incisa Valdarno		FI-FIGLINE	X		X														
	UT	AR	Arezzo	IT0832A	AR-REPUBBLICA	X		X		X												
	RF	GR	Grosseto	IT1942A	GR-SAREMBA														R	X		
	UF	GR	Grosseto	IT1939A	GR-URSS	X	X	X														
IT0909 Zona Valdarno pisano e Piana lucchese	UF	LI	Livorno	IT1557A	LI-CAPPIELLO	X	X	X									IT0912 Zona pianure costiere					
	UF	LI	Livorno	IT2183A	LI-LALPRA	X		X	X		X	X	X	X	X	X						
	UF	LI	Piombino	IT2154A	LI-POMBINOPARCO-VIII-MARZO	X		X			X	X	X	X	X	X						
	SI	LI	Piombino	IT0853A	LI-COTONE	X		X			X	X	X									
	UT	LI	Livorno	IT1560A	LI-CARDUCCI	X	X	X			X	X	X									
	UF	MS	Carrara	IT1819A	MS-COLMABAROTTO	X		X														
	UT	MS	Massa		MS-MARINA-VECCHIA	X	X	X														
IT0909 Zona Valdarno pisano e Piana lucchese	UT	GR	Grosseto	IT1932A	GR-SORINNO	X		X									IT0912 Zona pianure costiere	S	X			
	UF	LU	Viareggio	IT1186A	LU-VIAREGGIO	X	X	X														
	RF	LU	Lucca	IT1844A	LU-CARIGNANO			X				X	X									
IT0909 Zona Valdarno pisano e Piana lucchese	UF	LU	Lucca	IT1187A	LU-SAN-CONCORDIO	X	X	X			X	X					IT0912 Zona pianure costiere					
	UF	LU	Capannori	IT1187A	LU-CAPANNORI	X	X	X	X													
	SF	PI	S.Croce sull'Arno	IT1871A	PI-SANTA-CROCE-COOP	X		X											S	X	H ₂ S	
	UF	PI	Pisa	IT1116A	PI-PASSI	X	X	X												S	X	
	UT	PI	Lucca	IT1891A	LU-MICHELETTO	X		X														
IT0911 Zona Collinare Montana	UF	PI	Pisa	IT1409A	PI-BORGHETTO	X	X	X		X							IT0911 Zona Collinare Montana					
	RF	AR	Chitignano	IT1681A	AR-CASA-SABBII	X		X										R	X			
	UT	SI	Siena	IT2184A	SI-BRACCI	X		X		X									S	X	H ₂ S	
	SF	PI	Pomarance	IT1149A	PI-MONTEFIBOLI	X		X						X								
LEGENDA	Tipo zona: R = Rurale, S = suburbana, U = urbana																					
	Tipo stazione: F = Fomdo, T = traffico, I = Industriale																					
						MEZZO MOBILE-RR1 1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X					
						MEZZO MOBILE-RR1 2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X					

Figura 5. Rete regionale delle stazioni di misura degli inquinanti (All. C Delibera n.964/2015)

S1 - Scheda di approfondimento: Il CRRQA

Il laboratorio metrologico Centro regionale di riferimento della qualità dell'aria (CRRQA) di ARPAT, inserito all'interno del Centro regionale per la tutela della qualità dell'aria (CRTQA) attivo dal 2005, era stato creato con finanziamento della Regione Toscana, con lo scopo di assicurare un maggiore controllo ed una maggiore assicurazione della qualità dei dati delle reti di monitoraggio della qualità dell'aria in conformità ai requisiti previsti dal D.Lgs.155/10 e s.m.i., delle norme tecniche di riferimento e della Linea Guida ISPRA 108/2014, e per garantire la riferibilità internazionale degli strumenti di misura.

Il CRRQA ha a disposizione attrezzature certificate per la taratura della strumentazione presente nella rete e ha competenze tecniche per il supporto e la verifica di correttezza delle procedure adottate.

Le principali finalità del CRRQA sono:

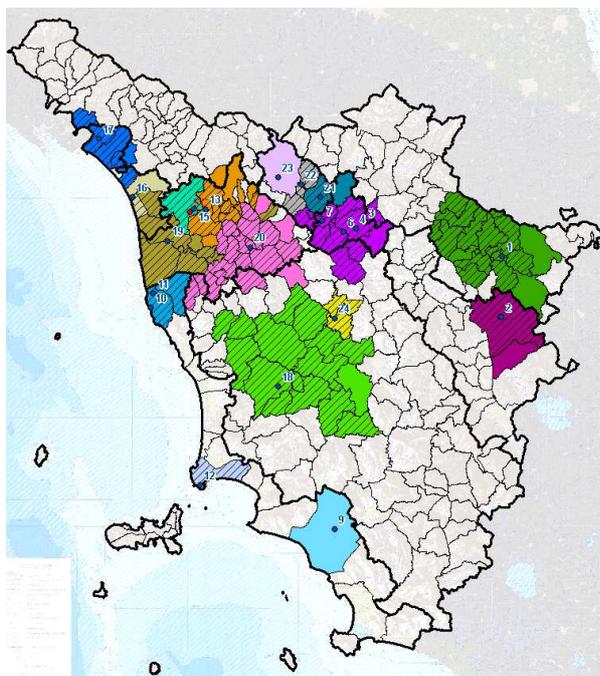
- taratura della strumentazione per il monitoraggio dei gas (in particolare ozono, ossidi di azoto, ossidi di zolfo, ossido di carbonio, benzene) tramite l'utilizzo di campioni e materiali di riferimento certificati da un centro di taratura ACCREDIA-LAT o da centri riconosciuti nell'ambito del mutuo riconoscimento
- verifiche di taratura degli analizzatori di particolato con l'utilizzo di campionatori verificati tramite la partecipazione ai circuiti interlaboratorio nazionali
- omogeneizzazione e standardizzazione di procedure di gestione conformi alle norme di qualità ISO 9001 e UNI EN ISO/IEC 17025 e relativa redazione di documenti di sistema
- predisposizione di programmi regionali di assicurazione di qualità metrologica, espressa in termini di precisione e accuratezza
- partecipazione ai programmi di intercalibrazione di cui all'articolo 17 del Dlgs n. 155/2010, che il laboratorio nazionale di riferimento organizza
- redazione di report per la comunicazione dell'informazione sulla qualità dei dati della rete [2]

3. LA RAPPRESENTATIVITÀ SPAZIALE DELLE STAZIONI DELLA RETE DI MONITORAGGIO DI QUALITÀ DELL'ARIA TOSCANA

La rappresentatività spaziale delle stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria è comunemente definita in letteratura sulla base della variazione temporale dei livelli di concentrazione nell'intorno del sito in esame. La rappresentatività spaziale può variare notevolmente al variare dell'inquinante, in quanto le concentrazioni dipendono da numerosi fattori, quali le emissioni, il trasporto, la dispersione e le trasformazioni chimiche. Relativamente alle stazioni di fondo e periferiche la regione Toscana ha costituito un tavolo tecnico con ARPAT e LAMMA su "Rappresentatività spaziale delle stazioni della rete di monitoraggio di qualità dell'aria toscana" [3] per gli inquinanti PM10, NO2 e O3¹. Nello studio predisposto da tale tavolo e adottato dalla Regione per la predisposizione della DGRT 1182/2015 sono state effettuate specifiche elaborazioni per la messa a punto della metodica basate su fattori oggettivi (metodica 1 proposta da ENEA, <http://hdl.handle.net/10840/4475>) e specifiche elaborazioni basate sull'analisi dei campi di concentrazione simulati da modello (metodica 3 proposta da ENEA, <http://hdl.handle.net/10840/4477>). Di seguito si focalizza l'attenzione sul Particolato PM 10.

3.1 La rappresentatività per il PM10

Le associazioni tra le differenti stazioni di rilevamento e le aree amministrative (Comuni) come sviluppate con i metodi applicati sono sintetizzate nella figura seguente che associa ad ogni stazione i Comuni valutati secondo due valori della soglia di rilevanza (15% e 5%) affinché un dato territorio possa considerarsi rappresentato da una certa stazione [3].



Mapa di associazione stazione – area amministrativa (stazioni di fondo)

Il colore pieno è relativo alla soglia del 5% e quello con campitura relativo alla soglia del 15%

1 Per le stazioni di traffico l'estensione della rappresentatività non può essere realizzata con modelli di questa tipologia.

Dallo studio è emerso come l'applicazione di metodi matematici non possa fornire un risultato utilizzabile direttamente a livello decisionale, ma come le aree definite in modo oggettivo debbano essere sottoposte a considerazioni di tipo strategico e di opportunità per la successiva definizione di azioni. I risultati complessivi ottenuti con le tecniche di rappresentatività spaziale sono stati, quindi, valutati opportunamente considerando anche quando dall'associazione stazione-area amministrativa possano derivare obblighi ed oneri a livello amministrativo, come nel caso delle aree definite a rischio di superamento degli standard di qualità dell'aria. Per favorire il necessario processo decisionale, nel documento predisposto da ARPAT e Consorzio Lamma [3] è stata predisposta una tabella sulla base delle zone.

3.2 Le aree di superamento

La DGRT 1182/2015 individua in Allegato 1 le aree di superamento (art. 2, comma 1, lettera g del D.Lgs. 155/2010) definendole quali "porzioni del territorio regionale toscano comprendenti parte del territorio di uno o più comuni anche non contigui, rappresentate da una stazione di misura della qualità dell'aria che ha registrato nell'ultimo quinquennio almeno un superamento del valore limite o del valore obiettivo di un inquinante".

Per l'identificazione delle aree di superamento si è fatto ricorso a diverse tipologie di informazioni: valutazione della rappresentatività spaziale delle stazioni della rete regionale di monitoraggio della qualità dell'aria, risultati dell'applicazione modellistica per la media annua di PM10 predisposto dal Consorzio LaMMA nell'ambito del progetto MOSIT², dati di qualità dell'aria di stazioni fisse (rete regionale e provinciale) e di campagne di misura, indagini condotte da ARPAT ad hoc per il caso particolare di Montale relativamente al PM10³, campagne di misura e studi specifici in aree vallive difficilmente "modellabili" (Valdarno aretino, Valdichiana, media valle del Serchio), stime di emissione a livello comunale derivanti dall'Inventario Regionale sulle sorgenti di Emissione in aria ambiente aggiornato al 2010, ultimo anno disponibile.

I comuni ricadenti all'interno di tali aree hanno l'obbligo di predisporre i Piani di Azione Comunale (PAC) individuando interventi ed azioni di tipo strutturale che con tingibile ed urgente. Tali Comuni sono stati individuati con delibera di Giunta regionale n. 814 del 2016, allegato D, riportato nella tabella seguente.

2 http://servizi2.regione.toscana.it/aria/img/getfile_img1.php?id=23577

3 http://servizi2.regione.toscana.it/aria/img/getfile_img1.php?id=23934

Area di superamento	Comune	Sostanze inquinanti	
		PM10	NO ₂
Città di Arezzo	Arezzo		X
Città di Grosseto	Grosseto		X
Città di Livorno	Livorno		X
Città di Pisa	Pisa	X	X
Comprensorio del cuoio di Santa Croce sull'Arno	Bientina	X	
	Casciana Terme Lari	X	
	Cascina	X	
	Castelfiorentino	X	
	Castelfranco di Sotto	X	
	Crespina	X	
	Empoli	X	X
	Fauglia	X	
	Fucecchio	X	
	Montopoli in Val d'Arno	X	
	Ponsacco	X	
	Pontedera	X	
	S. Croce sull'Arno	X	
	S. Maria a Monte	X	
S. Miniato	X		
Vinci	X		
Media valle del Serchio	Bagni di Lucca	X	
	Borgo a Mozzano	X	
Agglomerato di Firenze	Bagno a Ripoli	X	X
	Calenzano	X	X
	Campi Bisenzio	X	X
	Firenze	X	X
	Lastra a Signa	X	X
	Scandicci	X	X
	Sesto Fiorentino	X	X
	Signa	X	X
Piana lucchese	Altopascio	X	
	Buggiano	X	
	Capannori	X	
	Chiesina Uzzanese	X	
	Massa e Cozzile	X	
	Monsummano Terme	X	
	Montecarlo	X	
	Montecatini-Terme	X	
	Pescia	X	
	Lucca	X	
	Pieve a Nievole	X	
	Ponte Buggianese	X	
	Porcari	X	
Uzzano	X		
Piana Prato-Pistoia	Agliana	X	
	Carmignano	X	
	Montale	X	
	Montemurlo	X	X
	Pistoia	X	
	Poggio a Caiano	X	
	Prato	X	X
Quarrata	X		
Serravalle Pistoiese	X		
Valdarno superiore	Figline e Incisa Valdarno	X	
	Montevarchi	X	
	Reggello	X	
	San Giovanni Valdarno	X	
Versilia	Terranuova Bracciolini	X	
	Camaione	X	
Massa Carrara	Viareggio	X	
	Carrara	X	
Area industriale e urbana città di Piombino	Massa	X	
	Piombino	X	X

Elenco dei comuni soggetti all'elaborazione ed approvazione dei Piani di azione comunale (PAC)

4. LO STATO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA

Il panorama dello stato della qualità dell'aria ambiente della Regione Toscana emerso dall'analisi dei dati forniti dalle rete regionale di monitoraggio, delle stazioni di monitoraggio di interesse locale mantenute attive dagli enti locali in seguito all'emanazione della LR 9/2010⁴ e dei risultati delle campagne indicative effettuate sul territorio regionale dal 2011 al 2016 evidenzia una sostanziale conformità ai valori limite e ai valori obiettivo del D.Lgs.155/10.

Le criticità emerse relativamente al rispetto dei limiti o dei valori obiettivo sono relative ai seguenti tre inquinanti: Particolato PM10, Biossido di Azoto e Ozono [2].

Il numero di stazioni di rete regionale presso cui sono stati registrati livelli di concentrazione di **PM10** tali da non rispettare il valore limite di 35 superamenti della media giornaliera di 50 µg/m³ è diminuito drasticamente nel corso degli anni, passando da circa due terzi delle stazioni di rete regionale con monitoraggio del PM10 attivo nell'anno 2007 a meno di un decimo delle stazioni con monitoraggio del PM10 attivo nell'anno 2016; il valore limite sul valore medio annuale di 40 µg/m³ viene, invece, rispettato in tutte le stazioni sin dal 2010. Non sono stati registrati superamenti del limite annuo di 40 µg/m³ presso nessuna delle stazioni di interesse locale, mentre nel corso delle campagne indicative effettuate a partire dall'anno 2011 sono stati osservati superamenti del 90.4° percentile⁵ in alcune delle campagne indicative svolte sul territorio regionale nelle aree di superamento. La valutazione approfondita del trend dal 2003 al 2016 dei livelli di concentrazione in atmosfera di PM10 giornaliero indica un trend decrescente statisticamente significativo per tutte le tipologie di stazioni e per tutte le zone, tranne alcune eccezioni per le quali non è possibile individuare un trend statisticamente significativo.

Per quanto riguarda il biossido di azoto (**NO₂**) nel corso degli ultimi anni viene confermata la criticità del fattore traffico sui valori medi di tale inquinante sebbene si possa osservare, anche presso le stazioni di tipo traffico, un decremento dei livelli medi annui di concentrazione.

Il limite di 18 superamenti della media oraria di 200 µg/m³ viene rispettato in tutte le stazioni di rete regionale. Per il biossido di azoto è stato individuato negli anni 2003-2016 un trend di tipo decrescente statisticamente significativo per quasi tutte le stazioni della rete regionale di monitoraggio; solo in alcuni casi non è possibile individuare un trend statisticamente significativo.

Per quanto riguarda l'**Ozono** si osserva la persistenza della criticità nel rispetto del valore obiettivo per la protezione della popolazione, sebbene i superamenti della soglia di informazione di 180

4 In base all'art 2 della LR 9/2010 la valutazione della qualità dell'aria è di competenza regionale

5 In base a quanto riportato all'Al I del Digs 155/2010, se le misurazioni discontinue sono utilizzate per valutare il rispetto del valore limite del PM10 occorre valutare il 90,4 percentile (che deve essere inferiore o uguale a 50 µg/m³) anziché il numero di superamenti

$\mu\text{g}/\text{m}^3$ siano stati sporadici nel corso degli anni e non sia stato rilevato nessun superamento della soglia di allarme di $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Per l'ozono non è, in generale, possibile individuare un trend statisticamente significativo per la maggior parte delle stazioni; fanno eccezione due soli siti per i quali si individua un trend crescente.

4.1. Analisi dei livelli di concentrazione del particolato PM10 e PM2,5



Il superamento dei valori limite e gli andamenti

Il Valore limite annuale per il PM10 fissato dal Dlgs 155/2010 e dalla Direttiva 2008/50/CE non viene superato a partire dall'anno 2010 (Figura 6) in nessuna stazione; nel 2007 si sono registrati due superamenti di cui uno in una stazione di tipo fondo e uno in una stazione di traffico mentre negli anni 2008-2009 si sono registrati superamenti solo in stazioni di tipo traffico. L'analisi dell'andamento pluriennale evidenzia una progressiva diminuzione dei livelli medi di concentrazione su tutto il territorio regionale. La mediana dei valori annuali medi registrati presso le stazioni di tipo fondo è generalmente inferiore a quella registrati presso le stazioni di tipo traffico, con un'ampia distribuzione dei valori medi sul territorio. L'andamento decrescente delle medie annuali viene confermato da un'analisi più approfondita condotta con approccio statistico (Figura 10). Lo stesso andamento dei livelli medi di concentrazione si può osservare per tutte le zone individuate nella zonizzazione regionale, compreso l'agglomerato (Figura 9). L'incremento della media dei valori medi annui osservabile per la zona Collinare-Montana è dovuto all'introduzione in rete di due nuove stazioni di tipo urbana fondo nel corso dell'anno 2010 (SI-Poggibonsi e LU-Fornoli) che registrano valori mediamente superiori rispetto alle due stazioni già presenti nella zona (PI-Montecerboli, di tipo Suburbana fondo e AR-Casa Stabbi, di tipo rurale fondo); per tutte e quattro le stazioni della zona si registra, comunque, una diminuzione del livello medio di

concentrazione. L'andamento decrescente dei livelli di concentrazione di PM10 si può osservare, seppur in maniera meno definita, anche per i livelli di PM2,5; la media annua delle concentrazioni di PM2,5 è sempre inferiore al limite di 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Figura 8) e analogamente al PM10, la mediana delle concentrazioni medie annuali delle stazioni di fondo è inferiore a quella di tipo traffico.

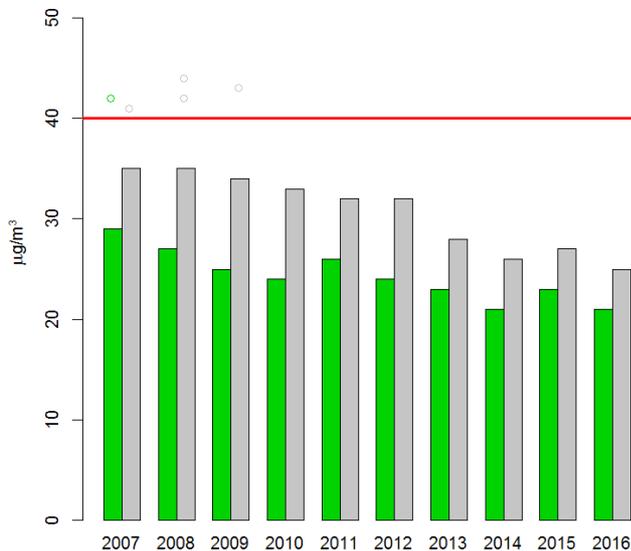


Figura 5. Andamento medie annuali PM10

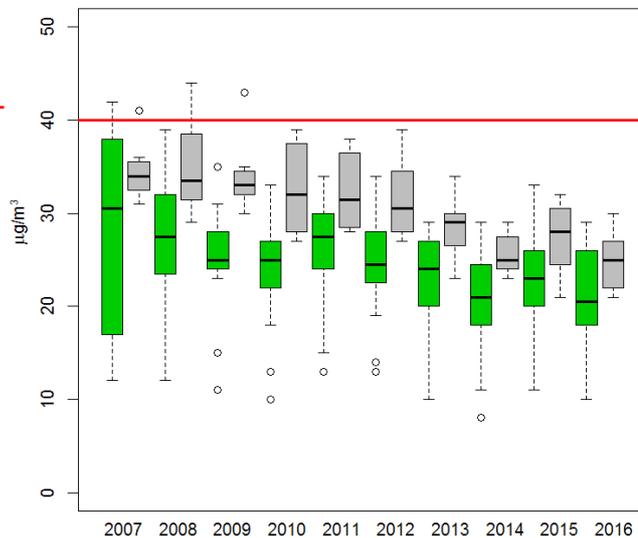


Figura 6. Distribuzione dei valori medi annuali

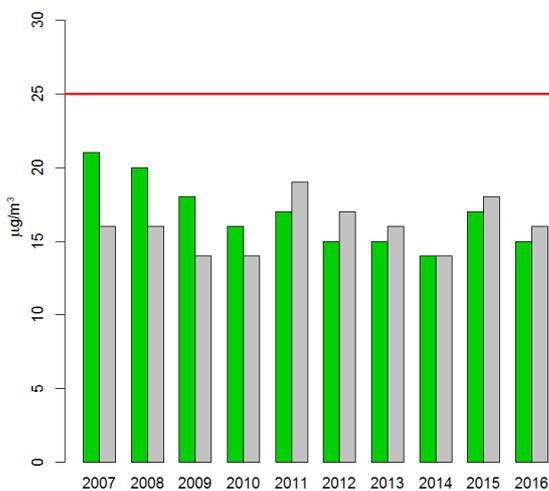


Figura 7. Andamento della media annuale regionale PM 2,5

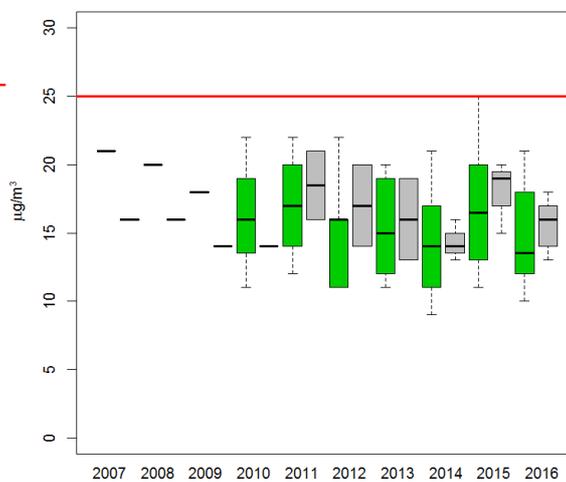


Figura 8. Distribuzione dei valori medi annuali

■ Stazioni di tipo fondo ■ Stazioni di tipo traffico

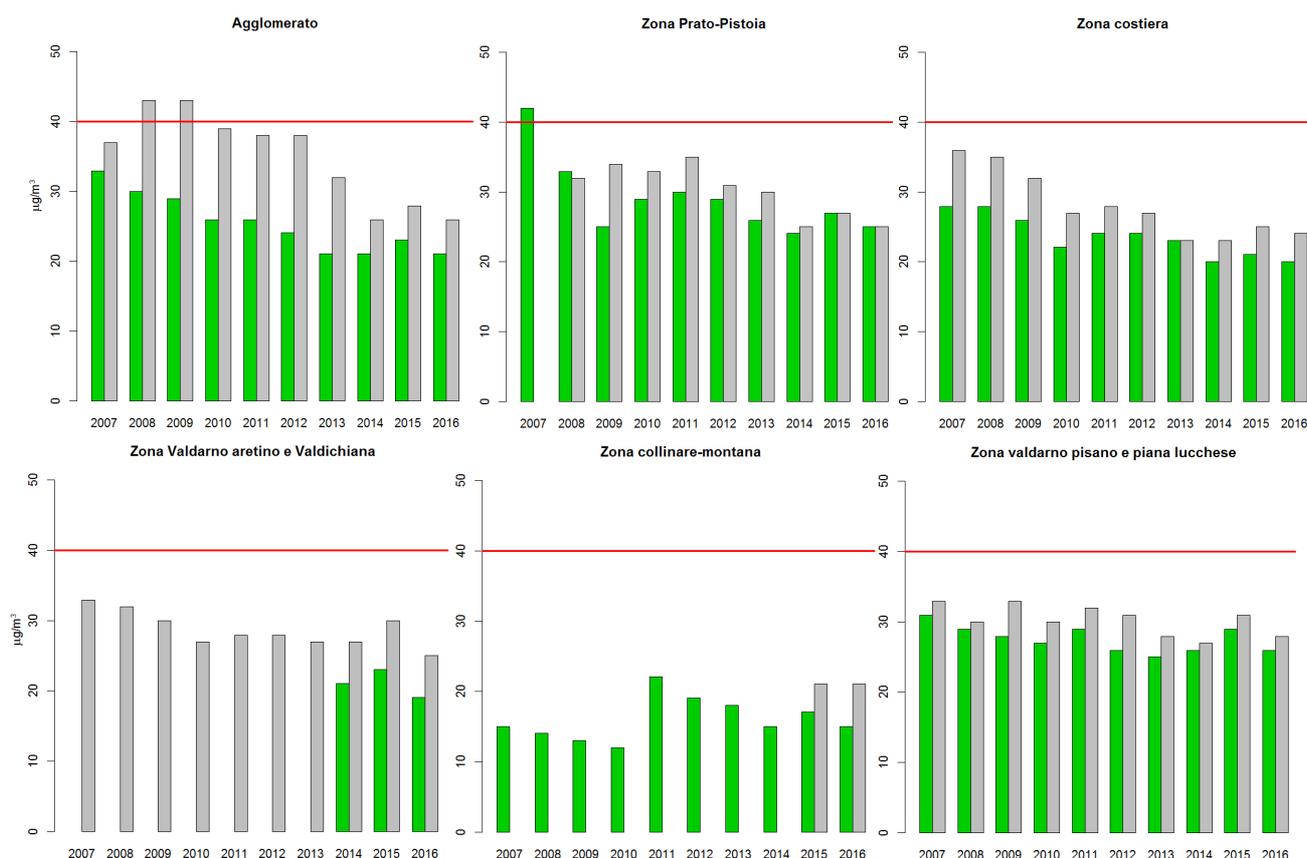


Figura 9. Andamento della media annuale di PM10 per zone e agglomerato

L'analisi statistica⁶ dei dati del periodo 2003 – 2016 mostra per la maggior parte delle stazioni un trend in diminuzione. Per il 90% delle stazioni analizzate la diminuzione è statisticamente significativa (in blu nel grafico). Solo per due stazioni non è possibile individuare un trend statisticamente significativo (PI-S.C.Coop e AR-Casa Stabbi). Il valore mediano dei trend decrescenti statisticamente significativi è di $-0.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ all'anno⁷ ($-0.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e massimo $-2.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$) con variazioni anche rilevanti tra le varie zone. (Figura 10).

⁶ La verifica dell'esistenza di una tendenza all'aumento o alla diminuzione nei livelli di concentrazione e la sua significatività statistica è stata effettuata utilizzando il test di Theil-Sen [5, 6] sulle serie annuali che hanno raggiunto almeno l'85% di efficienza.

⁷ Viene riportata la mediana dei valori di slope per completezza di informazione ma tale valore non può essere considerato rappresentativo del trend regionale dell'inquinante; l'individuazione di un trend regionale richiederebbe, infatti, ulteriori approfondimenti.

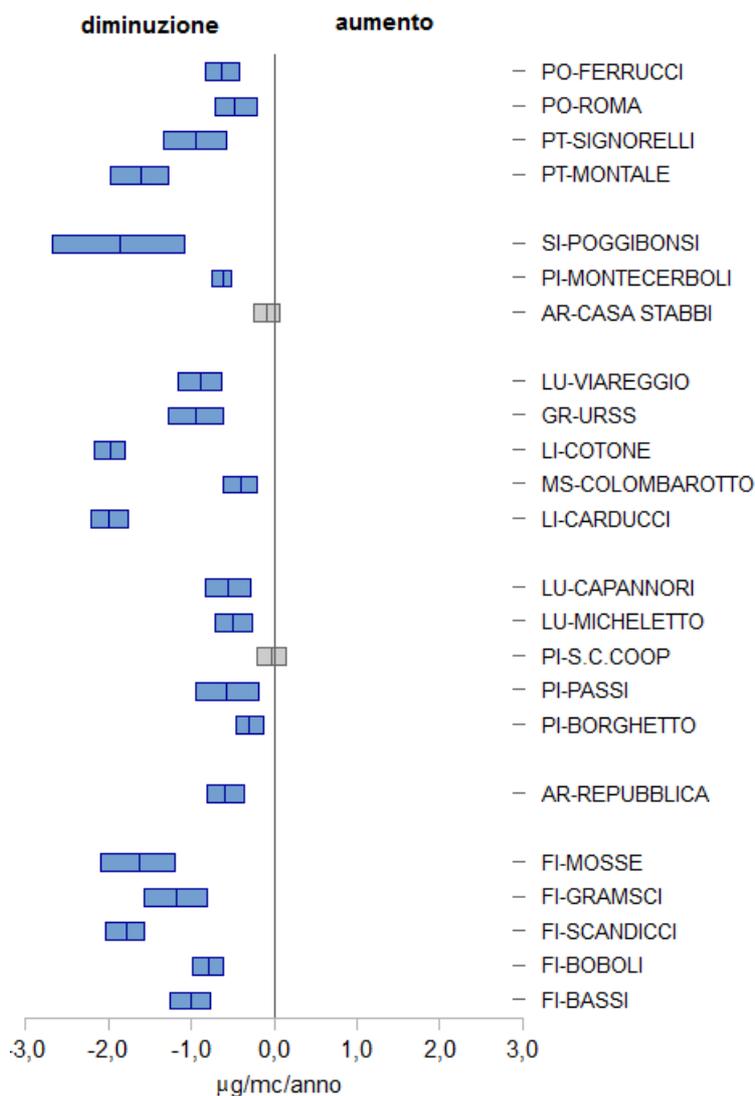


Figura 10. Trend delle concentrazioni medie giornaliere di PM10 (2003-2016)

Per quanto riguarda i livelli di concentrazione di PM 2,5 si osserva, per 4 su 7 stazioni analizzate, un trend decrescente statisticamente significativo⁸ (Figura 11); mentre per le altre tre stazioni (PO-Roma, FI-Bassi, SI-Poggibonsi) non è possibile individuare un trend statisticamente significativo. Il valore mediano dei trend decrescenti statisticamente significativi di PM2,5 è di $-0.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ all'anno.

⁸ Se il p-value è minore di 0.05 il trend può essere considerato significativo.

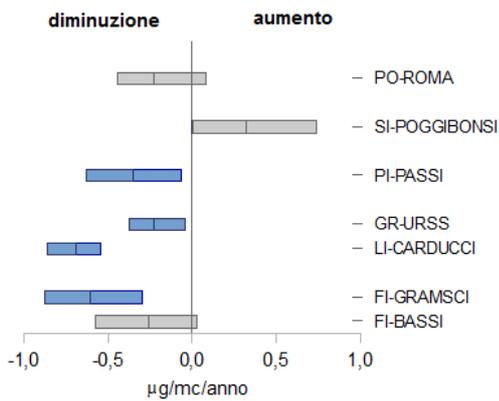


Figura 11. Trend delle concentrazioni medie giornaliere di PM_{2,5} (2003-2016)

Il contributo medio della frazione di PM_{2,5} al PM₁₀ registrato presso le stazioni di rete regionale rimane per lo più invariato nel corso degli anni 2007-2016; si osservano per tutti gli anni valori maggiori per le stazioni di tipo fondo (rapporto medio PM_{2,5}/PM₁₀ compreso tra il 60 e il 70%) mentre tale contributo è pari in media a circa il 50% per le stazioni di traffico (rapporto medio PM_{2,5}/PM₁₀ compreso tra il 40 e il 65%). Sia per le stazioni di traffico che per quelle di fondo le percentuali più elevate di PM_{2,5} si trovano generalmente nei giorni con concentrazioni di polveri molto elevate.

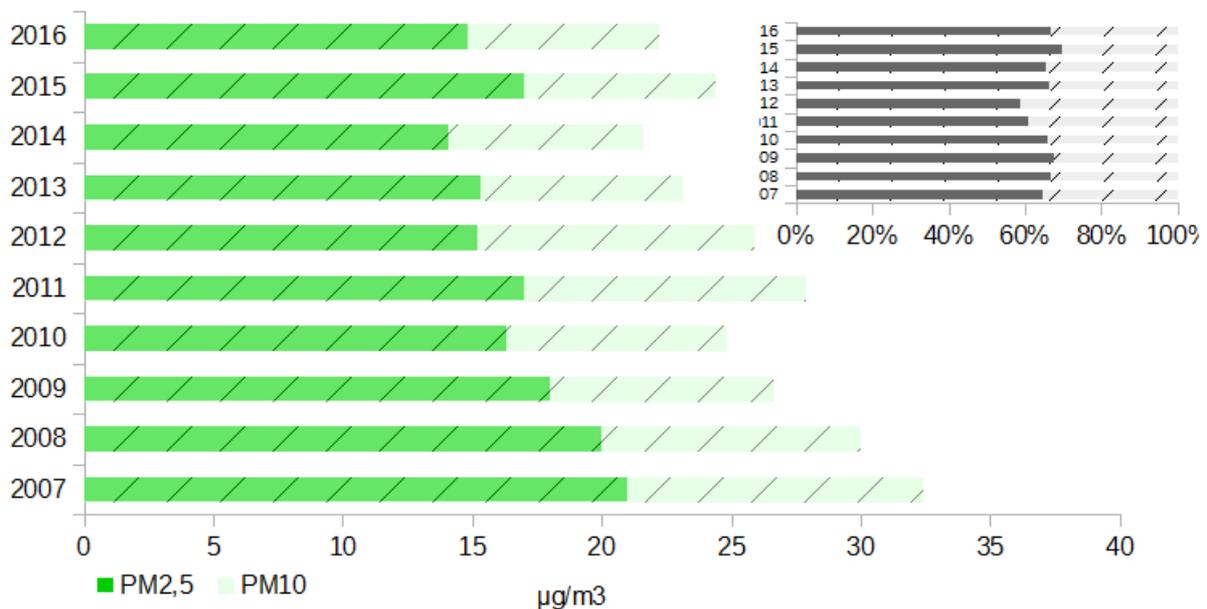


Figura 12. Rapporto PM_{2,5}/PM₁₀ – stazioni di rete regionale di tipo fondo

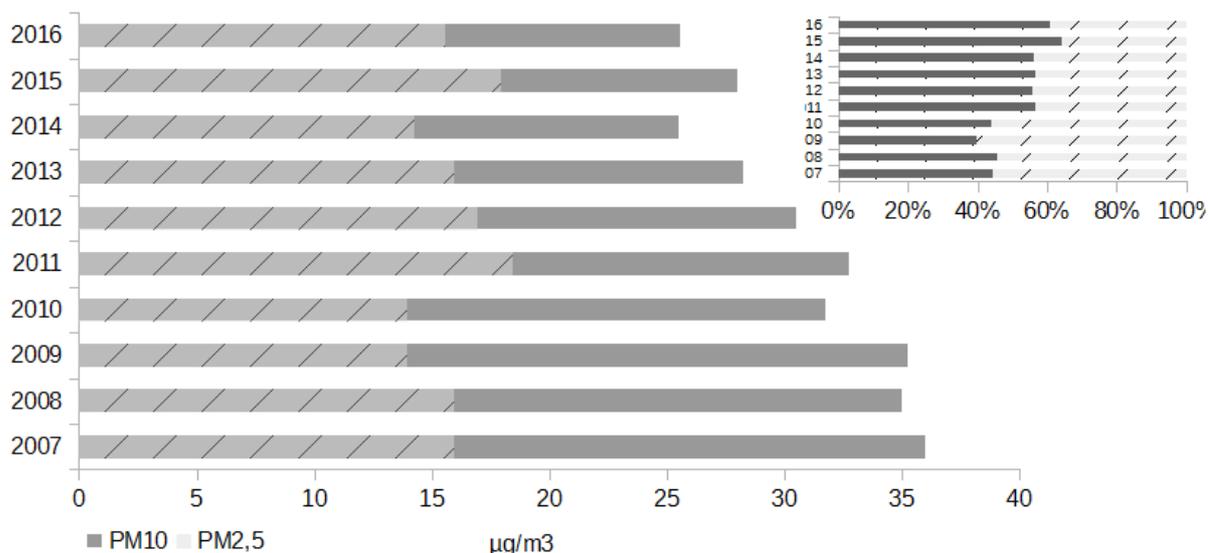


Figura 13. Rapporto PM2,5/PM10 – stazioni di rete regionale di tipo traffico

Più critica risulta la situazione relativa al superamento del valore limite giornaliero (limite 35 giorni/anno) di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, che è stato superato ogni anno con un numero di superamenti fortemente variabile a seconda delle stazioni e degli anni considerati (Figura 14). La mediana del numero di superamenti registrati nelle stazioni di tipo traffico è più alta rispetto a quella delle stazioni di fondo sebbene negli ultimi anni si può osservare una minore diversificazione tra i livelli di concentrazione registrati presso le due tipologie di siti, in relazione a tale indicatore.

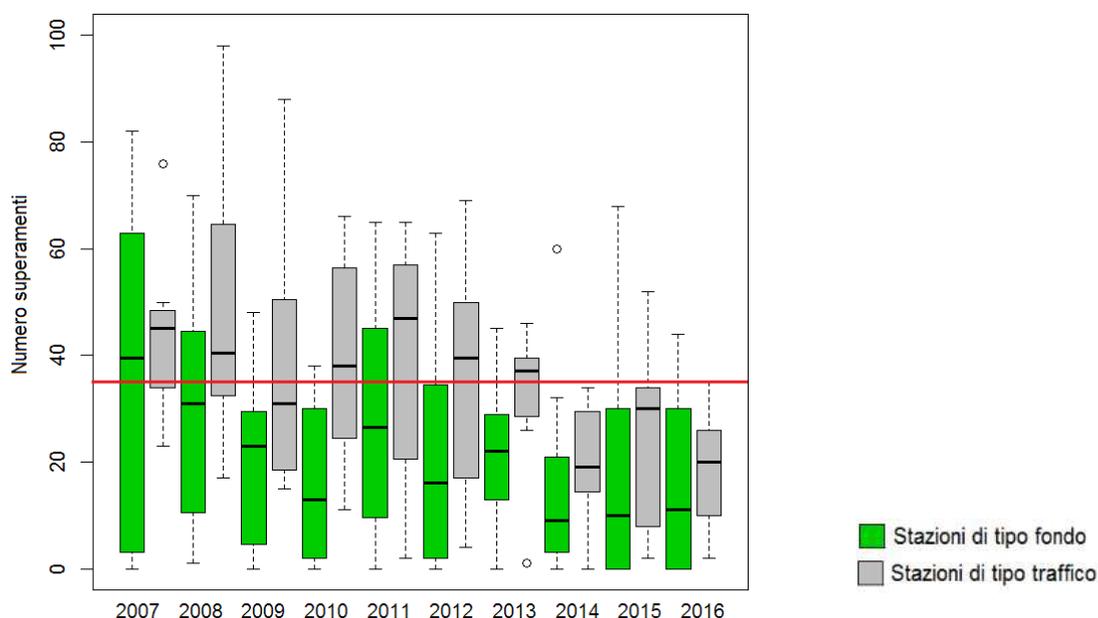


Figura 14. Distribuzione del numero di superamenti del limite giornaliero



Figura 15. Media e range del numero di superamenti del limite giornaliero per zona

Il numero di superamenti è generalmente maggiore nelle stazioni di traffico nei primi anni del periodo 2007-2016 per tutte le zone (fino al 2010 in tutte le zone, fatta eccezione per l'agglomerato e la zona del Valdarno pisano e Piana lucchese in cui la condizione persiste fino al 2013) tende ad uniformarsi negli ultimi anni del decennio analizzato. Nella maggior parte delle zone si possono osservare valori massimi del numero di superamenti maggiori per le stazioni di fondo e valori medi molto simili tra i due tipi di siti; fanno eccezione l'agglomerato e la zona del Valdarno aretino e Valdichiana nelle quali il valore medio del numero di superamenti registrato presso stazioni di traffico rimane sempre superiore a quello delle stazioni di fondo (Figura 15).

Come sopra accennato la criticità maggiore per i livelli di concentrazione di PM10 si riscontra nel rispetto del limite giornaliero di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. L'analisi dei dati registrati presso le centraline di rete regionale tra gli anni 2003 e 2016⁹ ha evidenziato una buona correlazione tra concentrazioni medie annue e il numero di superamenti del limite giornaliero. Al fine di approfondire tale aspetto è stata valutata la correlazione tra medie annue e il 36° valore più alto misurato nel corso dell'anno

⁹ Sono stati considerati gli anni con almeno il 90% di dati validi. La legislazione prescrive che i dati mancanti siano considerati dei "non superamenti" e che le stazioni considerate abbiano un numero di dati validi > 90%; l'indicatore Rank36 è stato calcolato coerentemente con queste prescrizioni.

(di seguito Rank36) (Figura 16); tale indicatore, a differenza del numero di superamenti, ha un andamento regolare anche se le concentrazioni medie sono molto alte o molto basse ed è equivalente al numero di superamenti (il limite di legge è rispettato se e solo se Rank36 < 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). L'ottima correlazione rilevata tra Rank36 e media annua (indice di correlazione di Pearson pari a 0.89) ha permesso l'individuazione di una soglia, valore limite equivalente (VLE), per la media annuale pari a circa 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Questo valore rappresenta la miglior stima ottenibile dall'analisi di regressione lineare, anche se considerando le sole stazioni di tipo fondo il VLE è pari a circa 26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; se VLE è < 34 e > 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ il metodo permette di stimare correttamente il rispetto del limite di legge relativo al numero di superamenti del limite giornaliero nel 95% dei casi. I risultati ottenuti sono in accordo con lo studio condotto con metodologia analoga su un dataset di stazioni europee dall'EEA (De Leeuw 2012); in base a tale studio la correlazione tra concentrazioni medie e Rank36 è molto buona, e la miglior stima per il VLE sulle stazioni europee è circa 29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (con valori compresi tra 24 e 34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Questi risultati permettono di ipotizzare che la concentrazione media annua necessaria per il rispetto del limite sul numero massimo di superamenti giornalieri è compresa tra 25 e 34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ con un valore intermedio di 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

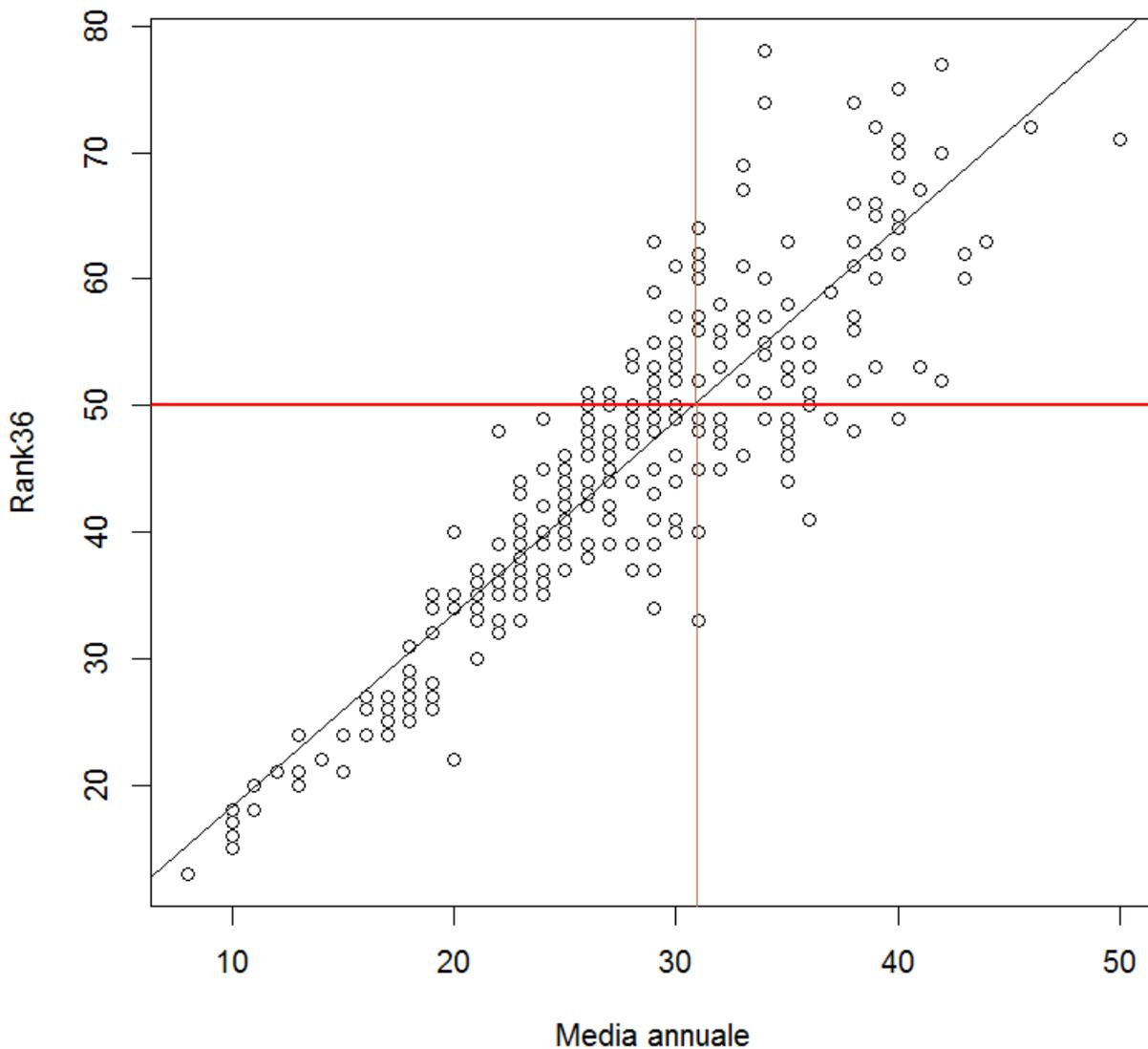


Figura 16. Correlazione tra medie annue e Rank36 (anni 2003-2016)

Le variazioni del numero di superamenti nel corso dell'anno sono legate anche all'andamento meteorologico; nel periodo autunno-inverno i giorni con condizioni meteorologiche favorevoli all'accumulo di PM10 o favorevoli alla dispersione degli inquinanti in atmosfera sono stati valutati in base allo studio ARPAT-LaMMA del 2016. [4]

A tale proposito in figura 17 viene evidenziata la relazione tra le condizioni meteorologiche e le concentrazioni di PM10 ed è riportato il range di variazione dei livelli di concentrazione registrati nelle aree di superamento (DLgs. 155/2010 art. 2, DGRT 1182/2015 allegato 1) nel corso dell'anno 2016 e nei giorni favorevoli all'accumulo o alla dispersione degli inquinanti individuati nei mesi di maggiore criticità per il PM10 dello stesso anno (Gennaio – Marzo, Ottobre – Dicembre).

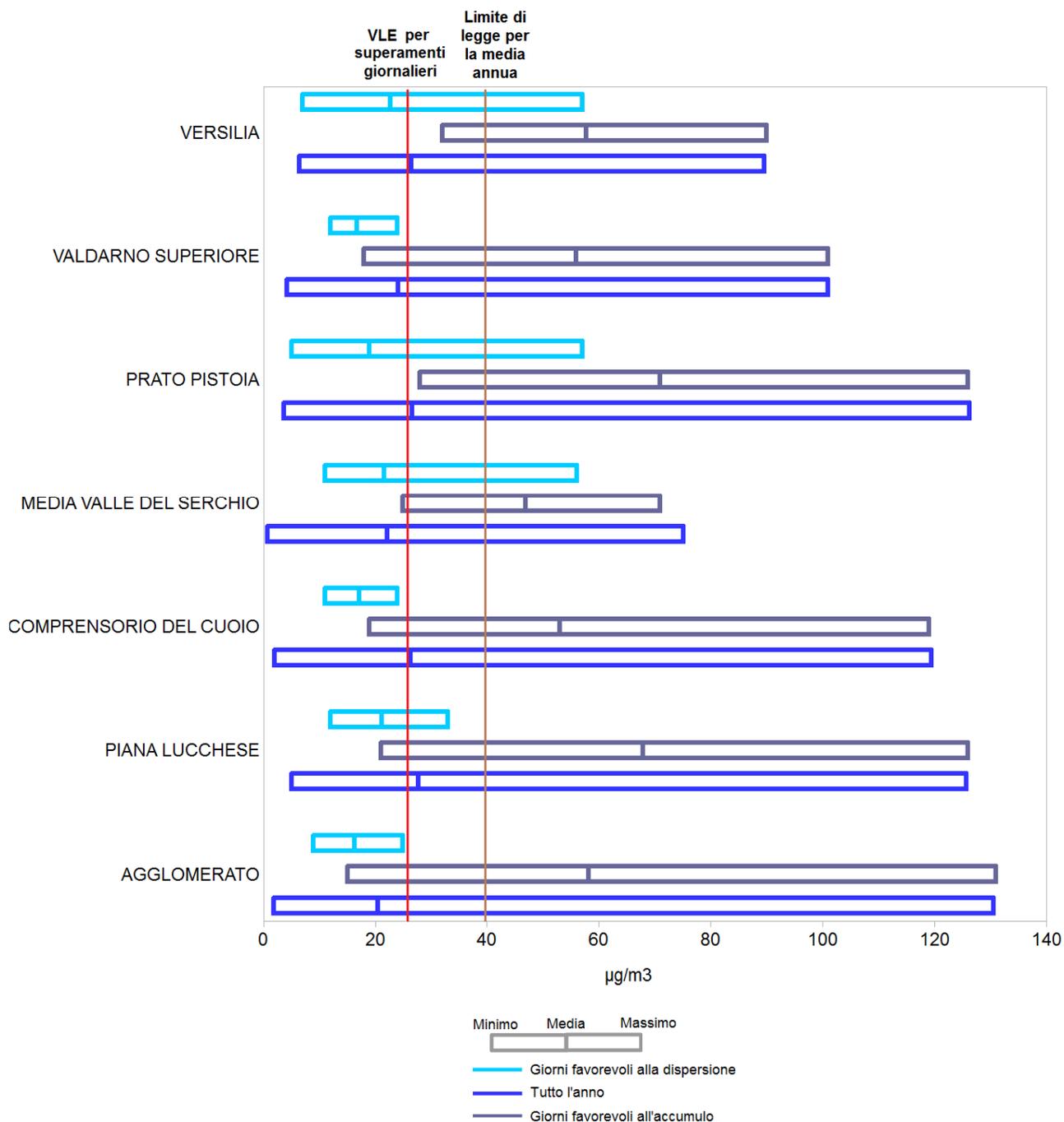


Figura 17. Distribuzione dei livelli di concentrazione nei giorni favorevoli all'accumulo e alla dispersione degli inquinanti (autunno-inverno 2016) e range di variazione in tutto l'anno (2016)

Il livello massimo di concentrazione rilevato nei giorni meteorologicamente favorevoli alla dispersione degli inquinanti è generalmente inferiore al valore medio rilevato nei giorni favorevoli all'accumulo; si osserva una differenza molto ridotta tra la media annua e la media dei livelli di concentrazione rilevati nei giorni favorevoli alla dispersione osservabile per tutte le aree di

superamento; si rileva che i livelli di concentrazione più alti sono distribuiti nei giorni meteorologicamente favorevoli all'accumulo degli inquinanti e che la media in questi giorni è ampiamente al di sopra del valore limite. Per la maggior parte delle aree, in particolare, i livelli massimi di concentrazione rilevati nel corso di tutto l'anno sono stati registrati nei giorni favorevoli all'accumulo. La soglia del VLE di circa $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ è superata nella zona Prato-Pistoia e nella Piana Lucchese, in cui si verifica anche il superamento del valore limite di 35 superamenti della media giornaliera.

La soglia OMS¹⁰ di $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ relativo alla media annua di PM10 è stata superata ogni anno; il numero maggiore di superamenti si registra nelle stazioni di tipo traffico (in media il 75% delle stazioni attive nel corso del periodo 2007-2016) ma anche le stazioni di fondo urbano risultano superare la soglia (in media il 55% delle stazioni attive nel corso del periodo 2007-2016).

Anche la soglia OMS di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ relativo alla media annua di PM2,5 è stata superata ogni anno in tutte le stazioni di rete regionale, fatta eccezione per due stazioni di tipo fondo della Zona Costiera che hanno registrato valori medi annui inferiori alla soglia per gli anni 2014 e 2016.

Sono state superate tutti gli anni le soglie OMS relative numero di superamenti della media giornaliera ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per il PM10 e $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per il PM2,5) sia per le stazioni di fondo che per le stazioni di traffico.

La distribuzione territoriale dei livelli di concentrazione di PM10

Per l'annualità 2016 è possibile rappresentare su mappa la distribuzione delle concentrazioni medie di fondo di PM10 per tutta la Toscana. Sulla base dello studio svolto da ARPAT e Consorzio LaMMA per la Regione Toscana finalizzato alla stima della rappresentatività spaziale delle stazioni di monitoraggio della rete regionale [3] è, infatti, possibile rappresentare in prima approssimazione la distribuzione delle concentrazioni medie annuali nel territorio regionale.

La stima della rappresentatività si applica alle sole stazioni di fondo perciò la mappa si riferisce alle 25 stazioni di fondo della rete regionale con misura di PM10 con serie annuali valide. Ad ogni stazione sono associati i comuni che risultano rappresentati dal dato, per parte del proprio territorio, secondo soglie stabilite. Il fondo regionale, pari a $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ come media annuale è attribuito alle classi di uso del suolo di tipo naturale e sovrapposto ai comuni in modo che all'interno di ciascun comune si distinguano le aree naturali rappresentate, in maniera più verosimile, dal dato di fondo regionale. L'agglomerato è rappresentato come unicum, con il criterio

10 WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Global update 2005

di attribuire cautelativamente a tutti i comuni che ne fanno parte la media annuale più alta tra tutte le stazioni che lo rappresentano; tuttavia per rendere comunque evidente il quadro dei diversi livelli di concentrazione misurati all'interno dell'agglomerato il dato puntuale di ogni singola stazione è rappresentato in modo puntuale attribuendo alla stazione la colorazione relativa alla propria concentrazione media annua secondo legenda (Figura 18).

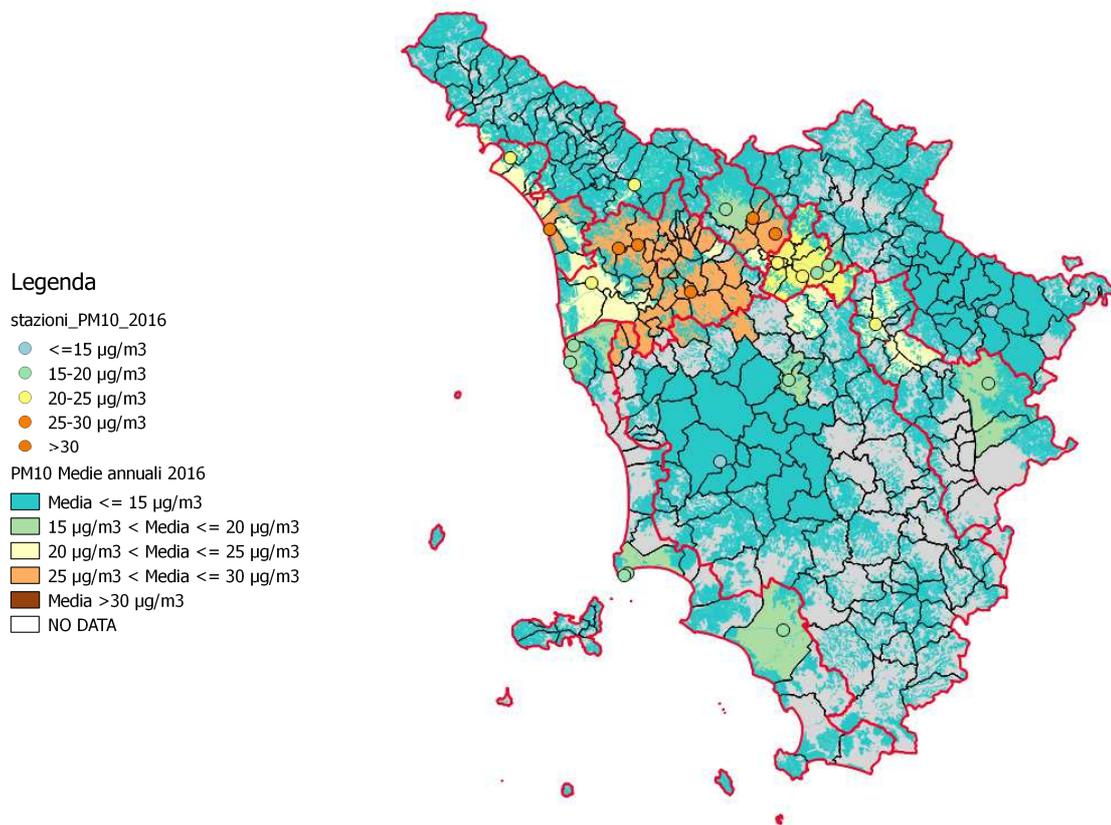


Figura 18. Distribuzione territoriale dei livelli di concentrazione di PM10 (anno 2016)

S2 - Scheda di approfondimento: Area superamento Piana Lucchese

Le principali sorgenti di emissione

Dall'analisi dell'inventario IRSE 2010 per il comuni appartenenti alla Piana (tabella 1) emerge quanto segue :

PM10 e PM2,5: Circa il 60% delle emissioni primarie di PM10 e PM2,5 relative all'intera Piana lucchese sono imputabili alla combustione domestica di legna in caminetti e stufe tradizionali. - Contributi minori (circa il 10%) sono imputabili al trasporto locale – di cui in particolare l'80% e attribuibile a veicoli diesel.

NOx: - La principale fonte di emissione e il trasporto su strada; in particolare il 45% e dovuto a traffico locale - di questo circa il 90% e attribuibile a veicoli diesel – e il 24% a traffico su strade extraurbane. Circa il 13% e imputabile alla combustione industriale.

COVNM:La principale fonte di emissione di tale inquinante e l'uso di solventi; in particolare si attribuisce alla lavorazione della schiuma poliuretanica, effettuata nel comune di Porcari, e alla lavorazione di pelli e cuoio. Contributi minori (circa il 14% in totale) sono imputabili al trasporto locale in particolare di questo l'85% e attribuibile ai ciclomotori – e alla combustione domestica di legna (7%).

SOx:Tra le principali fonti di emissione di tale inquinante c'è il riscaldamento domestico; circa il 30% delle emissioni deriva dalla combustione di legna - in particolare di questo circa l'80% e attribuibile alla combustione domestica di legna in caminetti e stufe tradizionali – circa il 35% dalla combustione di olio combustibile e gasolio. Il 29% delle emissioni deriva dall'attività di produzione del vetro.

NH3: Le principali fonti di emissione di tale inquinante sono l'uso di fertilizzanti in agricoltura e gli allevamenti di animali (circa il 50%). Circa il 30% delle emissioni di ammoniaca deriva dalla combustione domestica di legna – in particolare di questo circa l'80% e attribuibile alla combustione domestica di legna in caminetti e stufe tradizionali.

Comune	Provincia	Comune	Provincia
Villabasilica	Lucca	Uzzano	Pistoia
Pescaglia		Pescia	
Lucca		Buggiano	
Capannori		Massa e Cozzile	
Porcari		Montecatini Terme	
Altopascio		Pieve a Nievole	
Montecarlo		Monsummano Terme	
Castelfranco di sotto	Pisa	Larciano	Pistoia
Bientina		Lamporecchio	
Fucecchio	Firenze	Ponte buggianese	Pistoia
		Chiesina uzzanese	

Tabella 1 I comuni della Piana lucchese oggetto dell'analisi

I risultati dell'analisi vengono riassunti nella seguente tabella:

		PM10	PM2,5	COVNM	NOx	SOx	NH ₃
Riscaldamento	LEGNA	70% (60% caminetti e stufe tradizionali)	70% (60% caminetti e stufe tradizionali)	7%		30% (23% caminetti e stufe tradizionali)	31% (25% caminetti e stufe tradizionali)
	GASOLIO + OLIO COMBUSTIBILE					20% + 15%	
Trasporti	EXTRAURBANO				24%		
	URBANO	10% (8% diesel)	10% (8% diesel)	14% (12% ciclomotori)	45% (40% diesel)		
Industria	COMBUSTIONE INDUSTRIALE				13%		
	PRODUZIONE VETRO					29%	
Uso di solventi				50% (25% lavoraz. schiuma poliuret.+ lavoraz. pelli e cuoio)			
Agricoltura							50% (30% allevamenti, 20% uso fertilizzanti)

Tabella.2 Le principali sorgenti di emissione della Piana lucchese

I risultati del progetto PATOS

I livelli di concentrazione di polveri rilevati presso stazione di LU-Capannori sono stati oggetto di approfondimento nell'ambito del progetto PaTos finanziato dalla Regione Toscana. Di seguito vengono riportati i principali risultati ottenuti in relazione alla speciazione delle particolato e alle sue potenziali fonti emissive.

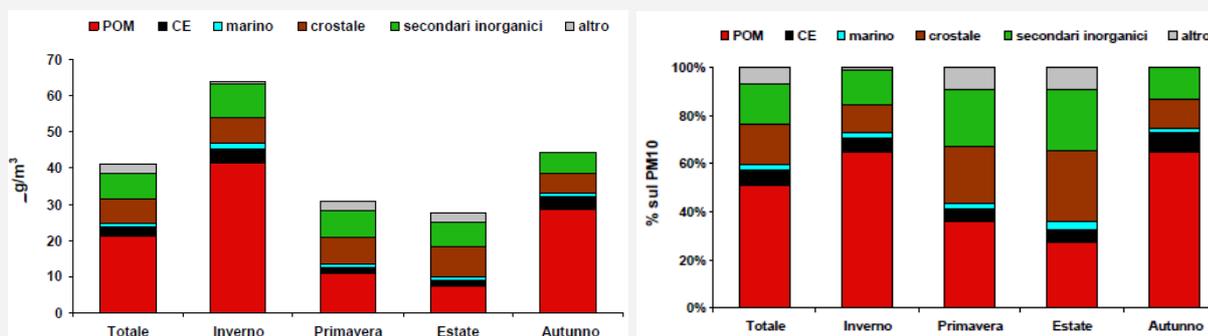


Figura 1e 2 Composizione chimica del materiale particolato fine PM10: entità dei livelli di concentrazione e : incidenza percentuale delle specie rilevate

Dal confronto tra la composizione chimica del particolato prodotto dalle principali sorgenti con quella misurata e utilizzando metodi statistici avanzati (PMF Positive matrix Factorisation) su lunghe serie di dati si riesce a determinare le potenziali sorgenti di emissione:

Come si può osservare dai grafici (Figura 3 e Figura 4) in media le principali sorgenti di emissioni che contribuiscono ai livelli di PM10 rilevati presso la stazione di LU-Capannori sono la combustione di biomasse (31%), il traffico su gomma (23%), l'erosione del suolo (17%); un contributo non trascurabile viene imputato anche a sorgenti che contribuiscono alla formazione di PM10 di tipo secondario sia di origine locale (11%) che di origine regionale (14%).

Le stesse fonti vengono identificate relativamente ai livelli di concentrazione di PM10 rilevati nel corso dei giorni in cui si è registrato il superamento del valore limite giornaliero di 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; si osserva, però, un incremento rilevante dell'incidenza della sorgente "combustione di biomassa" che contribuisce per più del 50% ai livelli di concentrazione (Figura 4).

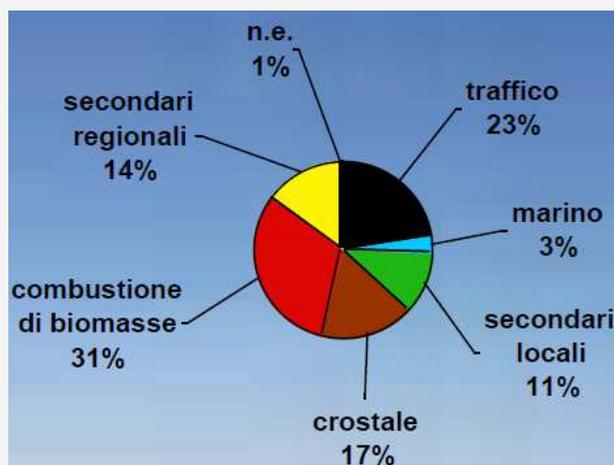


Figura 3 Contributi percentuali medi delle sorgenti alla massa del PM10

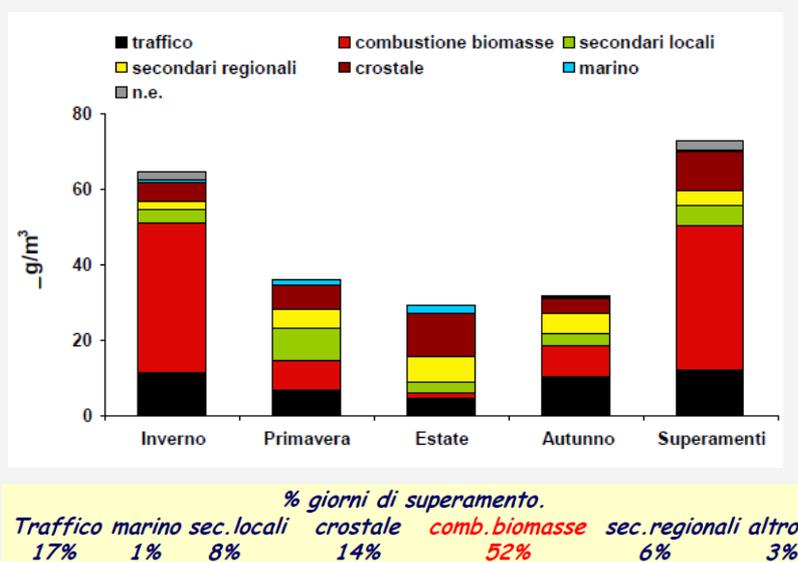


Figura 4 Contributi percentuali medi delle sorgenti alla massa del PM10 per stagione e durante i giorni di superamento del limite giornaliero

Come si può osservare dai grafici (Figura 3 e Figura 4) in media le principali sorgenti di emissioni che contribuiscono ai livelli di PM10 rilevati presso la stazione di LU-Capannori sono la combustione di biomasse (31%), il traffico su gomma (23%), l'erosione del suolo (17%); un contributo non trascurabile viene imputato anche a sorgenti che contribuiscono alla formazione di PM10 di tipo secondario sia di origine locale (11%) che di origine regionale (14%).

Le stesse fonti vengono identificate relativamente ai livelli di concentrazione di PM10 rilevati nel corso dei giorni in cui si è registrato il superamento del valore limite giornaliero di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$; si osserva, però, un incremento rilevante dell'incidenza della sorgente "combustione di biomassa" che contribuisce per più del 50% ai livelli di concentrazione (Figura 4).

La composizione dimensionale del particolato

In vari zone della Toscana è stata studiata la distribuzione dimensionale del particolato tra 0,2 e $10 \mu\text{m}$ e la distribuzione oraria tramite un contatore ottico di particelle.

Dall'analisi dei dati di PM10, PM2,5 e PM1 con risoluzione oraria e al minuto rilevati presso una postazione di fondo a Porcari nell'inverno 2016-17, emergono caratteristiche comuni a gran parte dei giorni monitorati (si riporta per tutti il grafico relativo al 4 dicembre) e gran parte delle postazioni suburbane di fondo, che riguardano principalmente due aspetti (Figura 5):

la prevalenza del contributo della frazione fine - soprattutto PM1 - al PM10 totale

la presenza negli orari centrali della giornata e nelle prime ore serali (circa fino alle 22.00) di una serie di picchi frastagliati caratterizzati da una netta prevalenza delle componenti più grossolane

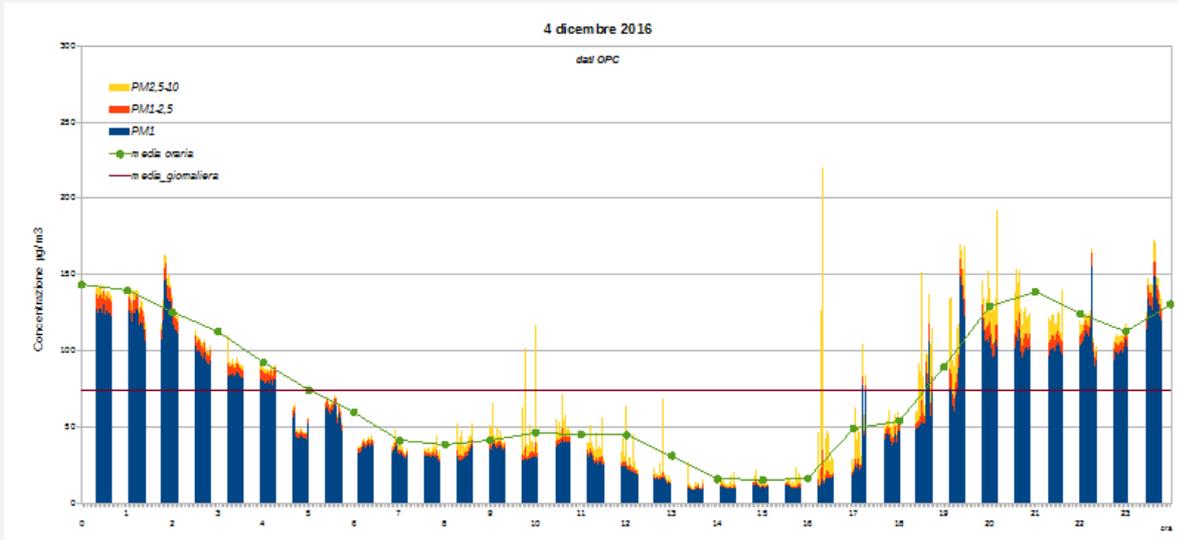


Figura 5 Andamenti dei vari contributi del PM (in blu frazione del PM1, in rosso frazione da PM1 a PM2,5 in giallo frazione tra PM2,5 e PM10). La curva verde riporta il valore della media oraria (riferita ai dati minuto precedenti), la retta marrone rappresenta la media giornaliera

L'andamento è tipico di una giornata caratterizzata da inversione termica e dal tipico abbassamento dello strato di rimescolamento nelle ore notturne.

Si riporta infine un giorno di non superamento, il 20 dicembre, che è stato un giorno piovoso in cui si è avuto un probabile effetto di dilavamento degli inquinanti (Figura Sx.6).

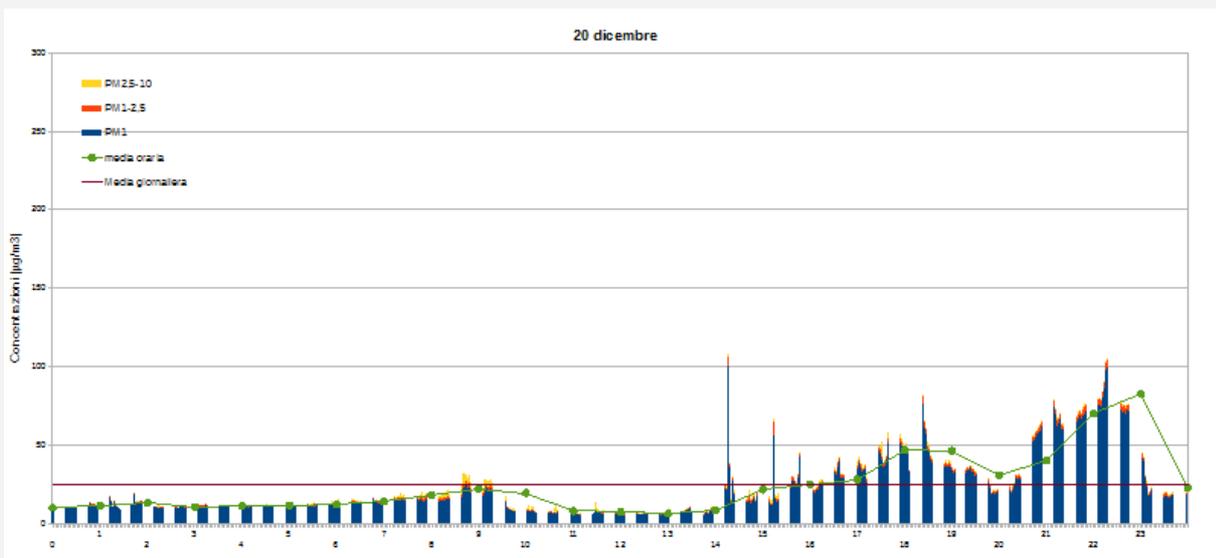


Figura 6 Andamenti dei vari contributi del PM per il giorno 20 dicembre 2016

S3 - Scheda di approfondimento: Zona Prato-Pistoia: il sito di PT-Montale

Nel rapporto di ARPAT [7] è stata valutata l'estensione territoriale dei livelli di concentrazione di PM10 rilevati dalla stazione di Montale attraverso specifiche attività analitiche e sono state acquisite indicazioni sulla variabilità indotta dalla componente orografica e meteorologica. Durante lo studio, condotto prevalentemente nel 2013, sono state effettuate sei campagne indicative per il campionamento di PM10 ai sensi del D.Lgs 155/10. Le sei postazioni sono state identificate anche con il contributo dell'applicazione dell'indice β , utilizzato per la valutazione della rappresentatività delle stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria [1].

I risultati delle campagne confermano le ipotesi dedotte da studi precedenti e dalle elaborazioni dei dati di qualità dell'aria e di emissione disponibili precedentemente alla realizzazione delle campagne di campionamento; i dati di concentrazione di PM10 rilevati presso i siti delle campagne con caratteristiche morfologiche ed emissive simili presentano andamenti analoghi a quelli della stazione di Montale mentre le postazioni delle campagne e delle stazioni di fondo della zona che si trovano in siti con caratteristiche morfologiche diverse presentano dati di concentrazione di PM10 generalmente inferiori pur presentando, in alcuni casi, condizioni peggiori in termini emissivi. In base ai risultati delle campagne la stazione di Montale non risulta essere un'anomalia di livello strettamente locale; i valori monitorati dalla stazione risultano essere rappresentativi di tutta l'area pianeggiante compresa tra le aree urbane di Prato e Pistoia.

La classificazione ad essa attribuita di stazione di tipo fondo sembra, quindi, corretta; la stazione di Montale, pur presentando risultati anomali rispetto a quelli che generalmente possono essere riscontrati in una stazione di fondo di tipo rurale, sembra realmente rappresentare i livelli di qualità dell'aria nelle aree rurali della zona Prato – Pistoia.

In Figura S3.1 i siti fissi di Montale, Signorelli e Roma sono contrassegnati in rosso, mentre i siti delle campagne in blu. In istogramma sono riportati i valori delle differenze medie per le stazioni e per le campagne, in rosa gli scarti positivi, in verde quelli negativi. Le differenze positive aumentano scendendo verso la linea del baricentro; le postazioni 5, 6, 7, 8 e 9 presentano mediamente livelli di concentrazione più elevati rispetto a quelli rilevati negli stessi periodi nella stazione di Montale. Il sito 2, insieme alle stazioni di Prato e Pistoia, segna invece una fascia di livello più basso che circonda la piana sul lato nord.

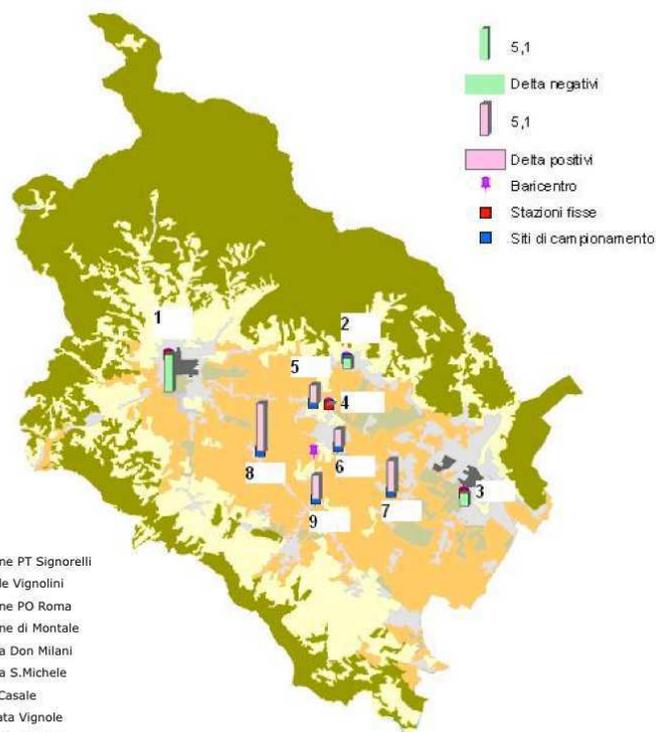


Figura S3.1. Differenze medie osservate rispetto alla stazione di Montale

I risultati del progetto PATOS

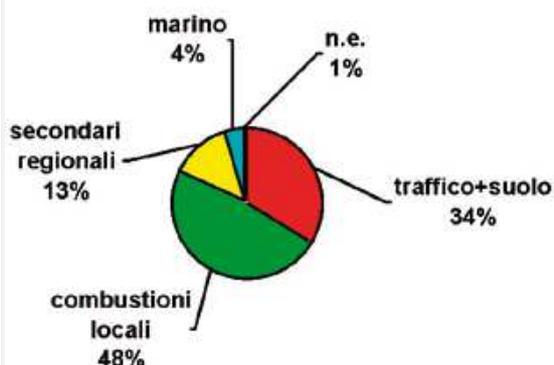


Figura S3.2. PO-Strozzi - Contributi percentuali delle sorgenti alla massa del PM10 nelle diverse stagioni e nei giorni di superamento del limite di 50 µg/m³

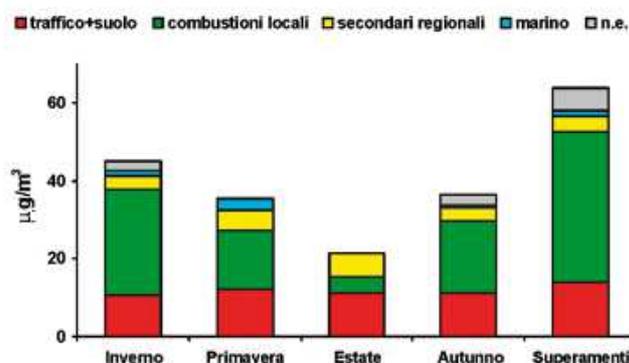


Figura S3.3. PO-Strozzi - Contributi delle sorgenti alla massa del PM10

I livelli di concentrazione di polveri rilevati presso le stazioni di PO-Strozzi (UT) e PT-Montale (RF) sono stati oggetto di approfondimento nell'ambito del progetto regionale PATOS (Particolato Atmosferico in Toscana) "Il materiale particolato fine PM10" finanziato dalla Regione Toscana. Di seguito vengono riportati i principali risultati ottenuti in relazione alla speciazione delle particolato e alle sue potenziali fonti emissive.

Come si può osservare dai grafici (Figura S3.2 e Figura S3.3) in media le principali sorgenti di emissioni che contribuiscono ai livelli di PM10 rilevati presso la stazione di traffico di PO-Strozzi sono le combustioni locali (48%), il traffico su gomma comprensivo del risollevarsi di polveri (34%); un contributo non trascurabile viene imputato anche a sorgenti che contribuiscono alla formazione di PM10 di tipo secondario di origine regionale (13%).

Le stesse fonti vengono identificate relativamente ai livelli di concentrazione di PM10 rilevati nel corso dei giorni in cui si è registrato il superamento del valore limite giornaliero di 50 µg/m³; si osserva, però, un incremento rilevante dell'incidenza della sorgente "combustioni locali" che contribuisce per più del 50% ai livelli di concentrazione (Figura S3.3).

Dai grafici seguenti relativi ai risultati emersi dall'indagine condotta presso il sito di PT-Montale (Figura S3.4 e Figura S3.5) risulta che la componente carboniosa (POM e CE) risulta essere di gran lunga dominante nella stagione invernale mentre il suo contributo si riduce notevolmente nella stagione primaverile, pur rimanendo prevalente. La componente crostale mostra una notevole variabilità, con valori più alti nella stagione primaverile, mentre il contributo dei secondari inorganici presenta minori v.

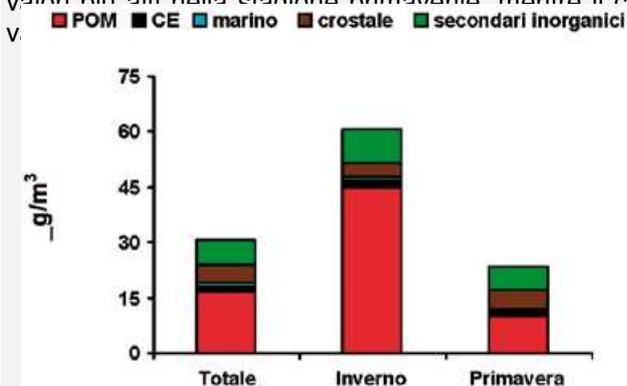


Figura S3.4 PT-Montale - Contributi delle componenti percentuali maggioritarie alla massa del PM10 nelle diverse stagioni e in tutto il periodo di campionamento

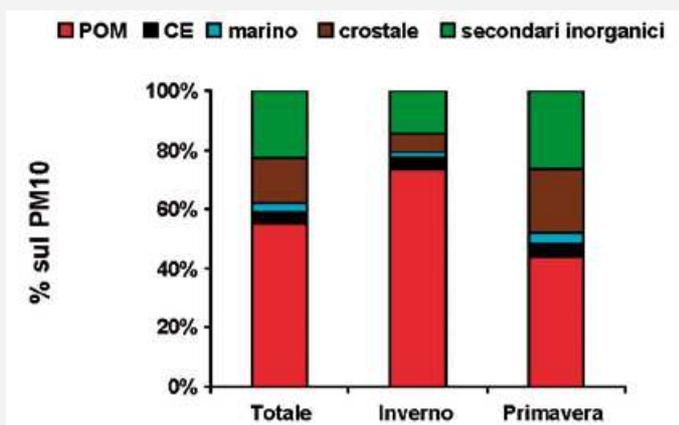


Figura S3.5. PT-Montale - Contributi componenti maggioritarie alla massa del PM10 nelle diverse stagioni e in tutto il periodo di campionamento

La componente secondaria risulta maggioritaria e di gran lunga superiore rispetto alla componente primaria nella stagione primaverile quando sono più probabili eventuali conversioni della componente primaria ad opera di reazioni fotolitiche. Nella stagione invernale, invece, la componente primaria antropica supera (sebbene di poco, 7%) la componente secondaria. La componente naturale aumenta notevolmente durante la stagione primaverile diventando quasi paragonabile al contributo antropico primario mentre risulta sostanzialmente bassa nella stagione invernale (Figura S3.6).

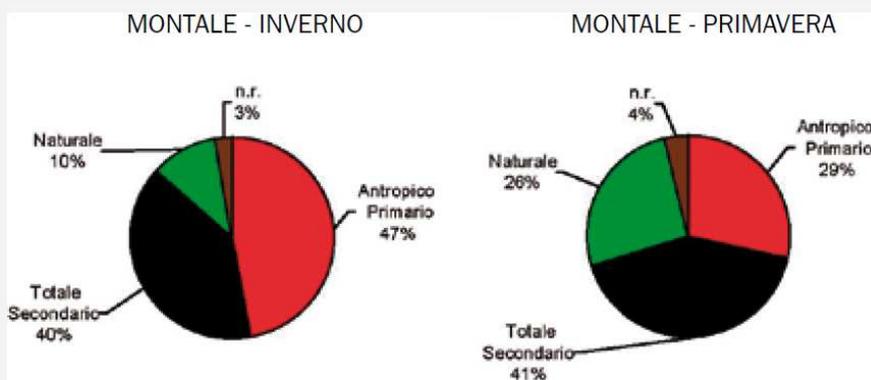


Figura S3.6. Contributi percentuali delle componenti primarie e secondarie del PM10 nelle due stagioni

Non facendo parte dei siti "ufficiali" del progetto, il campionamento presso il sito di PT-Montale è stato effettuato in maniera discontinua, in due soli periodi (invernale e primaverile) e per un numero ristretto di campioni in ciascun periodo. Non essendo stato garantito un numero minimo di misure rappresentative effettuate non sono stati determinati i contributi delle varie sorgenti alla massa del PM10.

Nel progetto PATOS2 (Particolato Atmosferico in TOScana fase 2) "Distribuzione dimensionale e caratterizzazione chimica del particolato nanometrico" è stato effettuato lo studio sulla distribuzione dimensionale e composizione chimica del particolato nanometrico campionato in 4 siti del territorio toscano influenzati da sorgenti diverse e aventi problematiche specifiche: Montale, Livorno, Sesto F.no (Osmanoro), Prato. Di seguito vengono riportati i principali risultati per i siti di PT-Montale (RF) e PO-Ferrucci (UT).

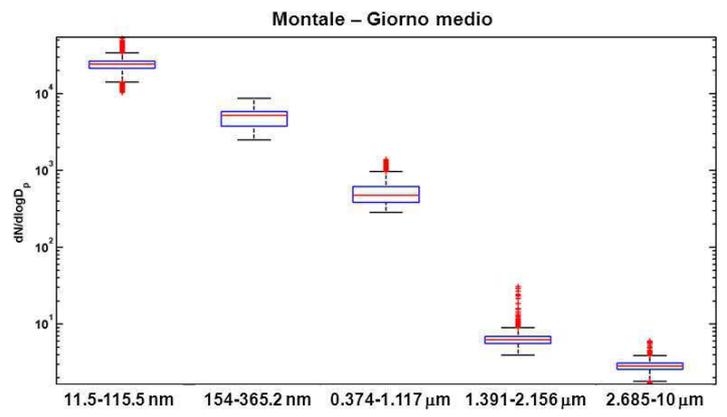


Figura S3.7. PT-Montale - Distribuzione della concentrazione di particelle

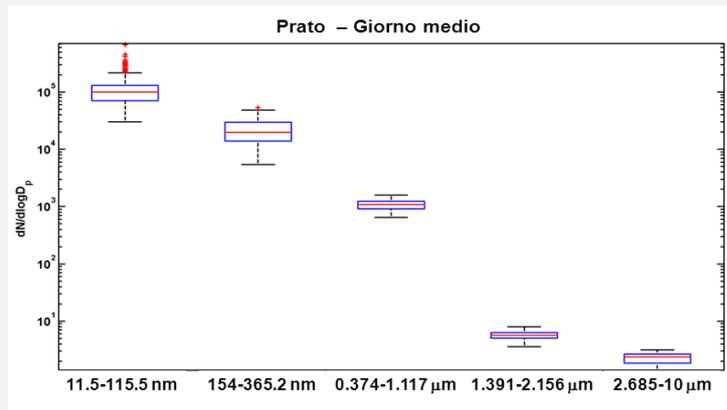


Figura S3.8. PO-Ferrucci - Distribuzione della concentrazione di particelle

Dal confronto tra le misure OPS (Optical Particle Sizer, range di misura: 0.3-10 μm) e le misure SMPS (Scanning Mobility Particle Sizer Spectrometer, range di misura: 10-422 nm) è possibile evidenziare un maggior numero di particelle al diminuire della classe dimensionale (Figura S3.7 e Figura S3.8). Per le classi appartenenti alle particelle ultrafini (11.5 – 115.5 nm) si osservano valori nettamente più elevati rispetto a tutte le altre classi dimensionali, per entrambe le stazioni. Valori di concentrazione di almeno un ordine di grandezza più bassi caratterizzano le classi dimensionali maggiori (154 – 365.2 nm) mentre per le classi dimensionali più grandi si osservano valori di concentrazione inferiori di circa 4-5 ordini di grandezza.

In entrambe le stazioni le misure SMPS mostrano un netto ciclo giornaliero con massimi di concentrazione durante la notte e le prime ore del mattino, una diminuzione - generalmente graduale - fino ai valori minimi di metà giornata e un nuovo graduale aumento nella serata. Tale andamento può essere spiegato dalla concomitanza di due fattori, il primo legato alla variazione giornaliera dell'altezza dello strato limite di rimescolamento, il secondo alla variazione delle sorgenti emissive.

Nel progetto PATOS2 (Particolato Atmosferico in TOscana fase 2) "Misure dei livelli di concentrazione del materiale particolato fine PM10 della Regione Toscana al fine di verificare l'efficacia degli interventi di risanamento e mantenimento della qualità dell'aria. Casi di Livorno e Montale" sono state individuate, attraverso l'analisi chimica del particolato, le seguenti componenti: POM (Composti organici del carbonio), EC (Carbonio elementare), Secondari inorganici (Solfati, Nitrati, Ammonio), Crostale (componente minerale prodotta dall'erosione della crosta terrestre) e Marino (aerosol prodotto dallo spray marino e trasportato a lunga distanza). Come emerso anche dalle campagne svolte con il progetto PATOS fase 1, la componente carboniosa (POM e CE) risulta essere di gran lunga dominante nella stagione invernale mentre il suo contributo si riduce notevolmente nella stagione primaverile, pur rimanendo prevalente (figura S3.9).

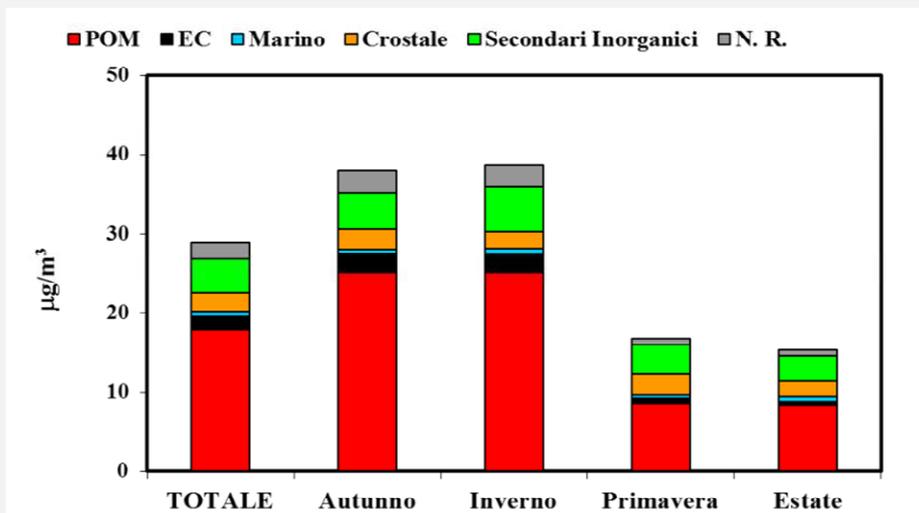


Figura S3.9.. PT-Montale - Contributi delle componenti maggioritarie alla massa del PM10 nelle diverse stagioni e in tutto il periodo di campionamento

L'elaborazione dei dati relativi alla composizione del particolato tramite opportuni metodi di analisi multivariata ha permesso di identificare le principali sorgenti di emissione e di quantificarne il contributo. Per ottenere questo risultato è stato utilizzato il modello a recettore Positive Matrix Factorization (PMF). Di seguito si riporta un grafico con la prima elaborazione dei risultati di tale analisi.

La combustione di biomasse è il contributo di gran lunga più rilevante alla massa del PM10 (32% in media che sale a 42% durante i giorni di superamento), con valori di picco in concentrazione di 60 µg/m³. L'andamento temporale è caratterizzato da forte stagionalità con valori molto elevati durante l'inverno che tendono a zero avvicinandosi all'estate.

Il traffico ha un contributo massimo durante i mesi invernali ma è sempre presente.

La sorgente "suolo locale" è una sorgente mista che comprende i contributi crostali e la polvere "urbana" dovuta al traffico per effetto del risollevarimento, usura freni e gomme.

La sorgente "secondari da combustione" è una componente secondaria di origine locale derivante da processi di combustione fra cui il riscaldamento, la combustione di biomasse e il traffico; è caratterizzata da forte stagionalità, con valori più alti in autunno inverno (fino a un massimo di circa 19 µg/m³) e molto bassi verso l'estate.

La sorgente "solfati secondari" è una componente secondaria regionale del particolato. Tale componente si forma in atmosfera a partire dal biossido di zolfo emesso da impianti termo-elettrici per la produzione di energia e subisce una veloce distribuzione sul territorio regionale (*). Presenta valori maggiori in estate perché sono favoriti i fenomeni di trasporto.

La sorgente "combustione di olii pesanti" è caratterizzata dalla presenza di traccianti specifici della combustione di olii pesanti quali il Vanadio e Nichel ed è legata alle emissioni da combustioni di olii pesanti in impianti industriali non necessariamente locali. Il contributo medio stimato è di 1,6 µg/m³ (corrispondente al 6.0% del PM10) e un valore massimo di circa 7 µg/m³.

Il contributo della sorgente "inceneritore" è presente durante tutta la campagna, con valore medio di 1.5 µg/m³ (5.4 % del PM10) e un valore massimo di circa 8 µg/m³.

(*) Nota a cura di Regione Toscana: oltre alle emissioni di biossido di zolfo contribuiscono alla sorgente di "solfati secondari" anche le emissioni di idrogeno solforato H₂S emesso dalle centrali geotermoelettriche nell'area tradizionale di Larderello e dell'Amiata. Deve essere messo in evidenza che per questo inquinante le reazioni chimiche di trasformazione da H₂S a solfati secondari non sono ancora del tutto conosciute.

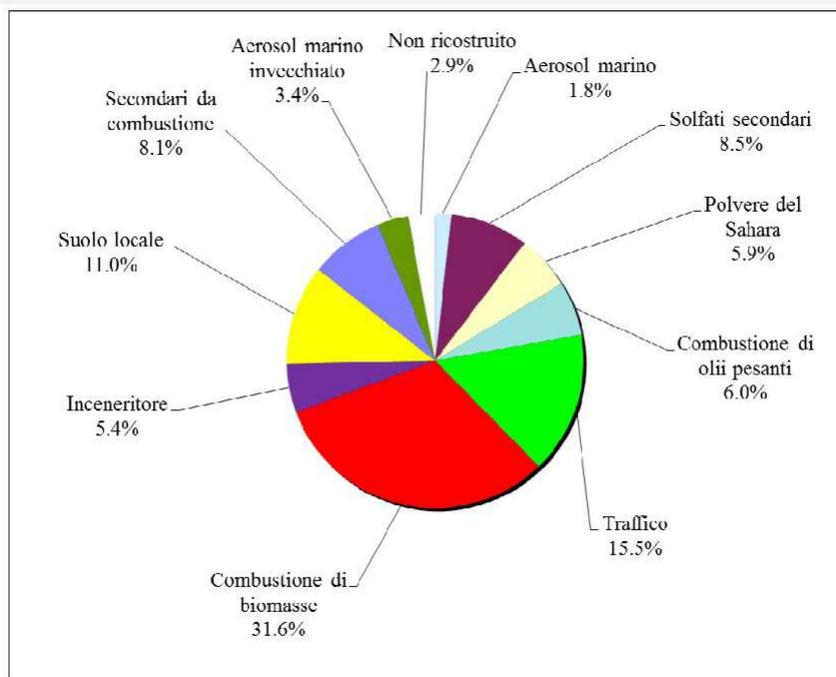


Figura S3.10 Contributi percentuali delle varie componenti del PM10

Di seguito si riportano i contributi percentuali medi delle sorgenti relativi ai soli giorni di superamento; si osserva un incremento significativo del contributo percentuale al PM10 rilevato nel corso delle campagne per le sorgenti "secondari da combustione" ma la variazione più rilevante si osserva per la componente "combustione di biomasse" il cui contributo sale al 42% durante i giorni di superamento (figura S3.11) con valori di picco che raggiungono i $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

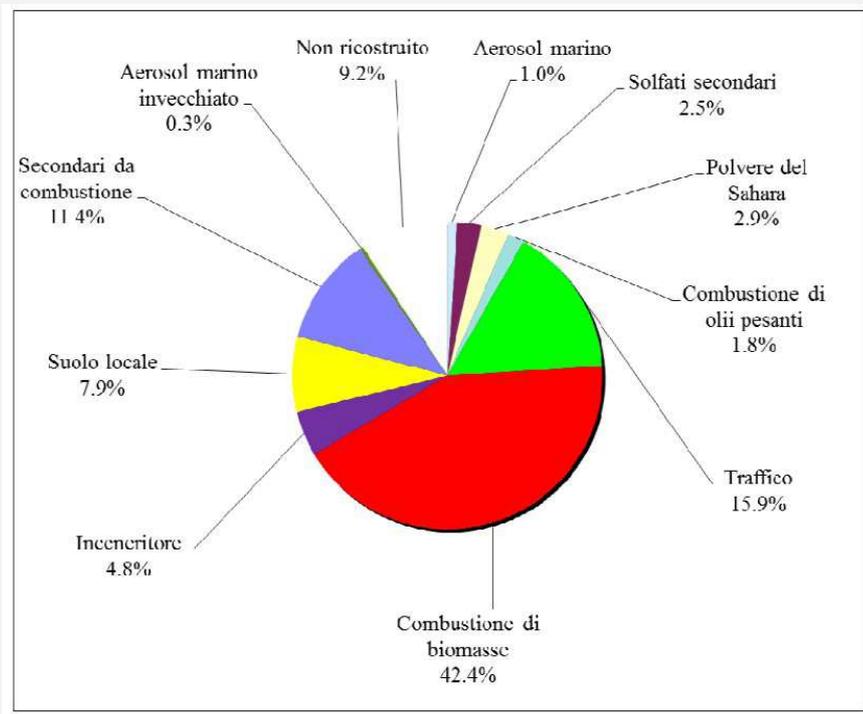


Figura S3.11 Contributi percentuali delle varie componenti del PM10 nei soli giorni di superamento

S4 - Scheda di approfondimento: Agglomerato di Firenze (a cura della Regione Toscana)

La rete di monitoraggio ed i dati di qualità dell'aria

Rispetto alle altre zone in cui è stato suddiviso il territorio regionale, l'Agglomerato di Firenze, composto dai comuni di Bagno a Ripoli, Calenzano, Campi Bisenzio, Firenze, Lastra a Signa, Scandicci, Sesto Fiorentino e Signa, per un totale di 612799 abitanti su un territorio di 452 km², ha avuto una genesi particolare. Infatti fin dalla prima classificazione del territorio regionale del 2000, e quindi molto prima dell'entrata in vigore della normativa attualmente vigente DLgs del 13 agosto 2010, n. 155, e prima che fossero disponibili le applicazioni modellistiche per definire la rappresentatività spaziale delle centraline, i Comuni ricadenti nell'agglomerato erano stati individuati come area omogenea sulla base delle interazioni socio economiche tra il Comune di Firenze e gli altri comuni della cintura. Già allora infatti vi era la consapevolezza che solo misure su un'area più vasta del singolo Comune di Firenze si potevano incidere sui livelli di qualità dell'aria. Tale aggregazione di Comuni è stata sempre riconfermata anche nelle successive zonizzazioni del territorio regionale fino all'ultima di cui alla DGR 964 del 12-10-2015

Nella tabella sottostante è riportata la struttura della rete regionale che insiste nell'agglomerato

Denominazione	PM ₁₀	PM _{2,5}	NO ₂	SO ₂	CO	Benz.	B(a)P	As	Ni	Cd	Pb	O ₃
FI-SETTIGNANO			X									X
FI-BOBOLI	X											
FI-BASSI	X	X	X	X		X	X					
FI-SCANDICCI	X		X									
FI-SIGNA	X		X									X
FI-GRAMSCI	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	
FI-MOSSE	X		X									

Rispetto alla stazioni della rete minima previste dalla normativa, si sono affiancate stazioni aggiuntive che potessero nel contempo ampliare l'ambito di conoscenza del territorio dell'agglomerato. In particolare relativamente agli inquinanti di maggiore criticità, biossido di azoto, materiale particolato fine PM10 e PM2,5 ed ozono la rete è stata definita secondo i criteri sotto riportati.

Biossido di azoto (NO₂)

L'inquinante è sopra la SVS. Il minimo calcolato è di 2 punti di misura uno di fondo urbano (FI-Bassi) ed uno da traffico urbano (FI-Gramsci) a cui va aggiunto 1 punto di misura per garantire il numero minimo di punti di misura da affiancare alle misure di ozono (FI-Settignano).). A questa struttura minima sono stati previsti n. 3 punti di misura aggiuntivi (FI-Scandicci, FI-Mosse, FI-Signa) per affiancare le misure di PM10.

Particolato PM10

L'inquinante è sopra la SVS. Il minimo calcolato è di 2 punti di misura, uno di fondo urbano (FI-Bassi) ed uno da traffico urbano (FI-Gramsci), a cui sono stati previsti 4 stazioni aggiuntive di cui: n. 1 punto di misura aggiuntivo di tipo traffico (FI-Mosse) per la necessità di monitorare i livelli di PM10 in 2 siti UT diversi per intensità e tipologia di strada quali la strada a canyon (FI-Mosse) e viale aperto (FI-Gramsci); n. 2 punti di misura aggiuntivi di fondo urbano (FI-Scandicci e FI-Signa) così da avere una corretta rappresentatività delle varie situazioni di fondo, data la densità di popolazione residente e la complessità orografica dell'agglomerato che risulta circondato da colline da un lato e aperto verso la pianura dall'altro; n. 1 sito di fondo urbano (FI-Boboli) per la misura del livello di minimo cittadino lontano da sorgenti di emissione. La stazione è situata nel giardino storico di Boboli e rappresenta una delle stazioni con le maggiori serie storiche per questo inquinante

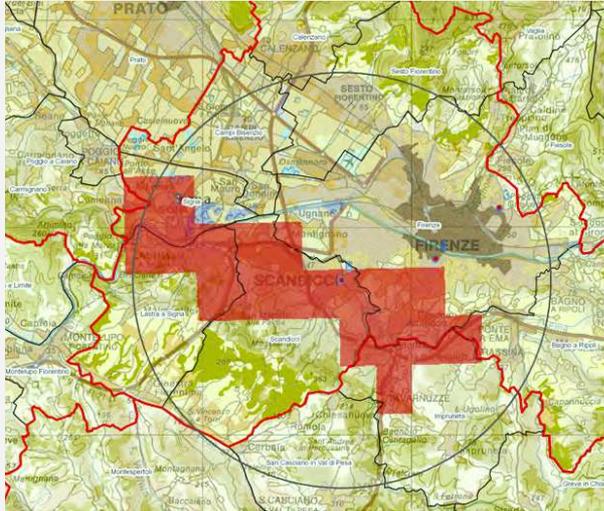
Particolato PM_{2,5}

L'inquinante è sopra la SVS. Il minimo calcolato è di 1 punto di misura che è stato quindi posizionato nella stazione di fondo urbano (FI-Bassi) in parallelo al PM10. Considerata l'estrema importanza della componente traffico all'interno dell'agglomerato, per verificare gli andamenti nella ripartizione della granulometria del particolato si è deciso di mantenere anche la misura del PM2.5 nella principale stazione da traffico dell'agglomerato (FI-Gramsci) in parallelo al PM10

Ozono

L'inquinante è > OLT. Il minimo calcolato è di 2 punti di misura, uno nella stazione urbana (FI-Signa) ed uno in area suburbana (FI-Settignano). Per questo inquinante non si sono previste stazioni aggiuntive

Relativamente alla copertura dell'agglomerato con le centraline della rete regionale di rilevamento, si riporta a titolo di esempio nella figura seguente la rappresentatività della stazione di fondo di FI-Scandicci per il materiale particolato fine PM10 che rappresenta l'unico inquinante su cui si ha una criticità legata alle stazioni di fondo, per le quali si sono stimate la rappresentatività spaziale.



Per quanto attiene i dati di qualità dell'aria, nell'agglomerato si sono registrati criticità oltre che per l'ozono, per il quale la criticità riguarda l'intero territorio regionale, anche per il materiale particolato fine PM10 relativamente al numero dei superamenti del valore limite giornaliero di 50 µg/m³ oltre i 35 permessi e per il biossido di azoto NO₂ relativamente al superamento del valore limite di media annuale di 40 µg/m³. Nelle tabelle sottostanti sono riportati i valori registrati per questi inquinanti nelle stazioni dell'agglomerato a partire dall'anno 2010.

STAZIONE	PM10 – superamenti V.L. media giornaliera (50 µg/m ³) - 35 superamenti permessi						
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
FI – SCANDICCI	38	37	23	22	5	10	15
FI – BASSI	13	19	11	17	4	9	12
FI – BOBOLI	10	17	7	18	3	5	5
FI – SIGNA					26	33	26
FI-GRAMSCI	65	55	46	38	19	26	24
FI-MOSSE	66	59	69	46	11	14	16

NO ₂ concentrazioni medie annuali V.L. = 40 µg/m ³						
2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
34	32	33	29	28	30	28
34	38	30	23	22	25	23
				21	24	21
102	103	82	62	65	63	65
13	13	14	10	8	10	9
87	67	67	59	45	46	41

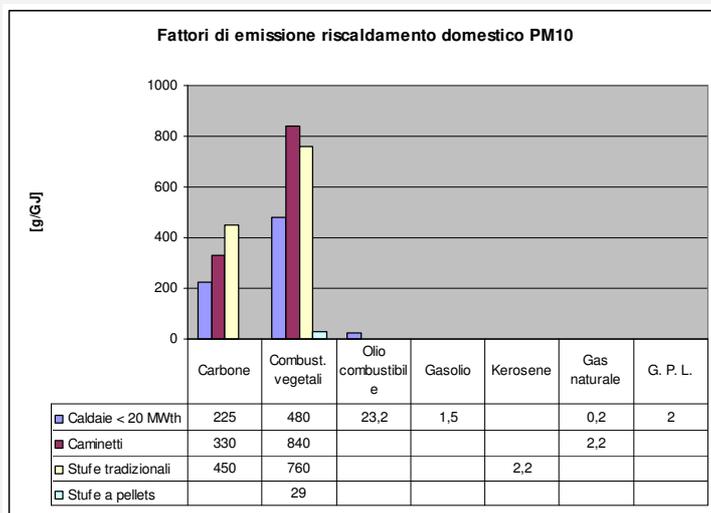
La criticità per il materiale particolato fine PM10

Relativamente alle emissioni, si rimanda alle parti generali del quadro conoscitivo. Di seguito si riportano i dati di dettaglio per il settore riscaldamento domestico, che rappresenta la principale sorgenti di inquinamento insieme al traffico (vedi oltre risultati del progetto PATOS).

	NO _x	PM ₁₀	PM _{2,5}
02010400 Terziario Caldaie < 20 MWth	108,16	3,90	3,12
02020300 Domestico Caldaie < 20 MWth	438,67	63,79	62,52
02020620 Domestico Caminetti	15,09	253,60	247,56
02020630 Domestico Stufe tradizionali	7,17	108,99	106,12
02020632 Domestico Stufe a pellets	0,60	0,22	0,22
Totale	569,69	430,50	419,53

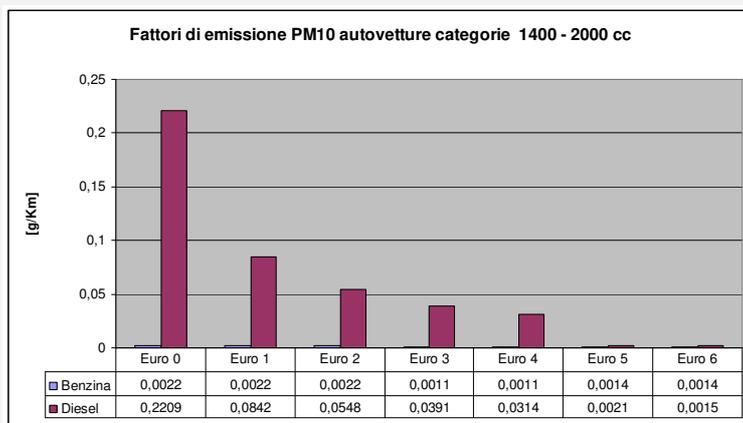
Per il riscaldamento domestico la quasi totalità delle emissioni di PM10 primario, pari a ~ 99%, è da attribuire alla combustione delle biomasse. Infatti come si evince dal seguente grafico, a parità di energia prodotta la quantità di PM10 emessa dai caminetti è 4.200 volte quella emessa da una caldaia a metano.

Ciò spiega come anche a fronte di una limitata diffusione di questi sistemi per il riscaldamento, il loro impatto sulla qualità dell'aria sia molto significativo



Analoghe considerazioni valgono per quanto riguarda gli abbruciamenti all'aperto dei residui vegetali. Relativamente alla sola pratica dell'olivo è possibile effettuare stima grezza utile per avere un'idea a livello di ordine di grandezza delle emissioni attribuibili a questa pratica agricola. Si stima una produzione di residui di 1,7 tonn/ha. Considerando anche un loro smaltimento con abbruciamenti sia pari al 50%, stima che appare alquanto in difetto, dato che le superfici coltivate ad olivo nella provincia di Firenze ammontano a 25.093 ha e applicando un fattore di emissione analogo a quello applicato per i caminetti aperti fattore questo in difetto, (in realtà l'abbruciamento all'aperto presenta fattori di emissioni molto maggiori che dipendono da molti fattori quali la temperatura esterna, il grado di umidità, ecc.) si può stimare una emissione di 12 kg/h per un valore complessivo, stimato in difetto, di 299 tonn. Pari a circa il 7% del totale delle emissioni di particolato della provincia di Firenze

Relativamente al traffico locale si osserva come le emissioni di PM10 primario da veicoli diesel siano quelle più rilevanti. Infatti, come si evince dal grafico dei fattori di emissione riportato a lato, solo con le ultime motorizzazioni (Euro 5 ed Euro 6) le emissioni di particolato sono sostanzialmente le stesse tra le autovetture a benzina e diesel

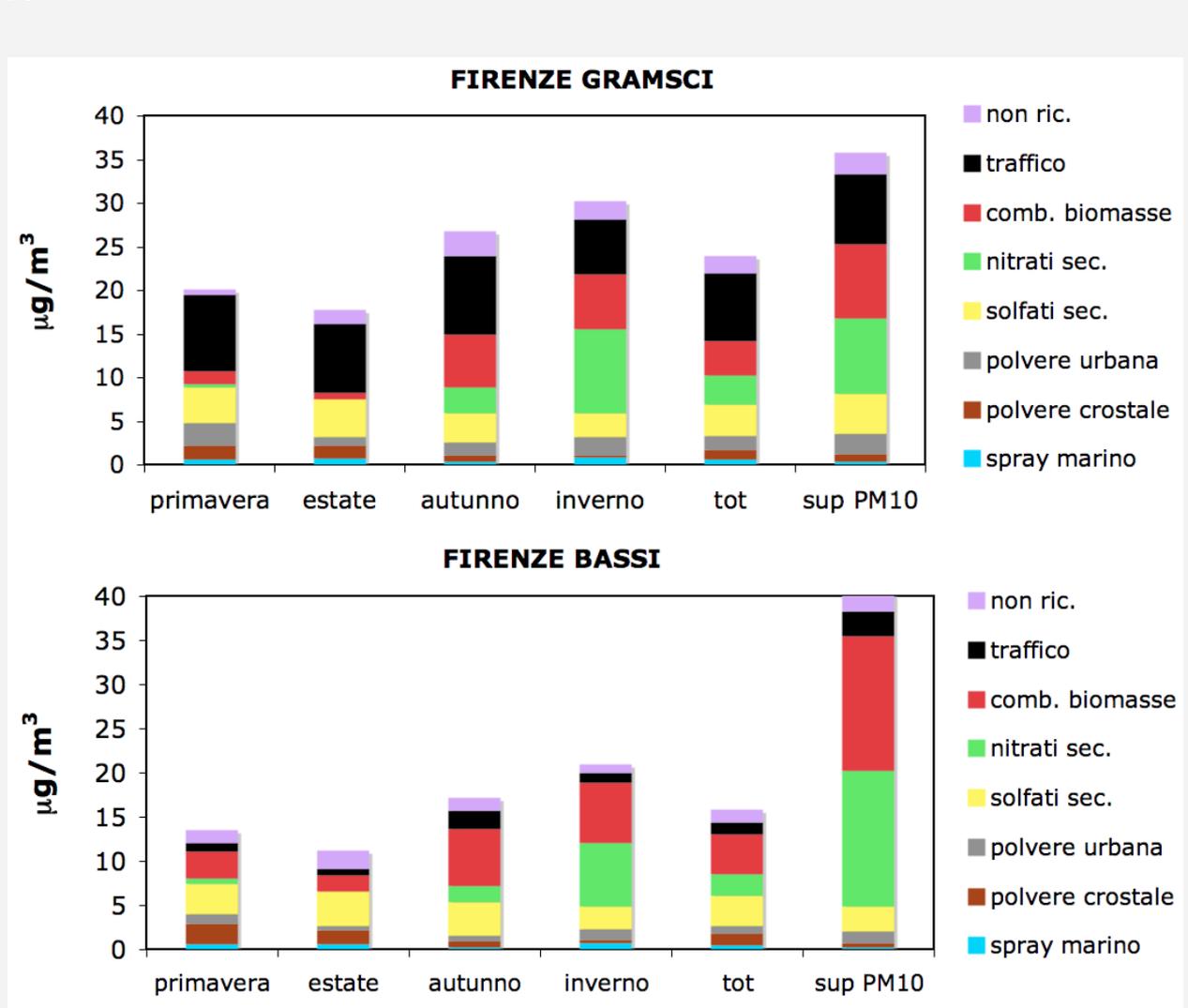


Deve essere sottolineato che anche se il peso del traffico all'inquinamento di PM10 è diminuito nell'ultimo periodo a causa del rinnovo del parco circolante, il PM10 emesso dai veicoli diesel rappresenta quello con il livello più alto di morbosità. Risulta quindi opportuno continuare nella politica di riduzione di queste tipologia di emissioni

I risultati del progetto regionale PATOS (Particolato Atmosferico in TOScana)

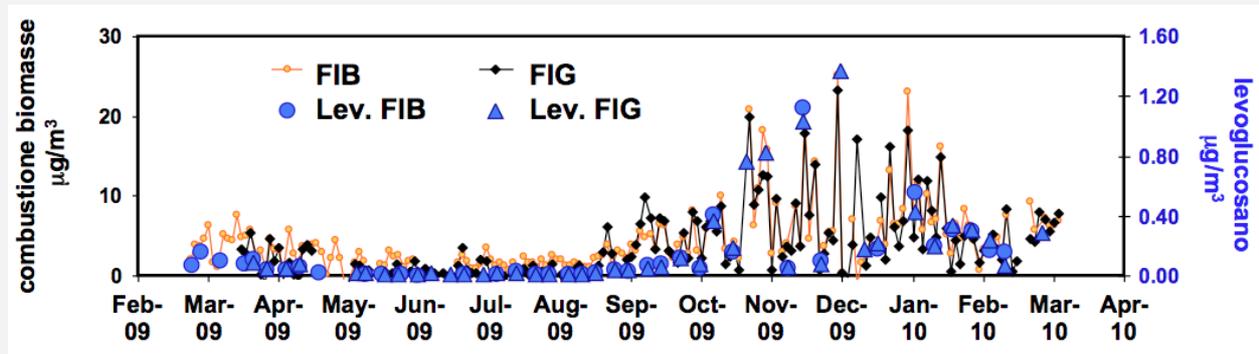
I risultati delle ultime indagini condotte nell'ambito del progetto regionale PATOS nell'agglomerato di Firenze, hanno mostrato come in occasione dei superamenti del valore limite giornaliero di PM10, tutti sostanzialmente concentrati nel periodo invernale da novembre a marzo, il contributo derivante dalla combustione delle biomasse è di gran lunga maggioritario rispetto a quello derivante da traffico nelle stazioni di tipo fondo, anche in un'area altamente urbanizzata come il Comune di Firenze. Si vedano a questo proposito i grafici sottostanti che se anche si riferiscono al materiale particolato fine PM2,5 permettono comunque di avere una idea precisa del fenomeno

Nelle Figure seguenti sono riportati i contributi assoluti medi ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) delle sorgenti di maggior peso ("traffico", "combustione di biomasse", "solfati secondari" e "nitrati secondari") per i due siti dell'agglomerato oggetto di indagine FI-Bassi (FIB) e FI-Gramsci (FIG), su tutto il periodo di campionamento e nelle diverse stagioni e durante i giorni in cui c'è stato superamento del limite di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sulla concentrazione del PM10.



La sorgente legata al traffico veicolare, composta prevalentemente da carbonio organico OC e carbonio elementare EC (e caratterizzata da specifici elementi traccianti, quali EC, Fe, Cu e Zn), dà dei contributi molto elevati nella stazione urbana-traffico FI-Gramsci (in media $7.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, corrispondenti al 33% del PM2.5). Come era ragionevole aspettarsi, il peso di questa sorgente risulta decisamente più basso nel sito urbano-fondo FI-Bassi.

La sorgente “combustione di biomasse”, composta principalmente da OC ed EC (e caratterizzata da traccianti quali K, Cl, Zn, Br e Pb), dà viceversa un contributo assoluto confrontabile nei due siti fiorentini: 3.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (16% del PM2.5) a FI-Gramsci e 4.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (29% del PM2.5) a FI-Bassi. L'andamento temporale (vedi Figura sotto), assolutamente analogo nei due siti, è caratterizzato da una forte stagionalità, con valori molto elevati durante l'inverno (oltre i 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), e praticamente nulli in estate. In Figura sono anche riportate le concentrazioni del levoglucosano, noto tracciante della combustione di biomasse: come si può vedere la correlazione con l'andamento della sorgente è molto buono. E' interessante notare come il peso di questa sorgente sia particolarmente elevato durante i giorni di superamento del limite giornaliero del PM10 (la differenza che si osserva in questo caso fra FIG e FIB è dovuta al fatto che i giorni di superamento non sono gli stessi per i due siti).



Andamento temporale dalla sorgente “combustione di biomasse” nei due siti di Firenze (FIG e FIB). Per confronto sono riportate le concentrazioni di Levoglucosano (misurate su un numero ridotto di campioni), tracciante specifico di questo tipo di emissioni

Il fattore “solfati secondari”, composto principalmente da solfato e ammonio, ma, in minor misura, anche da composti organici (POM secondario), è da associarsi alla componente secondaria regionale del particolato, principalmente legata ai solfati. Questi ultimi sono infatti dei composti secondari che si formano in atmosfera a partire dal biossido di zolfo, prevalentemente emesso da impianti termo-elettrici per la produzione di energia, e da idrogeno solforato, emesso dallo sfruttamento della risorsa geotermica, e subiscono una veloce distribuzione sul territorio regionale. L'andamento stagionale di questa sorgente, caratterizzato da valori più alti in estate, è confrontabile nei tre siti, così come il contributo medio assoluto: 3.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (15% del PM2.5) a FIG, 3.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (22% del PM2.5) a FIB.

Il fattore “nitrati secondari”, composto principalmente da nitrati e ammonio, ma anche da composti organici (POM secondario), è da associarsi ad una componente secondaria di origine prevalentemente locale. I nitrati sono infatti principalmente prodotti dall'ossidazione in atmosfera degli ossidi di azoto, a loro volta prodotti prevalentemente da processi di combustione locali, fra cui il riscaldamento e il traffico. Anche questa sorgente mostra un andamento simile nei due siti di Firenze, ma con differenze apprezzabili nei contributi assoluti: 3.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (14% del PM2.5) a FIG e 2.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (15% del PM2.5) a FIB, probabilmente dovute al maggior contributo da traffico in FIG. In entrambi i siti, l'andamento temporale è comunque caratterizzato da una forte stagionalità, con valori più alti durante l'inverno, e praticamente nulli in estate. Questa stagionalità può essere spiegata sia dalla presenza della sorgente riscaldamento durante i mesi più freddi sia dalle condizioni meteorologiche (maggiore dispersione degli inquinanti locali e maggiore volatilità dei nitrati durante l'estate). E' importante notare il contributo elevato di questa sorgente durante i giorni di superamento del limite sul PM10.

Le due sorgenti “polvere crostale” e “polvere urbana risolleata” sono composte prevalentemente da elementi di origine crostale (Mg, Al, Si, K, Ca, Ti, Fe). Mentre per la prima i rapporti fra questi elementi sono molto simili a quelli tipici della crosta terrestre, per la seconda si osserva un arricchimento di Ca e Fe, oltre ad una maggiore contaminazione di EC, OC, solfati e nitrati.

L'andamento della sorgente “polvere crostale” risulta molto correlato e con valori assoluti molto simili nei due siti di Firenze (circa 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in media), con picchi di breve durata in corrispondenza di episodi di trasporto di masse d'aria dal Sahara

L'andamento della sorgente “polvere risolleata” è invece molto diverso nei due siti fiorentini, con valori più alti nel sito di traffico (in media: 1.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a FIG e 0.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a FIB). Sulla base di questi risultati sembra ragionevole associare la prima sorgente ad un contributo crostale-minerale “pulito” probabilmente trasportato da fuori città, che include anche i contributi di tipo sahariano (che impattano simultaneamente su tutto il territorio regionale), e la seconda ad un crostale di tipo “urbano”, probabilmente legato al risolleamento locale da traffico, contaminato con Ca, Fe ed EC, elementi che possono derivare dall'usura di freni, pneumatici e asfalto (il Ca può essere anche associato a materiali di tipo edilizio).

La sorgente "spray marino", caratterizzata principalmente da Na, Mg e Cl, risulta contaminata da OC, nitrati e solfati, ed impoverita di Cl (rispetto alla composizione del sale marino). Come noto da letteratura, questo può essere causato da reazioni eterogenee, che avvengono durante il trasporto dalla costa all'area fiorentina, fra il cloruro di sodio presente nel particolato e gli acidi nitrico e solforico presenti in atmosfera. L'andamento di questa sorgente è caratterizzato da picchi simultanei nei diversi siti, in corrispondenza dell'arrivo di masse d'aria dal mare. Il contributo medio è in ogni caso modesto (circa 0.5 µg/m³).

La criticità per il biossido di azoto NO₂

A partire dal 2010 per quanto riguarda il biossido di azoto (NO₂) si sta assistendo di anno in anno ad una riduzione dei valori misurati. Persistono tuttavia situazioni di parziale criticità dovute al superamento del valore limite della media annuale in alcune stazioni di tipo urbana traffico, di alcuni capoluoghi di provincia, ubicate lungo arterie stradali particolarmente caratterizzate da intenso traffico veicolare.

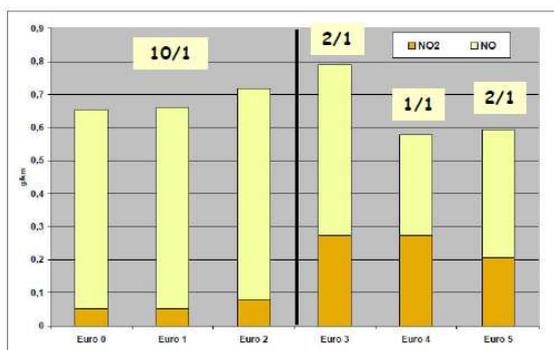
Oltre ai dati di rete regionale, sono stati considerati anche valori di stazioni di rete provinciali, così come indicato nelle note della tabella seguente.

Considerata la limitata rappresentatività spaziale delle stazioni traffico, i dati evidenziano che per questo inquinante le criticità possono ritenersi limitate alle città ove sono stati rilevati i superamenti e circoscritte alle principali arterie stradali. Al riguardo si deve osservare che detto fenomeno si può riscontrare in quasi tutte le aree altamente urbanizzate del territorio italiano ed europeo.

Il biossido di azoto NO₂ si forma in generale in atmosfera a partire dal monossido di azoto NO. Deve essere ricordato che la formazione di monossido di azoto e più in generale degli ossidi di azoto NO_x è tipica di qualsiasi processo di combustione indipendentemente dalla tipologia di materiale combusto (metano, gasolio, legna, ecc..).

Deve però essere messo in evidenza che la contemporanea generale assenza negli ultimi anni del superamento del valore limite annuale nelle stazioni di fondo, che per la loro ubicazione misurano il contributo di più sorgenti emissive, indica chiaramente che lungo le arterie stradali ad alto traffico i valori più elevati della media annua misurati dalle stazioni traffico siano da attribuire al contributo delle emissioni del parco veicolare.

Recenti studi hanno infatti evidenziato l'incidenza delle nuove tecnologie di abbattimento delle polveri sottili per i veicoli diesel che, a fronte di questa performance ambientale sul PM₁₀, e a parità di emissioni complessive di ossidi di azoto (NO + NO₂), presentano minori emissioni di NO, ma maggiori livelli di emissione di NO₂. La stima della quota di biossido di azoto direttamente emessa dalle nuove motorizzazioni è significativamente aumentata per le motorizzazioni da Euro 3 a Euro 5 inclusa, persino se confrontata con le vetture Euro 0. Nel grafico seguente sono riportate le emissioni di NO e NO₂ per le varie tipologie di vetture diesel ed i rapporti NO/NO₂.



HBEFA - Environmental Protection Agencies of Germany, Switzerland and Austria

Per quanto sopra indicato è utile stimare le emissioni dirette di NO₂ rispetto a quelle di NO_x per il traffico. Nella tabella seguente sono riportate le stime basate sulla composizione del parco veicolare al 2015 così come fornito dai dati ACI . Le stime si riferiscono alle sole automobili. Si ipotizza per semplicità un percorso per ciascuna autovettura di 10.000 Km/anno realizzati nel territorio dell'agglomerato.

autovetture 2015 423.906	AGGLOMERATO DI FIRENZE							
	t NO ₂				t NO _x			
	Benzina	Diesel	Gpl	metano	Benzina	Diesel	Gpl	metano
Euro 0	13,3	3,2	2,1	0,0	332,0	21,2	41,8	0,0
Euro 1	0,4	1,1	0,1	0,0	38,3	8,3	2,2	0,0
Euro 2	3,3	7,2	0,1	0,0	82,0	55,2	2,5	0,0
Euro 3	1,0	30,3	0,0	0,0	33,8	112,1	0,9	0,0
Euro 3 con dpf	0,0	57,2	0,0	0,0	0,0	112,1	0,0	0,0
Euro 4	1,3	157,1	0,3	0,1	41,7	341,6	5,8	3,1
Euro 5	0,6	136,3	0,2	0,1	21,1	413,0	4,0	3,3
Euro 6	0,1	4,0	0,0	0,0	4,1	13,2	0,9	0,8
Totale	20,0	396,3	2,9	0,2	553,0	1076,8	58,0	7,2

Dato che i dati ACI non forniscono il dettaglio della presenza del dispositivo antiparticolato (dpf) per le autovetture diesel euro 3. Per i calcoli si è ipotizzato la presenza del dispositivo nel 50% delle vetture.

Si precisa inoltre che le emissioni indicate devono essere prese solo per un riferimento relativo e non come valori assoluti. I dati di emissione da traffico per l'anno 2015 infatti saranno forniti dall'aggiornamento a tale anno dell'inventario IRSE tenendo conto di una reale stima di percorrenza diversificata per tipologia di veicolo

Come si può notare la quasi totalità del biossido di azoto NO₂ emesso dalle autovetture riguarda i veicoli diesel Euro 3, Euro 4 ed Euro 5.

Deve essere sottolineato che rispetto all'emissione della molecola di biossido di azoto NO₂ direttamente dallo scappamento dei veicoli diesel sopra indicati, rilevabile direttamente dalle centraline di traffico, l'emissione della molecola di NO richiede, per la sua trasformazione in NO₂, tempi tali da consentirne la sua dispersione su una area vasta e quindi contribuire solo marginalmente al superamento del valore limite registrato nelle centraline di traffico.

S5 - Scheda approfondimento: Il contributo delle polveri sahariane nell'anno 2016

I contributi naturali, quali le avvezioni sahariane, che hanno interessato il territorio regionale nell'anno 2016, sono stati valutati secondo gli indirizzi definiti dalla "linea guida [SEC(2011) 2008 final] per la dimostrazione e la detrazione dei superamenti imputabili alle fonti naturali ai sensi della Direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa" predisposta dalla Commissione di Lavoro il 15/2/2011.

stazione	Numero Superamenti 2016	Numero Superamenti con sottrazione contributi sahariani 2016
AR-Casa-Stabbi	1	0
AR-Repubblica	27	24
FI-Figline	28	26
FI-Gramsci	24	22
FI-Mosse	16	15
FI-Scandicci	15	14
GR-Sonnino	10	6
LU-Fornoli	30	29
LU-Micheletto	35	34
LU San Concordio	33	32
MS-Colombarotto	4	2
MS-Marina Vecchia	10	8
PI-Borghetto	24	23
PO-Ferrucci	26	24
PO-Roma	31	30
SI-Bracci	4	2

In relazione alla normativa che disciplina la qualità dell'aria (art. 15 comma 1 del D.Lgs. 155/2010 ed il corrispondente art. 20 della Direttiva 2008/50/CE) ed agli indirizzi definiti dalla LG sopra indicata, i contributi relativi alle avvezioni sahariane sono stati sottratti nelle stazioni di misurazione appartenenti alla rete regionale della qualità dell'aria, che hanno registrato, in concomitanza all'episodio avvertivo, valori medi giornalieri di materiale particolato PM10 superiori al valore limite. L'individuazione degli episodi di avvezione, è stata effettuata mediante analisi dei valori medi giornalieri di PM10 registrati dalle stazioni di fondo regionale di Casa Stabbi (Chitignano -AR) e Montecerboli (Pomarance - PI) e successiva interpretazione delle situazioni meteorologiche giornaliere mediante il modello HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory, versione 4; Draxler e Rolph, 2003; <http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html>) predisposto dalla NOAA (National Oceanics and Atmospheric Administration USA) attraverso l'Air Resources Laboratory. Il modello ha elaborato le retrotraiettorie riferite ai 5 giorni precedenti, rispetto al giorno di studio, previste alle ore 12 e per

altezze di 750, 1500 e 2500 metri sul livello del mare. Le conclusioni tratte dall'analisi delle retrotraiettorie, sono state convalidate dall'esame dei dati meteorologici (report mensili) registrati dal Consorzio LaMMA e dalle elaborazioni ottenute dal modello BSC-DREAM (<http://www.bsc.es/projects/earthscience/DREAM/>) implementato presso l'Earth Sciences Division of the Barcelona Supercomputing Center, il quale restituisce la distribuzione spaziale della concentrazione di polvere (mineral dust) prevista nel livello più basso dell'atmosfera. La quantificazione degli episodi è stata effettuata mediante l'elaborazione di due parametri statistici (media delle concentrazioni di PM10 registrate durante i 15 giorni prima ed i 15 giorni dopo l'episodio di avvezione, ed il 50° percentile dei 30 giorni precedenti l'episodio).

Nell'anno 2016 sono stati individuati nel territorio regionale 10 episodi di avvezioni sahariane; tali eventi naturali, caratterizzati da occasionalità, hanno avuto una frequenza significativa nella primavera e nell'autunno ed una durata limitata, al massimo di tre giorni. I contributi giornalieri medi, relativi ai episodi di avvezione, rispetto alla concentrazione totale di PM10, sono stati del 69 % (riferito alla stazione di misurazione di Casa Stabbi) e del 56 % (riferito alla stazione di misurazione di

Montecerboli). Dai 318 giorni di superamento del valore limite dell'indicatore relativo alla media giornaliera di PM10 registrati nell'anno 2016 dalle stazioni di misurazione esaminate (ad esempio: Fi-Gramsci, Fi-Mosse, Fi-Scandicci, Fi-Figline, Lu-Fornoli, Lu-Micheletto, Lu-San Concordio, Pi-Borghetto, PO-Ferrucci, PO-Roma), sono stati sottratti, in relazione all'analisi dei contributi sahariani, 27 giorni di superamento, corrispondenti al 8,5 % dei casi. Tra questi, la situazione più significativa è rappresentata dalla stazione di LU-Micheletto, nella quale l'operazione della differenza determina il passaggio da 35 a 34 superamenti/anno, valore poco sotto la soglia dei casi ammessi dalla normativa. Dal punto di vista della valutazione di conformità al limite è da rilevare che l'operazione di sottrazione dei contributi sahariani risulta poco significativa perché ha riguardato stazioni di misurazione conformi al limite già prima della sottrazione dei contributi (nessuna delle stazioni esaminate superava i 35 superamenti/anno).

4.2 Analisi dei livelli di concentrazione del biossido di azoto (NO2)

Nel 2016 è stata confermata la criticità del fattore traffico, infatti i valori medi annuali più alti sono stati registrati, infatti, nelle 8 stazioni di traffico urbano della rete regionale. Il numero di stazioni superiori al limite sulla media annuale si è ridotto nei successivi anni.

I livelli di concentrazione rilevati nel corso dell'ultimo decennio presso stazioni di tipo traffico presentano valori molto maggiori rispetto a quelli rilevati presso stazioni di fondo; sebbene nei primi anni si siano registrati superamenti del valore limite sulla media annua di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ presso siti di fondo, a partire dal 2010 le uniche stazioni che presentano superamenti sono quelle di traffico anche se in numero minore e con valori di concentrazione sempre più bassi negli ultimi anni (Figura 19).

Come si può osservare meglio in Figura 20 i livelli di concentrazione rilevati presso siti di traffico sono sensibilmente maggiori di quelli rilevati presso stazioni di fondo; già i valori del primo quartile delle stazioni di traffico sono confrontabili con i valori più alti rilevati presso le stazioni di fondo.

Il limite di 18 superamenti della media oraria di $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ è, invece, stato rispettato in tutte le stazioni di Rete Regionale nel corso del decennio 2007-2016 fatta eccezione per le stazioni di traffico di FI-Mosse e FI-Gramsci che hanno presentato superamenti rispettivamente negli anni negli anni 2008, 2010-2012; negli ultimi quattro anni non sono stati registrati superamenti di tale valore limite

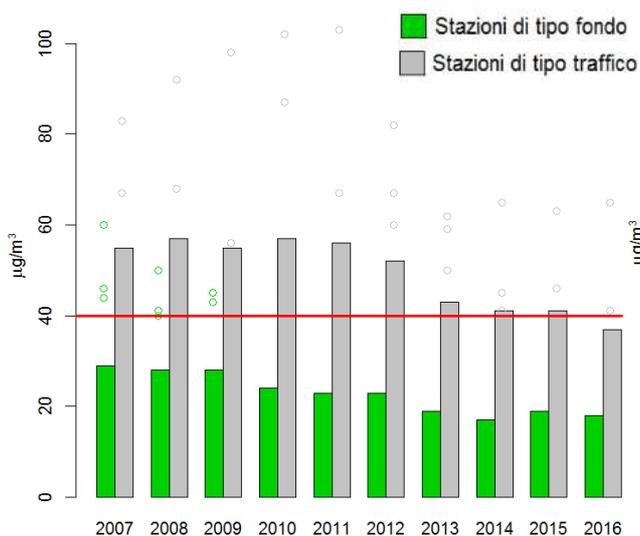


Figura 19. Andamento della media annuale regionale di NO₂

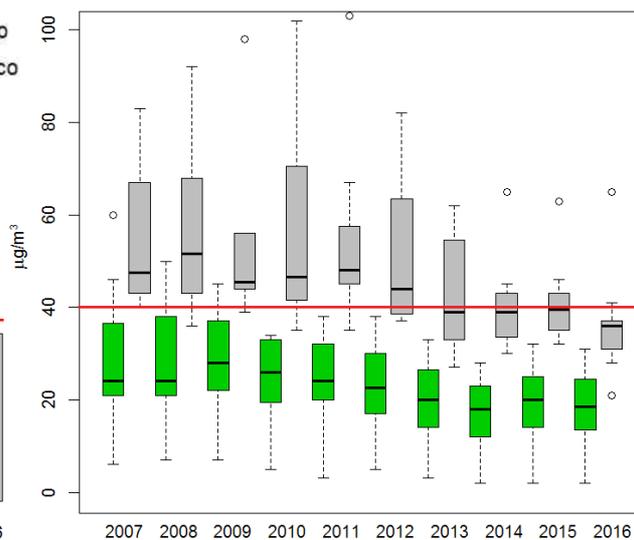


Figura 20. Distribuzione dei valori medi annuali di NO₂

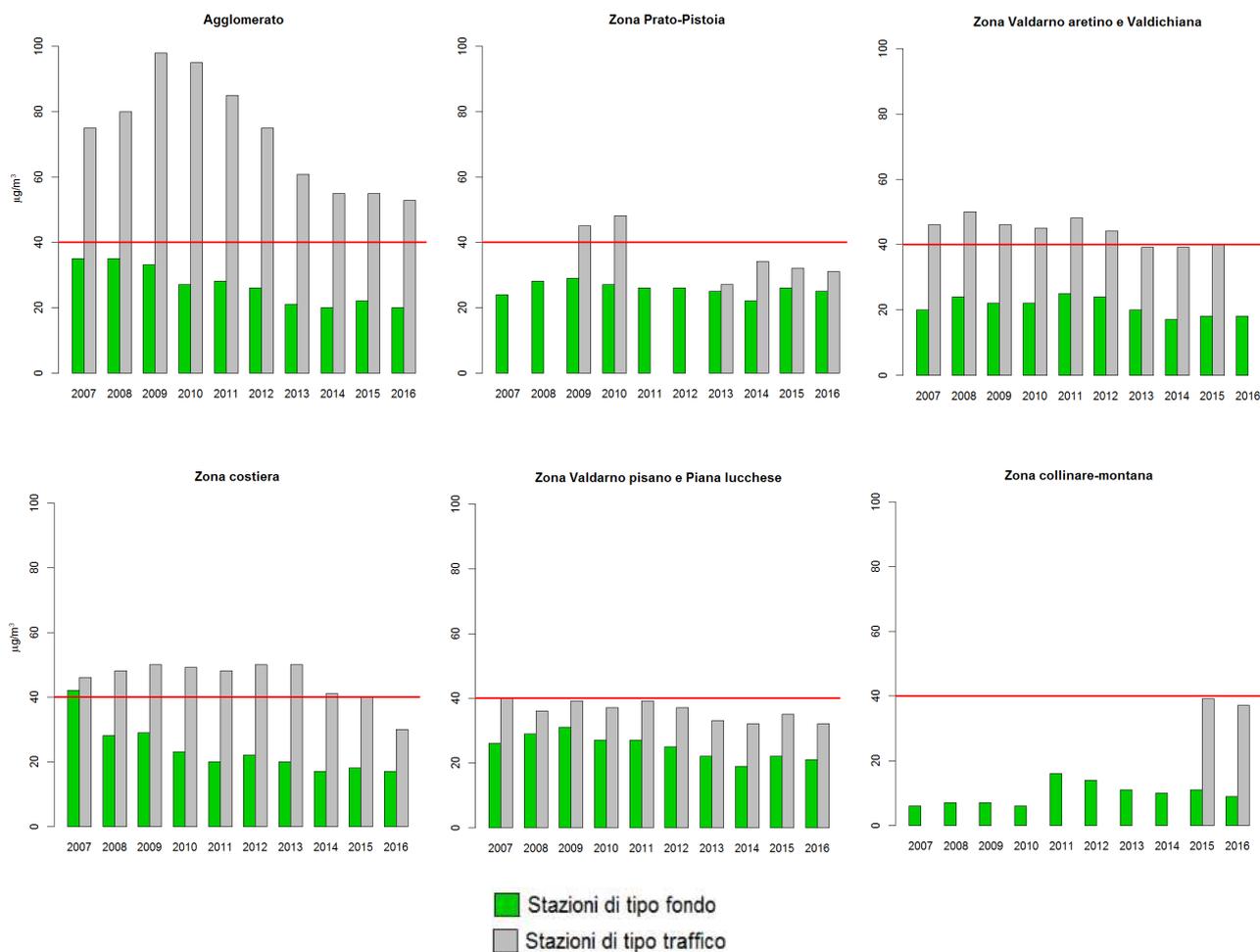


Figura 21. Andamento della media annuale di NO₂ per zone e agglomerato

Lo stesso andamento dei livelli medi di concentrazione si può osservare per tutte le zone individuate nella zonizzazione regionale, compreso l'agglomerato. L'incremento dei valori medi annui osservabile per la zona Collinare-Montana è dovuto all'introduzione in rete di due nuove stazioni di tipo urbana fondo nel corso dell'anno 2010 (SI-Poggibonsi e LU-Fornoli) che registrano valori mediamente superiori rispetto alle due stazioni già presenti nella zona (PI-Montecerboli, di tipo Suburbana fondo e AR-Casa Stabbi, di tipo rurale fondo); per tutte e quattro le stazioni della zona si registra, comunque, una diminuzione del livello medio di concentrazione (Figura 21).

Quanto sopra osservato è valido anche in riferimento alle soglie individuate per il biossido di azoto dall'OMS in quanto questi ultimi coincidono con i limiti indicati nel D.Lgs.155/2010.

L'analisi statistica dei dati¹² del periodo 2003–2016 mostra un trend decrescente statisticamente significativo per circa il 70% delle stazioni di fondo della rete regionale di monitoraggio. Anche l'andamento della serie storica dei livelli di concentrazione di biossido di azoto (NO₂) in stazioni di tipo traffico/industriale è di tipo decrescente in quasi tutte le stazioni della rete regionale di monitoraggio (7 stazioni su 8); solo due stazioni non presentano un trend statisticamente significativo (FI-Gramscii e LU- Micheletto). Il valore mediano dei trend decrescenti statisticamente significativi di NO₂ è di -0.9 µg/m³ all'anno con variazioni anche significative tra le varie zone (Figura 22).

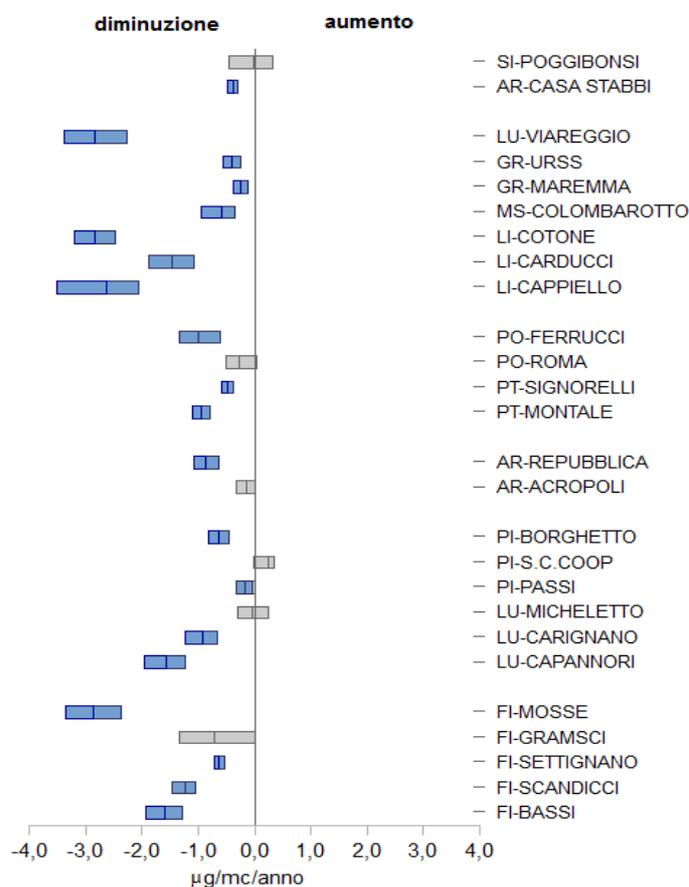


Figura 22. Trend delle concentrazioni medie orarie di NO₂ (2003-2016)

4.3 Analisi dei livelli di concentrazione dell'ozono (O3)

L'analisi dei dati relativi al decennio 2007-2016 conferma la criticità del rispetto del valore obiettivo per la protezione della salute umana (n. medie massime giornaliere di 8 ore superiori a 120 µg/m³, dato dalla media dei valori degli ultimi tre anni) per tutte le zone, sebbene negli ultimi anni siano stati rilevati un numero minore di superamenti della soglia di informazione di 180 µg/m³ e non sia stato mai rilevato alcun superamento della soglia di allarme di 240 µg/m³ (Figura 24 e 25).

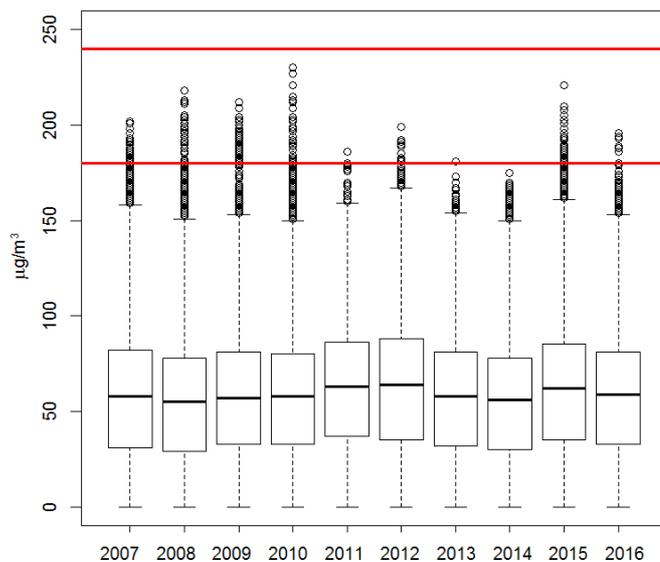


Figura 24. Ozono - andamento medie orarie

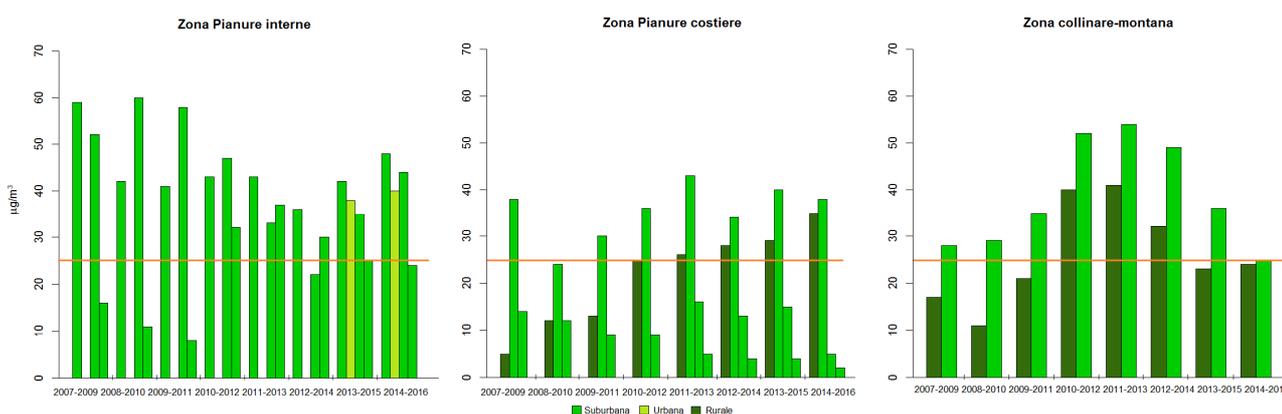


Figura 25. Ozono - valore obiettivo per la protezione della salute umana

L'analisi statistica dei dati¹³ del periodo 2003–2016 mostra un trend crescente statisticamente significativo per due delle nove stazioni di monitoraggio della rete regionale di monitoraggio per le quali è stato possibile applicare un approccio di tipo statistico; per le altre stazioni non è possibile

individuare un trend statisticamente significativo (Figura 26). Il valore mediano dei trend delle due stazioni con trend crescente statisticamente significativo è pari a $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

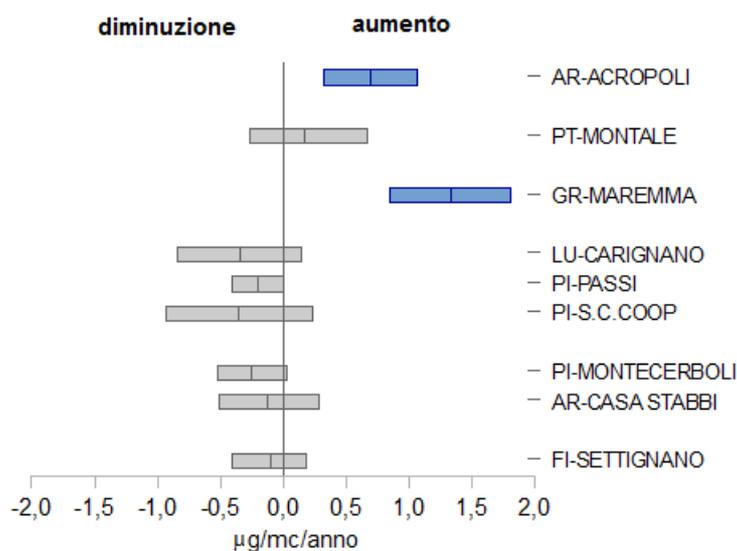


Figura 26. Trend delle concentrazioni medie orarie di ozono (2003-2016)

4.4 Inquinanti che rispettano i valori limite

Monossido di carbonio (CO)

Il parametro indicato dal D.Lgs155/2010 per valutare il monossido di carbonio è la massima media giornaliera trascinata su 8 ore, da confrontare con il valore limite di $10 \text{ mg}/\text{m}^3$. I valori registrati negli ultimi dieci anni mostrano una situazione nettamente positiva con valori inferiori al valore limite in ogni sito di monitoraggio.

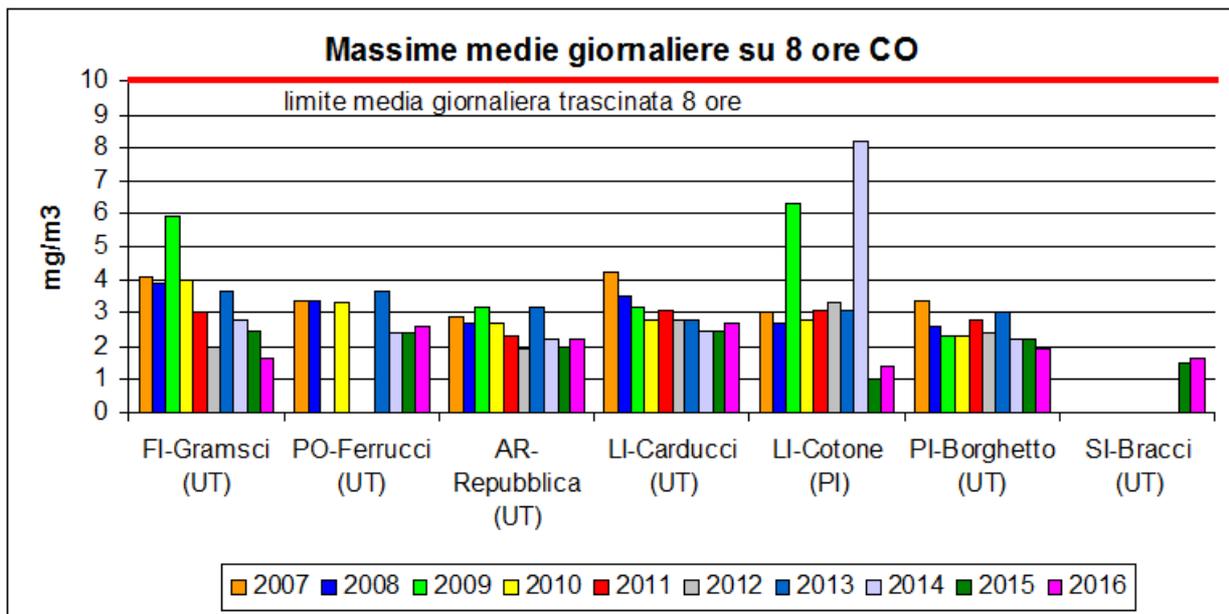


Figura 27. Monossido di carbonio – Massima media giornaliera su 8 ore (2007-2016)

Biossido di zolfo (SO₂)

I parametri indicati dal D.Lgs.155/2010 per il biossido di zolfo sono il numero di superamenti della media massima giornaliera di 125 µg/m³, che deve essere minore di 3, e il numero di superamenti della massima media oraria di 350 µg/m³ che deve essere minore di 18.

I valori registrati negli ultimi anni sono sempre stati ampiamente inferiori ai limiti di riferimento; non sono mai stati registrati, infatti, superamenti né per le medie giornaliere né per le medie orarie in nessuno dei siti di monitoraggio. Ovviamente non è mai stata superata la soglia di allarme di 500 µg/m³ come valore medio di SO₂ per tre ore consecutive.

Benzene

Il parametro indicato dal D.Lgs. 155/2010 per valutare le concentrazioni di benzene è la media annuale, da confrontare con il valore limite di 5 µg/m³. Per quando riguarda la regione Toscana il monitoraggio del benzene indica una situazione molto positiva per tutto il territorio; dall'inizio dell'attività di monitoraggio in continuo, infatti, non sono mai stati registrati superamenti del valore limite in nessun sito. Le concentrazioni più elevate sono relative al sito di traffico di FI-Gramsci presso il quale le concentrazioni medie annuali sono pari circa al 50% del V.L.

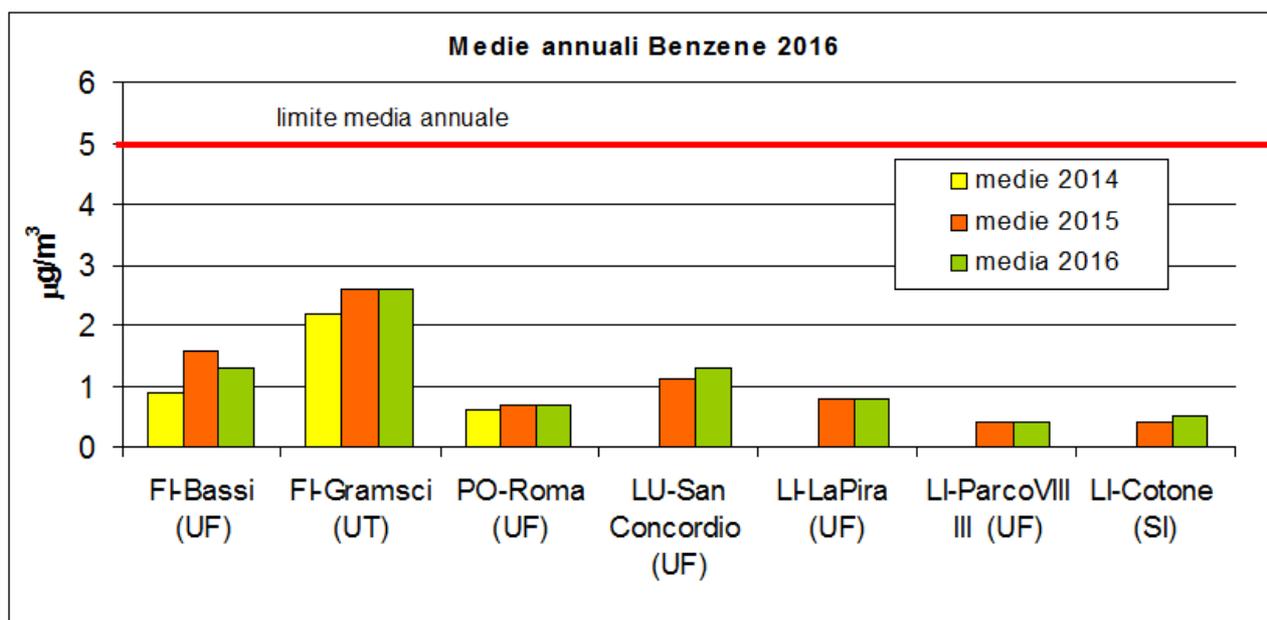


Figura 28. Benzene - Medie annuali (2007-2016)

Benzo(A) pirene

La concentrazione atmosferica di Benzo(a)pirene viene determinata sulla frazione di particolato PM10.

Il valore obiettivo indicato dal D.Lgs.155/2010 per il benzo(a)pirene è una media annuale pari a 1,0 ng/m³ che è stato rispettato in tutti i siti negli anni di monitoraggio. Per questo inquinante si può notare la presenza di due diverse situazioni:

- nelle zone interne sono presenti concentrazioni di Benzo(a)pirene significative, anche se le medie annuali registrate sono sempre inferiori al valore obiettivo;
- nella zona costiera è stata registrata negli ultimi due anni una netta diminuzione dei valori medi di benzo(a)pirene presenti presso il sito industriale di Piombino (LI-Cotone); nel corso degli anni 2015 e 2016 sono stati registrati valori medi prossimi al limite di rilevabilità su tutti i siti presso i quali è stato attivato il monitoraggio.

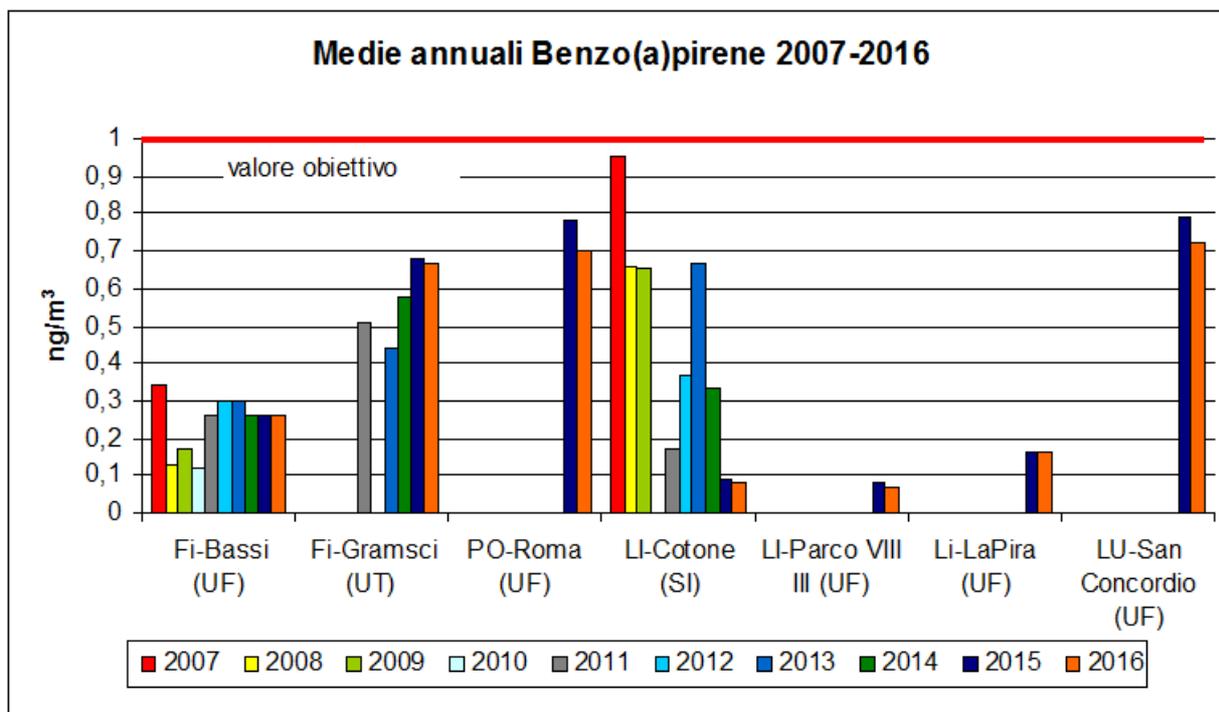


Figura 29. Benzo(a)pirene - Medie annuali (2007 – 2016)

Metalli pesanti: As, Cd, Ni e Pb

La concentrazione atmosferica di arsenico, cadmio, nichel e piombo è determinata su campioni di particolato PM10. I dati ottenuti dal monitoraggio indicano che le concentrazioni di metalli presenti in Toscana si mantengono costantemente inferiori ai valori obiettivo indicati dal D.Lgs 155/2010 per As (V.O. pari ad una media annuale di 6 ng/m³), Cd (V.O. pari ad una media annuale di 5 ng/m³) e Ni (V.O. pari ad una media annuale di 20 ng/m³) e inferiori al valore limite per il Piombo che è pari a 500 ng/m³.

Non sono stati registrati superamenti in nessuno dei siti oggetto di monitoraggio da quando esso è stato attivato.

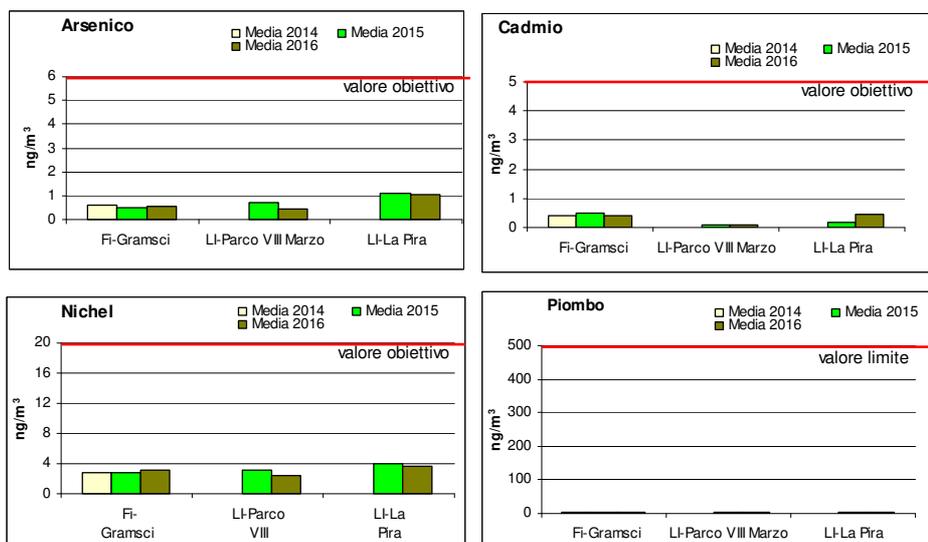


Figura 30. Metalli pesanti - Medie annuali (2007-2016)

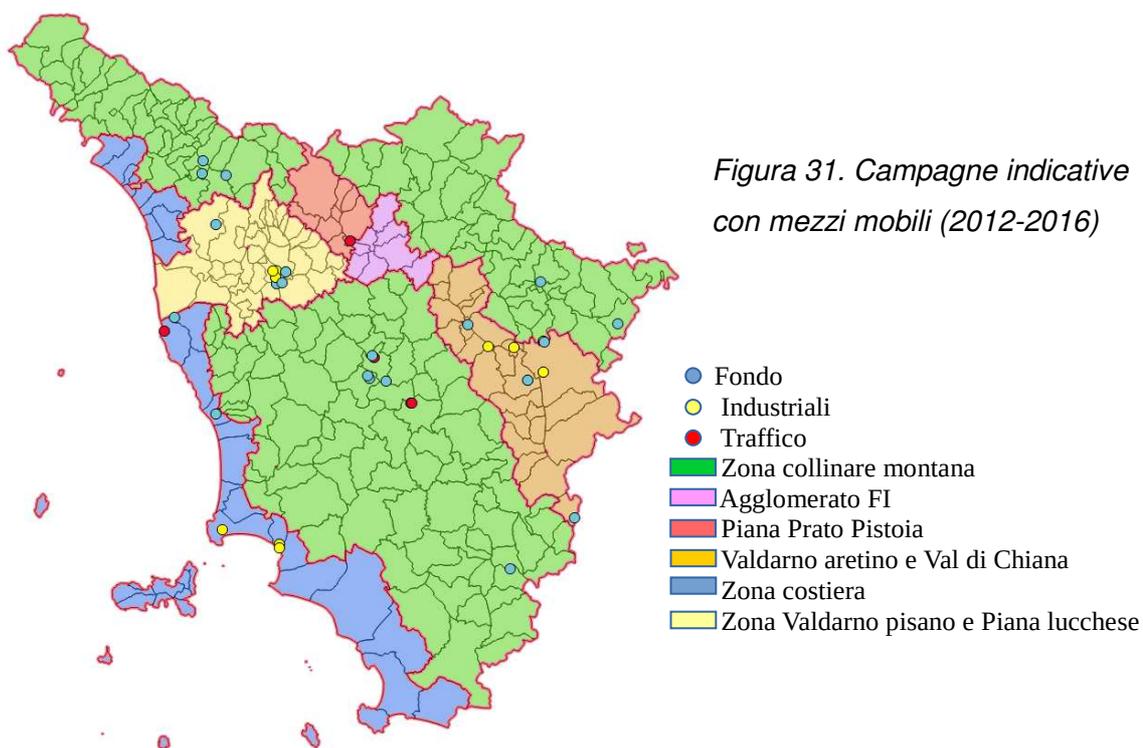
4.5 Le campagne di monitoraggio indicative (2012-2016)

Le campagne di misura condotte con laboratori mobili programmate dai comuni e dalle province e condotte da ARPAT possono assumere una duplice funzione a seconda della zona di collocazione:

- forniscono dati integrativi della rete di monitoraggio della Qualità dell’Aria;
- definiscono situazioni ambientali non ancora sottoposte ad indagini che su tempi lunghi potrebbero determinare un superamento degli standard di qualità dell’aria a causa di fattori locali (incidenza di industrie, alti flussi di traffico, condizioni meteorologiche sfavorevoli, etc.)

Una sintesi delle campagne svolte tra il 2007 ed il 2011 è riportata nel documento ARPAT “PM10 in Toscana – studio propedeutico alla rappresentatività delle stazioni di monitoraggio” [10].

Tra il 2012 ed il 2016 sono state svolte da ARPAT 39 campagne indicative con i mezzi mobili¹⁴. Nella mappa seguente sono riportati i siti relativi a queste misure distinti in base alla loro classificazione: 12 sono i siti di carattere industriale tra urbani, suburbani e rurali mentre i siti di traffico sono 5 tutti in ambito urbano. Le restanti 22 postazioni di fondo sono collocate prevalentemente in ambito urbano (17) e in alcuni casi suburbano (5).



In tutte le campagne sono stati monitorati il PM10 e gli ossidi di azoto (NO₂). I risultati sono stati confrontati, trattandosi di campagne indicative, con i valori limite per gli indicatori relativi a tali inquinanti, ma anche con i valori delle stazioni di rete regionale che costituiscono il riferimento per l'area monitorata.

In generale, tenendo in considerazione l'incertezza associata alle campagne indicative, si è riscontrato il rispetto dei limiti con alcune criticità note o almeno coerenti con quanto risulta dalle valutazioni della qualità dell'aria effettuate sulla base delle stazioni di rete regionale.

In particolare si evidenzia per il PM 10 il superamento del valore riferito al 90,4° percentile delle concentrazioni giornaliere di PM10 nell'area di superamento del Comprensorio del Cuoio presso Montopoli e S.Croce sull'Arno (PI), nell'area di superamento del Valdarno superiore a S.Giovanni Valdarno, oltre a tre postazioni al di fuori delle aree di superamento: Fornaci di Barga (adiacente all'area di superamento della Media Valle del Serchio nella zona Collinare Montana), Bibbiena (nella zona Collinare Montana) e Chiusi Scalo (zona del Valdarno aretino e Val di Chiana).

4.6. Le stazioni locali di monitoraggio

Ai dati rilevati nel corso di campagne indicative effettuate con mezzi mobili e dalle stazioni di monitoraggio appartenenti alla rete regionale si affiancano le informazioni relative ai livelli di concentrazione rilevati presso centraline appartenenti alle ex reti provinciali non incluse in rete regionale e attive nell'arco degli anni 2011-2016 in virtù di accordi tra Enti locali ed ARPAT.

Si fa presente che, nel corso degli anni, la configurazione di tali stazioni è radicalmente cambiata (da 17 stazioni nel 2011 a 3 stazioni nel 2016); tale variazione è dovuta in parte all'inclusione in rete regionale di alcune di queste stazioni e in parte dipende dall'evoluzione degli accordi tra Enti locali ed ARPAT (Figura 32).

Nel corso del periodo considerato alcuni analizzatori non hanno raggiunto l'efficienza sufficiente per l'elaborazione degli indicatori a causa di dismissioni o di spostamenti delle stazioni.

Provincia	Comune	Stazione	Classificazione	Note	Periodo attività
Firenze	Greve in Chianti	FI-Greve	Rurale-industriale		2011-2012
Firenze	Incisa in Val d'Arno	FI-Incisa	Urbana-Fondo		2011-2012
Firenze	Pontassieve	FI-Pontassieve	Urbana-Fondo		2011-2016
Firenze	Signa	FI-Signa-Roma	Urbana-Fondo	R	2011-2013
Livorno	Livorno	LI-Gabbro	Rurale-Fondo		2011-2012
Livorno	Livorno	LI-Gobetti	Urbana-Industriale	R	2011-2013
Livorno	Livorno	LI-Maugordato	Periferica-Fondo		2011-2012
Livorno	Livorno	LI-Mazzini	Urbana-Traffico		2011-2012
Livorno	Piombino	LI-Giardini	Urbana-Traffico	R	2011-2013
Livorno	Rosignano Marittimo	LI-Poggio San Rocco	Urbana-Fondo		2011-2016
Livorno	Rosignano Marittimo	LI-Rossa	Periferica-Industriale		2011-2012
Livorno	Rosignano Marittimo	LI-Veneto	Periferica-Industriale		2011-2012
Lucca	Porcari	Lu-Porcari	Periferica-Fondo		2011-2013
Massa Carrara	Massa	Ms-Galvani	Urbana-Fondo	R	2011-2014
Massa Carrara	Carrara	Ms-Carriona	Urbana-Traffico		2011
Pisa	Pontedera	PI-Pontedera	Urbana-Traffico		2011-2016
Siena	Siena	SI-Due-Ponti	Urbana-Fondo		2011-2013

R = ricollocata ai fini del rispetto dei criteri di ubicazione imposti dal Lgs. 155/2010 e s.m.i.

NB: Per le stazioni di monitoraggio incluse successivamente nella rete regionale e ricollocate il periodo di attività non comprende l'anno del loro spostamento in quanto in tale anno non è stato raggiunto il target del 90% di efficienza strumentale

Figura 32. Variazione della configurazione delle stazioni locali nell'arco degli anni 2011-2016

Si riporta di seguito una tabella riassuntiva sul rispetto dei limiti negli anni 2011-2016 (in rosso vengono indicati i casi di mancato rispetto dei valori limite):

		2011	2012	2013	2014	2015	2016
PM10	Valore limite sulla media giornaliera	FI-Incisa LU-Porcari	FI-Incisa FI-Signa-Roma LU-Porcari	LI-Giardini			
	Valore limite sulla media annua						
PM2,5	Valore limite sulla media annua						
NO2	Valore limite sulla media annua						
	Valore limite sulla media oraria						
CO	Valore limite sulla media giornaliera						
SO2	Valore limite sulla media oraria						
	Valore limite sulla media giornaliera						
OZONO	Valore obiettivo per la protezione della salute umana	LI-Gabbro LI-Poggio S. Rocco LU-Porcari	LI-Gabbro LI-Poggio S. Rocco LU-Porcari	LI-Poggio S. Rocco LU-Porcari			LI-Poggio S. Rocco
	Valore obiettivo per la protezione della vegetazione	LI-Gabbro LI-Maugordato LI-Poggio S. Rocco LU-Porcari	LI-Gabbro LI-Maugordato LI-Poggio S. Rocco LU-Porcari	LI-Poggio S. Rocco LU-Porcari		LI-Poggio S. Rocco*	

* Pur non essendo stata raggiunta l'efficienza del 90% i limiti di legge sono stati ampiamente superati

Figura 33. Rispetto dei limiti normativi da parte delle stazioni locali nell'arco degli anni 2011-2016

5. LE PRINCIPALI SORGENTI REGIONALI DI EMISSIONE

La definizione del quadro emissivo relativo ai principali macroinquinanti (CO, COVNM, NOx, PM10, PM2,5, SOx, NH3, H2S) è effettuata sulla base dell'Inventario regionale delle sorgenti di emissione aggiornato al 2010 (IRSE 2010). L'Inventario - realizzato secondo gli standard adottati a livello europeo (EMEP/EEA) e indicati a livello nazionale dall'Istituto Superiore per la Prevenzione e Ricerca Ambientale (ISPRA) - è una raccolta ordinata dei quantitativi di inquinanti emessi da tutte le sorgenti presenti nel territorio regionale, sia industriali che civili e naturali. Ad oggi sono state pubblicate sei edizioni dell'inventario relative agli anni 1995, 2000, 2003, 2005, 2007 e 2010.

5.1. Emissioni macroinquinanti

L'applicazione negli anni di politiche di sostituzione di combustibili a maggiore impatto emissivo con combustibili meno impattanti in ambito industriale, per i trasporti su gomma e marittimi e per il riscaldamento domestico, di politiche di rinnovo del parco veicolare e la trasformazione dello scenario di produzione industriale regionale hanno portato alla riduzione, talvolta anche rilevante, delle emissioni in atmosfera dei principali inquinanti di origine antropica.

Nel corso degli ultimi 15 anni si è osservata, infatti, a livello regionale una progressiva riduzione dei livelli emissivi di tutti gli inquinanti principali – sebbene meno marcata nel caso degli ossidi di azoto; fanno eccezione il PM10, il PM2,5 e l'ammoniaca (NH₃) per i quali si osserva un andamento non sempre decrescente.

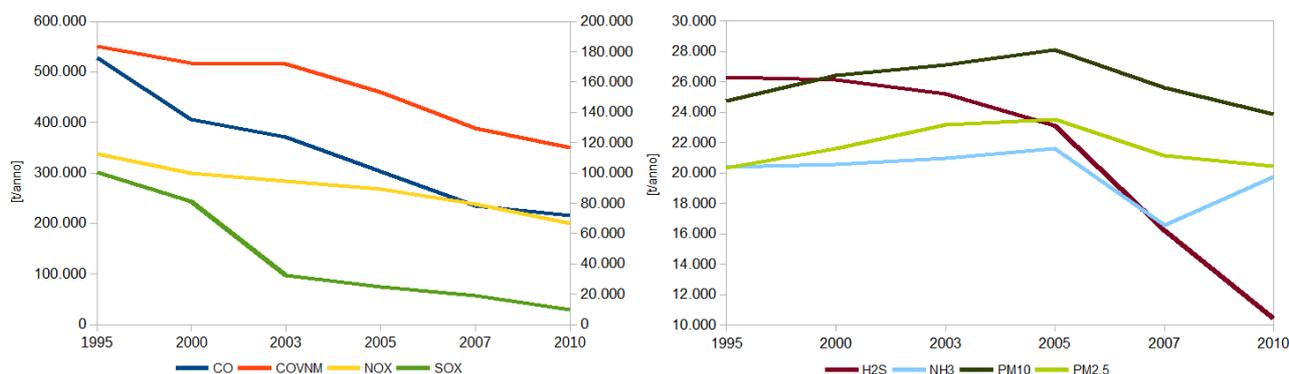


Figura 34. Trend dei livelli emissivi regionali degli inquinanti principali (1995-2010)

Le fonti di emissione più rilevanti a livello regionale sono la combustione domestica di combustibili vegetali (legna e simili), causa di circa il 70% delle emissioni regionali di PM10 e di circa l'80% di

PM2,5, il trasporto su gomma diesel e, per il solo PM10, l'estrazione di materiale lapideo da cava.

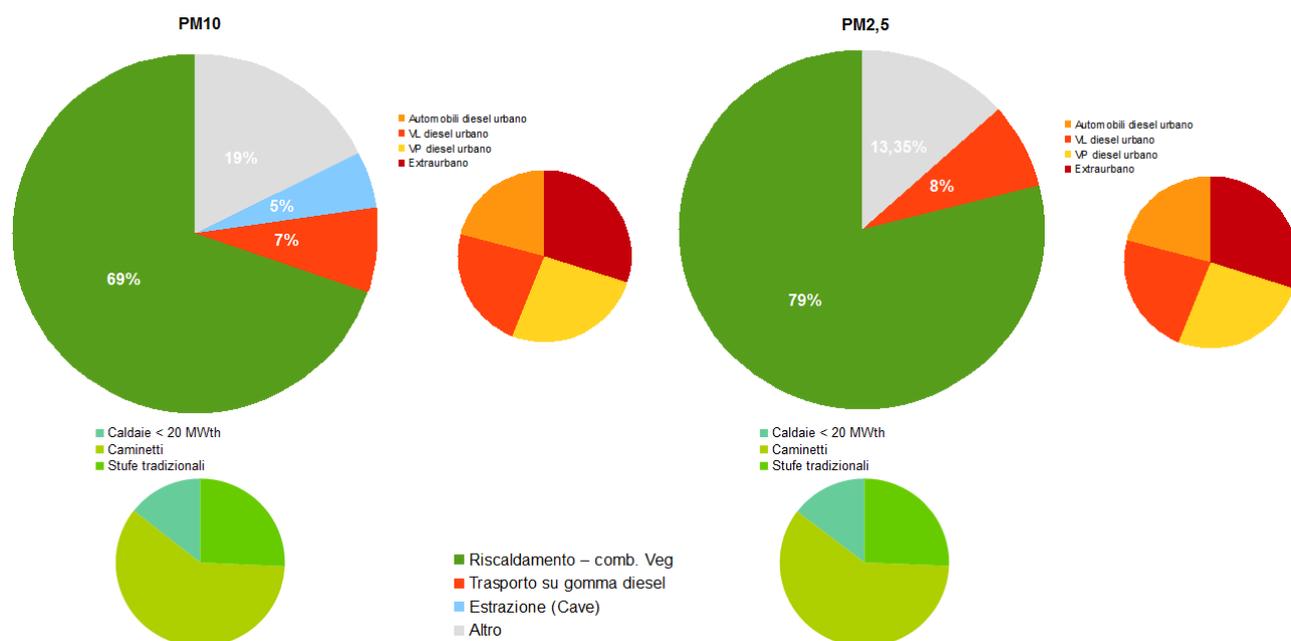


Figura 35. PM10 e PM2,5: Principali sorgenti di emissione regionali (anno 2010)

Le fonti di emissione più rilevanti dei principali inquinanti precursori del particolato sono di diverso genere; per i composti organici non volatili (COVNM) l'uso di solventi, i trasporti a benzina, la combustione domestica di combustibili vegetali e i processi biochimici delle piante, per gli ossidi di azoto (NO_x) i trasporti diesel e la combustione industriale principalmente.

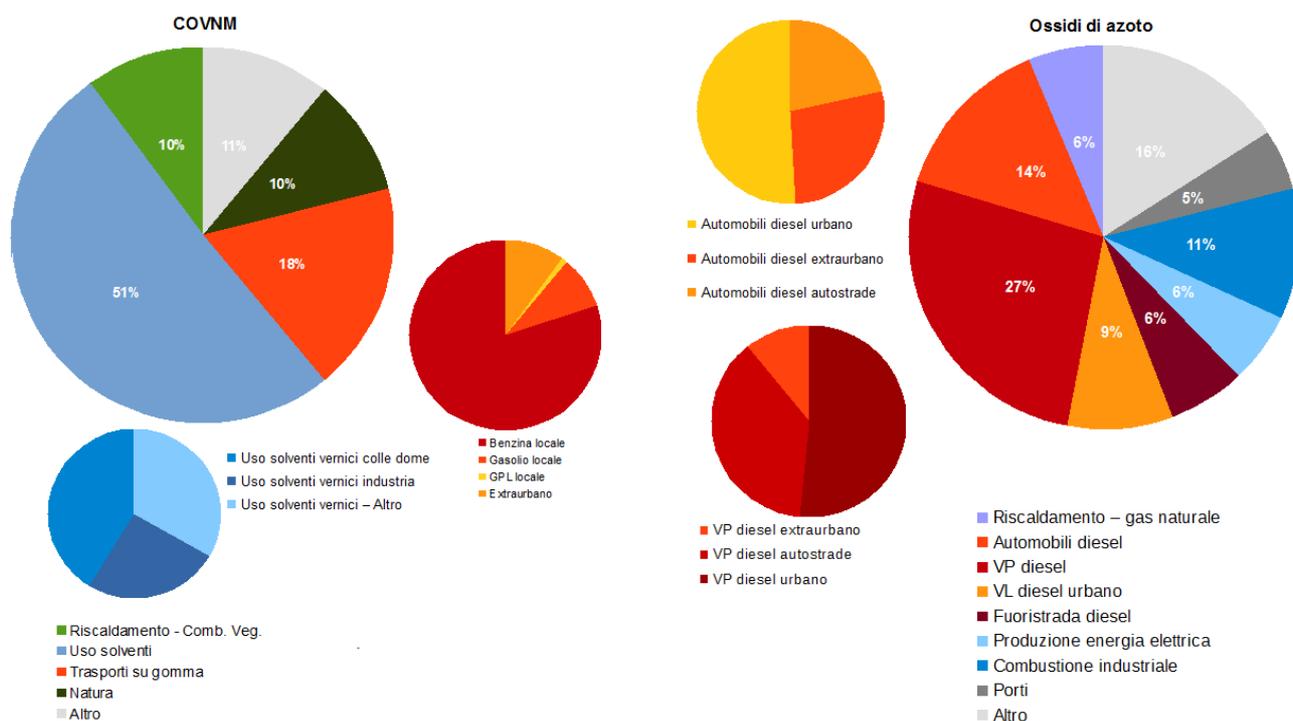


Figura 36. COVNM e NOx: Principali sorgenti di emissione regionali (anno 2010)

Le attività di estrazione di energia geotermica risultano essere la principale fonte di emissione per acido solfidrico (H₂S) e ammoniaca (NH₃) insieme alle attività del settore agricolo e al riscaldamento con legna e similari nel caso della sola ammoniaca.

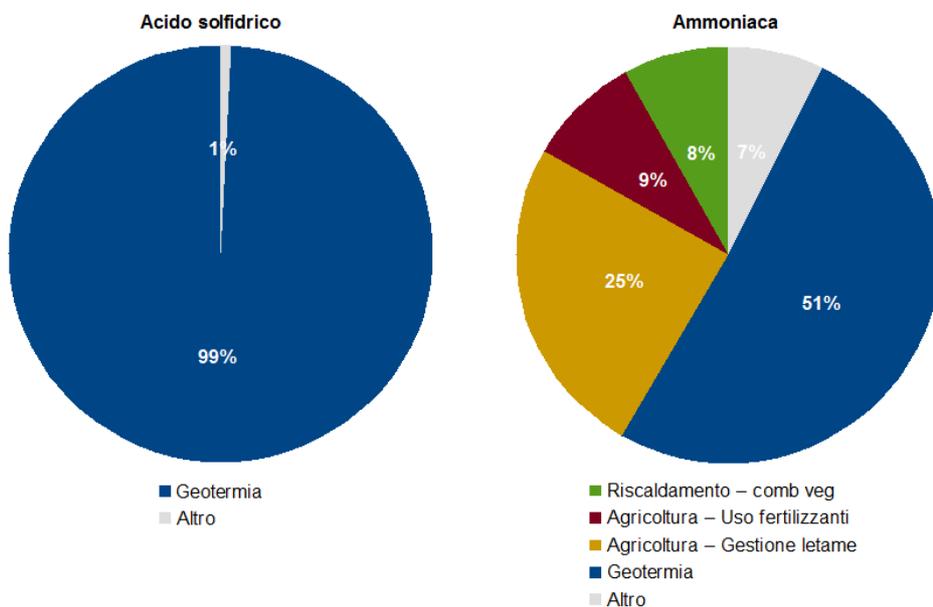


Figura 37. H₂S e NH₃: Principali sorgenti di emissione regionali (anno 2010)

Le emissioni di ossidi di zolfo sono principalmente imputabili alla produzione di energia elettrica e trasformazione dei combustibili fossili e alla combustione e produzione industriale.

Per quanto riguarda il monossido di carbonio, inquinante non incluso nell'elenco dei precursori delle polveri, le fonti principali sono la combustione nei motori a scoppio alimentati a benzina e la combustione di legna e similari.

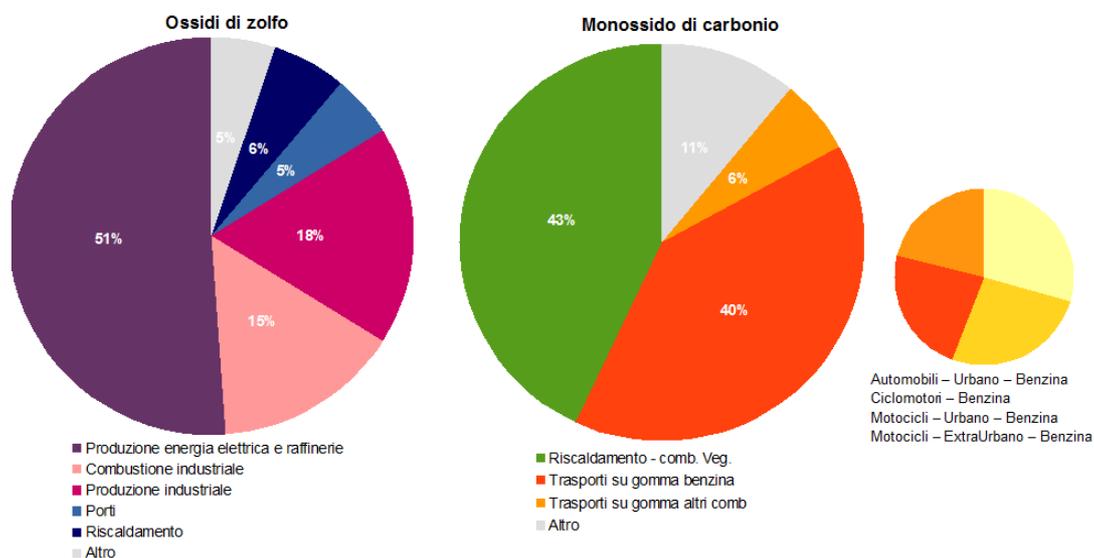


Figura 38. CO e SOx: Principali sorgenti di emissione regionali (anno 2010)

5.2 Emissioni macroinquinanti per area di superamento

Nel presente paragrafo vengono analizzate le principali sorgenti di emissione di PM10 e PM2,5 e di inquinanti loro precursori (composti organici volatili non metanici – COVNM, ossidi di azoto – Nox, ossidi di zolfo – Sox e ammoniacca – NH3) presenti nel territorio dei comuni facenti parte delle aree di superamento individuate per il PM10 relativamente all'anno 2010 (fonte dati: IRSE 2010). Non viene trattato l'acido solfidrico (H2S), discusso nel paragrafo dedicato alle principali sorgenti regionali (par 6.1.1), in quanto la fonte principale di emissione (Figura 37) è già di per sé ben individuabile a livello territoriale.

Tra i settori principali di emissione per tutti gli inquinanti analizzati si trovano il trasporto su gomma e il settore riscaldamento, in particolare il riscaldamento con legna e similari e il riscaldamento con gas naturale. Per ciascuno degli inquinanti si osservano, inoltre, settori caratteristici: le cave per PM10 e PM2,5 (Figure 39, 40), l'uso di solventi e la natura per i COVNM (Figura 41), la combustione industriale, le attività marittime e il trasporto aereo per NOx e SOx (Figure 42, 43), l'uso di fertilizzanti e la gestione del letame per l'ammoniaca e, per alcune aree di superamento, la gestione dei rifiuti in discarica e la produzione di compost (Figura 44).

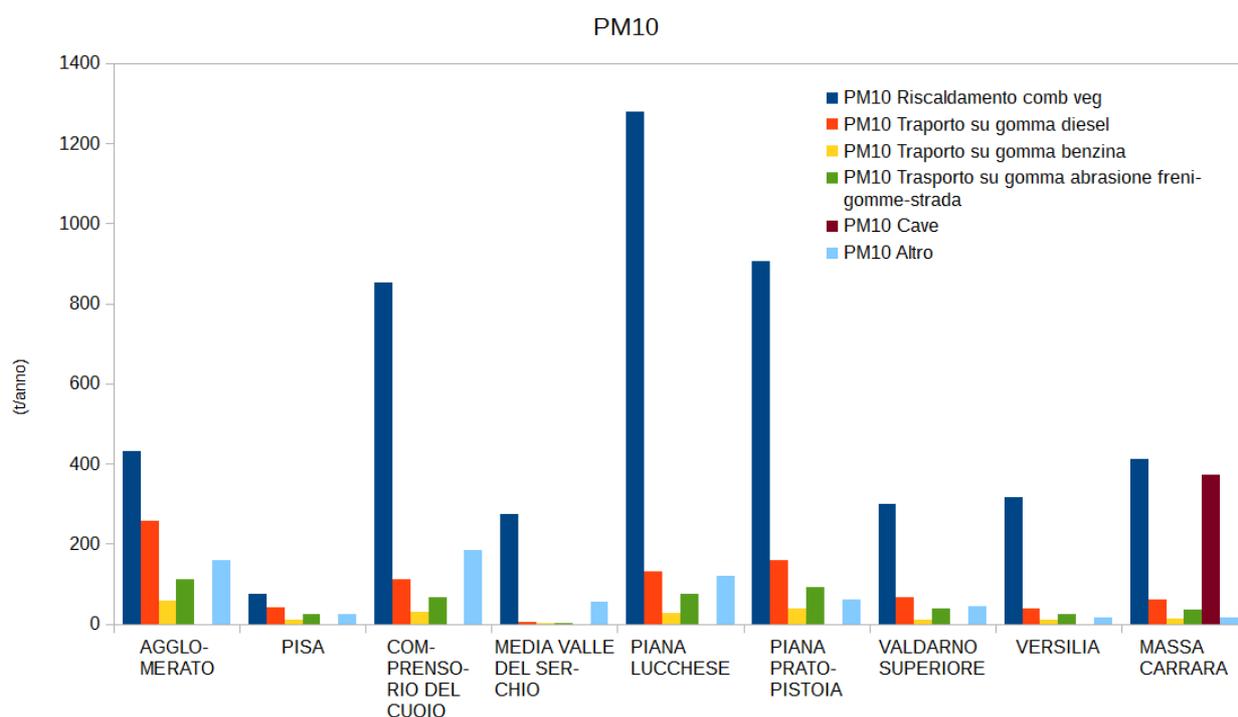


Figura 39. Principali sorgenti di emissione di PM10 nei comuni delle aree di superamento per il PM10 (anno 2010)

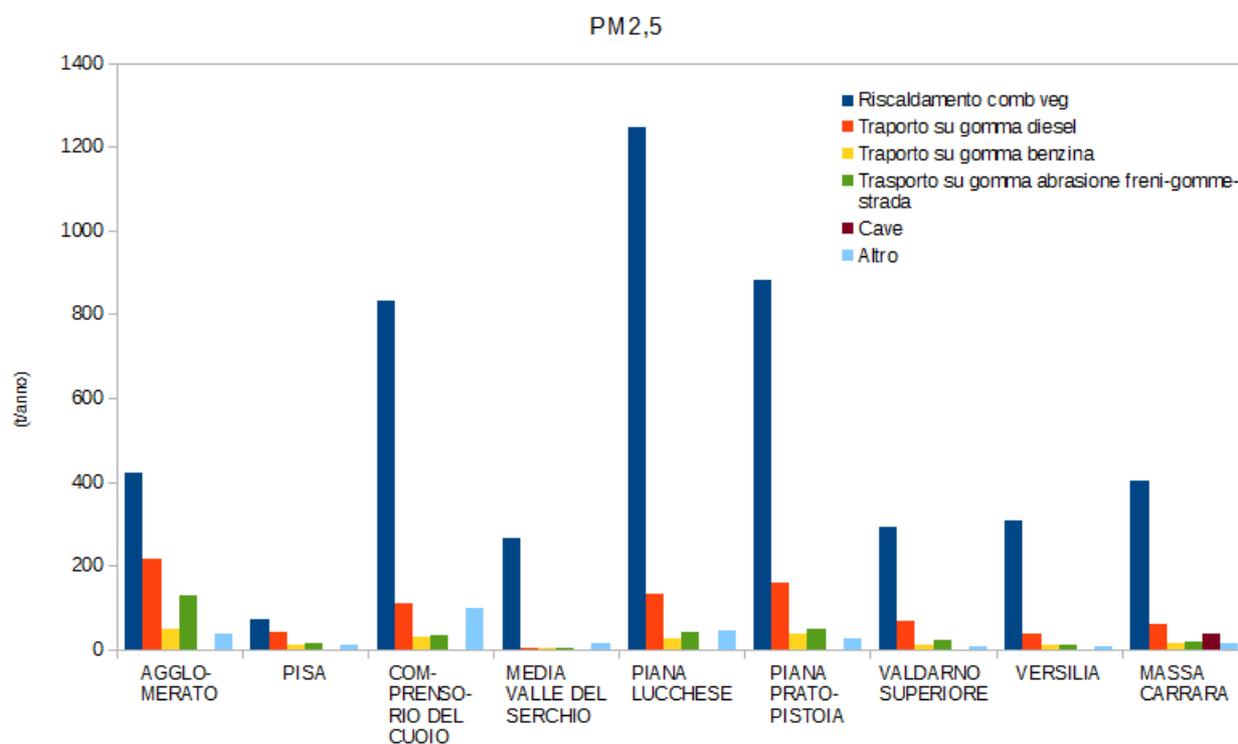


Figura 40. Principali sorgenti di emissione di PM2,5 nei comuni delle aree di superamento per il

PM10 (anno 2010)

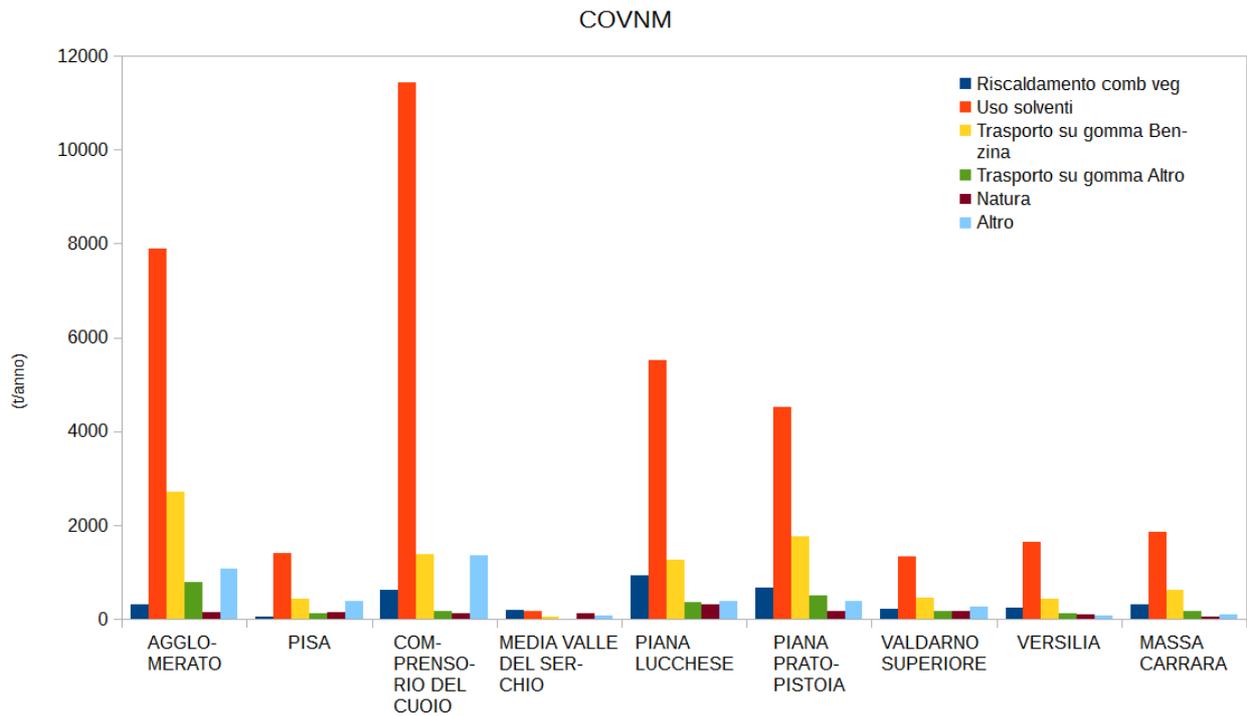


Figura 41. Principali sorgenti di emissione di COVNM nei comuni delle aree di superamento per il PM10 (anno 2010)

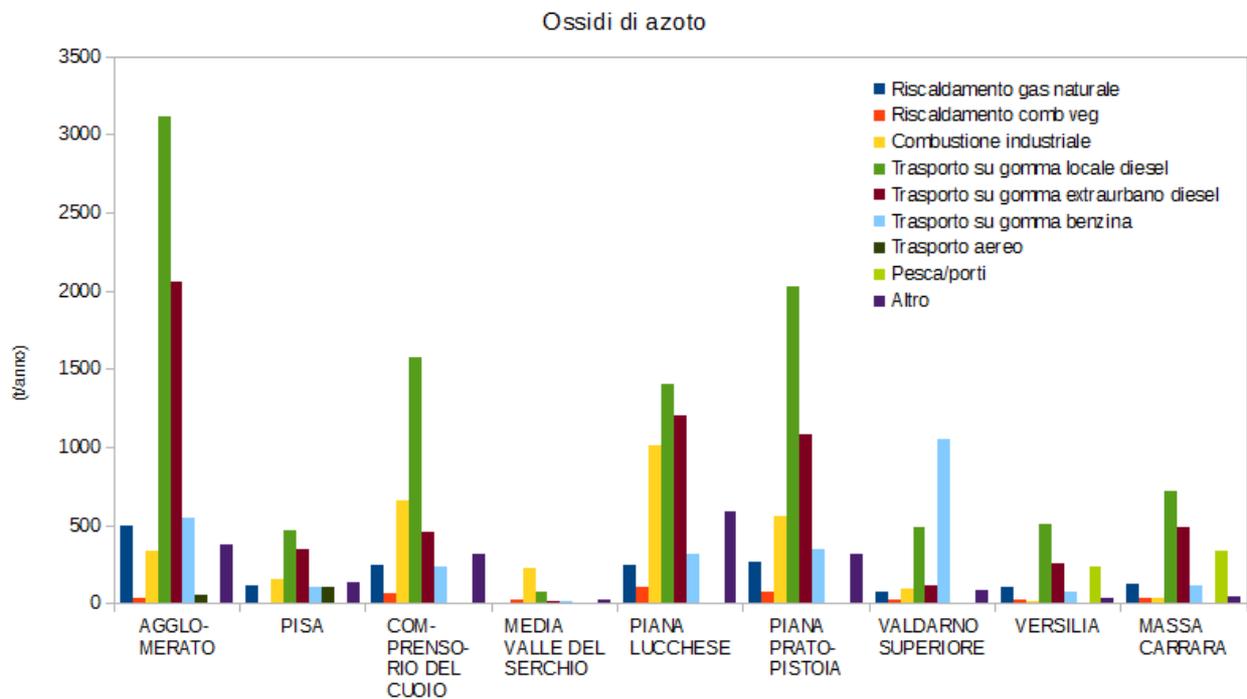


Figura 42. Principali sorgenti di emissione di NOx nei comuni delle aree di superamento per il

PM10 (anno 2010)

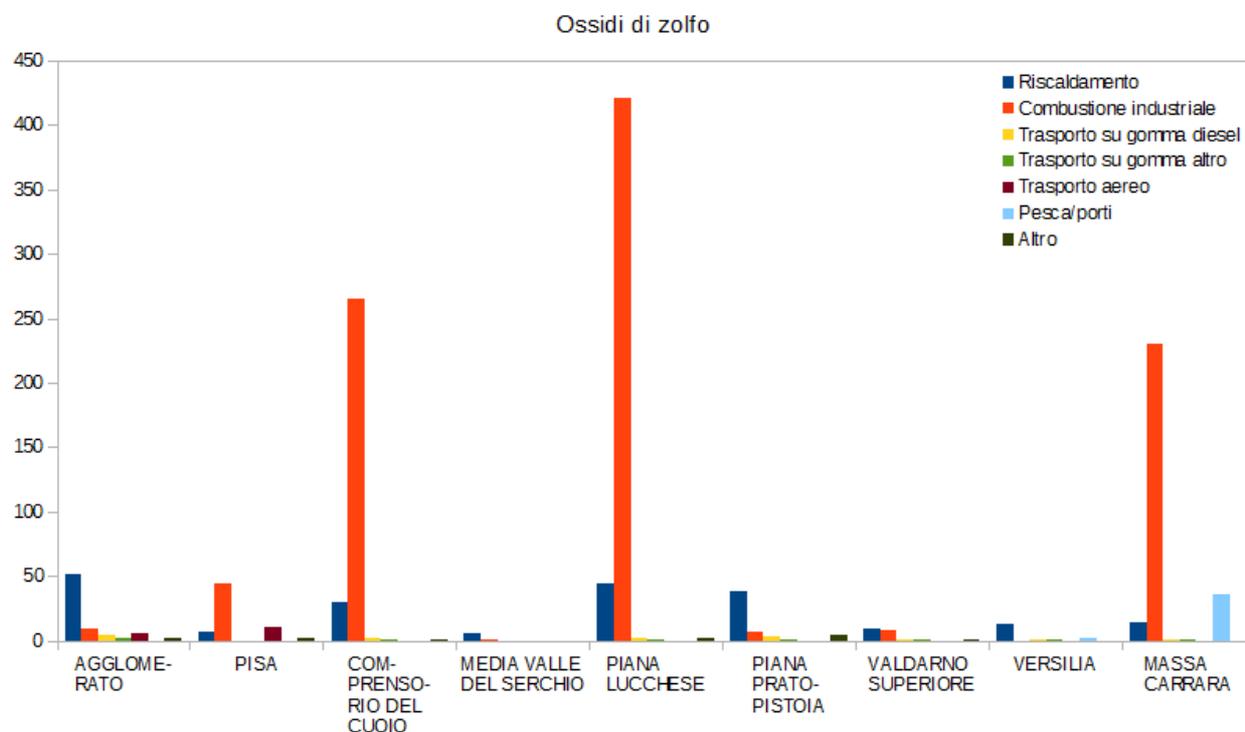


Figura 43. Principali sorgenti di emissione di SOx nei comuni delle aree di superamento per il PM10 (anno 2010)(t/anno)

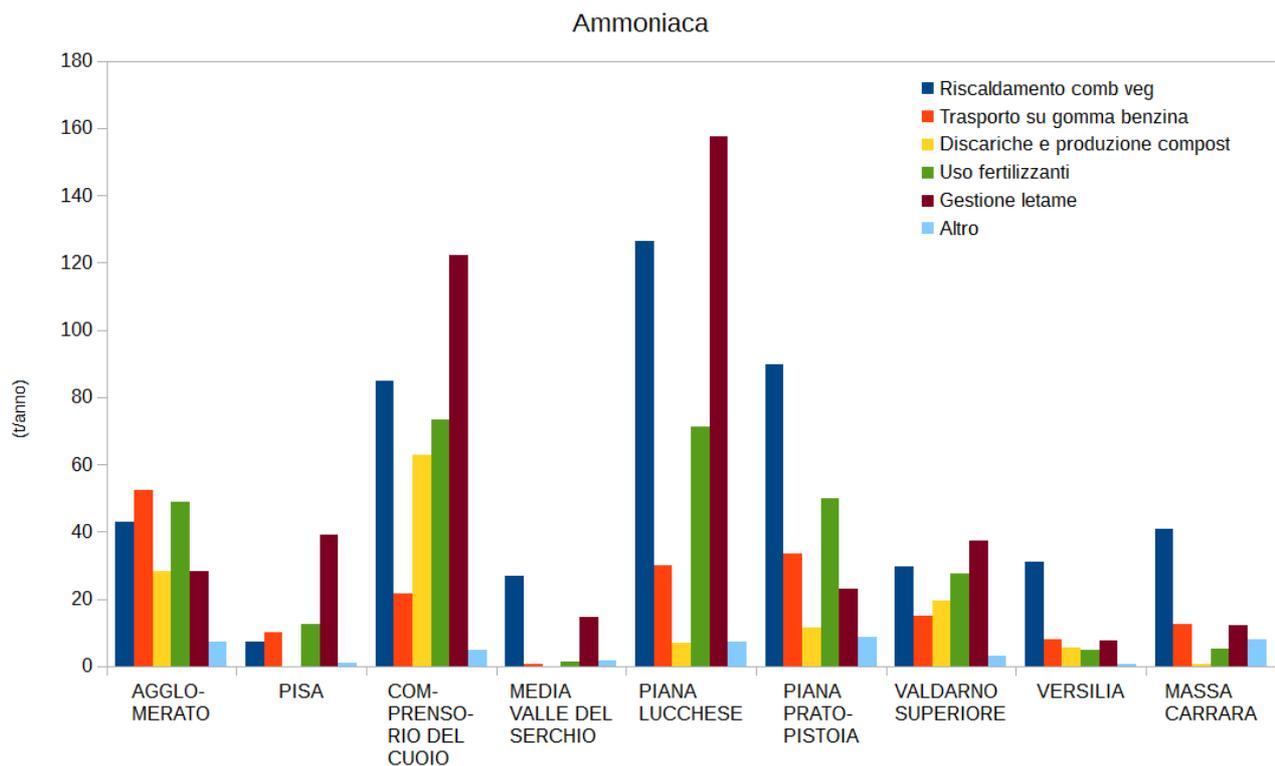


Figura 44. Principali sorgenti di emissione di NH₃ nei comuni delle aree di superamento per il PM₁₀ (anno 2010)

5.3 Emissioni microinquinanti e benzene

La definizione del quadro emissivo regionale relativo ai principali microinquinanti (metalli pesanti, IPA, diossine e furani) e al benzene (Figura 45) è effettuata sulla base dell'Inventario nazionale delle sorgenti di emissione disaggregato a livello provinciale, aggiornato al 2010, realizzato dall'istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) [9].

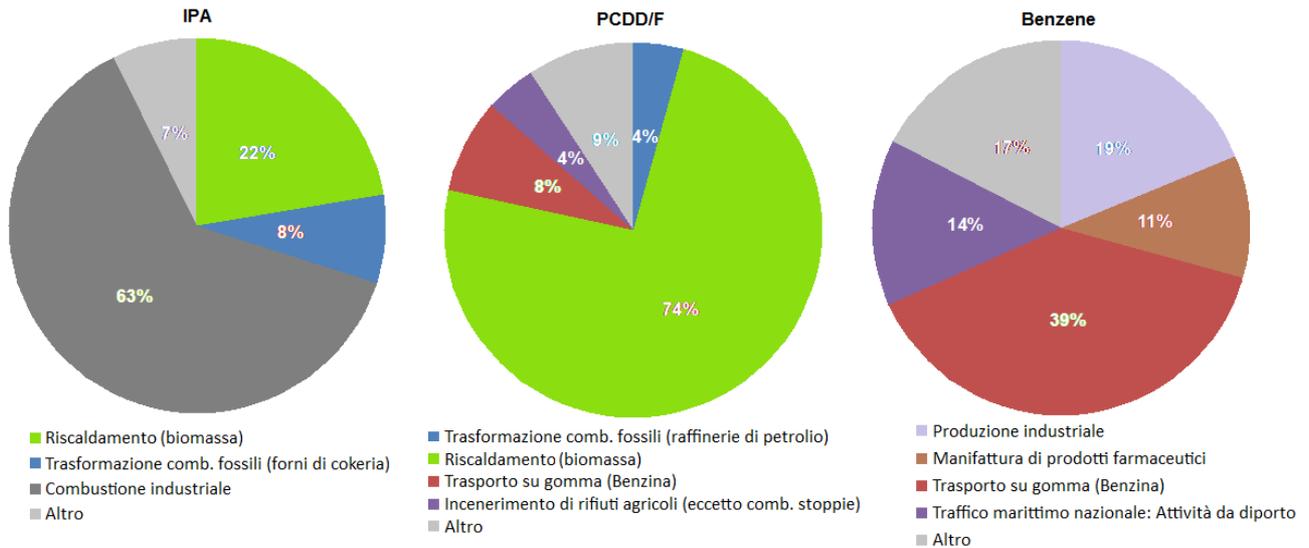


Figura 45. IPA, PCDD/F e benzene: principali sorgenti di emissione regionali (anno 2010)

Il riscaldamento con legna e similari risulta essere tra i settori prevalenti per le emissioni di diossine e furani (74%) e, sebbene in misura minore, per le emissioni di IPA (22%); a questo si aggiungono, sia per IPA che per PCDD/F, i settori produttivi volti alla trasformazione dei combustibili fossili (8% e 4% rispettivamente).

La combustione industriale risulta essere il settore che prevalentemente contribuisce all'emissione di IPA (63%). All'emissione di diossine e furani contribuiscono, infine, anche il settore del trasporto su gomma (8%) e l'incenerimento su campo di rifiuti agricoli (4%).

Per quanto riguarda le emissioni di benzene, il maggior contributo è dato dai mezzi di trasporto alimentati a benzina (39%); a questo si aggiungono la produzione industriale (19%), la manifattura di prodotti farmaceutici (11%) e il traffico marittimo con le attività da diporto (14%).

La combustione industriale risulta essere tra i settori prevalenti per le emissioni di arsenico (96%) e, sebbene in misura minore, per le emissioni di altri metalli pesanti quali Cadmio (35%), Nichel (36%) e Piombo (62%). Il riscaldamento è una fonte non trascurabile per Cadmio (21%), Nichel (7%) e Piombo (14%) insieme al settore produzione industriale; a questi si aggiungono, per il cadmio, l'incenerimento dei fanghi (9%) e, per il Nichel, l'incenerimento di RSU (5%). (Figura 46)

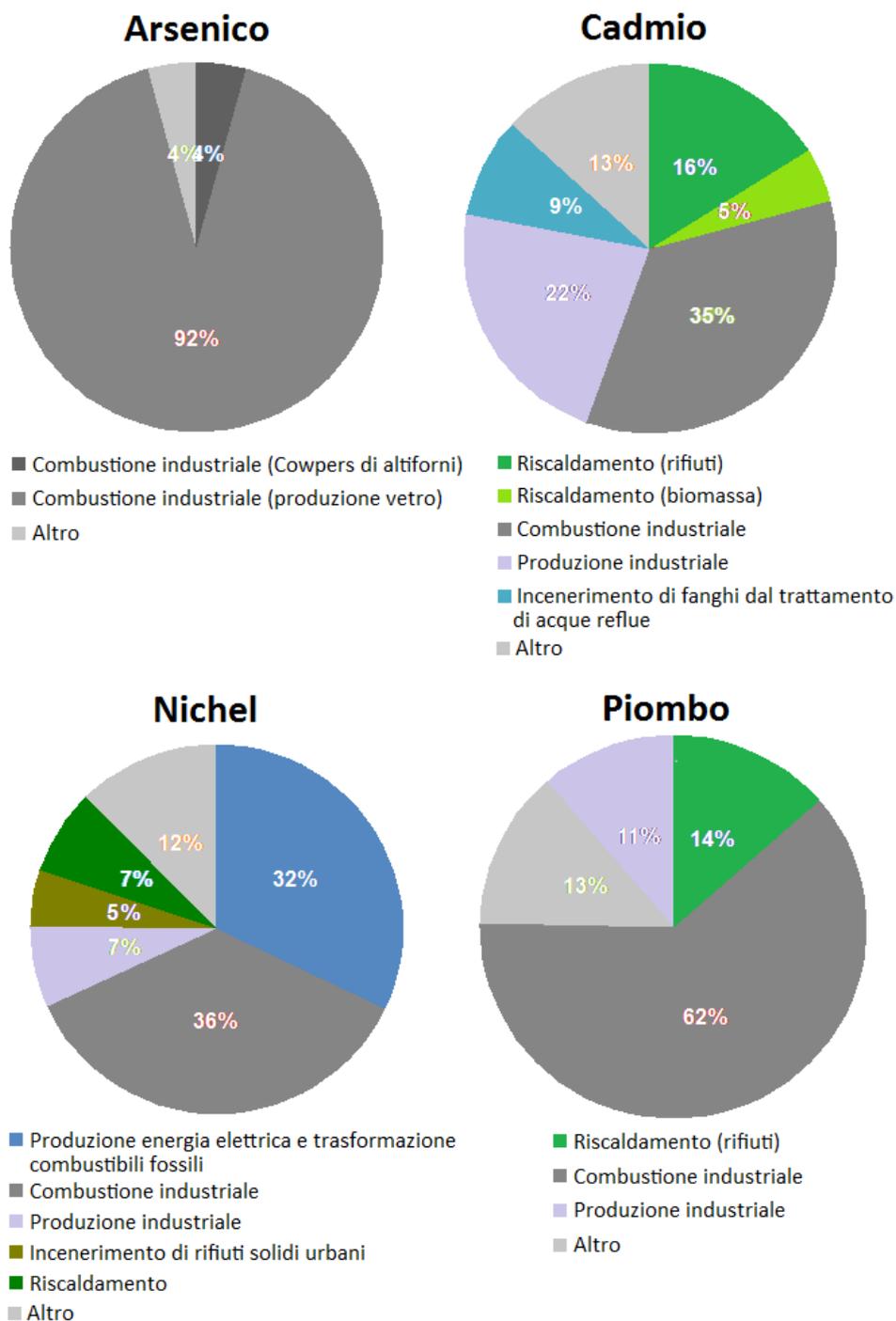


Figura 46. Arsenico, Cadmio, Nichel e Piombo: principali sorgenti di emissione regionali (anno 2010)

Come per arsenico, cadmio, nichel e piombo la combustione industriale risulta essere tra i settori prevalenti anche per le emissioni di altri metalli pesanti, seppur in maniera più o meno impattante a seconda dell'inquinante considerato (Figura 47).

Le attività di produzione di energia elettrica e trasformazione di combustibili fossili sono individuate

tra le sorgenti di emissione principali di Cromo, Mercurio e Selenio (37%, 13% e 11% rispettivamente) mentre il trasporto su gomma incide in maniera rilevante sulle emissioni di Rame (66%) e, in misura più ridotta, su quelle di Zinco (20%). Alle sorgenti principali di emissione di Cromo (14%), Mercurio (8%) e Zinco (19%) si aggiunge la produzione industriale; fonti non irrilevanti di emissione di Mercurio sono anche il riscaldamento (28%) e la cremazione di corpi (10%).

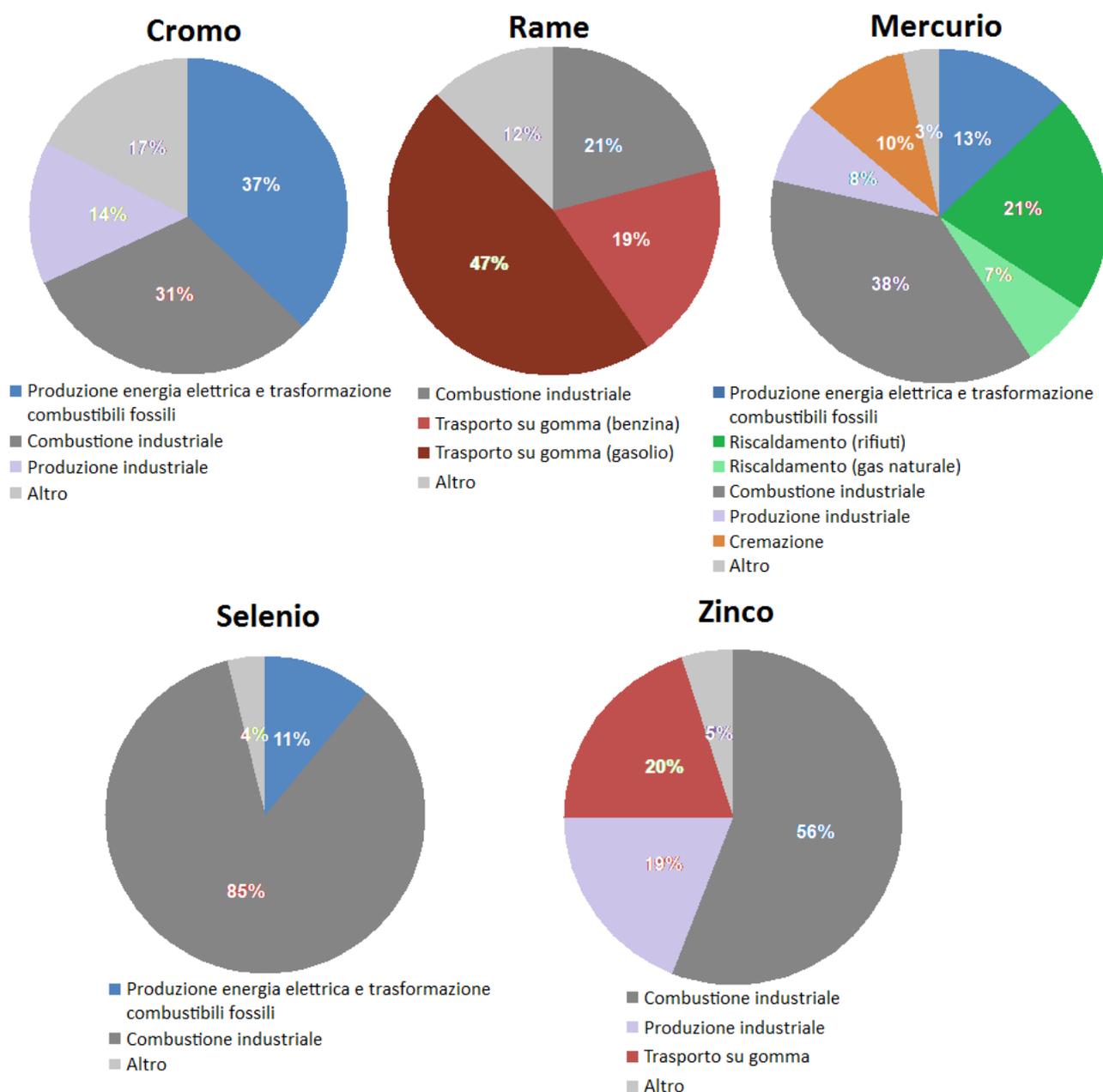


Figura 47. Cromo, Rame, Mercurio, Selenio e Zinco: principali sorgenti di emissione regionali (2010)

5.4 Emissioni dei principali gas serra

Si riportano di seguito i grafici degli andamenti delle emissioni dei gas climalteranti metano (CH₄), protossido di azoto (N₂O) e anidride carbonica (CO₂) sia singolarmente sia espresse come CO₂ equivalente e la tabella con i relativi dati.

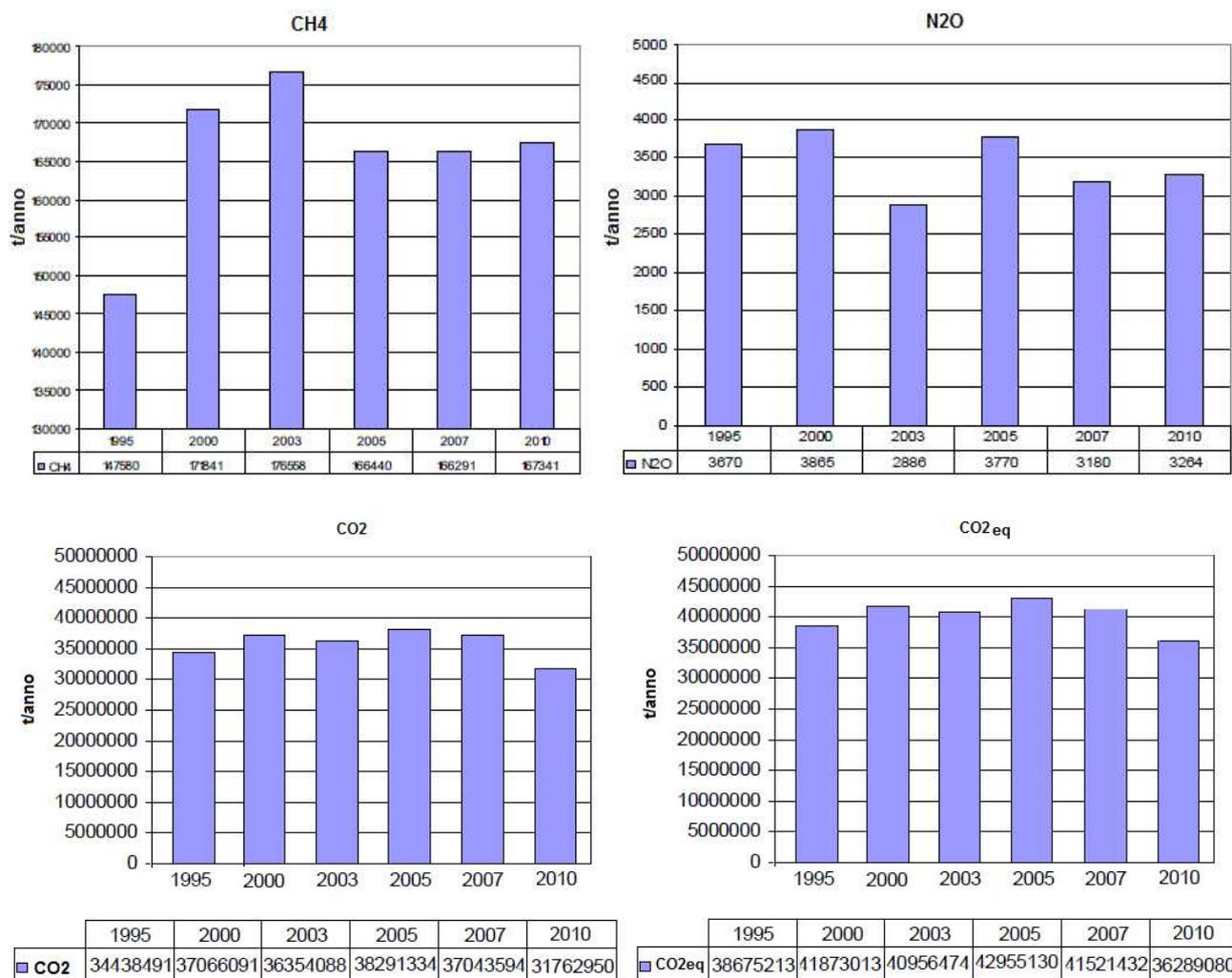


Figura 48. Andamento dei livelli di emissione dei principali gas serra (1995 - 2010)

Si osserva, nel corso degli anni, un decremento per quanto riguarda le emissioni di CO₂, mentre le emissioni di metano e protossido di azoto non presentano un chiaro trend decrescente (Figura 48). I settori con le maggiori emissioni in termini di CO₂ equivalente sono, per tutti gli anni osservati, quelli relativi al riscaldamento domestico (26%), ai trasporti stradali (19%), alla combustione per la produzione di energia (18%). Gli unici macrosettori che presentano una riduzione nelle emissioni di

CO2 equivalente sono quelli legati all'industria; per tutti gli altri si assiste ad un incremento più o meno accentuato rispetto ai dati relativi all'anno 1995 (Figura 49).

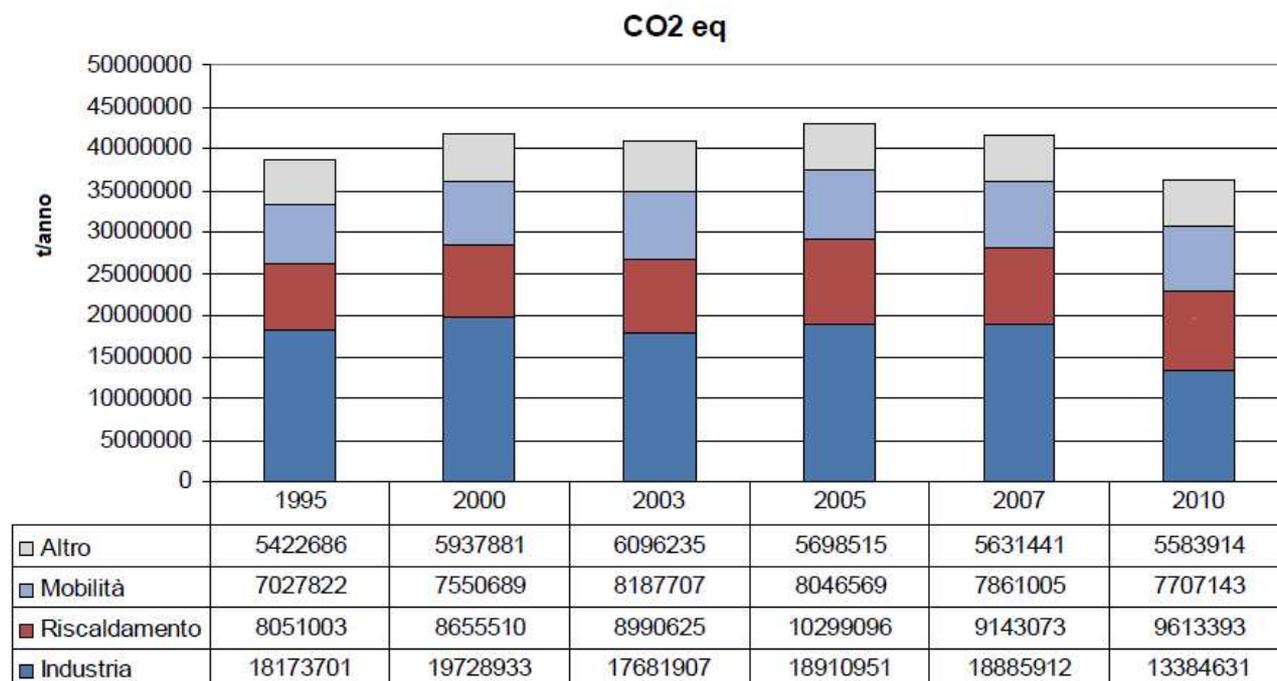


Figura 49. Andamento dei livelli di emissione di CO2 eq per i principali settori emissivi (1995 - 2010)

Osservando separatamente i livelli emissivi di metano, protossido di azoto e anidride carbonica relativamente all'anno 2010 si osserva una diversificazione dei settori prevalenti per ciascuno dei tre gas serra (Figura 50). Alle emissioni di metano contribuiscono prevalentemente la gestione dei rifiuti (64%), il riscaldamento (14%) l'estrazione e distribuzione dei combustibili fossili (10%) e l'agricoltura (9%).

I principali settori emissivi per il protossido di azoto sono, invece, l'agricoltura (59%), il trasporto su gomma (19%) e il riscaldamento (8%). Per l'anidride carbonica, infine, il settore prevalente è quello industriale (Combustione industria dell'energia e trasformaz. fonti energetiche 21%, Impianti di combustione industriale e processi con combustione 23%, Processi produttivi 10%) cui seguono i trasporti su gomma (25%) e il riscaldamento (23%).

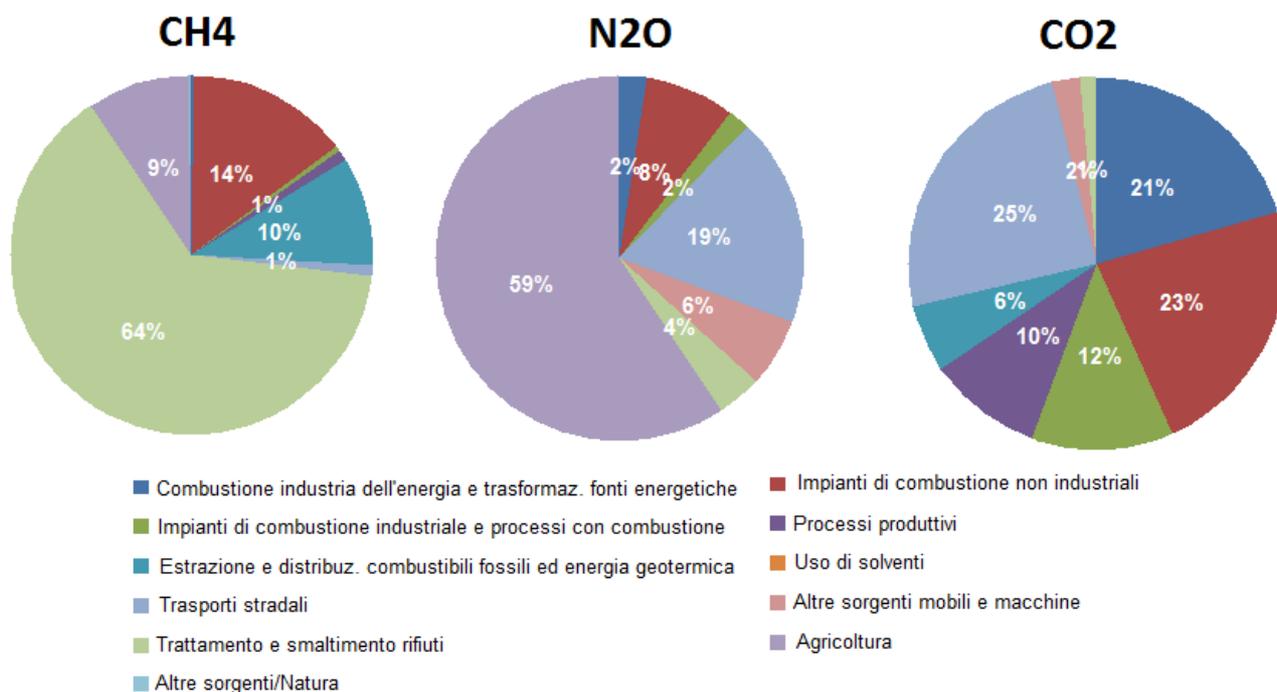


Figura 50. Principali settori emissivi di CO2, CH4 e N2O (anno 2010)

S6 - Scheda di approfondimento: lo sfruttamento dell'energia geotermica (a cura della Regione Toscana).

La produzione di energia elettrica tramite la coltivazione dei fluidi geotermici rappresenta per la Toscana un'importante fonte energetica alternativa che, con una produzione di circa 5 miliardi di chilowattora all'anno fornita dalle 36 centrali geotermoelettriche presenti, riesce a coprire oltre il 26% del fabbisogno elettrico regionale ed a fornire energia termica per diversi usi tra cui il teleriscaldamento di abitazioni e serre.

L'energia prodotta permette alla Toscana di rispettare gli obiettivi al 2020 che le singole regioni devono raggiungere in termini di energia consumata/prodotta da fonti rinnovabili (Burden Sharing), assumendo i target assegnati dal Piano di Azione Nazionale (PAN).

L'utilizzo della risorsa comporta tuttavia inevitabili pressioni sulla componente atmosfera costituite dalle emissioni di sostanze inquinanti presenti nel fluido geotermico che caratterizzano le aree interessate. Infatti le emissioni di idrogeno solforato e di anidride carbonica di origine naturale risultano presenti anche nelle aree non direttamente interessate dall'utilizzo della risorsa per la produzione di energia.

Gli impatti derivanti dalle attività geotermoelettriche sono stati nel tempo mitigati grazie all'innovazione dei processi industriali impiegati. In particolar modo l'applicazione della tecnologia di abbattimento AMIS ha permesso di ridurre considerevolmente le emissioni di idrogeno solforato e di mercurio, l'installazione dei separatori di gocce (demister) ha permesso di ridurre le emissioni di sali associati al drift, e, con l'introduzione della tecnica di acidificazione nell'ambito della realizzazione della centrale di Bagnore 4, si è ottenuto un significativo decremento delle emissioni di ammoniaca.

Inoltre il miglioramento delle procedure di manutenzione e delle modalità di gestione degli eventi non previsti a causa di malfunzionamenti e guasti hanno permesso di limitare rilasci non controllati che costituiscono una quota rilevante delle emissioni complessive su base annuale contribuendo al miglioramento complessivo della qualità dell'aria.

Parallelamente Regione Toscana promuove la ricerca in materia di utilizzo della risorsa geotermica a media entalpia potenzialmente in grado di offrire maggiori standard di sostenibilità ambientale, lo sviluppo di soluzioni per il recupero energetico delle attuali centrali mediante teleriscaldamento, il miglioramento delle tecniche di rilevamento, determinazione e controllo delle sostanze inquinanti

nonché la ricerca in materia di riduzione delle emissioni e recupero e riutilizzo dell'anidride carbonica.

1. Regolamentazione per l'esercizio delle centrali geotermoelettriche

La Regione Toscana già con l'Accordo Generale sulla geotermia del 2009, stipulato con le Amministrazioni comunali e provinciali interessate e con Enel, ha tracciato un percorso finalizzato a perseguire una maggiore sostenibilità del sistema geotermoelettrico mediante diverse azioni finalizzate ad ottenere la mitigazione delle pressioni sulla risorsa aria tramite sistemi di controllo ed abbattimento degli inquinanti ad alta efficienza, una maggiore affidabilità delle centrali geotermoelettriche in termini di componenti e manutenzione e la ricerca ed innovazione del ciclo produttivo.

Il quadro normativo di riferimento in materia di emissioni in atmosfera è costituito dal decreto legislativo 152/2006 "Norme in materia ambientale", che stabilisce limiti alle emissioni e condizioni di costruzione ed esercizio. Tuttavia la disciplina è solo in parte rappresentativa dell'effettivo scenario emissivo delle centrali di produzione di energia geotermoelettrica, presenti quasi esclusivamente in Toscana, che è caratterizzato anche da sostanze inquinanti non regolamentate per le quali non sono fissati limiti alle emissioni e tecniche specifiche per il campionamento e la successiva analisi. Inoltre il quadro regolamentare in materia di qualità dell'aria costituito dal d.lgs 155/2010 "Attuazione della direttiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 21 maggio 2008 relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa" non stabilisce valori limite delle concentrazioni di sostanze inquinanti in aria derivanti dall'utilizzo della risorsa geotermica.

In attesa di un quadro normativo esauriente e aggiornato in grado di colmare tali carenze, in più occasioni sollecitato, Regione Toscana, in forza delle competenze attribuite dal d.lgs 351/99 e dal d.lgs 155/2010, mediante il "Piano regionale di risanamento e mantenimento della qualità dell'aria" adottato con Deliberazione del Consiglio Regionale n.44/2008, con la Deliberazione della Giunta Regionale n. 344/2010, ha disciplinato la materia al fine di migliorare le prestazioni ambientali delle centrali geotermoelettriche definendo specifiche prescrizioni per le nuove centrali e per il rinnovo dei provvedimenti pertinenti prevedendo limiti alle emissioni, efficienza minima degli impianti abbattimento AMIS che dovranno essere installati e limiti alla indisponibilità delle centrali e degli AMIS stessi, congrui con il quadro emissivo delle centrali e con lo stato attuale delle tecnologie.

Il provvedimento, che si applica per le nuove centrali nell'ambito dei provvedimenti di Valutazione di Impatto Ambientale, delle procedure di rinnovo delle concessioni minerarie e nel rinnovo delle autorizzazioni alle emissioni ai sensi dell'art. 281 del d.lgs 152/2006, prevede l'implementazione della tecnologia di riduzione delle emissioni di mercurio ed idrogeno solforato (AMIS) e del trascinato liquido contenente sali disciolti (demister) nonché la predisposizione di un Protocollo per la gestione degli impianti e degli apparati connessi, relativo alla manutenzione programmata e non ed alle azioni di riduzione delle emissioni da adottare nei diversi casi, e per la registrazione di tutti gli eventi previsti ed eccezionali.

Successivamente con la Deliberazione della Giunta Regionale n. 904/2013 è stato definito il formato operativo del Protocollo, stabilito modalità di segnalazione di eventi con emissioni non controllate e delle operazioni di manutenzione programmata alle diverse autorità per gli interventi di competenza ed aggiornato il quadro delle tecniche di campionamento ed analisi nell'ambito di una fase di intercalibrazione fra le misure condotte dal gestore e da ARPAT, in collaborazione con il CNR.

La strategia e la regolamentazione puntuale, nell'ambito delle proprie competenze in materia di emissioni in atmosfera, con cui la Regione Toscana ha indirizzato e vincolato l'assetto produttivo di ENEL per assicurare la sostenibilità territoriale e ambientale della fonte geotermica ad alta entalpia nella produzione di energia elettrica ha permesso nel tempo di ridurre sensibilmente le emissioni dei diversi inquinanti grazie a scelte tecnologiche innovative e miglioramenti nel processo gestionale a fronte di un incremento complessivo della potenza installata e della produzione netta.

Gli effetti maggiormente significativi derivano dalla completa implementazione degli impianti di abbattimento AMIS e delle condizioni di esercizio disposte in termini di efficienza di trattamento e di disponibilità sia degli AMIS stessi sia dei gruppi produttivi.

L'adozione di un protocollo di gestione e manutenzione degli impianti e degli apparati connessi di ogni singola centrale relativo agli eventi programmati e a quelli derivanti da malfunzionamenti e guasti con l'indicazione puntuale delle azioni di riduzione delle emissioni da adottare nei diversi casi e delle istruzioni operative ha contribuito a ridurre il numero e la durata di tali eventi e delle conseguenti emissioni incontrollate. Tutte le informazioni del ciclo produttivo di ogni singola centrale affluiscono in un sistema informativo i cui report costituiscono un Documento di Impianto contenente gli eventi con emissioni in atmosfera, le cause, le azioni intraprese, la durata e le emissioni conseguenti trasmesso

semestralmente.

Il sistema di comunicazione tempestiva di eventi con emissioni in atmosfera di durata superiore ad un ora a tutti i soggetti competenti disposto contribuisce alla diffusione delle informazioni e crea condizioni di maggiore trasparenza.

L'aggiornamento delle tecniche di campionamento ed analisi delle emissioni ha reso maggiormente significative le misure condotte sia dal soggetto gestore sia dagli organi di controllo attraverso l'individuazione di metodi univoci e standardizzati.

L'adozione nell'area del Monte Amiata nell'ambito della realizzazione della centrale di Bagnore 4 secondo quanto disposto dalla VIA di una tecnica di riduzione delle emissioni di ammoniaca, inquinante caratteristico di questa area geotermica che, in determinate condizioni atmosferiche e in presenza di altre sostanze inquinanti, contribuisce alla formazione di materiale particolato fine secondario, mediante acidificazione con acido solforico delle acque di condensa del circuito di raffreddamento, a servizio anche dell'esistente centrale di Bagnore 3, ha permesso di ridurre le emissioni complessive che rappresentano il 40% di quanto emesso dalla sola Bagnore 3.

La tecnica, valutata nell'ambito dell'istruttoria del progetto quale migliore tecnica di abbattimento attualmente disponibile, anche in considerazione della necessità di ridurre guasti e malfunzionamenti (fermo impianti) e garantire l'affidabilità complessiva delle centrali in termini di funzionamento in condizioni di regime con emissioni controllate, è in grado inoltre di mitigare ulteriormente il rateo emissivo di H₂S grazie ad un miglioramento dell'efficienza di abbattimento dell'impianto AMIS.

Le sperimentazioni condotte su scala pilota sotto la supervisione ARPAT hanno evidenziato una riduzione delle emissioni di ammoniaca del 75% rispetto alla quantità in ingresso alla centrale come da prescrizione di VIA.

Tuttavia queste prestazioni, seppur di notevole entità, non permettono il rispetto del valore obiettivo per questo inquinante contenuto nella citata Deliberazione della Giunta Regionale n. 344/2010, ed il cui rispetto non è stato ricompreso tra le prescrizioni di VIA e dell'autorizzazione unica.

Infatti, come indicato nella DGR citata, il valore obiettivo risulta da intendersi applicabile dopo le dovute sperimentazioni che sono state condotte mettendo a confronto l'utilizzo di torri di refrigerazione a secco e la tecnica mediante acidificazione che è stata considerata preferibile in quanto allo stato attuale delle conoscenze, non esiste un sistema di abbattimento di ammoniaca che consenta di raggiungere i valori obiettivo previsti.

Inoltre l'utilizzo delle torri di raffreddamento a secco comporta una serie di elementi negativi per l'ambiente, tra cui, l'aumento degli sfiori di vapore diretto in atmosfera, la mancata riduzione degli altri inquinanti di natura gassosa, tra cui l'acido solfidrico e il mercurio, l'aumento di occupazione del suolo a parità di potenza instaurata rispetto alle torri a umido, una quadruplicazione dell'impatto acustico.

A questo proposito è utile citare la sentenza del TAR Toscana n.107/2014 sul ricorso proposto da WWF Italia e dall'Associazione Forum Ambientalista contro Regione Toscana, per l'annullamentodella deliberazione della Giunta regionale toscana n.810 del 10 settembre 2012 di pronuncia di compatibilità ambientale per la realizzazione della centrale geotermoelettrica di Bagnore 4 in Comune di Santa Fiora.

La sentenza nel precisare la correttezza delle valutazioni compiute dalla Regione Toscana respinge il ricorso, con riferimento all'ottavo, undicesimo e dodicesimo motivo, in quanto i valori obiettivo contenuti nella tabella 4.3 della DGR 810/12 non costituiscono valori limite, ma precisamente un obiettivo cui tendere, ove possibile, in base alla tecnologia applicabile, e che pertanto tali valori non devono essere considerati obbligatori.

2. Il quadro emissivo e le aree territoriali

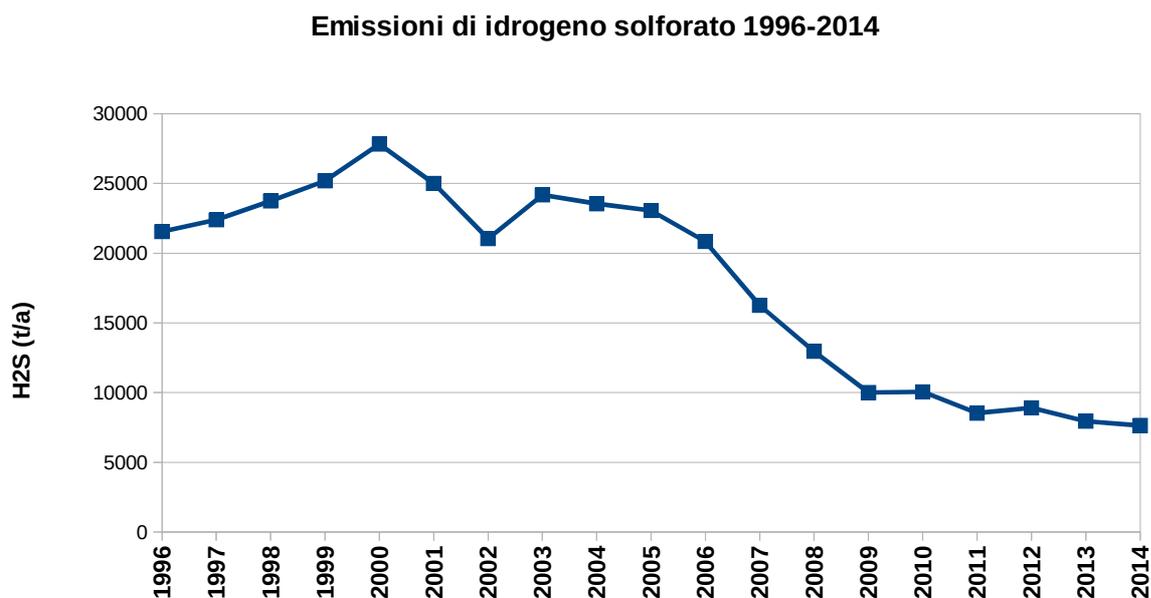
Le aree produttive della Toscana su cui è svolta la coltivazione dei fluidi geotermici per la produzione di energia, possono essere suddivise in due aree principali, territorialmente distinte:

- l'Area Tradizionale, che comprende gli impianti localizzati nei territori comunali di Pomarance, Castelnuovo di Val di Cecina, Monteverdi Marittimo (PI), Monterotondo Marittimo e Montieri (GR), Radicondoli e Chiusdino (SI) in cui sono presenti 30 centrali, per una potenza nominale di circa 795 MWe dotate di AMIS.
- l'Area del Monte Amiata, che comprende gli impianti localizzati nei territori comunali di Piancastagnaio (SI), con 3 centrali GTE, per una potenza nominale complessiva di 60 MWe, tutte equipaggiate con impianto AMIS e Santa Fiora (GR), dove, in località Bagnore, è in esercizio una centrale GTE, con una potenza nominale di 20 MWe, equipaggiata con AMIS e la nuova centrale denominata Bagnore 4 con una potenza nominale di 40 MWe

ottenuta mediante due gruppi da 20 MWe ognuno dei quali dotato di specifico impianto AMIS. La Centrale è stata realizzata nel rispetto delle prescrizioni impartite con la Pronuncia di Compatibilità ambientale DGR 810/2012) riferite anche all'esistente centrale di Bagnore 3. In particolare gli AMIS a servizio di Bagnore 4 sono interconnessi tra loro ed in grado di trattare almeno il 30% della corrente in eccesso nel caso di malfunzionamento di uno dei due AMIS (è in corso la verifica della possibilità di trattare una corrente in eccesso pari al 50%) e con disponibilità non inferiore al 95%. La nuova centrale è collegata con l'esistente Bagnore 3 mediante vaporedotto per la gestione integrata del fluido in ingresso e lo smistamento del vapore nel caso di guasti o malfunzionamenti alle centrali e/o agli AMIS e ambedue sono controllate da un impianto di riduzione delle emissioni di ammoniaca tramite acidificazione. Quindi, complessivamente, nell'Area Geotermica Amiatina, sono presenti cinque centrali GTE, con una potenza nominale di 120 Mwe.

Il quadro emissivo risulta evidentemente complesso e si riportano alcune considerazioni riferite all'idrogeno solforato, inquinante caratteristico delle aree geotermiche anche non direttamente interessate dall'utilizzo del vapore per la produzione di energia, che è maggiormente rappresentativo delle pressioni in atmosfera, sia dal punto di vista quantitativo sia in relazione alla percezione dello stesso a causa della sua ridotta soglia olfattiva, e può essere utilizzato come indicatore sia dell'andamento delle emissioni derivanti dall'utilizzo della risorsa sia, come di seguito descritto, come indicatore dello stato di qualità dell'aria e del suo trend.

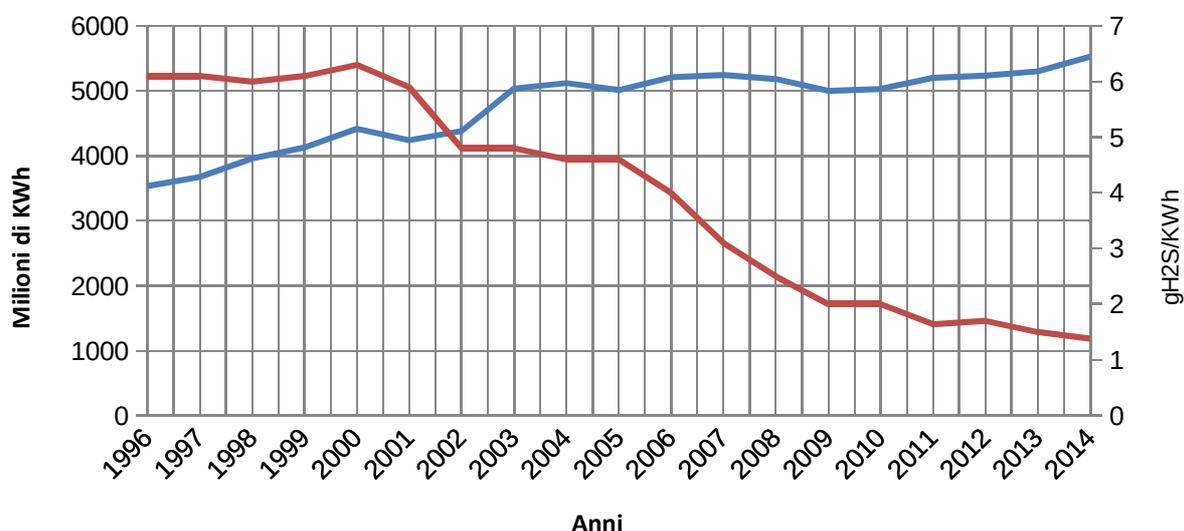
Il grafico seguente mostra l'andamento dal 1996 al 2014 delle emissioni di idrogeno solforato dell'intera area geotermica. Complessivamente si osserva una riduzione delle emissioni di circa il 65% rispetto al 1996 sostanzialmente per effetto delle installazioni sulle centrali degli impianti AMIS.



In relazione agli obiettivi in materia di quote di energia prodotte da fonti rinnovabili, è utile descrivere l'andamento delle emissioni riferite alla produzione di energia elettrica attraverso un fattore di emissione specifico espresso in gH₂S per ogni kWh prodotto durante il funzionamento a regime e durante i periodi di guasto e malfunzionamenti.

L'indicatore di sintesi rappresenta una modalità per misurare il grado di efficienza della produzione di energia da risorsa

Emissione specifica e produzione netta



geotermica rispetto alla sostenibilità ambientale della stessa.

Dal grafico precedente si può osservare, a fronte di un incremento complessivo della potenza installata e della produzione netta di energia, un notevole decremento dell'indicatore in corrispondenza degli inserimenti degli impianti AMIS che passa da 6 g H₂S/KWh a circa 1,5 gH₂S/KWh nel 2014.

3. La tutela della qualità dell'aria

Il quadro di riferimento è costituito dal Decreto legislativo n. 155 del 13 agosto 2010 "Attuazione della Direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa" che stabilisce valori limite di qualità dell'aria per diverse sostanze inquinanti in termini di livelli di concentrazione che non devono essere superati.

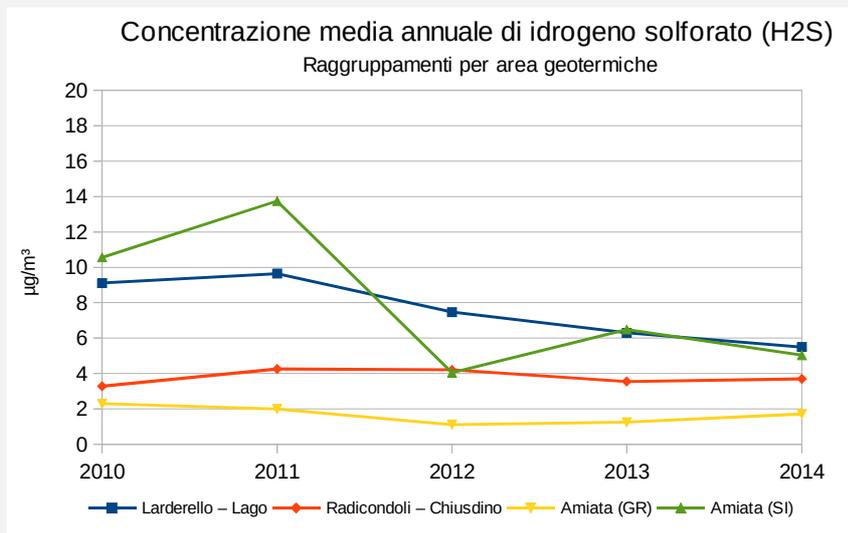
Tuttavia non sono previsti valori limite, soglie di allarme e/o valori obiettivo di qualità dell'aria per l'acido solfidrico e per il mercurio, ed in carenza di tali riferimenti, seguendo una prassi consolidata, per la valutazione della qualità dell'aria ai fini della tutela della salute umana si ricorre convenzionalmente ai valori guida suggeriti dalla OMS-WHO ovvero le medie mobili calcolate su 24 ore (150 µg/m³), su 14 giorni (100 µg/m³) e su 90 giorni (20 µg/m³).

Ad eccezione di due superamenti della media mobile di 24 ore non si evidenziano negli anni valori eccedenti quelli presi a riferimento. Diversamente, limitatamente ai livelli di idrogeno solforato, si evidenziano superamenti della cosiddetta soglia olfattiva pari a 7 µg/m³, cioè il livello di percezione dell'odore che comunque non rappresentano una condizione di rischio sanitario, specialmente nelle prime ore del mattino e in concomitanza di particolari condizioni meteorologiche locali anche nell'intero arco della giornata.

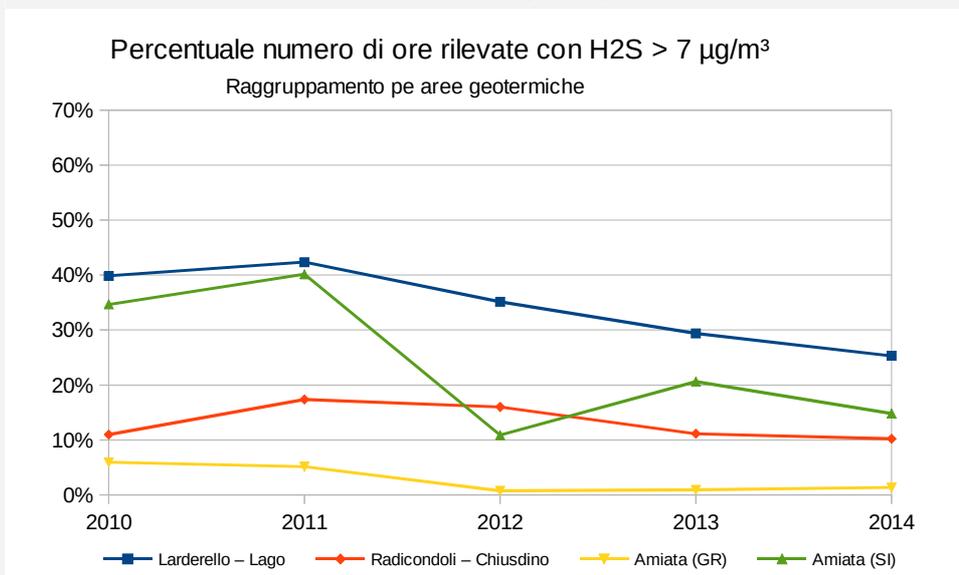
4. Lo stato della qualità dell'aria

Le aree interessate sono oggetto di un costante rilevamento dei livelli di concentrazione di idrogeno solforato ottenuti mediante 17 stazioni di rilevamento gestite da ENEL, che effettua anche campagne di misura di mercurio gassoso, una stazione regionale gestita da ARPAT per il rilevamento degli inquinanti tradizionali (PM10, SO₂, O₃) e due mezzi mobili dotati di analizzatori di H₂S e mercurio. Nelle carte seguenti sono evidenziate le stazioni di qualità dell'aria della rete ENEL suddivise tra Area tradizionale e Area del Monte Amiata.

presenti due centrali geotermoelettriche monitorata attraverso quattro stazioni di misura. Al fine di avere una indicazione sui livelli di idrogeno solforato nelle diverse aree è utile descrivere l'andamento nel tempo del valore medio delle concentrazioni rilevate nell'intero anno dalle stazioni di misura ed il numero di ore in cui i livelli di concentrazione superano la soglia olfattiva citata. Al fine di poter rappresentare sinteticamente i livelli medi di concentrazione di idrogeno solforato nelle aree prese in considerazione è utile descrivere l'andamento complessivo della media delle concentrazioni medie annuali rilevate dalle stazioni di misura ricadenti nelle singole aree come illustrato nel grafico seguente.



Si evidenzia un sensibile miglioramento nell'area di Larderello-Lago e nell'area del Monte Amiata Senese con valori al 2014 compresi tra 5 e 6 µg/m³ ed un andamento sostanzialmente costante nelle rimanenti aree di Radicondoli-Chiusdino e dell'Amiata Grossetano con valori medi annuali di idrogeno solforato che si collocano nel range compreso tra 2 e 4 µg/m³. Il grafico seguente mostra invece il numero totale di superamenti della soglia olfattiva nelle diverse aree geotermiche da cui si evidenzia il significativo decremento di eventi livelli eccedenti la soglia di percezione olfattiva



Accanto al monitoraggio effettuato mediante le 17 stazioni di rilevamento della rete ENEL, nel Comune di Pomarance è presente una stazione di rilevamento della rete regionale di qualità dell'aria. I risultati del monitoraggio mostrano anche in questo caso livelli ampiamente inferiori ai valori utilizzati a riferimento anche se parzialmente superiori a quanto rilevato nella vicina stazione della rete ENEL da

imputare verosimilmente all'oggettiva difficoltà di effettuare misure della concentrazione in aria di idrogeno solforato, a concentrazioni così basse.

Allo stato attuale come indicato non si evidenziano condizioni di criticità in materia di livelli di concentrazione delle diverse sostanze inquinanti che si mantengono molto distanti dai valori guida per la protezione della salute umana presi a riferimento. L'andamento dei livelli di concentrazione di idrogeno solforato mostra inoltre un sensibile decremento particolarmente evidente rispetto alle prime indagini condotte da ARPAT nel 1997 dove, ad esempio, i livelli nell'area di Piancastagnaio erano pari a circa 20 µg/m³ come media giornaliera di 24 ore rispetto ai livelli misurati nel 2014 che risultano sostanzialmente inferiori.

Per tutte le aree geotermiche è stato completato lo studio modellistico sulla dispersione degli inquinanti emessi dalle aree geotermiche, realizzato mediante l'applicazione del modello WRF-CALMET-CALPUFF, previsto dalla DGR n.344/2010, predisposto da ENEL GP, sulla base di scenari emissivi relativi agli assetti produttivi ed al funzionamento degli impianti ed apparati connessi e degli scenari meteorologici concordati con ARPAT, di supporto anche per le indagini epidemiologiche condotte da ARS ai sensi della DGR n. 973/2014 "Geotermia e salute".

I risultati confermano quanto monitorato dalla rete di rilevamento presente e dalle indagini condotte da ARPAT. Alcuni scostamenti tra misurato e stimato dal modello possono essere attribuiti alle emissioni naturali caratteristiche delle aree geotermiche di non semplice quantificazione sulle quali sono in corso attività di censimento e valutazione per una successiva implementazione nel codice di calcolo.

S7 - Scheda di approfondimento: Il settore conciario

Il comparto conciario è una tra le realtà produttive più caratterizzanti e rilevanti del territorio regionale. E' costituito da una molteplicità di imprese medio piccole e da impianti di servizio consortili. Il ciclo tecnologico della concia è molto complesso e non in tutte le aziende sono presenti tutte le fasi lavorative.

Gli inquinanti che maggiormente caratterizzano questo settore produttivo sono i composti organici volatili (COV) e l'idrogeno solforato, responsabile dei cattivi odori.

Si riportano di seguito le elaborazioni dei livelli emissivi associati alla lavorazione di pelle e cuoio e dei livelli di concentrazione rilevati nelle aree produttive maggiormente interessate da tale attività.

Le emissioni di composti organici volatili (COVNM), polveri e idrogeno solforato (H₂S)

I parametri che più caratterizzano le emissioni delle concerie sono i composti organici volatili (COV), precursori del particolato atmosferico, le polveri e l'idrogeno solforato (H₂S); a queste si aggiungono le emissioni derivanti dalle centrali termiche funzionali alle varie fasi di lavorazione.

I COV derivano dalle operazioni di rifinizione, le polveri sono prodotte principalmente da alcune operazioni meccaniche quali, ad esempio, rasatura e smerigliatura mentre l'idrogeno solforato si origina dalle attività di concia.

Mentre a livello regionale i livelli emissivi dei COVNM (composti organici volatili non metanici) derivanti dal settore conciario sono scarsamente significativi (circa il 4% del totale regionale, fonte: IRSE 2010, anno 2010), a livello locale l'incidenza del settore conciario può essere anche molto rilevante (**Figura S7.1**). In particolare, le emissioni derivanti dalle attività presenti all'interno dell'area del Comprensorio del cuoio (comuni di Fucecchio, Bientina, Castelfranco di Sotto, Montopoli in Val d'Arno, San Miniato, Santa Croce sull'Arno e Santa Maria a Monte) rappresentano circa il 90% delle emissioni del settore conciario regionale e circa il 20% delle emissioni totali di COVNM dei comuni interessati da attività di concia e rifinizione di pelli e cuoio (tabella di **Figura S7.1**).

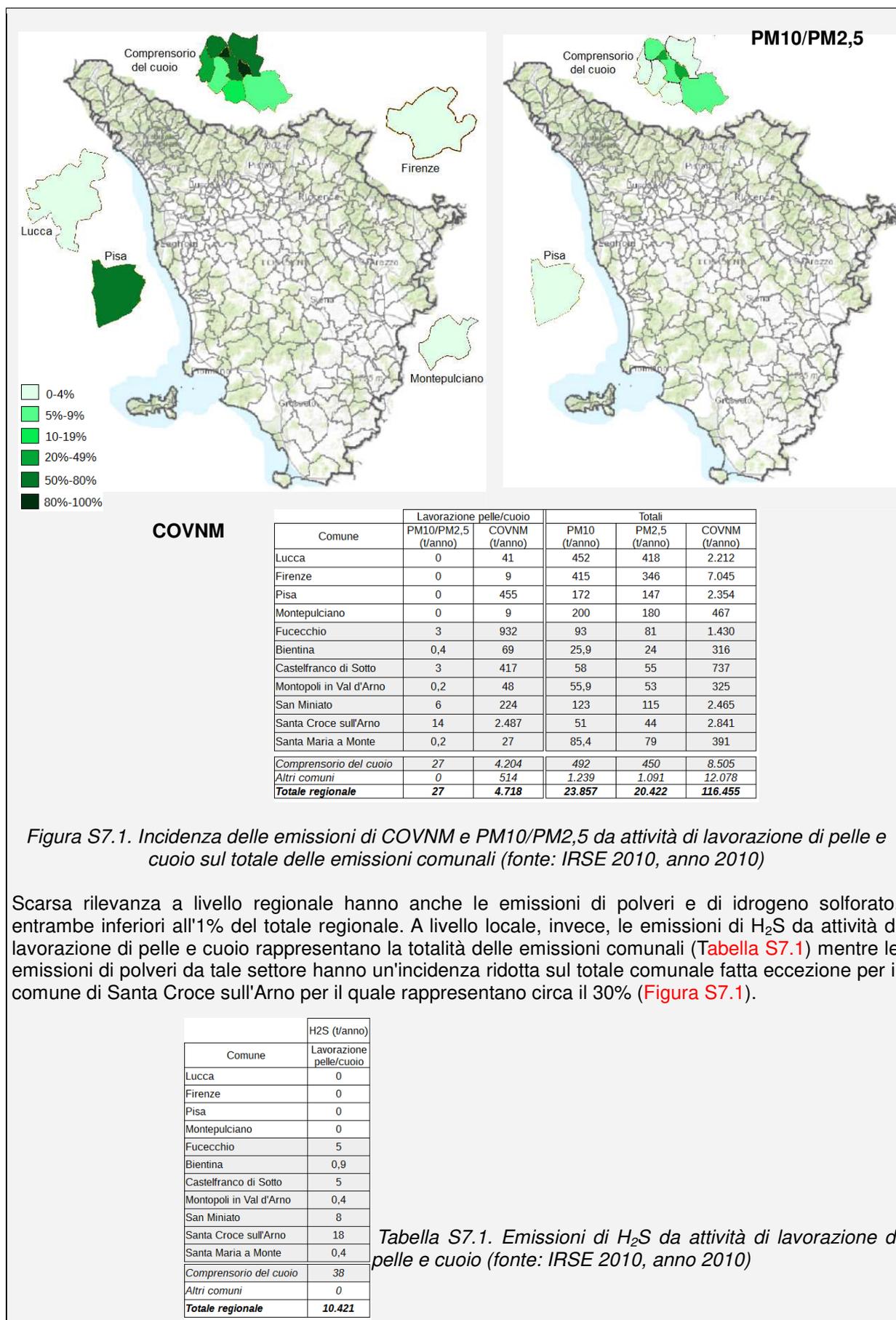


Figura S7.1. Incidenza delle emissioni di COVNM e PM10/PM2,5 da attività di lavorazione di pelle e cuoio sul totale delle emissioni comunali (fonte: IRSE 2010, anno 2010)

Scarsa rilevanza a livello regionale hanno anche le emissioni di polveri e di idrogeno solforato, entrambe inferiori all'1% del totale regionale. A livello locale, invece, le emissioni di H₂S da attività di lavorazione di pelle e cuoio rappresentano la totalità delle emissioni comunali (Tabella S7.1) mentre le emissioni di polveri da tale settore hanno un'incidenza ridotta sul totale comunale fatta eccezione per il comune di Santa Croce sull'Arno per il quale rappresentano circa il 30% (Figura S7.1).

Tabella S7.1. Emissioni di H₂S da attività di lavorazione di pelle e cuoio (fonte: IRSE 2010, anno 2010)

I livelli di concentrazione di acido solfidrico

L'acido solfidrico è sicuramente l'inquinante più caratterizzante della zona in esame; l'analisi dei livelli di concentrazione rilevati per tale parametro presso postazioni fisse (PI-S.C. Coop) e postazioni mobili di monitoraggio non evidenzia particolari criticità in riferimento alla protezione della salute umana mentre si possono osservare superamenti della soglia olfattiva di $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per tutti i siti di monitoraggio.

Nella stazione di tipo fondo industriale situata nel comune di Santa Croce sull'Arno viene monitorato l' H_2S , parametro per il quale la normativa europea e quella nazionale non stabiliscono valori limite, soglie di allarme e/o valori obiettivo di qualità dell'aria.

In mancanza di riferimenti normativi per l'acido solfidrico ci si riferisce unicamente al valore guida indicato dalla OMS-WHO per la protezione della salute che è pari ad una media giornaliera di $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Come si può osservare dal grafico, i valori registrati presso tale stazione nel corso degli anni 2007-2016 sono ampiamente inferiori ai valori guida dell'OMS; la massima media giornaliera registrata in tale periodo ($7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ negli anni 2013 e 2016) è pari a circa il 5% del valore limite del OMS.

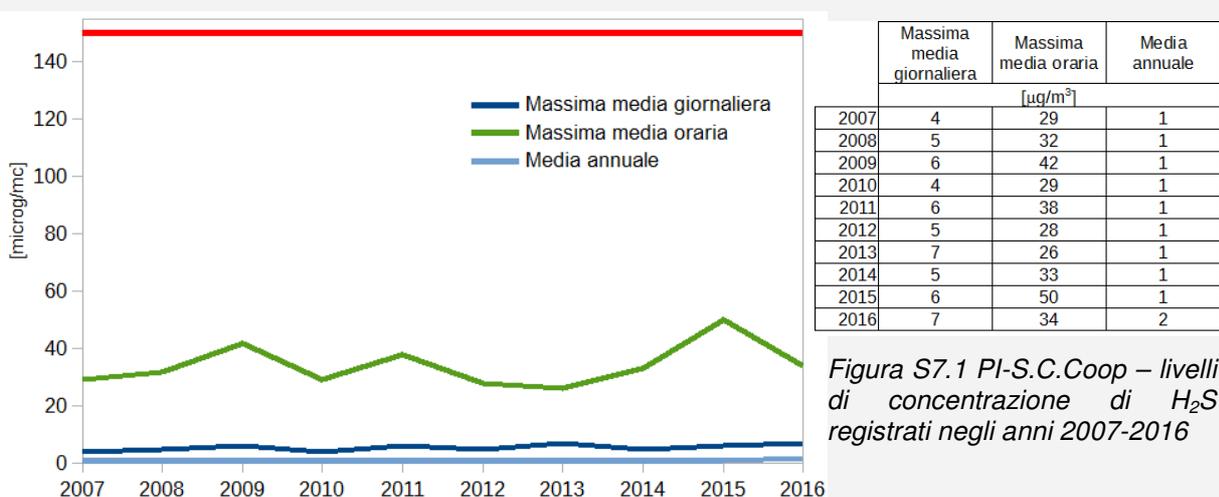


Figura S7.1 PI-S.C.Coop – livelli di concentrazione di H_2S registrati negli anni 2007-2016

Negli stessi anni si osserva una variazione minima del numero massimo di ore in cui vengono registrati valori medi orari superiori alla soglia olfattiva di $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Figura) con percentuale massima annuale pari al 9%.

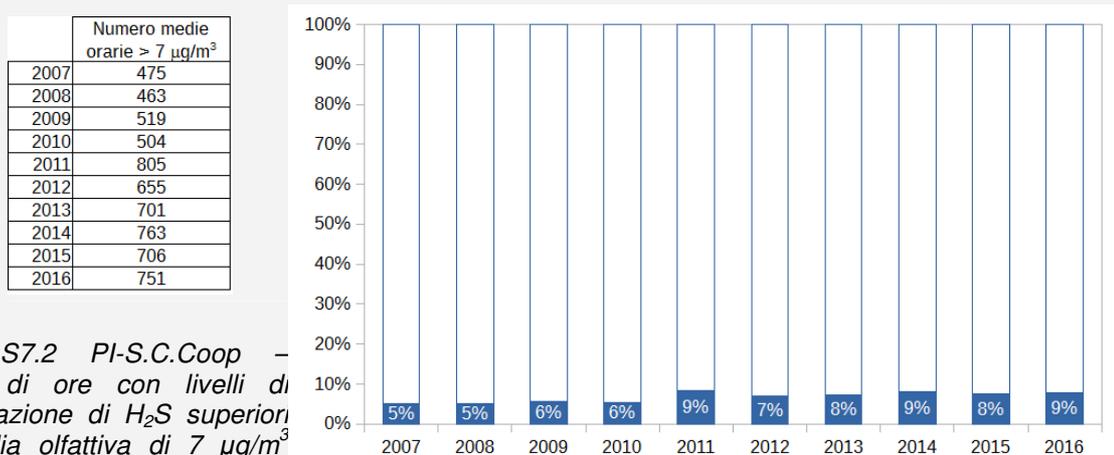
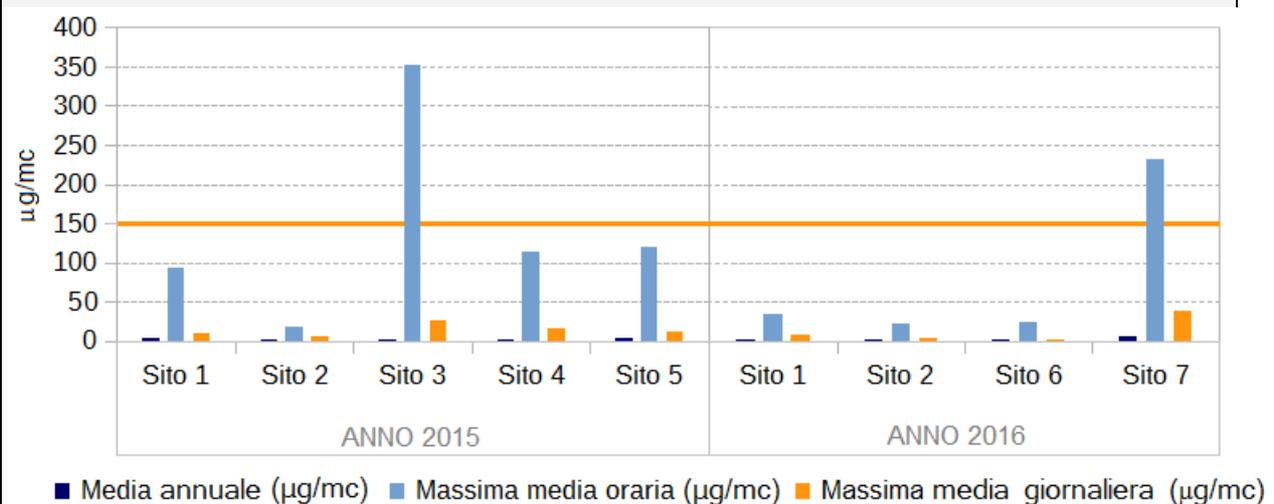


Figura S7.2 PI-S.C.Coop – numero di ore con livelli di concentrazione di H_2S superiori alla soglia olfattiva di $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ registrati negli anni 2007-2016

All'interno del Comprensorio del cuoio sono state effettuate numerose campagne di monitoraggio al

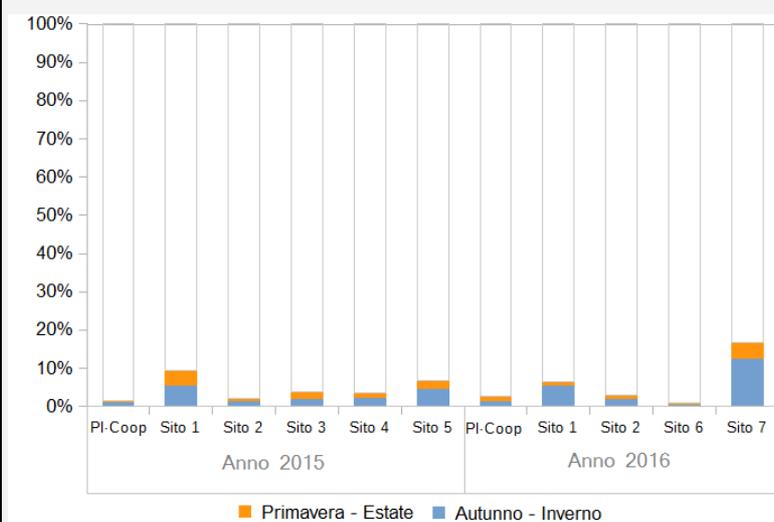
fine di verificare i livelli di concentrazione di acido solfidrico in atmosfera. In particolare nel corso degli anni 2015 – 2016 sono state condotte campagne indicative¹⁵ nei comuni di Castelfranco di Sotto, Fucecchio, Santa Croce sull'Arno, Montopoli e San Miniato.

Come per la postazione fissa di Santa Croce, anche dalle campagne indicative non emergono criticità relativamente al rispetto del valore guida di 150 µg/m³ indicato dall'O.M.S. come tutela per la salute umana in quanto si registrano valori di massima media giornaliera molto inferiori a tale valore guida (Figura Sx.3); si evidenziano, invece, alcune criticità in relazione al superamento della soglia olfattiva di 7 µg/m³ con conseguente probabilità dell'instaurarsi di condizioni favorevoli allo sviluppo di maledoranze locali (Figura Sx.4). Si osserva una forte variabilità dei livelli di concentrazione rilevati nelle varie aree di indagine (Figura Sx.3) e un'incidenza maggiore dei livelli medi orari di concentrazione superiori alla soglia olfattiva nei periodi autunno/inverno (Figura Sx.4) nel corso dei quali si registrano livelli di concentrazione media oraria generalmente superiori a quelli dei periodi primavera/estate.



Sito 1	Montopoli in Val d'Arno - fraz. San Romano, Via Pertini (UF)
Sito 2	Castelfranco di Sotto – Via dell'Acacia (SI)
Sito 3	Castelfranco di Sotto – Via Usciana (RI)
Sito 4	Fucecchio (FI), Via del Ronzinello (SF)
Sito 5	Santa Croce sull'Arno – Loc. Cerri (RI)
Sito 6	Fucecchio (FI), Via dei Cerchi (SF)
Sito 7	San Miniato – fraz. Ponte a Egola, Via della Tecnica (UI)

Figura S7.3. Campagne di monitoraggio indicative. Livelli di concentrazione di H2S: media annuale, massima media oraria, massima media giornaliera



	Anno 2015					
	PI-Santa Croce Coop	Sito 1	Sito 2	Sito 3	Sito 4	Sito 5
INVERNO	31	60	5	25	45	125
PRIMAVERA	9	14	7	20	16	84
ESTATE	10	57	1	11	24	16
AUTUNNO	70	44	23	11	45	110
Incidenza medie orarie > 7 µg/m³ sull'intero periodo di campionamento	1%	10%	2%	4%	4%	7%

	Anno 2016				
	PI-Santa Croce Coop	Sito 1	Sito 2	Sito 6	Sito 7
INVERNO	80	53	17	4	94
PRIMAVERA	54	13	9	2	60
ESTATE	27	3	3	1	21
AUTUNNO	60	44	18	4	169
Incidenza medie orarie > 7 µg/m³ sull'intero periodo di campionamento	3%	7%	3%	1%	20%

Figura S7.4 PI-S.C.Coop e campagne indicative 2015-2016 – numero di ore con livelli di concentrazione di H₂S superiori alla soglia olfattiva di 7 µg/m³ nelle stagioni autunno/inverno e primavera/estate

Anche i monitoraggi con mezzo mobile effettuati antecedentemente al 2015 evidenziano alcune criticità in relazione al superamento della soglia olfattiva di 7 µg/m³ sebbene si osservi una forte variabilità dei livelli di concentrazione rilevati nelle varie aree di indagine (Figura Sx.5)

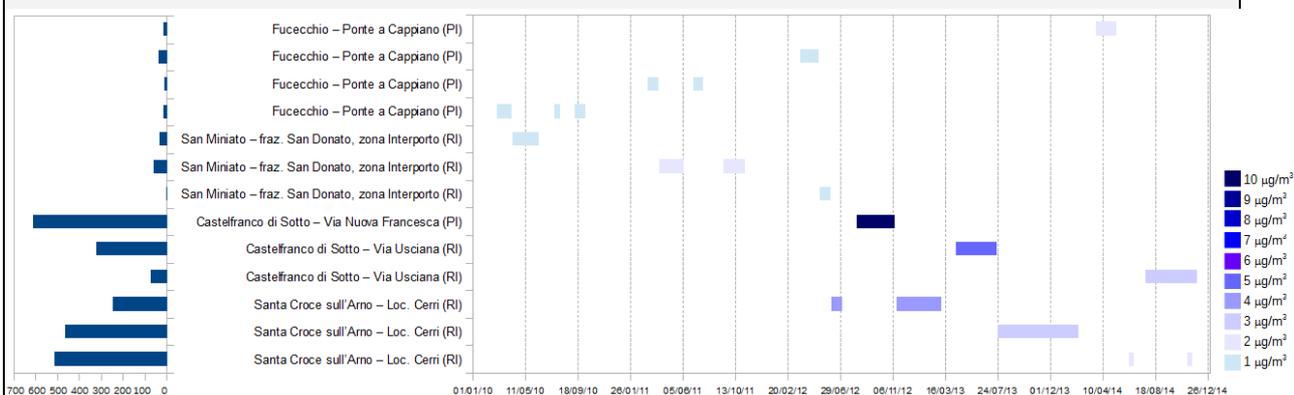


Figura S7.5 Campagne di monitoraggio non indicative – Media dei livelli medi di concentrazione oraria (a destra) e massima concentrazione oraria (a sinistra) nel periodo di campionamento

Sito di monitoraggio	Periodo di monitoraggio	Media delle concentrazioni orarie del periodo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Max. media oraria rilevata nel periodo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Percentuale dei giorni con superamento della soglia olfattiva di 7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Santa Croce sull'Arno – Loc. Cerri (RI)	14 – 28 giu 2014 7 – 18 nov 2014	2	517	4%
Santa Croce sull'Arno – Loc. Cerri (RI)	24 lug 2013 – 10 feb 2014	3	468	7%
Santa Croce sull'Arno – Loc. Cerri (RI)	8 giu – 4 lug 2012 16 nov 2012 – 6 mar 2013	4	252	10%
Castelfranco di Sotto – Via Usciana (RI)	25 lug – 1 dic 2014	3	75	11%
Castelfranco di Sotto – Via Usciana (RI)	12 apr – 22 lug 2013	5	327	10%
Castelfranco di Sotto – Via Nuova Francesca (PI)	9 ago – 12 nov 2012	10	615	37%
San Miniato – fraz. San Donato, zona Interporto (RI)	9 mag – 6 giu 2012	1	7	0%
San Miniato – fraz. San Donato, zona Interporto (RI)	8 apr – 8 giu 2011 14 set - 7 nov 2011	2	61	1%
San Miniato – fraz. San Donato, zona Interporto (RI)	9 apr – 14 giu 2010	1	38	1%
Fucecchio – Ponte a Cappiano (PI)	1 mar – 7 apr 2010 21 lug – 6 ago 2010 11 sett – 06 ott 2010	1	18	1%
Fucecchio – Ponte a Cappiano (PI)	10 mar – 6 apr 2011 1 lug – 25 lug 2011	1	16	2%
Fucecchio – Ponte a Cappiano (PI)	23 mar – 7 mag 2012	1	42	1%
Fucecchio – Ponte a Cappiano (PI)	26 mar – 14 mag 2014	2	18	1%

Come si può rilevare dal grafico i livelli massimi di concentrazione vengono rilevati presso i siti di Santa Croce sull'Arno, loc. Cerri e Castelfranco di Sotto, Via Usciana e Via Nuova Francesca sebbene si osservano livelli medi orari di concentrazione nel periodo di campionamento non rilevanti.

S8 - Scheda di approfondimento: Alcuni spunti sulle polveri da combustione - il black carbon.

Negli ultimi anni ha suscitato particolare interesse in ambito scientifico il **black carbon**, componente di origine primaria del particolato ultrafine (diametro aerodinamico $< 1 \mu\text{m}$) emessa direttamente durante la combustione incompleta di carburante effettuata in condizioni non ottimali di combustione. Il black carbon è composto in prevalenza da carbonio elementare EC (detto anche nerofumo) e da composti organici misurati come carbonio organico OC (organic carbon). Le dimensioni di tale frazione di particolato variano tra i 10 nm (particelle individuali di BC) e 1 μm (nel caso di agglomerati di più particelle; in tali casi le particelle di BC hanno una struttura interna composta da più piccole unità strutturali di circa 2 nm costituite da molecole di policiclici aromatici, IPA).

Tale componente, in termini di potenziale danno alla salute umana, è uno dei più importanti inquinanti atmosferici in quanto, viste le sue ridotte dimensioni, penetra in regioni sensibili del sistema respiratorio e può causare o aggravare malattie cardiovascolari e polmonari.

Durante il trasporto atmosferico le particelle di BC interagiscono, inoltre, con diverse componenti combinandosi, ad esempio, con composti organici (come ad esempio IPA) e solfati. **Il black carbon è stato inserito dall'Organizzazione Mondiale della Sanità nell'elenco delle sostanze che possono provocare il cancro** (possibly carcinogenic to humans- Group 2B. IARC, Vol. 93, 2010) (WHO, 2012)¹⁶.

Oltre ad avere potenziali effetti negativi sulla salute umana il BC è collocato tra le sostanze potenzialmente climalteranti; secondo alcuni studi, infatti, **il black carbon è la componente di PM che maggiormente assorbe la luce e risulta essere uno dei responsabili dei cambiamenti climatici** (Bond et al., 2013)¹⁷.

Le principali sorgenti di emissione del black carbon sono:

- > fonti mobili, in particolare i veicoli alimentati a diesel - veicoli stradali e macchine mobili non stradali (ad esempio macchine utilizzate nella silvicoltura e l'agricoltura, locomotive e vagoni ferroviari) e navi;
- > riscaldamento residenziale in impianti di piccole e medie dimensioni, in particolare tramite la combustione di biomassa, ad es. carbone fossile e legno.

In base a quanto emerge dalle valutazioni effettuate dall'International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), la prima fonte di BC è la combustione domestica di biomassa che contribuisce per circa il 40% al totale delle emissioni di black carbon in Europa (EU28) (anno di riferimento 2005)

mentre la seconda sono i trasporti su gomma; in figura 1 viene rappresentata una fotografia al 2005 delle principali fonti emittive e gli effetti attesi dall'applicazione delle correnti normative europee sul controllo delle emissioni¹⁸.

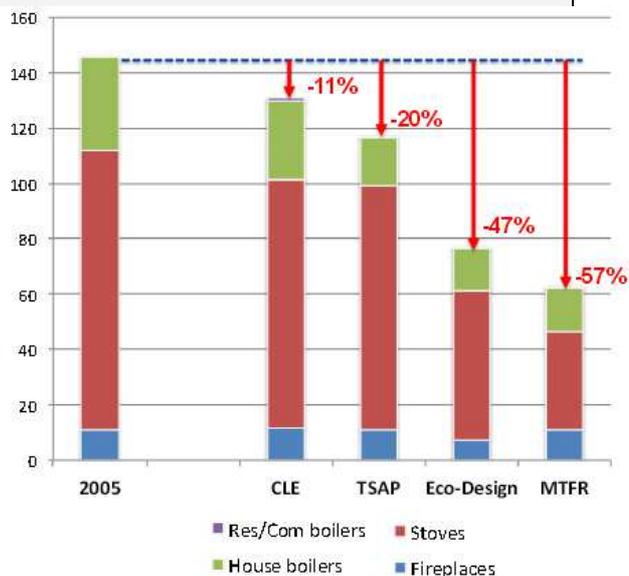
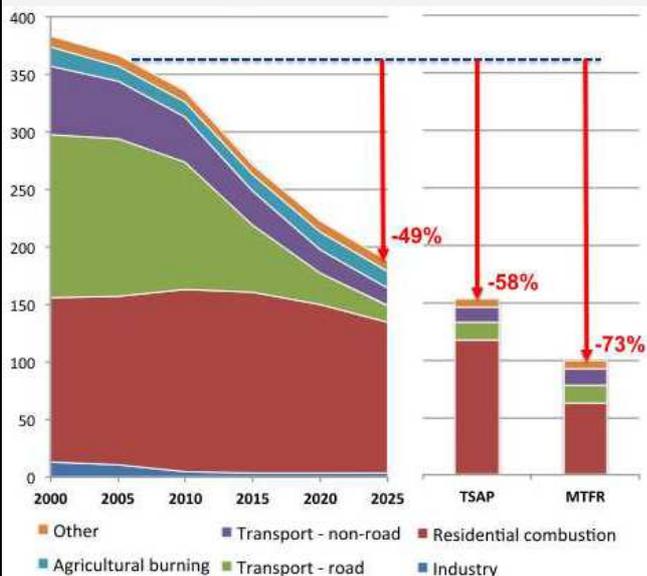


Figura 1. Impatti della legislazione corrente e prevista sulle emissioni di BC nell'EU28, kt

Figura 2. Potenziali riduzioni delle emissioni di BC derivanti dall'introduzione delle più moderne tecnologie di combustione

Da tale studio, in particolare, emerge che più del 70% delle emissioni di BC da combustione domestica di biomassa derivano dall'utilizzo di stufe tradizionali e caminetti (Figura 2).

Risultati simili emergono da un lavoro effettuato dal DIAR del Politecnico di Milano sulle fonti di emissioni di black carbon finalizzato alla realizzazione di un inventario delle emissioni di EC e OC in Lombardia¹⁹; da tale studio emerge che le principali fonti emittive di BC sono i trasporti diesel e la combustione di biomassa (Figura 3) e, in particolare, circa il 90% delle emissioni derivanti da quest'ultima è imputato alla combustione in caminetti e stufe tradizionali (Figura 4).

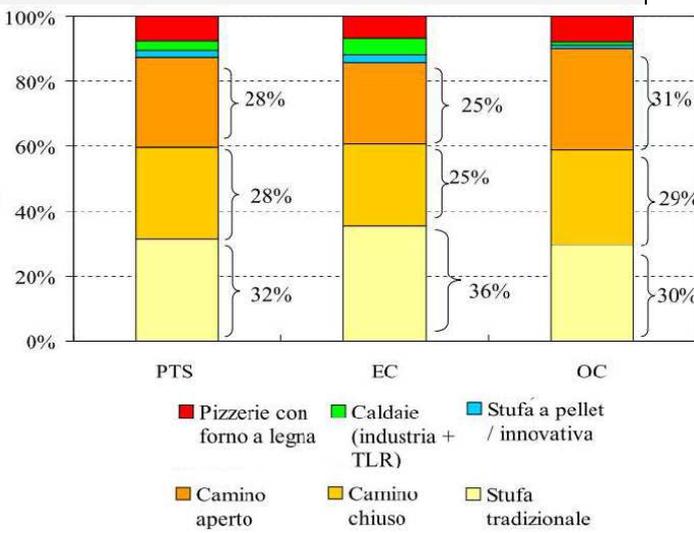
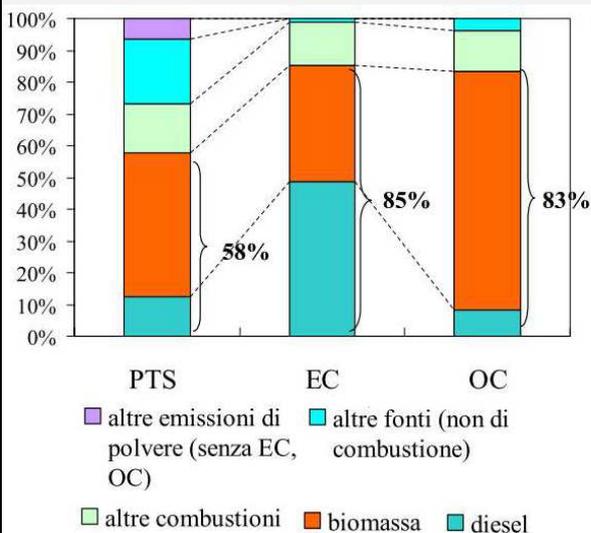


Figura 3. Le principali fonti di emissione di EC/OC (Inventario INEMAR, ARPA Lombardia) (Inventario)

Figura 4. Incidenza delle diverse tecnologie da combustione non industriale di biomassa INEMAR, ARPA Lombardia)

Le emissioni di black carbon da combustione domestica di biomassa

I piccoli impianti di combustione, le classiche tecnologie di combustione a letto fisso, lavorano in condizioni usualmente distanti da quelle ottimali con la conseguente generazione di polveri e sostanze inquinanti di natura organica che comprendono anche le frazioni a maggiore tossicità (idrocarburi policiclici aromatici, diossine). Le emissioni di polveri hanno luogo prevalentemente quando la combustione non è a regime; soprattutto in fase di avvio dell'impianto negli impianti tradizionali si registrano concentrazioni anche dieci volte maggiori di quelle caratteristiche della combustione a regime (Nussbaumer, 2008)²⁰.

Recenti indagini sperimentali su utenze di riscaldamento civile a biomassa di piccola potenzialità (Cernuschi et al., 2010; Ozgen et al., 2012)²¹ hanno dimostrato il contributo significativo di polveri ultrafini ($D_p < 0.1 \mu\text{m}$) al numero totale di particelle emesse, con percentuali che variano dal 50% al 90% in funzione delle condizioni operative dell'impianto²².

A titolo di esempio si riportano di seguito i risultati degli studi effettuati dal TFZ di Straubing²³ dai quali emerge che la classe dimensionale prevalente delle polveri emesse a potenza nominale dai processi di combustione effettuati in caldaie di piccola-media taglia a biomassa legnosa è quella che presenta diametro aerodinamico $< 1 \mu\text{m}$ (Figura 5).

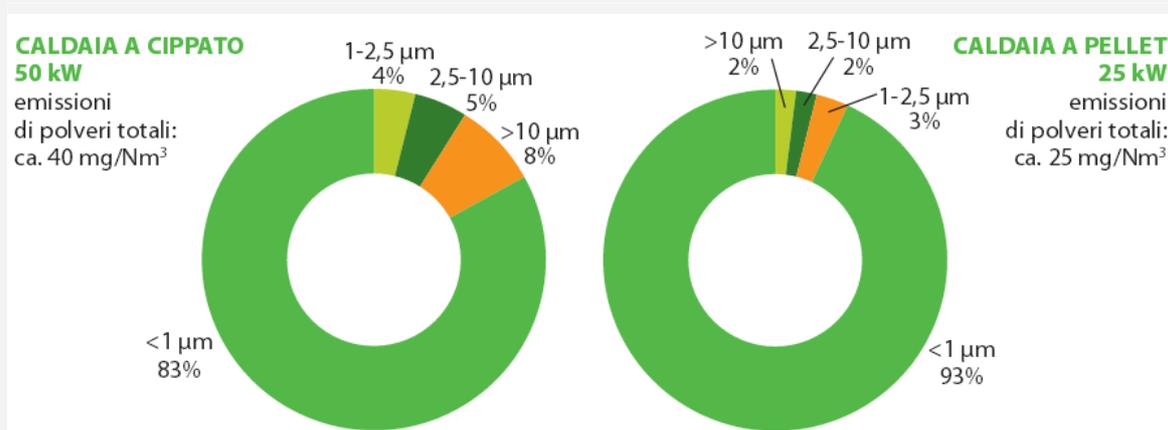


Fig 5. Tipica classificazione dimensionale delle polveri prodotte da caldaie a cippato e a pellet, misurate a potenza nominale (TFZ, Straubing)

Di seguito si riporta uno schema che mostra le tipologie del particolato in funzione delle condizioni di combustione rappresentate in termini di eccesso d'aria e concentrazione del monossido di carbonio.

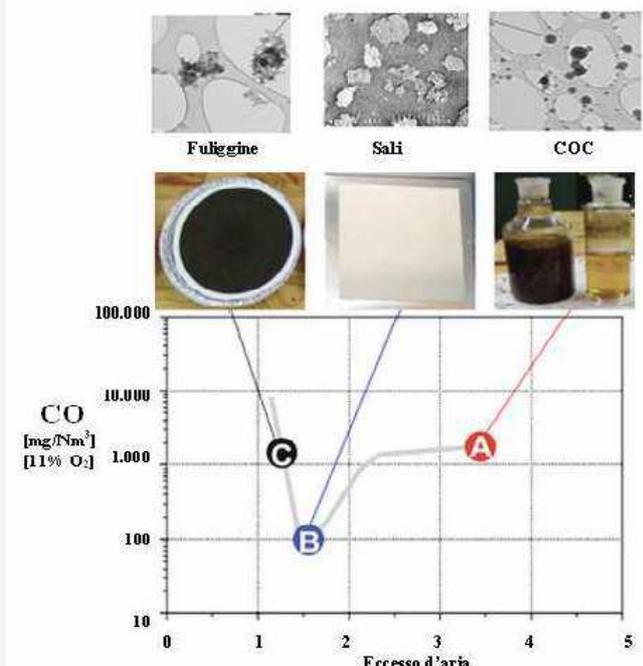


Figura 6. Tipologie di particolato emesso dalla combustione della legna in relazione a diversi livelli di eccesso d'aria e di CO (elaborazione da Nussbaumer e Lauber, 2010)²⁴

In condizioni di combustione completa (condizione che si genera a regime negli apparecchi automatici più moderni quali stufe e caldaie a pellet) il particolato è prevalentemente composto da particolato inorganico, costituito per la maggior parte da sali (NaCl, KCl, K₂SO₄, etc.). In caso di condizioni non ottimali di combustione e, quindi, di combustione incompleta, invece, il particolato è prevalentemente composto da:

- black carbon (costituito da carbonio elementare in forma grafite), nel caso di cattiva combustione a temperatura sufficientemente elevata (cattiva miscelazione combustibile/comburente o carenza di aria ed elevate emissioni di monossido di carbonio). La fuliggine comprende tutte le particelle primarie carboniose (contenenti carbonio) generate dai processi di combustione incompleti;
- prodotti carboniosi organici condensabili (COC), nel caso di condizioni di temperatura insufficiente (in fase di avvio e di spegnimento dell'impianto), nelle quali la sostanza organica volatilizzata non è completamente combusta..

Note

1. *Status of black carbon monitoring in ambient air in Europe*, EEA Technical report No 18/2013
2. *Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment*, Journal of Geophysical research Volume 118, Issue 11 - 16 June 2013
3. *Emissions of Black Carbon in Europe and implications in the Arctic*, Kaarle Kupiainen, Zbigniew Klimont, IIASA (International Institute for Applied Systems Analysis), 16th IUAPPA World Clean Air Congress, 1.10.2013
4. *Inventario INEMAR ARPA Lombardia, Emissioni di Carbonio Elementare e Carbonio Organico in Lombardia*, Stefano Caserini, Silvia Galante, Senem Ozgen, Sara Cucco, Katia De Gregorio - Politecnico di Milano, DIAR Sezione Ambientale, Marco Moretti - ARPA Lombardia)
5. *Particulate Emissions from Biomass Combustion in IEA Countries*, Nussbaumer, T.; Czasch, C.; Klippel, N.; Johansson, L.; Tullin, C.; IEA Bioenergy Task 32 and Swiss Federal Office of Energy (SFOE), Zürich 2008, ISBN 3-908705-18-5 (www.ieabioenergytask32.com or www.verenum.ch)
6. *Ultrafine particle emissions for municipal waste-to-energy plants and residential heating boilers*, Ozgen, S., Ripamonti, G., Cernuschi, S. et al. Rev Environ Sci Biotechnol (2012) 11: 407. doi:10.1007/s11157-012-9280-0
7. Tesi di dottorato *La combustione di biomassa in piccoli impianti residenziali: emissioni, incertezze, scenari di riduzione*, ing. Silvia Galante (Politecnico di Milano, Dipartimento di ingegneria civile ed ambientale, Dottorato in ingegneria ambientale e delle infrastrutture), relatore ing. Stefano Caserini.
8. Hartmann H. (Hrsg.) *Handbuch bioenergie-Kleinanlagen* (2. Auflage) Sonderpublikation des Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMVEL) und der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR), Gülzow (DE) 224 S., ISBN 3-00-011041-0, Mai 2007.
9. *Characterisation of particles from wood combustion with respect to health relevance and electrostatic precipitation*, Prof. Dr. Thomas Nussbaumer University of Applied Sciences Lucerne, CH – 6048 Horw, (Switzerland), www.hslu.ch, Verenum, Langmauerstrasse 109, CH – 8006 Zurich (Switzerland), www.verenum.ch (http://task32.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2017/03/07_Nussbaumer.pdf).

6 INFLUENZA DELLE CONDIZIONI METEOROLOGICHE SULL'INQUINAMENTO ATMOSFERICO (a cura del Consorzio Lamma)

Come è noto, le condizioni meteorologiche influenzano la concentrazione degli inquinanti atmosferici: in particolare l'intensità del vento, la precipitazione, la temperatura, l'altezza dello strato di rimescolamento (Hmix) possono costituire condizioni più o meno favorevoli all'accumulo degli inquinanti nello strato più vicino al suolo.

Nell'ambito del progetto PATOS, la Regione Toscana ha promosso studi finalizzati ad approfondire le conoscenze riguardo ai processi di formazione e di accumulo o dispersione del particolato atmosferico. Il Consorzio LaMMA ha svolto una attività di supporto effettuando specifici studi finalizzati ad individuare i parametri meteorologici che influenzano in modo significativo i livelli di concentrazione del particolato atmosferico. Per quanto riguarda la velocità del vento, gli eventi influenti ai fini della riduzione delle concentrazioni sono quelli caratterizzati da un vento medio-forte, persistente per molte ore o addirittura qualche giorno: queste condizioni, generalmente, si verificano alla scala sinottica e non si tratta quindi di eventi locali. Per quanto riguarda la pioggia, solo gli eventi con intensità superiore ad una determinata soglia, tipicamente superiore a 10 mm, hanno un effetto sulla riduzione delle concentrazioni di PM10. Anche la temperatura influenza i livelli di concentrazione degli inquinanti: infatti nei mesi freddi si registrano valori più elevati di particolato, anche in relazione all'aumento delle emissioni dovute al riscaldamento domestico.

L'altezza dello strato di rimescolamento Hmix è un parametro fondamentale perché

permette di quantificare le dimensioni della porzione di atmosfera in cui sono importanti i moti convettivi, e quindi di stimare la porzione di atmosfera influenzata dalla presenza di composti inquinanti. Infatti i livelli di concentrazione degli inquinanti possono essere molto diversi a seconda che si verifichino o meno condizioni in cui il rimescolamento delle masse d'aria è confinato in uno strato limitato di atmosfera, determinando situazioni di accumulo in aria delle sostanze emesse. Le variazioni dell'altezza di rimescolamento sono caratterizzate da un andamento giornaliero: nelle ore notturne e nelle prime ore del mattino sussistono condizioni stabili, per poi passare, nelle ore centrali della giornata, ad un riscaldamento del terreno che genera uno strato rimescolato. Dopo il tramonto il terreno si raffredda più velocemente dell'aria, creando così le condizioni di inversione termica ed il ciclo ricomincia. A livello stagionale, nei mesi freddi l'altezza di rimescolamento resta in genere non troppo elevata anche nei valori massimi, mentre nei mesi caldi aumenta progressivamente.

Il Consorzio Lamma ha messo a punto un sistema di modelli numerici ad alta risoluzione per la stima di questo parametro. In prima battuta è stato effettuato uno studio pilota che ha riguardato

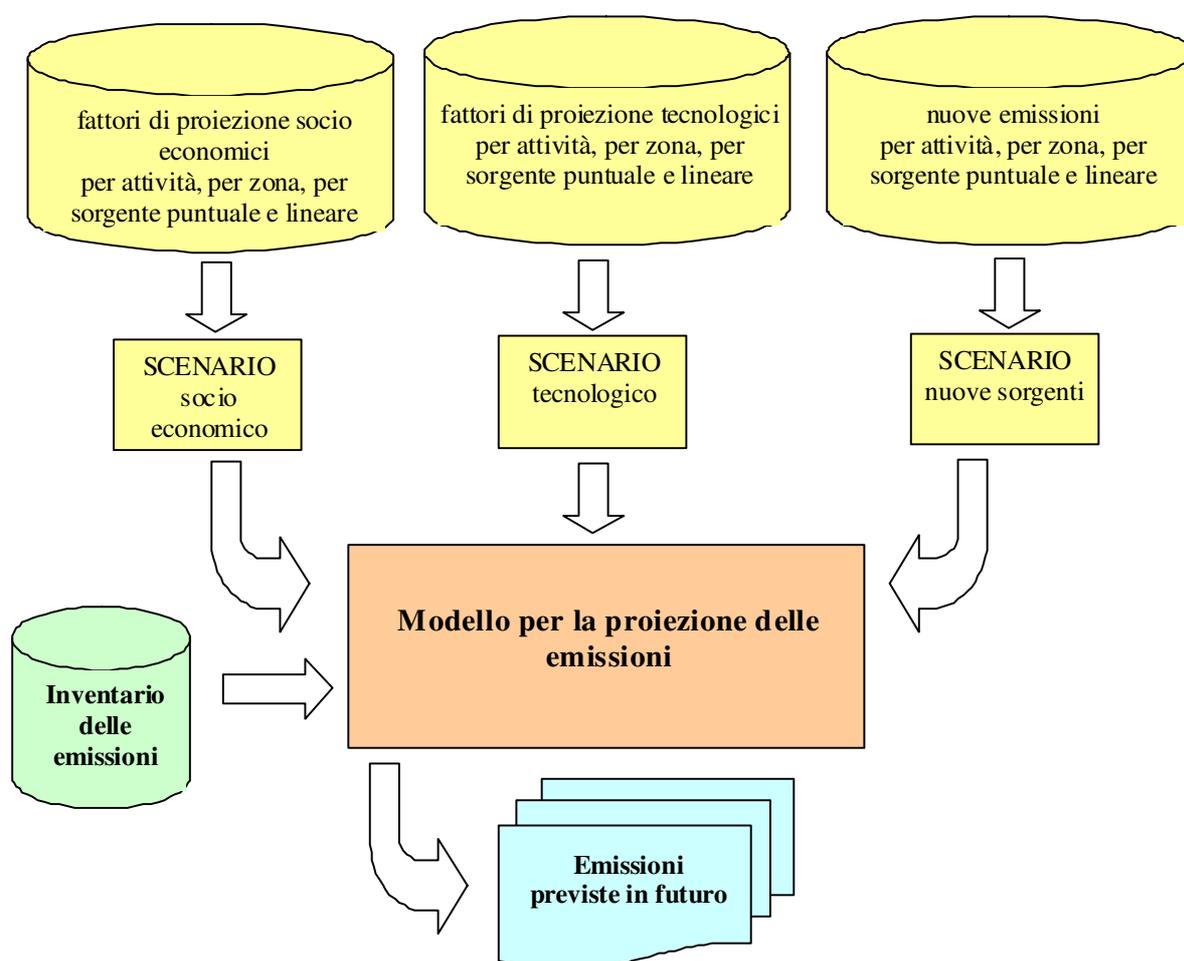
l'area del bacino Firenze-Prato-Pistoia, per un periodo di un anno, il 2010; successivamente la catena di modelli è stata configurata su tutto il territorio regionale per fornire in modalità operativa previsioni di Hmix ad alta risoluzione.

Lo studio pilota, attraverso il confronto con le misure di PM10 effettuate dalle stazioni della rete di monitoraggio gestita da ARPAT, ha mostrato che l'altezza dello strato di rimescolamento è un parametro fondamentale per la caratterizzazione meteorologica di un'area e in particolare per l'individuazione degli episodi critici per l'accumulo degli inquinanti atmosferici. I risultati ottenuti indicano che condizioni meteorologiche determinano l'andamento temporale delle concentrazioni di PM10 e quindi anche dei picchi: tuttavia, i valori quantitativi di PM10 sono diversi da un sito all'altro, soprattutto durante gli episodi critici, da cui deriva un numero di superamenti della soglia di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ diverso da stazione a stazione. Soprattutto durante gli episodi critici, caratterizzati da stabilità atmosferica e scarsissima diffusività, le sorgenti emissive locali sono quindi decisive per determinare o meno il superamento della soglia di concentrazione per il PM10. In presenza di condizioni meteorologiche critiche per la diffusione degli inquinanti, quindi, il diverso carico emissivo locale deve essere considerato come fattore determinante.

7 SCENARI EMISSIVI DI RIFERIMENTO (a cura della Regione Toscana)

Nel presente paragrafo, dopo una descrizione della metodologia applicata per costruire scenari emissivi a livello regionale, vengono presentati i risultati degli scenari emissivi ottenuti con la stima delle emissioni totali regionali al 2015, al 2020 ed al 2025 partendo dalla base emissiva regionale del 2010 come rappresentata dall'ultimo aggiornamento dell'IRSE.

Lo schema operativo per l'ottenimento degli scenari mediante la proiezione delle emissioni future è riportato nella figura seguente.



La base della valutazione è costituita dallo *scenario "Business As Usual BAU"*, ovvero lo scenario elaborato sulla base delle norme e dei provvedimenti vigenti a livello europeo, nazionale, regionale, provinciale e comunale aventi rilievo in materia di inquinamento atmosferico già programmati, elaborato sulla base dell'analisi dell'andamento tendenziale dei principali indicatori delle attività responsabili delle emissioni.

Lo scenario di riferimento è lo scenario base con cui sono confrontati gli scenari alternativi al fine della determinazione dei possibili interventi che minimizzano i costi una volta stabiliti gli obiettivi di risanamento della qualità dell'aria.

Tale scenario è elaborato sulla base dell'analisi dell'andamento tendenziale dei principali indicatori delle attività responsabili delle emissioni, nonché sulla base degli effetti delle misure sulla limitazione o controllo delle emissioni che derivano dal quadro delle norme e dei provvedimenti vigenti a livello europeo, nazionale, regionale, provinciale e comunale.

Una volta costituito lo scenario emissivo potrà essere costituito uno scenario di riferimento della qualità dell'aria. Esso può essere elaborato attraverso l'utilizzo di modelli di dispersione e trasformazione in atmosfera degli inquinanti, potrà dare informazioni sull'andamento tendenziale della qualità dell'aria alla data prevista per il raggiungimento dei valori limite.

La metodologia generale per definire la proiezione delle emissioni ad una certa data è schematizzabile nella seguente formula:

$$E_{future} = E_{anno 0} \times D_{economici} \times D_{tecnologici}$$

E_{future} sono le emissioni stimate per l'anno x per un determinato inquinante, per tipologia di sorgente (diffusa, lineare, puntuale), per una specifica attività e per una specifica zona (comune);

E_{anno0} sono le emissioni stimate per l'anno di riferimento (2010) per un determinato inquinante, per tipologia di sorgente (diffusa, lineare, puntuale), per una specifica attività e per una specifica zona (comune);

D_{economici} sono indicatori (esempio Popolazione, PIL, ecc.) che permettono una stima dell'andamento temporale dell'indicatore dell'attività (es. consumi di combustibile, ecc.);

D_{tecnologici} sono indicatori (esempio composizione parco veicolare, ecc.) che permettono una stima dell'andamento temporale dell'indicatore del fattore di emissione dell'attività;

Scenario di BAU

Lo scenario di riferimento costruito sulla base dei dati IRSE al 2010 è quello tendenziale nell'ipotesi che non siano intraprese ulteriori misure e interventi (compresi quelli del presente piano) oltre a quelli già definiti e programmati ai vari livelli istituzionali o di prossima adozione. Tale scenario è costruito definendo dei fattori di proiezione, che si basano sulle previsioni economiche e demografiche, su quanto previsto dalla Regione sino all'anno 2020 in programmazioni e strategie in materia di energia e trasporto e sulle misure previste dalle AIA nazionali. Come detto tale scenario è stato predisposto nel 2013 nell'ambito dell'aggiornamento dell'inventario IRSE al 2010 e quindi non contiene le misure definite dopo tale data.

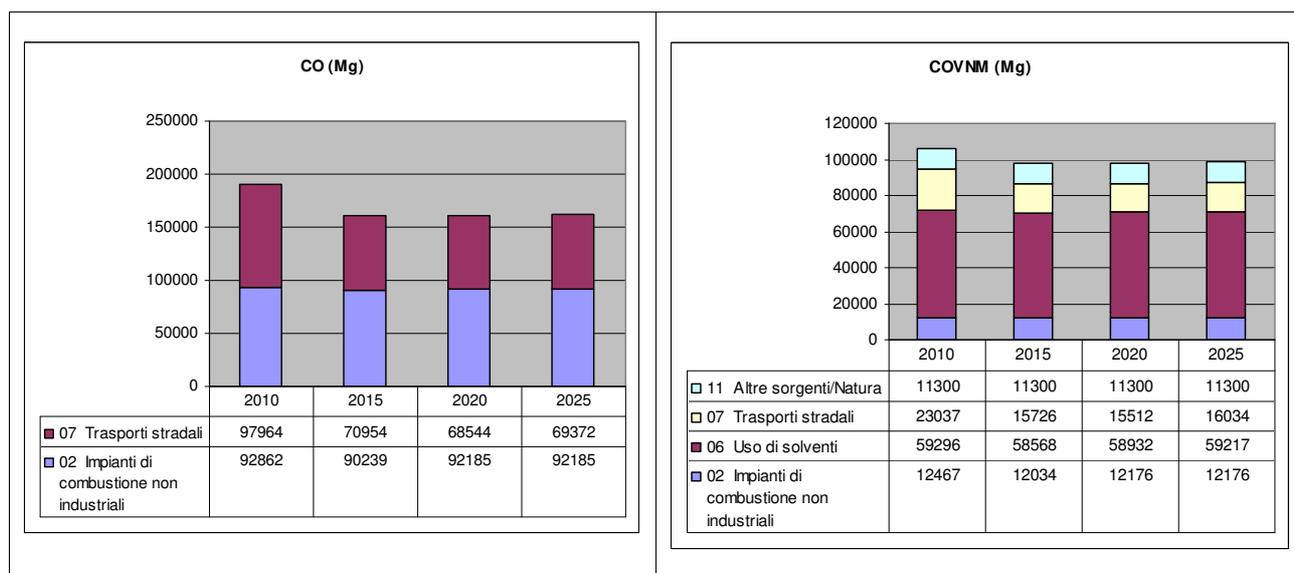
Nel dettaglio sono state considerate in particolare:

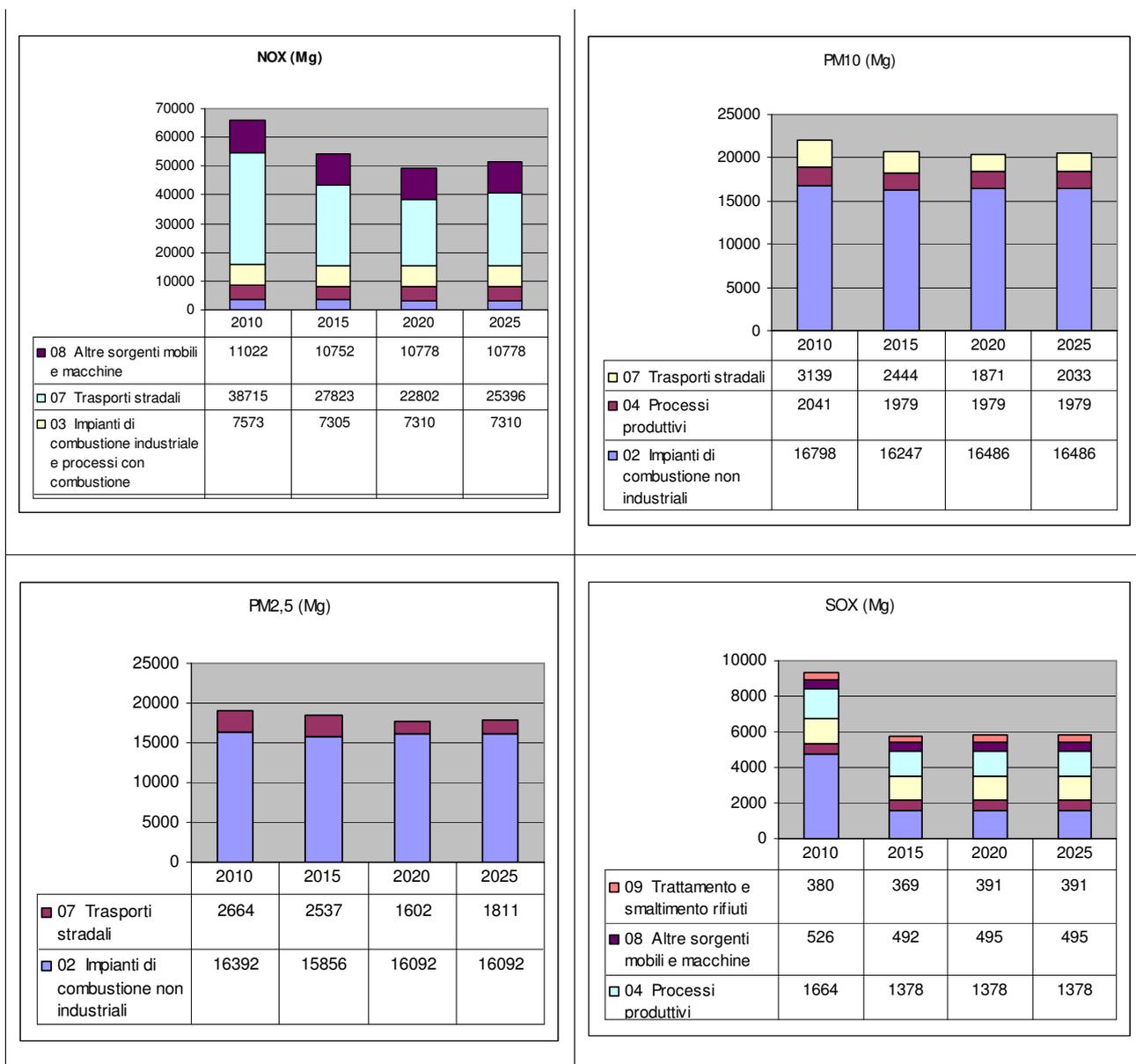
- le previsioni sulla popolazione regionale tratte dal sito dell'Istat (Demolstat);
- le previsioni del PIL regionale (fonte IRPET);
- le seguenti misure sulle infrastrutture di trasporto stradale e portuale:
 - l'elettrificazione del Porto di Livorno per quanto riguarda la calate Sgarallino;
 - la sostituzione di 32 vecchi autobus a gasolio Euro 0 con altrettanti autobus di nuova generazione a metano;
 - l'introduzione di nuove piste ciclabili e di nuove zone pedonali nei comuni ricadenti in zone di risanamento;
- i seguenti obiettivi della pianificazione energetica:
 - l'obiettivo target del 16,5% di consumo da rinnovabili termiche ed elettriche sul consumo energetico regionale così come assegnato dal decreto Burden Sharing e recepito dal Piano Ambientale Energetico Regionale (PAER);
 - la riduzione dei consumi energetici finali del 20% pari a un consumo non superiore al 2020 a 9429 Ktep previste dal Piano Ambientale Energetico Regionale (PAER);
- gli interventi e le misure previste dalle AIA nazionali (tratte dal sito del Ministero della Tutela del Territorio e del Mare) riguardanti nello specifico:
 - la realizzazione del terminale galleggiante a Livorno per la rigassificazione del GNL da parte della società OLT (Offshore LNG Toscana);
 - il rispetto dei limiti normativi delle concentrazioni ai camini rivolti alla Raffineria di Livorno, allo stabilimento di produzione di acido solforico e oleum a Scarlino gestito dalla Nuova Solimine (DVA-DEC-2010-0000997_NUOVASOLMINESCARLINO) e alla centrale di Collesalveti Eni Power (DVA-DEC-2011-0000018-ENIPOWER-Collesalveti).
- l'art.5 del D.Lgs.36/2003 che fissa come obiettivo finale di riduzione dei rifiuti urbani biodegradabili il valore di 81 Kg/anno per abitante nel 2018 da raggiungere a livello di Ambito Territoriale Ottimale (ATO) (attraverso la seguente gradualità: 173 Kg/anno per abitante nel 2008; 115 Kg/anno nel 2011);
- la previsione delle emissioni all'anno 2020 di inquinanti da traffico stradale, ottenute combinando le variazioni di domanda di trasporto contemplate dal Piano Regionale dei Trasporti con le variazioni di tecnologie motori previste dal ciclo di vita dei veicoli da

trasporto privato e commerciale elaborate sulla base dei dati degli studi ANFIA (Associazione Nazionale Filiera Industria Automobilistica) relativi alla consistenza del parco autovetture secondo l'età e all'evoluzione del parco veicoli commerciali.

- Il nuovo inceneritore di rifiuti solidi urbani previsto nel Comune di Sesto Fiorentino (FI) in località Case Passerini, a partire dal 2020
- l'incremento dei voli e dei passeggeri per l'aeroporto Amerigo Vespucci di Firenze previsto a seguito dell'adozione dell'integrazione al piano di indirizzo territoriale (PIT) per la definizione del Parco agricolo della Piana e per la qualificazione dell'aeroporto di Firenze (Deliberazione di Consiglio Regionale del 24 luglio 2013, n. 74.)

Nel seguito sono riportati i risultati delle proiezioni dei principali inquinanti per macrosettore con le ipotesi sopra descritte. Per facilità di lettura, sono riportati solo i macrosettori che presentano i maggiori contributi alle emissioni, in particolare quelli con una emissione maggiore del 5% rispetto al totale regionale.





Per quanto riguarda il **monossido di carbonio (CO)** si assiste ad una riduzione al 2015 derivante nella quasi totalità ai trasporti stradali, per poi avere una sostanziale costanza nelle emissioni..

Con riferimento alle emissioni degli **ossidi di azoto (NOX)** si assiste, rispetto ai dati del 2010, ad una riduzione globale del 18% al 2015, del 25% al 2020 e del 21% al 2025 dovuta soprattutto all'evoluzione delle emissioni relative ai trasporti.

Relativamente ai **composti organici volatili non metanici (COVNM)** si assiste ad una riduzione pari al 8% fino al 2020 dovuta soprattutto all'evoluzione delle emissioni relative ai trasporti.

Le emissioni delle **particelle con diametro inferiore a 10 e 2,5 micron (PM10 e PM2,5)**, dovute principalmente alla combustione di biomassa per riscaldamento domestico e ai trasporti, diminuiscono al 2015 rispettivamente del 6% e 3%. Nel 2020, in considerazione delle politiche per

il raggiungimento degli obiettivi di Burden Sharing, che chiedono un incremento del consumo di energia da biomasse, si assiste a un leggero incremento delle emissioni nel settore del riscaldamento compensato da un ulteriore decremento delle emissioni legate ai trasporti. Le riduzioni percentuali stimate al 2020 e 2025 sono uguali per il PM10 e PM2,5 e valgono rispettivamente il 7% e 6%

Per quanto riguarda le emissioni di **ossidi di zolfo (SOX)**, si prevede una significativa riduzione nel 2015 pari al 39%, derivante in particolare dalla combustione per la produzione di energia.

Nella tabella seguente sono riportati in dettaglio per macrosettore le emissioni stimate per gli inquinanti principali come scenario di BAU.

Tabella emissioni scenario tendenziale per macrosettore

	CO (Mg)				COVNM (Mg)				NOX (Mg)			
	2010	2015	2020	2025	2010	2015	2020	2025	2010	2015	2020	2025
01 Combustione industria dell'energia e trasformaz. fonti energetiche	1361	1314	1237	1237	186	186	186	186	3721	3454	3288	3288
02 Impianti di combustione non industriali	92862	90239	92185	92185	12467	12034	12176	12176	4714	4637	4871	4871
03 Impianti di combustione industriale e processi con combustione	3874	3733	3735	3735	230	223	223	223	7573	7305	7310	7310
04 Processi produttivi	15732	15248	15248	15248	4060	4018	4033	4046	237	229	229	229
05 Estrazione e distribuz. combustibili fossili ed energia geotermica	0	0	0	0	2196	2243	2243	2243	0	0	0	0
06 Uso di solventi	0	0	0	0	59296	58568	58932	59217	0	0	0	0
07 Trasporti stradali	97964	70954	68544	69372	23037	15726	15512	16034	38715	27823	22802	25396
08 Altre sorgenti mobili e macchine	2589	2577	2621	2621	864	848	857	857	11022	10752	10778	10778
09 Trattamento e smaltimento rifiuti	72	69	76	75	879	437	292	211	527	518	592	592
10 Agricoltura	1	1	1	1	1938	1938	1938	1938	0	0	0	0
11 Altre sorgenti/Natura	381	381	381	381	11300	11300	11300	11300	11	11	11	11
totale	214836	184517	184028	184856	116455	107520	107691	108429	66519	54728	49881	52475

	PM10 (Mg)				PM2,5 (Mg)				SOX (Mg)			
	2010	2015	2020	2025	2010	2015	2020	2025	2010	2015	2020	2025
01 Combustione industria dell'energia e trasformaz. fonti energetiche	169	169	169	169	142	142	142	142	4786	1603	1603	1603
02 Impianti di combustione non industriali	16798	16247	16486	16486	16392	15856	16092	16092	549	544	578	578
03 Impianti di combustione industriale e processi con combustione	108	106	106	106	102	99	100	100	1398	1360	1360	1360
04 Processi produttivi	2041	1979	1979	1979	517	501	501	501	1664	1378	1378	1378
05 Estrazione e distribuz. combustibili fossili ed energia geotermica	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
06 Uso di solventi	47	47	47	47	44	43	43	43	0	0	0	0
07 Trasporti stradali	3139	2444	1871	2033	2664	2537	1602	1811	49	34	25	20
08 Altre sorgenti mobili e macchine	387	379	379	379	385	376	377	377	526	492	495	495
09 Trattamento e smaltimento rifiuti	3	3	6	6	3	3	6	6	380	369	391	391
10 Agricoltura	1118	1118	1118	1118	128	128	128	128	0	0	0	0
11 Altre sorgenti/Natura	46	46	46	46	46	46	46	46	4	4	4	4
totale	23857	22536	22205	22368	20422	19731	19035	19245	9356	5784	5834	5830

8. L'ELABORAZIONE DEI RISULTATI DEI MODELLI AI FINI DELLA VALUTAZIONE DELLO STATO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA (a cura del Consorzio Lamma)

La Regione Toscana, nell'ambito dell'Accordo tra Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Regione Toscana e Comune di Firenze (ex. DM. 16/10/2006), ha incaricato il Consorzio LaMMA di sviluppare un sistema modellistico regionale per la stima di concentrazione dei principali inquinanti atmosferici sul territorio toscano. Il sistema di modelli nel 2015 è entrato formalmente a far parte del "Programma di Valutazione della Qualità dell'Aria" della Regione Toscana (Allegato B alla D.G.R. 964/2015), ed è adottato in molteplici ambiti, dall'elaborazione di stime di lungo periodo, come supporto alla Regione Toscana per la Valutazione Annuale della Qualità dell'Aria, al supporto per la valutazione della rappresentatività spaziale delle stazioni di monitoraggio della rete regionale.

Un importante ambito di applicazione è quello relativo alla realizzazione di analisi di scenario, per la pianificazione di interventi di mitigazione degli effetti dell'inquinamento atmosferico. In questo modo, a fronte delle mutazioni degli scenari emissivi, è possibile valutare l'efficacia delle misure di contenimento delle emissioni in atmosfera e quindi ottenere una stima ex-ante dei costi-benefici delle politiche di risanamento.

Il sistema modellistico è quindi predisposto per questo tipo di applicazione, tuttavia, come già sottolineato nella sezione relativa allo scenario emissivo di riferimento (a cura di Regione Toscana), i limiti legati al mancato aggiornamento dell'inventario regionale delle emissioni (l'ultimo aggiornamento è relativo all'anno 2010) si ripercuotono sulla elaborazione modellistica relativa alla stima delle concentrazioni inquinanti previste. Questo applicazione è finalizzata ad illustrare le potenzialità del sistema, evidenziando la necessità di ulteriori approfondimenti, a fronte di scenari emissivi aggiornati e di condizioni al contorno corrispondenti allo scenario in esame.

9.1 La catena modellistica

La catena modellistica implementata prevede l'uso del modello meteorologico WRF-ARW (Weather & Research Forecasting model, <http://www.wrf-model.org>) e del modello CAMx (<http://www.camx.com/>) per la simulazione della chimica e del trasporto in atmosfera, configurato sul territorio regionale ad una risoluzione di 2 Km, con risoluzione temporale oraria.

Il modello WRF è stato sviluppato dalla NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) e da NCEP (National Centre for Environmental Prediction). Si tratta di un

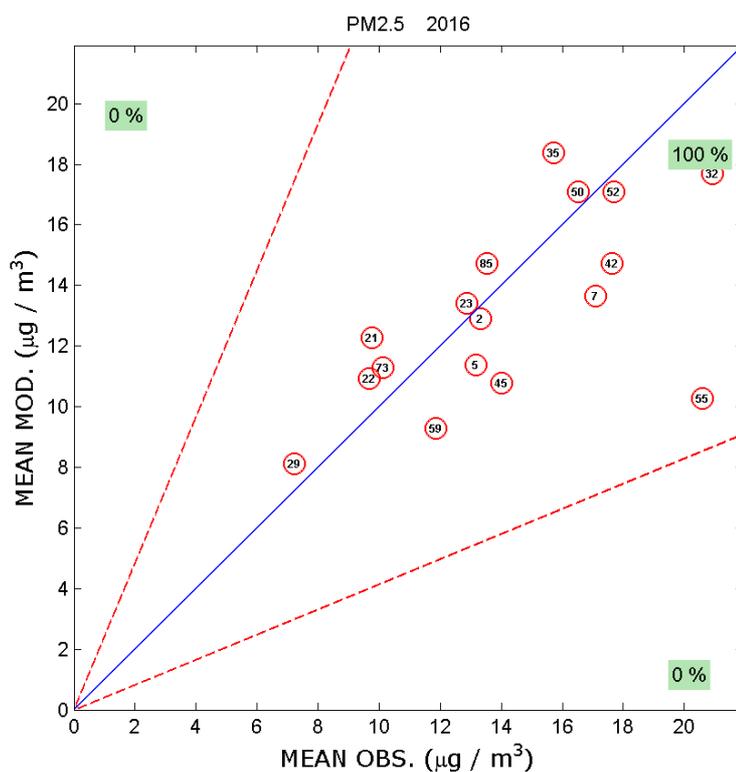
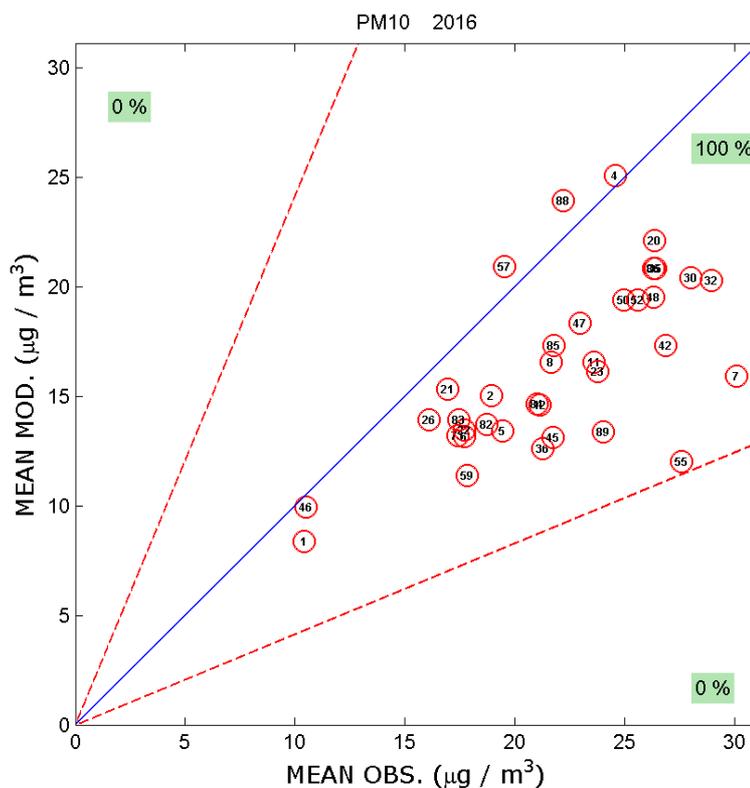
modello che può essere considerato lo stato dell'arte per quanto riguarda la modellistica numerica a scala regionale. Il modello WRF-ARW, operativo presso il consorzio Lamma, inizializzato da dati di analisi ECMWF, è configurato su due griglie innestate, a 9 Km e a 3 Km di risoluzione.

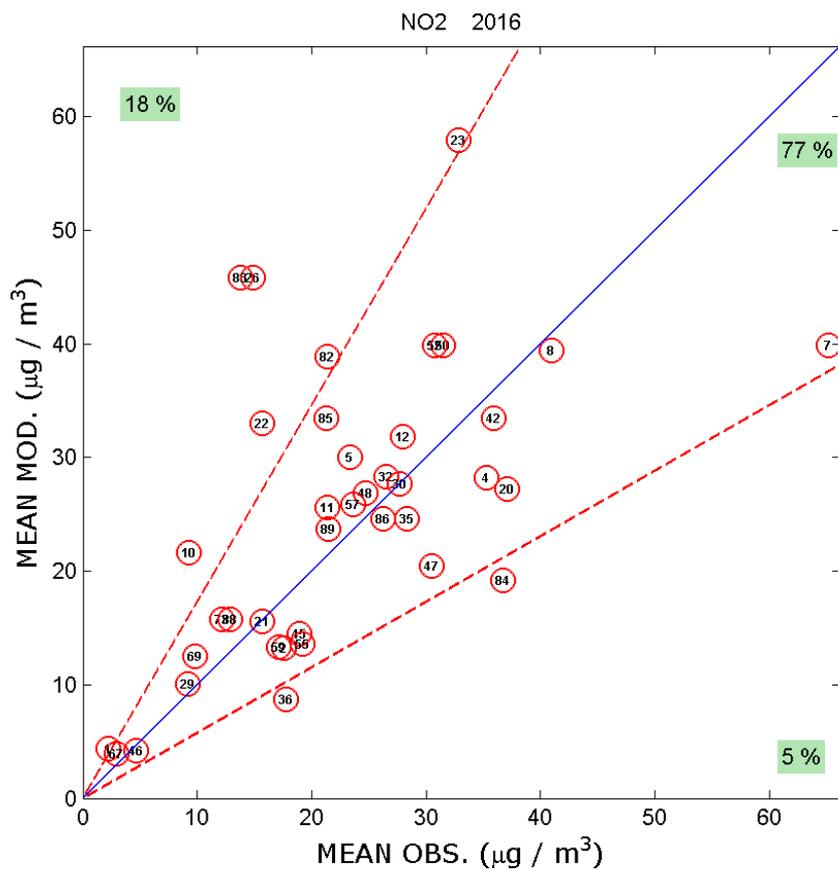
Il modello di chimica e trasporto CAMx, Comprehensive Air quality Model with extensions, è stato sviluppato da ENVIRON International Corporation, e rappresenta uno dei modelli di riferimento a livello internazionale per lo studio dell'inquinamento atmosferico. Il modello CAMx è configurato su di un dominio di calcolo che copre l'intera regione Toscana, con una estensione di 220x248 Km². Il dominio, in coordinate UTM (32), è costituito da 110 per 124 celle quadrate di 2 Km di lato. Sono stati considerati 18 livelli verticali, da 20 m a 10500 m, con una risoluzione più alta in prossimità del suolo. I files che costituiscono l'input meteorologico, forniti da WRF-ARW, sono interpolati da 3 Km a 2 Km. Il meccanismo chimico adottato, in linea con il modello di riferimento nazionale MINNI, è SAPRC99 più aerosol. Le emissioni areali, con disaggregazione temporale oraria e speciazione chimica, sono ottenute dall'Inventario Regionale IRSE, alla risoluzione iniziale di 1Km, poi ricampionate a 2 Km. Sul territorio esterno alla regione Toscana, ma interno al dominio di calcolo, sono utilizzate le emissioni del modello nazionale MINNI, a 4 Km di risoluzione e interpolate a 2 Km. Le emissioni puntuali disaggregate temporalmente su base oraria sono anch'esse fornite da IRSE. Infine, i files relativi alle concentrazioni iniziali e al contorno sono ottenuti dal modello MINNI a 4 Km di risoluzione e successivamente interpolati a 2 Km.

La catena modellistica comprende alcuni postprocessori, appositamente sviluppati, per le elaborazioni grafiche e di analisi; inoltre sono state messe a punto procedure di validazione e di verifica, al fine di costituire un robusto sistema modellistico per gli utilizzi richiesti in ambito regionale. La gestione dei file di uscita dal modello hanno previsto la messa a punto di un postprocessore che permette di trasformare i formati di uscita del modello CAMx in formato netcdf. Attraverso GrADS, Grid Analysis and Display System (<http://www.iges.org/grads/>), sono elaborate mappe medie di concentrazione degli inquinanti oggetto di studio. Inoltre, sempre con GRADS, possono venire effettuate estrazioni di serie storiche di singoli punti, in corrispondenza delle centraline di monitoraggio, per la validazione del modello.

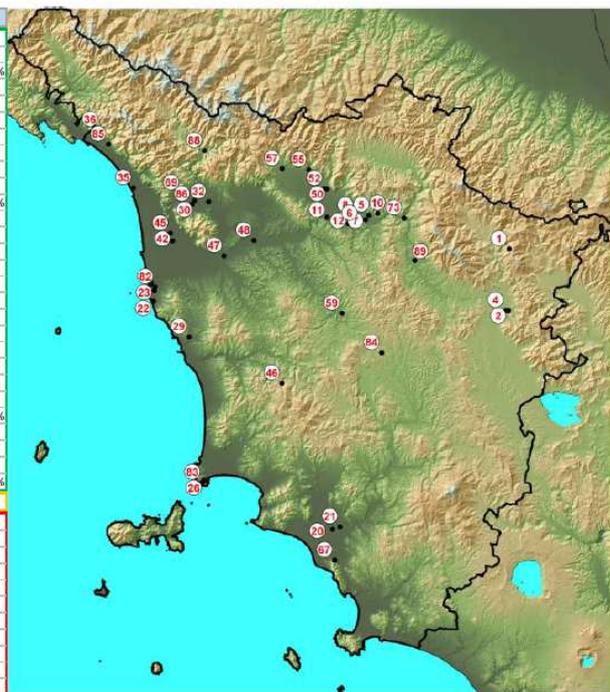
La catena di modelli WRF-CAMx risponde ai requisiti di qualità richiesti dal DLGS155/2010 per la modellistica e gli indicatori statistici relativi all'incertezza e alla precisione. Infatti la capacità della catena modellistica di stimare correttamente le concentrazioni dei vari inquinanti è misurata attraverso l'analisi degli scatter-plot relativi alla concentrazione media annua misurata e stimata rispettivamente nelle stazioni della rete regionale di rilevamento della qualità dell'aria e nelle celle dove tali stazioni sono collocate.

Nei grafici seguenti sono riportati gli scatter plot relativi alla simulazione per l'anno 2016 con evidenziati i margini di incertezza massimi previsti dalla normativa per gli inquinanti di maggiore criticità. Materiale particolato fine PM10, e PM2,5 e biossido di azoto NO2.





ID	NOME STAZIONE	TIPO	TIPO	LAT	LON	PM10	PM2.5	NO2	O3	SO2
1	AR-CASA-STABBI	F	R	43.661	11.902	93%		94%	91%	
2	AR-ACROPOLI	F	U	43.462	11.889	98%		98%	95%	
5	FI-BASSI	F	U	43.785	11.285	96%		96%	93%	100%
6	FI-BOBOLI	F	U	43.759	11.243	98%				
10	FI-SETTIGNANO	F	S	43.790	11.324			94%	93%	
11	FI-SIGNA	F	U	43.781	11.099	96%		95%	92%	
12	FI-SCANDICCI	F	U	43.758	11.192	96%		95%		
22	GR-URSS	F	U	42.779	11.121	98%		98%	94%	
21	LI-CAPPIELLO	F	U	43.521	10.322	97%		97%	94%	
29	LI-POGGIO-SAN-ROCCO	F	U	43.404	10.477	94%		94%	93%	
32	LU-CAPANNORI	F	U	43.840	10.574	97%		97%	94%	100%
35	LU-VIAREGGIO	F	U	43.889	10.242	99%		98%	93%	
36	MS-COLOMBAROTTO	F	U	44.079	10.097	98%		95%		
45	PI-PASSI	F	U	43.740	10.402	98%		98%	92%	
46	PI-MONTECERBOLI	F	S	43.248	10.882	97%		91%	93%	
48	PI-SANTACROCE-COOP	F	S	43.712	10.772	98%		94%	92%	
52	PO-ROMA	F	U	43.874	11.092	99%		99%	96%	
55	PT-MONTALE	F	S	43.936	11.023	97%		97%	95%	93%
57	PT-SIGNORELLI	F	U	43.942	10.905	98%		95%		
59	SI-POGGIBONSI	F	U	43.469	11.154	98%		98%	95%	
67	GR-MAREMMA	F	R	42.671	11.094			95%	93%	
69	LU-CARIGNANO	F	R	43.870	10.454			92%	91%	
73	FI-PONTASSIEVE	F	U	43.772	11.440	94%		94%	94%	
82	LU-LAPIRA	F	U	43.567	10.331	96%		92%		100%
83	LI-PIOMBINO-PARCO-VIII-MARZO	F	S	42.932	10.524	99%		95%		
86	LU-SAN-CONCORDIO	F	U	43.889	10.242	99%		94%		
88	LU-FORNOLI	F	U	44.006	10.560	97%		95%		
89	FI-FIGLINE	F	U	43.624	11.468	82%		82%	79%	100%
26	LU-COTONE	I	S	42.940	10.531	98%		94%		
4	AR-REPUBBLICA	T	U	43.463	11.877	97%		78%		
7	FI-GRAMSCI	T	U	43.770	11.270	92%		90%	93%	
8	FI-MOSSE	T	U	43.785	11.225	97%		95%		
20	GR-SONNINO	T	U	42.763	11.110	92%		90%		
23	LI-CARDUCCI	T	U	43.555	10.326	96%		96%	95%	
30	LU-MICHELETTO	T	U	43.844	10.512	98%		92%		
42	PI-BORGHETTO	T	U	43.715	10.411	99%		99%	95%	
47	PI-PONTEREDERA	T	U	43.664	10.639	99%		94%		
50	PO-FERRUCCI	T	U	43.872	11.103	93%		93%		
84	SI-BRACCI	T	U	43.338	11.324	98%		94%		
85	MS-MARINA-VECCHIA	T	U	43.715	10.411	98%		98%	95%	



I risultati mostrano che per il PM10 e PM2,5 tutte le stime sono entro i limiti di incertezza previsti dalla normativa. Dal confronto di questi grafici si evince che la sistematica sottostima che si ha

tra i I valori da modello rispetto alle misure per il PM10 potrebbe essere causata da una possibile sottostima nelle emissioni associate alla componente più grossolana del particolato compresa tra 2,5 e 10 µm, associata tipicamente a emissioni da usura strade gomme ,e freni, da crostale, produzione di calcestruzzo, ecc..

Per quanto riguarda il biossido di azoto le stime sono entro i limiti della normativa ad eccezione di alcuni punti lungo la costa, dove sono presenti importanti emissioni associate alle attività portuali ed industriali, per le quali il modello indica una sovrastima rispetto ai dati effettivamente misurati dalle stazioni di rilevamento. Ciò potrebbe essere causato sia da una possibile sovrastima delle emissioni di NOx associate in particolare alle attività portuali, sia ad una non perfetta modellizzazione delle emissioni dai camini delle navi.

I risultati ottenuti delle simulazioni, confrontati con quanto ottenuto dal modello di riferimento nazionale MINNI, sono coerenti, sia nella buona capacità di riprodurre l'andamento di alcuni inquinanti (NO2, O3), sia nei limiti nel simularne altri (sottostima di PM10), limiti peraltro comuni in ambito modellistico a livello internazionale.

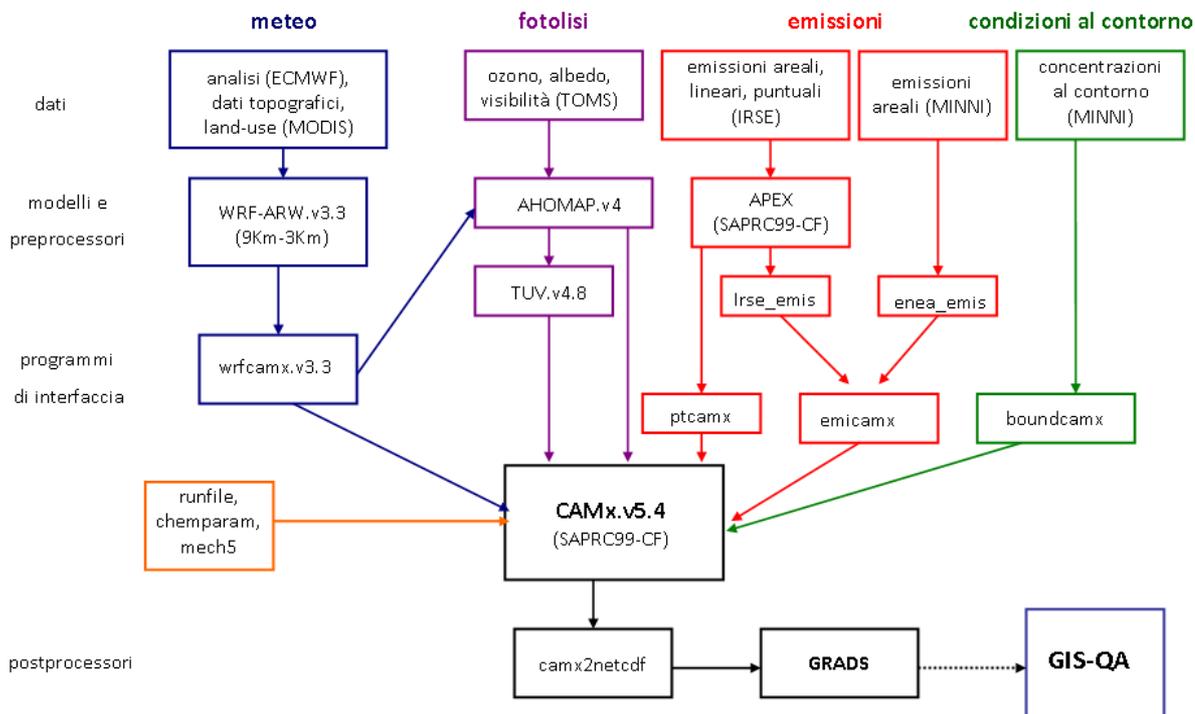


Figura 1. Schema della catena modellistica WRF-CAMx

9.2 La configurazione adottata

Il sistema di modelli adottato per effettuare la simulazione della concentrazione dei principali inquinanti su base annua è stato utilizzato per gli anni di riferimento 2007 e 2010 e, successivamente, come supporto nell'elaborazione del Programma di Valutazione della Qualità dell'Aria per gli anni 2014, 2015 e 2016. La sostanziale differenza tra le simulazioni relative agli anni di riferimento e gli anni più recenti riguarda il modello che fornisce le condizioni al contorno, nel primo caso il modello nazionale MINNI, nel secondo caso il modello a scala continentale CHIMERE, fornito da PREV'AIR. Approfondimenti e verifiche su queste applicazioni sono riportati nei relativi report, disponibili su web (<http://www.lamma.rete.toscana.it/meteo/qualita-dellaria>).

Il sistema di modelli è in grado di gestire i dati di emissione che derivano dall'inventario IRSE, attraverso una specifica interfaccia per fornire l'input emissivo con disaggregazione spaziale (1 Km), temporale (1 ora) e speciazione chimica, con successiva riaggregazione secondo il meccanismo chimico SAPRC99; tale software è stato sviluppato in ambiente LINUX e costituisce un fondamentale preprocessore per l'elaborazione degli input emissivi necessari alla catena di modelli. Il software ha la possibilità di elaborare secondo le specifiche sopra elencate non solo i dati relativi agli anni di riferimento presenti nel database IRSE, ma anche scenari emissivi futuri. In particolare nel data base IRSE 2010 è disponibile lo scenario BAU (Business As Usual), proiettato agli anni 2015, 2020, 2025., realizzati a partire dall'aggiornamento delle emissioni in atmosfera per l'anno 2010.

Nell'ambito delle azioni conoscitive del PRQA, è stata predisposta una applicazione modellistica relativa allo scenario BAU dell'aggiornamento IRSE 2010 proiettato al 2020, come descritto nel capitolo 7. Si sottolinea che tale applicazione modellistica risente dei gap conoscitivi legati sia allo scenario BAU 2020 che non presenta i corretti livelli di accuratezza, sia al mancato utilizzo delle condizioni al contorno corrispondenti allo scenario in esame. Tali lacune potranno essere colmate in una successiva simulazione a seguito dell'aggiornamento dell'inventario IRSE 2015

L'anno di riferimento, quindi, è quello relativo all'ultimo aggiornamento dell'inventario IRSE, cioè il 2010. Di conseguenza, l'input meteorologico, come le condizioni al contorno e le emissioni esterne al territorio regionale fornite dal modello nazionale MINNI, sono riferiti all'anno 2010.

Nella tabella seguente sono riportate le principali caratteristiche del run relativo allo scenario BAU 2020.

Modello	CAMx versione 5.4
Periodo	ANNO 2020 scenario
Risoluzione temporale	oraria
Dominio di calcolo	Dimensioni: 220x248 Km ² ; 110 x 124 celle Risoluzione spaziale: 2 Km Coordinate: UTM (32) 554 km E; 4677 Km N
Livelli verticali	18 livelli; da 10 m a 10500 m
Input meteo	WRF; variabili su base oraria, risoluzione 3 Km, con interpolazione 2 Km, anno 2010
Deposizione secca	Attivata - Slinn e Slinn (1980)
Deposizione umida	Attivata - Seinfeld e Pandis (1998)
Chimica	SAPRC99+CF (mech 5)
Concentrazioni iniziali e al contorno	MINNI (SAPRC99), risoluzione 4Km, anno 2010
Emissioni areali Simulazione BAU - 2020	IRSE 2010-2010: database aggiornato al 2010 variabili su base oraria; risoluzione 1 Km, con interpolazione 2 Km, MINNI (SAPRC99) - area esterna alla Toscana: variabili su base oraria; risoluzione 4 Km, con interpolazione 2 Km, anno 2010
Emissioni puntuali Simulazione BAU - 2020	IRSE 2010-2010: database aggiornato al 2010 variabili su base oraria
Specie in output	26 specie: NO, NO ₂ , O ₃ , SO ₂ , HNO ₃ , NH ₃ , PNO ₃ , PSO ₄ , PNH ₄ , POA, PEC, FPRM, CPRM, CCRS, FCRS, SOA ₁ , SOA ₂ , SOA ₃ , SOA ₄ , SOA ₅ , SOA ₆ , SOA ₇ , SOPA, SOPB, NA, PCL

Principali caratteristiche delle simulazioni eseguite.

1.2 La meteorologia

In questo paragrafo è riportata una breve sintesi della meteorologia dell'anno di riferimento 2010.

Il 2010, nel complesso, è stato un anno instabile con frequenti circolazioni depressionarie anche

a carattere freddo, in particolare nel bimestre Gennaio-Febbraio, in primavera (in particolare Marzo e Maggio) e a Novembre.

Per quanto riguarda Gennaio e Febbraio si sono osservate abbondanti precipitazioni e temperature inferiori alla norma con marcate anomalie negative dell'altezza del geopotenziale a 500 mb. I valori negativi di geopotenziale sono solidali con una scarsa o assente presenza di strutture anticicloniche di rilievo. Lo stesso andamento climatico, sebbene meno spinto, ha contraddistinto che il mese di Marzo.

Ad un Aprile nel complesso normale è seguito un bimestre caratterizzato nuovamente da frequenti circolazioni depressionarie, in particolare a Maggio, mese nel quale sono caduti 121 mm di pioggia a Firenze Peretola.

Luglio, a differenza dei mesi precedenti, è stato di gran lunga il più stabile e soleggiato con prevalenza di figure anticicloniche durature e temperature superiori alla norma.

Il periodo che va da Agosto a Ottobre non ha fatto registrare particolari anomalie di circolazione, mentre i mesi di novembre-dicembre si sono contraddistinti non solo per una recrudescenza dell'instabilità, ma anche per eventi meteorologici del tutto eccezionali.

A Novembre le precipitazioni in molte località della Toscana hanno raggiunto valori record, per Firenze Peretola si tratta del secondo Novembre più piovoso dell'intera serie storica con ben 242 mm e 18 giorni piovosi. Nel mese di Dicembre, invece, il Valdarno Inferiore (in particolare la zona Empoli-Prato-Firenze) ha vissuto una delle più abbondanti neviccate degli ultimi 100 anni; dopo l'evento, datato 17 dicembre, si è formato un robusto strato d'aria fredda al suolo dovuto all'intensificazione dell'albedo, al di sopra del quale, per oltre 4 giorni, è affluita aria calda da avvezione che ha costituito un persistente strato di inversione. Il resto del mese si è caratterizzato per un'alternanza tra periodi molto freddi e fasi più calde e fortemente perturbate.

1.3 Le emissioni e le condizioni al contorno

Una più esaustiva analisi delle emissioni relative allo scenario BAU proiettato al 2020 è stata effettuata nel capitolo 7. Tuttavia, per completare l'analisi, in questo paragrafo vengono presentate e commentate le mappe delle emissioni diffuse totali annue dei principali inquinanti, gli ossidi di azoto NO_x, il particolato PM₁₀ e PM_{2.5}, gli ossidi di zolfo SO_x, relative all'anno 2010, allo scenario BAU 2020 e alla loro differenza.

L'inquinante che ha un maggiore decremento è sicuramente NO_x, in particolare in corrispondenza delle aree relative alla piana Firenze-Prato-Pistoia, al Valdarno inferiore e alle principali arterie di traffico. Molto più limitata la diminuzione del particolato, sia del PM₁₀ che del

PM2.5; anche in questo caso le variazioni più rilevanti si hanno nelle aree più antropizzate. La variazione di SO2 è irrilevante, fatta eccezione per una piccola frazione in corrispondenza delle aree portuali (indicate dai cerchi rossi).

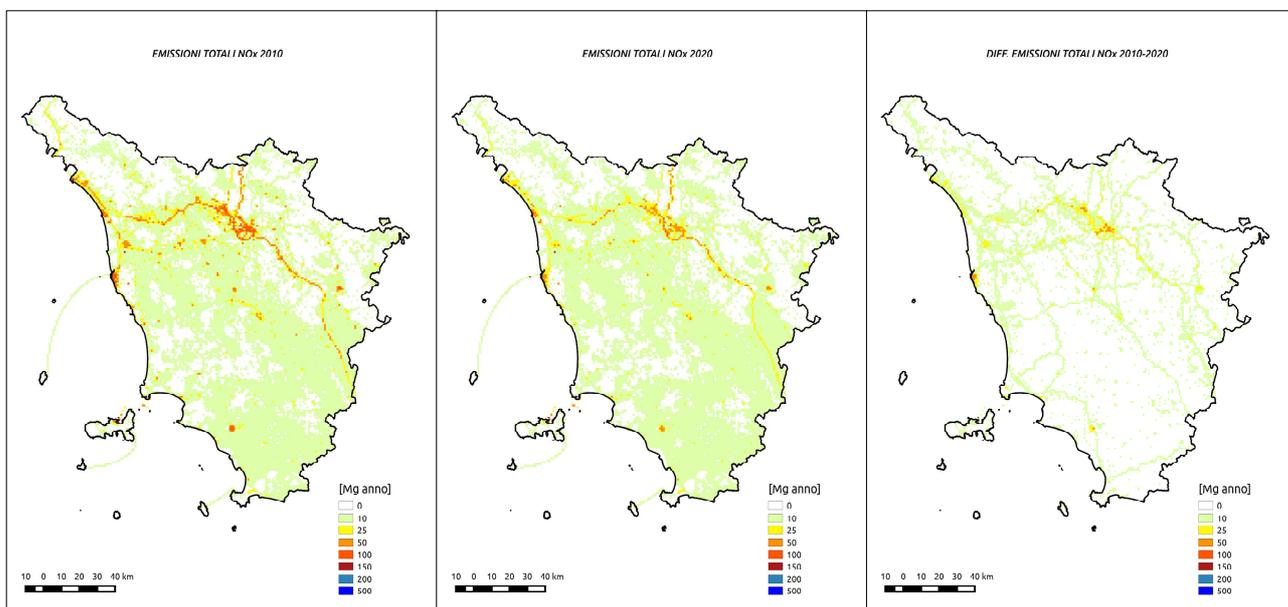


Figura 2. Emissioni totali di NOx dell'anno 2010 (sin.), 2020 (centro), e la loro differenza (ds.)

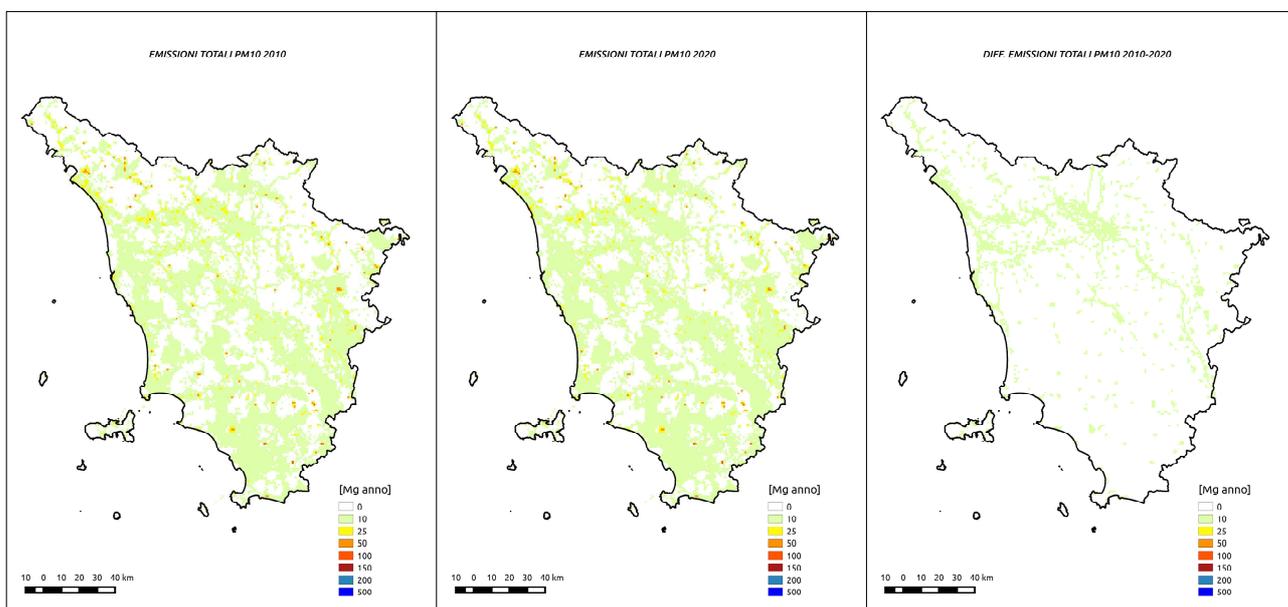


Figura 3. Emissioni totali di PM10 dell'anno 2010 (sin.), 2020 (centro), e la loro differenza (ds.)

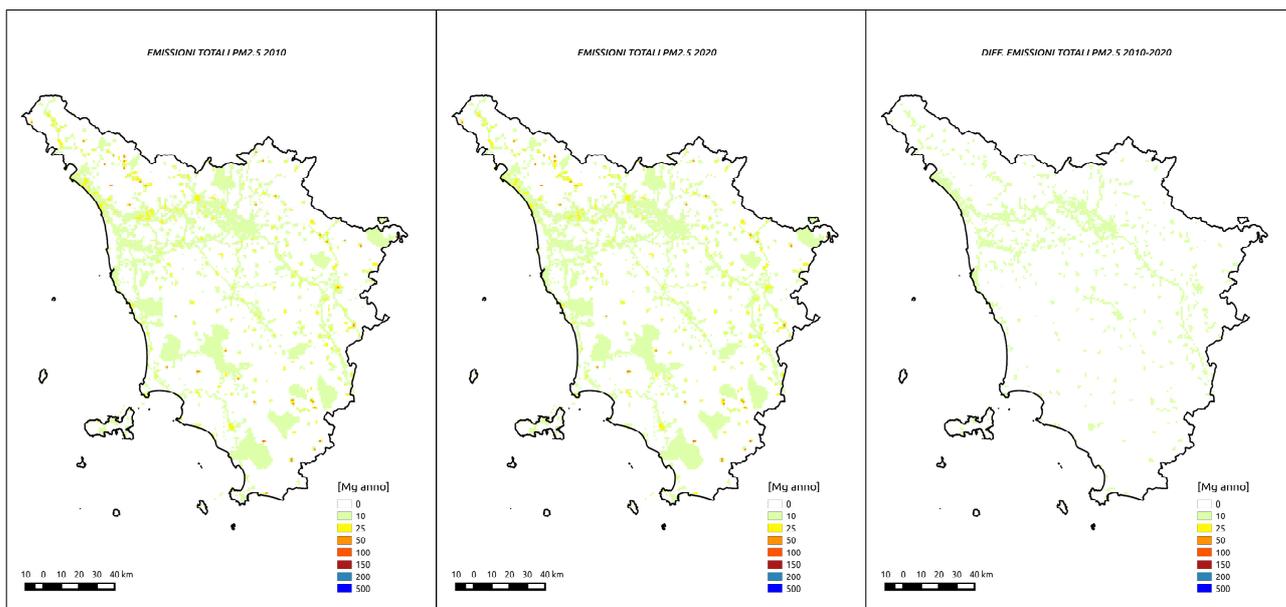


Figura 4. Emissioni totali di PM2.5 dell'anno 2010 (sin.), 2020 (centro), e la loro differenza (ds.)

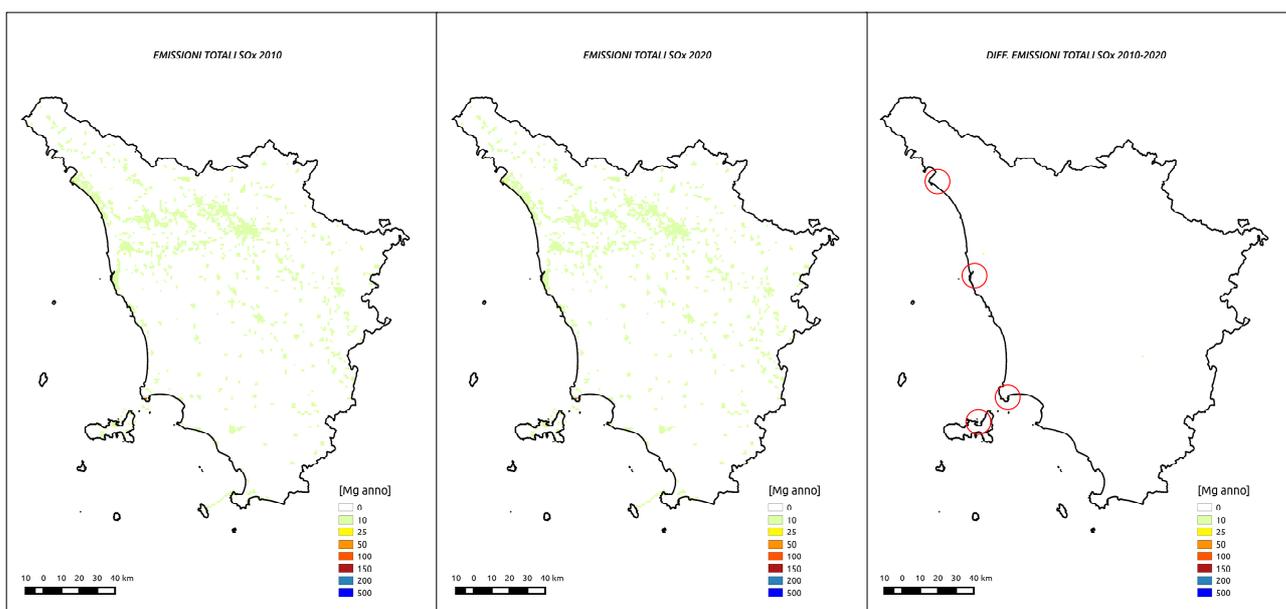


Figura 5. Emissioni totali di SOx dell'anno 2010 (sin.), 2020 (centro), e la loro differenza (ds.)

Si sottolinea che le emissioni esterne alla regione Toscana ma interne al dominio di calcolo, sono relative all'anno 2010 (modello nazionale MINNI) anche per lo scenario emissivo BAU 2020. Una corretta applicazione modellistica necessiterebbe invece di emissioni conformi allo scenario, quindi riferite alla proiezione BAU all'anno 2020.

Analoghe considerazioni si devono fare anche per le condizioni al contorno, fornite dal modello

nazionale MINNI: anche in questo caso si utilizzano gli stessi input, sia per l'anno 2010 che per la simulazione di scenario.

9.4 Le concentrazioni medie mensili

Per effettuare un'analisi sintetica dei risultati modellistici, sono state elaborate le mappe della concentrazione media degli inquinanti su base mensile per l'anno 2010 e per lo scenario BAU 2020.

I risultati ottenuti da questa simulazione sono presentati di seguito: si tratta di mappe di concentrazione media mensile per PM10, PM2.5, NO2, SO2, mentre per l'ozono sono state elaborate due mappe, una relativa alle ore centrali del giorno (10-17) e l'altra relativa agli intervalli 0-9 e 18-23.

Per semplificare il confronto, nelle seguenti figure sono riportate insieme le mappe relative alla simulazione BAU 2020 e anno 2010, rispettivamente sopra e sotto.

Dal confronto dei risultati delle due simulazioni si può notare una effettiva diminuzione di NO2, più evidente nei mesi estivi, una scarsa variazione del particolato (comunque in diminuzione) e un aumento nei mesi primaverili estivi della concentrazione di ozono.

Riguardo all'aumento delle concentrazioni di ozono a fronte dello scenario BAU 2020, è necessario sottolineare che questo risultato è fortemente influenzato dalle condizioni al contorno non corrispondenti allo scenario, ma relative all'anno 2010 e quindi invariate: è evidente che a fronte della riduzione locale di NO2 e alle non mutate condizioni al contorno si creano le condizioni per l'aumento di questo inquinante fotochimico. Si ritiene quindi di non poter prendere in considerazione i risultati di questo inquinante a fronte degli attuali input disponibili, e si sottolinea la necessità di acquisire adeguati aggiornamenti del quadro emissivo, come delle condizioni al contorno corrispondenti allo scenario simulato.

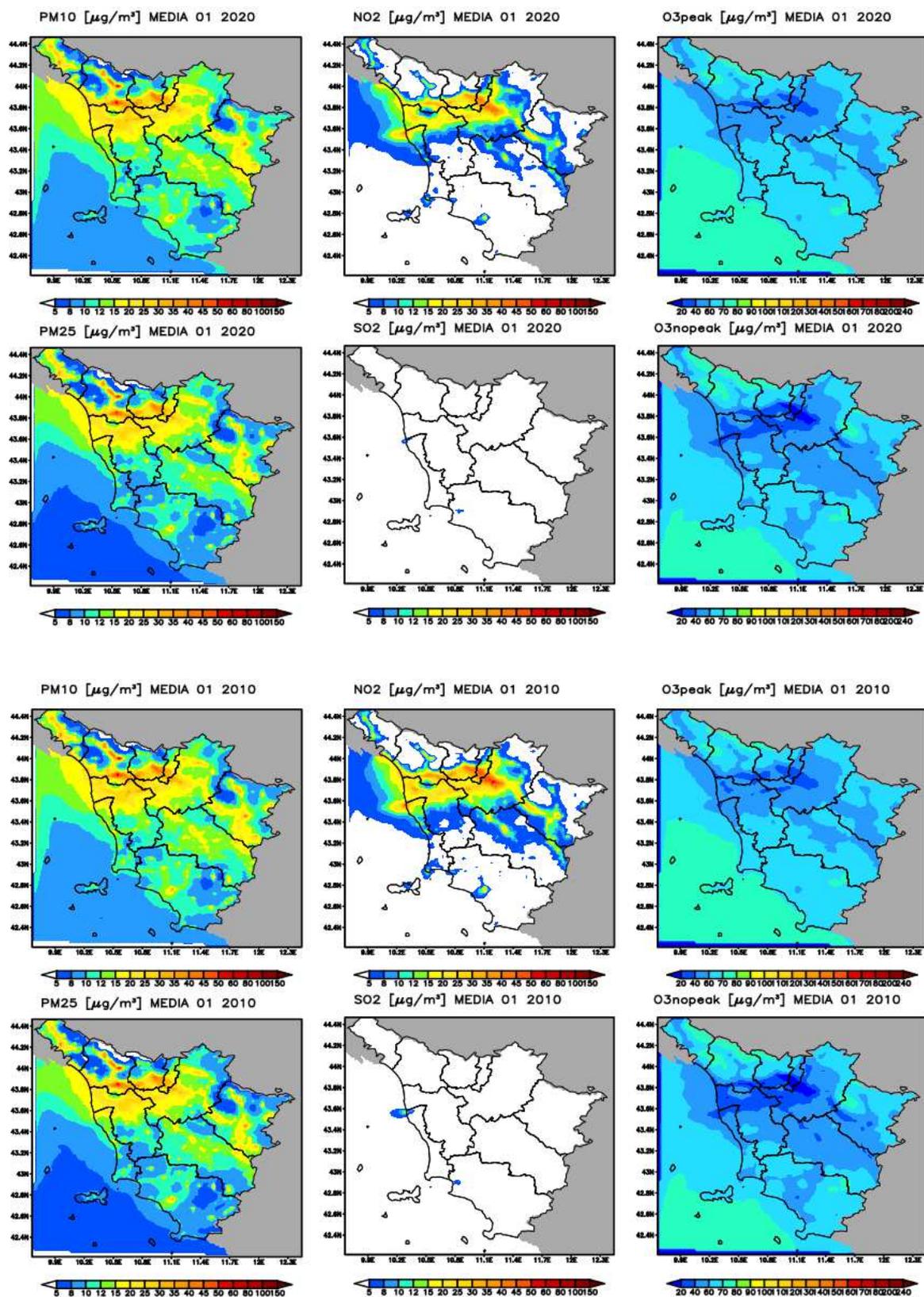


Figura 6. Mappe delle concentrazioni medie mensili ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) di gennaio 2020 (sopra) e di gennaio 2010 (sotto).

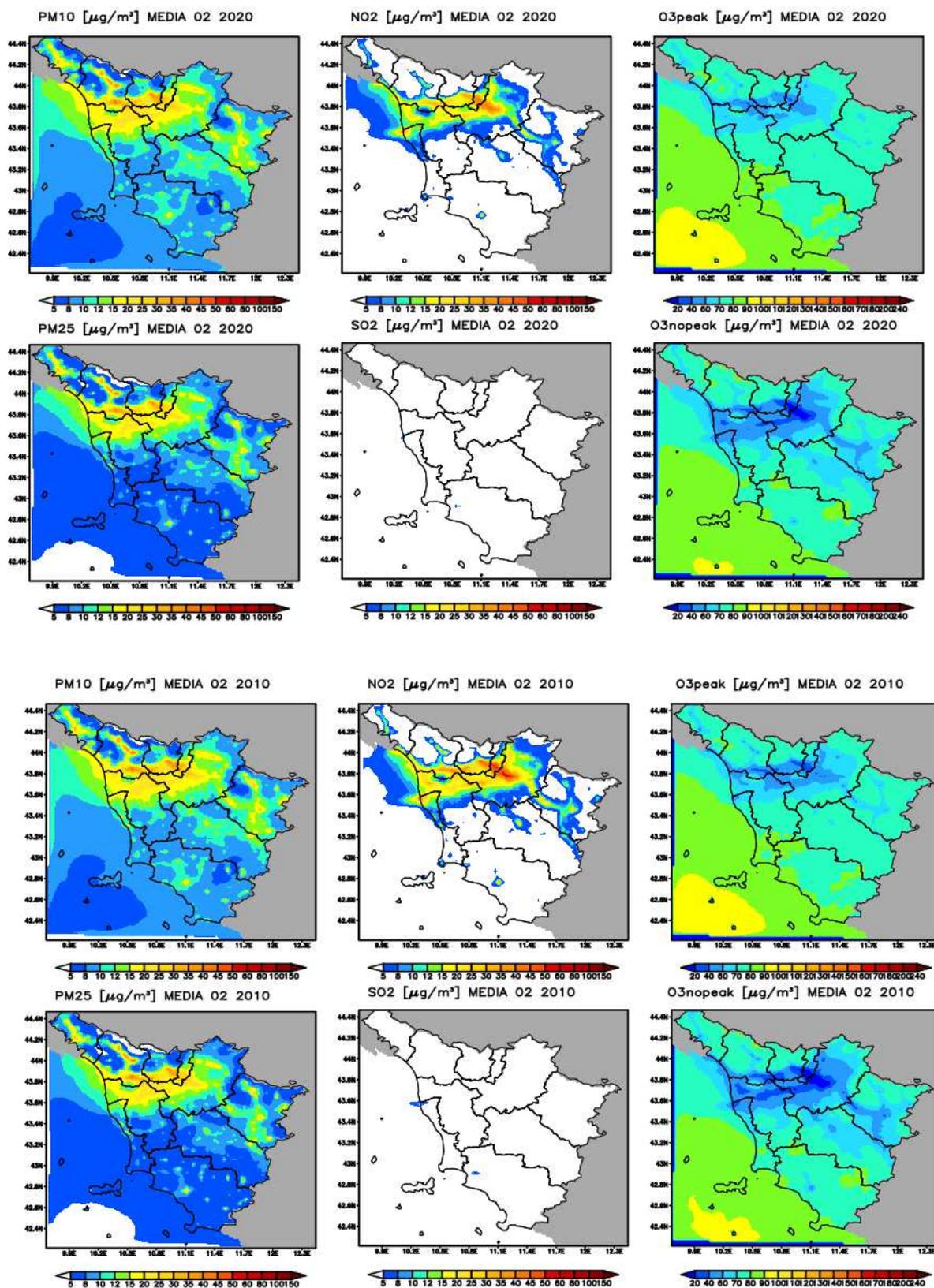


Figura 7. Mappe delle concentrazioni medie mensili ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) di febbraio 2020 (sopra) e di febbraio 2010 (sotto).

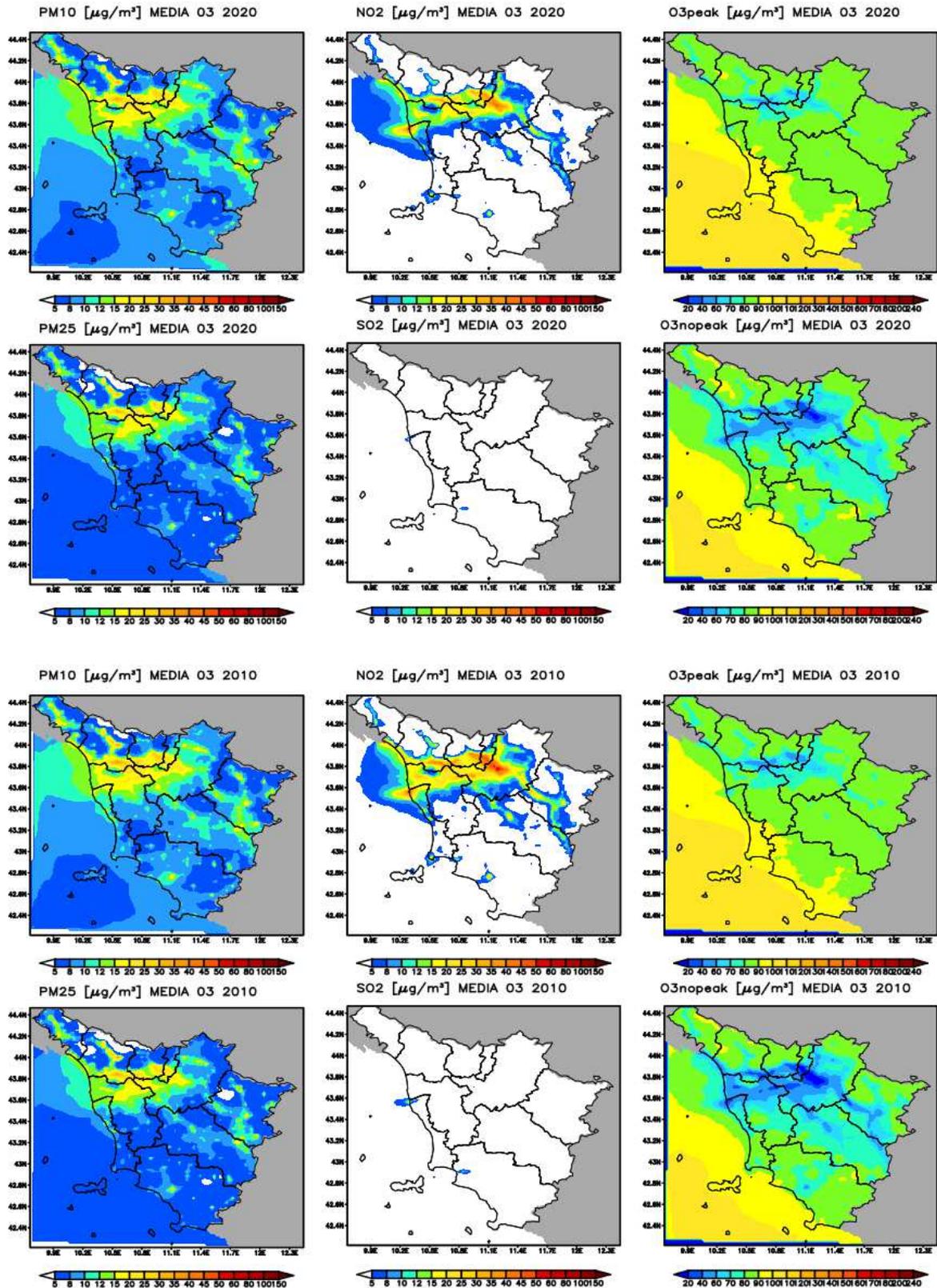


Figura 8. Mappe delle concentrazioni medie mensili ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) di marzo 2020 (sopra) e di marzo 2010 (sotto).

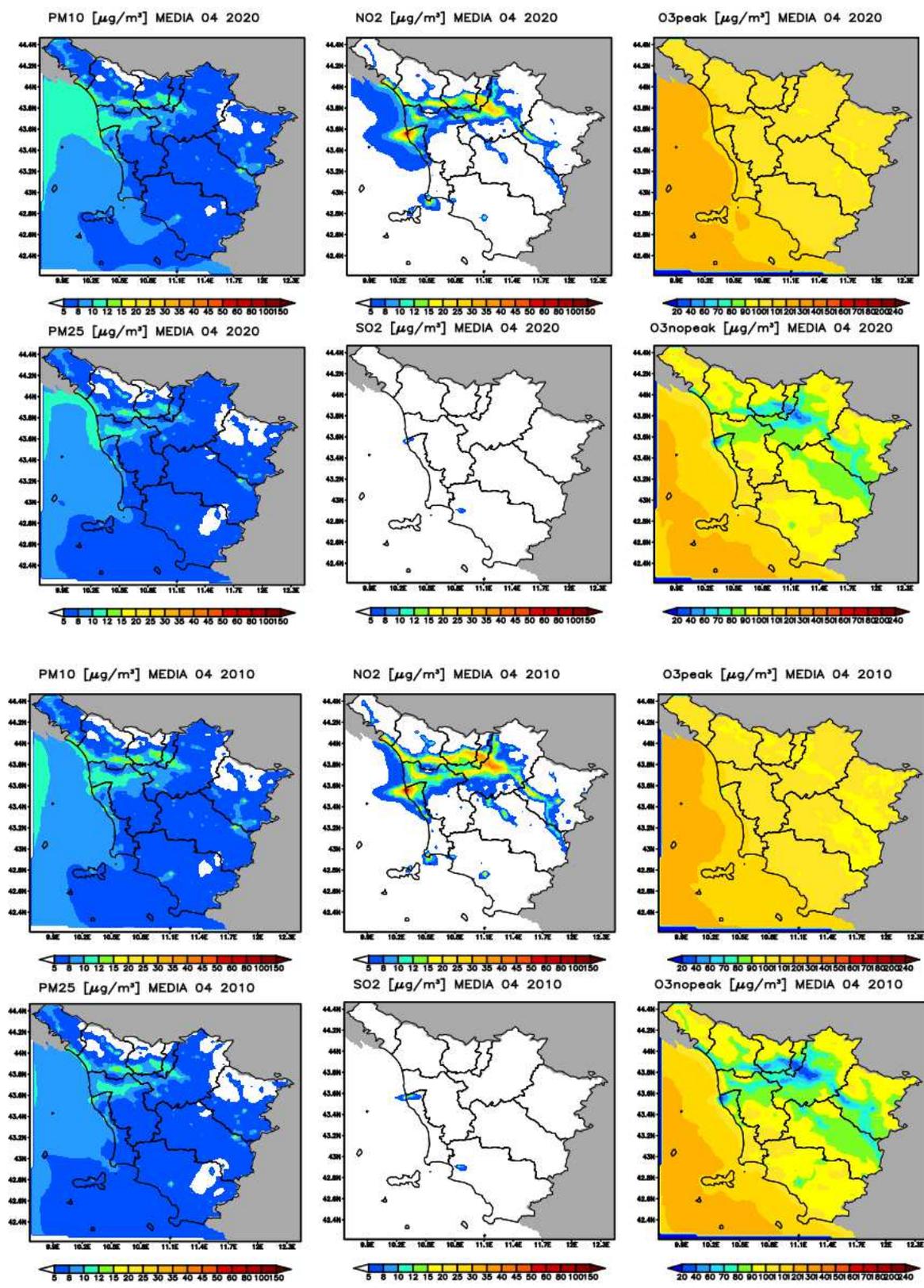


Figura 9. Mappe delle concentrazioni medie mensili ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) di aprile 2020 (sopra) e di aprile 2010 (sotto).

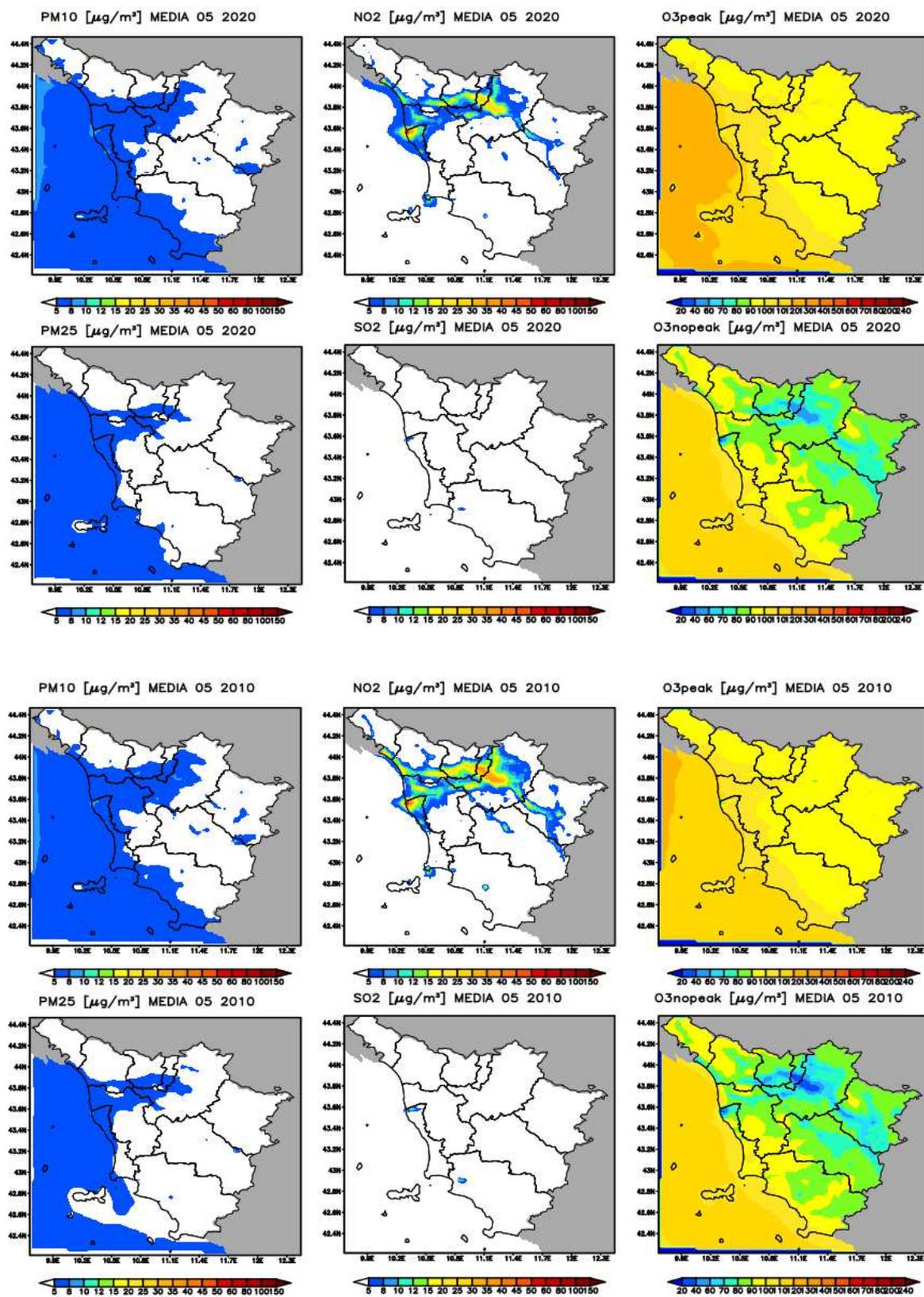


Figura 10. Mappe delle concentrazioni medie mensili ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) di maggio 2020 (sopra) e di maggio 2010 (sotto).

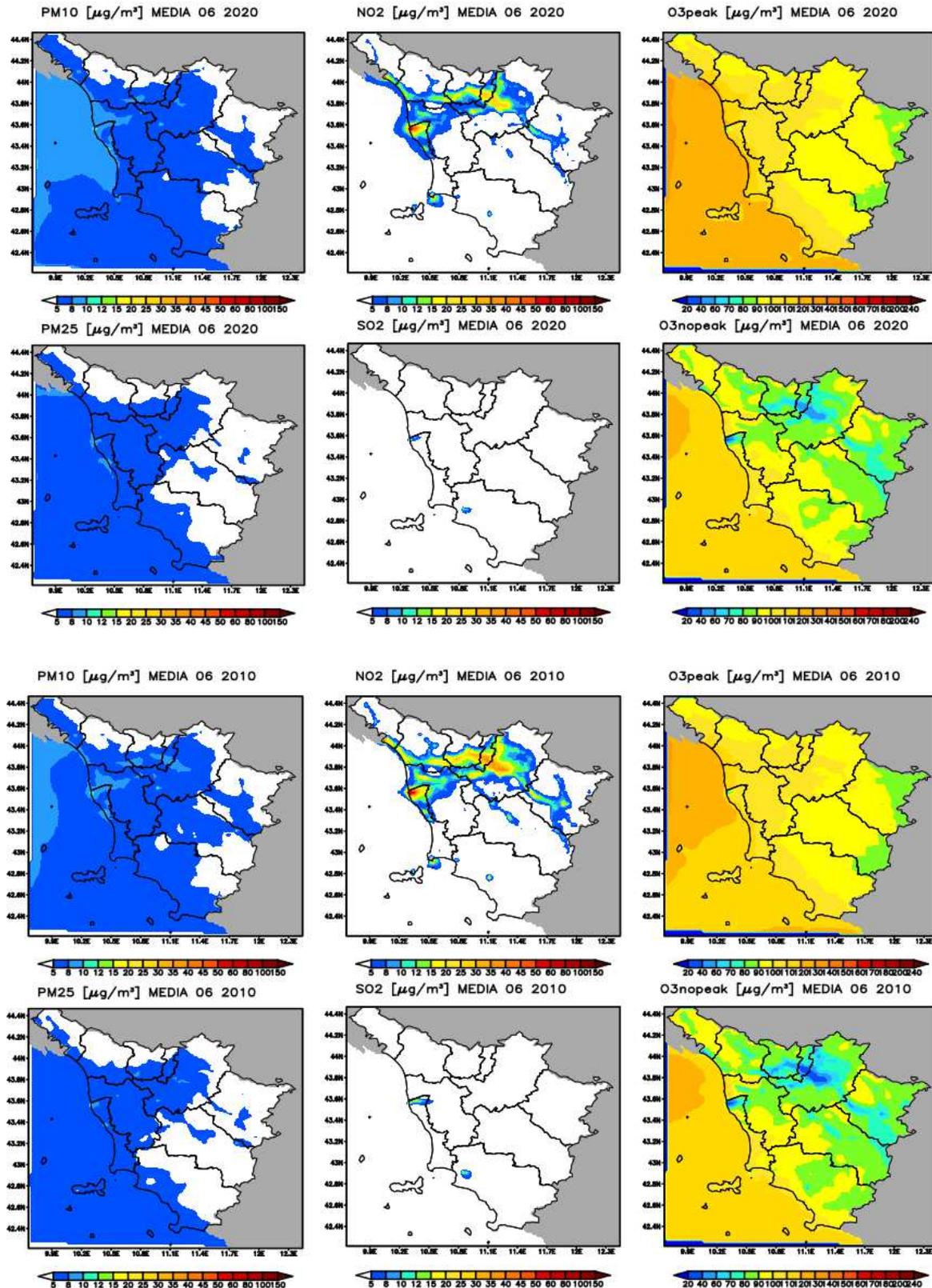


Figura 11. Mappe delle concentrazioni medie mensili ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) di giugno 2020 (sopra) e di giugno 2010 (sotto).

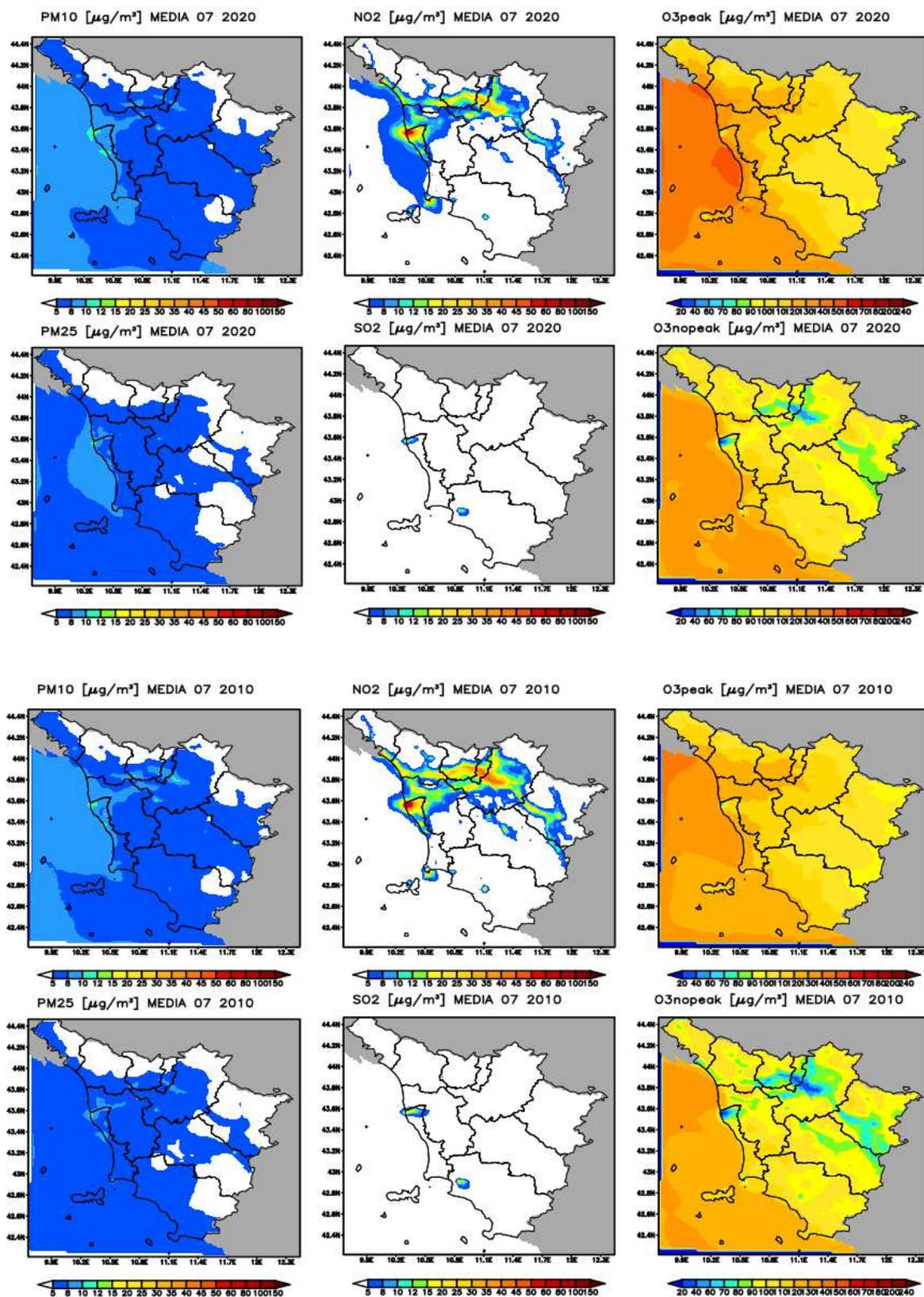


Figura 12. Mappe delle concentrazioni medie mensili ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) di luglio 2020 (sopra) e di luglio 2010 (sotto).

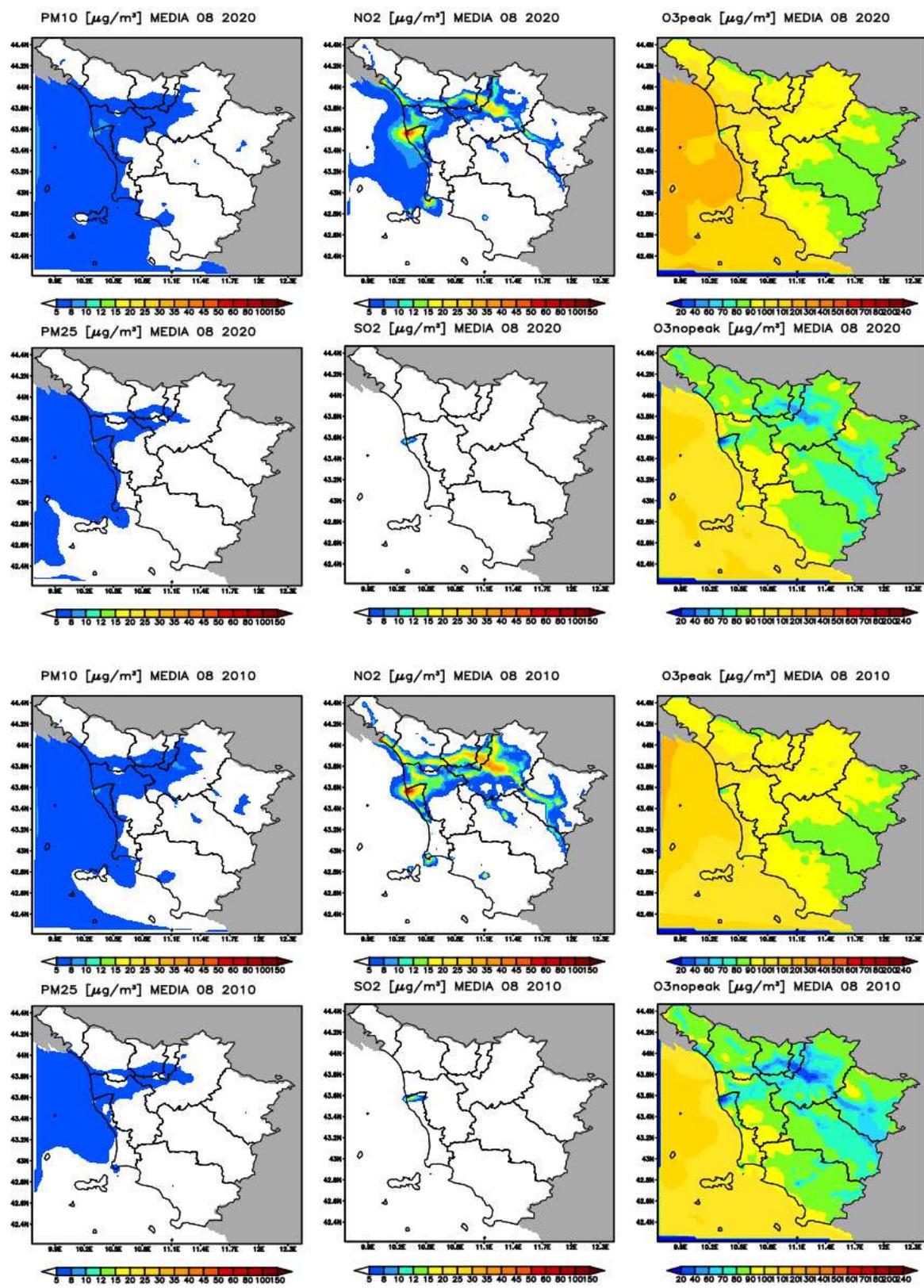


Figura 13. Mappe delle concentrazioni medie mensili ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) di agosto 2020 (sopra) e di agosto 2010 (sotto).

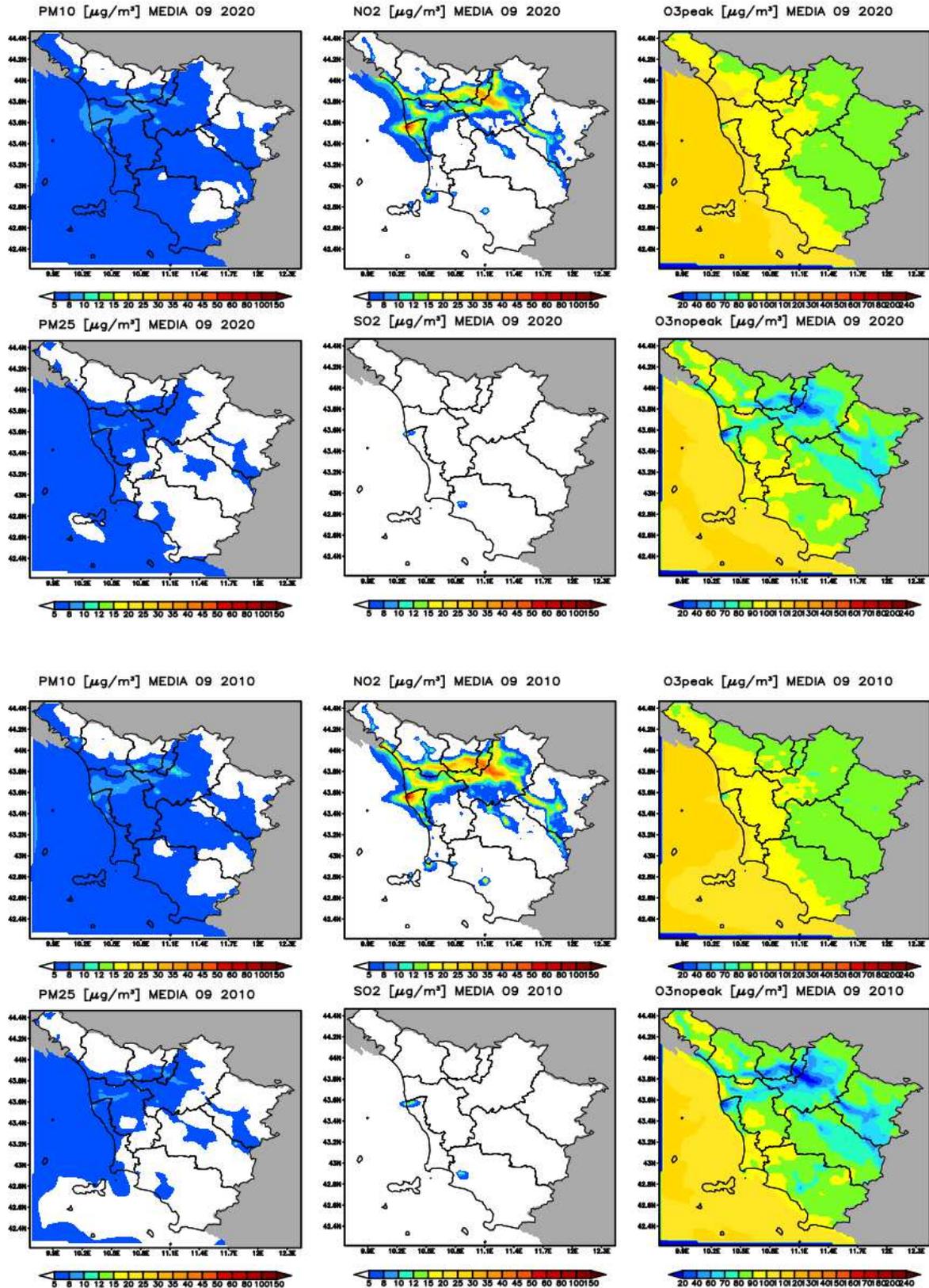


Figura 14. Mappe delle concentrazioni medie mensili ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) di settembre 2020 (sopra) e di sett. 2010 (sotto).

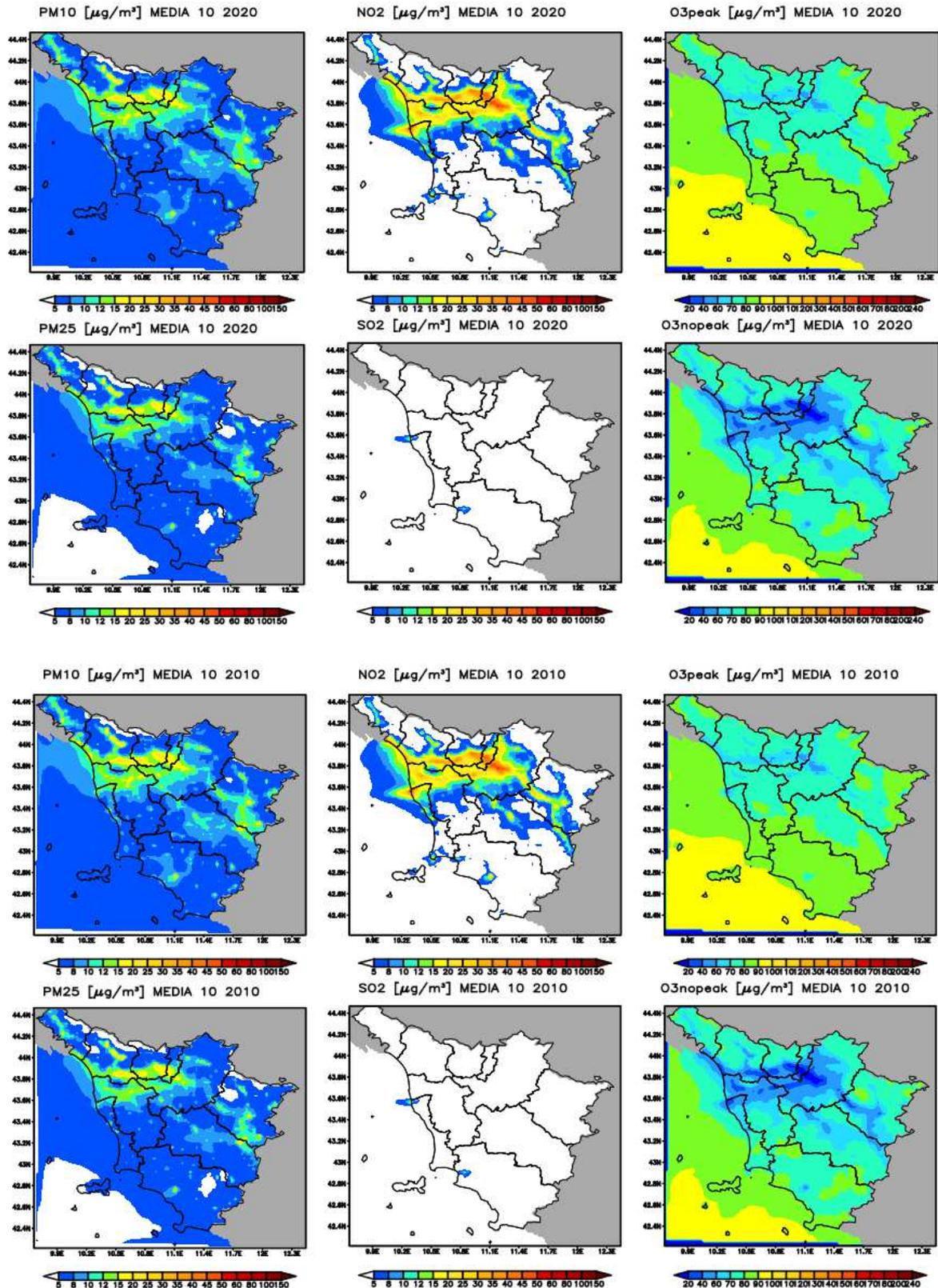


Figura 15. Mappe delle concentrazioni medie mensili ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) di ottobre 2020 (sopra) e di ottobre 2010 (sotto).

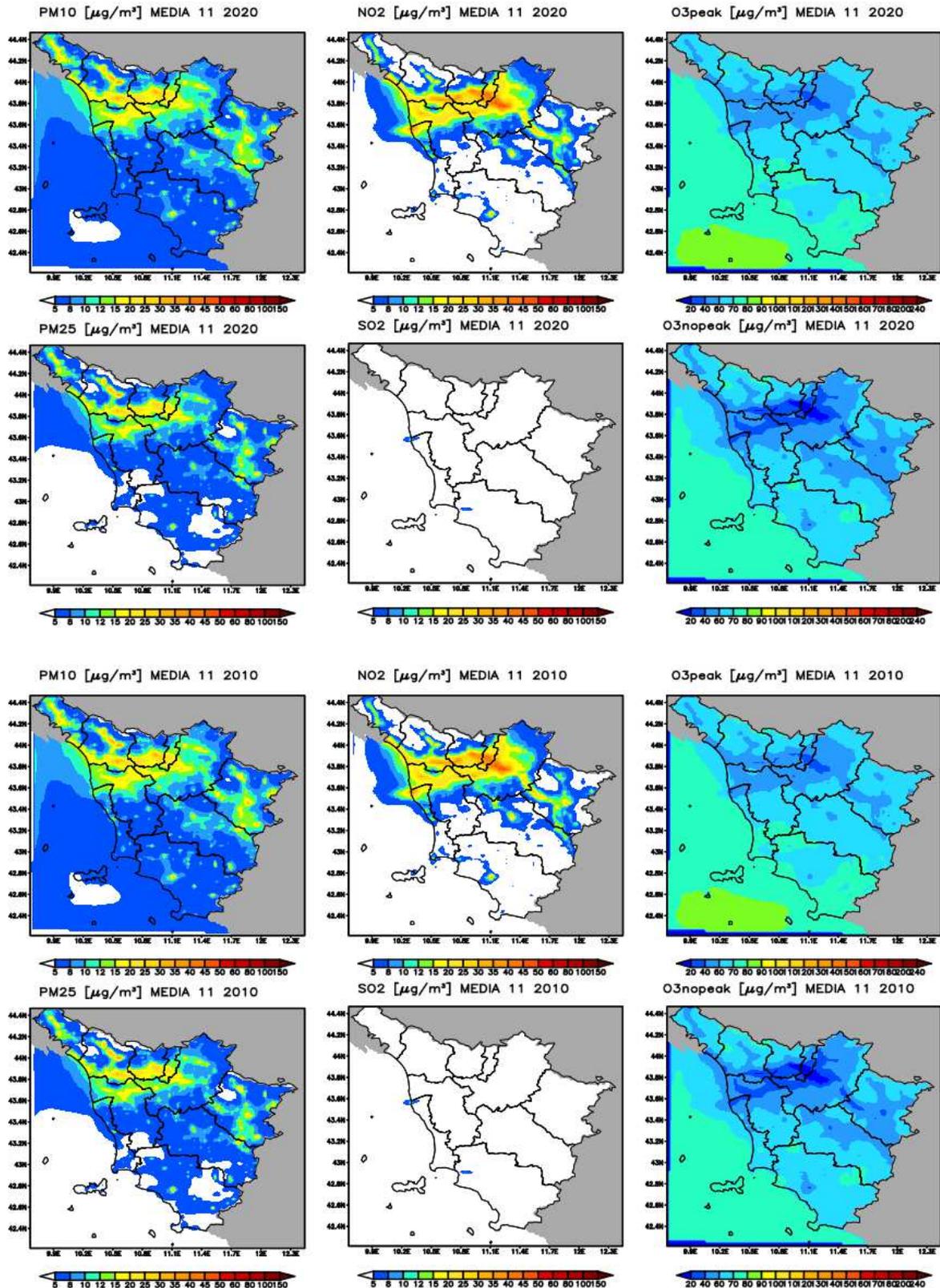


Figura 16. Mappe delle concentrazioni medie mensili ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) di novembre 2020 (sopra) e di nov. 2010 (sotto).

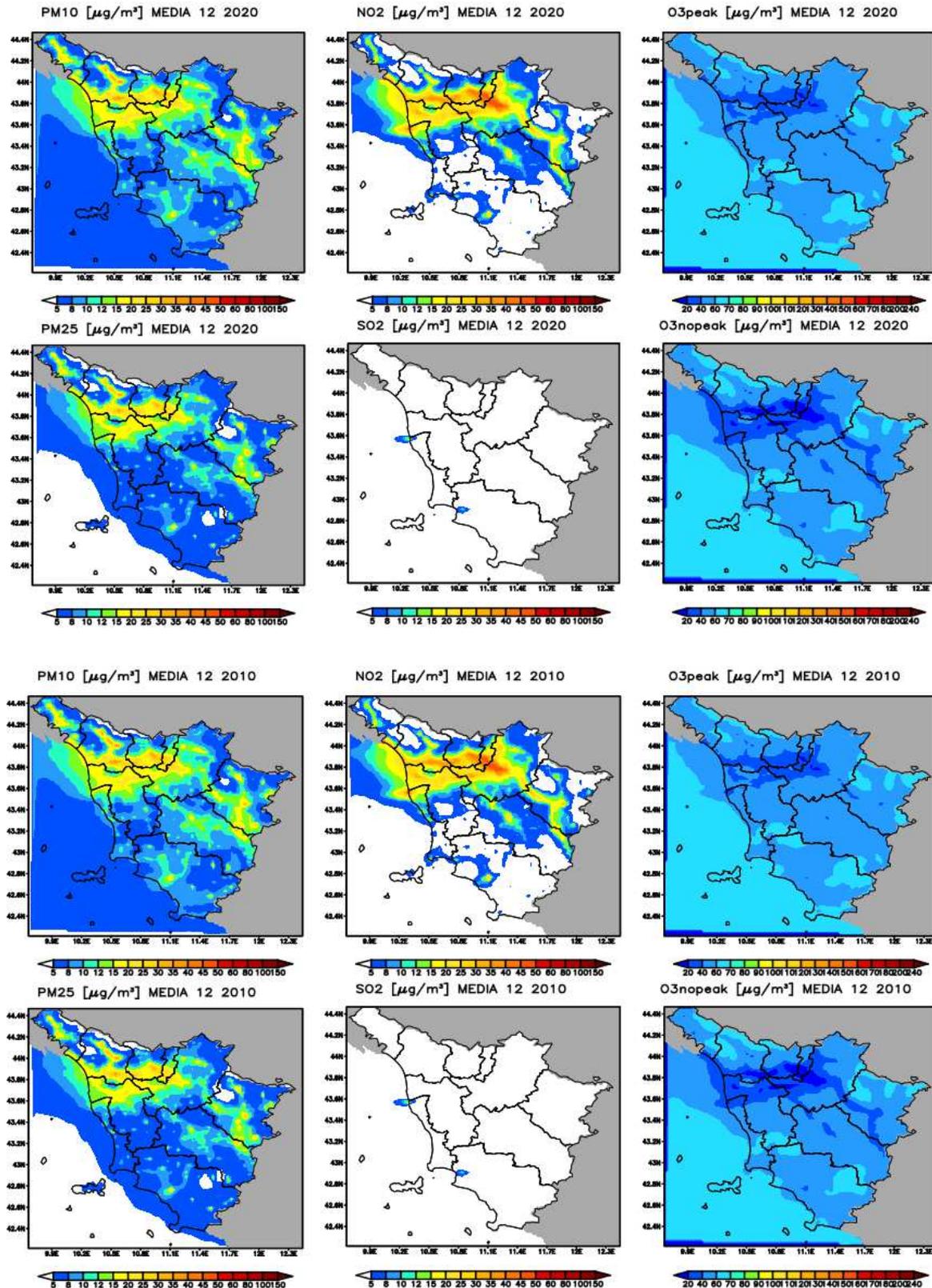


Figura 17. Mappe delle concentrazioni medie mensili ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) di dicembre 2020 (sopra) e di dic. 2010 (sotto).

9.5 Le concentrazioni medie annuale

Per quanto riguarda la media annuale degli inquinanti oggetto di studio, sono state elaborate le mappe relative all'anno di riferimento 2010 e allo scenario BAU proiettato al 2020. Inoltre sono state elaborate le mappe relative alla differenza tra la concentrazione ottenuta dalla simulazione dell'anno 2010 meno la concentrazione ottenuta dalla simulazione dello scenario, come media annua per PM10, PM2.5, NO2, SO2, mentre per O3 si considerano due mappe di concentrazione, una relativa alle ore centrali del giorno, 10-17, e l'altra relativa agli intervalli 0-9 e 18-23.

Anche in questo caso, come per la media mensile, si evidenzia la significativa riduzione della concentrazione di NO2 nelle aree più antropizzate, cioè il bacino Firenze-Prato Pistoia, la piana Lucchese, il Valdarno Inferiore e Superiore, i maggiori centri abitati, le tratte autostradali.

Le stesse aree sono interessate anche dalla riduzione di PM10 e PM2.5, anche se in misura decisamente inferiore.

Per quanto riguarda SO2, la riduzione più significativa è relativa alla diminuzione del carico emissivo dell'area portuale-industriale di Livorno e di Piombino.

Come già segnalato, i risultati della simulazione per l'inquinante O3 non sono attendibili, in quanto questo inquinante è strettamente dipendente dalle condizioni al contorno: si evidenziano le aree in cui si ha un aumento di questo inquinante, proprio in corrispondenza delle aree in cui si stima una riduzione di NO2 (precursore). Per avere stime attendibili si dovrà quindi ripetere le simulazioni non solo a fronte di uno scenario emissivo adeguato, ma anche di condizioni al contorno corrispondenti allo scenario in esame.

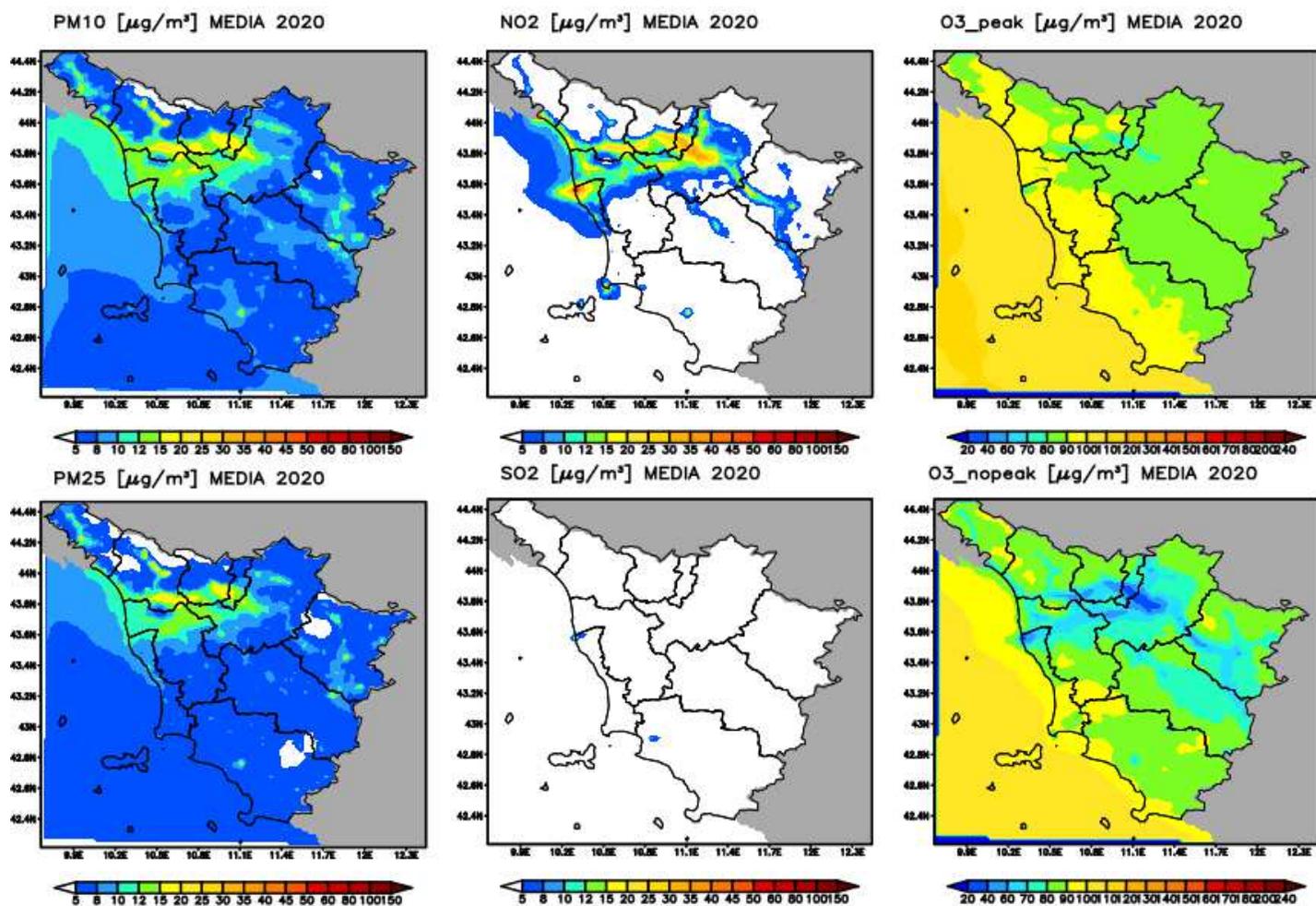


Figura 18. Mappe della concentrazione media annua ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) di PM10, PM2.5, NO2, SO2, O3, relative allo scenario BAU 2020.

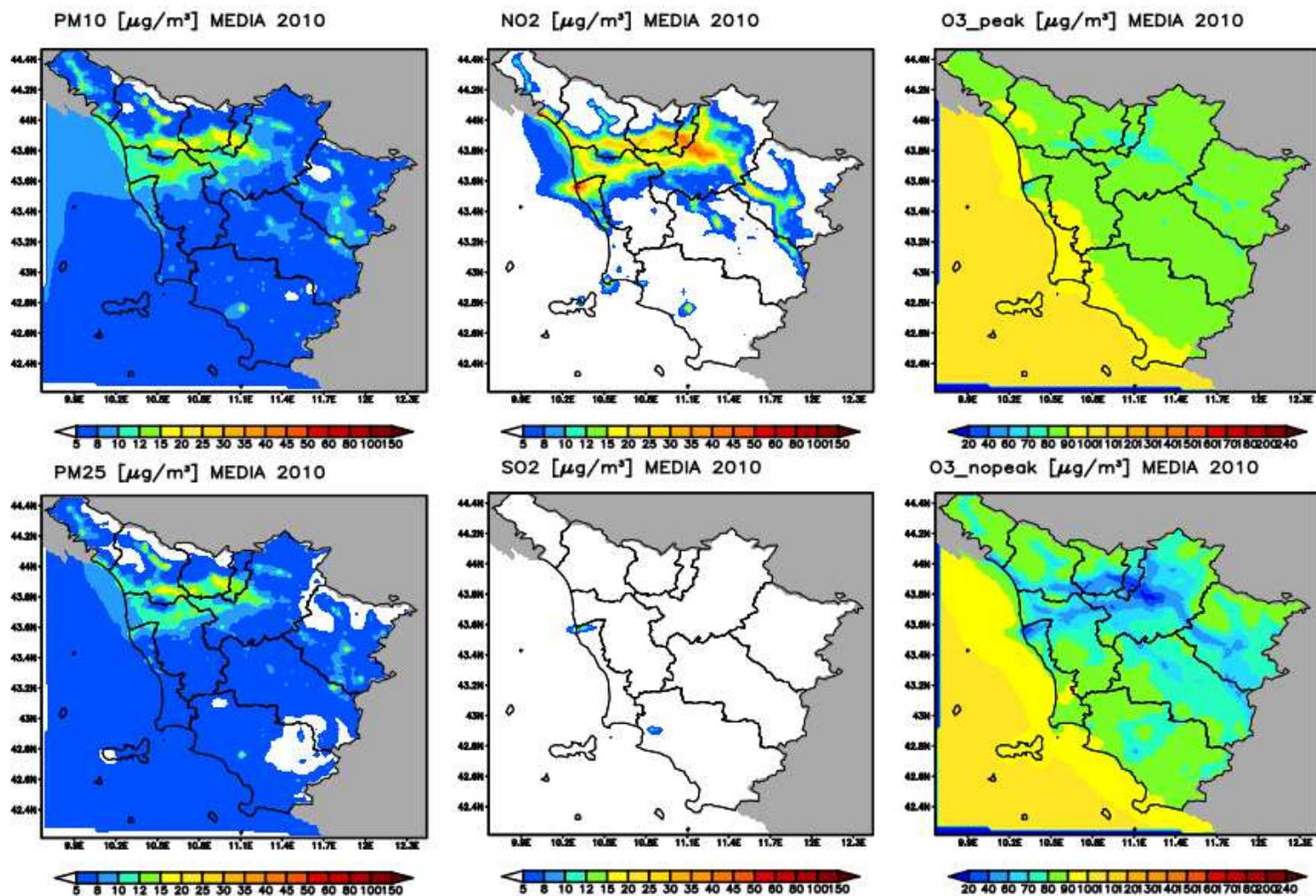


Figura 19. Mappe della concentrazione medie annua ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) di PM10, PM2.5, NO2, SO2, O3, relativa all'anno 2010.

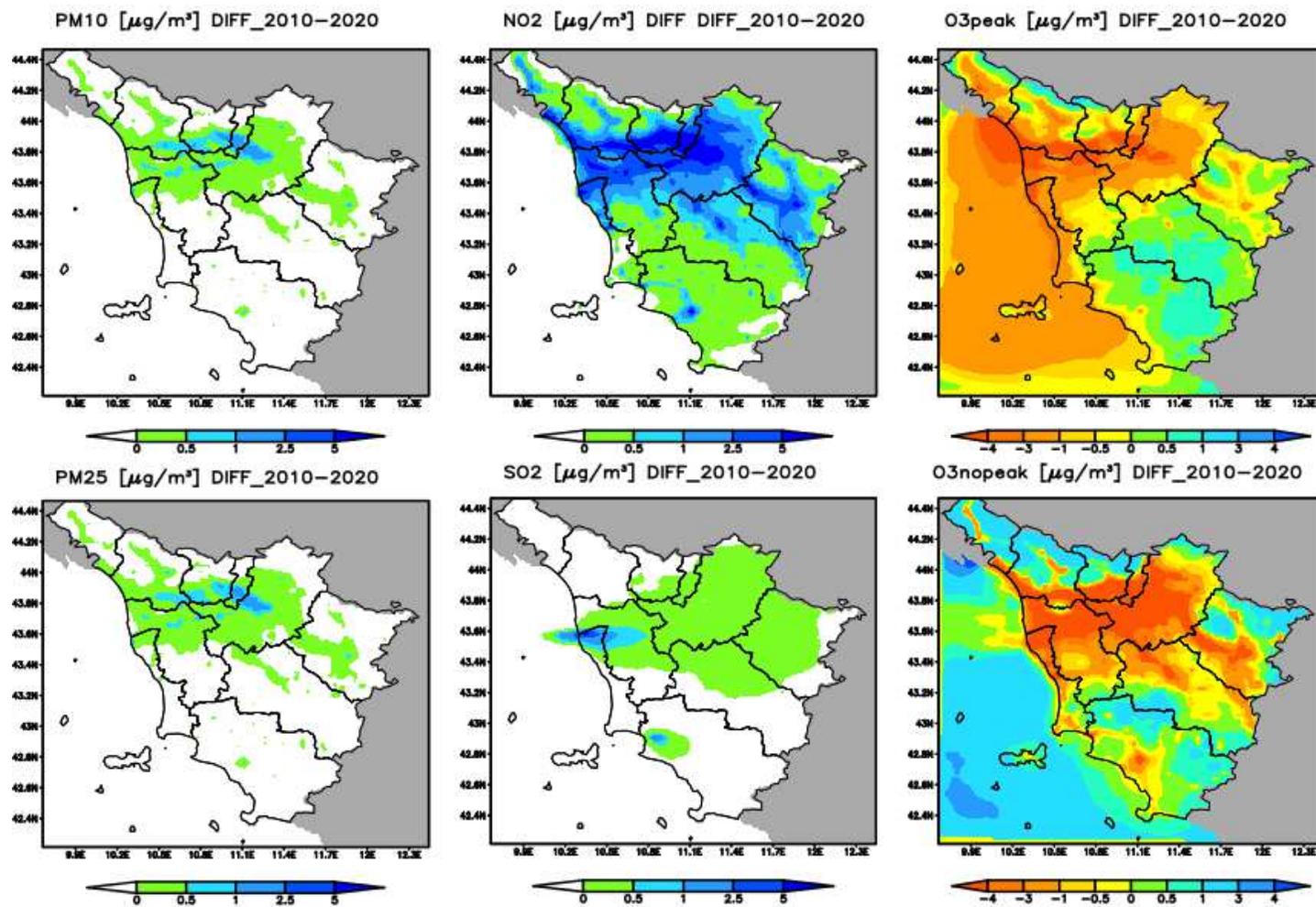


Figura 20. Mappe della differenza della concentrazione media annua ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) di PM10, PM2.5, NO2, SO2, O3, relative all'anno 2010 meno lo scenario BAU 2020

BIBLIOGRAFIA

[1] Progetto zonizzazione e classificazione del territorio regionale ai fini della valutazione della qualità dell'aria ambiente (ai sensi degli articoli 3 e 4 dlgs. 155/2010), Regione Toscana – 2012

<http://servizi2.regione.toscana.it/aria/?idDocumento=17801>

[2] Relazioni annuali sullo stato della qualità dell'aria nella Regione Toscana, ARPAT

<http://www.arpat.toscana.it/temi-ambientali/aria/monitoraggio/report>

[3] Rappresentatività spaziale delle stazioni della rete di monitoraggio di qualità dell'aria Toscana, ARPAT, LAMMA – Marzo 2015

http://servizi2.regione.toscana.it/aria/img/getfile_img1.php?id=24329.

[4] Episodi acuti di PM10 in Toscana: valutazioni tecniche e soluzioni operative per l'applicazione della D.G.R. 814/2016, Centro Regionale Tutela Qualità dell'Aria (ARPAT), Consorzio LaMMA – 2016

<http://www.arpat.toscana.it/documentazione/catalogo-pubblicazioni-arpat/episodi-acuti-di-pm10-in-toscana>

[5] Theil H., 1950, "A rank invariant method of linear and polynomial regression analysis, i, ii, iii", Proceedings of the Koninklijke Nederlandse Akademie Wetenschappen, Series A – Mathematical Sciences 53, 386–392, 521–525, 1397–1412. 145.

[6] Sen P. K., 1968, "Estimates of regression coefficient based on Kendall's tau", Journal of the American Statistical Association, 63(324), 145.

[7] ARPAT - Verifica della rappresentatività spaziale dei dati di PM10 della stazione di monitoraggio della qualità dell'aria di Montale, Centro Regionale Tutela Qualità dell'Aria (ARPAT) – 2014

<http://www.arpat.toscana.it/documentazione/catalogo-pubblicazioni-arpat/verifica-della-rappresentativita-spaziale-dei-dati-di-pm10-della-stazione-di-monitoraggio-della-qualita-dellaria-di-montale-pt>

[8] Campagne di rilevamento della qualità dell'aria effettuate con laboratori mobili, ARPAT

<http://www.arpat.toscana.it/temi-ambientali/aria/monitoraggio/report/campagne-di-rilevamento-della-qualita-dellaria-effettuate-con-laboratori-mobili>

[9] La disaggregazione a livello provinciale dell'inventario nazionale delle emissioni 2010, ISPRA

<http://www.sinanet.isprambiente.it/it/sia-ispra/inventaria/disaggregazione-dellinventario-nazionale-2010/disaggregazione-dell2019inventario-nazionale-2013-versione-completa/view>

[10] ARPAT - PM10 in Toscana (2007-2011) Studio propedeutico alla verifica della rappresentatività delle stazioni di monitoraggio, Centro Regionale Tutela Qualità dell'Aria – 2012