

La qualità dell'aria in **Emilia-Romagna** Edizione 2018

La qualità dell'aria
in **Emilia-Romagna**
Edizione 2018

AUTORI

Coordinamento generale

Paolo Ferrecchi

(Regione Emilia-Romagna/Direttore-Direzione generale Cura del territorio e dell'ambiente)

Rosanna Bissoli

(Regione Emilia-Romagna/Responsabile Servizio Tutela e risanamento acqua, aria e agenti fisici)

Giuseppe Bortone

(Arpae Emilia-Romagna/Direttore Generale)

Franco Zinoni

(Arpae Emilia-Romagna/Direttore Tecnico)

Marco Deserti

(Arpae Emilia-Romagna/Servizio IdroMeteoClima – Responsabile CTR Qualità dell'aria)

Roberto Mallegni

(Arpae Emilia-Romagna/Direzione Tecnica – Area Monitoraggio e reporting ambientale)

Autori

Marco Deserti

(Arpae Emilia-Romagna/Servizio IdroMeteoClima – Responsabile CTR Qualità dell'aria)

Simona Maccaferri

(Arpae Emilia-Romagna/Servizio IdroMeteoClima – CTR Qualità dell'aria)

Michele Stortini

(Arpae Emilia-Romagna/Servizio IdroMeteoClima – CTR Qualità dell'aria)

Roberta Amorati

(Arpae Emilia-Romagna/Servizio IdroMeteoClima – CTR Qualità dell'aria)

Chiara Agostini

(Arpae Emilia-Romagna/Servizio IdroMeteoClima – CTR Qualità dell'aria)

Enrico Minguzzi

(Arpae Emilia-Romagna /Servizio IdroMeteoClima – CTR Qualità dell'aria)

Marta Ottone

(Arpae Emilia-Romagna/Servizio IdroMeteoClima – CTR Qualità dell'aria)

Luca Torreggiani

(Arpae Emilia-Romagna/Sezione di Reggio Emilia)

Claudia Pironi

(Arpae Emilia-Romagna/
Sezione di Parma)

Vanes Poluzzi

(Arpae Emilia-Romagna/Direzione Tecnica – Responsabile CTR Aree urbane)

Silvia Ferrari

(Arpae Emilia-Romagna/Direzione Tecnica – CTR Aree urbane)

Dimitri Bacco

(Arpae Emilia-Romagna/Direzione Tecnica – CTR Aree urbane)

Roberto Mallegni

(Arpae Emilia-Romagna/Direzione Tecnica – Area Monitoraggio e reporting ambientale)

Caterina Nucciotti

(Arpae Emilia-Romagna/Direzione Tecnica – Area Monitoraggio e reporting ambientale)

Carmen Carbonara

(Regione Emilia-Romagna/Servizio Tutela e risanamento acqua, aria e agenti fisici)

Silvia Nocenti

(Regione Emilia-Romagna/Servizio Tutela e risanamento acqua, aria e agenti fisici)

Katia Raffaelli

(Regione Emilia-Romagna/Servizio Tutela e risanamento acqua, aria e agenti fisici)

Lucia Ramponi

(Regione Emilia-Romagna/Servizio Tutela e risanamento acqua, aria e agenti fisici)

Responsabile progetto

Roberto Mallegni

(Arpae Emilia-Romagna/Direzione Tecnica – Area Monitoraggio e reporting ambientale)

Redazione

Caterina Nucciotti

(Arpae Emilia-Romagna/Direzione Tecnica – Area Monitoraggio e reporting ambientale)

Coordinamento editoriale

Caterina Nucciotti

(Arpae Emilia-Romagna/Direzione Tecnica – Area Monitoraggio e reporting ambientale)

Andrea Malossini

(Arpae Emilia-Romagna/Direzione Generale – Area Comunicazione)

Stefano Folli

(Arpae Emilia-Romagna/Direzione Generale – Area Comunicazione)

Adele Ballarini

(Arpae Emilia-Romagna/Direzione Generale – Area Comunicazione)

Elaborati cartografici

Monica Carati

(Arpae Emilia-Romagna/Direzione Tecnica – Unità Cartografica e GIS)

Rosalia Costantino

(Arpae Emilia-Romagna/Direzione Tecnica – Unità Cartografica e GIS)

Fonti

Tabelle, mappe, e grafici della presente pubblicazione, tranne dove diversamente indicato, hanno come fonte Arpae Emilia-Romagna

Si ringrazia, per la produzione dei dati:

- Referente regionale Rete regionale di monitoraggio della qualità dell'aria: **Luca Torreggiani** (Arpae Emilia-Romagna/Sezione di Reggio Emilia);
- Responsabili provinciali Rete regionale di monitoraggio della qualità dell'aria: **Francesca Frigo** (Arpae Emilia-Romagna/Sezione di Piacenza), **Claudia Pironi** (Arpae Emilia-Romagna/Sezione di Parma), **Luca Torreggiani** (Arpae Emilia-Romagna/Sezione di Reggio Emilia), **Carla Barbieri** (Arpae Emilia-Romagna/Sezione di Modena), **Luca Malaguti** (Arpae Emilia-Romagna/Sezione di Bologna), **Maria Rita Mingozzi** (Arpae Emilia-Romagna/Sezione di Ferrara), **Deborah Valbonetti** (Arpae Emilia-Romagna/Sezione di Ravenna), **Paolo Veronesi** (Arpae Emilia-Romagna/Sezione di Forlì-Cesena), **Federica Bernardi** (Arpae Emilia-Romagna/Sezione di Rimini)
- **Adele Lo Monaco** (Arpae Emilia-Romagna/ Direzione Tecnica – Area Monitoraggio e reporting ambientale)

Si ringrazia, per il supporto fornito nell'elaborazione cartografica della rete viaria e ferroviaria della regione Emilia-Romagna, il Servizio Statistica, comunicazione, sistemi informativi geografici della Regione Emilia-Romagna

PROGETTO GRAFICO E IMPAGINAZIONE

CENTIMETRI srl - Via Privata Cormons, 18 - 20151 Milano, Tel. 02.36693727, sede@centimetri.it

Coordinamento grafico

Caterina Nucciotti, Arpae Emilia-Romagna

Finito di stampare nel mese di dicembre 2018 presso Centro Stampa della Regione Emilia-Romagna

INDICE

| | |
|--|---------|
| PRESENTAZIONE | PAG. 06 |
| GUIDA ALLA CONSULTAZIONE | PAG. 08 |
| SINTESI | PAG. 12 |
| INFOGRAFICA “GLI INQUINANTI NELL’ARIA” | PAG. 16 |
| I PRINCIPALI INQUINANTI DELL’ARIA | PAG. 18 |
| IL CONTESTO TERRITORIALE | PAG. 22 |
| LE CARATTERISTICHE OROGRAFICHE E LE CONDIZIONI METEOROLOGICHE DEL BACINO PADANO | PAG. 22 |
| IL QUADRO SOCIO-ECONOMICO | PAG. 24 |
| INFOGRAFICA “IL BACINO PADANO” | PAG. 26 |
| INFOGRAFICA “IL QUADRO SOCIO-ECONOMICO” | PAG. 28 |
| I PROCESSI FISICI E CHIMICI CHE INFLUENZANO LA CONCENTRAZIONE DEGLI INQUINANTI | PAG. 30 |
| I FATTORI METEOROLOGICI | PAG. 30 |
| LE TRASFORMAZIONI CHIMICHE | PAG. 34 |
| INFOGRAFICA “COSA RESPIRIAMO?” | PAG. 38 |
| LA ZONIZZAZIONE, IL MONITORAGGIO E LA VALUTAZIONE | PAG. 40 |
| LA ZONIZZAZIONE DEL TERRITORIO REGIONALE | PAG. 40 |
| BOX “IL CONTROLLO DELLA QUALITÀ DEI DATI DELLA RETE DI MONITORAGGIO” | PAG. 41 |
| LA RETE DI MONITORAGGIO | PAG. 42 |
| INFOGRAFICA “LA RETE DI MONITORAGGIO” | PAG. 44 |
| INFOGRAFICA “LA STAZIONE DI MISURA” | PAG. 46 |
| IL SISTEMA INTEGRATO DI MONITORAGGIO, VALUTAZIONE E PREVISIONE DELLA QUALITÀ DELL’ARIA | PAG. 48 |
| IL SISTEMA DEI MODELLI NUMERICI | PAG. 49 |
| LE EMISSIONI D’INQUINANTI DELLE VARIE SORGENTI | PAG. 52 |
| LE EMISSIONI IN ATMOSFERA PER MACROSETTORE | PAG. 52 |
| L’AGGIORNAMENTO DEGLI INVENTARI, DAL 2010 AL 2013 | PAG. 54 |
| BOX “L’EVIDENZA DELLA COMBUSTIONE DELLA BIOMASSA LEGNOSA IN EMILIA-ROMAGNA” | PAG. 54 |
| INFOGRAFICA “I MACROSETTORI EMISSIVI” | PAG. 56 |
| INFOGRAFICA “COSA EMETTONO I VEICOLI?” | PAG. 58 |
| IL PARTICOLATO | PAG. 60 |
| I VALORI DI RIFERIMENTO DELLA QUALITÀ DELL’ARIA PER IL PARTICOLATO (PM ₁₀ , PM _{2,5}) | PAG. 60 |
| LO STATO E I TREND DELLA CONCENTRAZIONE DEL PM ₁₀ | PAG. 61 |
| L’ORIGINE GEOGRAFICA DELL’INQUINAMENTO DA PM ₁₀ | PAG. 68 |
| RIPARTIZIONE PER FONTI DELL’INQUINAMENTO DA PM ₁₀ : QUALI SONO LE ATTIVITÀ UMANE CHE MAGGIORMENTE CONTRIBUISCONO ALL’INQUINAMENTO DA PM ₁₀ ? | PAG. 70 |
| LO STATO E I TREND DELLA CONCENTRAZIONE DEL PM _{2,5} | PAG. 71 |
| L’ORIGINE GEOGRAFICA DELL’INQUINAMENTO DA PM _{2,5} | PAG. 76 |

| | |
|---|----------|
| L'OZONO | PAG. 78 |
| I VALORI DI RIFERIMENTO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA PER L'OZONO | PAG. 78 |
| LO STATO E I TREND DELLA CONCENTRAZIONE DELL'OZONO | PAG. 80 |
| IL BIOSSIDO D'AZOTO | PAG. 88 |
| I VALORI DI RIFERIMENTO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA PER IL BIOSSIDO D'AZOTO | PAG. 88 |
| LO STATO E I TREND DELLA CONCENTRAZIONE DEL BIOSSIDO D'AZOTO | PAG. 89 |
| L'ORIGINE GEOGRAFICA DELL'INQUINAMENTO DA BIOSSIDO D'AZOTO | PAG. 93 |
| IL BENZO(A)PIRENE | PAG. 94 |
| I VALORI DI RIFERIMENTO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA PER IL BENZO(A)PIRENE | PAG. 94 |
| LO STATO E I TREND DELLA CONCENTRAZIONE DEL BENZO(A)PIRENE | PAG. 94 |
| GLI ALTRI INQUINANTI: | |
| BIOSSIDO DI ZOLFO, MONOSSIDO DI CARBONIO, BENZENE, METALLI PESANTI | PAG. 96 |
| I VALORI DI RIFERIMENTO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA | |
| PER IL BIOSSIDO DI ZOLFO, IL MONOSSIDO DI CARBONIO, IL BENZENE, I METALLI PESANTI | PAG. 96 |
| LO STATO E I TREND DELLA CONCENTRAZIONE DEL BIOSSIDO DI ZOLFO, MONOSSIDO DI CARBONIO, BENZENE, METALLI PESANTI | PAG. 98 |
| UNO SGUARDO D'INSIEME ALLA QUALITÀ DELL'ARIA: ANALISI SUL LUNGO PERIODO | PAG. 102 |
| L'ESPOSIZIONE DELLA POPOLAZIONE AI PRINCIPALI INQUINANTI ATMOSFERICI | PAG. 106 |
| ESPOSIZIONE AL PARTICOLATO | PAG. 106 |
| ESPOSIZIONE ALL'OZONO | PAG. 108 |
| ESPOSIZIONE AL BIOSSIDO D'AZOTO | PAG. 109 |
| PIANO ARIA INTEGRATO REGIONALE 2020 | PAG. 110 |
| LE AZIONI DEL PIANO | PAG. 110 |
| LE PRINCIPALI AZIONI IN CORSO | PAG. 114 |
| GLI ACCORDI E LE INIZIATIVE DI BACINO PADANO | PAG. 115 |
| BOX "IL PROGETTO PREPAIR" | PAG. 117 |
| INFOGRAFICA "IL PIANO ARIA INTEGRATO REGIONALE 2020" | PAG. 120 |
| BIBLIOGRAFIA | PAG. 122 |
| INDICE FIGURE | PAG. 124 |
| ALLEGATO I "LA NORMATIVA" | PAG. 128 |
| ALLEGATO II "I DATI" | PAG. 130 |
| ALLEGATO III "I TREND" | PAG. 138 |

PRESENTAZIONE

Nella “cassetta degli attrezzi” preziosa per definire strategie e politiche pubbliche, la conoscenza riveste un ruolo determinante. È il pilastro su cui fondare ogni scelta, a maggior ragione in campo ambientale. Permette di disporre di una fotografia dell'esistente, di cogliere le correlazioni tra fenomeni e variabili, di misurare e verificare i risultati attesi, di disegnare e rappresentare scenari futuri.

La Regione Emilia-Romagna da sempre investe in conoscenza e pone il grande patrimonio di dati e informazioni raccolte alla base della sua pianificazione, dell'attuazione degli strumenti pianificatori e della comunicazione con le altre istituzioni, tutti i portatori di interesse e i cittadini.

La pubblicazione del nuovo report pluriennale sulla qualità dell'aria si iscrive, appunto, all'interno di questa strategia.

Il rapporto – che segue l'ultimo del 2014 – presenta in modo approfondito e dettagliato la situazione rilevata in Emilia-Romagna, contestualizzandola nel quadro della Pianura Padana. Mette in luce i passi avanti compiuti, ma anche l'importanza della sfida ancora aperta.

Per il biossido di azoto, dal 2014 il valore limite annuale è stato rispettato in tutte le stazioni di fondo e risulta stabile in quelle da traffico, mostrando una situazione in miglioramento rispetto al periodo precedente.

Rispetto al triennio 2010-2012, quando circa il 60% della popolazione emiliano-romagnola era risultato esposto a valori di PM_{10} superiori al limite giornaliero, nel 2013 si segnala un'inversione di tendenza: un netto miglioramento che ha fatto scendere la proporzione a meno del 20%. Inoltre, da allora, il valore limite annuale è sempre stato rispettato in tutte le stazioni di misurazione.

Nel 2017, però, la stagione invernale ha segnato superamenti del limite giornaliero in oltre 50 giorni. Un dato su cui riflettere e che conferma la necessità di un impegno deciso di area vasta, capace di andare oltre i confini regionali e abbracciare l'intero Bacino Padano.

Lo scorso anno quest'azione comune con il Ministero e le altre Regioni – Piemonte, Lombardia e Veneto – si è rinnovata grazie al nuovo Accordo stretto nei giorni in cui si celebrava a Bologna il G7 dell'Ambiente. L'intesa sta dando i suoi frutti concreti.

Il 15 ottobre è stato pubblicato il bando per l'ecobonus destinato alla rottamazione dei veicoli commerciali più inquinanti. Una misura adottata per la prima volta in via sperimentale dall'Emilia-Romagna e resa azione di sistema grazie al finanziamento statale di 8 milioni per le quattro Regioni del Bacino Padano, raddoppiato a 16 con i fondi stanziati dai bilanci regionali.

E non ci fermiamo qui. Con altri 5 milioni sempre regionali, nel 2019 l'ecobonus sarà esteso sul nostro territorio anche alla sostituzione dei veicoli privati. Si aggiungono gli 8 milioni – per l'intero Bacino – a disposizione per ridurre le emissioni prodotte dalle attività agricole e le numerose iniziative che la Regione ha promosso per sostenere la mobilità sostenibile: dal contributo che paga il bollo auto ai cittadini che hanno comprato un mezzo ibrido o elettrico, all'abbonamento gratis per il trasporto pubblico a favore di chi già dispone di un abbonamento ferroviario.

Entro il 2020 contributi ai comuni per 13 milioni e mezzo di euro ci permetteranno di contare su 27 chilometri di nuove piste ciclabili nelle città da Piacenza a Rimini e verranno posizionate 2 mila nuove colonnine per la ricarica di auto elettriche, per un investimento pubblico e privato di 18 milioni. L'Emilia-Romagna diventa così apripista in Italia nella sfida della mobilità a emissioni zero e punta a colmare, almeno in parte, il gap che ci separa dai Paesi europei a più alto tasso di sviluppo del mercato delle auto elettriche, come Norvegia, Svezia e Olanda. E ancora: la Regione è impegnata per ridurre le emissioni degli impianti di riscaldamento, in particolare le biomasse, e nella promozione di fonti energetiche sempre più green e rinnovabili. L'ultima frontiera è quella del biometano: dopo il decreto ministeriale dello

scorso marzo, nel mese di ottobre si sono inaugurati i primi due impianti di produzione in regione.

Quelli citati sono tasselli che compongono un mosaico di azioni integrate ben più vasto per migliorare la qualità dell'aria, dando piena attuazione all'obiettivo del Piano Aria Integrato Regionale (PAIR2020): ridurre dal 64% all'1% la popolazione esposta ai superamenti dei limiti di PM₁₀.

Monitorare passo dopo passo i risultati raggiunti è il modo giusto per fare sempre meglio. Strumenti come il Report pluriennale, che mettono in luce l'evolversi della situazione sul medio periodo, sono importanti per approfondire, valutare e quindi orientare le future scelte politiche.

Buona lettura.

PAOLA GAZZOLO

*Assessore regionale alla difesa
del suolo e della costa, protezione civile,
politiche ambientali e della montagna
Regione Emilia-Romagna*

GUIDA ALLA CONSULTAZIONE

LA STRUTTURA DEL REPORT

Il report regionale “La qualità dell’aria in Emilia-Romagna-Report 2018” è stato suddiviso in tre parti distinte, per agevolarne la lettura e per favorire la comprensione di un tema complesso come quello della qualità dell’aria.

- **Prima parte:** descrizione e inquadramento delle problematiche che ruotano attorno al tema della qualità dell’aria:
 - i principali inquinanti dell’aria e le loro caratteristiche;
 - il contesto socio-economico del Bacino Padano e la descrizione dei processi fisico-chimici e climatici che condizionano la qualità della matrice aria;
 - il sistema integrato di monitoraggio, valutazione e previsione della qualità dell’aria;
 - l’analisi delle diverse fonti d’emissione degli inquinanti.

Alla fine di ciascun capitolo le infografiche raccontano per immagini i concetti rilevanti trattati, rendendoli così accessibili a un pubblico più vasto.

- **Seconda parte:** presentazione dei dati ambientali derivanti dall’attività di monitoraggio dello stato qualitativo della matrice aria, svolta istituzionalmente da Arpae Emilia-Romagna attraverso le stazioni di misura della rete regionale.

Grafici a boxplot e mappe si alternano a sintetici testi descrittivi di commento dei dati. Ai principali inquinanti monitorati (particolato, ozono, biossido d’azoto, benzo(a)pirene) è dedicato un intero capitolo, secondo lo schema: valori di riferimento normativi, stato e trend delle concentrazioni rilevate, distribuzione territoriale delle concentrazioni, origine geografica dell’inquinamento. Si conclude la seconda parte con l’analisi sul lungo periodo e l’esposizione della popolazione agli inquinanti.

- **Terza parte:** descrizione delle attività, dei piani, dei programmi attuati e/o in via di attuazione per migliorare lo stato di qualità della matrice aria. Si conclude la terza parte con la presentazione del Progetto PREPAIR e con un’infografica riassuntiva delle principali misure di intervento messe in campo dalla Regione Emilia-Romagna per migliorare la qualità dell’aria.

Il report sulla qualità dell’aria è, infine, completato dalla sezione dedicata agli allegati, contenente:

- **La normativa:** normativa di riferimento, europea, nazionale e regionale, sulla qualità dell’aria;
- **I dati:** alcuni dati statistici di dettaglio, derivanti dalle centraline della rete regionale di monitoraggio della qualità dell’aria, riferiti al triennio 2015-2017, distinti per inquinante e tipologia di stazione;
- **I trend:** i risultati delle analisi del trend per ciascuna stazione.

LA RAPPRESENTAZIONE DEI DATI

Come varia la concentrazione degli inquinanti: fondo e hotspot

La concentrazione degli inquinanti è in genere caratterizzata da una grande variabilità nello spazio e nel tempo, a causa della turbolenza atmosferica che influenza la dispersione delle sostanze emesse da una grande varietà di sorgenti di diversa intensità, localizzazione, estensione e quota.

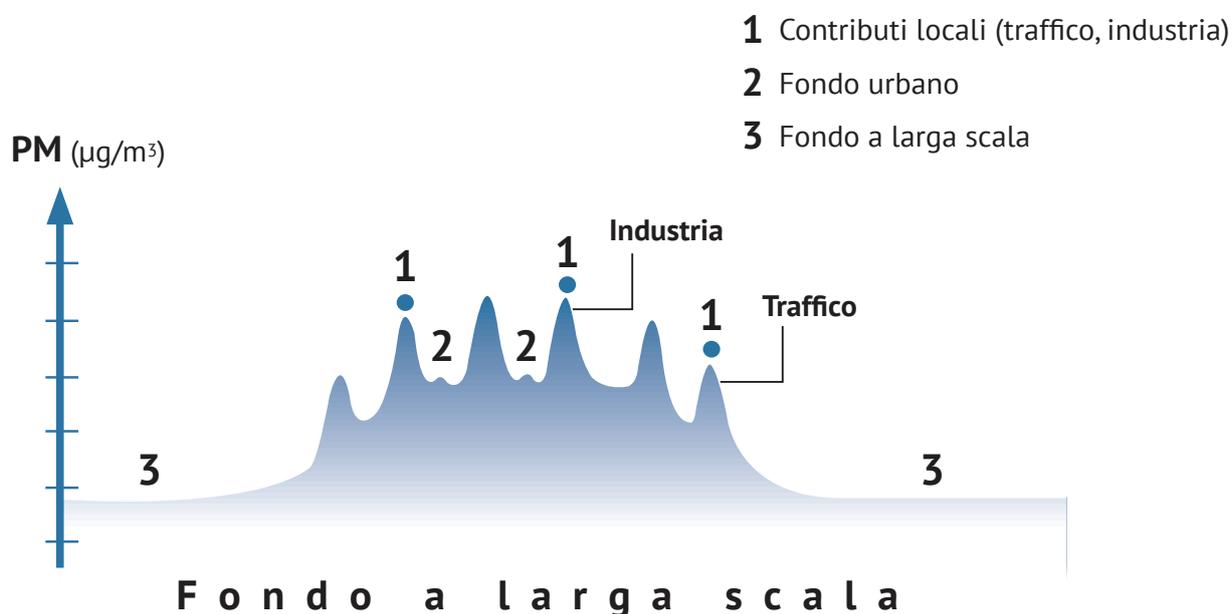
La concentrazione misurata in un punto da una stazione di rilevamento posta in un’area urbana può essere schematicamente rappresentata (figura A) come somma di tre componenti spaziali principali: fondo a larga scala, o regionale, fondo urbano e locale (hot spot). La concentrazione di fondo rappresenta le condizioni alle quali è esposta gran parte della popolazione residente in un’area urbana. La componente locale (hot spot) è, invece, quella che risente direttamente delle emissioni vicine (traffico, industria), mentre quella di fondo urbano e suburbano è influenzata principalmente

dalle emissioni distribuite sull'intera area urbana e distribuite dalla turbolenza e dai venti. Il fondo a larga scala, o regionale, rappresenta la frazione di inquinanti presenti sull'area vasta, rilevabile anche in stazioni poste a notevole distanza dalle aree urbane o da sorgenti come le industrie e il traffico. Tale componente rappresenta la porzione di inquinamento derivante dal trasporto, anche a lunga distanza, determinato dai

venti e dalla turbolenza atmosferica, ed è caratteristica di quegli inquinanti, come l'ozono o le polveri fini, che sono prodotti totalmente o in buona parte da processi di trasformazione fisico-chimica delle sostanze inquinanti emesse dalle varie sorgenti.

FIGURA A

Le principali componenti spaziali che contribuiscono al valore di concentrazione di un inquinante in area urbana



Fonte: Frank de Leeuw, PM workshop, June 2012

Distribuzione geografica (mappe)

Questa rappresentazione fornisce una visione d'insieme della distribuzione geografica, a livello regionale, della concentrazione di fondo di quegli inquinanti che hanno una distribuzione pressoché ubiquitaria sul territorio: ozono, particolato e ossidi di azoto. Le mappe sono ottenute combinando i dati rilevati dalle stazioni di monitoraggio di fondo urbano-suburbano e rurale con altre fonti di informazione, come la distribuzione delle emissioni, l'orografia, le caratteristiche del territorio e i dati meteorologici. Questi dati vengono utilizzati per risolvere le equazioni che descrivono il trasporto e la trasformazione chimica degli inquinanti (vedi Modelli

chimici di trasporto e dispersione, cap. "I processi fisici e chimici che influenzano la concentrazione degli inquinanti" e cap. "La zonizzazione, il monitoraggio e la valutazione"). La concentrazione di fondo rappresenta le condizioni di esposizione della maggioranza della popolazione (Dir 2008/50/CE, DLgs 155/2010). La concentrazione rilevata in stazioni poste in prossimità di sorgenti specifiche, quali le strade a intenso traffico o le industrie, può differire dalla concentrazione di fondo rappresentata dalle mappe. Quando il segnale del fondo risente molto di fattori locali, come sorgenti puntuali, possono essere visibili sulle mappe alcuni hotspot.

Andamento temporale: boxplot

Questa tipologia di grafici rappresenta l'andamento decennale dei dati rilevati dalle stazioni della rete regionale di monitoraggio della qualità dell'aria. Questa rappresentazione permette di avere una visione d'insieme dell'andamento pluriennale, della variabilità da un anno all'altro e della dispersione dei valori rilevati dalle varie stazioni appartenenti a categorie omogenee per collocazione rispetto alle sorgenti di inquinanti (traffico, fondo), ma situate in zone geograficamente diverse (urbane e suburbane, remote)(vedi cap. "La zonizzazione, il monitoraggio e la valutazione"). Con questa rappresentazione viene, inoltre, fornita una visione immediata della situazione rispetto al limite di riferimento.

In ascissa viene riportato l'anno nel quale sono state eseguite le misure e in ordinata il valore di concentrazione, in microgrammi/metro cubo, o il numero di superamenti del valore limite considerato. In corrispondenza di ciascun anno viene rappresentato un box, che fornisce in modo sintetico le informazioni essenziali sulla distribuzione di frequenza dei valori misurati dalle stazioni considerate.

Il numero di valori che formano la distribuzione di frequenza può variare da un anno all'altro, a causa della rilocazione, chiusura o installazione di nuove stazioni, della modifica della dotazione strumentale o perché la stazione non ha rilevato un numero sufficiente di dati validi a seguito di guasti o malfunzionamenti. Nel periodo considerato (2008-2017) l'assetto della rete di monitoraggio si è mantenuto pressoché costante.

Le stazioni sono stratificate in 3 categorie: traffico, fondo urbano e suburbano e fondo rurale. Il numero dei dati disponibili è mostrato dai punti contenuti in ciascun box, con l'indicazione anche del valore dei dati che formano la distribuzione rappresentata dal box.

Ciascun box è centrato sulla mediana: metà dei valori rilevati sono superiori al valore mediano e metà sono inferiori. Gli estremi del box rappresentano il 25° e 75° percentile dei valori medi annuali e forniscono una indicazione dell'intervallo all'interno del quale sono contenuti gran parte dei valori rilevati: più ampio è il box, maggiori sono le differenze tra i valori rilevati dalle stazioni poste in diverse zone della regione. Box di piccole dimensioni indicano una certa omogeneità di valori dovuta, nella maggior parte dei casi, a una dominante della concentrazione di fondo a larga scala rispetto alla concentrazione dovuta a fattori locali.

I puntini indicano i valori rilevati da ciascuna stazione. La linea rossa orizzontale rappresenta il valore limite di riferimento: se il box è completamente al di sopra della linea, il 75% delle stazioni supera, se la mediana sta al di sopra, metà delle stazioni supera e viceversa. Se invece solo alcuni puntini sono superiori al limite siamo in presenza di superamenti sporadici dovuti a fattori locali.

Studio del trend

L'osservazione e lo studio dell'andamento temporale delle concentrazioni degli inquinanti atmosferici forniscono importanti informazioni per stabilire se un inquinante è cresciuto o diminuito nel corso del tempo.

In Emilia-Romagna, dal 2000, si sono osservati alcuni miglioramenti a livello complessivo, sebbene si riscontrino ancora dei superamenti nei valori di riferimento definiti dall'OMS e dall'UE. Gli attuali livelli di inquinamento dell'area padana portano ancora a considerare la regione come una delle aree più inquinate d'Europa (EEA, 2017).

Vi è un crescente interesse nel quantificare i cambiamenti delle concentrazioni dei principali inquinanti atmosferici (PM_{10} , $PM_{2,5}$, O_3 e NO_2) sia da parte della comunità, preoccupata per gli impatti sulla salute, che da parte delle istituzioni, che devono adottare piani di intervento.

L'analisi del trend della qualità dell'aria per i principali inquinanti ha lo scopo di descrivere, in modo sintetico e in forma aggregata, la qualità dell'aria in regione, per valutarne la tendenza sul lungo periodo attraverso un'analisi robusta dal punto di vista statistico.

A tale fine, sono stati utilizzati i dati delle stazioni di monitoraggio di Arpa, che rilevano il dato giornaliero, per PM_{10} e $PM_{2,5}$, e orario, per NO_2 e O_3 . Per quest'ultimo, è stato calcolato il valore massimo giornaliero della media mobile su 8 ore e si è utilizzato questo parametro per le successive analisi. Per i rimanenti inquinanti si è, invece, utilizzato il valore medio mensile. L'analisi è stata condotta nel periodo 2006-2017, per il PM_{10} , O_3 , NO_2 , e nel periodo 2008-2017, per il $PM_{2,5}$. Il trend viene calcolato separatamente per ciascuno degli inquinanti presi in esame e per ciascuna stazione che li misura.

I dati rilevati dalle stazioni di misura vengono preventivamente preparati e sottoposti a controllo di qualità. È stata effettuata una prima selezione delle stazioni avente un numero di dati validi sufficiente (per ogni stazione, almeno 30 giorni di dati per ciascun mese della serie e completezza della serie

storica per almeno 6 anni su 12 per PM_{10} , O_3 ed NO_2 , e 5 su 10 per $PM_{2,5}$), cui ha fatto seguito una seconda selezione, basata sulla conoscenza della storia degli strumenti di misura e delle finalità delle stazioni, che ha escluso altre serie storiche di dati risultate non idonee.

Poiché le concentrazioni degli inquinanti oggetto di studio mostrano tutte una spiccata stagionalità, i dati sono stati destagionalizzati, sottraendo dai dati misurati il valore medio tra tutte le misure effettuate da quella stazione nella sua storia nello stesso mese. I dati così elaborati sono, poi, stati analizzati mediante il metodo di Theil-Sen (vedi Bibliografia). Questo metodo stima un trend lineare nella serie e calcola il relativo intervallo di confidenza al 95% (limiti entro i quali si ha una confidenza al 95%, che vi sia compreso il vero valore del parametro nella popolazione). Il ricorso agli intervalli di confidenza fornisce, oltre alla significatività statistica della stima, anche l'ampiezza della scala di valori al cui interno sicuramente si colloca quello reale, visualizzando così l'entità dell'incertezza comunque connessa al carattere campionario dell'osservazione. Il metodo di Theil-Sen è uno dei più utilizzati per la stima di trend lineari e ha il vantaggio di produrre intervalli di confidenza accurati, anche quando i dati non sono distribuiti normalmente e nel caso di eteroschedasticità (varianza dell'errore non costante). Infine, tiene conto del fatto che le serie storiche di dati di qualità dell'aria sono autocorrelate.

Per produrre una sintesi dei risultati, ulteriori analisi sono state poi condotte, suddividendo le stazioni, disponibili per ciascuno degli inquinanti, in 4 classi in base al tipo: da traffico, di fondo urbano/suburbano, di fondo rurale in pianura, di fondo rurale in Appennino. La stima dei trend e i relativi intervalli di confidenza al 95% per il PM_{10} ($\mu g/m^3/anno$) sono stati calcolati per 45 stazioni, risultanti idonee dopo le fasi del controllo di qualità. Per il $PM_{2,5}$, l'analisi è stata condotta su serie storiche di dati di 21 stazioni di monitoraggio. L'analisi del trend dell'ozono è stata eseguita su serie storiche di dati provenienti da 34 stazioni di monitoraggio, considerando unicamente il periodo in cui l'inquinante risulta critico (da aprile a settembre). Per l' NO_2 , è stato stimato il trend di serie storiche di 50 stazioni.

Per la rappresentazione in forma aggregata sono state escluse altre stazioni, per le quali non si aveva una classificazione certa.

I risultati sono presentati, all'interno dei capitoli relativi agli inquinanti, in forma aggregata per tipologia di stazione, mediante box plot.

In appendice vengono riportati i risultati relativi a ciascuna stazione, presentati sotto forma di grafici a barre.

Origine geografica dell'inquinamento

Per l'analisi dell'origine geografica dell'inquinamento si fa riferimento allo schema adottato in ambito europeo, che prevede che le concentrazioni medie annue di inquinanti su un territorio possano essere rappresentate come la somma di tre contributi geograficamente distinti tra loro: a grande scala (cGS), a scala urbana (cURB), a scala locale (cLOC), dove il contributo a grande scala cGS determina le concentrazioni rilevate dalle stazioni di fondo rurale, poste lontane dall'influenza diretta delle aree urbane e industriali (figura A). La componente a grande scala, cGS, è stata ulteriormente distinta in una parte, cER, dovuta al contributo emissivo della sola regione Emilia-Romagna. Nelle aree urbane e suburbane, a questo si aggiunge il contributo a scala urbana, cURB, e si raggiungono così le concentrazioni rilevate dalle stazioni di fondo urbano. Localmente poi, a bordo strada o laddove si determinano condizioni di forte accumulo (hotspot) degli inquinanti emessi da sorgenti vicine, il contributo a scala locale cLOC determina il raggiungimento dei livelli misurati dalle stazioni di traffico. Lo scarto così ottenuto tra il contributo a scala urbana e i livelli più elevati misurati dalle stazioni di traffico viene calcolato su base regionale e non per singola zona/agglomerato, laddove sono presenti le stazioni da traffico.

L'analisi dell'origine geografica dell'inquinamento in Emilia-Romagna è stata condotta utilizzando i dati delle stazioni della rete fissa e delle valutazioni prodotte dal modulo PESCO del sistema modellistico NINFA, ed è riferita alla zonizzazione regionale ai sensi del DLgs 155/2010.

L'anno meteorologico di riferimento è il 2016 e per le emissioni si è utilizzato l'inventario regionale aggiornato al 2013 (vedi cap. "Le emissioni d'inquinanti delle varie sorgenti"). Questa analisi aggiorna la precedente valutazione, contenuta nel Quadro conoscitivo Piano Aria Integrato Regionale 2020 (PAIR2020), che utilizzava l'anno meteorologico 2011 e l'inventario regionale riferito al 2010.

SINTESI

Questo rapporto tematico presenta, in maniera approfondita, il quadro complessivo delle caratteristiche della qualità dell'aria in Emilia-Romagna nel contesto della Pianura Padana e aggiorna la sua precedente edizione, pubblicata da Arpa nel 2014 (dati 2013), fornendo, inoltre, gli elementi chiave per l'aggiornamento del quadro conoscitivo del Piano Aria Integrato Regionale (PAIR2020). Questo prodotto reportistico compendia e completa i dati presentati ogni anno, in modo più sintetico, attraverso il rapporto Dati ambientali di Arpa.

I dati presentati si riferiscono al periodo 2008-2017 e fanno riferimento: alle rilevazioni della qualità dell'aria fornite dalle stazioni fisse della rete di monitoraggio regionale, all'inventario delle emissioni, alle valutazioni condotte con tecniche di modellizzazione e spazializzazione e di caratterizzazione meteorologica dell'area, oltre che ai risultati di specifici progetti di approfondimento. Gli inquinanti considerati sono il materiale particolato (PM_{10} e $PM_{2,5}$), l'ozono, gli ossidi di azoto, il benzo(a)pirene, gli ossidi di zolfo, il monossido di carbonio, il benzene, i metalli (Pb, Cd, As, Ni). Vengono, inoltre, descritti i processi che determinano la formazione di inquinanti secondari a partire dai composti primari, emessi dalle varie fonti d'emissione, e i processi di trasporto e dispersione determinati dalle caratteristiche orografiche e climatiche della Pianura Padana.

La valutazione della qualità dell'aria si basa sulla suddivisione del territorio regionale in quattro zone omogenee dal punto di vista degli elementi che concorrono a determinare i livelli dei vari inquinanti: Pianura ovest, Agglomerato di Bologna, Pianura est e Appennino. In ciascuna zona e agglomerato vengono condotte misure attraverso le stazioni di misura ubicate in siti fissi e mobili.

La distribuzione territoriale dei principali inquinanti viene, inoltre, valutata e prevista attraverso un sistema integrato, composto da modelli numerici di trasporto, dispersione e trasformazione chimica degli inquinanti, combinati con le misure effettuate in siti fissi. Questi strumenti vengono, inoltre, utilizzati per definire

i piani di gestione e miglioramento della qualità dell'aria.

I dati mostrano che gli inquinanti più critici, per quanto riguarda il rispetto dei valori limite, sono le polveri, l'ozono e il biossido di azoto. Queste criticità sono determinate dalle emissioni di sostanze inquinanti a opera delle attività umane, favorite dalle condizioni meteorologiche e dalla particolare conformazione orografica della Pianura Padana. La concentrazione in aria di queste sostanze dipende, oltre che dalle emissioni dirette, dai processi di trasporto e dispersione e dalle trasformazioni chimico-fisiche che queste subiscono in atmosfera. Le emissioni in atmosfera sono raggruppate sinteticamente in undici macrosettori di attività, secondo la classificazione europea Corinair, e stimate attraverso la compilazione dell'inventario regionale. Il quadro emissivo presentato in questo rapporto fa riferimento all'anno 2013 (anno disponibile più recente). In sintesi, per quanto riguarda gli inquinanti più critici, come le polveri, l'ozono e gli ossidi di azoto, si stima che le emissioni dirette siano dovute alle seguenti fonti principali:

- polveri: il riscaldamento domestico, che contribuisce per il 52% (pressoché interamente proveniente dal consumo di biomassa), e il trasporto su strada, che è responsabile del 27% delle polveri (di cui circa il 50% da veicoli diesel e il 45% da usura), sono le fonti principali di emissioni, seguiti dalle attività produttive (4% dalla combustione industriale e 6% dai processi produttivi);
- ossidi di azoto (NO_x): agli ossidi di azoto, importanti precursori della formazione di particolato e ozono, contribuiscono il trasporto su strada per il 56% (di cui circa il 90% da veicoli diesel, il 52% dovuto ai soli mezzi commerciali pesanti), le altre sorgenti mobili (12%), la combustione nell'industria (15%), il riscaldamento (8%) e la produzione di energia (4%);
- ammoniaca: anch'essa precursore di particolato secondario, deriva dalle pratiche agricole e dalla zootecnia, il cui contributo ammonta al 98% (il 71% del quale proviene dalla gestione dei reflui);
- composti organici volatili non metanici (COVNM):

precursori, assieme agli ossidi di azoto, di particolato secondario e ozono, hanno emissioni di natura biogenica (da specie agricole per il 34% e dalla vegetazione per il 28%) e antropogenica, derivante principalmente dall'impiego di solventi nel settore industriale e civile (15%);

- biossido di zolfo: importante precursore della formazione di particolato secondario, anche a basse concentrazioni, proviene essenzialmente dal settore industriale (per il 62% dalla combustione nell'industria e per il 19% dai processi produttivi) e dalla produzione di energia elettrica (16%).

Nel definire le politiche più efficaci per la riduzione dell'inquinamento occorre, tuttavia, considerare il contributo combinato delle emissioni dirette e della trasformazione di queste in composti secondari. Le valutazioni e i dati derivanti dalla speciazione chimica indicano che la quota di PM_{10} di origine secondaria risulta essere circa il 70% del totale, mentre il rimanente 30% risulta attribuibile alle emissioni dirette. La ripartizione per fonti eseguita considerando entrambi i contributi individua il trasporto delle merci su strada e il comparto agricolo-zootecnico come i settori prioritari che contribuiscono, assieme al riscaldamento domestico, all'inquinamento da polveri della regione.

Analizzando la situazione per i vari tipi di inquinante, il rapporto mostra che il particolato PM_{10} risulta critico per il superamento del valore limite giornaliero per tutto il periodo 2008-2017. Il numero di stazioni critiche è, tuttavia, diminuito a partire dal 2013. Il valore limite annuale viene rispettato in tutte le stazioni a partire dal 2013.

Gli anni più critici della serie sono il 2011, 2012 e 2017, quest'ultimo caratterizzato da un elevato numero di giorni favorevoli all'accumulo di polveri (67 giorni nel periodo gennaio-marzo).

Si valuta un trend, statisticamente significativo, in diminuzione per questo inquinante, nel periodo 2006-2017, nelle stazioni di traffico (mediana = $-1 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e di fondo urbano e suburbano (mediana = $-0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$), mentre il trend è sostanzialmente stazionario nelle stazioni di fondo rurale.

L'analisi dell'origine geografica evidenzia come la concentrazione media di PM_{10} dipenda in modo rilevante dalla componente di fondo a grande scala della Pianura Padana.

La distribuzione territoriale risulta relativamente omogenea, con valori più elevati nella zona della pianura occidentale.

Il valore limite per la concentrazione media annuale di particolato $PM_{2,5}$ è rispettato in gran parte delle stazioni, ed è stato superato solo sporadicamente in alcune stazioni di fondo rurale negli anni più critici per le condizioni meteorologiche: 2011, 2012, 2015 e 2017. Si valuta un trend, statisticamente significativo, in moderata diminuzione, nel periodo 2008-2017, nelle stazioni di fondo urbano/suburbano (mediana = $-0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e di fondo rurale (mediana = $-0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Come conseguenza dell'origine principalmente secondaria di questo inquinante, la distribuzione territoriale risulta marcatamente omogenea, con deboli gradienti tra le zone rurali e gli agglomerati urbani e valori mediamente più elevati nelle pianure interne. Per la stessa ragione si valuta che l'origine geografica risulti caratterizzata dalla predominanza della componente attribuibile al fondo a grande scala e, in modo meno rilevante, alle componenti di fondo urbano e locale.

In base all'analisi della distribuzione geografica del particolato, si stima che la quasi totalità della popolazione regionale risulti risiedere in aree con valori di concentrazione media annua di fondo inferiori al valore limite annuale di PM_{10} e di $PM_{2,5}$. Oltre il 60% della popolazione residente è risultata invece esposta, nel triennio 2010-2012, a valori di PM_{10} superiori al valore limite giornaliero. Questa proporzione è scesa a meno del 20% nel 2013, anno nel quale si è registrato un minimo nei superamenti del limite. Il 2017 risulta l'anno con la frazione più elevata di popolazione residente in aree con concentrazione media giornaliera di PM_{10} superiore al limite giornaliero per più di 50 giorni, in conseguenza del fatto che i massimi hanno interessato una parte rilevante del territorio regionale, dove risiede una larga parte della popolazione.

L'obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana dall'ozono troposferico è stato sistematicamente superato su gran parte del territorio regionale, nell'intero periodo 2008-2017. Gli anni più critici risultano quelli con estati più calde, come il 2011, il 2012 e il 2017. Nel periodo 2008-2017 si valuta un trend sostanzialmente stazionario della concentrazione media di 8 ore.

Inoltre, ogni anno, si registrano superamenti della soglia di

informazione alla popolazione, con 60-100 ore di superamento in alcune stazioni e il 2015 come anno peggiore.

Anche l'obiettivo a lungo termine per la protezione della vegetazione (AOT40) risulta ampiamente al di sopra del valore di riferimento ($6.000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$), in tutte le stazioni della regione.

Il massimo numero di giorni con superamenti dell'obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana si raggiunge nelle zone suburbane e rurali, a distanza dalle sorgenti degli inquinanti precursori. Si osserva una marcata variabilità interannuale, derivante dalle diverse condizioni meteorologiche.

Si stima che la totalità della popolazione risieda in aree superiori al valore obiettivo di ozono per la protezione della salute umana per più di 10 giorni all'anno, mentre una frazione variabile tra il 20 e il 60% della popolazione risiede in aree con più di 50 giorni all'anno superiori al valore obiettivo. Questa elevata percentuale è dovuta alla vasta distribuzione geografica di questo inquinante, che porta al verificarsi di situazioni critiche, nel periodo estivo, estese a gran parte del territorio regionale.

Il valore limite annuale per il biossido di azoto ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) è stato superato in diverse stazioni di traffico fin dall'entrata in vigore del limite, nel 2010. Il limite è stato rispettato nelle stazioni di fondo urbano, suburbano e rurale. Queste criticità locali sono attribuibili alla prossimità di importanti fonti di emissione di ossidi di azoto.

Dal 2014 la situazione risulta stabile, sia nelle stazioni di traffico, che nelle stazioni di fondo urbano, suburbano e rurale, e in miglioramento rispetto al periodo precedente. Il numero dei superamenti del valore limite orario di $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per l' NO_2 , nella serie storica 2008-2017, non è mai stato superiore ai 18 superamenti consentiti. Il maggior numero di superamenti viene registrato nelle stazioni di traffico. L'anno peggiore risulta il 2008, con 12 superamenti nelle stazioni di traffico e 9 nelle stazioni di fondo.

Si valuta un trend statisticamente significativo e in diminuzione di questo inquinante, nel periodo 2006-2017, nelle stazioni di traffico (mediana = $-1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e di fondo urbano e suburbano (mediana = $-1 \mu\text{g}/\text{m}^3$), mentre il trend è sostanzialmente stazionario nelle stazioni di fondo rurale.

La concentrazione di fondo (media annuale) di NO_2 risulta generalmente più elevata nella parte centro-occidentale della pianura, in prossimità degli agglomerati urbani e delle principali arterie stradali e in corrispondenza dell'agglomerato di Bologna.

L'analisi dell'origine territoriale dell'inquinamento da ossidi di azoto evidenzia come gran parte della concentrazione dipenda dal contributo locale e di fondo urbano.

I valori di benzo(a)pirene, biossido di zolfo, monossido di carbonio, benzene e metalli (Pb, Cd, As e Ni) risultano al di sotto dei limiti nell'intero periodo 2008-2017.

Le criticità descritte vengono affrontate dal Piano Aria Integrato Regionale (PAIR2020), entrato in vigore il 21 aprile 2017. Il piano individua misure per il contenimento delle emissioni inquinanti in ambito urbano e nei settori dei trasporti, dell'energia, delle attività produttive e dell'agricoltura. Queste misure sono state individuate valutando l'entità di riduzione delle emissioni necessaria al rientro nei limiti di legge per la qualità dell'aria e selezionate in base a un'analisi costi-benefici. Analoghi piani sono stati messi a punto dalle Regioni del Bacino Padano, che hanno sottoscritto un accordo col governo nazionale per l'attuazione di misure coordinate volte al miglioramento della qualità dell'aria e la gestione di strumenti comuni.

L'implementazione di queste misure e il monitoraggio dell'efficacia delle azioni previste dai vari piani regionali vengono realizzati in modo collaborativo tra le varie Regioni del Bacino Padano attraverso un progetto europeo Life-Ip Prepair (che prevede la partecipazione delle Regioni e delle Agenzie ambientali di Emilia-Romagna, Lombardia, Piemonte, Veneto, Valle d'Aosta, Friuli Venezia Giulia e Provincia autonoma di Trento, i Comuni di Bologna, Milano e Torino e ARSO Slovenia).

GLI INQUINANTI NELL'ARIA

Di seguito vengono rappresentati i principali inquinanti emessi nella bassa troposfera (parte di atmosfera dove vivono gli esseri umani), e i loro processi di trasporto e trasformazione

LEGENDA

| Inquinante primario | | Inquinante secondario | |
|---|--|--|--|
|  Particolato primario |  Metalli pesanti |  Particolato secondario | |
|  Ossidi d'azoto |  Composti Organici Volatili |  Ozono troposferico | |
|  Benzo(a)pirene (IPA) |  Ammoniaca | | |
|  Biossido di zolfo | | | |
|  Monossido di carbonio | | | |
|  Benzene | | | |

2 DISPERSIONE (TRASPORTO E TURBOLENZA)

L'inquinante si distribuisce nell'ambiente circostante

1 EMISSIONI

Carico emissivo degli inquinanti di origine primaria, cioè provenienti direttamente da sorgenti antropiche e naturali

Le sorgenti

Fonti di emissione degli inquinanti



Gli inquinanti primari possono seguire due percorsi



Trasporto dovuto all'azione del vento



Dispersione per effetto dei moti turbolenti

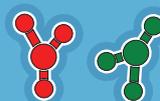
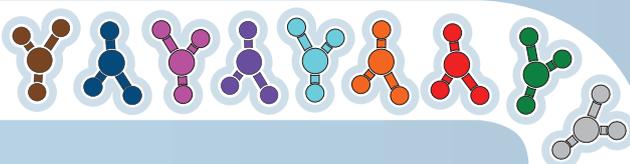
3 TRASFORMAZIONE (CHIMICA/FISICA)

FORMAZIONE INQUINANTI SECONDARI



Radiazione
solare

I secondari, come ozono e particolato, sono gli inquinanti che si possono formare in atmosfera per reazioni chimico-fisiche che avvengono tra i primari, favorite da **temperatura, umidità e radiazione solare**



Ozono
troposferico
(smog
fotochimico)

Particolato
secondario

Allo stato della qualità
dell'aria contribuiscono
entrambi i percorsi

Gli impatti

Danni reali o potenziali all'uomo e all'ambiente per esposizione a concentrazioni di sostanze inquinanti

4 QUALITÀ DELL'ARIA (CONCENTRAZIONI INQUINANTI IN ATMOSFERA)

sull'ambiente

sull'uomo



I PRINCIPALI INQUINANTI DELL'ARIA

Particolato

Il materiale particolato aerodisperso è un insieme eterogeneo di sostanze di diversa natura, particelle solide e liquide sospese in aria ambiente. È pertanto caratterizzato da una grande varietà di caratteristiche fisiche, chimiche, geometriche e morfologiche. Il termine PM_{10} identifica le particelle di diametro aerodinamico uguale o inferiore ai $10 \mu m$, con $PM_{2,5}$ si intende invece la frazione fine del particolato con particelle aventi diametro aerodinamico uguale o inferiore a $2,5 \mu m$

PROCESSO DI GENERAZIONE

PM_{10} e $PM_{2,5}$ sono inquinanti di natura chimico-fisica complessa, alla cui costituzione contribuiscono più sostanze. Sono presenti in atmosfera sia come polveri direttamente emesse dalle varie sorgenti inquinanti (particolato primario), sia, la parte più consistente prodotta, in seguito a reazioni chimico-fisiche che avvengono direttamente in atmosfera tra gli inquinanti primari e altri composti (particolato secondario)

FONTI D'EMISSIONE

Il particolato può avere origine sia naturale (erosione dei venti sulle rocce, eruzioni vulcaniche, incendi di boschi e foreste), sia antropica (processi di combustione, in particolare quelli che prevedono l'utilizzo di combustibili solidi, carbone e legna, o distillati petroliferi). Per la parte antropica, il particolato è emesso con i gas di scarico dei veicoli a combustione interna, dagli impianti per la produzione di energia e dai processi di combustione nell'industria, dagli impianti per il riscaldamento domestico

PERIODI CRITICI

Inverno

EFFETTI SULLA SALUTE E SULL'AMBIENTE

Tra gli inquinanti atmosferici, il particolato è quello con il maggior impatto sulla salute umana, soprattutto la frazione fine, in quanto, una volta inalata, è in grado di raggiungere le zone più profonde dell'apparato respiratorio, come quella alveolare. La nocività dipende sia dalla dimensione che dalla composizione chimica del particolato. Nel 2013 lo IARC (Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro) ha classificato il particolato come cancerogeno di classe 1 (esiste una relazione causale tra esposizione al particolato e il cancro nell'uomo)

Ozono

L'ozono troposferico (O_3) è un inquinante secondario, che si forma mediante processi fotochimici a partire da inquinanti precursori presenti in atmosfera, trasportati e diffusi da venti e turbolenza atmosferica. Proprio per questo le sue massime concentrazioni si osservano a distanza dalle sorgenti emissive degli inquinanti precursori, nelle zone suburbane e rurali, anche dell'Appennino

PROCESSO DI GENERAZIONE

Le reazioni fotochimiche che portano alla generazione dell'ozono avvengono a partire da inquinanti precursori presenti in atmosfera: ossidi d'azoto e composti organici volatili. Le reazioni sono catalizzate dalla radiazione solare; questo rende l'ozono un inquinante tipicamente estivo, con valori di concentrazione più elevati nelle estati contrassegnate da alte temperature

FONTI D'EMISSIONE

L'ozono presente in atmosfera è dovuto a inquinanti precursori di origine antropica, quali ossidi d'azoto e composti organici volatili, quest'ultimi in parte anche di origine naturale.

PERIODI CRITICI

Estate

EFFETTI SULLA SALUTE E SULL'AMBIENTE

La normativa prevede standard di qualità per la protezione della salute umana e anche per la protezione della vegetazione, poiché, data la forte reattività e l'elevato potere ossidante, l'ozono ha effetti sia sulla salute dell'uomo che sull'ambiente. Provoca, infatti, infiammazioni ai polmoni e bronchi; riduce la capacità delle piante di eseguire la fotosintesi, indebolisce la loro crescita e riproduzione

Ossidi di azoto

Con il termine NO_x viene indicato genericamente l'insieme dei due più importanti ossidi di azoto a livello di inquinamento atmosferico: il monossido di azoto (NO) e il biossido di azoto (NO_2). Gli ossidi di azoto giocano un ruolo principale nella formazione dell'ozono e contribuiscono, anche, alla costituzione di aerosol organico secondario, determinando un aumento della concentrazione di PM_{10} e $\text{PM}_{2,5}$.

PROCESSO DI GENERAZIONE

L'ossido di azoto (NO) si forma principalmente per reazione dell'azoto contenuto nell'aria con l'ossigeno atmosferico in processi che avvengono a elevata temperatura. Il biossido di azoto (NO_2) si forma prevalentemente dall'ossidazione del monossido di azoto (NO) e solo in parte viene emesso direttamente

FONTI D'EMISSIONE

Le maggiori sorgenti di NO ed NO_2 sono di natura antropica e riguardano i processi di combustione (nel settore dei trasporti, negli impianti di produzione di energia elettrica, negli impianti industriali e di riscaldamento civile). Per gran parte delle sorgenti l'NO rappresenta la maggior parte degli NO_x emessi. I veicoli diesel emettono invece direttamente quantitativi rilevanti di NO_2 (fino al 70%), a causa del sistema di trattamento dei gas di scarico di questi veicoli (EEA, 2015)

PERIODI CRITICI

Inverno per NO_2

EFFETTI SULLA SALUTE E SULL'AMBIENTE

L' NO_2 ha effetti negativi sulla salute umana, risultando dannoso per il sistema respiratorio. Causa, infatti, diminuzione della funzionalità polmonare, specie nei gruppi più sensibili della popolazione, e un aumento della suscettibilità alle infezioni respiratorie. Produce, inoltre, effetti negativi sugli ecosistemi, come l'acidificazione e l'eccesso di nutrienti (eutrofizzazione), causando cambiamenti negli ecosistemi acquatici e marini e perdita di biodiversità

Benzo(a)pirene

Gli Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA) costituiscono un gruppo di composti organici formati da uno o più anelli benzenici. Generalmente si tratta di sostanze, scarsamente solubili in acqua e altamente affini ai grassi dei tessuti viventi. Il Benzo(a)Pirene (BaP) è, tra gli IPA, quello principalmente presente nel particolato e, pertanto, viene utilizzato come indicatore dell'intera classe

PROCESSO DI GENERAZIONE

Il BaP, come gli IPA, si origina principalmente dalla combustione incompleta di composti organici, che avviene in impianti industriali (cokerie, produzione e lavorazione grafite, trattamento del carbon fossile), di riscaldamento (combustibili solidi e liquidi pesanti) e nei veicoli a motore (dovuta sia alla frazione presente come tale nel carburante, sia alla frazione che ha origine durante il processo di combustione)

FONTI D'EMISSIONE

La quasi totalità delle emissioni di BaP proviene dalla combustione residenziale di biomassa solida. Il benzo(a)pirene viene emesso in atmosfera quasi totalmente adsorbito sul materiale particolato e la sua emissione risulta molto variabile a seconda del tipo di sorgente, del tipo e della qualità della combustione

PERIODI CRITICI

Inverno

EFFETTI SULLA SALUTE E SULL'AMBIENTE

Il BaP, tra i primi composti a essere stato classificato in categoria 1 dall'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro, è ritenuto un buon indicatore di rischio cancerogeno per l'intera classe di composti policiclici aromatici. In particolare, su centomila persone esposte per tutta la vita a una concentrazione media di 1 ng/m^3 di BaP, nove sono a rischio di insorgenza del carcinoma polmonare; da questa concentrazione media è stato individuato il valore obiettivo

Ossidi di zolfo

Il biossido di zolfo (SO_2) è il naturale prodotto di ossidazione dello zolfo e dei composti che lo contengono. Nell'atmosfera il biossido di zolfo è ossidato a triossido di zolfo (SO_3); SO_2 e SO_3 sono i principali imputati dell'inquinamento atmosferico da ossidi di zolfo (SO_x) e si caratterizzano per l'assenza di colore, l'odore acre e pungente e l'elevata reattività a contatto con l'acqua

PROCESSO DI GENERAZIONE

A livello antropico, SO_2 e SO_3 sono prodotti nelle reazioni di ossidazione per la combustione di materiali in cui sia presente zolfo come impurezza, ad esempio: carbone, derivati del petrolio e legna, utilizzati, in misura molto maggiore fino a qualche anno fa, per la produzione di calore, vapore, energia elettrica e altro. Infatti lo zolfo veniva adoperato come indicatore dell'inquinamento di origine umana

FONTI D'EMISSIONE

Il biossido di zolfo viene emesso dal settore industriale, che impiega combustibili fossili per la combustione, o che si occupa della trasformazione di combustibili fossili (raffinazione del petrolio, impianti per la conversione di carbon fossile in coke); viene emesso anche da attività in cui la materia prima ha un certo contenuto di zolfo.

In natura viene emesso dall'attività vulcanica

PERIODI CRITICI

-

EFFETTI SULLA SALUTE E SULL'AMBIENTE

Il biossido di zolfo è un forte irritante per gli occhi, la gola e le vie respiratorie e, in base alla concentrazione e al tempo di esposizione, può comportare anche patologie dell'apparato respiratorio. In atmosfera contribuisce alla formazione delle piogge acide, con effetti tossici sui vegetali, acidificazione dei corpi idrici e compromissione della vita acquatica. Le piogge acide possono avere effetti corrosivi anche sui materiali da costruzione, vernici, metalli

Monossido di carbonio

Il monossido di carbonio (CO) è un inquinante primario, derivante dalla combustione incompleta di sostanze contenenti carbonio; è incolore e inodore

PROCESSO DI GENERAZIONE

Il CO viene formato in modo consistente durante la combustione di combustibili con difetto di aria e, cioè, quando il quantitativo di ossigeno non è sufficiente per ossidare completamente le sostanze organiche

FONTI D'EMISSIONE

Le sorgenti possono essere di tipo naturale (attività vulcaniche, incendi) o antropogeniche. Tra queste ultime, le principali sorgenti di CO sono rappresentate dal traffico veicolare, in particolare dai gas di scarico dei veicoli a benzina, e dalla combustione della biomassa per il riscaldamento residenziale. La continua evoluzione delle tecnologie utilizzate ha, comunque, permesso di ridurre al minimo la presenza di questo inquinante in aria

PERIODI CRITICI

-

EFFETTI SULLA SALUTE E SULL'AMBIENTE

La pericolosità del monossido di carbonio deriva dalla maggiore stabilità del legame con lo ione ferro dell'emoglobina rispetto all'ossigeno. A bassissime dosi il CO non è pericoloso, ma già a livelli di concentrazione nel sangue pari al 10-20% il soggetto può avere danni causati da ipossia, con insorgenza di emicrania, stanchezza, sonnolenza e difficoltà respiratorie

Benzene

Il benzene (C₆H₆) appartiene alla classe dei composti organici volatili, infatti a temperatura ambiente volatilizza assai facilmente, cioè passa dalla fase liquida a quella gassosa; è un costituente naturale del petrolio e ha un caratteristico odore aromatico pungente

PROCESSO DI GENERAZIONE

In passato il benzene è stato ampiamente utilizzato come solvente in molteplici attività industriali e artigianali. Oggi, la maggior parte del benzene prodotto trova impiego nella chimica, come materia prima per numerosi composti secondari. È, inoltre, contenuto nelle benzine, in cui viene aggiunto, insieme ad altri composti aromatici, per conferire le volute proprietà antidetonanti e per aumentare il “numero di ottani” in sostituzione totale dei composti del piombo

FONTE D'EMISSIONE

Le principali sorgenti antropogeniche sono il traffico, in particolare i veicoli a benzina, i processi di combustione che utilizzano derivati del petrolio e l'uso di solventi contenenti benzene

PERIODI CRITICI

-

EFFETTI SULLA SALUTE E SULL'AMBIENTE

L'effetto più noto dell'esposizione cronica riguarda la potenziale cancerogenicità del benzene sul sistema emopoietico (cioè sul sangue). L'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro classifica il benzene come sostanza cancerogena di classe I, in grado di produrre varie forme di leucemia.

Metalli

I metalli sono costituenti naturali della crosta terrestre. In atmosfera si trovano essenzialmente associati al particolato e spesso presenti a seguito di emissioni provenienti da diversi tipi di attività industriali. Tra i metalli oggetto di monitoraggio per la qualità dell'aria, quelli normati sono: il nichel (Ni), il cadmio (Cd), l'arsenico (As) e il piombo (Pb)

PROCESSO DI GENERAZIONE

Metalli di varia natura e loro composti vengono immessi direttamente in atmosfera e veicolati dal materiale particolato

FONTE D'EMISSIONE

I metalli presenti nel particolato atmosferico provengono da una molteplice varietà di fonti: il cadmio si origina prevalentemente da processi industriali, il nichel proviene dalla combustione, le maggiori fonti antropogeniche dell'arsenico sono le attività estrattive, la fusione di metalli non ferrosi e la combustione di combustibili fossili; alle emissioni di piombo contribuisce ancora il traffico veicolare (nonostante l'impiego generalizzato della benzina verde da oltre 15 anni), nonché la combustione nei processi industriali

PERIODI CRITICI

-

EFFETTI SULLA SALUTE E SULL'AMBIENTE

Nichel, cadmio e arsenico rivestono particolare rilevanza igienico-sanitaria, data la loro accertata cancerogenicità, in quanto classificati dalla IARC in categoria 1. Per il piombo è stato evidenziato un ampio spettro di effetti tossici, in quanto tale sostanza interferisce con numerosi sistemi enzimatici

IL CONTESTO TERRITORIALE

LE CARATTERISTICHE OROGRAFICHE E LE CONDIZIONI METEOROLOGICHE DEL BACINO PADANO

L'Emilia-Romagna confina con la Lombardia, il Veneto, le Marche, la Repubblica di San Marino, la Toscana, la Liguria e il Piemonte. La superficie regionale misura 22.450 km², circa la metà dei quali è occupata dalla pianura e il resto dall'Appennino. Dal punto di vista orografico, l'Appennino è orientato lungo un asse allungato in direzione diagonale da ovest-nord ovest a est-sud est. La fascia pianeggiante ha un'altitudine ovunque inferiore ai 100 m, con vaste aree al livello del mare nel settore orientale; le zone montuose sono caratterizzate da numerose piccole valli, che presentano generalmente un andamento parallelo tra loro e perpendicolare alla catena Appenninica.

L'Emilia-Romagna è inserita nel Bacino Padano Adriatico, di cui occupa la porzione sud orientale, caratterizzata dal territorio del bacino idrografico del fiume Po. Il Bacino Padano è caratterizzato da una fascia pianeggiante, la cui altezza sul livello del mare varia dal valore di 0 metri nei pressi di Ravenna, ai 500 metri nei pressi di Torino. Il Bacino Padano è separato dall'Europa centrale dalla grande catena montuosa delle Alpi, la cui altezza media è di circa 3.000 metri, la quale segna il suo bordo lungo il versante ovest, nord e nord-est, è bagnato dal mar Mediterraneo (specificatamente il mare Adriatico) lungo l'angolo sud-orientale ed è chiuso a sud dalla catena appenninica, il cui tratto settentrionale presenta una elevazione media di circa 1.000 metri. In generale, quindi, chiuso dalle montagne su tre lati, il Bacino Padano rappresenta, dal punto di vista della qualità dell'aria, una sorta di recipiente nel quale le emissioni di inquinanti si distribuiscono, ma faticano a disperdersi. Tali caratteristiche orografiche determinano infatti condizioni meteorologiche sfavorevoli alla dispersione. Le condizioni meteo-climatiche tipiche della regione traggono origine dall'interazione fra le caratteristiche topografiche e meteorologiche della Pianura Padana.

In particolare si osserva come le Alpi spesso rappresentino un fattore limitante per le correnti d'aria che agiscono fra l'Italia del Nord e il resto dell'Europa continentale.

Questo fa sì che il clima sia caratterizzato da frequenti situazioni di calme di vento (soprattutto in pianura). La conseguente stagnazione dell'aria nel Bacino Padano costituisce una concausa dell'inquinamento atmosferico per la difficoltà con cui gli inquinanti immessi si disperdono nell'atmosfera.

Le analisi climatologiche e la conseguente individuazione dei tipi di tempo caratteristici del Bacino Padano Adriatico consentono di individuare le configurazioni meteorologiche più favorevoli all'accumulo di sostanze inquinanti nell'atmosfera.

La caratteristica meteorologica che maggiormente influenza la qualità dell'aria è la scarsa ventosità: la velocità media del vento negli strati più bassi dell'atmosfera della pianura interna è generalmente compresa tra 2 e 2,5 m/s, un valore sensibilmente più basso rispetto alla maggior parte del continente europeo. Il rimescolamento e la diluizione degli inquinanti sono dovuti in massima parte alla turbolenza atmosferica: questa è generata in parte dal riscaldamento diurno della superficie terrestre (componente termica), in parte dall'attrito esercitato della superficie sul vento a grande scala (componente meccanica). Nella Pianura Padana, a causa della debolezza dei venti, il contributo più importante è dato dalla componente termica: siccome questa dipende dall'irraggiamento solare, le concentrazioni della maggior parte degli inquinanti mostrano uno spiccato ciclo stagionale. In particolare, i valori invernali di PM e NO₂ sono circa doppi rispetto a quelli estivi, e pressoché tutti i superamenti dei limiti di legge si verificano in inverno.

La situazione è diversa per l'ozono e gli altri inquinanti secondari di origine fotochimica: la loro formazione è favorita dall'irraggiamento solare e dalle temperature elevate, per cui le concentrazioni risultano alte in estate e basse in inverno. Tuttavia, il buon rimescolamento dell'atmosfera nei mesi caldi fa sì che le loro concentrazioni siano pressoché omogenee sull'intero territorio, indipendentemente dalla distanza rispetto alle sorgenti emmissive. Nella fascia costiera, la maggiore velocità del vento fa sì che le concentrazioni di inquinanti siano, in media, più basse. In giornate

specifiche può però essere vero il contrario: venti al suolo provenienti da ovest possono trasportare verso la costa aria inquinata proveniente dalle zone interne della pianura e, in particolari condizioni, la massa d'aria sopra al mare può diventare un serbatoio di precursori di ozono e di altri inquinanti secondari.

Nel periodo invernale sono frequenti condizioni di inversione termica al suolo, in particolare nelle ore notturne. In queste condizioni, che talvolta persistono per l'intera giornata, la dispersione degli inquinanti emessi a bassa quota è fortemente limitata: questo può determinare un marcato aumento delle concentrazioni in prossimità delle sorgenti emissive, che spesso interessa tutti i principali centri urbani. Nei mesi freddi, in condizioni di alta pressione, di pressione livellata o comunque in assenza di forzanti sinottiche marcate, il ricambio dell'aria in prossimità del suolo è limitato e può richiedere diversi giorni. Queste situazioni meteorologiche spesso permangono per più giorni consecutivi: gli inquinanti emessi tendono allora ad

accumularsi progressivamente in prossimità del suolo, raggiungendo concentrazioni elevate e favorendo la formazione di ulteriore inquinamento secondario. Durante questi episodi, l'inquinamento non è più limitato alle aree urbane e industriali, ma si registrano concentrazioni elevate abbastanza omogenee in tutto il bacino, incluse le zone di campagna lontane dalle sorgenti emissive. Un altro fenomeno meteorologico tipico della Pianura Padana è la presenza di inversioni termiche in quota. Queste si formano più frequentemente nel semestre invernale, quando c'è un afflusso di aria calda in quota, che supera le montagne e scorre sopra la massa d'aria più fredda che ristagna sulla pianura: la Val Padana diventa allora una sorta di recipiente chiuso, in cui gli inquinanti vengono schiacciati al suolo, creando un unico strato di inquinamento diffuso e uniforme. In queste situazioni, le concentrazioni possono raggiungere valori molto elevati, anche in presenza di un buon irraggiamento solare.



IL QUADRO SOCIO-ECONOMICO

Le regioni che compongono il Bacino Padano sono fortemente antropizzate, con gli oltre 23 milioni di abitanti (dei quali circa 4,5 milioni residenti in Emilia-Romagna), corrispondenti a circa il 40% del totale della popolazione italiana. La grande maggioranza della popolazione si concentra nelle aree di pianura, dove la densità abitativa (198 ab/km²) risulta essere tra le più alte d'Europa, raggiungendo i valori massimi nelle zone urbane con oltre 2.700 ab/km² a Bologna, e valori minimi nelle aree appenniniche (meno di 50 ab/km²).

La mappa relativa al consumo del suolo (mappa 1) mostra come il territorio della Pianura Padana sia fortemente antropizzato e con una percentuale di consumo di suolo (quantificazione della perdita di suolo a seguito dell'occupazione di superficie agricola, naturale o seminaturale) pari a circa il 10% della superficie regionale. Lungo le principali vie di comunicazione, città e insediamenti produttivi si susseguono senza soluzione di continuità, mentre il resto del territorio è quasi completamente occupato da agricoltura e allevamento intensivi.

La Pianura Padana contribuisce in maniera significativa alla produzione di ricchezza del Paese (oltre il 50% del PIL nazionale); il suo tessuto produttivo è molto variegato e tende a essere basato su piccole e medie imprese distribuite sul territorio.

Questo quadro socio-economico e l'intensità delle attività antropiche che insistono nell'area comportano un'elevata concentrazione di fonti di emissioni di

inquinanti. L'urbanizzazione diffusa e il particolare modello di sviluppo economico determinano una grande necessità di mobilità, che si riflette nelle emissioni inquinanti dovute al traffico veicolare e agli impianti di riscaldamento. I processi industriali, pur essendo sottoposti a rigide normative ambientali, comportano l'emissione in atmosfera di una grande varietà di composti chimici. Anche l'agricoltura e l'allevamento contribuiscono all'inquinamento atmosferico attraverso l'emissione di rilevanti quantità di ammoniaca e metano, che sono rispettivamente un precursore degli inquinanti secondari e un potente gas serra. La regione è un elemento centrale del sistema di mobilità nazionale, sia per quel che riguarda la rete autostradale, sia per il trasporto ferroviario (mappa 2); il nodo di Bologna, in particolare, è di primaria importanza, in quanto rappresenta un passaggio quasi obbligato per merci e passeggeri in viaggio tra il nord e il sud dell'Italia. Da qui si dipartono a raggiera le autostrade A1 Milano-Napoli (nota come autostrada del Sole), la A13 Bologna-Padova e la A14 Bologna-Taranto (o Adriatica); gli altri tronchi che interessano la regione sono la A15 della Cisa, la A21 Torino-Brescia e la A22 del Brennero. L'Emilia-Romagna assume quindi un ruolo di cerniera fra il nord e il sud della nazione e per tale ragione risulta interessata da un intenso traffico in transito: questo produce una quota rilevante delle emissioni di inquinanti, che in gran parte sfugge alle possibilità di gestione delle autorità locali.

Le industrie regionali sono prevalentemente di piccole e medie dimensioni, spesso raggruppate in distretti produttivi, caratterizzati da un'elevata specializzazione:

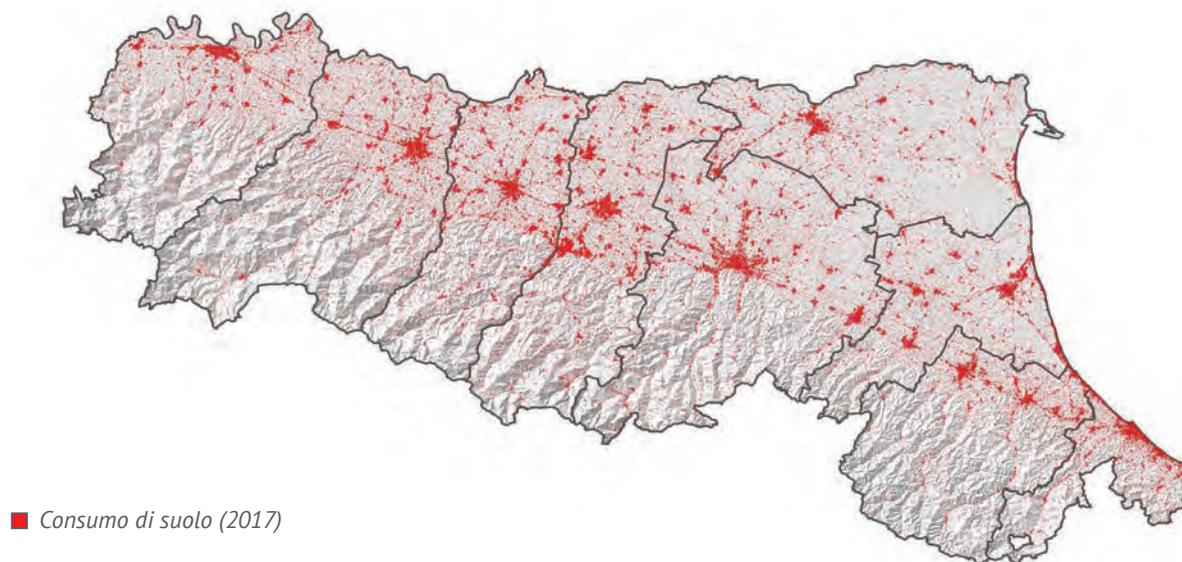


esempi di questa particolare organizzazione produttiva sono la produzione di ceramiche da arredamento e materiali da costruzione intorno a Modena, l'industria alimentare a Parma, la chimica di base a Ferrara e Ravenna, l'industria energetica a Piacenza e Ravenna. La parte pianeggiante dell'Emilia-

Romagna presenta suoli estremamente fertili, che sono ampiamente sfruttati per l'agricoltura intensiva. L'allevamento è praticato su scala e con processi industriali e si concentra nei poli di Modena e Reggio, per il settore suinicolo, e di Forlì-Cesena, per quello avicolo.

MAPPA 1

Carta del consumo di suolo dell'Emilia-Romagna (2017)



MAPPA 2

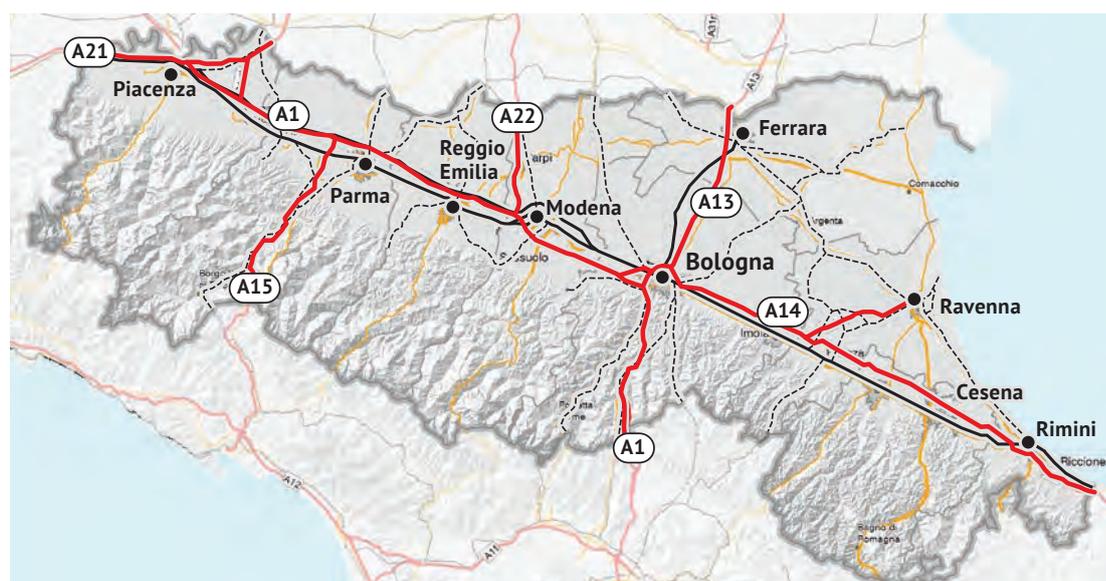
La rete autostradale e ferroviaria (2017)

Rete ferroviaria

- a due binari
- - - - a un binario

Rete della viabilità

- Autostrade
- Strada a quattro corsie
- Strada di grande comunicazione



Fonte: Regione Emilia-Romagna

IL BACINO PADANO



CARATTERISTICHE OROGRAFICHE

Nel Bacino Padano la pianura declina dai piedi delle Alpi e dell'Appennino verso la linea d'impluvio del fiume Po, per poi degradare lentamente fino ad arrivare al mare. Alpi e Appennino chiudono il bacino su tre lati (nord, ovest e sud) e lo proteggono dai venti provenienti dal continente e dal Mediterraneo

L'aria si distribuisce e si disperde come in una stanza con un'unica finestra, rappresentata dal mare Adriatico



CONFINI

- 1 **NORD** Alpi | h media 3.000 m
- 2 **OVEST** Alpi | h media 3.000 m
- 3 **SUD** Appennino | h media 1.000 m



DIMENSIONI

- ↔ 400 km
- ↕ 200 km
(nel punto più ampio)



ALTITUDINE (s.l.m.)

- 240 m | **Torino**
- 120 m | **Milano**
- 50 m | **Bologna**
- 0 m | **Ravenna**

ACCUMULO DI INQUINANTI

Quando, in Pianura Padana, durante l'inverno, la limitata velocità del vento si associa a precipitazioni scarse e condizioni di inversione termica duratura, gli inquinanti immessi ristagnano e si accumulano al suolo



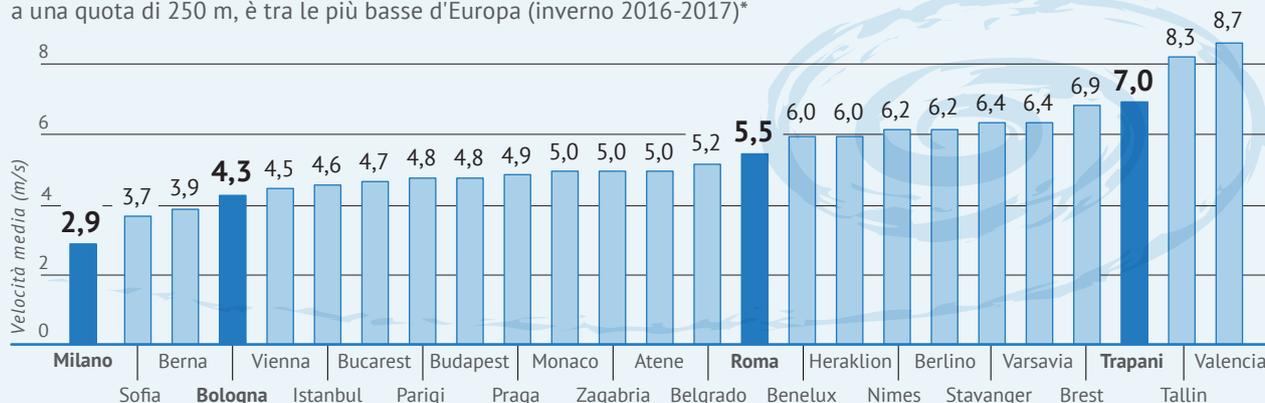


CONDIZIONI METEOROLOGICHE

Le caratteristiche orografiche contribuiscono all'instaurarsi e mantenersi di **condizioni meteorologiche sfavorevoli alla dispersione degli inquinanti** immessi nel Bacino:

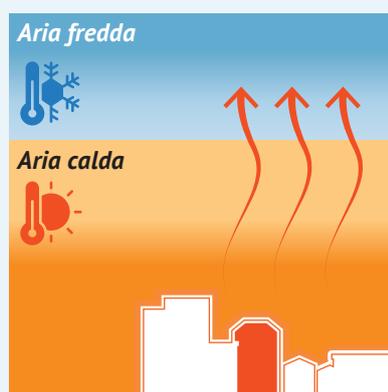
1 BASSA VELOCITÀ MEDIA DEL VENTO

La velocità media del vento nella Pianura Padana, dal suolo sino a una quota di 250 m, è tra le più basse d'Europa (inverno 2016-2017)*

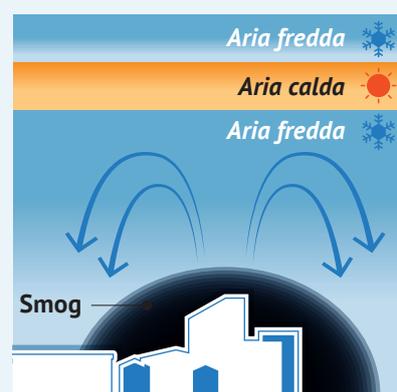


2 FREQUENTI E PERSISTENTI FENOMENI DI INVERSIONE TERMICA

Nei mesi invernali, in periodi prolungati di alta pressione, l'assenza di una copertura nuvolosa fa sì che, durante la notte, il terreno dissipi rapidamente il calore assorbito durante il giorno e l'aria, a contatto con il suolo, raggiunga temperature inferiori rispetto agli strati atmosferici sovrastanti. L'aria più calda sovrastante agisce come un coperchio, intrappolando l'aria fredda in prossimità del suolo e con essa gli inquinanti immessi



CONDIZIONE STANDARD



INVERSIONE IN QUOTA



* Elaborazione Arpae Emilia-Romagna su dati World Meteorological Organization (WMO)

IL QUADRO SOCIO-ECONOMICO*

POPOLAZIONE

Il 40% circa della popolazione italiana risiede nel Bacino Padano; il 19% di quella del Bacino Padano risiede in Emilia-Romagna



PIL

Oltre il 50% del PIL nazionale è prodotto dalla Pianura Padana; il PIL dell'Emilia-Romagna è pari al 19% di quello del Bacino Padano



SETTORE ECONOMICO PRIMARIO

ALLEVAMENTO

Agricoltura e allevamento intensivi contribuiscono all'inquinamento atmosferico, in particolare attraverso l'emissione di ammoniaca (precursore nella formazione di particolato)

Allevamenti AIA*** di suini

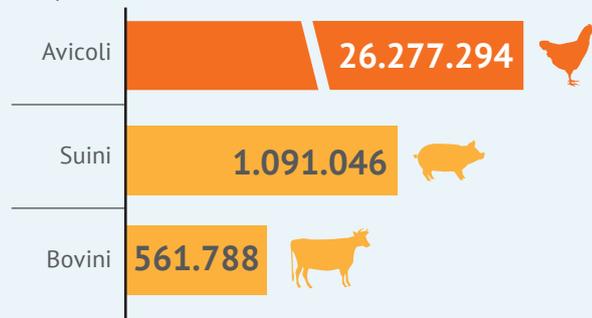


Allevamenti AIA di avicoli



Capi allevati

N. capi



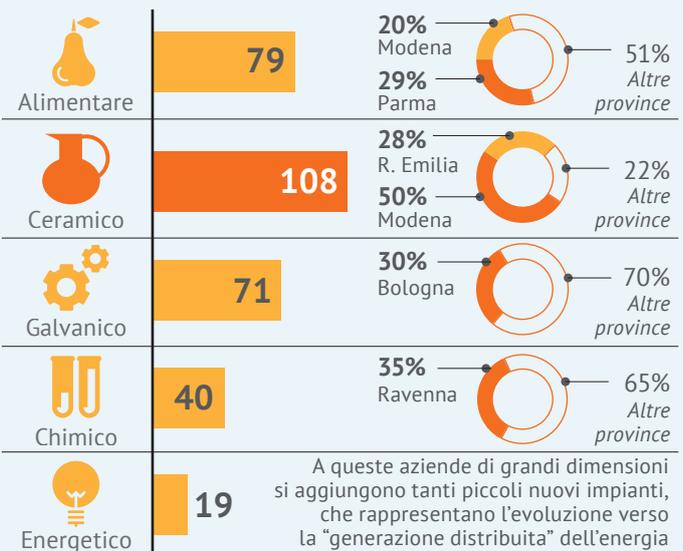
SETTORE ECONOMICO SECONDARIO

DISTRETTI PRODUTTIVI

I processi industriali, pur essendo sottoposti a rigide normative ambientali, comportano l'emissione in atmosfera di diversi tipi di inquinanti

Numero Aziende AIA

N. aziende



* Dati 2016, tranne per: numero capi avicoli (2010) e distretti produttivi AIA (2017) **Tep = tonnellate equivalenti di petrolio

*** AIA = Autorizzazione Integrata Ambientale. La normativa prevede che, ai fini di un'efficace prevenzione dell'inquinamento ambientale, alcune realtà produttive di particolare rilievo e impatto, per dimensione e tipologia di attività svolta, debbano essere dotate di questa autorizzazione

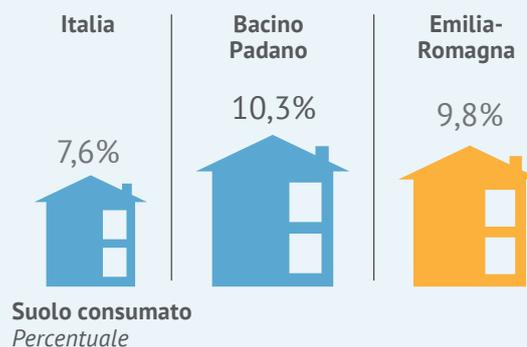
CONSUMO DI ENERGIA

Il Bacino Padano contribuisce per quasi la metà dei consumi energetici finali nazionali (48%), per ragioni sia socio-economiche che climatiche. Il consumo energetico dell'Emilia-Romagna è il 22% di quello del Bacino



CONSUMO DI SUOLO

La superficie di suolo consumato nel Bacino Padano è pari a circa il 10% della superficie totale; a livello nazionale, tale valore scende a circa l'8%



SETTORE ECONOMICO TERZIARIO

RETE AUTOSTRADALE

Il traffico veicolare comporta emissioni di diversi inquinanti, in particolar modo: polveri, monossido di carbonio e ossidi d'azoto (gli ossidi d'azoto sono importanti precursori nella formazione di particolato e ozono)

■ Lunghezza tratta autostradale km
🚗 Veicoli-km km (milioni)



Fonte: Aiscat, Arpae Emilia-Romagna, Bdn, Ispra, Istat, Regione Emilia-Romagna

I PROCESSI FISICI E CHIMICI CHE INFLUENZANO LA CONCENTRAZIONE DEGLI INQUINANTI

I FATTORI METEOROLOGICI

Le condizioni meteorologiche, a parità di emissioni, giocano un ruolo fondamentale sui livelli di concentrazione degli inquinanti presenti in atmosfera. I parametri che influiscono maggiormente, a più livelli, sulle concentrazioni misurate sono:

- la velocità del vento;
- l'altezza dello strato di rimescolamento (altezza fino alla quale gli inquinanti emessi a terra si rimescolano, definendo così il volume di diluizione degli inquinanti), che dipende anche dalla presenza di inversioni termiche (l'altezza dello strato di rimescolamento corrisponde alla prima inversione termica se presente);
- il passaggio di perturbazioni atmosferiche;
- la pioggia;
- l'umidità relativa;
- l'irraggiamento solare.

Questi parametri controllano il trasporto, la dispersione e la deposizione al suolo di gas e aerosol e, influenzando le trasformazioni chimiche, hanno effetti diretti e indiretti sulla formazione degli inquinanti. Le caratteristiche topografiche della Pianura Padana, influenzando fortemente le condizioni meteorologiche, portano al meteo-clima tipico della regione.

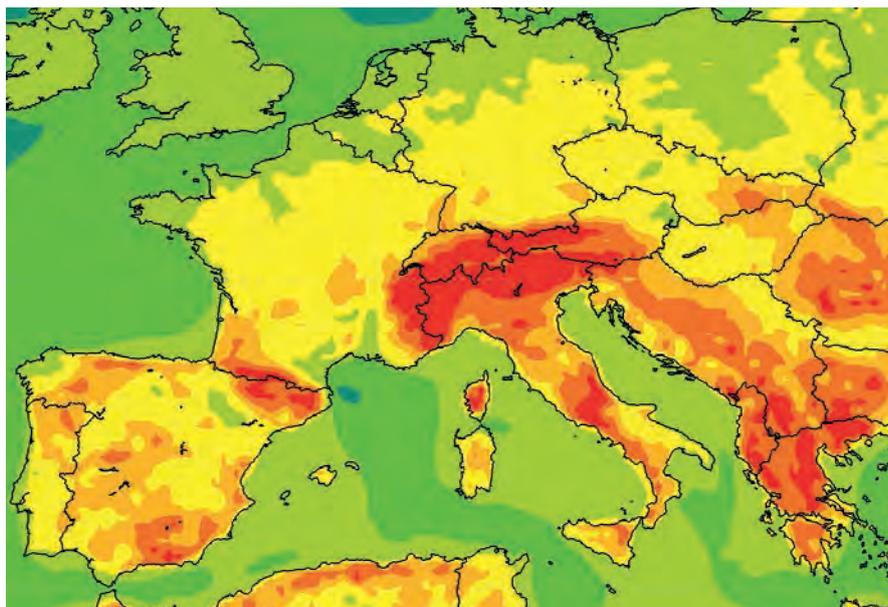
Nello specifico, si osserva come le Alpi limitino spesso le correnti d'aria fra l'Italia del Nord e il resto dell'Europa continentale. In queste condizioni l'inquinamento atmosferico ha come concausa la stagnazione dell'aria all'interno del bacino, il quale necessita di più giorni per riuscire a disperdere gli inquinanti che vi sono stati immessi.

I venti caratterizzano i fenomeni di trasporto. Gli episodi influenti ai fini della riduzione delle concentrazioni degli inquinanti sono caratterizzati da un vento medio-forte

MAPPA 3

Velocità media del vento a 10 m nel periodo 2010-2011. Analisi meteorologica European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) a scala continentale a 15 km di risoluzione

metri/secondo



e persistente per diverse ore. L'Emilia-Romagna e tutta la Pianura Padana sono caratterizzate da una scarsa ventosità. La mappa 3 riporta la velocità media del vento a 10 m di quota nel periodo 2010-2011, condotta utilizzando le analisi meteorologiche a scala globale prodotte dall'European Center for Medium Range Weather Forecast (ECMWF). Le analisi ECMWF mostrano come la Pianura Padana sia, tra le zone pianeggianti d'Europa, una di quelle meno ventose ($vv < 2,5$ m/sec).

In Emilia-Romagna la velocità media massima del vento alla superficie (mappa 3) raggiunge i 3-4 m/s solamente nella zona costiera, mentre nelle pianure interne della regione la velocità media del vento mostra valori compresi tra 2 e 2,5 m/s, con valori anche inferiori in corrispondenza delle province di Parma, Reggio Emilia e Modena. I venti sono particolarmente deboli nei mesi invernali, con velocità medie che risultano tra le più basse rispetto alla maggior parte del continente europeo, come indicato nella figura 1 dove si riporta l'analisi di dati della velocità media del vento dal suolo sino a una quota di 250 metri.

Le condizioni di rimescolamento verticale vengono descritte dall'altezza di rimescolamento, che risulta proporzionale alla turbolenza dell'atmosfera, generata

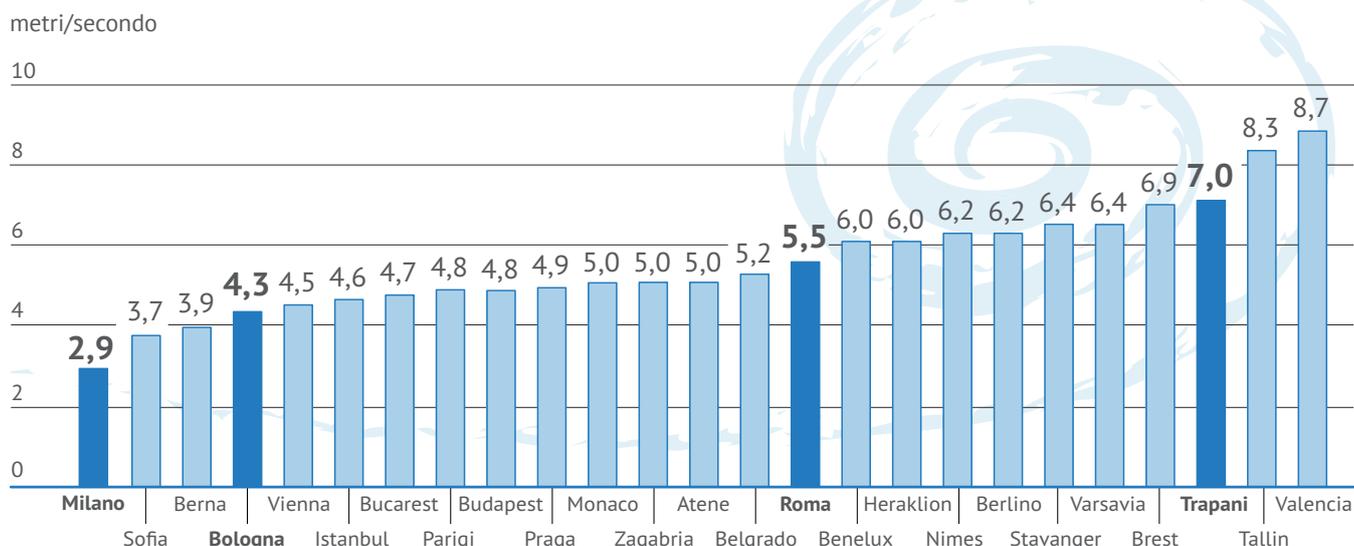
sia da fattori di natura meccanica (attrito esercitato dalla superficie sui venti) che termodinamici (riscaldamento diurno della superficie terrestre). Nella Pianura Padana, a causa della debolezza dei venti, il contributo più importante è dato dalla componente termodinamica. Questo spiega perché nella Pianura Padana le concentrazioni della maggior parte degli inquinanti mostrano uno spiccato ciclo stagionale, con valori invernali di molto superiori a quelli estivi: siccome la turbolenza termica dipende dall'irraggiamento solare, i valori invernali di polveri e NO_2 sono circa doppi rispetto a quelli estivi e pressoché tutti i superamenti dei limiti di legge si verificano in inverno.

La situazione è diversa per l'ozono e gli altri inquinanti secondari di origine fotochimica: la loro formazione è favorita dall'irraggiamento solare e dalle temperature elevate, per cui le concentrazioni risultano alte in estate e basse in inverno. Tuttavia, il buon rimescolamento dello strato più vicino al suolo dell'atmosfera nei mesi caldi fa sì che le loro concentrazioni siano pressoché omogenee sull'intero territorio, indipendentemente dalla distanza rispetto alle sorgenti emmissive (e quasi tutti i superamenti siano in estate).

Le condizioni critiche per l'inquinamento atmosferico si verificano quando l'altezza di rimescolamento è

FIGURA 1

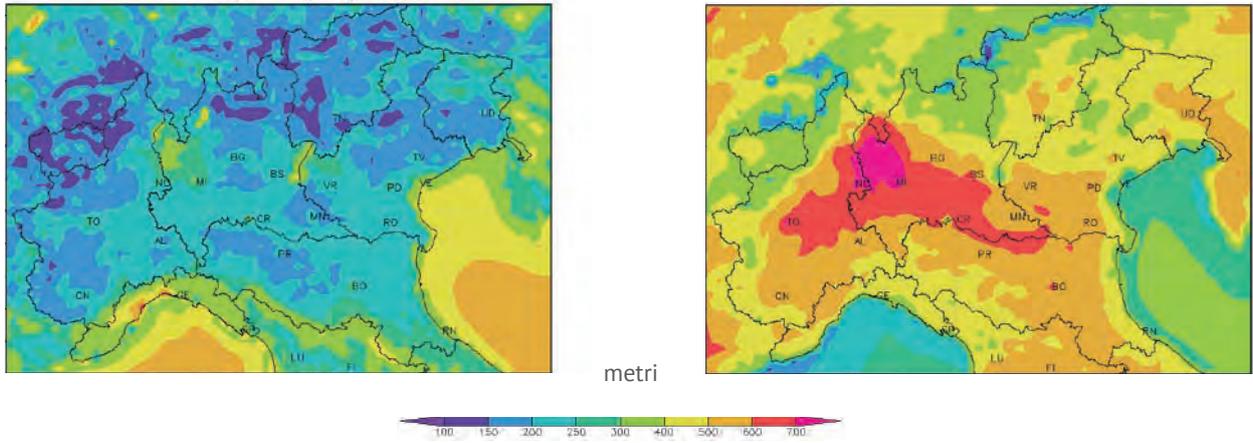
Velocità media del vento dal suolo sino a una quota di 250 m nel periodo invernale 2016-2017



Fonte: Elaborazione Arpa Emilia-Romagna su dati World Meteorological Organization (WMO)

MAPPA 4

Altezza di rimescolamento media (m) nella Pianura Padana nel periodo invernale (sinistra) ed estivo (destra), dal 2003 al 2007



bassa. Le analisi LAMA (Limited Area Meteorological Analysis), prodotte sfruttando il ciclo di assimilazione del modello meteorologico COSMO (Consortium for Small-scale Modeling), indicano che in Emilia-Romagna si riscontrano valori medi di altezza di rimescolamento piuttosto bassi durante il periodo invernale (mappa 4).

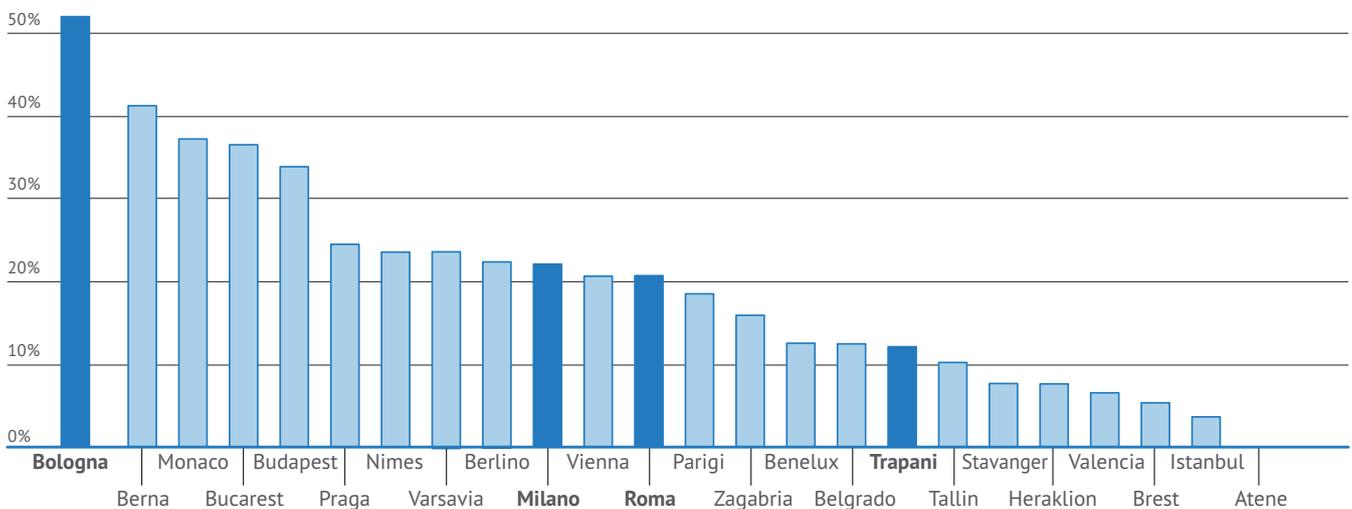
Nel periodo invernale sono frequenti condizioni di inversione termica al suolo, in particolare nelle ore notturne. Queste si formano tipicamente in condizioni anticicloniche, in presenza di un afflusso di aria relativamente calda in quota e di un forte raffreddamento radiativo dello strato atmosferico più vicino al suolo. L'aria calda, meno densa, tende a

scorrere - in questi casi - al di sopra della massa d'aria più fredda sottostante, trasformando la Val Padana in una sorta di recipiente chiuso, in cui gli inquinanti vengono schiacciati al suolo. Si crea così, nei livelli atmosferici più bassi, un unico strato di inquinamento diffuso e uniforme. In queste condizioni, che talvolta persistono per l'intera giornata, la dispersione degli inquinanti emessi a bassa quota è fortemente limitata e questo può determinare un marcato aumento delle concentrazioni, che spesso interessa tutti i principali centri urbani, ove le concentrazioni possono raggiungere valori molto elevati, anche in presenza di un buon irraggiamento solare.

In Emilia-Romagna, nel periodo invernale, oltre

FIGURA 2

Frequenze di occorrenza (percentuale giorni) di inversioni termiche maggiori di 4°C nel periodo invernale 2016-2017



Fonte: Elaborazione Arpa Emilia-Romagna su dati World Meteorological Organization (WMO)

il 50% delle inversioni termiche riscontrate ha una escursione termica verticale maggiore di 4°C. Tali condizioni si riscontrano, sempre nei mesi freddi, anche in condizioni di alta pressione: anche in questo caso il ricambio di aria al suolo è limitato, favorendo l'accumulo degli inquinanti emessi, che raggiungono concentrazioni elevate, e la formazione di ulteriore inquinamento secondario, che va a questo punto a interessare l'intero Bacino Padano.

Come conseguenza della continua variazione nello spazio e nel tempo del complesso dei fattori meteorologici, la concentrazione degli inquinanti varia a sua volta nello spazio e nel tempo. Queste variazioni si manifestano su tutte le scale spazio-temporali tipiche dell'atmosfera: dalla scala locale alla scala globale, dalle frazioni di secondo agli anni. La variabilità può essere maggiore per gli inquinanti primari, in prossimità delle sorgenti. Gli inquinanti parzialmente secondari, come biossido di azoto e particolato, o totalmente secondari, come l'ozono, tendono ad avere una distribuzione spazio-temporale più omogenea e sono presenti anche in stazioni di fondo collocate a distanza dalle fonti dirette. Per interpretare l'influenza delle condizioni meteorologiche possono essere utilizzati indicatori sintetici.

Le variazioni di concentrazione media di PM₁₀ nel periodo invernale e di O₃ nel periodo estivo possono essere rappresentate sinteticamente attraverso gli indici "giorni favorevoli all'accumulo di PM₁₀" e "giorni favorevoli alla formazione di ozono troposferico" (figure 3 e 4). L'indice "giorni favorevoli all'accumulo di PM₁₀" identifica i giorni in cui l'indebolirsi della turbolenza nei bassi strati dell'atmosfera determina

condizioni di stagnazione, e si basa sull'indice di ventilazione (definito come il prodotto fra altezza media dello strato rimescolato e intensità media del vento) e sui dati di precipitazione. I giorni favorevoli all'accumulo di PM₁₀ sono quei giorni in cui vi è assenza di precipitazione (precipitazione inferiore a 0,3 mm) e in cui l'indice di ventilazione è inferiore agli 800 m²/s. L'indice "giorni favorevoli alla formazione di ozono troposferico" individua i giorni estivi in cui si hanno condizioni di alte temperature, che favoriscono le trasformazioni fotochimiche che portano alla formazione di ozono a partire dai precursori ossidi di azoto e composti organici volatili. I giorni favorevoli alla formazione dell'O₃ sono quei giorni in cui la temperatura massima giornaliera è superiore ai 29 °C. I parametri meteorologici e le relative soglie usate per la formulazione degli indici sono stati selezionati applicando il metodo statistico degli alberi di classificazione, calibrato rispettivamente sui valori di PM₁₀ e di O₃ misurati in Emilia-Romagna.

L'andamento dei giorni favorevoli all'accumulo di PM₁₀ mostra una marcata variabilità interannuale. Il 2015 e il 2017 sono gli anni in cui le condizioni meteorologiche sono state particolarmente sfavorevoli alla qualità dell'aria; si sono verificati infatti lunghi periodi con condizioni di alta pressione, assenza di precipitazioni e scarsa ventilazione. Anche l'andamento dei giorni favorevoli alla formazione di ozono presenta una marcata variabilità annuale. Le estati più critiche, caratterizzate da temperature particolarmente elevate e precipitazioni molto scarse, sono quelle del 2012 e del 2017, anni in cui i livelli di ozono sono stati particolarmente elevati.

FIGURA 3

Andamento dei giorni favorevoli all'accumulo di PM₁₀
(autunno-inverno)
percentuale

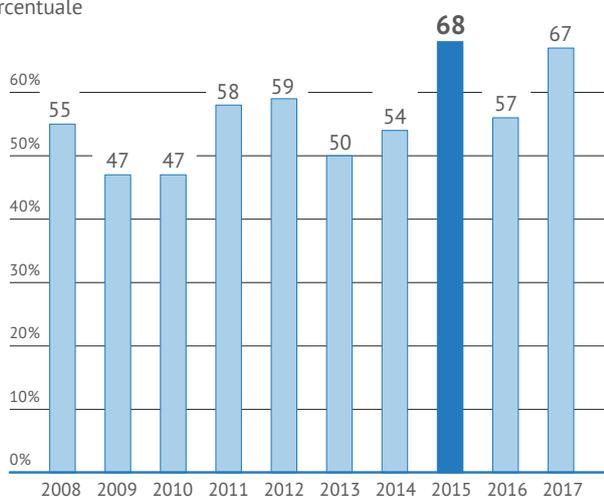
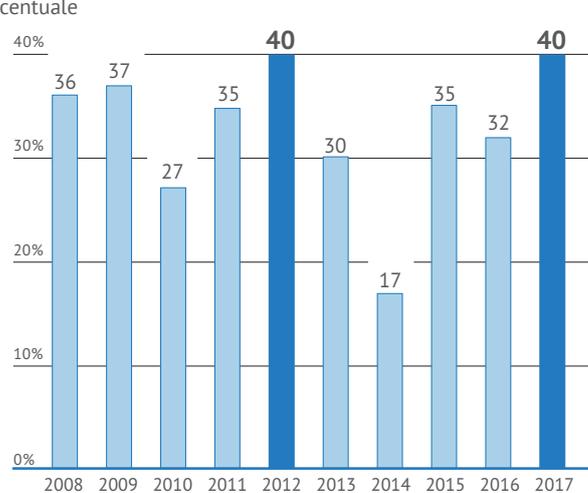


FIGURA 4

Andamento dei giorni favorevoli alla formazione di ozono
troposferico (primavera-estate)
percentuale



LE TRASFORMAZIONI CHIMICHE

Generalmente, quando si tratta il tema dell'inquinamento atmosferico, ci si riferisce a una contaminazione di origine primaria, costituita cioè da composti immessi direttamente nell'aria ambiente per lo più dall'uomo. Inoltre, è frequente il pensiero per cui tale inquinamento derivi principalmente dai processi produttivi o dalle combustioni di diversi combustibili, i cui prodotti sono, tra gli altri, i noti ossidi di carbonio, azoto e zolfo, le polveri e gli idrocarburi incombusti.

Meno conosciuti sono i processi che subiscono gli inquinanti primari a seguito della loro emissione in atmosfera. Oltre ai meccanismi di diffusione, trasporto e deposizione, tali sostanze contaminanti possono infatti essere soggette a trasformazioni chimico-fisiche, i cui prodotti sono gli inquinanti secondari: nuove specie chimiche che, a volte, possono risultare sia più tossiche, sia più ampiamente distribuite nello spazio rispetto ai composti originari. Gli inquinanti secondari vengono quindi definiti come quelle sostanze che si formano a seguito di trasformazioni chimico-fisiche di inquinanti primari, ovvero delle specie chimiche direttamente emesse in atmosfera dalle sorgenti. I processi di trasformazione possono avvenire sia in fase omogenea sia in fase eterogenea, ricordando che per fase si intende la parte omogenea di un sistema chimico-fisico delimitata da superfici fisiche ben definite.

Reazioni in fase omogenea

Le reazioni in fase omogenea coinvolgono sostanze reagenti che si trovano nello stesso stato fisico: solido, liquido o gas/vapore. Un classico esempio di reazioni omogenee nello stato gassoso è l'inquinamento definito "smog fotochimico". Durante tale processo - causato dall'assorbimento di energia proveniente dalla radiazione solare, soprattutto durante il periodo estivo, da parte di molecole, atomi e ioni - si generano le condizioni per la formazione di ozono (O_3), e altri composti ossidati, radicalici e/o instabili. Queste reazioni che portano alla produzione di ozono e altre sostanze possono avvenire in presenza o assenza di composti organici volatili (COV). In assenza di quest'ultimi, il monossido di azoto (NO) - formato principalmente per reazione dell'azoto contenuto nell'aria con l'ossigeno atmosferico attraverso processi che avvengono a elevata temperatura, in particolare durante i processi di combustione - reagisce con l'ossigeno in eccesso e si trasforma parzialmente in biossido di azoto (NO_2) con formazione di un miscuglio dei due ossidi (NO_x).

In condizioni di radiazione solare ($h\nu$), nella zona dell'ultravioletto, il biossido di azoto, riducendosi a monossido, produce ossigeno radicale ($O\cdot$) specie altamente reattiva, che reagendo con l'ossigeno

molecolare (O_2) favorisce la produzione di ozono. Il meccanismo chimico alla base di tali processi è riportato nelle formule 1-3 della figura 5, qui a fianco.

La quantità di ozono che si produce per unità di tempo è quindi proporzionale all'irraggiamento solare (massima produzione nelle ore pomeridiane delle giornate estive) e alla quantità di biossido di azoto presente. L'ozono può essere poi nuovamente distrutto in presenza di monossido di azoto e generare ossigeno molecolare, provocando la formazione di biossido di azoto e ripristinando la situazione di partenza come mostrato nella figura 5. La concentrazione di ozono nell'atmosfera sarà quindi il risultato della competizione fra queste tre reazioni.

Come accennato precedentemente, la formazione di ozono può avvenire anche in presenza di COV - quali ad esempio i BTEX (benzene, toluene, etilbenzene e xilene), tra i più noti COV di origine antropogenica - una classe di composti le cui sorgenti sono diverse: solventi utilizzati in alcune attività produttive, prodotti petroliferi, composti generati dalla combustione di combustibili fossili ecc. Numerose sono le reazioni in cui i COV sono coinvolti, spesso molto complesse. In figura 5 ne viene riportato un esempio: si noti come da un composto organico contenente un gruppo metilico (RCH_3) si arrivi alla formazione di ozono attraverso la produzione di radicali organici (4) più o meno ossidati (5, 6) e le reazioni 1 e 2 già viste precedentemente.

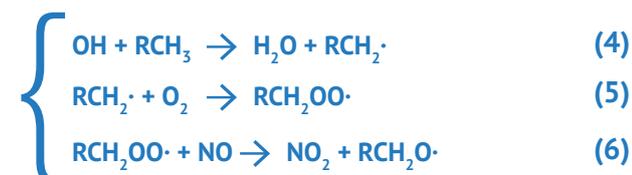
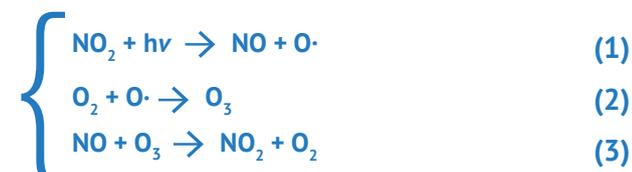
Reazioni in fase eterogenea

Fra i più interessanti esempi di reazioni eterogenee, che coinvolgono cioè reagenti e prodotti in fasi diverse, vi sono quelle che portano alla formazione di particolato inorganico secondario, l'origine del quale è spesso legata alla neutralizzazione di gas acidi presenti in atmosfera - come l'acido solforico (H_2SO_4), l'acido nitrico (HNO_3) e l'acido cloridrico (HCl). Una delle più note reazioni in cui avviene una trasformazione di fase riguarda l'ossidazione del biossido di zolfo (SO_2) gassoso ad acido solforico e la successiva neutralizzazione da parte dell'ammoniaca (NH_3), con formazione di particelle di solfato di ammonio [$(NH_4)_2SO_4$ o NH_4HSO_4]. Tale meccanismo può avvenire, ad esempio, quando il biossido di zolfo viene a trovarsi in un'atmosfera ricca di ammoniaca. Quest'ultima può anche reagire con l'acido nitrico, derivante dagli ossidi di azoto, per formare nitrato d'ammonio, anche in questo caso sviluppando reazioni che producono molecole in fasi diverse. In figura 5 si riportano esempi di alcune reazioni che, in definite condizioni di temperatura e umidità atmosferiche, possono portare alla formazione di sali in fasi diverse (formule dalla 7 alla 12). Si noti al pedice di ogni composto il diverso stato: (g) = gas/vapore; (l) = liquido; (s) = solido.

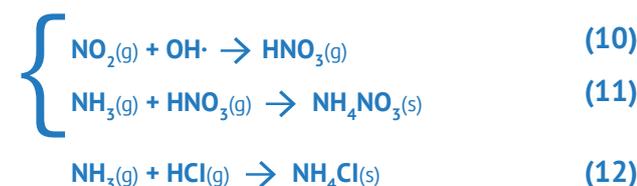
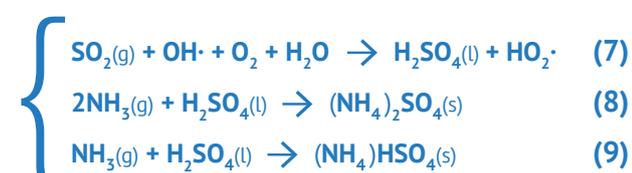
FIGURA 5

Esempi di reazioni in fase omogenea ed eterogenea

OMOGENEA (1/6)



ETEROGENEA (7/12)



Legenda

s=solido l=liquido g=gas/vapore

Il particolato secondario in Emilia-Romagna: i risultati del progetto Supersito

L'inquinamento secondario può quindi essere rilevante, soprattutto nelle aree maggiormente confinate come è il Bacino Padano che funge da grande "camera di reazione". Il Progetto Supersito (www.supersito-er.it) della Regione Emilia-Romagna e Arpa - effettuato con il coinvolgimento di numerosi istituti di ricerca nazionali e internazionali, come evidenziato nell'elenco riportato a pagina 37 - si è prefissato di caratterizzare e di quantificare l'inquinamento, sia primario, sia secondario, dovuto a PM_{2,5} e PM₁ (materiale particolato con diametro aerodinamico rispettivamente minore di 2,5 e 1 micrometri) in 3 aree urbane (Bologna, Parma e Rimini), una rurale (San Pietro Capofiume, Molinella, Bo) e una remota (Monte Cimone) della regione (si veda la mappa di seguito riportata). Durante gli anni oggetto di studio sono state svolte misurazioni con diversa risoluzione temporale allo scopo di analizzare una molteplicità di composti chimici

nel PM_{2,5}, indicatori di diverse fonti di inquinamento. Sebbene l'invecchiamento in atmosfera e le trasformazioni subite abbiano reso molto difficile l'attribuzione quantitativa dei composti secondari alle sorgenti primarie, è stato comunque possibile descriverne la composizione chimica, la stagionalità e fornire qualche indicazione sulla loro possibile origine. Si sono osservate sostanzialmente due differenti tipologie di particolato di origine secondaria: uno composto soprattutto da nitrato d'ammonio e uno da solfato di ammonio e sostanze organiche. Di seguito viene riportata una sintesi dei risultati ottenuti, che naturalmente riguardano solo il secondario in fase solida, visto che le analisi del progetto Supersito si sono concentrate esclusivamente sul particolato.

Il particolato secondario composto principalmente da nitrato d'ammonio

Il particolato secondario, composto per lo più da nitrato d'ammonio, costituisce tra il 25% e il 30% del PM_{2,5}, in tutti i siti di misura, sulla media dell'anno. I gas precursori del nitrato d'ammonio sono gli ossidi di azoto e l'ammoniaca. I primi vengono emessi soprattutto dalle sorgenti di combustione (come traffico, riscaldamento, industria), il secondo quasi esclusivamente dalle attività agricole e zootecniche. Questa tipologia di particolato secondario presenta un andamento fortemente stagionale, con contributi estivi nulli o comunque inferiori al 5% e pari a circa il 35% durante la stagione fredda, in tutti i siti indagati. La sua ampia variabilità è imputabile alle condizioni meteorologiche, in quanto le alte temperature favoriscono la stabilità in fase gas del nitrato d'ammonio, che è la specie che maggiormente lo caratterizza. D'estate, quindi, l'inquinamento secondario derivante dai precursori, che d'inverno provocano la formazione di nitrato d'ammonio in fase solida, rimane prevalentemente in fase gas. Le misure svolte con risoluzione temporale inferiore all'ora sono state molto utili per approfondire le dinamiche di formazione del nitrato d'ammonio. Ciò che si osserva è che, generalmente, l'arricchimento di questo composto nel particolato risulta massimo nelle ore della giornata in cui la temperatura è più bassa e il contenuto di umidità delle particelle è maggiore, quindi solitamente nelle ore notturne o del primo mattino. Tuttavia, in alcune campagne effettuate durante la stagione fredda si osserva, nel sito urbano, un massimo nelle ore diurne, già evidenziato in altri ambienti continentali nella stagione invernale, in condizioni favorevoli all'accumulo di inquinanti. Il fenomeno si può spiegare formulando l'ipotesi secondo la quale la maggiore formazione diurna è dovuta a cause fotochimiche, mentre le ore notturne risultano caratterizzate da possibili limitazioni cinetiche.

Il comportamento nel sito rurale è invece spesso differente, per l'effetto pronunciato di "scavenging" esercitato dalla nebbia, che consiste in una rimozione del particolato a opera delle goccioline d'acqua provocandone così uno scioglimento della componente idrosolubile. Di fatto le concentrazioni non solo di nitrato d'ammonio, ma anche di solfato, risultano stabilmente basse tra le 19 e le 9 del mattino per via dello scavenging, mentre un massimo si osserva nelle ore del giorno in cui non c'è nebbia. Durante le campagne primaverili ed estive, invece, il ciclo giornaliero del nitrato d'ammonio non presenta differenze tra il sito rurale e il sito urbano: quando presente, mostra concentrazioni estremamente basse nelle ore più calde della giornata, tra le 12 e le 20. La rimozione di nitrato dalla fase solida in queste ore è una conseguenza della decomposizione termica in acido nitrico e ammoniaca. I massimi di concentrazione di nitrato di ammonio si osservano in corrispondenza delle ore più fresche della giornata, a causa dei fenomeni di condensazione, e in concomitanza delle massime emissioni da traffico (quindi di NO_x) e della ripresa della produzione fotochimica di nitrato nelle ore che seguono l'alba.

Il particolato secondario composto principalmente da solfato d'ammonio e specie organiche

Elaborazioni statistiche multivariate hanno messo in evidenza come il particolato composto per lo più da solfato d'ammonio e specie organiche presenti

contributi medi annui al $\text{PM}_{2,5}$ variabili tra il 15% e il 30% nei diversi siti, con valori assoluti lievemente superiori durante la stagione calda (probabilmente a causa delle condizioni meteorologiche estive che ne favoriscono la formazione, dai precursori gassosi). Tali percentuali tendono a diventare molto importanti, comprese tra il 35% a Rimini e il 60% a San Pietro Capofiume, nel periodo estivo quando le concentrazioni di particolato presentano valori molto bassi. Secondo quanto risulta dall'analisi dei cicli giornalieri effettuata sul PM_{10} , in generale, il solfato tende ad avere profili delle concentrazioni abbastanza piatti perché è una componente del particolato di fondo ed è maggiormente rimescolato nella bassa troposfera. È possibile che d'inverno, in condizioni di massima stabilità atmosferica e scarsi moti di trasporti di masse d'aria, dovuti a moti di avvezione e convezione, il solfato tenda a mostrare delle eterogeneità spaziali e presenti quindi un decremento delle concentrazioni come conseguenza della crescita (seppure modesta) dell'altezza di rimescolamento nelle ore centrali della giornata. Per quel che riguarda le stagioni autunnali e invernali, una grande importanza assume la combustione di legna e derivati, che, oltre al contributo primario prevalente rispetto alle altre sorgenti di inquinamento, mostra un impatto anche sulle componenti secondarie/processate che rappresentano, in termini di massa, frazioni di specie organiche consistenti nella stagione invernale. Tra le altre sorgenti di PM organico secondario

MAPPA 5

Mappa dei siti di indagine del progetto Supersito: Bologna, Rimini, Parma, San Pietro Capofiume (BO) e Monte Cimone (BO)

- Sito urbano
- Sito rurale
- Sito remoto



figurano i prodotti di alcune attività zootecniche, confermando l'importanza di alcune attività agricole e in particolare zootecniche. Per quel che riguarda invece le misure effettuate durante la stagione calda, la natura antropica o biogenica (caratteristica dei processi biologici vitali, come microrganismi, piante e animali) del particolato secondario organico rimane abbastanza indefinita, nonostante le analisi con cui si è tentato di classificarne le diverse tipologie. I risultati mostrano come la composizione del PM nel periodo estivo sia in gran parte dominata da processi chimici e di trasporto che avvengono a grande scala, con un minore apporto di sorgenti di particolato organico locale, probabilmente antropogenico. Il particolato secondario si differenzia quindi per lo stato di ossidazione dei suoi composti, che varia in funzione dell'ampiezza del trasporto subito in atmosfera. Risulta inoltre chiaro che, durante la stagione estiva, le sorgenti biogeniche di particolato organico secondario sono responsabili di frazioni significative in termini di massa, sebbene non determinabili quantitativamente.

Enti coinvolti nel progetto Supersito

Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima
Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR-ISAC)

Dipartimento di Patologia Sperimentale
Università degli Studi di Bologna

**Dipartimento di Scienze
Chimiche e Farmaceutiche**
Università degli Studi di Ferrara

University of Eastern Finland

Finnish Meteorological Institute

Dipartimento di Epidemiologia
ASL Roma E

**Dipartimento
di Scienze Statistiche**
Università degli Studi
di Bologna

**Università degli
Studi dell'Insubria**

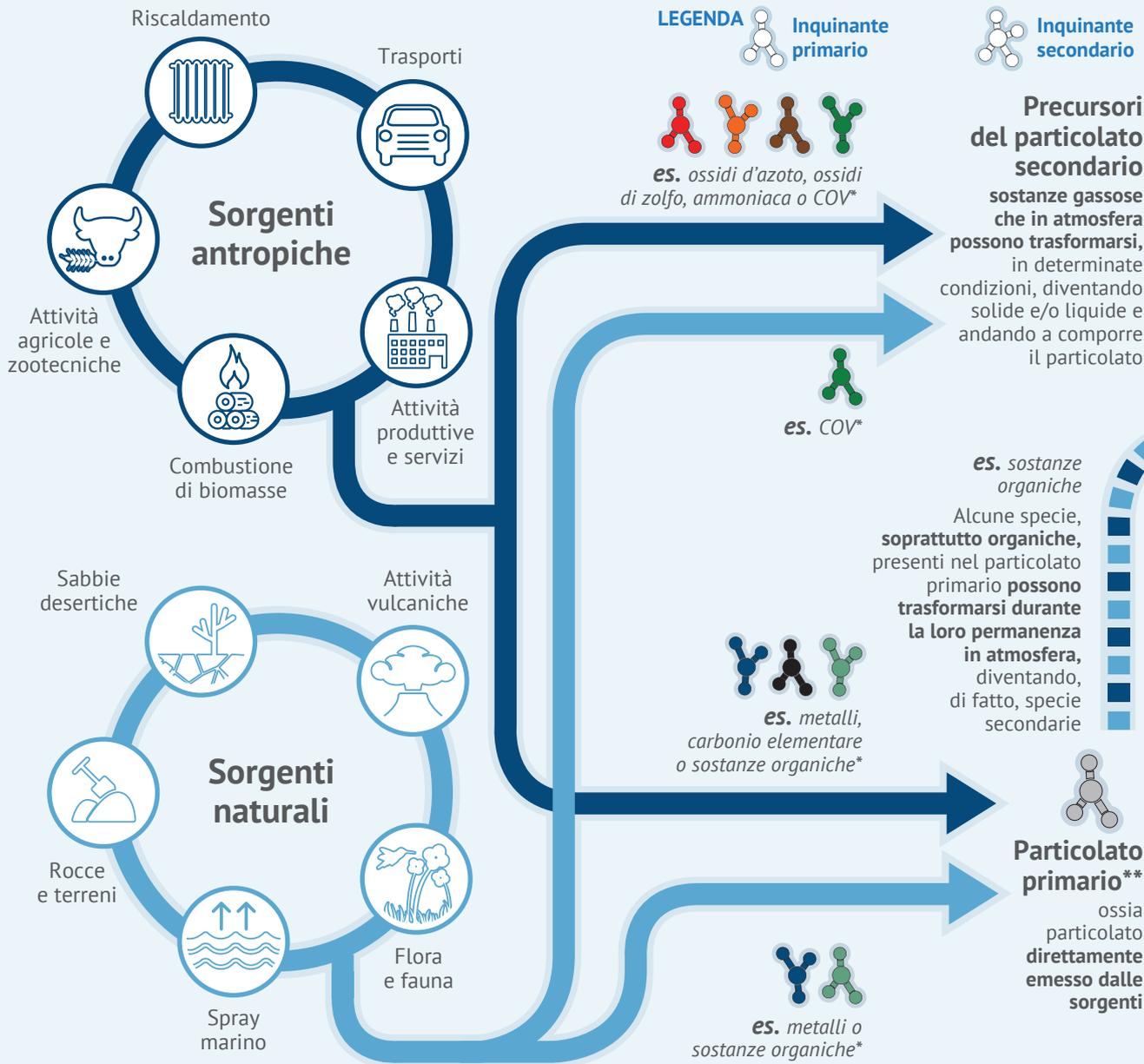
Regione Emilia-Romagna

Arpae Emilia-Romagna



COSA RESPIRIAMO?

IL PERCORSO DEL PARTICOLATO, DALLA FORMAZIONE ALL'INALAZIONE



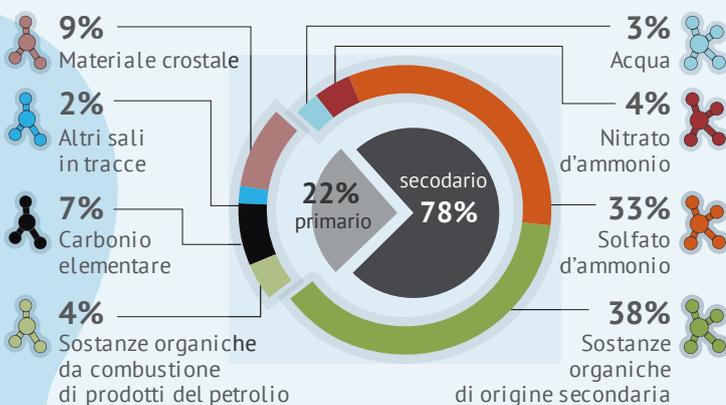
* Le sostanze organiche e i COV (Composti Organici Volatili) prodotti dalle sorgenti antropiche possono essere notevolmente diversi da quelli prodotti dalle sorgenti naturali ** Particolato primario composto prevalentemente da Metalli, IPA, tra cui Benzo(a)pirene, Sostanze organiche, Carbonio elementare, Sali, Materiale cristallino, Acqua *** Vedi testo pag. 34

Esempi di composizione del particolato (PM_{2,5}) misurato nell'area urbana di Bologna:

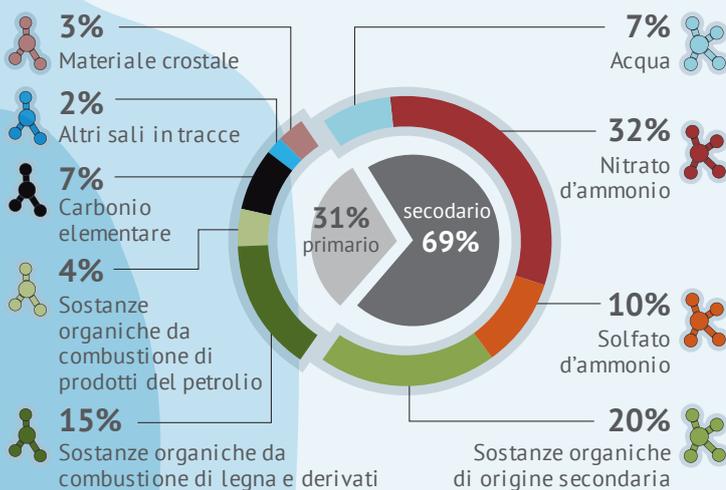

es. nitrato d'ammonio
o solfato d'ammonio

Particolato secondario***
ossia particolato
che si è formato
direttamente
in atmosfera

 **ESTATE 2012**
(PM_{2,5} medio = 14 µg/m³)



 **INVERNO 2012**
(PM_{2,5} medio = 33 µg/m³)



LA ZONIZZAZIONE, IL MONITORAGGIO E LA VALUTAZIONE

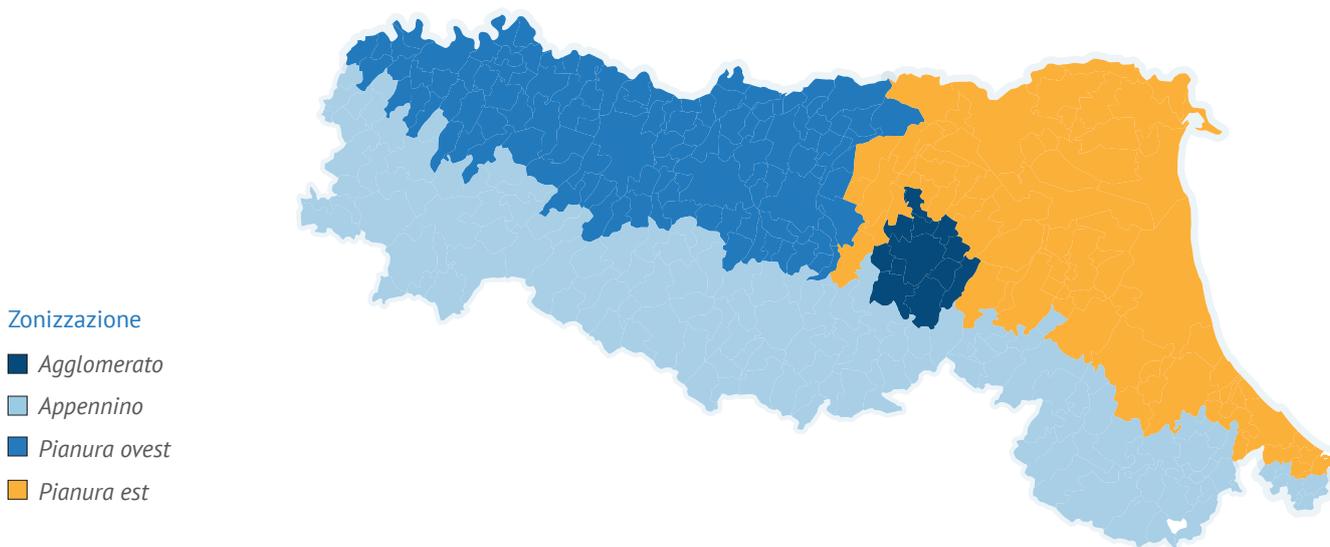
LA ZONIZZAZIONE DEL TERRITORIO REGIONALE

La zonizzazione definisce le unità territoriali sulle quali viene eseguita la valutazione della qualità dell'aria. La zonizzazione del territorio viene effettuata secondo quanto stabilito dal DLgs 155/2010 all'articolo 3, sulla base dei criteri indicati in Appendice I, e prevede in primis l'individuazione degli agglomerati e successivamente delle zone. L'individuazione di agglomerati e zone presuppone un'analisi degli elementi del contesto territoriale e socio-economico (urbanizzazione del territorio, densità abitativa, caratteristiche orografiche e meteo-climatiche del territorio), unitamente a quella del carico emissivo.

Sulla base di tale analisi vengono individuate aree in cui uno o più di tali elementi, che sono predominanti nel determinare i livelli degli inquinanti, sono omogenei. Le unità territoriali così definite sono poi periodicamente classificate ai fini della valutazione della qualità dell'aria, secondo quanto dettato dall'articolo 4 e Allegato II del DLgs 155/2010. In attuazione del DLgs 155/2010 la Regione Emilia-Romagna ha approvato, con DGR n. 2001 del 27 dicembre 2011, la nuova zonizzazione del territorio, classificando le diverse aree secondo i livelli di qualità dell'aria. Tale zonizzazione regionale individua un agglomerato, relativo a Bologna e ai comuni limitrofi, e tre macroaree di qualità dell'aria (Appennino, Pianura est, Pianura ovest).

MAPPA 6

Zonizzazione della regione Emilia-Romagna



IL CONTROLLO DELLA QUALITÀ DEI DATI DELLA RETE DI MONITORAGGIO

La Rete Regionale di monitoraggio della Qualità dell'Aria (RRQA) è certificata ai sensi della norma UNI EN ISO 9001 a partire dal 2005 e le procedure di gestione consentono di garantire dati affidabili, fruibili e costantemente in linea con quelle che sono le richieste dei clienti istituzionali e le normative in vigore. La manutenzione della strumentazione della rete di monitoraggio è affidata a una ditta esterna, che opera con le modalità individuate dall'Agenzia; uno degli strumenti che Arpa ha a disposizione per effettuare ulteriori controlli su quanto affidato in *outsourcing* è rappresentato da un Centro di Taratura ubicato a Parma e dotato di strumentazione ausiliaria da impiegare per le verifiche strumentali. Il Centro di Taratura ha partecipato, nel corso degli ultimi anni, agli interconfronti ufficiali organizzati da ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale), finalizzati alla verifica delle modalità di misura degli ossidi di azoto, del benzene e del particolato, sia PM_{10} che $PM_{2,5}$, prendendo, inoltre, parte a incontri formativi presso altre Agenzie ambientali, che si sono rese disponibili a confronti interni tra gli strumenti di misura. Il confronto, che si basa su misure delle concentrazioni di un determinato inquinante, effettuate in parallelo dalle Agenzie partecipanti e dal Laboratorio Nazionale di Riferimento,

ha lo scopo di verificare l'affidabilità delle misure e assicurarne la qualità, confrontando le prestazioni fornite dai partecipanti, nell'ottica di conseguire un miglioramento globale delle prestazioni e una loro omogeneità sul territorio nazionale.

Sulla base del lavoro fatto e dei risultati conseguiti al Centro di Taratura, è stato organizzato un interconfronto regionale interno per la verifica dei campionatori gravimetrici di PM_{10} in dotazione alle varie Sezioni provinciali. Le misure, effettuate contemporaneamente, hanno coinvolto, oltre allo strumento di riferimento che ha partecipato all'interconfronto nazionale, 11 strumenti, di cui due appartenenti alle ditte incaricate della manutenzione.

Dall'analisi dei dati è emersa una buona comparabilità tra gli strumenti e un'ottima correlazione, qualora i filtri vengano pesati con la bilancia del Centro di Taratura, conforme alle norme di riferimento; nel caso in cui la comparazione dei dati venga fatta tenendo conto delle pesate effettuate presso le Sezioni provinciali, i risultati indicano, in alcuni casi, una minor correlazione tra le misure. Sulla base dei risultati ottenuti dagli interconfronti, nel corso del 2017 sono stati effettuati controlli su alcuni analizzatori automatici di polveri della rete regionale di qualità dell'aria, ricorrendo a misurazioni in parallelo con i campionatori gravimetrici. Tutti i filtri utilizzati per la misura gravimetrica sono stati pesati dal Centro di Taratura di Parma. I risultati ottenuti confermano il rispetto di quanto richiesto dalla normativa vigente, che prevede che l'incertezza associata alla misura del PM_{10} sia inferiore al 25%. Controlli analoghi proseguiranno anche nel corso dei prossimi anni. Nel corso del 2017 sono stati, inoltre, effettuati controlli sulla strumentazione automatica per la misura del biossido di azoto presso tutte le stazioni della RRQA a esclusione di quelle di fondo remoto, mediante l'utilizzo di bombole di gas standard. A partire dal 2018 vengono applicate modalità operative per le tarature diverse da quanto fatto precedentemente e in accordo con la nuova normativa di settore emanata nel corso del 2017 e recepita con il nuovo contratto di manutenzione; a fronte della completa entrata a regime delle operazioni, vengono effettuati ulteriori controlli sulla strumentazione automatica installata presso le stazioni della rete regionale di qualità dell'aria.



LA RETE DI MONITORAGGIO

La rete regionale è composta da 47 stazioni di monitoraggio, con un totale di 171 analizzatori automatici per gli inquinanti principali: particolato (PM_{10} , $PM_{2,5}$), ossidi d'azoto (NO_x), monossido di carbonio (CO), benzene (C_6H_6), biossido di zolfo (SO_2), ozono (O_3). La rete è completata da altri sensori di microinquinanti, nonché da 10 laboratori mobili e numerose unità mobili per la realizzazione di campagne di valutazione. In alcune stazioni, inoltre, vengono eseguite analisi chimiche di laboratorio per la determinazione delle concentrazioni di metalli e benzo(a)pirene (BaP). La rete di monitoraggio è certificata secondo la norma UNI EN ISO 9001:2008 ed è sottoposta a un regolare programma di controllo di qualità. Delle 47 stazioni appartenenti alla rete regionale, 4 sono ubicate nell'Agglomerato di Bologna, 18 sono situate nella zona Pianura Ovest, 20 nella zona Pianura Est, 5 nella zona Appennino. Le stazioni di traffico sono 12 e sono posizionate nei capoluoghi in prossimità di strade ad alto traffico e hanno lo scopo di rilevare gli inquinanti in prossimità di *hotspot* (aree dove le concentrazioni degli inquinanti sono più alte rispetto a quelle di fondo); in tutte vengono rilevati PM_{10} e ossidi di azoto, mentre in 11 di queste vengono monitorati in aggiunta anche il monossido di carbonio e il benzene. Le stazioni di fondo urbano e suburbano sono in totale 21 e sono posizionate in aree urbane, all'interno di

parchi o aree verdi, e hanno lo scopo di rilevare i livelli di inquinamento di fondo presenti in ambiente urbano. In queste stazioni, oltre al PM_{10} e agli ossidi di azoto, si rilevano anche ozono e $PM_{2,5}$. Le restanti stazioni, di fondo rurale, sono 14 e sono invece posizionate al di fuori delle città, al fine di definire i livelli di inquinamento di fondo presenti in regione, lontano da fonti dirette di emissione; tali stazioni servono anche per integrare e tarare gli *output* prodotti dai modelli di previsione di qualità dell'aria, al fine di mappare la concentrazione degli inquinanti principali (PM_{10} , $PM_{2,5}$, biossido d'azoto e ozono) su tutto il territorio regionale. La strumentazione impiegata sulla rete di monitoraggio è relativamente nuova, in quanto è stata quasi tutta sostituita nell'ultimo decennio. Questo ha consentito di raggiungere nel 2017 un rendimento medio del 97%.

L'assicurazione di qualità del dato è effettuata secondo i controlli QA/QC (Assicurazione Qualità/Controllo Qualità) previsti dalle Linee guida (L.G. Ispra - 108/2014), dal Decreto ministeriale (DM 30 marzo 2017) e dalle Norme tecniche relative al monitoraggio della qualità dell'aria, nonché attraverso procedure interne di controllo registrate secondo la ISO 9001.

Nella tabella qui a fianco viene riportata, in dettaglio, la dotazione strumentale delle stazioni della rete regionale al 31 dicembre 2017.



TABELLA 1

La dotazione strumentale delle stazioni della rete regionale (31 dicembre 2017)

■ Agglomerato ■ Appennino ■ Pianura Ovest ■ Pianura Est ○ Stazione

| Comune | Nome stazione | Tipo stazione | SO ₂ | NO ₂ | NO _x | PM ₁₀ | PM _{2,5} | O ₃ sal* | O ₃ veg** | C ₆ H ₆ | CO | Pb | As | Ni | Cd | BaP |
|----------------------|---------------------|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|-------------------|---------------------|----------------------|-------------------------------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Bologna | Via Chiarini | FS | | ● | | ● | ● | | | | | | | | | |
| Bologna | Giardini Margherita | FU | | ● | | ● | ● | ● | | | | ● | ● | ● | ● | ● |
| Bologna | Porta San Felice | TU | | ● | | ● | ● | | | ● | ● | | | | | |
| S. Lazzaro di Savena | San Lazzaro | TU | | ● | | ● | | | | | | | | | | |
| Corte Brugnatella | Corte Brugnatella | FR | | ● | ● | ● | | ● | ● | | | | | | | |
| Villa Minozzo | Febbio | FR | | ● | ● | ● | | ● | ● | | | | | | | |
| Porretta Terme | Castelluccio | FR | | ● | ● | ● | ● | ● | ● | | | | | | | |
| Sogliano | Savignano di Rigo | FR | | ● | ● | ● | | ● | ● | | | | | | | |
| San Leo | San Leo | FR | | ● | ● | ● | | ● | ● | | | | | | | |
| Piacenza | Giordani - Farnese | TU | | ● | | ● | | | | ● | ● | | | | | |
| Piacenza | Parco Montecucco | FU | | ● | | ● | ● | ● | | | | | | | | |
| Lugagnano Val d'Arda | Lugagnano | FS | | ● | | ● | | ● | | | | | | | | |
| Besenzone | Besenzone | FR | | ● | ● | | ● | ● | ● | | | | | | | |
| Parma | Montebello | TU | | ● | | ● | | | | ● | ● | | | | | |
| Parma | Cittadella | FU | | ● | | ● | ● | ● | | | | ● | ● | ● | ● | ● |
| Colorno | Saragat | FS | | ● | | ● | | ● | | | | | | | | |
| Langhirano | Badia | FR | | ● | ● | ● | ● | ● | ● | | | | | | | |
| Reggio Emilia | S. Lazzaro | FU | | ● | | ● | ● | ● | | | | | | | | |
| Reggio Emilia | Timavo | TU | | ● | | ● | | | | ● | ● | | | | | |
| Castellarano | Castellarano | FS | | ● | | ● | ● | ● | | | | | | | | |
| Guastalla | San Rocco | FR | | ● | ● | ● | ● | ● | ● | | | | | | | |
| Modena | Giardini | TU | | ● | | ● | | | | ● | ● | | | | | |
| Modena | Parco Ferrari | FU | | ● | | ● | ● | ● | | | | ● | ● | ● | ● | ● |
| Carpi | Remesina | FS | | ● | | ● | | ● | | | | | | | | |
| Fiorano Modenese | Circ. San Francesco | TU | | ● | | ● | | | | ● | ● | | | | | |
| Sassuolo | Parco Edilcarani | FU | | ● | | ● | ● | ● | | | | | | | | |
| Mirandola | Gavello | FR | | ● | ● | ● | ● | ● | ● | | | | | | | |
| Imola | De Amicis | TU | | ● | | ● | | | | ● | ● | | | | | |
| Molinella | S. Pietro Capofume | FR | | ● | ● | ● | ● | ● | ● | | | | | | | |
| Ferrara | Isonzo | TU | | ● | | ● | | | | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Ferrara | Villa Fulvia | FU | | ● | | ● | ● | ● | | | | | | | | |
| Cento | Cento | FS | | ● | | ● | | ● | | | | | | | | |
| Jolanda di Savoia | Gherardi | FR | | ● | ● | ● | ● | ● | ● | | | | | | | |
| Ostellato | Ostellato | FR | | ● | ● | | ● | ● | ● | | | | | | | |
| Ravenna | Caorle | FU | ● | ● | | ● | ● | ● | | | | | | | | |
| Ravenna | Zalamella | TU | | ● | | ● | | | | ● | ● | | | | | |
| Faenza | Parco Bertozzi | FU | | ● | | ● | ● | ● | | | | | | | | |
| Cervia | Delta Cervia | FS | | ● | | ● | | ● | | | | | | | | |
| Alfonsine | Ballirana | FR | | ● | ● | | ● | ● | ● | | | | | | | |
| Forlì | Parco Resistenza | FU | | ● | | ● | ● | ● | | | | | | | | |
| Forlì | Roma | TU | | ● | | ● | | | | ● | ● | | | | | |
| Cesena | Franchini Angeloni | FU | | ● | | ● | | | | | | | | | | |
| Savignano Rubicone | Savignano | FS | | ● | | ● | ● | ● | | | | | | | | |
| Rimini | Flaminia | TU | | ● | | ● | ● | ● | | ● | ● | | | | | |
| Rimini | Marecchia | FU | | ● | | ● | ● | ● | | | | ● | ● | ● | ● | ● |
| Verrucchio | Verucchio | FS | | ● | | ● | | ● | | | | | | | | |
| San Clemente | San Clemente | FR | | ● | ● | ● | ● | ● | ● | | | | | | | |
| TOTALE | | | 1 | 47 | 14 | 43 | 24 | 34 | 14 | 11 | 11 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |

Legenda: TU = Stazione di Traffico Urbano FU = Stazione di Fondo Urbano
FS = Stazione di Fondo Suburbano FR = Stazione di Fondo Rurale

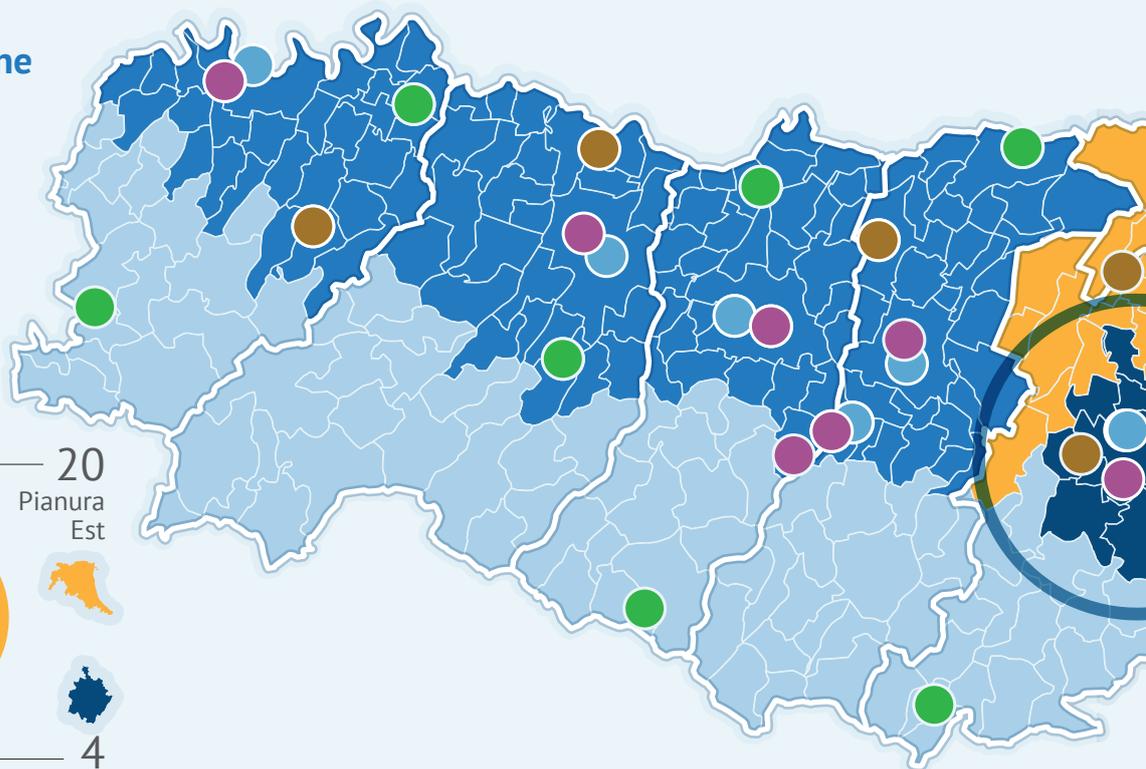
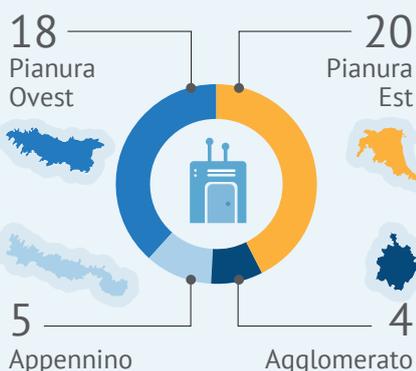
*salute
**vegetazione

LA RETE DI MONITORAGGIO

Classificazione del territorio in zone e agglomerati

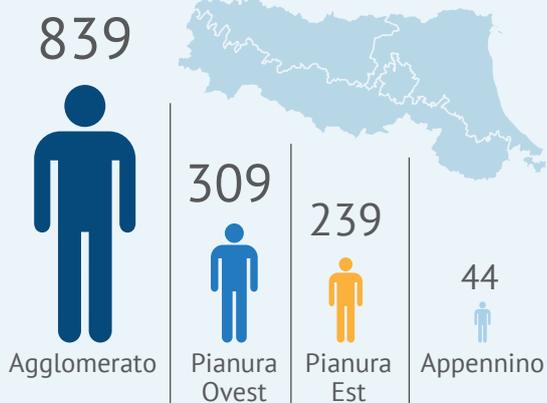
- Agglomerato*
- Appennino*
- Pianura Ovest*
- Pianura Est*

Stazioni sul territorio



Densità di popolazione

(popolazione/superficie)



Come misuriamo la qualità dell'aria?



Stazioni di misura

47



Laboratori mobili

10

Analizzatori automatici



171

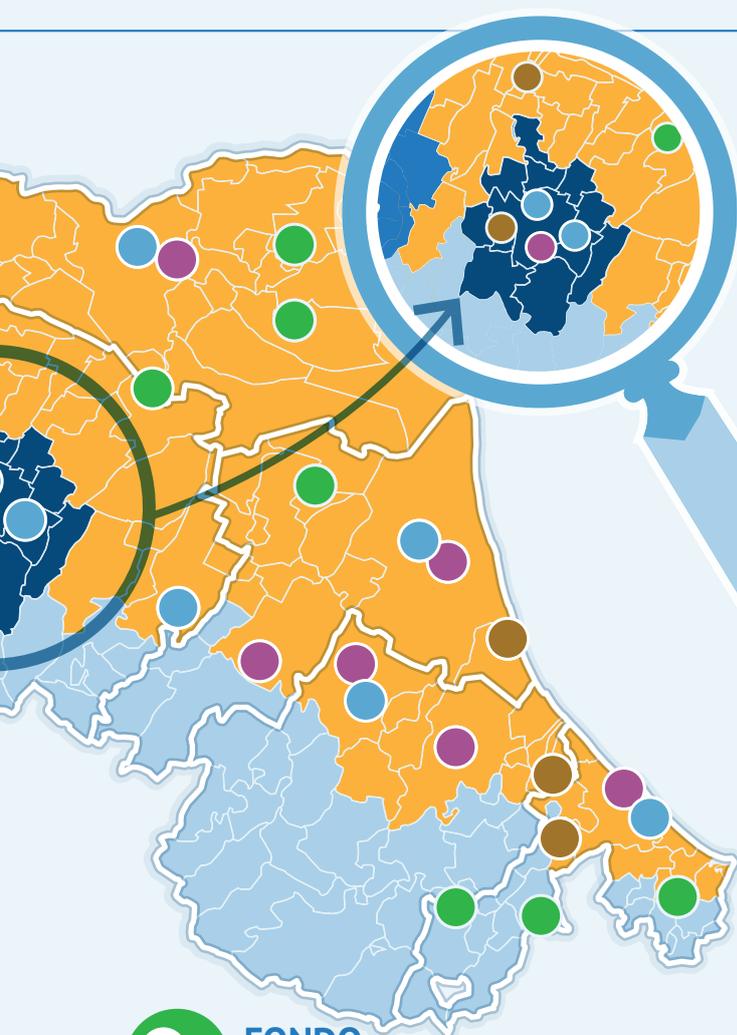
misurano:

PM_{10} $PM_{2,5}$ O_3
 NO_x SO_2 CO C_6H_6
e altri inquinanti

Analisi chimiche



determinano le concentrazioni di: metalli pesanti, benzo(a)pirene



Tipologie di stazione

- *Traffico* ● *Fondo urbano*
- *Fondo suburbano* ● *Fondo rurale*

TRAFFICO

12
stazioni

Posizione → **Scopo**
Nelle città
in prossimità
di **strade ad alto**
traffico *Rilevare*
gli inquinanti
in prossimità
di hotspots

FONDO URBANO

12
stazioni

Posizione → **Scopo**
Nelle città
all'interno di **parchi**
urbani o aree verdi *Rilevare i livelli*
di inquinamento di
fondo presenti in città

FONDO SUBURBANO

9
stazioni

Posizione → **Scopo**
Fuori della città,
in **aree suburbane,**
parzialmente edificate *Definire i livelli di*
inquinamento di fondo
presenti in regione

FONDO RURALE

14
stazioni

Posizione → **Scopo**
In **aree rurali,**
distanti dalle fonti
di emissione *Definire i livelli di inquinamento di*
fondo presenti in regione, lontano
da fonti dirette di emissione

LA STAZIONE DI MISURA

La rete di monitoraggio della qualità dell'aria è costituita da 47 stazioni, che rilevano la qualità dell'aria in continuo: 24 ore su 24, 365 giorni all'anno. I valori di inquinamento misurati dagli analizzatori sono trasmessi a un computer, che li archivia e li invia al centro unico di acquisizione dati di Arpae, dove vengono poi controllati e validati dagli operatori

CONTROLLO QUALITÀ DATI

I dati prodotti dalle stazioni di misura sono sottoposti a rigidi e costanti controlli di qualità del dato, che vengono effettuati dagli operatori Arpae attraverso svariate operazioni, alcune delle quali vengono eseguite da remoto e altre attraverso sopralluoghi in stazione

Fra questi controlli vi sono:

- *Verifiche di taratura quotidiana della strumentazione*
- *Controlli sulla portata, la temperatura e altri parametri*
- *Verifica dei settaggi strumentali*
- *Controlli automatici del corretto funzionamento degli strumenti*
- *Attività di interconfronto fra strumentazioni analoghe*
- *Verifiche di incertezza*

5

E successivamente analizzati in laboratorio, per la determinazione analitica di IPA e metalli pesanti o altre sostanze chimiche



ANALIZZATORI PER PM₁₀ e PM_{2,5}

2

Le polveri così selezionate si depositano su un filtro in fibra di quarzo (o altro materiale)

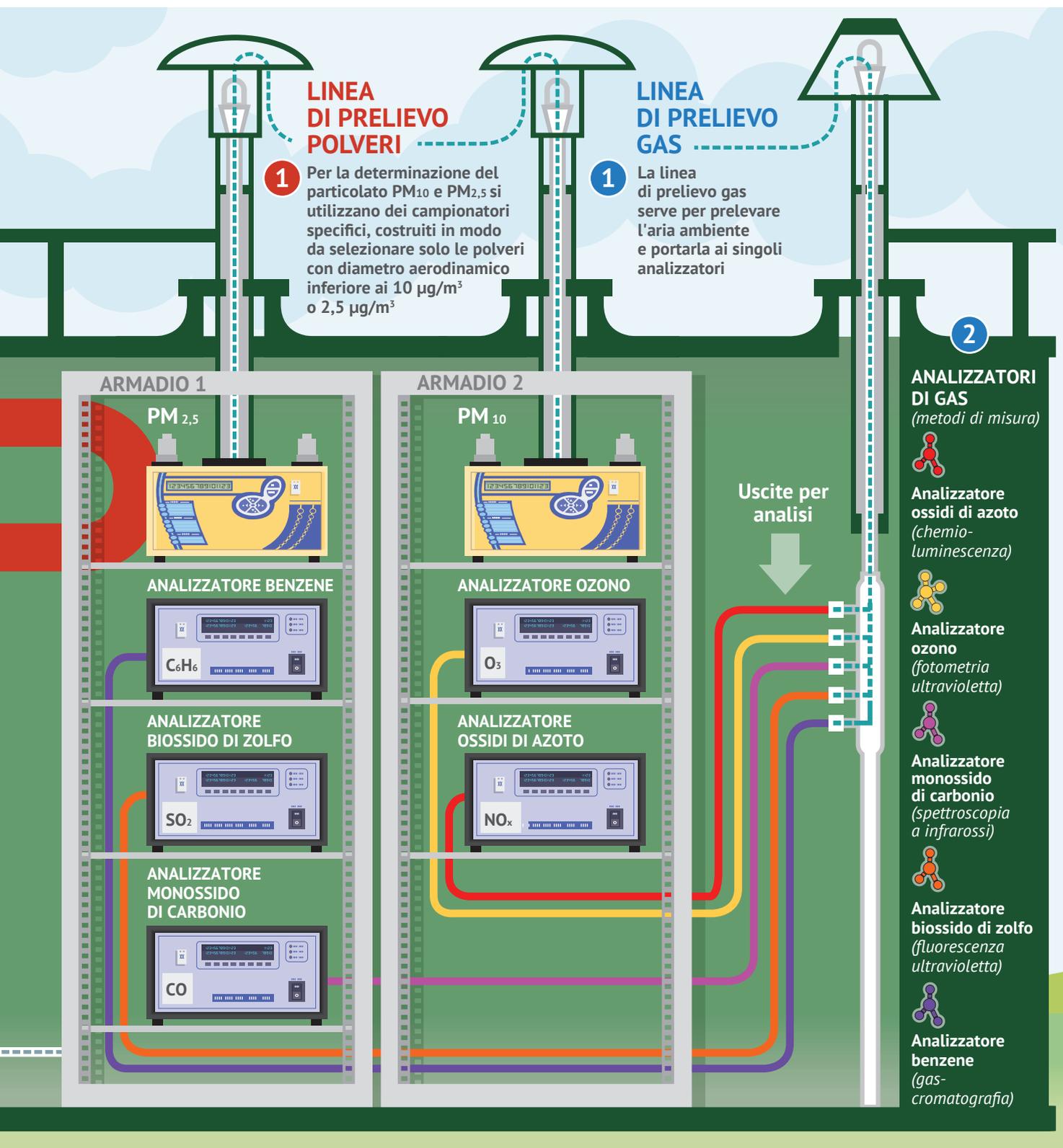
3

Il sistema automatico di determinazione della massa si basa sull'attenuazione di raggi beta

4

I filtri possono essere, poi, prelevati dall'operatore





IL SISTEMA INTEGRATO DI MONITORAGGIO, VALUTAZIONE E PREVISIONE DELLA QUALITÀ DELL'ARIA

Arpae si è dotata di un sistema complesso e articolato di strumenti (figura 6) per conoscere e capire la qualità dell'aria in Emilia-Romagna. Il sistema è in continua evoluzione: i codici di calcolo vengono continuamente aggiornati alle versioni più recenti e sono in corso attività di ricerca e sperimentazione per migliorarne le prestazioni.

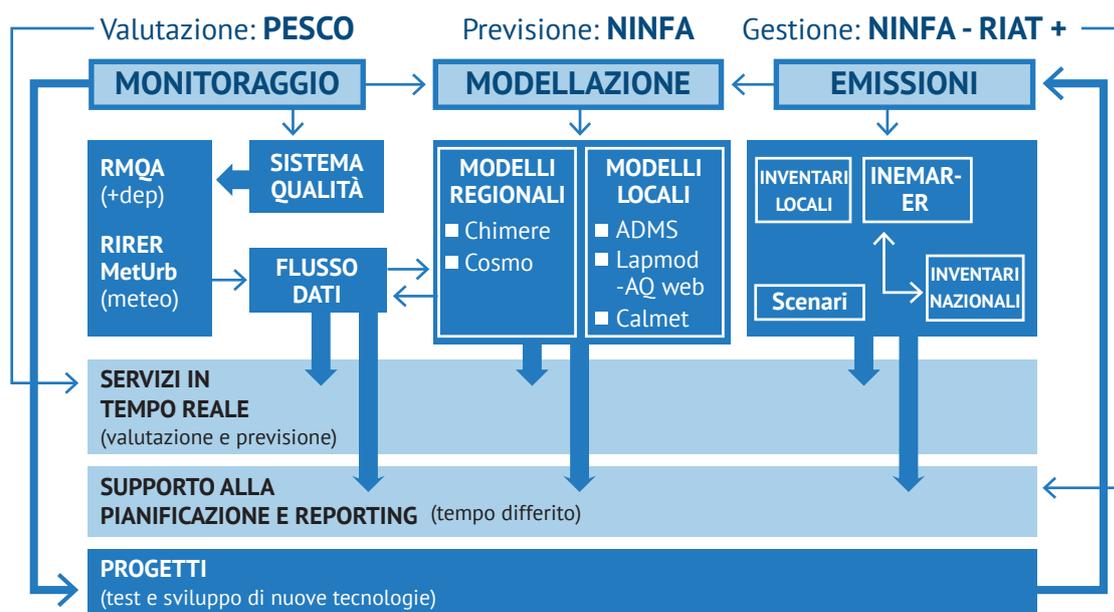
I modelli numerici sono utilizzati conformemente a quanto indicato dall'art.5 del DLgs 155/2010 commi 2 e 3, per integrare le misure in siti fissi realizzate dalla rete di monitoraggio della qualità dell'aria. I modelli applicati in Emilia-Romagna permettono di valutare e prevedere la qualità dell'aria nel territorio regionale e su domini più vasti, anche laddove non sono disponibili misure dirette delle centraline. A questo scopo Arpae integra le informazioni provenienti dalla rete di monitoraggio con le simulazioni del modello chimico e di trasporto, NINFA, attraverso algoritmi geo-statistici implementati nel modulo PESCO.

NINFA (Network dell'Italia del Nord per previsioni di smog Fotochimico e Aerosol) si basa sulla versione regionale del modello di trasporto chimico Chimere (Mailler et al., 2017), abbinata al modello meteorologico COSMO. Il sistema, implementato e gestito da Arpae-SIMC, produce ogni giorno mappe

di concentrazione di PM₁₀, PM_{2,5}, O₃ e NO₂, per il giorno precedente (analisi) e le successive 72 ore (previsione). Le concentrazioni di inquinanti ai bordi del dominio di simulazione di NINFA (condizioni al contorno) sono fornite dal sistema modellistico per la qualità dell'aria PREV'AIR (www.prevail.org). Tale sistema è gestito in modalità operativa quotidiana da INERIS (www.ineris.fr), su un dominio che copre gran parte dell'Europa e del Nord Africa, con una risoluzione spaziale di 50 km e utilizza Chimere come modello fotochimico. I due sistemi modellistici (NINFA a scala regionale e PREV'AIR a scala continentale) sono, quindi, piuttosto simili e possono essere integrati fra loro senza introdurre significative inconsistenze: nell'implementazione operativa NINFA usa come condizioni al contorno i campi tridimensionali di concentrazione di 29 specie gassose e di 120 specie di aerosol prodotti da PREV'AIR. Un elemento fondamentale per alimentare i modelli di qualità dell'aria è rappresentato dai dati di emissione. Le emissioni possono essere distinte in sorgenti diffuse, cioè distribuite sul territorio, e in sorgenti puntuali o lineari che generano emissioni riferite spazialmente a entità fisiche (ad esempio camini, strade), localizzabili geograficamente. Le sorgenti di emissione coprono un ampio spettro di attività, che si rende necessario classificare in maniera da porre in risalto la specifica natura dell'attività e dei processi di produzione coinvolti. I dati di emissione di inquinanti sono disponibili attraverso l'inventario delle emissioni,

FIGURA 6

Schema a blocchi del sistema integrato di valutazione, previsione e gestione della qualità dell'aria in Emilia-Romagna



contenente dati temporalmente mediati o aggregati e spazialmente riferiti a unità amministrative. NINFA utilizza a livello regionale l'inventario delle emissioni INEMAR (INventario EMissioni ARia), a livello nazionale l'inventario nazionale ISPRA, a livello transnazionale l'inventario europeo elaborato nell'ambito del progetto MACC (Monitoring Atmospheric Composition and Climate).

PESCO (Postprocessing and Evaluation with Statistical techniques of the Chimere Output) è un sistema di valutazione della qualità dell'aria in Emilia-Romagna, che permette di ricostruire la mappa regionale di concentrazione di fondo al suolo di ozono, PM₁₀, PM_{2,5} e biossido di azoto, eseguendo un *post processing* statistico dell'*output* del modello numerico NINFA con i dati osservati dalla rete di monitoraggio regionale.

Accanto a questo sistema modellistico Arpa ha realizzato, nell'ambito di un progetto europeo (Life-OPERA), lo strumento di valutazione integrata RIAT+, che supporta i decisori e i tecnici nell'individuazione delle misure ottimali per la riduzione delle emissioni, per migliorare la qualità dell'aria al minimo costo.

Il sistema è completato da modelli a scala locale, utilizzati per l'esecuzione di analisi di dettaglio, con l'ausilio delle concentrazioni di fondo fornite dal sistema modellistico regionale. I modelli a scala locale attualmente in uso sono: ADMS-Urban, modello gaussiano utilizzato principalmente per analisi specifiche nelle aree urbane e/o in presenza di molte sorgenti, e Lapmod, modello lagrangiano utilizzato principalmente per analisi dettagliate in situazioni di terreno complesso in presenza di un numero limitato di sorgenti.

IL SISTEMA DEI MODELLI NUMERICI

Il sistema modellistico NINFA si compone di due moduli principali e di vari moduli accessori.

Modello chimico Chimere

(<http://www.lmd.polytechnique.fr/chimere/>)

Si tratta di un modello euleriano a griglia, multiscala e tridimensionale, in grado di simulare il trasporto, la dispersione, le trasformazioni chimiche e la deposizione (secca e umida) di inquinanti aeriformi e aerosol. La caratteristica di codice aperto ha consentito di introdurre da parte di Arpa-SIMC adattamenti specifici (modifica interfaccia meteo per il calcolo di parametri legati alla turbolenza e introduzione modulo per il trattamento esplicito delle sorgenti puntuali). Può essere implementato su domini d'integrazione molto diversi, dalla scala continentale alla scala regionale,

con una risoluzione orizzontale compresa tra 100 km e 1-2 km. Può essere eseguito con diverse risoluzioni verticali e granulometriche per ciascuna specie chimica del particolato e con differenti meccanismi chimici, semplificati o più completi, che tengono conto anche della variabilità annuale e delle differenti componenti del particolato naturale.

Modulo geostatistico PESCO

Il modulo viene utilizzato per stimare le concentrazioni di fondo, con una risoluzione spaziale di 1 km o a livello comunale. Non è in grado di riprodurre le concentrazioni *hotspot* di una città, come ad esempio quelle che si possono riscontrare a bordo strada. Basandosi sulla combinazione del modello fotochimico con i dati di concentrazione in aria degli inquinanti atmosferici, rilevati dalla rete di monitoraggio nelle stazioni di fondo e da vari sistemi di osservazione, PESCO verifica e calibra i risultati del modello fotochimico per produrre una valutazione più accurata della qualità dell'aria attraverso una post elaborazione geostatistica dei campi di prima scelta prodotti dal modello chimico stesso.

La verifica e la calibrazione avvengono mediante il calcolo dello scarto tra misure e simulazioni, che viene interpolato su tutto il territorio regionale, con un algoritmo di *kriging* "con variabili esterne", usando come parametri la quota e le emissioni inquinanti, correlate con le concentrazioni determinate da fenomeni locali di diffusione di inquinanti primari o di precursori e la cui combinazione lineare sia in grado di spiegare lo scarto delle osservazioni rispetto al modello fotochimico. Nella ricostruzione del campo di concentrazione il modello fotochimico NINFA apporta informazioni di grande scala, mentre le misure delle centraline aggiungono informazioni a scala locale (*downscaling*) e correggono eventuali errori sistematici (*unbiasing*). Oltre che in modalità di analisi, cioè per la ricostruzione di campi di concentrazione riferiti a periodi temporali già passati, le correzioni medie che PESCO ha applicato in un *run* annuale di un anno passato vengono usate per effettuare un *downscaling* "climatologico" e correggere dagli eventuali errori sistematici le previsioni prodotte quotidianamente dal sistema modellistico NINFA.

I dati meteorologici, analizzati e previsti, in ingresso ai modelli di qualità dell'aria sono prodotti dal sistema modellistico meteorologico COSMO-LAMA.

COSMO

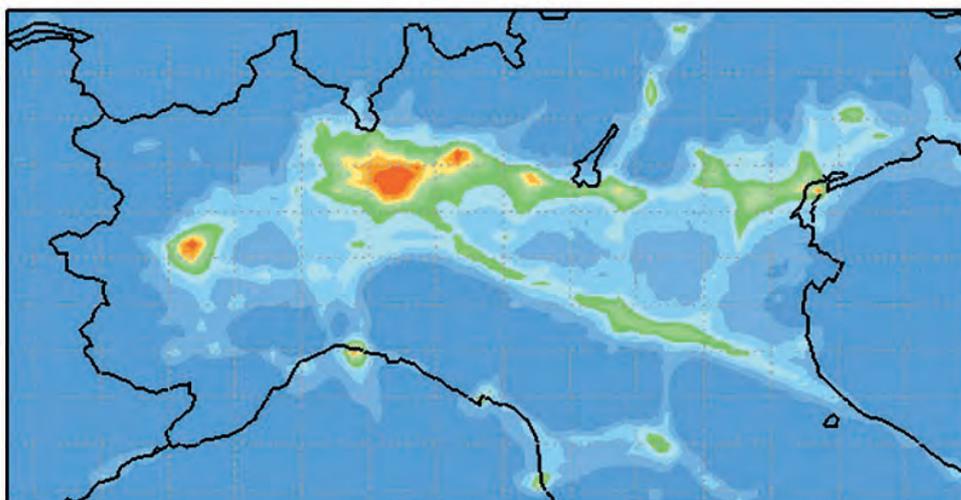
(<http://www.cosmo-model.org/content/model/documentation/core/default.htm>)

È la versione italiana del modello meteorologico non idrostatico ad area limitata Lokal Modell (LM, Steppeler et al., 2003), progettato a partire dagli anni 90 dal DWD

(Servizio Meteorologico tedesco) e sviluppato in seguito da un consorzio internazionale, del quale fanno parte per l'Italia ReMet (Aeronautica Militare-Reparto per la Meteorologia), Arpa-SIMC, Arpa-Piemonte, CIRA. E' il modello di riferimento italiano per le previsioni del tempo a breve e medio termine. A livello operativo, Arpa-SIMC produce due volte al giorno previsioni meteorologiche per tutta Italia, con una risoluzione orizzontale di 5 km (COSMO-5M) su di un dominio di circa 2.000x2.000 km² e 45 livelli verticali. Oltre a descrivere esplicitamente i meccanismi di trasporto e termodinamici a grande scala, COSMO contiene schemi di parametrizzazione per tenere conto dei fenomeni che avvengono all'interno delle singole celle: formazione delle nubi e della precipitazione, convezione a piccola scala, radiazione, diffusione turbolenta, strato atmosferico superficiale, suolo, interazione suolo-atmosfera. Il modello utilizza una serie di campi fisiografici per l'orografia, il tipo di suolo, la copertura vegetale e la rugosità. Nelle simulazioni il modello usa come condizione iniziale i campi in quota prodotti dalla corsa precedente, e i campi superficiali del modello di circolazione generale IFS di ECMWF. Durante la simulazione, il modello COSMO-5M utilizza una tecnica di *nudging* per assimilare in modo continuo le osservazioni disponibili. Le osservazioni assimilate provengono dalla rete GTS (Global Telecommunication System) dell'Organizzazione Meteorologica Mondiale: radiosondaggi (TEMP), misure da aerei e boe oceanografiche (Airep, Buoy, Pilot) e alcuni dati dalle osservazioni superficiali (SYNOP).

MAPPA 7

Esempio di *output* di simulazione del modello Chimere della media annuale di NO₂ (µg/m³)



LAMA (Limited Area Meteorological Analysis)

È un sistema in grado di ricostruire lo stato dell'atmosfera nel passato, tenendo conto delle osservazioni disponibili, sfruttando il ciclo di assimilazione di COSMO. Il modello compie una serie di simulazioni di 12 ore, ciascuna delle quali usa come condizione iniziale i campi in quota prodotti dalla corsa precedente, e i campi superficiali del modello di circolazione generale IFS di ECMWF. Questo diverso trattamento ha lo scopo di evitare che parametri quali umidità e temperatura del terreno, per i quali sul territorio italiano non sono disponibili osservazioni regolari, a causa dell'accumulo di piccoli errori sistematici, finiscano per avere valori irrealistici. Il dominio di LAMA copre un'area di 1.200x1.200 km², corrispondente alla parte centrale del dominio di COSMO: tutti i suoi punti sono ad almeno 200 km dal bordo del dominio di integrazione, e gli effetti diretti delle condizioni al contorno possono essere considerati trascurabili.

Nel contesto dell'applicazione specifica relativa alla qualità dell'aria, le analisi derivate dal ciclo di assimilazione di COSMO vengono utilizzate per fornire *l'input* meteo al modello fotochimico. Alcune grandezze meteorologiche particolarmente importanti, come l'altezza di rimescolamento, non sono calcolate direttamente da COSMO, ma stimate a posteriori tramite algoritmi parametrici mutuati dal pre-processore meteorologico del modello fotochimico stesso. A scala inferiore *l'input* meteo, necessario in ingresso a modelli chimici a scala locale, viene prodotto a partire da COSMO, usando il modello a conservazione della massa CALMET.

LE EMISSIONI D'INQUINANTI DELLE VARIE SORGENTI

LE EMISSIONI IN ATMOSFERA PER MACROSETTORE

Per comprendere il fenomeno dell'inquinamento atmosferico risulta fondamentale conoscere il carico emissivo degli inquinanti provenienti dalle diverse attività umane.

La stima quantitativa delle sostanze emesse dalle varie sorgenti, relativa dunque ai soli inquinanti di origine primaria, è realizzata utilizzando fattori di emissione medi e indicatori di attività integrati. Tali informazioni sono raccolte negli inventari delle emissioni, ovvero serie organizzate di dati relativi alla quantità di inquinanti introdotta in atmosfera da ciascuna fonte di emissione, classificate secondo la convenzione CORINAIR in 11 macrosettori:

- MS1 - Produzione di energia e trasformazione di combustibili;
- MS2 - Combustione non industriale;
- MS3 - Combustione industriale;
- MS4 - Processi produttivi;
- MS5 - Estrazione e distribuzione di combustibili;
- MS6 - Uso di solventi;
- MS7 - Trasporto su strada;
- MS8 - Altre sorgenti mobili e macchinari;
- MS9 - Trattamento e smaltimento rifiuti;
- MS10 - Agricoltura;
- MS11 - Altre sorgenti e assorbimenti.

Gli inventari delle emissioni sono compilati periodicamente, ogni due anni, al fine di aggiornare i dati costituiti da un ampio complesso di fattori relativi alle varie attività umane. Parallelamente ha luogo un processo di progressivo affinamento delle metodologie di stima, che, se da un lato consente di migliorare l'affidabilità del dato restituito e di seguire l'evoluzione delle tecnologie e delle conoscenze, dall'altro non consente un confronto delle diverse compilazioni.

Le stime relative all'anno 2013 indicano che le fonti principali di emissioni legate all'inquinamento diretto da polveri sono costituite dal riscaldamento domestico a biomassa (il 52% del PM₁₀ è dovuto al MS2 e di questo il 99% proviene da impianti domestici a biomassa) e dal trasporto su strada, seguiti dalle attività produttive, inclusa

la combustione industriale (4% del PM₁₀ è dovuto al MS3). Il 27% del PM₁₀ è dovuto al traffico: circa il 50% è dovuto alla combustione nei veicoli diesel, con i mezzi commerciali pesanti che hanno un ruolo determinante (29% dell'intera quota di PM₁₀ dovuta al traffico), il rimanente 50% deriva da usura dei freni, pneumatici e abrasione strade.

Alle emissioni di NO_x, che sono importanti precursori della formazione di particolato secondario e di ozono, contribuiscono il trasporto su strada (MS7) per il 56% (di cui circa il 90% da veicoli diesel, il 52% dovuto ai soli mezzi commerciali pesanti), le altre sorgenti mobili (MS8), la combustione nell'industria (MS3) per il 15%, il riscaldamento (MS2) per l'8% e la produzione di energia (MS1) per il 4%. Il principale contributo alle emissioni di NH₃, anch'esso precursore di particolato secondario, deriva dalle pratiche agricole e dalla zootecnia (MS10), che producono complessivamente il 98% dell'ammoniaca totale, il 71% del quale proviene dalla gestione dei reflui.

L'utilizzo di solventi nel settore industriale e civile (MS6) risulta il principale contributo antropogenico (15%) alle emissioni di Composti Organici Volatili Non Metanici (COVNM), precursori, assieme agli ossidi di azoto, di particolato secondario e ozono. Significativa (34% e 28%) è la produzione di COVNM di origine biogenica, rispettivamente da specie agricole e da vegetazione (MS10 e MS11). I processi produttivi (19% per MS4), la combustione nell'industria (62% per MS3) e la produzione di energia (16% per MS1) risultano la fonte più rilevante di SO₂, importante precursore della formazione di particolato secondario, anche a basse concentrazioni. Il CO è emesso dai trasporti su strada (MS7) per il 47% e dalla combustione domestica (MS2) per il 41%. Per quanto riguarda i principali gas serra, le emissioni di CO₂ sono imputabili per il 36% ai processi produttivi e di produzione energetica (MS1, MS3 e MS4) e per il resto ai trasporti stradali (MS7), per il 34%, e al riscaldamento domestico (MS2), per il 27%. Le emissioni di N₂O sono quasi interamente (84%) dovute a coltivazioni e allevamenti (MS10). Le emissioni di CH₄ sono dovute per il 44% alla zootecnia (MS10), per il 29% derivano dalle discariche di rifiuti (MS9), mentre la distribuzione del metano stesso e le sue emissioni fuggitive contribuiscono per il 23% circa (MS5). Considerato che gas serra diversi hanno differenti effetti climalteranti, l'insieme dei gas

serra può essere combinato avvalendosi di fattori peso che esprimono per ogni gas il potenziale di riscaldamento globale (Global Warming Potential o GWP), espresso come CO₂ equivalente. Il contributo principale in termini di CO₂ equivalente risulta quello dei trasporti stradali (29%), seguito da quello dei processi produttivi e di produzione energetica (MS1, MS3 e MS4), pari al 30%, e della combustione domestica (23%).

In riferimento ai diversi tipi di combustibile si rileva che il consumo del gasolio per autotrasporto (diesel) è responsabile di circa il 70% delle emissioni di NO_x, mentre per il PM₁₀ è preponderante l'apporto delle attività di combustione di legna e similari, dei diesel per autotrasporto, oltre a l'usura di freni e pneumatici e l'abrasione strade, che si verificano per tutti i mezzi di trasporto.

TABELLA 2

Le emissioni dei principali inquinanti per i diversi macrosettori

| PRINCIPALI INQUINANTI | | | | | | | | | | | |
|--|---------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|----------------|----------------|----------------------|---------------------|----------------------|-------------------------|
| Macro settori | NO _x (t) | PM ₁₀ (t) | PM _{2,5} (t) | SO ₂ (t) | NH ₃ (t) | COV (t) | CO (t) | CO ₂ (kt) | CH ₄ (t) | N ₂ O (t) | CO ₂ eq (kt) |
|  MS1 | 3.706 | 23 | 22 | 2.153 | 11 | 183 | 1.658 | 2.825 | 171 | 28 | 2.838 |
|  MS2 | 6.576 | 5.608 | 5.549 | 219 | 107 | 6.535 | 48.037 | 8.571 | 3.819 | 309 | 8.759 |
|  MS3 | 12.541 | 482 | 369 | 8.107 | 20 | 503 | 3.646 | 7.286 | 309 | 342 | 7.396 |
|  MS4 | 2.050 | 645 | 414 | 2.438 | 144 | 4.585 | 4.472 | 1.369 | 1.406 | 0 | 1.405 |
|  MS5 | 192 | 0 | 0 | 2 | 0 | 3.001 | 17 | 0 | 36.509 | 0 | 913 |
|  MS6 | 232 | 206 | 177 | 25 | 16 | 18.628 | 25 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|  MS7 | 47.174 | 2.920 | 2.239 | 61 | 541 | 13.817 | 54.908 | 10.919 | 953 | 348 | 11.046 |
|  MS8 | 10.170 | 470 | 469 | 69 | 2 | 1.072 | 3.664 | 925 | 16 | 39 | 937 |
|  MS9 | 606 | 5 | 5 | 16 | 144 | 66 | 224 | 394 | 46.141 | 76 | 1.570 |
|  MS10 | 565 | 369 | 158 | 0 | 44.934 | 43.010 | 0 | 0 | 71.119 | 5.870 | 3.527 |
|  MS11 | - | - | - | - | - | 34.911 | - | -3.843 | - | - | - |
| TOTALI | 83.811 | 10.727 | 9.402 | 13.089 | 45.920 | 126.312 | 116.651 | 28.447 | 160.443 | 7.013 | 38.391 |

L'AGGIORNAMENTO DEGLI INVENTARI, DAL 2010 AL 2013

In un contesto che vede l'azione congiunta di fattori di carattere generale e di misure specifiche volte al miglioramento della qualità dell'aria, il progressivo rinnovamento del parco veicolare, la sempre maggiore penetrazione delle migliori tecniche disponibili (BAT) in campo produttivo, zootecnico e agricolo, il miglioramento delle prestazioni energetiche di edifici e sistemi di riscaldamento e raffrescamento, l'incremento dell'uso di fonti di energia rinnovabili determinano, nei corrispondenti settori, una diminuzione del carico emissivo primario, sia a scala europea, sia nel territorio regionale.

Tuttavia, a causa dell'aggiornamento delle metodologie nelle diverse compilazioni degli inventari emissivi, un raffronto diretto all'interno della serie storica può non essere del tutto significativo, ma richiede ulteriori elaborazioni.

Si può, comunque, osservare che non sono avvenute nel tempo variazioni sostanziali nella distribuzione territoriale delle sorgenti e nel peso relativo dei diversi contributi.

Per rendere possibile un confronto sono state eseguite stime mediante ricalcolo per alcuni macrosettori. In particolare nella compilazione dell'ultimo inventario disponibile (2013), si è proceduto al ricalcolo del macrosettore 2. Tale esigenza è scaturita da un aumento del peso percentuale di tale macrosettore nel 2013 rispetto alle edizioni precedenti, per quello che riguarda le emissioni di polveri legate alla combustione in ambito residenziale di biomassa legnosa, non dovuto a un incremento dei consumi ma all'aggiornamento dei fattori di emissione. Data la differenza fra vecchi e nuovi fattori di emissione si è ritenuto opportuno un ricalcolo delle emissioni di questo settore emissivo. Dal ricalcolo del precedente inventario si è potuto così apprezzare una riduzione delle emissioni tra il 2010 e il 2013 e non un aumento, dovuta alla diminuzione del consumo stimato in base alla più recente indagine ISTAT e al parziale rinnovamento degli apparecchi combustori.

L'EVIDENZA DELLA COMBUSTIONE DELLA BIOMASSA LEGNOSA IN EMILIA-ROMAGNA

L'uso di legna, cippato e pellet - genericamente denominati biomassa legnosa - nei settori della produzione di energia per scopi civili, ossia nei moderni sistemi di riscaldamento come caldaie, stufe, camini e altri apparecchi domestici, è aumentato negli ultimi anni, grazie sia a norme europee che nazionali, atte principalmente a promuovere l'uso di energia da fonti rinnovabili, sia per il vantaggio economico derivante dall'utilizzo di tali fonti, rispetto ad altri combustibili.

Vista tale crescita, risulta importante valutare l'impatto dell'uso di questi combustibili in termini di contributo all'inquinamento atmosferico.

Le biomasse legnose, se non gestite correttamente all'interno del processo di combustione, nell'impianto e nelle emissioni, possono provocare l'immissione in atmosfera di polveri di diverso diametro, alcuni composti organici volatili e ossidi di azoto.

A oggi i principali composti e le specie chimiche rintracciabili nel materiale particolato e nelle particelle derivanti dalla combustione della legna sono il carbonio elementare e organico, alcuni elementi, come il potassio e il cloro, e il levoglucosano - uno zucchero caratteristico della decomposizione termica della cellulosa.

I quantitativi di queste sostanze emessi in aria dipendono da diversi fattori fra cui:

- il tipo di caldaia e le sue caratteristiche energetiche ed emissive;
- la sua frequenza di manutenzione;
- la tipologia di biomassa legnosa utilizzata.

Per aiutare a comprendere il reale impatto in atmosfera delle diverse fonti di inquinamento, e quindi anche della legna e dei suoi derivati, Arpa e la Regione Emilia-Romagna hanno realizzato il progetto Supersito (vedi pag. 35).

Attraverso le analisi del profilo chimico del $PM_{2,5}$ misurato nelle stazioni sopra citate - ioni, specie del carbonio e metalli - il progetto Supersito è stato in grado di mettere in evidenza come la sorgente legata alla biomassa legnosa rappresenti, anche per la nostra regione, una fonte importante di particolato fine. Dai dati ottenuti, la biomassa legnosa risulta essere la principale sorgente di $PM_{2,5}$ in tutti i siti durante la stagione fredda, ed è presente anche durante il periodo estivo, pur mostrando, ovviamente, contributi inferiori. L'apporto stimato di tale fonte alla massa del $PM_{2,5}$ sembra variare da circa il 25% al 40%, durante la stagione fredda, e da circa il 10% al 20%, durante la stagione calda. Probabilmente, in aggiunta al contributo della combustione della biomassa per riscaldamento domestico, anche la cottura di cibo in forni, la loro grigliatura a legna o a carbone e la combustione a cielo aperto di sfalci e potature agricole possono essere fonti il cui apporto in termini percentuali potrebbe essere non trascurabile, in particolare nella stagione calda. L'importanza della combustione della biomassa è inoltre supportata dai numerosi studi pubblicati che dimostrano, ad esempio, come - negli anni tra il 2006 e il 2009 - in Lombardia l'impiego della legna per il riscaldamento domestico sia diffuso su tutto il territorio durante l'autunno e l'inverno e produca, nel periodo freddo, il 25-30% di $PM_{2,5}$. Un'ulteriore ricerca, inoltre, afferma che nella Pianura Padana e in Valtellina la combustione delle biomasse contribuisce per più del 75% all'inquinamento di benzo(a)pirene. La combustione della biomassa legnosa può quindi avere, come dimostrato dallo studio Supersito e da altre numerose ricerche internazionali, un significativo impatto ambientale.

Il Piano Aria Integrato Regionale dell'Emilia-Romagna (PAIR 2020), approvato ed entrato in vigore nell'aprile 2017, mira a ridurre i livelli degli inquinanti sul

territorio regionale e rientrare nei valori limite definiti dalla normativa (Direttiva 2008/50/CE e DLgs 155/2010) e tiene conto anche dell'impatto sull'inquinamento atmosferico dell'uso delle biomasse legnose, regolamentandone l'utilizzo.

Nella stessa direzione va il Decreto Ministeriale del 7 novembre 2017 n. 186: "Regolamento recante la disciplina dei requisiti, delle procedure e delle competenze per il rilascio di una certificazione dei generatori di calore alimentati a biomasse combustibili solide". Tale regolamento stabilisce i requisiti, le procedure e le competenze per il rilascio di una certificazione ambientale dei generatori di calore alimentati con legna da ardere, carbone di legna e biomasse combustibili. Individua, inoltre, le prestazioni emissive di riferimento per le diverse classi di qualità, i relativi metodi di prova e le verifiche da eseguire ai fini del rilascio della certificazione ambientale, nonché appositi adempimenti relativi alle indicazioni da fornire circa le corrette modalità di installazione e gestione dei generatori di calore che hanno ottenuto la certificazione ambientale.



MACROSETTORI EMISSIVI



MACROSETTORE 10
Agricoltura
(Coltivazioni, allevamenti...)



MACROSETTORE 11
Altre sorgenti e assorbimenti
(Emissioni naturali e assorbimento forestale...)



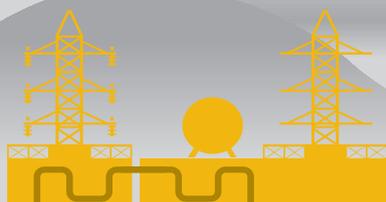
MACROSETTORE 8
Altre sorgenti mobili e macchinari
(Aerei, navi, mezzi agricoli...)



MACROSETTORE 9
Trattamento e smaltimento rifiuti
(Inceneritori, discariche...)



MACROSETTORE 1
Produzione energia e trasformazione combustibili
(Produzione energia elettrica, teleriscaldamento, raffinerie...)



MACROSETTORE 3
Combustione nell'industria
(Caldaie e forni per piastrelle, cemento, fusione metalli...)



MACROSETTORE 4
Processi produttivi
(Industria petrolifera, chimica, siderurgica, meccanica...)



MACROSETTORE 5
Estrazione e distribuzione combustibili
(distribuzione e stoccaggio benzina, gas...)



MACROSETTORE 6
Uso di solventi
(Produzione e uso di vernici, colle, plastiche...)



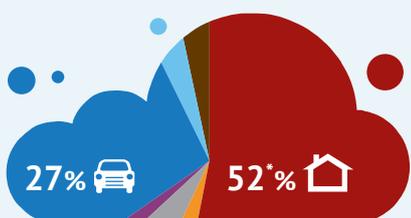
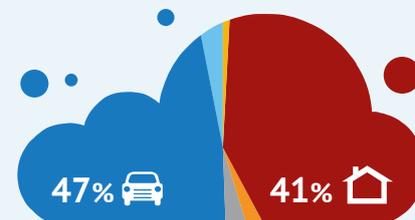
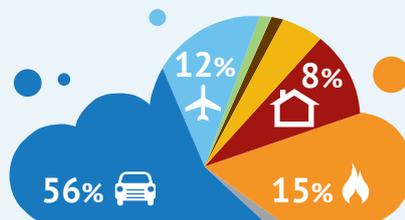
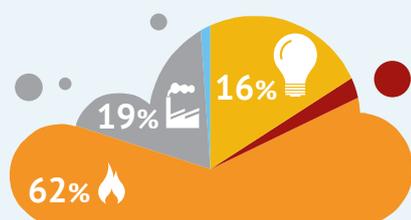
MACROSETTORE 2
Combustione non industriale
(Riscaldamento degli ambienti)



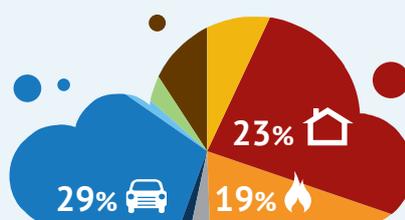
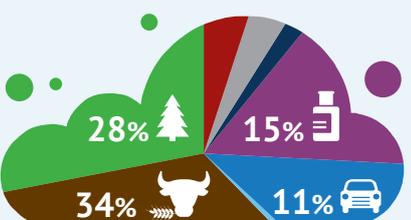
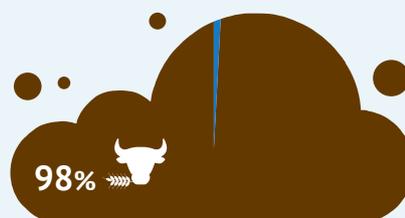
MACROSETTORE 7
Trasporto su strada
(Traffico di veicoli leggeri e pesanti...)



Distribuzione percentuale delle emissioni in atmosfera, per macrosettore (2013)



* di cui 99% da combustione di biomasse



Legenda

-  MACROSETTORE 1
-  MACROSETTORE 2
-  MACROSETTORE 3
-  MACROSETTORE 4
-  MACROSETTORE 5
-  MACROSETTORE 6
-  MACROSETTORE 7
-  MACROSETTORE 8
-  MACROSETTORE 9
-  MACROSETTORE 10
-  MACROSETTORE 11

COSA EMETTONO I VEICOLI?

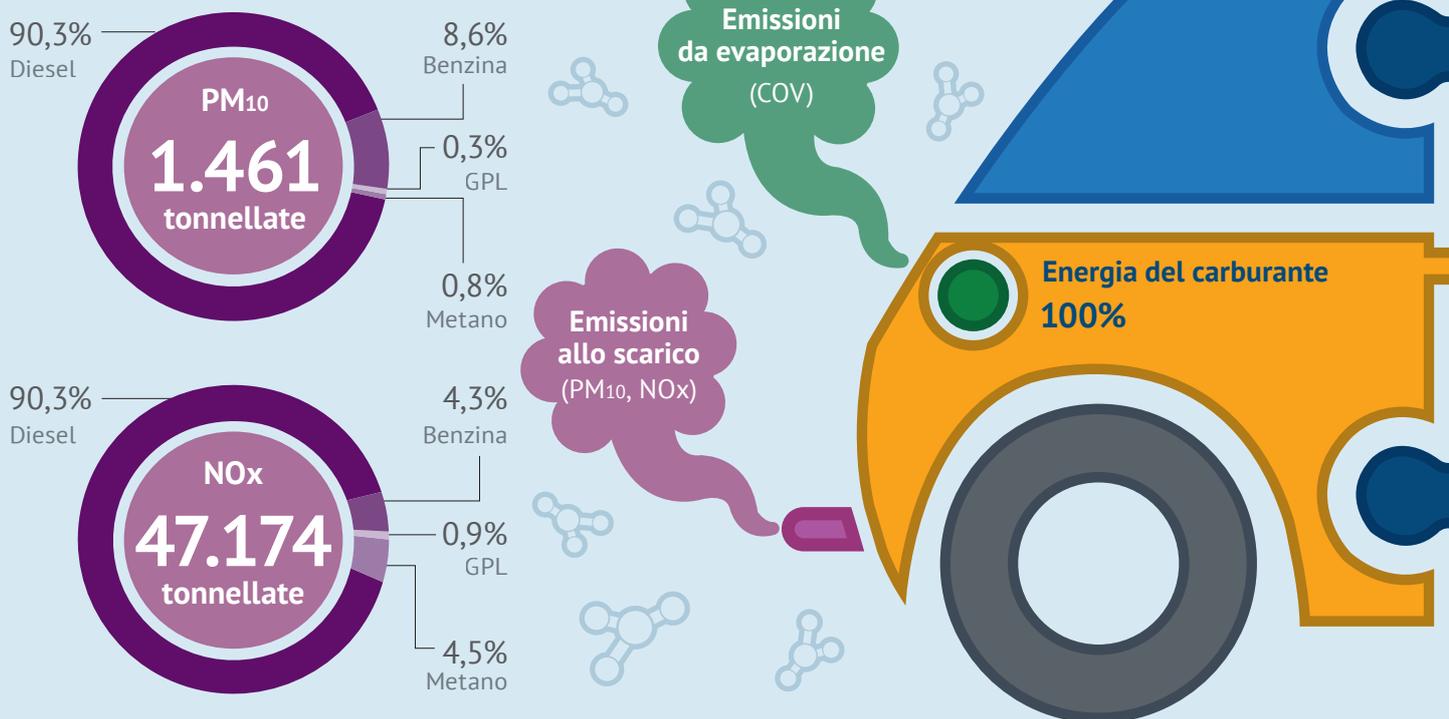
EMISSIONI INQUINANTI* (Inventario delle emissioni 2013) ED EFFICIENZA ENERGETICA



1 EMISSIONI ALLO SCARICO

Emissioni di diversi inquinanti, tra cui PM_{10} e NO_x , prodotte nel processo di combustione interna al motore. Le emissioni sono di entità differente all'inizio della marcia del veicolo, prima dell'attivazione dei sistemi di abbattimento, che risultano efficaci solo quando raggiungono la temperatura di esercizio

Stime delle emissioni di PM_{10} e NO_x per tipologia di combustibile



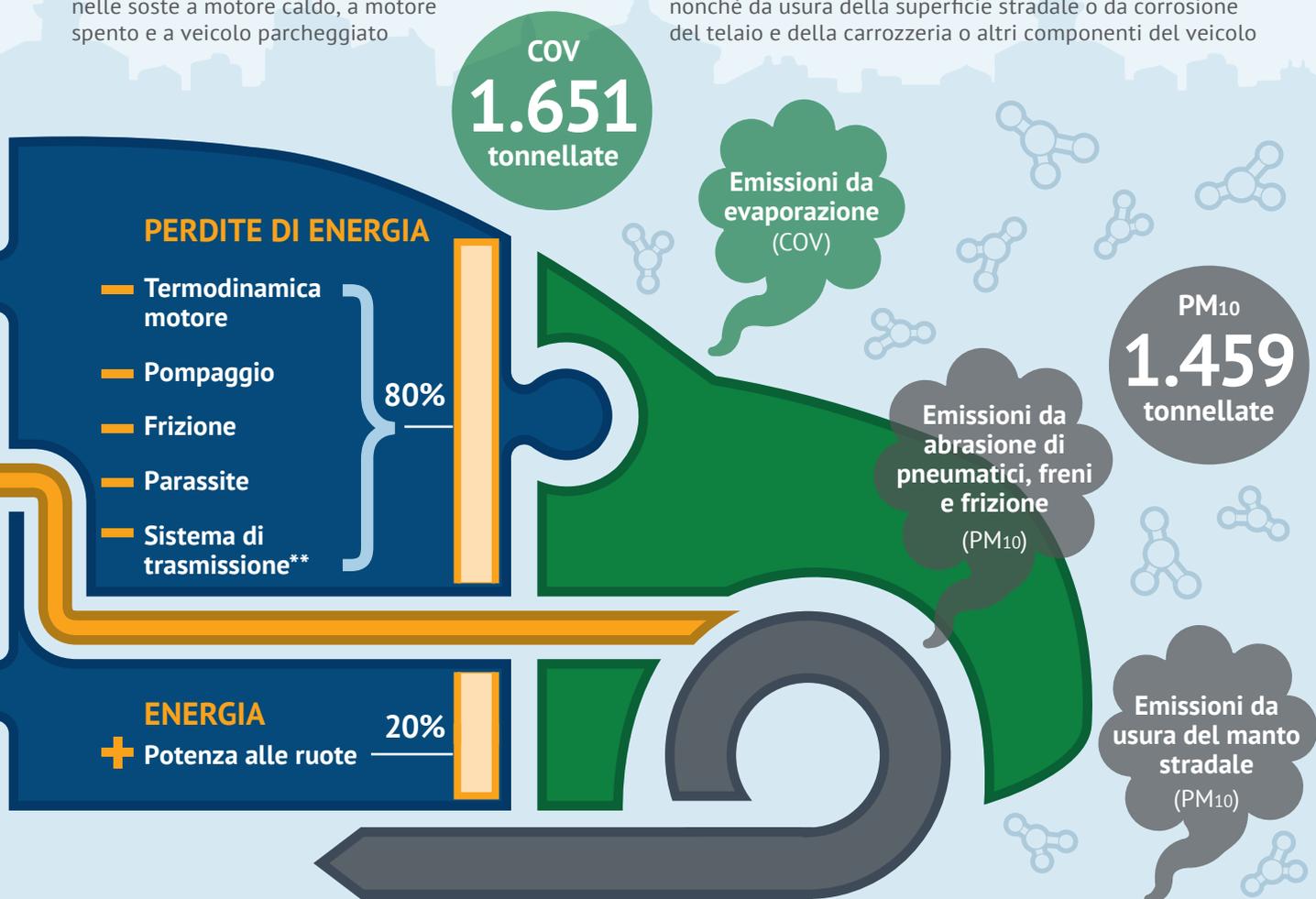
*Emissioni riferite al parco veicoli regionale. I mezzi commerciali pesanti contribuiscono per un 29% alle emissioni di polveri e per un 52% a quelle di ossidi di azoto sul totale delle emissioni dovute ai trasporti stradali

2 EMISSIONI DA EVAPORAZIONE

COV provenienti dall'evaporazione della frazione più volatile della benzina durante la marcia, nelle soste a motore caldo, a motore spento e a veicolo parcheggiato

3 EMISSIONI DA USURA

Polveri e alcuni metalli pesanti prodotti da abrasione meccanica di parti del veicolo (pneumatici, sistema frenante, frizione), nonché da usura della superficie stradale o da corrosione del telaio e della carrozzeria o altri componenti del veicolo



ABRASIONE DI PNEUMATICI



FRENI E FRIZIONE



USURA DEL MANTO STRADALE

**Il sistema di trasmissione di un veicolo a motore è il gruppo di componenti che trasferisce la potenza alle ruote motrici; comprende la trasmissione, l'albero e gli ingranaggi

IL PARTICOLATO

I VALORI DI RIFERIMENTO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA PER IL PARTICOLATO (PM₁₀, PM_{2,5})

La Direttiva 2008/50/CE individua, come obiettivo, la valutazione della qualità dell'aria su basi comuni negli Stati Membri, al fine di ottenere informazioni sullo stato della qualità dell'aria per combattere l'inquinamento atmosferico.

Il DLgs 155/2010, che recepisce a livello nazionale la Direttiva 2008/50/CE, definisce le modalità di valutazione

e la gestione della qualità dell'aria ambiente sul territorio italiano.

I valori di riferimento del DLgs 155/2010 rappresentano gli obiettivi di qualità dell'aria ambiente da perseguire per evitare, prevenire, ridurre effetti nocivi per la salute umana e per l'ambiente nel suo complesso.

I valori di riferimento della qualità dell'aria per la protezione della salute per il particolato sono mostrati nella tabella seguente.

TABELLA 3

Limiti normativi, valori obiettivo e altri obiettivi ambientali per PM₁₀ e PM_{2,5} (DLgs 155/2010)

| Frazione granulometrica | Target di protezione | Obiettivo ambientale | Periodo di mediazione | Metrica dell'obiettivo ambientale | Valore numerico dell'obiettivo ambientale |
|-------------------------|----------------------|--|-----------------------|--|--|
| PM ₁₀ | Salute | Valore limite | Giorno | Giorni di eccedenza nell'anno civile del valore limite (50 µg/m ³) | 35 giorni |
| | | Valore limite | Anno civile | Media annua | 40 µg/m ³ |
| PM _{2,5} | Salute | Valore obiettivo | Anno civile | Media annua | 25 µg/m ³ (dal 2010) |
| | | Valore limite | | | 25 µg/m ³ (dal 2015) |
| | | Obbligo di concentrazione dell'esposizione | 3 anni civili | Indicatore di Esposizione Media (IEM) | 20 µg/m ³ |
| | | Obiettivo di riduzione dell'esposizione | | | L'obiettivo varia da 0 a 20% di riduzione, a seconda del valore di IEM calcolato. Nelle situazioni più critiche è uguale a 18 µg/m ³ . Da raggiungere entro il 2020 (Allegato XIV, punto 2 DLgs 155/2010) |

PM₁₀

Lo stato e i trend della concentrazione del PM₁₀

In figura 7 è rappresentato, come box plot, l'andamento della media annuale delle concentrazioni di PM₁₀ rilevate, dal 2008 al 2017, dalle stazioni facenti parte della rete regionale di monitoraggio della qualità dell'aria.

In figura 8 è rappresentato, sempre come box plot, l'andamento del numero di superamenti del valore limite giornaliero per il PM₁₀.

In figura 9 è riportato il risultato dell'analisi del trend (tasso di variazione annuale), espresso tramite box plot. L'analisi è stata effettuata utilizzando i dati delle stazioni di monitoraggio del periodo 2006-2017.

Il trend descrive in modo sintetico e in forma aggregata, per tipologia di stazione, la qualità dell'aria in regione, per valutarne la tendenza sul lungo periodo attraverso il metodo di analisi statistica di Theil-Sen.

Dall'analisi dei dati si rileva come il valore limite della concentrazione media annuale per il PM₁₀ venga rispettato in tutte le stazioni a partire dal 2013, mentre si siano registrati superamenti sporadici in alcune stazioni da traffico nel 2011 e 2012 (figura 7). Dal 2005, anno di entrata in vigore dei limiti stabiliti dalla Direttiva 2008/50 CE, il 2016 è stato l'anno con i valori più bassi. Nel complesso, il quinquennio 2013-2017 si presenta con valori medi annuali inferiori a quello precedente, 2008-2012, sia nelle stazioni di fondo urbano, che nelle stazioni di traffico. Pressoché stazionari risultano invece i valori medi annuali rilevati nelle stazioni di fondo rurale.

Si nota che la rilevazione della concentrazione nelle stazioni di fondo rurale (collocate in diverse condizioni geografiche, che variano dalla pianura alle zone appenniniche, e nel loro assetto attuale a partire dal 2012) evidenzia valori di poco inferiori a quelli registrati nelle stazioni di fondo urbano e suburbano. In tutte le tipologie di stazioni si osserva una variazione interannuale nella distribuzione dei valori medi annuali e, in misura maggiore, del numero di superamenti del valore limite giornaliero. Questa variabilità è legata all'andamento meteorologico descritto in precedenza. Anche la variabilità intra-annuale, rappresentata dalle dimensioni dei box, risulta diversa da un anno all'altro e risulta maggiore nelle stazioni di fondo rurale, caratterizzate da situazioni geografiche diverse tra loro.

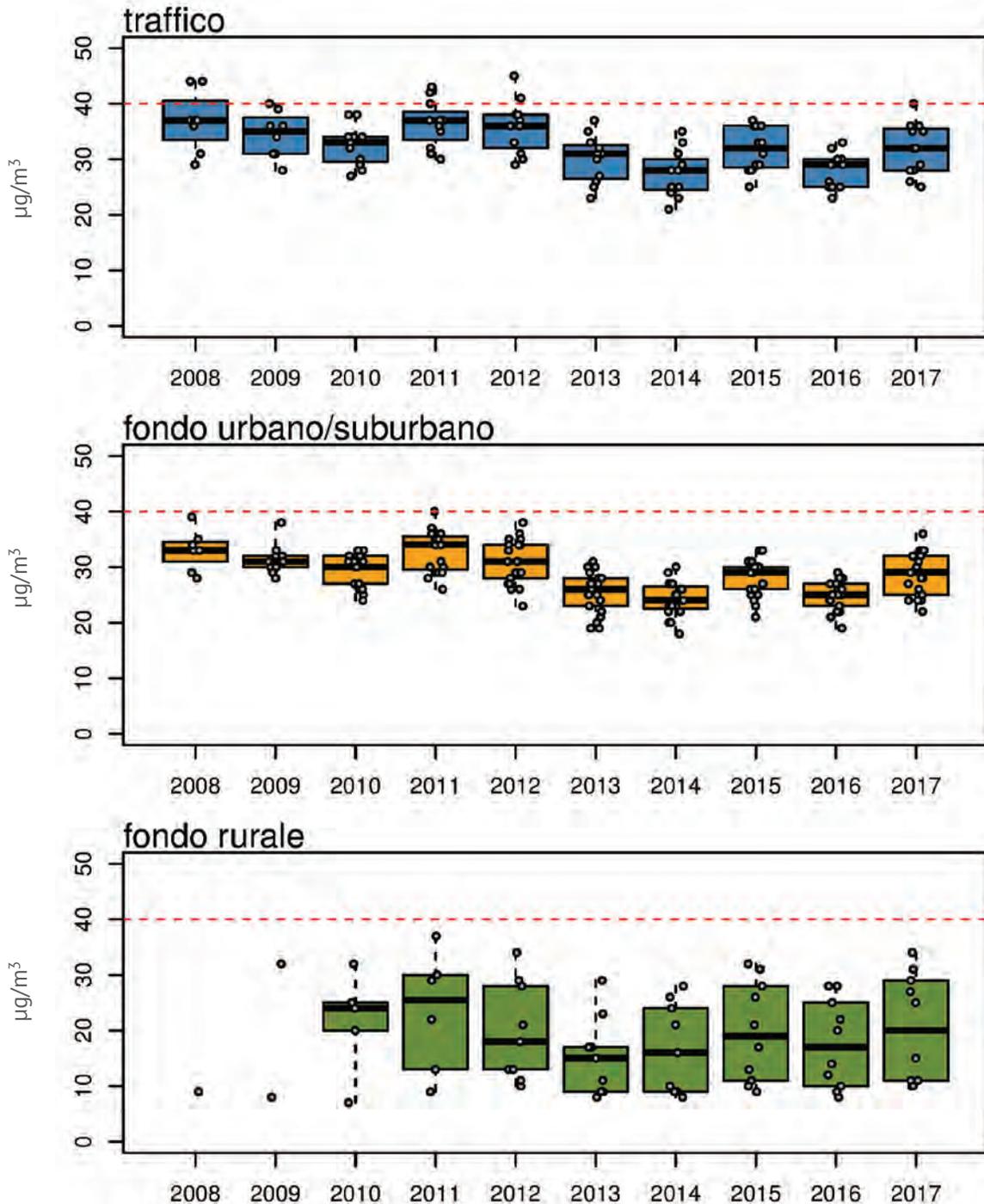
Per quanto riguarda l'inquinamento da polveri, le maggiori criticità sono relative al superamento del valore limite giornaliero, superato in gran parte delle stazioni di traffico e di fondo urbano e suburbano e in buona parte delle stazioni di fondo rurale (figura 8). Tuttavia, complessivamente, il quinquennio 2013-2017 mostra un andamento migliore di quello precedente, 2008-2012. In questo quadro, nel 2017, a causa delle condizioni meteorologiche sfavorevoli, le concentrazioni di polveri in Emilia-Romagna sono state superiori a quelle osservate nel 2016 e in linea con quelle misurate nel 2015, quando si sono avute analoghe condizioni meteorologiche (figura 3 pag. 33) caratterizzate da basso indice di ventilazione e assenza di precipitazioni nel periodo invernale.



FIGURA 7

Andamento della concentrazione media annuale di PM₁₀, dal 2008 al 2017 (µg/m³)

Tutte le stazioni regionali, per tipologia

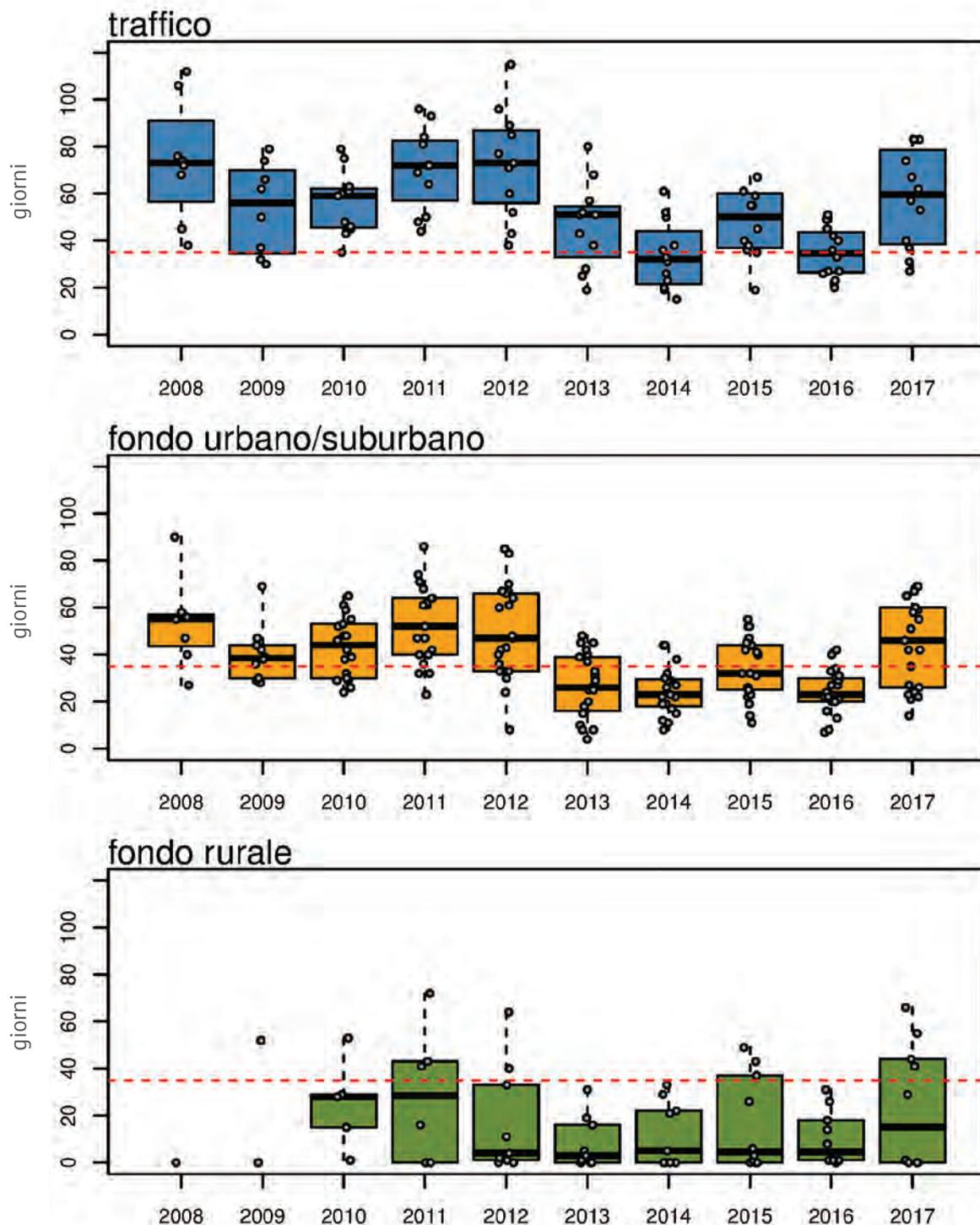


Nota: La linea rossa indica il valore limite annuale (40 µg/m³). I valori rilevati ogni anno dalle stazioni di traffico, in alto, di fondo urbano e suburbano, al centro, e di fondo rurale, in basso, sono rappresentati come boxplot. Ciascun box è centrato sulla mediana e rappresenta il 25° e 75° percentile dei valori medi annuali. Le linee verticali rappresentano il massimo e minimo. I punti contenuti in ciascun box forniscono una indicazione del numero e del valore dei dati che formano la distribuzione rappresentata dal box

FIGURA 8

Andamento del numero di superamenti del valore limite giornaliero per il PM₁₀ dal 2008 al 2017 (giorni)

Tutte le stazioni regionali, per tipologia



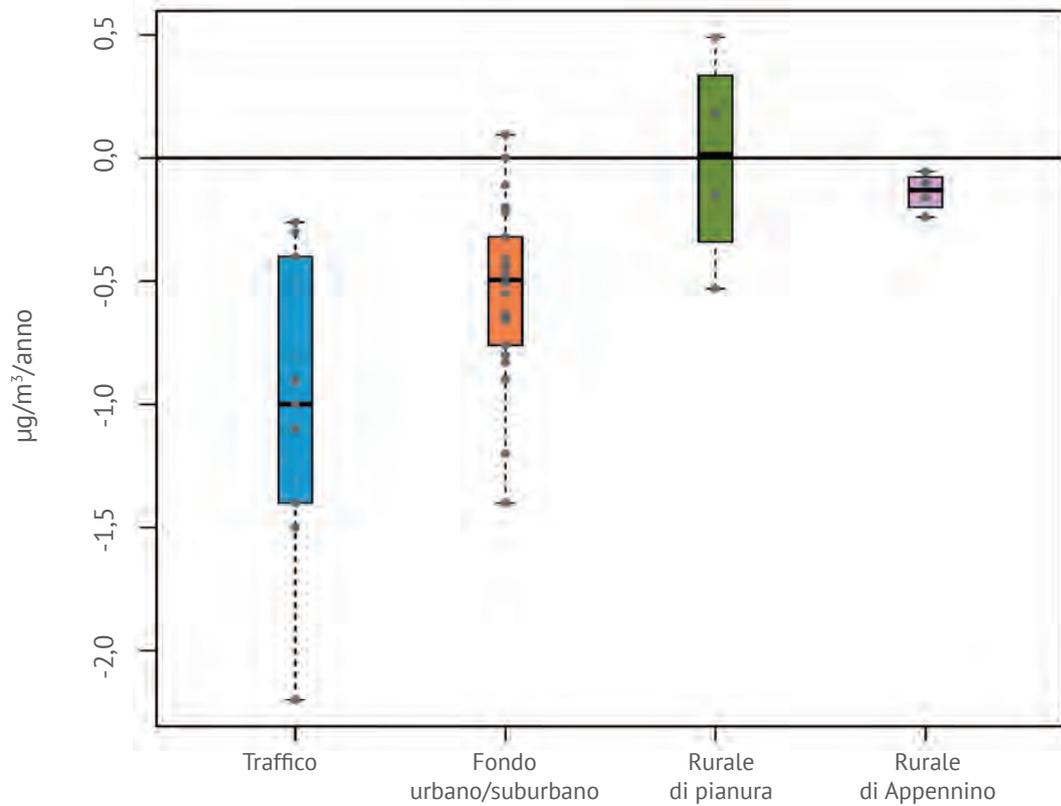
Nota: La linea rossa indica il valore limite annuale (35 giorni di superamento). I valori rilevati ogni anno dalle stazioni di traffico, in alto, di fondo urbano e suburbano, al centro, e di fondo rurale, in basso, sono rappresentati come boxplot. Ciascun box è centrato sulla mediana e rappresenta il 25° e 75° percentile dei valori medi annuali. Le linee verticali rappresentano il massimo e minimo. I punti contenuti in ciascun box forniscono una indicazione del numero e del valore dei dati che formano la distribuzione rappresentata dal box

L'analisi del trend mostra una tendenza alla diminuzione nella maggior parte delle stazioni (per un'analisi del trend per singola stazione si rimanda ai risultati rappresentati mediante il grafico riportato nell'Allegato III pag. 138). Dall'analisi per tipo di stazione (figura 9), si

evidenzia come tale diminuzione interessi maggiormente le stazioni di traffico, per le quali il trend medio è di $-0,98 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{anno}$, mentre nelle stazioni di fondo urbano e suburbano risulta ridotto ($-0,54 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{anno}$). Nelle zone rurali non risulta alcun trend in diminuzione.

FIGURA 9

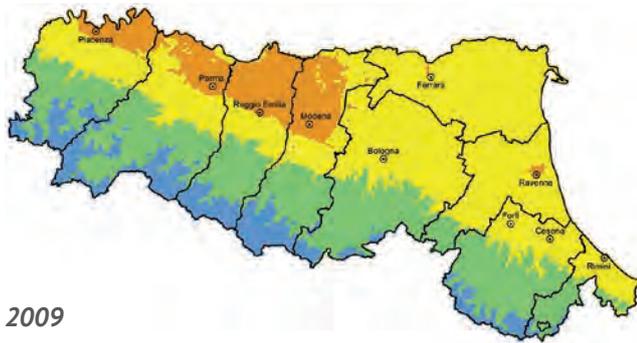
Distribuzione del tasso di variazione annuale (trend) di PM_{10} per tipologia di stazione (2006-2017)



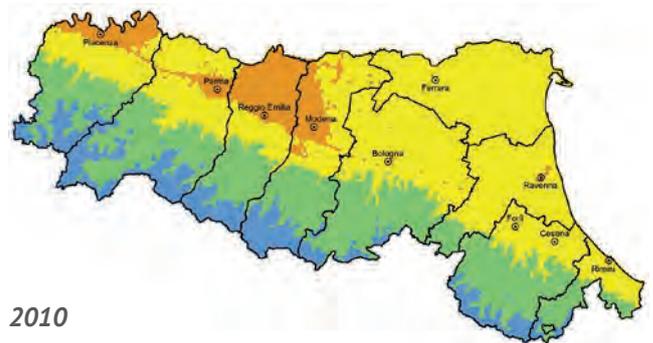
Nota: I valori risultanti dallo studio del trend sui dati rilevati dalle stazioni di misura sono rappresentati come boxplot, suddivisi per tipologia di stazione. Ciascun box è centrato sulla mediana e rappresenta il 25° e 75° percentile dei valori medi annuali. Le linee verticali rappresentano il massimo e il minimo. La distanza tra 25° e 75° percentile è una misura della dispersione della distribuzione. Il 50% delle osservazioni si trovano comprese tra questi due valori. Se l'intervallo è piccolo, questa metà delle osservazioni si trova fortemente concentrata intorno alla mediana; all'aumentare della distanza aumenta la dispersione delle osservazioni centrali intorno alla mediana. I punti contenuti in ciascun box forniscono una indicazione del numero e del valore dei dati che formano la distribuzione rappresentata dal box

MAPPA 8a

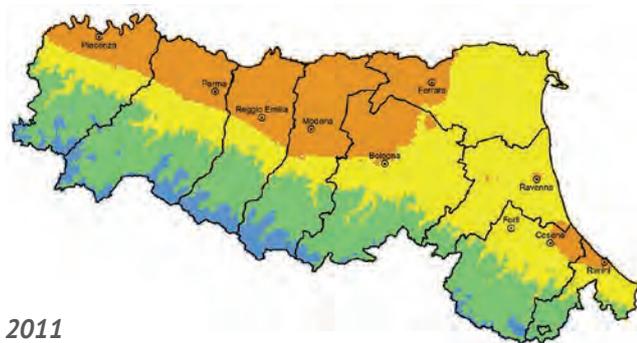
Stima della distribuzione territoriale della concentrazione media annuale di fondo di PM₁₀ in Emilia-Romagna (2009-2016)



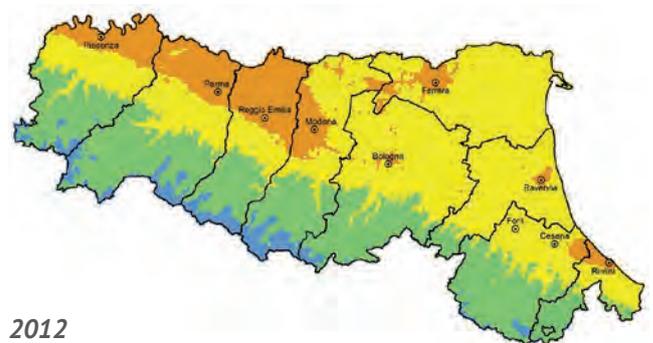
2009



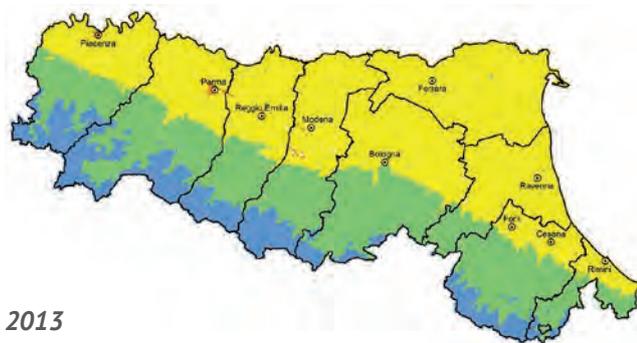
2010



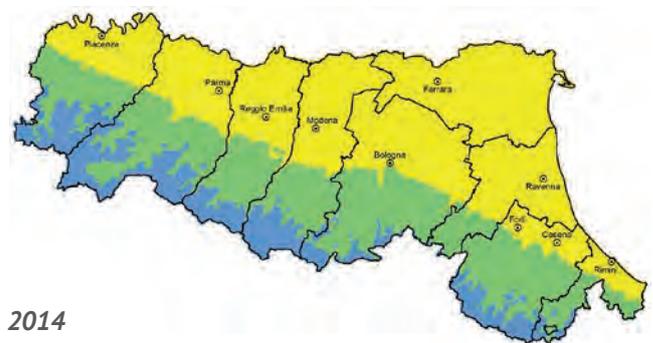
2011



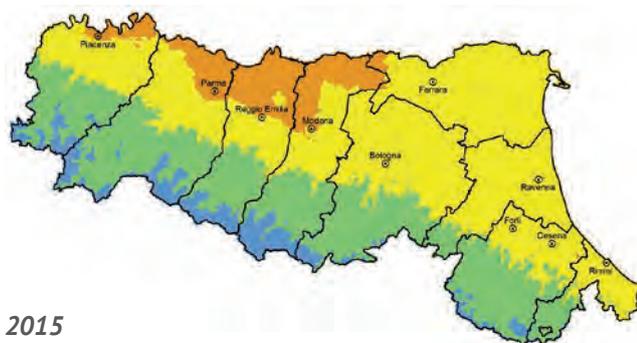
2012



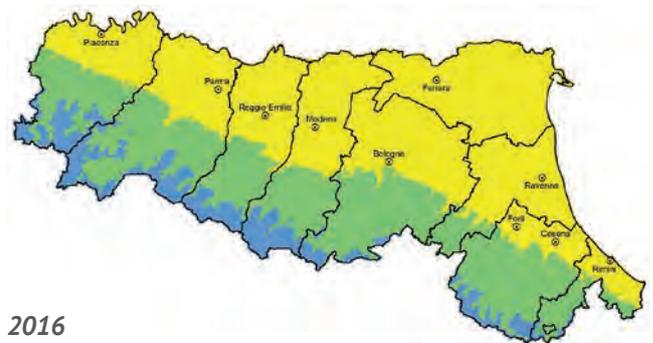
2013



2014



2015



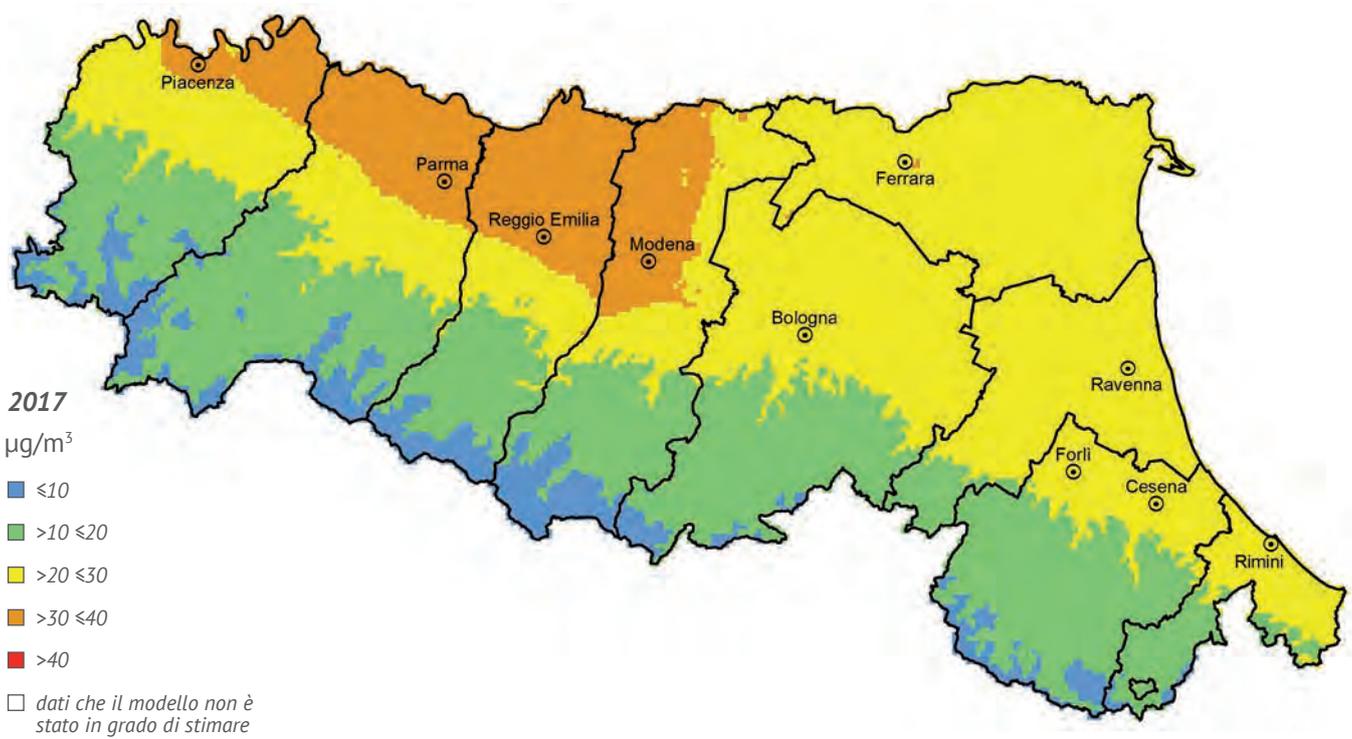
2016

µg/m³

■ ≤10
 ■ >10 ≤20
 ■ >20 ≤30
 ■ >30 ≤40
 ■ >40
 □ dati che il modello non è stato in grado di stimare

MAPPA 8b

Stima della distribuzione territoriale della concentrazione media annuale di fondo di PM₁₀ in Emilia-Romagna (2017)

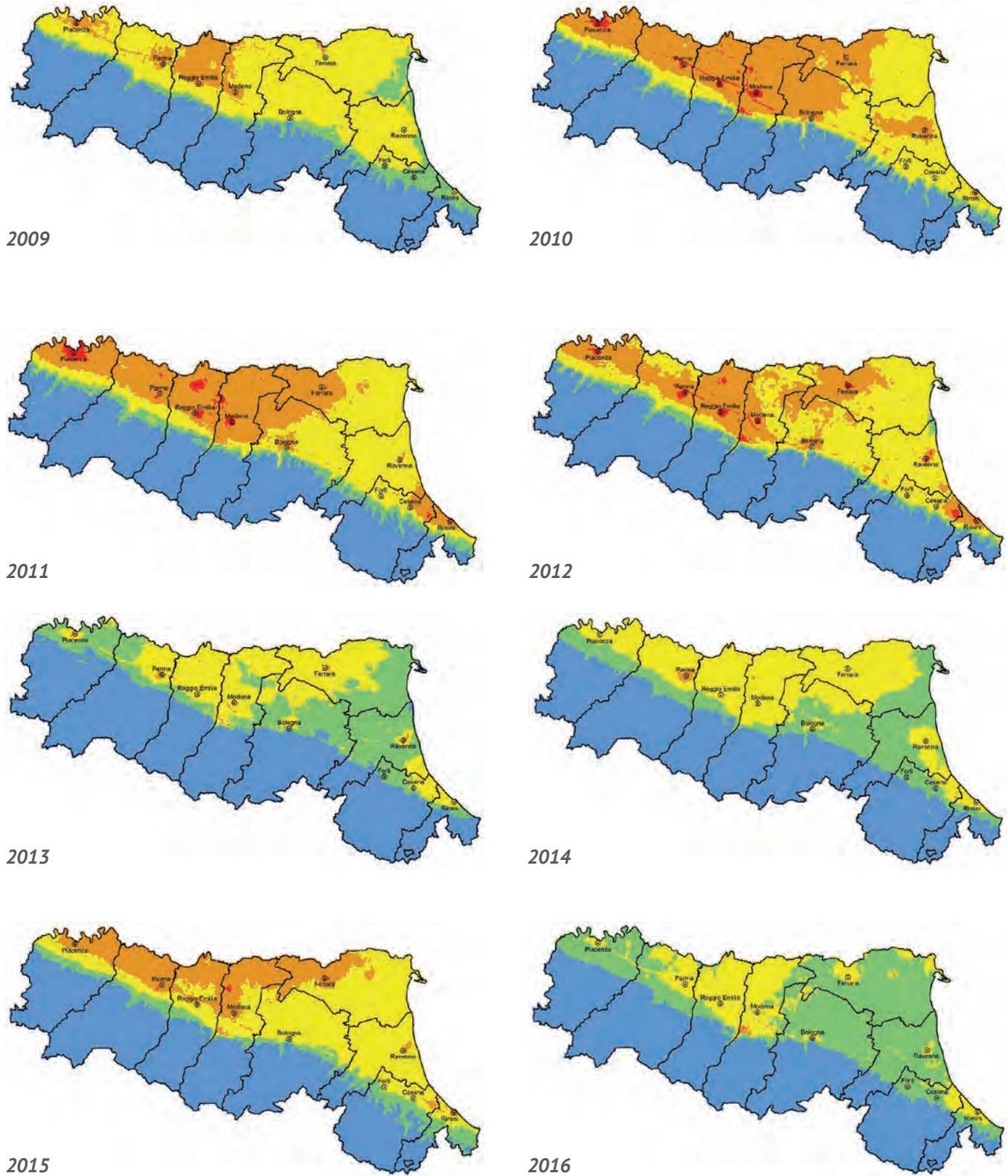


Dall'analisi della distribuzione territoriale della concentrazione media annuale di polveri (mappe 8a e 8b) si rileva una certa omogeneità a livello regionale, con situazioni di massima concentrazione generalmente localizzate attorno agli agglomerati urbani e industriali della zona ovest. Anche per quanto riguarda la distribuzione territoriale si osserva una marcata variabilità interannuale, derivante dalle diverse condizioni meteorologiche, come si

evidenzia dal confronto con la distribuzione territoriale del PM₁₀ nel 2013. In particolare, nel 2017 la distribuzione territoriale della concentrazione di fondo (media annuale) è risultata relativamente omogenea, con valori mediamente più elevati nella pianura ovest (30-40 µg/m³) rispetto alla pianura est e aree sub appenniniche (20-30 µg/m³) e zona appenninica (10-20 µg/m³).

MAPPA 9a

Stima della distribuzione territoriale del numero di superamenti del valore limite giornaliero di PM_{10} in Emilia-Romagna (2009-2016)

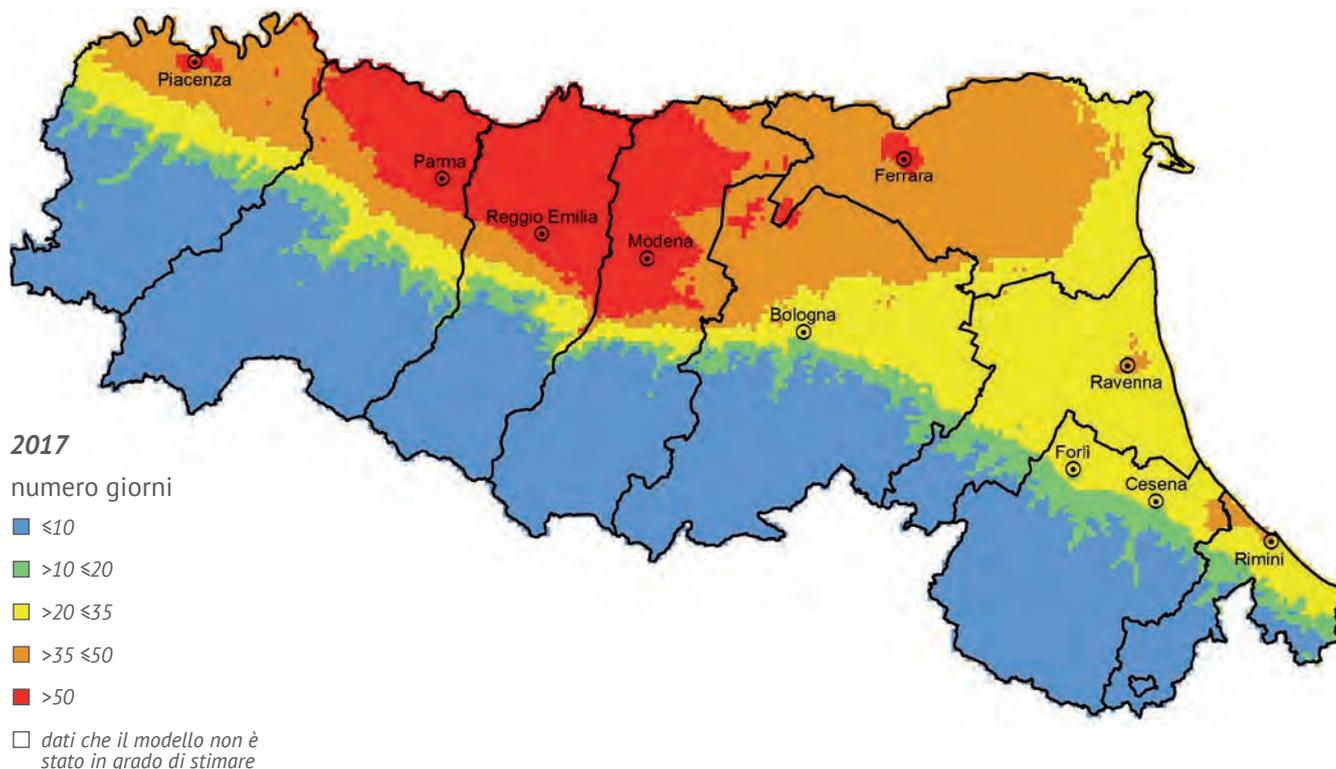


numero giorni

■ ≤10
 ■ >10 ≤20
 ■ >20 ≤35
 ■ >35 ≤50
 ■ >50
 □ dati che il modello non è stato in grado di stimare

MAPPA 9b

Stima della distribuzione territoriale del numero di superamenti del valore limite giornaliero di PM₁₀ in Emilia-Romagna (2017)



Nel 2017, il numero di giorni in cui la media giornaliera ha superato i 50 µg/m³ (mappa 9b) è risultato massimo nella pianura centrale (più di 50 superamenti dei valori di fondo). Negli allegati sono riportate le tabelle della concentrazione media annua e del numero di superamenti del valore limite giornaliero per ciascuna stazione della rete regionale, dal 2015 al 2017 (Allegato II pag. 130-131).

L'origine geografica dell'inquinamento da PM₁₀

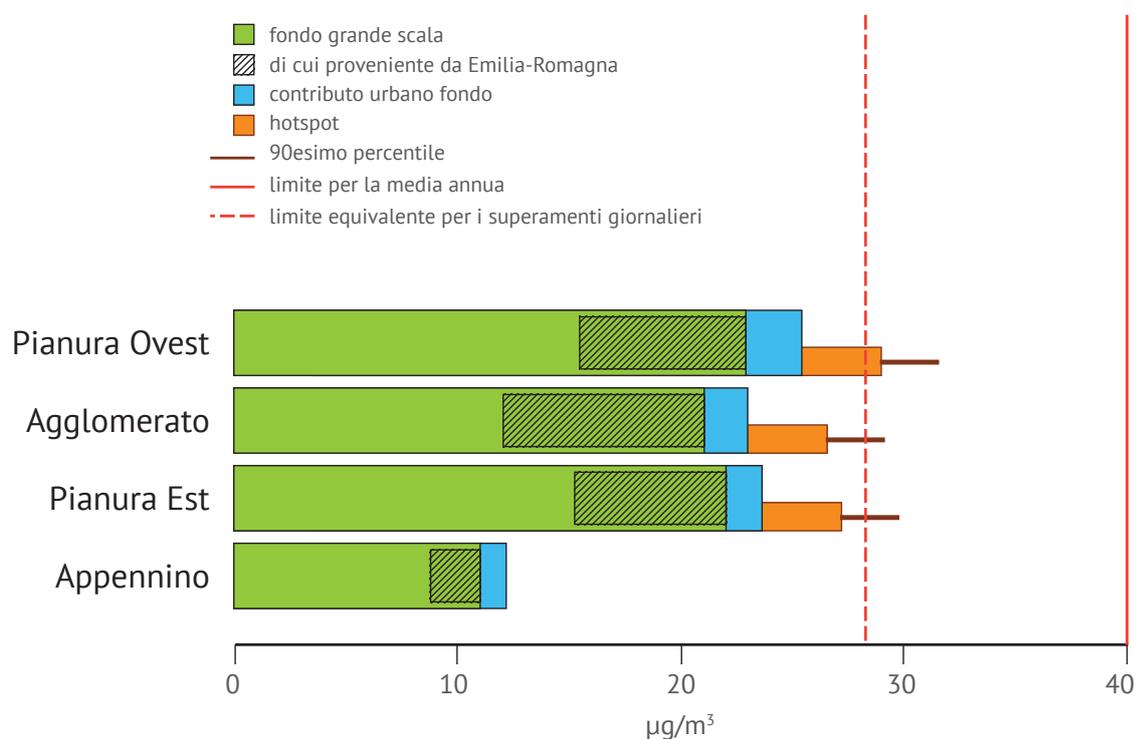
Una domanda molto frequente è: la responsabilità delle elevate concentrazioni di particolato misurate nella nostra regione è tutta nostra? Per rispondere a tale domanda Arpa ha valutato l'origine geografica dell'inquinamento, seguendo uno schema adottato in ambito europeo, la cui metodologia è riportata nella Guida alla consultazione. Per quanto riguarda il PM₁₀, si è fatto riferimento, oltre che alla soglia di legge per la media annuale (40 µg/m³), anche al Valore Limite Equivalente (VLE) di 28,3 µg/m³. L'analisi delle serie storiche osservate ha infatti evidenziato che se la media annuale è inferiore a tale valore, allora è probabile che venga rispettato anche il valore limite dei 35 superamenti della media

giornaliera; viceversa, laddove la media annua supera quella soglia, è probabile che non sia rispettato il limite sui superamenti giornalieri. Questo tipo di relazione tra media annuale e numero di superamenti, con valori limiti equivalenti del tutto simili, è stata confermata anche da valutazioni effettuate a scala europea (De Leew, 2012). I risultati di figura 10 (valutazione riferita all'anno 2016) mostrano che:

- la componente a grande scala (barre verdi) è decisamente preponderante e di tale componente la quota ascrivibile alle emissioni regionali (barre verdi tratteggiate) è circa un terzo nelle zone di pianura più vicine ai confini regionali, e quasi metà nell'agglomerato di Bologna;
- il contributo dovuto al fondo urbano (barre blu) incrementa la concentrazione media, ma non determina il superamento del valore limite giornaliero;
- il contributo dovuto alla componente locale (barre arancio) determina il superamento del valore limite giornaliero (barra verticale tratteggiata) nella sola pianura ovest; nelle rimanenti zone/agglomerati ci si attende di rimanere sotto i limiti in gran parte del territorio, a esclusione di alcune situazioni locali (95° percentile). Il valore limite

FIGURA 10

PM₁₀, ripartizione per aree geografiche dell'origine dell'inquinamento (valutazione riferita all'anno 2016)



annuale (linea verticale rossa continua) sarebbe rispettato su tutto il territorio. Questo risultato è in accordo con la mappa dei superamenti 2016 e dell'andamento pluriennale (figura boxplot dei superamenti).

Si nota come il 2016 rappresenta un anno caratterizzato da valori di concentrazione tra i minimi della serie pluriennale (figura 7 pag. 62), favoriti anche da condizioni meteorologiche relativamente favorevoli alla dispersione degli inquinanti (figura 3 pag. 33 "Andamento giorni favorevoli all'accumulo di PM₁₀").

La concentrazione media di fondo di PM₁₀ in Emilia-Romagna dipende, quindi, in buona parte dall'inquinamento a grande scala tipico della Pianura Padana. In altre parole le azioni di riduzione delle emissioni inquinanti applicate sul solo territorio dell'Emilia-Romagna, anche se fondamentali per ridurre i livelli di PM₁₀ nelle nostre città, possono agire solo in parte sul fondo a grande scala, rendendo indispensabile, per il rispetto dei limiti di qualità dell'aria, l'individuazione di azioni coordinate tra le varie Regioni del Bacino Padano, che portino a una riduzione complessiva delle emissioni inquinanti.

Ripartizione per fonti dell'inquinamento da PM₁₀: quali sono le attività umane che maggiormente contribuiscono all'inquinamento da PM₁₀?

Se ci si chiede quali siano le attività umane che maggiormente contribuiscono all'inquinamento atmosferico, la fonte principale di informazione sono gli inventari delle emissioni; tuttavia, azzardare una graduatoria dell'importanza dei settori emissivi, basandosi solo sugli inventari, porta in certi casi a un quadro parziale e distorto.

Ad esempio nel caso del materiale particolato (PM) le concentrazioni presenti in atmosfera dipendono sia dalle emissioni dirette di PM in quanto tale (PM primario), sia dalla formazione di particolato a partire da gas precursori, in seguito a trasformazioni fisico-chimiche in atmosfera (PM secondario). In questo caso dunque, un'analisi basata esclusivamente sulle emissioni darebbe la massima importanza a quelle attività che emettono PM primario (per esempio, la combustione di legna), trascurando settori cruciali per le elevate emissioni di precursori chimici (come l'ammoniaca degli allevamenti o gli ossidi di azoto dei trasporti).

Per colmare tale lacuna informativa occorre conoscere le complesse dinamiche dell'atmosfera. Utilizzando i modelli fotochimici siamo in grado di valutare sia la diffusione e la dispersione, sia la formazione degli inquinanti secondari, a partire dalle trasformazioni dei precursori. È così possibile stimare le concentrazioni su tutto il territorio, tenendo conto sia del PM primario, sia di quello secondario,

e quantificare gli effetti sull'inquinamento delle variazioni nel contributo emissivo dei vari settori. Tuttavia, pur guadagnando in accuratezza e completezza, l'informazione perde così l'efficacia della sintesi.

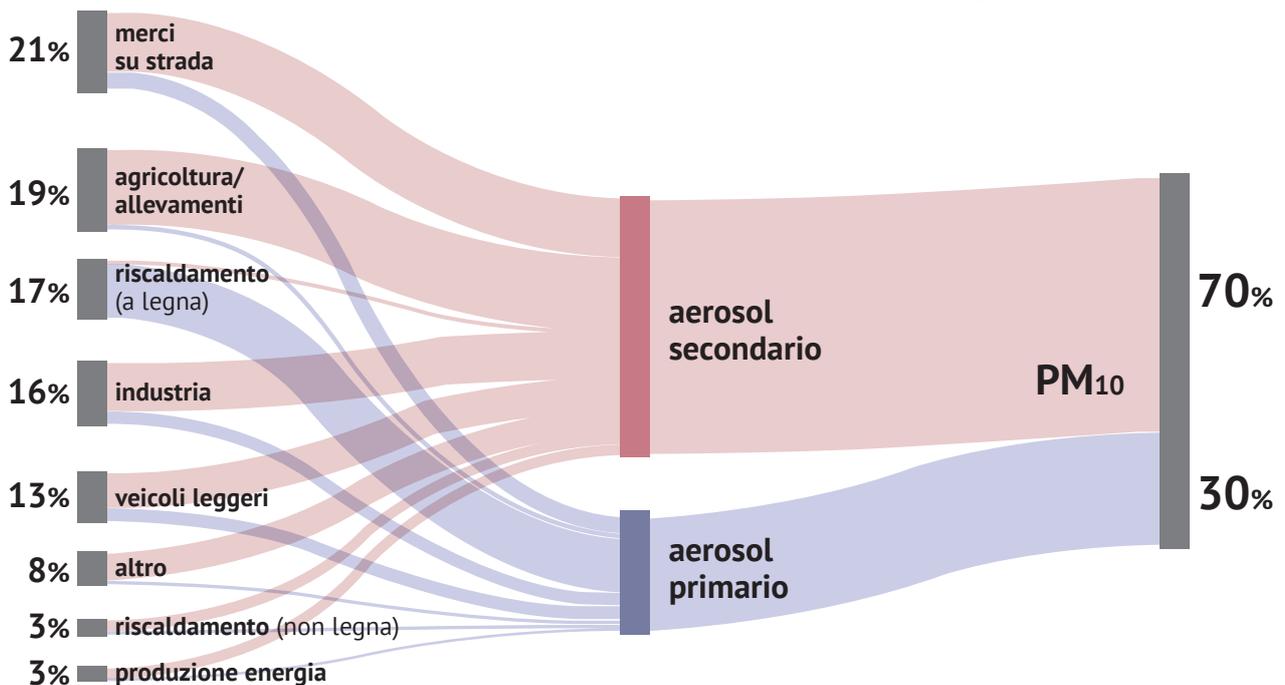
Per provare a rispondere con efficacia e semplicità alla domanda "quali sono le attività umane che maggiormente contribuiscono all'inquinamento da PM₁₀?" ci siamo ispirati al lavoro di De Leeuw (2002) e di Johnsson (2003), stimando, per ciascuno dei principali precursori del PM₁₀, quale sia il suo contributo alla formazione di PM₁₀; abbiamo così potuto esprimere tutte le emissioni in tonnellate di PM₁₀ equivalenti, in modo da rendere commensurabili le emissioni dei precursori con quelle del PM₁₀ stesso, in analogia con quanto già si fa per le emissioni di gas clima-alteranti, le quali sono espresse tutte in "tonnellate di CO₂ equivalenti". In questo modo possiamo approssimare la dinamica del PM₁₀ come un flusso continuo emissione-trasformazione-concentrazione, nel quale i PM₁₀ equivalenti si conservano.

Mentre, però, per i gas clima-alteranti c'è un consenso unanime su come valutare le emissioni equivalenti, per i precursori del PM₁₀, a causa delle complesse reazioni chimico-fisiche che portano alla formazione del particolato e delle differenti scale spaziali di interesse regionale o sovranazionale, i metodi di stima possono variare; non esiste uno standard universale.

La metodologia è stata adattata all'Emilia-Romagna, utilizzando le simulazioni modellistiche riferite all'anno 2016, ottenute da NINFA, il sistema modellistico in uso in Arpa, e le emissioni regionali riferite all'anno 2013.

FIGURA 11

Emissioni di "PM₁₀ equivalente" in Emilia-Romagna. La larghezza della banda è proporzionale al "PM₁₀ equivalente"



Questa valutazione aggiorna la precedente, pubblicata sulla rivista *Ecoscienza* e riferita al 2010 (*Ecoscienza*, 2017). I risultati mostrano che circa il 70% del PM_{10} antropogenico è di origine secondaria (vedi figura 11), risultato in accordo con i dati sperimentali (si veda il paragrafo “Le trasformazioni chimiche”), mentre il PM_{10} primario contribuisce solo al 30% del PM_{10} antropogenico. Allargando, quindi, lo sguardo al PM_{10} complessivo (primario+secondario) e utilizzando una metodologia di questo tipo, che integra l’inventario delle emissioni con le stime modellistiche effettuate con modelli fotochimici, si modifica in modo significativo la classifica dei settori emissivi più impattanti in termini di PM_{10} , rispetto a quella ottenuta limitando l’analisi esclusivamente all’inventario delle emissioni: il traffico merci, dovuto essenzialmente ai veicoli diesel, raggiunge il primo posto in classifica con il 21%, pur contribuendo solo al 13% del PM_{10} primario; le pratiche agricole contribuiscono in maniera quasi trascurabile al PM_{10} primario (circa il 3%) e molto a quello secondario (26%), risultando nel complesso il secondo fattore di pressione per importanza, attestandosi circa al 19%; al contrario il riscaldamento domestico a legna, che è il principale produttore di PM_{10} primario (circa il 52%), scende complessivamente al 17%; il contributo degli altri autoveicoli si ferma al quinto, dietro ad agricoltura, riscaldamento domestico a legna e industria.

PM_{2,5}

Lo stato e i trend della concentrazione del PM_{2,5}

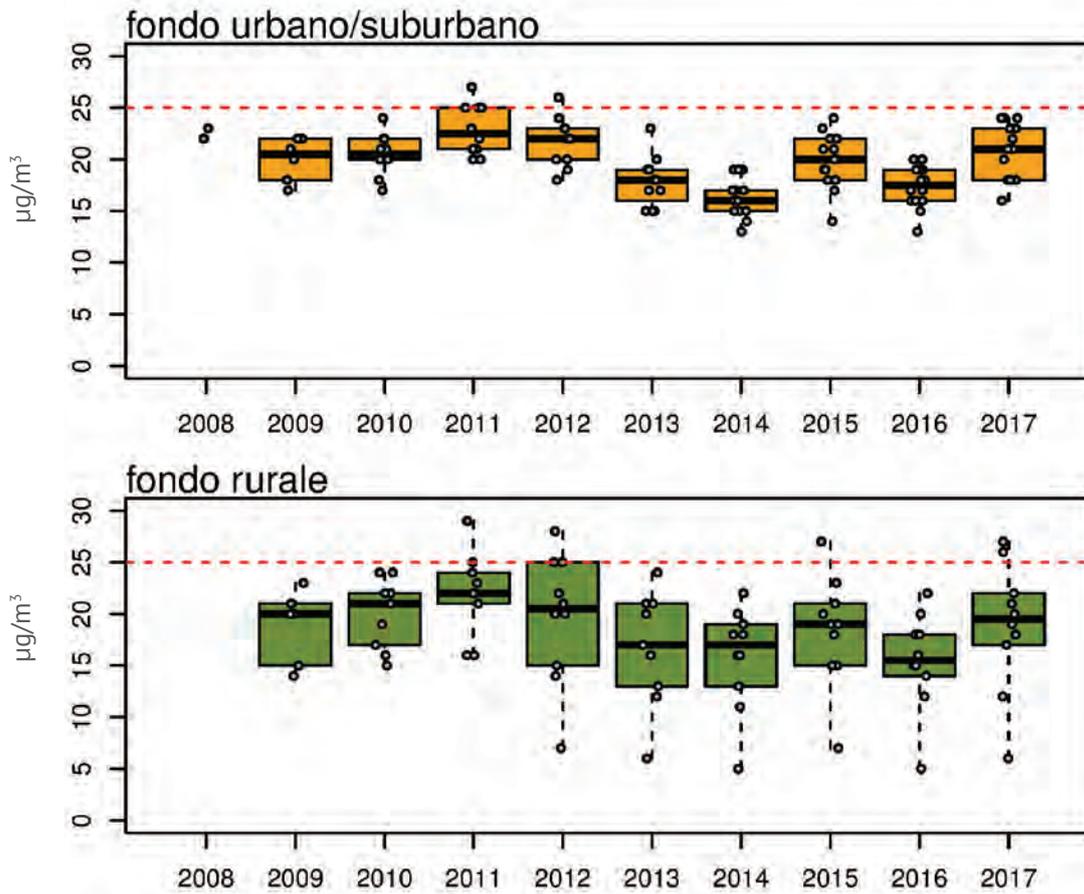
In figura 12 è rappresentato, come box plot, l’andamento della media annuale delle concentrazioni di $PM_{2,5}$ rilevate, dal 2008 al 2017, dalle stazioni facenti parte della rete regionale di monitoraggio della qualità dell’aria. Dall’analisi dei dati si rileva come il valore limite della concentrazione media annuale per il $PM_{2,5}$ sia stato superato solo sporadicamente in alcune stazioni di fondo rurale nel 2011, 2012, 2015 e 2017. L’andamento decennale non evidenzia particolari variazioni nella concentrazione di questo inquinante. Inoltre, in conseguenza della sua natura prevalentemente secondaria, la concentrazione di $PM_{2,5}$ risulta pressoché uniforme sul territorio regionale, con valori simili nelle stazioni di traffico e di fondo. Le situazioni di massima concentrazione sono generalmente localizzate nella pianura occidentale e orientale, e non interessano l’agglomerato di Bologna, probabilmente per effetto della sua collocazione geografica che lo porta a risentire meno della componente di fondo a larga scala.



FIGURA 12

Andamento della concentrazione media annuale di $PM_{2,5}$, dal 2008 al 2017

Tutte le stazioni regionali, per tipologia



Nota: La linea rossa indica il valore limite annuale ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ entrato in vigore a partire dal 2015; negli anni precedenti il valore limite era incrementato del 20% per ciascun anno). I valori rilevati ogni anno dalle stazioni di traffico, in alto, di fondo urbano e suburbano, al centro, e di fondo rurale, in basso, sono rappresentati come boxplot. Ciascun box è centrato sulla mediana e rappresenta il 25° e 75° percentile dei valori medi annuali. Le linee verticali rappresentano il massimo e minimo. I punti contenuti in ciascun box forniscono una indicazione del numero e del valore dei dati che formano la distribuzione rappresentata dal box

In figura 13 è riportato il risultato dell'analisi del trend, espresso tramite box plot. L'analisi è stata effettuata utilizzando i dati delle stazioni di monitoraggio del periodo 2008-2017.

Il trend descrive, in modo sintetico e in forma aggregata per tipologia di stazione, la qualità dell'aria in regione, per valutarne la tendenza sul lungo periodo attraverso il metodo di analisi statistica di Theil-Sen.

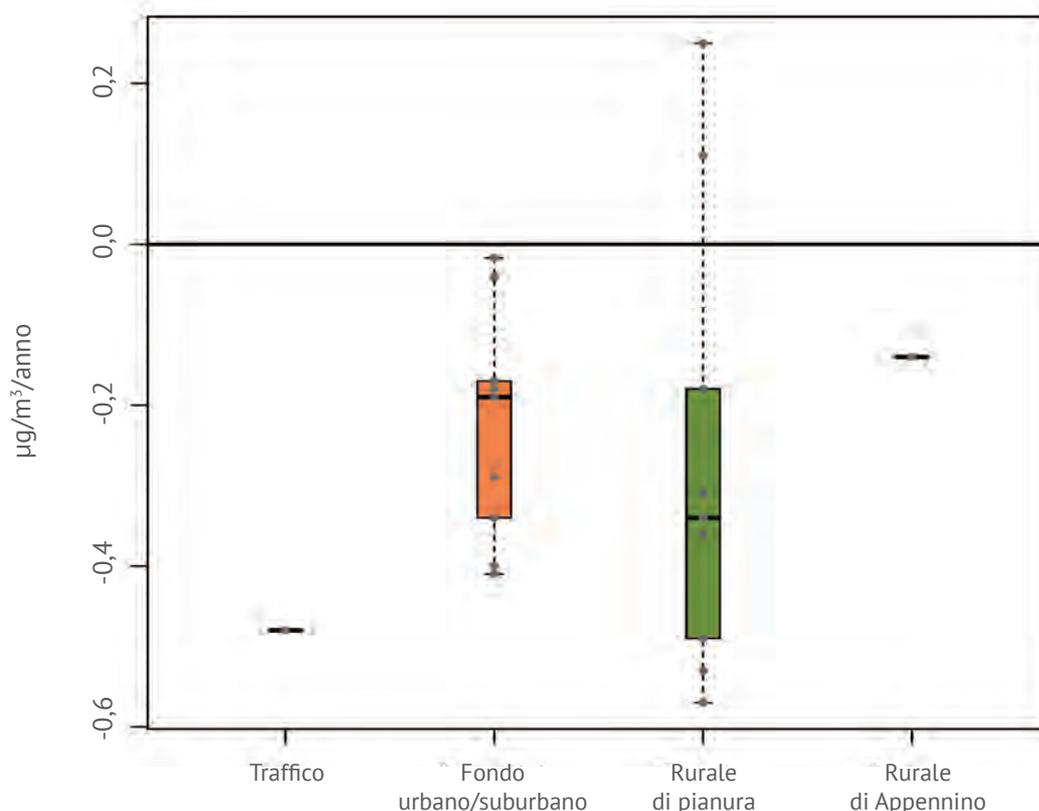
Il $PM_{2,5}$ mostra un trend medio in lieve calo, sia nelle aree di fondo che in aree rurali di pianura, anche se in queste ultime la distribuzione del trend è molto ampia.

Dato lo scarso numero di stazioni di traffico e di fondo rurale in Appennino analizzate, non è possibile avere una panoramica completa su tutto il territorio per generalizzare il risultato. Castelluccio è l'unica stazione rurale nell'Appennino, il cui valore del trend corrisponde a $-0,14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ all'anno; Porta San Felice è la sola stazione da traffico con trend di $-0,48 \mu\text{g}/\text{m}^3$ all'anno.

Per un'analisi del trend per singola stazione si rimanda ai risultati rappresentati mediante il grafico riportato nell'Allegato III pag. 139.

FIGURA 13

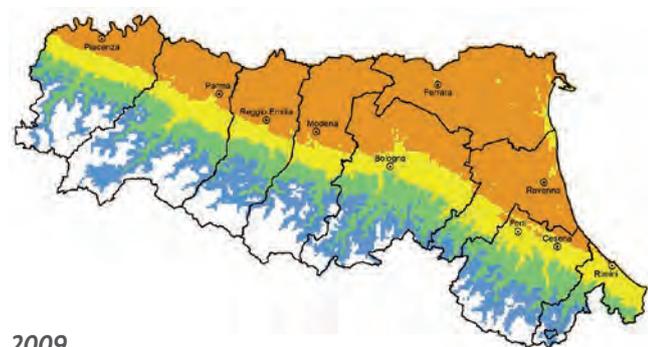
Distribuzione del tasso di variazione annuale (trend) di $PM_{2,5}$ per tipologia di stazione (2008-2017)



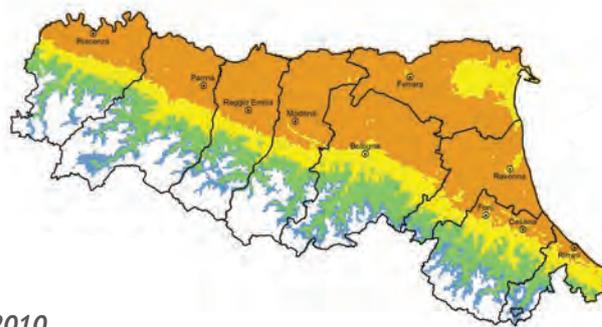
Nota: I valori risultanti dallo studio del trend sui dati rilevati dalle stazioni di misura sono rappresentati come boxplot, suddivisi per tipologia di stazione. Ciascun box è centrato sulla mediana e rappresenta il 25° e 75° percentile dei valori medi annuali. Le linee verticali rappresentano il massimo e il minimo. La distanza tra 25° e 75° percentile è una misura della dispersione della distribuzione. Il 50% delle osservazioni si trovano comprese tra questi due valori. Se l'intervallo è piccolo, questa metà delle osservazioni si trova fortemente concentrata intorno alla mediana; all'aumentare della distanza aumenta la dispersione delle osservazioni centrali intorno alla mediana. I punti contenuti in ciascun box forniscono una indicazione del numero e del valore dei dati che formano la distribuzione rappresentata dal box

MAPPA 10a

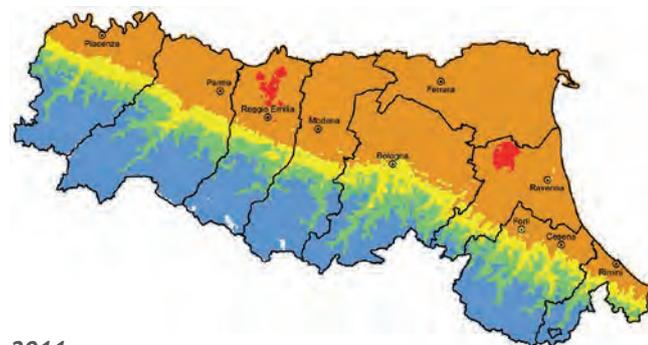
Stima della distribuzione territoriale della concentrazione media annuale di fondo di PM_{2,5} in Emilia-Romagna (2009-2016)



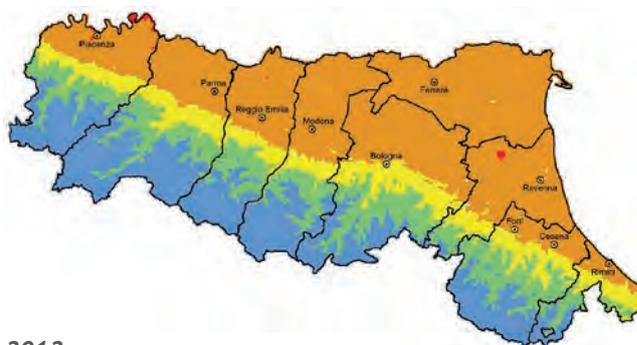
2009



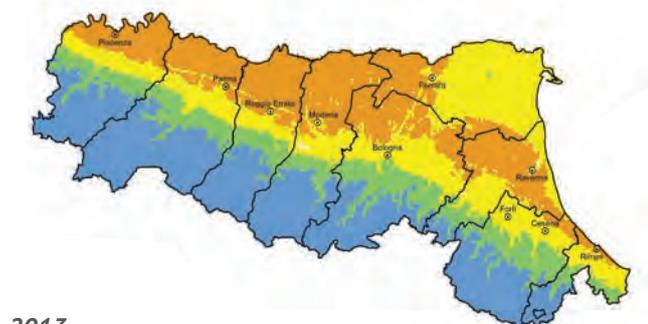
2010



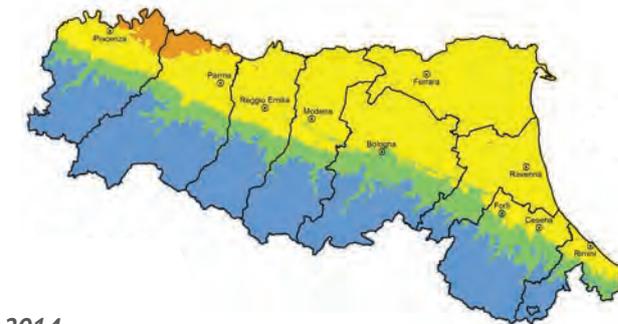
2011



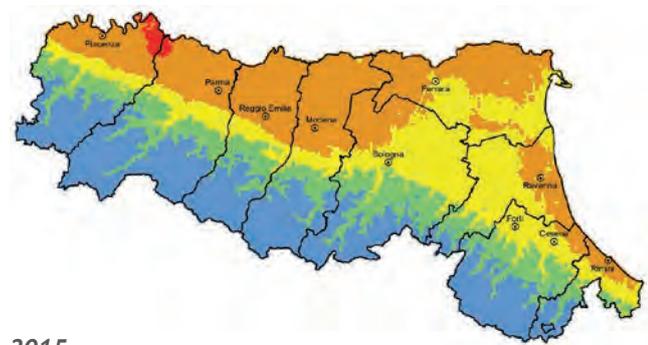
2012



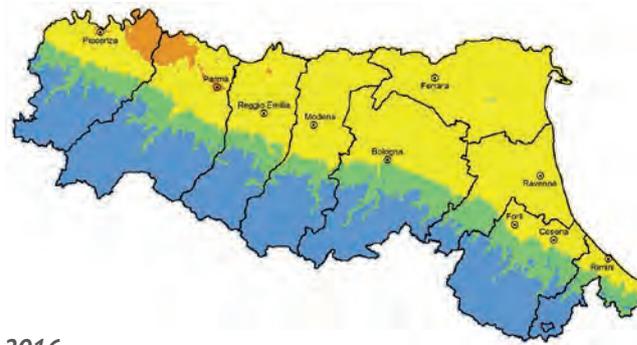
2013



2014



2015



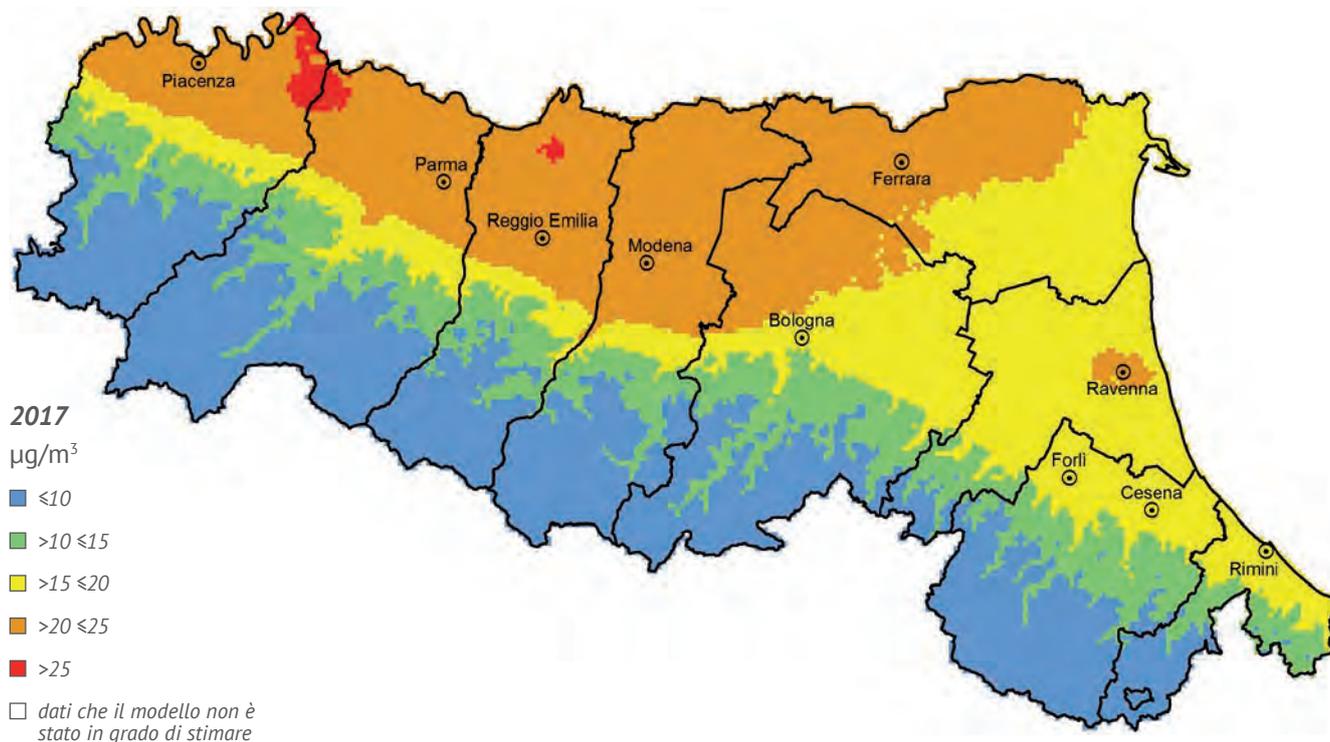
2016

µg/m³

■ ≤10
 ■ >10 ≤15
 ■ >15 ≤20
 ■ >20 ≤25
 ■ >25
 □ dati che il modello non è stato in grado di stimare

MAPPA 10b

Stima della distribuzione territoriale della concentrazione media annuale di fondo di $PM_{2,5}$ in Emilia-Romagna (2017)



Anche per quanto riguarda la distribuzione territoriale si osserva una certa variabilità interannuale, in dipendenza delle condizioni meteorologiche, come si evidenzia dal confronto fra le mappe (mappe 10a e 10b) riferite al periodo considerato (2009-2017). Nel 2017, la distribuzione territoriale della concentrazione di fondo (media annuale) è risultata relativamente omogenea, con valori

mediamente più elevati nella pianura in prossimità del Po ($20-25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) rispetto alla pianura orientale, costiera e aree sub appenniniche ($15-20 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e zona appenninica (meno di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Negli allegati è riportata la tabella della concentrazione media annua per ciascuna stazione della rete regionale, dal 2015 al 2017 (Allegato II pag. 132).

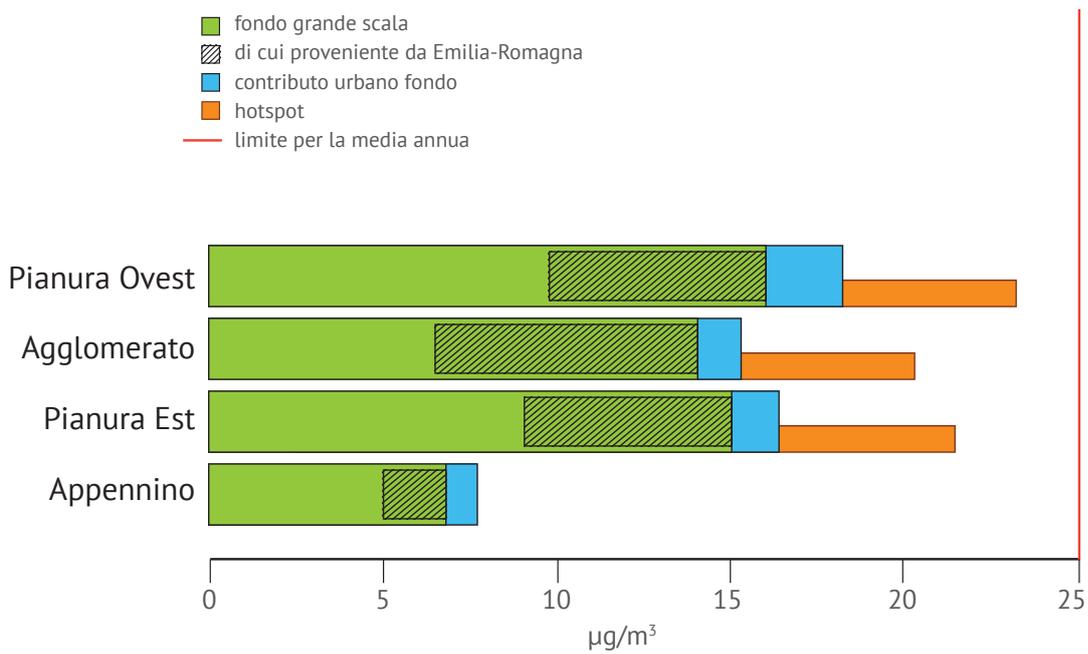
L'origine geografica dell'inquinamento da PM_{2,5}

Per quanto riguarda il PM_{2,5}, la stima dell'origine geografica dell'inquinamento (figura 14) mostra la predominanza della componente attribuibile al fondo a grande scala (barre verdi) e un contributo meno rilevante da parte delle componenti di fondo urbano (barre blu) e

locale (barre arancio), conseguenza dell'origine in gran parte secondaria di questo inquinante, come è anche confermato dall'analisi delle concentrazioni misurate dalla rete di monitoraggio, che evidenzia concentrazioni medie annuali di PM_{2,5} relativamente uniformi sul territorio regionale, con valori del tutto simili nelle stazioni di traffico e di fondo.

FIGURA 14

PM_{2,5}, ripartizione per aree geografiche dell'origine dell'inquinamento (valutazione riferita all'anno 2016)



L'OZONO

I VALORI DI RIFERIMENTO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA PER L'OZONO

I valori di riferimento della qualità dell'aria per la protezione della salute e della vegetazione per l'ozono sono mostrati nella tabella 4. Per la protezione della salute umana è prevista una soglia giornaliera data dal massimo giornaliero della media mobile su 8 ore ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$), soglia da non superare più di 25 volte come media su 3 anni nel caso del valore obiettivo, da non superare mai invece nel caso dell'obiettivo a lungo termine, calcolato su 1 anno civile. Per la protezione della salute umana esistono anche altri due tipi di soglie: la soglia di informazione e la soglia di allarme. Con il superamento della soglia di informazione e della soglia di allarme è obbligo dare tempestiva informazione dei superamenti al pubblico mediante opportuni mezzi di comunicazione, dando indicazioni dettagliate sull'evento e anche informazioni sui settori colpiti della popolazione e sui possibili effetti sulla salute, nonché sulla condotta raccomandata. In regione il superamento della soglia di allarme per tre ore consecutive non si è verificato. Gli standard di qualità dell'aria per l'ozono includono

anche indici per la protezione della vegetazione. La modalità di azione dell'ozono sulle piante si esplica mediante una serie di processi biochimici e fisiologici che portano ad alterazioni nel metabolismo delle piante. Gli effetti indotti dall'ozono sono cumulativi, e comportano la riduzione netta del processo di fotosintesi, cambiamenti nell'allocatione dei carboidrati e la senescenza precoce delle foglie, con conseguente riduzione della formazione di biomassa e della resa colturale. Più la pianta assorbe ozono e maggiore è la riduzione della produzione di biomassa e della resa. Dato l'effetto cumulativo dovuto a esposizione all'ozono, a livello europeo, per misurare gli effetti dell'ozono sulla vegetazione, è stato implementato un indice che valuta appunto l'esposizione cumulata al di sopra di una soglia. Tale soglia è stata fissata a 40 parti per miliardo ($40 \text{ ppb} = 80 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ed è stata scelta sulla base di studi condotti in Europa. L'indice viene indicato con il termine AOT40, ed è calcolato come la somma delle eccedenze orarie del valore di 40 ppb, nel periodo in cui gli stomi sono aperti, e cioè durante il periodo della crescita (maggio-luglio per la vegetazione o aprile-settembre per le foreste) nelle ore diurne del giorno (tra le 8.00 e le 20.00), quando, quindi, l'esposizione è maggiore.



TABELLA 4

Limiti normativi, valori obiettivo e altri obiettivi ambientali per l'O₃ (DLgs 155/2010)

| Inquinante | Target di protezione | Obiettivo ambientale | Periodo di mediazione | Metrica dell'obiettivo ambientale | Valore numerico dell'obiettivo ambientale |
|----------------|----------------------|---------------------------|---|---|---|
| O ₃ | Salute | Valore obiettivo | Massimo giornaliero media mobile su 8 ore | Giorni in cui il massimo della media mobile su 8 ore eccede il valore obiettivo (120 µg/m ³), come media sui 3 anni | 25 giorni |
| | | Obiettivo a lungo termine | Massimo giornaliero media mobile su 8 ore | Giorni in cui il massimo della media mobile su 8 ore eccede il valore obiettivo (120 µg/m ³), nell'anno civile | 0 giorni |
| | | Soglia di informazione | Ora | Ore in eccedenza nell'anno civile rispetto alla soglia di informazione (180 µg/m ³) | 0 ore |
| | | Soglia di allarme | Ora | Ore in eccedenza nell'anno civile rispetto alla soglia di allarme (240 µg/m ³) | 0 ore |
| | Vegetazione | Valore obiettivo | 1 maggio – 31 luglio | AOT40 come media sui 5 anni | 18.000 µg/m ³ |
| | | Obiettivo a lungo termine | 1 maggio – 31 luglio | AOT40 come media su 1 anno | 6.000 µg/m ³ |

LO STATO E I TREND DELLA CONCENTRAZIONE DELL'OZONO

Questo inquinante, tipico del periodo estivo, assume i valori di concentrazione più elevati nelle estati più calde.

Le figure seguenti mostrano l'andamento dal 2008 al 2017 rispettivamente:

1. del valore obiettivo per la protezione della vegetazione (AOT40, espresso in $\mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{ora}$) (figura 15);
2. del numero di giorni in cui il massimo della media mobile su 8 ore eccede il valore obiettivo a lungo termine ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) nell'anno civile, da non superare mai (figura 16);
3. del numero di superamenti della soglia di informazione della popolazione ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$), come media oraria (figura 17).

I valori di questi indicatori sono stati calcolati sulla base dei dati orari di concentrazione rilevati dalle stazioni facenti parte della rete regionale. Viene poi riportato il risultato dell'analisi del trend per questo inquinante. L'analisi è stata effettuata utilizzando i dati delle stazioni di monitoraggio del solo

periodo estivo, nell'intervallo di tempo 2006-2017. Il trend describe, in modo sintetico e in forma aggregata per tipologia di stazione, la qualità dell'aria in regione per valutarne la tendenza sul lungo periodo attraverso il metodo di Theil-Sen.

Vengono, infine, riportate le mappe della distribuzione territoriale del numero di superamenti dell'obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana.

L'obiettivo a lungo termine AOT40 per la protezione della vegetazione risulta ampiamente al di sopra del valore di riferimento ($6.000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$) in tutte le stazioni della regione (figura 15). I valori tendono a rimanere costanti nelle stazioni di fondo rurale, mentre sembrano presentare una tendenza all'aumento nelle stazioni di fondo urbano e suburbano.

L'obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana dall'ozono troposferico viene sistematicamente superato ogni anno su gran parte del territorio regionale (figura 16).

La serie storica del numero di superamenti della soglia di informazione alla popolazione (concentrazione media oraria uguale a $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$) non mostra tendenze evidenti su scala regionale (figura 17).

Le variazioni interannuali appaiono condizionate dall'andamento meteorologico, con massimi nelle estati più calde (figura 4 pag. 33).

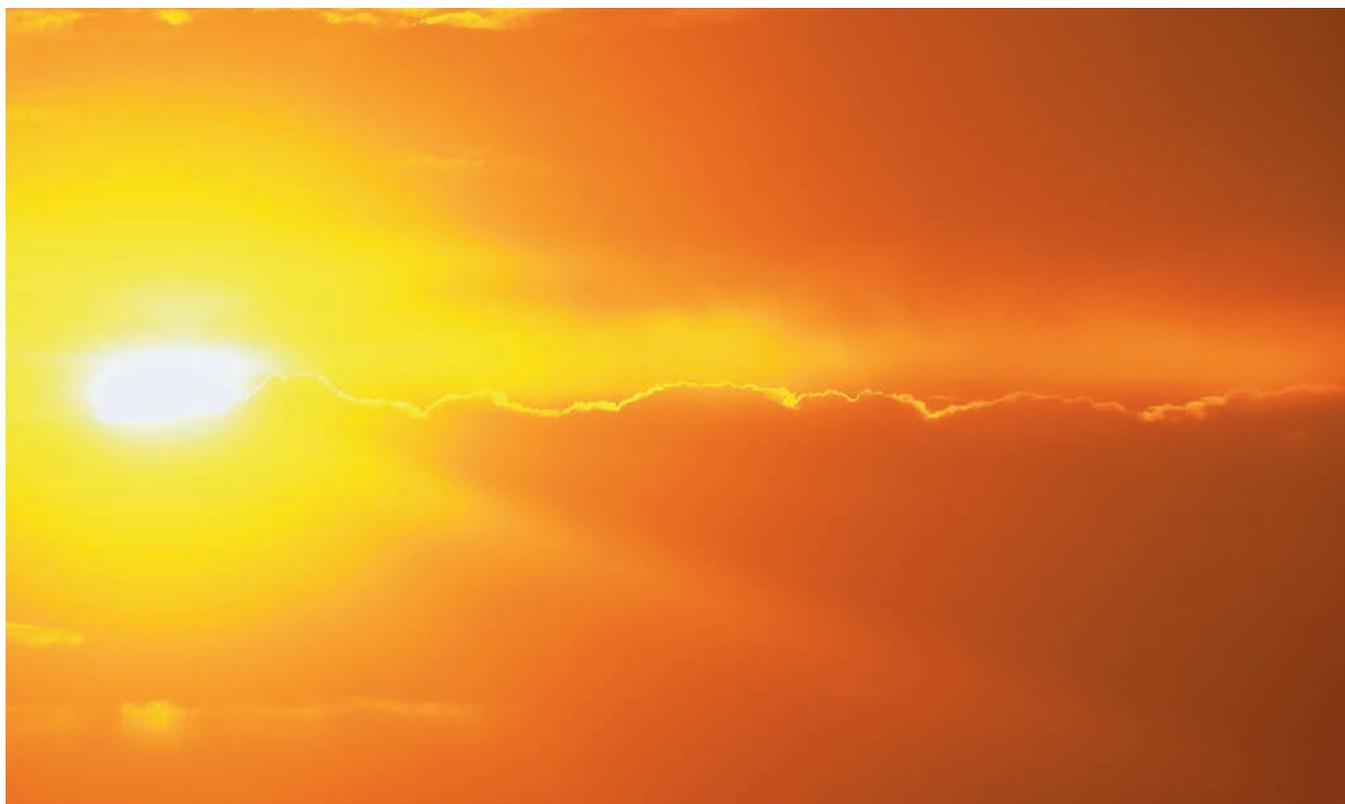
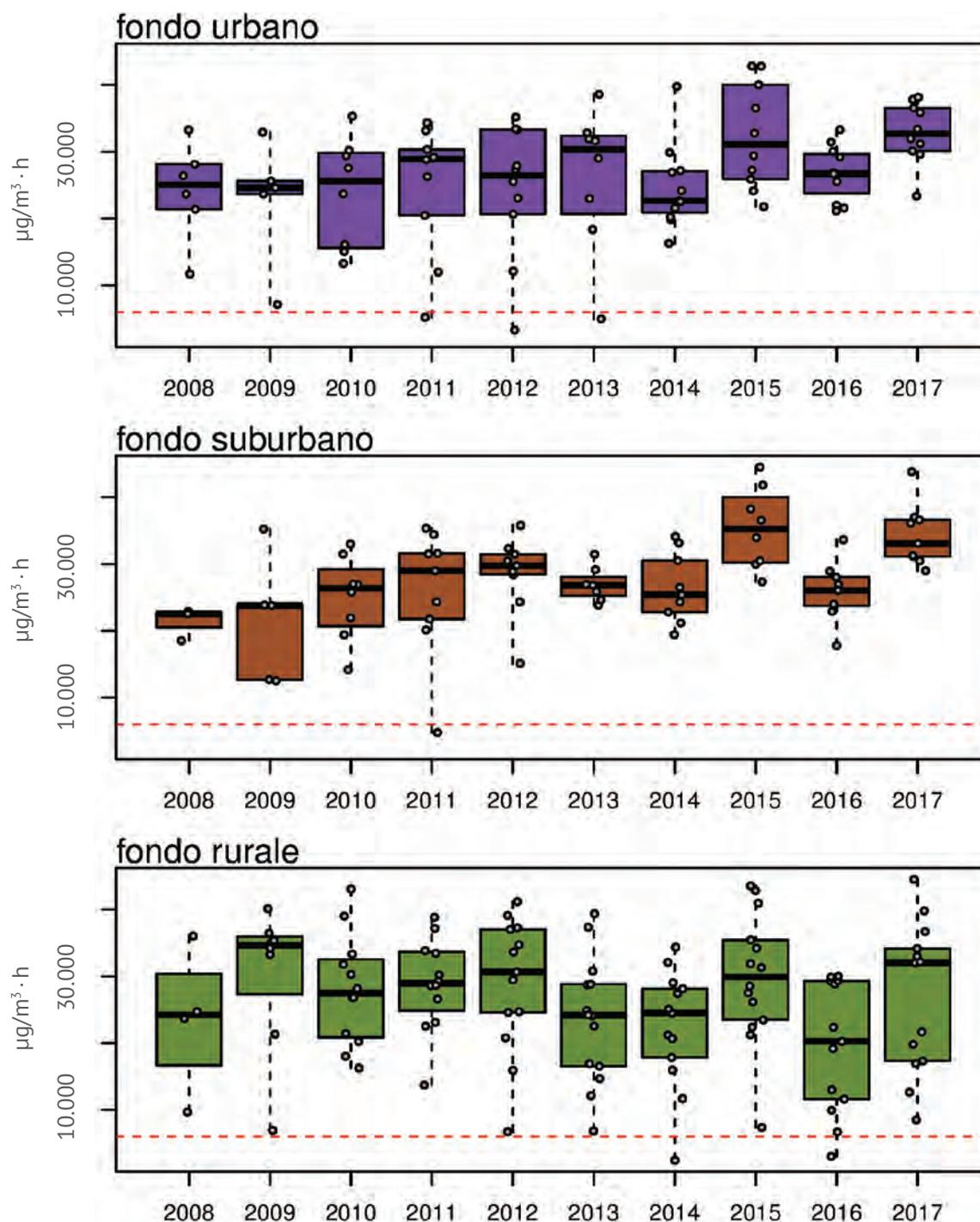


FIGURA 15

Andamento delle concentrazioni AOT40 per l'obiettivo a lungo termine relativo alla protezione della vegetazione per l'ozono, dal 2008 al 2017. Tutte le stazioni regionali, per tipologia

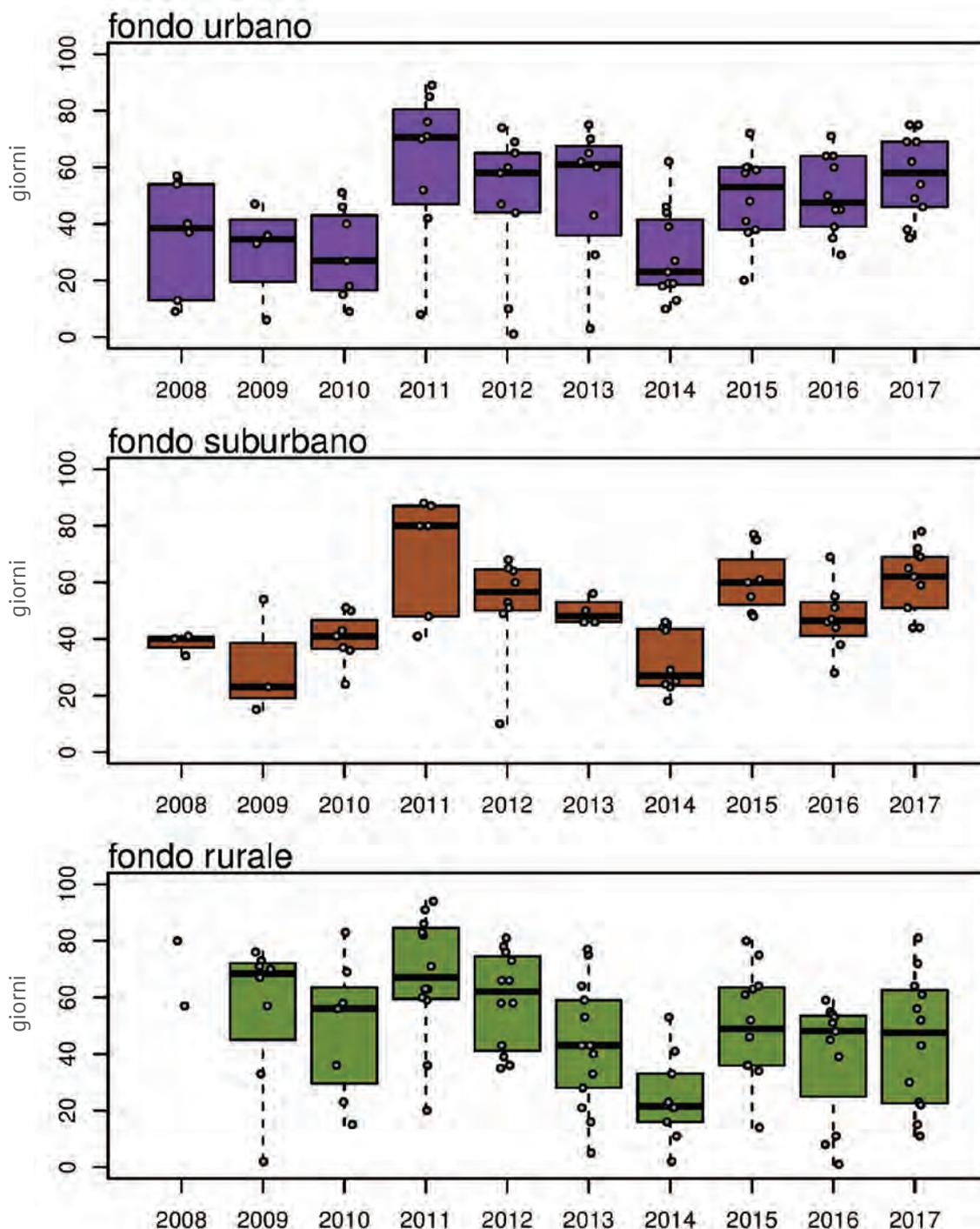


Nota: La linea rossa indica il valore dell'obiettivo a lungo termine ($6.000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$). I valori rilevati ogni anno dalle stazioni di fondo urbano (stazioni in alto), suburbano (stazioni a metà) e rurale (stazioni in basso) sono rappresentati come boxplot. Ciascun box è centrato sulla mediana e rappresenta il 25° e 75° percentile dei valori medi annuali. Le linee verticali rappresentano il massimo e minimo. I punti contenuti in ciascun box forniscono una indicazione del numero e del valore dei dati che formano la distribuzione rappresentata dal box

FIGURA 16

Andamento del numero di superamenti dell'obiettivo a lungo termine per la protezione della salute per l'ozono (massimo giornaliero media mobile su 8 ore), dal 2008 al 2017

Tutte le stazioni regionali, per tipologia

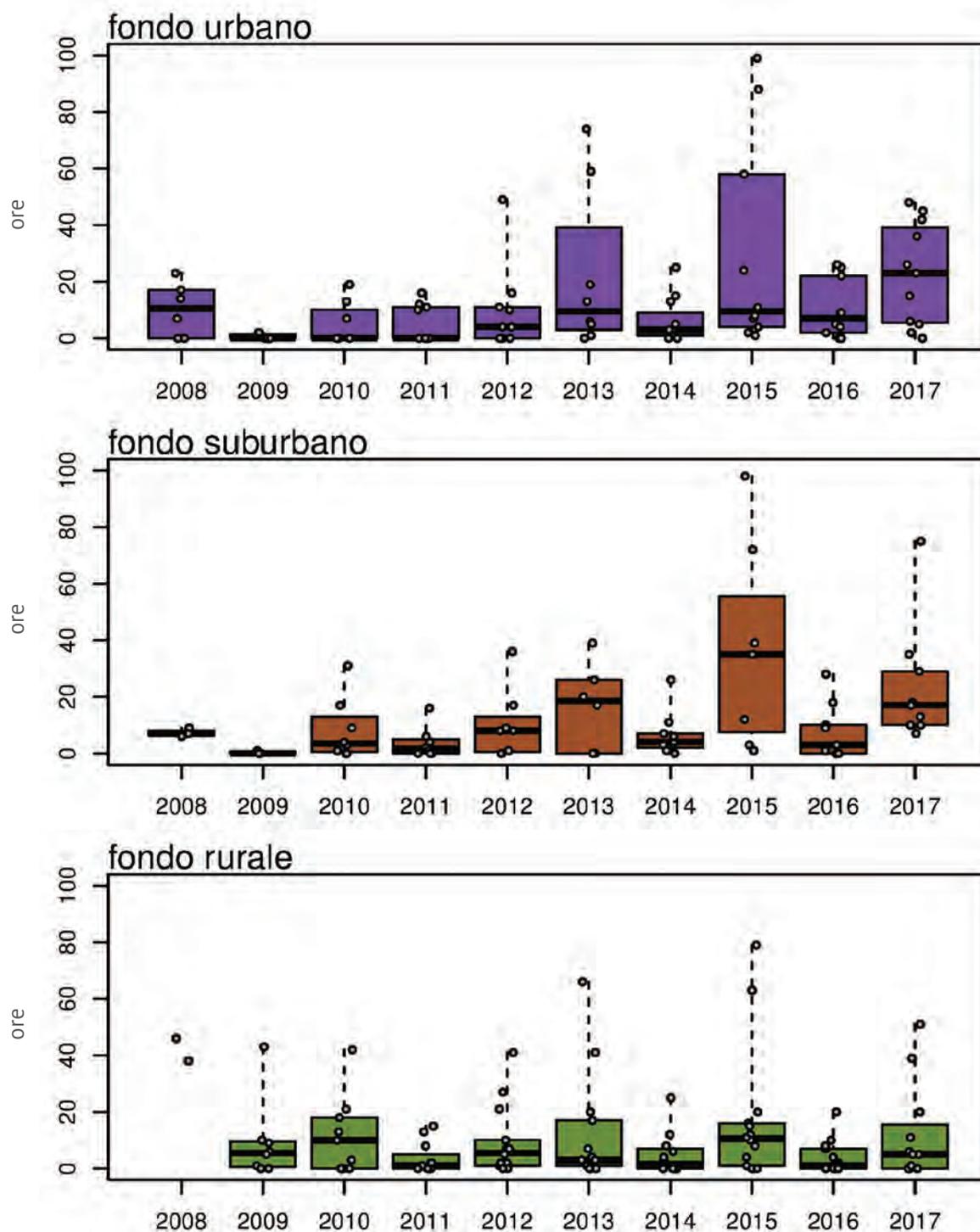


Nota: I valori rilevati ogni anno dalle stazioni di fondo urbano (stazioni in alto), suburbano (stazioni a metà) e rurale (stazioni in basso) sono rappresentati come boxplot. Ciascun box è centrato sulla mediana e rappresenta il 25° e 75° percentile dei valori medi annuali. Le linee verticali rappresentano il massimo e minimo. I punti contenuti in ciascun box forniscono una indicazione del numero e del valore dei dati che formano la distribuzione rappresentata dal box

FIGURA 17

Andamento del numero di superamenti (ore) della soglia di informazione dell'ozono, dal 2008 al 2017

Tutte le stazioni regionali, per tipologia



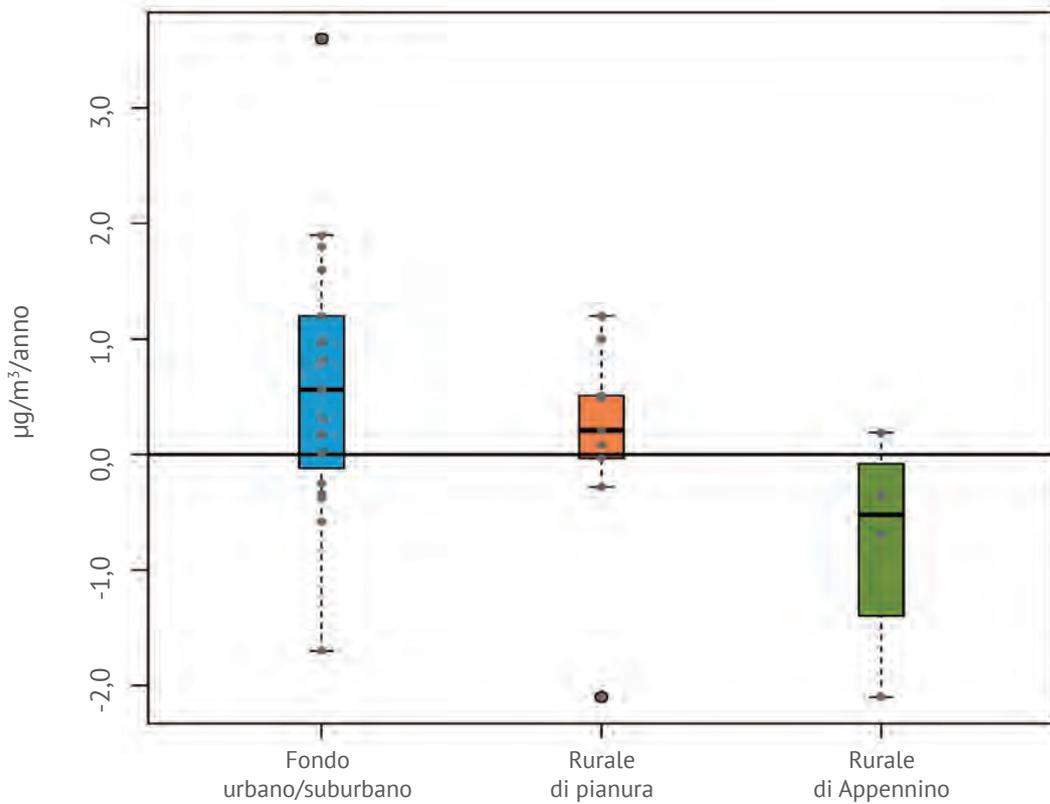
Nota: I valori rilevati ogni anno dalle stazioni di fondo urbano (stazioni in alto), suburbano (stazioni a metà) e rurale (stazioni in basso) sono rappresentati come boxplot. Ciascun box è centrato sulla mediana e rappresenta il 25° e 75° percentile dei valori medi annuali. Le linee verticali rappresentano il massimo e minimo. I punti contenuti in ciascun box forniscono una indicazione del numero e del valore dei dati che formano la distribuzione rappresentata dal box

Dall'analisi del trend non si evidenzia con chiarezza alcun tipo di tendenza, né in diminuzione, né in crescita, per l'ozono. I risultati aggregati per tipologia di stazione (figura 18) individuano valori medi del trend di +0,56 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{anno}$ per le stazioni di fondo urbano e suburbano, di +0,21 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{anno}$ per le stazioni rurali di pianura e di -0,52 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{anno}$ per quelle rurali di Appennino. Nonostante ciò si osserva una grande variabilità nelle distribuzioni dei trend, in particolare per il gruppo delle stazioni di fondo

urbano e suburbano, che non permette di sbilanciarsi in merito all'individuazione di un trend crescente. Il boxplot evidenzia due *outliers*, per le stazioni di Febbio e Savignano. Questi valori si discostano dal resto della distribuzione del proprio gruppo e costituiscono una "anomalia" rispetto alla maggior parte dei valori osservati. Per un'analisi del trend per singola stazione si rimanda ai risultati rappresentati mediante il grafico riportato nell'Allegato III pag. 140.

FIGURA 18

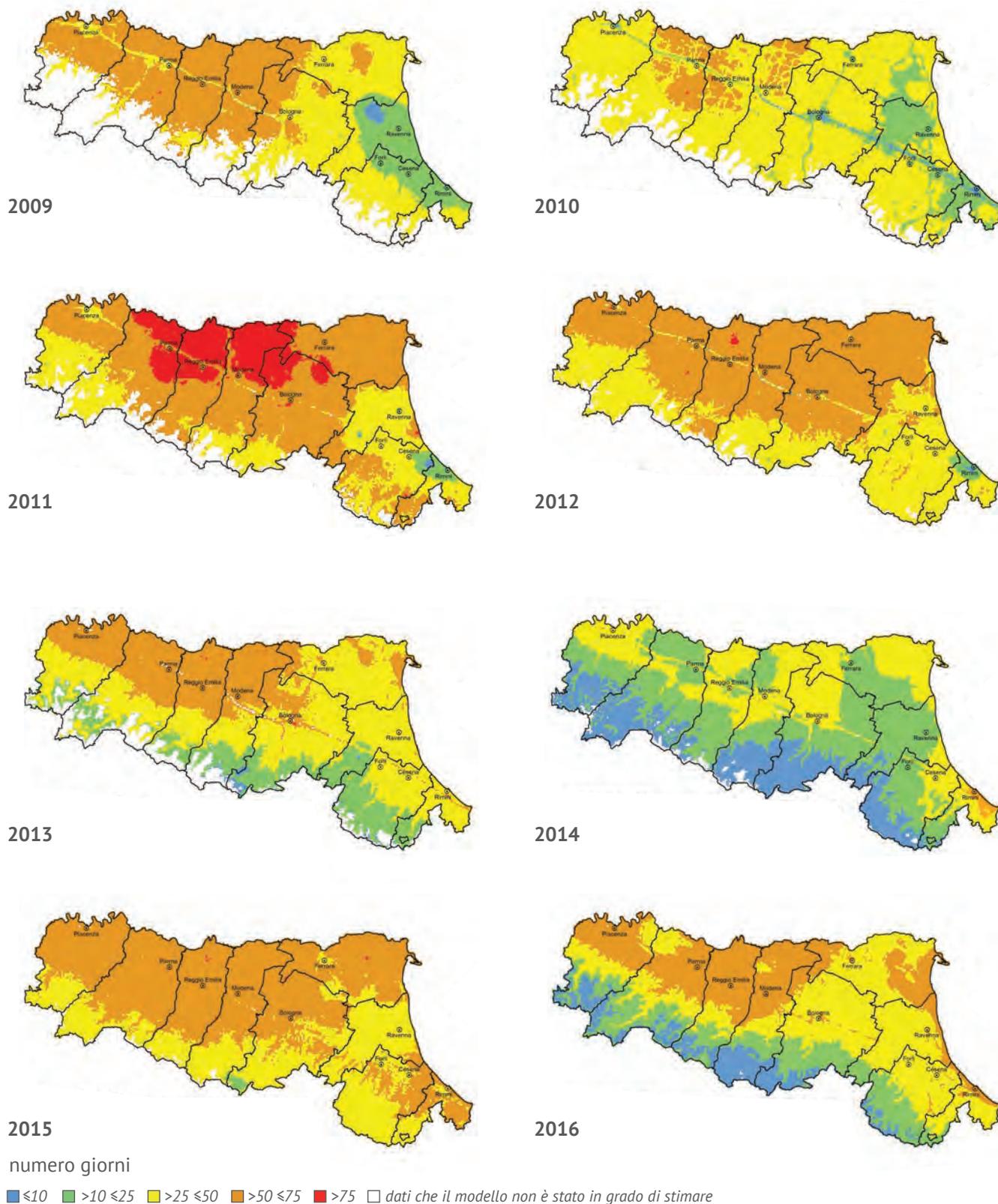
Distribuzione del tasso di variazione annuale (trend) dell'ozono per tipologia di stazione (2006-2017)



Nota: I valori risultanti dallo studio del trend sui dati rilevati dalle stazioni di misura sono rappresentati come boxplot, suddivisi per tipologia di stazione. Ciascun box è centrato sulla mediana e rappresenta il 25° e 75° percentile dei valori medi annuali. Le linee verticali rappresentano il massimo e il minimo. La distanza tra 25° e 75° percentile è una misura della dispersione della distribuzione. Il 50% delle osservazioni si trovano comprese tra questi due valori. Se l'intervallo è piccolo, questa metà delle osservazioni si trova fortemente concentrata intorno alla mediana; all'aumentare della distanza aumenta la dispersione delle osservazioni centrali intorno alla mediana. I punti contenuti in ciascun box forniscono una indicazione del numero e del valore dei dati che formano la distribuzione rappresentata dal box

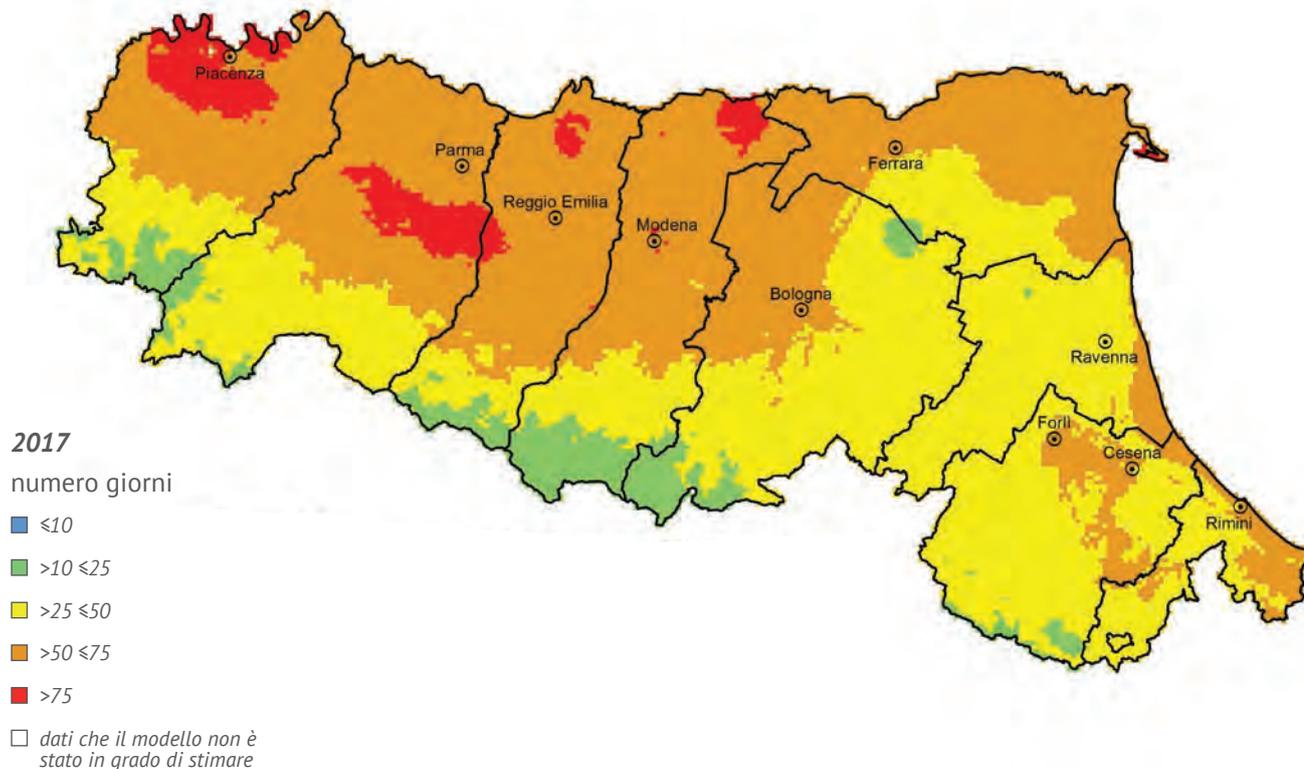
MAPPA 11a

Stima della distribuzione territoriale del numero di superamenti dell'obiettivo a lungo termine di ozono per la protezione della salute umana in Emilia-Romagna (2009-2016)



MAPPA 11b

Stima della distribuzione territoriale del numero di superamenti dell'obiettivo a lungo termine di ozono per la protezione della salute umana in Emilia-Romagna (2017)



La distribuzione spaziale del numero di superamenti mostra le massime concentrazioni nelle zone suburbane e rurali, anche a distanza dalle sorgenti degli inquinanti precursori (mappa 11a). Per quanto riguarda la distribuzione territoriale si osserva una marcata variabilità interannuale, derivante dalle diverse condizioni meteorologiche,

come si evidenzia dal confronto con la distribuzione territoriale nei vari anni (mappe 11a e 11b). Negli allegati è riportata la tabella del numero di superamenti dell'obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana per ciascuna stazione della rete regionale, dal 2015 al 2017 (Allegato II pag. 133).

IL BIOSSIDO D'AZOTO

I VALORI DI RIFERIMENTO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA PER IL BIOSSIDO DI AZOTO

I valori di riferimento della qualità dell'aria previsti dalle normative per la protezione della salute e della vegetazione per gli ossidi d'azoto sono mostrati nella tabella 5.

Per la protezione della salute umana gli standard di qualità prevedono anche una soglia di allarme, oltrepassata la quale per 3 ore consecutive

vi è obbligo, oltre che di dare tempestiva informazione dei superamenti al pubblico mediante opportuni mezzi di comunicazione, dando indicazioni dettagliate sull'evento e informazioni sui settori colpiti della popolazione e sui possibili effetti sulla salute, nonché sulla condotta raccomandata, anche di adottare interventi a breve termine diretti a ridurre il rischio o a limitare la durata del superamento. La soglia di allarme non è mai stata superata.

TABELLA 5

Limiti normativi, valori obiettivo e altri obiettivi ambientali per il NO₂

(DLgs 155/2010)

| Inquinante | Target di protezione | Obiettivo ambientale | Periodo di mediazione | Metrica dell'obiettivo ambientale | Valore numerico dell'obiettivo ambientale |
|-----------------|----------------------|----------------------|-----------------------|---|---|
| NO ₂ | Salute | Valore limite | Ora | Ore di eccedenza nell'anno civile del valore limite di 200 µg/m ³ | 18 ore |
| | | Valore limite | Anno civile | Media annua | 40 µg/m ³ |
| | | Soglia di allarme | Ora | Ore in eccedenza nell'anno civile rispetto alla soglia di allarme (400 µg/m ³) registrata per tre ore consecutive | 0 ore |
| NO _x | Vegetazione | Livello critico | Anno civile | Media Annua | 30 µg/m ³ |

LO STATO E I TREND DELLA CONCENTRAZIONE DEL BIOSSIDO D'AZOTO

In figura 19 è rappresentato, come box plot, l'andamento della media annuale delle concentrazioni di NO₂, dal 2008 al 2017, rilevate dalle stazioni facenti parte della rete regionale di monitoraggio della qualità dell'aria. Dall'analisi dei dati si rileva come il valore limite annuale (40 µg/m³) sia stato superato in diverse stazioni di traffico, nel periodo 2008-2013 (anno di entrata in vigore del limite 2010), mentre venga rispettato nelle stazioni di fondo urbano, suburbano e rurale. Queste criticità locali sono attribuibili alla

prossimità di importanti fonti di emissione di ossidi di azoto.

Nel periodo 2014-2017 la situazione risulta stabile sia nelle stazioni di traffico, che nelle stazioni di fondo urbano, suburbano e rurale e in miglioramento rispetto al periodo precedente.

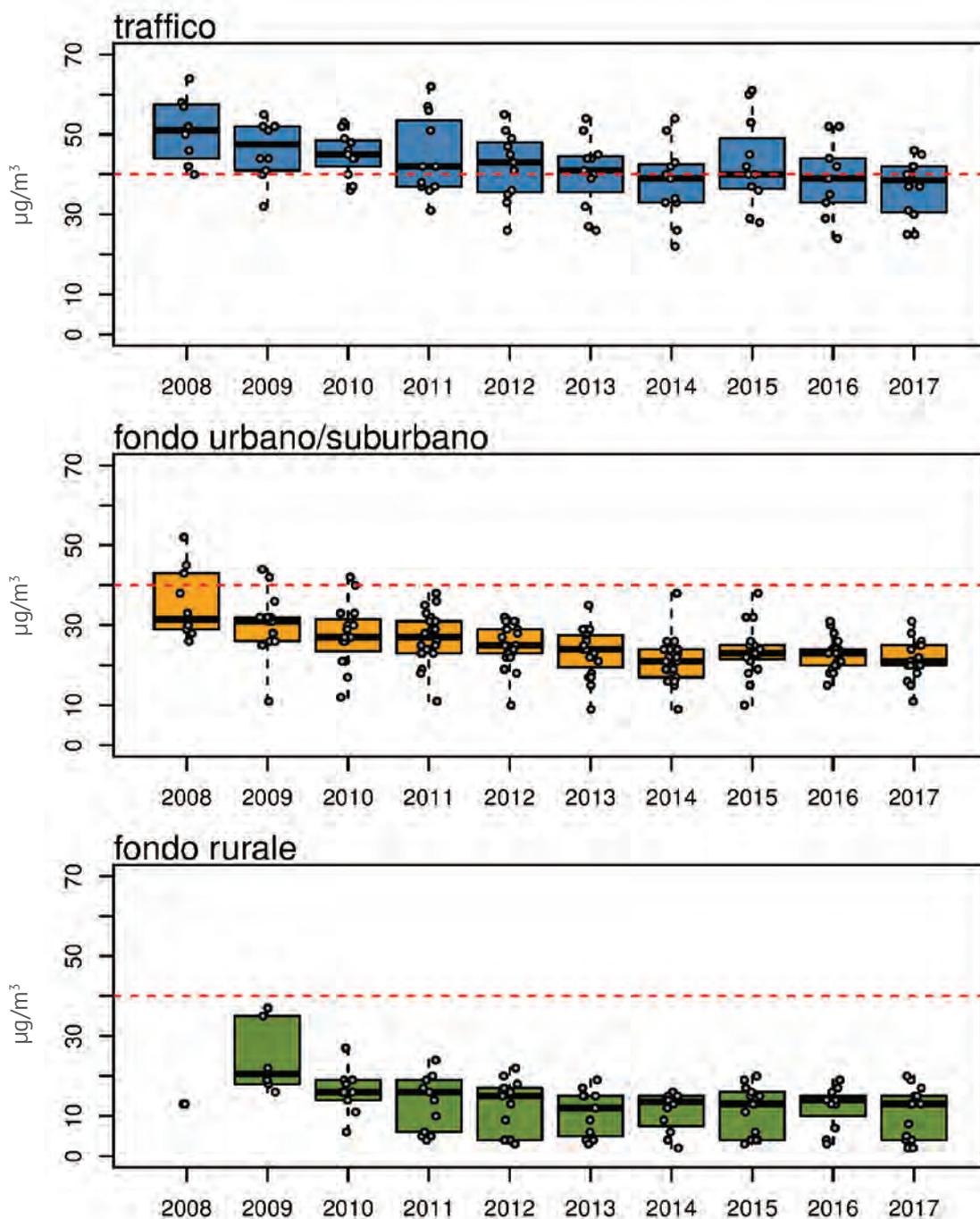
Il numero dei superamenti del valore limite orario di 200 µg/m³ per l'NO₂, nella serie storica (2008-2017), non è mai stato superiore ai 18 superamenti consentiti. Il maggior numero di superamenti viene registrato nelle stazioni di traffico. L'anno peggiore risulta il 2008, con 12 superamenti nelle stazioni di traffico e 9 nelle stazioni di fondo.



FIGURA 19

Andamento della concentrazione media annuale di NO₂, dal 2008 al 2017

Tutte le stazioni regionali, per tipologia



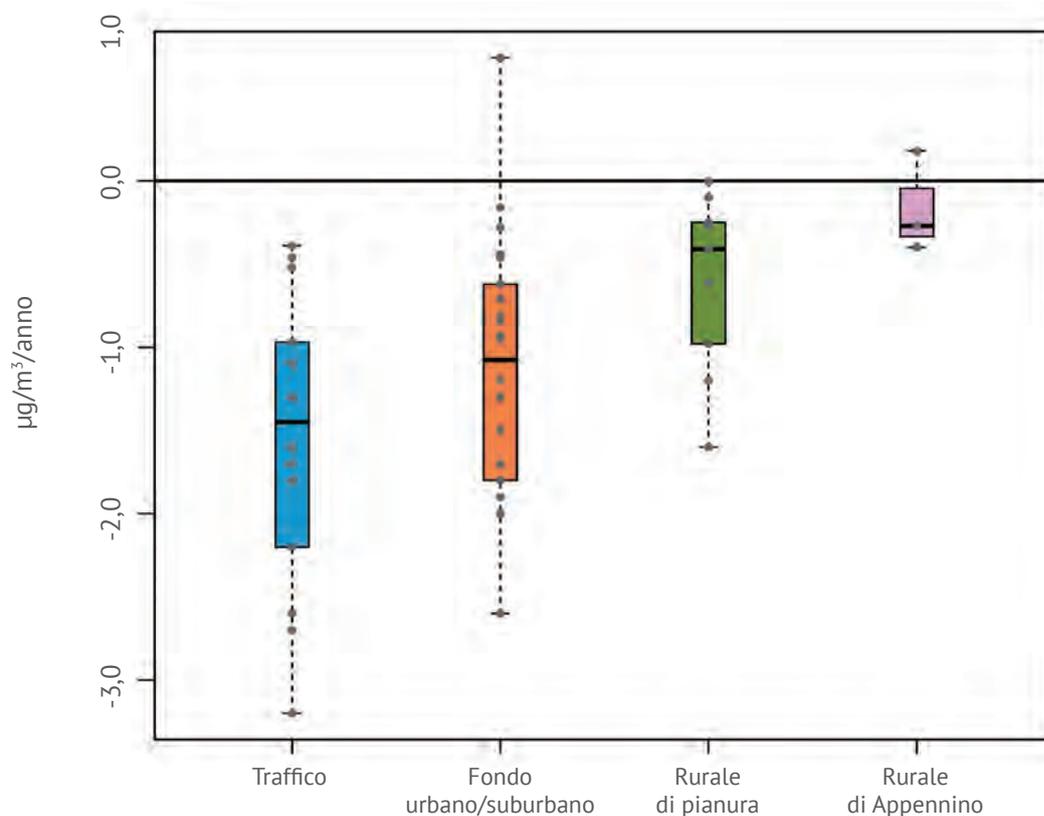
Nota: La linea rossa indica il valore limite annuale ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$). I valori rilevati ogni anno dalle stazioni di traffico, in alto, di fondo urbano e suburbano, al centro, e di fondo rurale, in basso, sono rappresentati come boxplot. Ciascun box è centrato sulla mediana e rappresenta il 25° e 75° percentile dei valori medi annuali. Le linee verticali rappresentano il massimo e minimo. I punti contenuti in ciascun box forniscono una indicazione del numero e del valore dei dati che formano la distribuzione rappresentata dal box

In figura 20 è riportato il risultato dell'analisi del trend aggregato per tipologia di stazione, espresso tramite box plot. Dall'analisi del trend si osserva una tendenza alla diminuzione nella maggior parte delle stazioni, con un intervallo statisticamente significativo in oltre la metà di queste. La situazione dell'NO₂ sembra rispecchiare una diminuzione generale, con le stazioni di traffico e di fondo mostrano una maggiore tendenza al calo, con valori

mediani del trend di -1,45 µg/m³/anno per le stazioni di traffico e di -1,08 µg/m³/anno per quelle di fondo urbano e suburbano. Anche le stazioni di fondo rurale, di pianura e di Appennino, seppur in modo minore, mostrano un trend in diminuzione, rispettivamente di -0,41 µg/m³/anno e di -0,27 µg/m³/anno. Per un'analisi del trend per singola stazione si rimanda ai risultati rappresentati mediante il grafico riportato nell'Allegato III pag. 141.

FIGURA 20

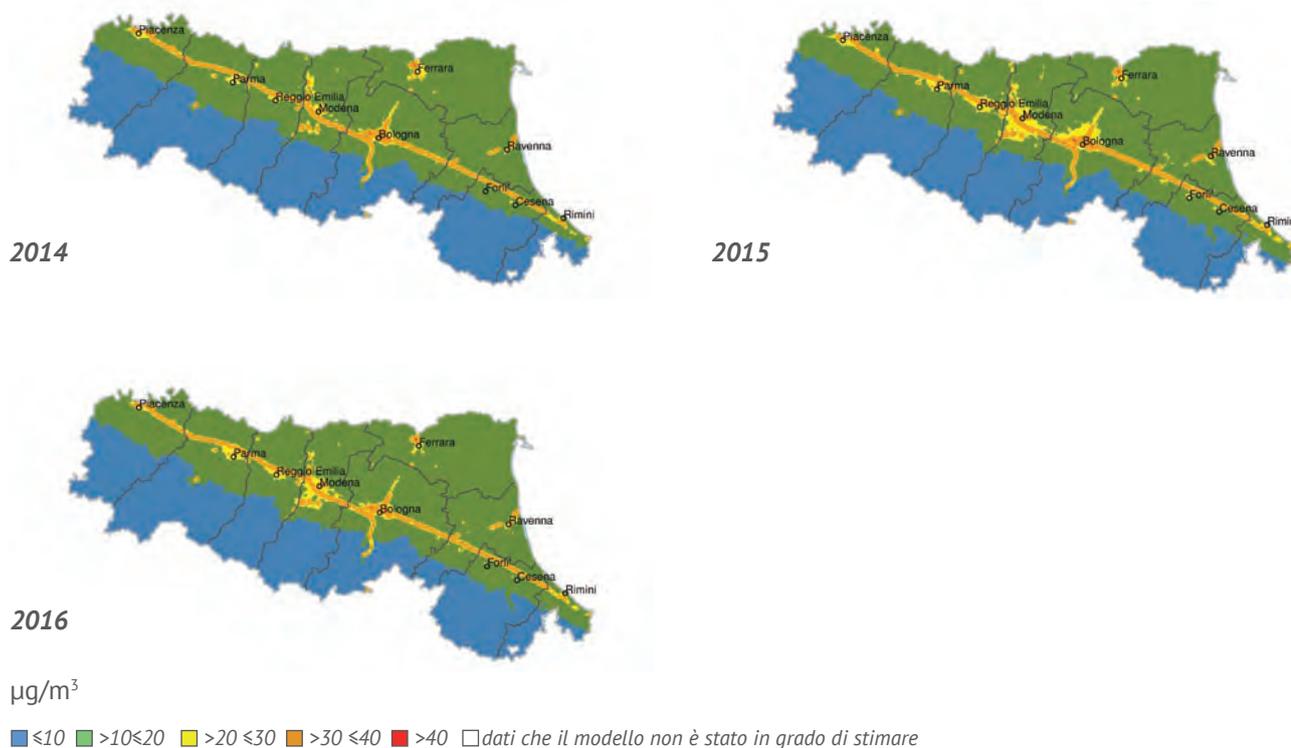
Distribuzione del tasso di variazione annuale (trend) del biossido di azoto per tipologia di stazione (2006-2017)



Nota: I valori risultanti dallo studio del trend sui dati rilevati dalle stazioni di misura sono rappresentati come boxplot, suddivisi per tipologia di stazione. Ciascun box è centrato sulla mediana e rappresenta il 25° e 75° percentile dei valori medi annuali. Le linee verticali rappresentano il massimo e il minimo. La distanza tra 25° e 75° percentile è una misura della dispersione della distribuzione. Il 50% delle osservazioni si trovano comprese tra questi due valori. Se l'intervallo è piccolo, questa metà delle osservazioni si trova fortemente concentrata intorno alla mediana; all'aumentare della distanza aumenta la dispersione delle osservazioni centrali intorno alla mediana. I punti contenuti in ciascun box forniscono una indicazione del numero e del valore dei dati che formano la distribuzione rappresentata dal box

MAPPA 12a

Stima della distribuzione territoriale della concentrazione media annuale di fondo dell'NO₂ in Emilia-Romagna (2014-2016)



MAPPA 12b

Stima della distribuzione territoriale della concentrazione media annuale di fondo dell'NO₂ in Emilia-Romagna (2017)



Dall'analisi della distribuzione territoriale della concentrazione di fondo (media annuale) di NO_2 , si rileva come questa risulti generalmente più elevata nella parte centro-occidentale della pianura, in prossimità degli agglomerati urbani e delle principali arterie stradali. Si notano, inoltre, i massimi in corrispondenza dell'agglomerato di Bologna. Negli allegati è riportata la tabella della concentrazione media annua per ciascuna stazione della rete regionale, dal 2015 al 2017 (Allegato II pag. 134).

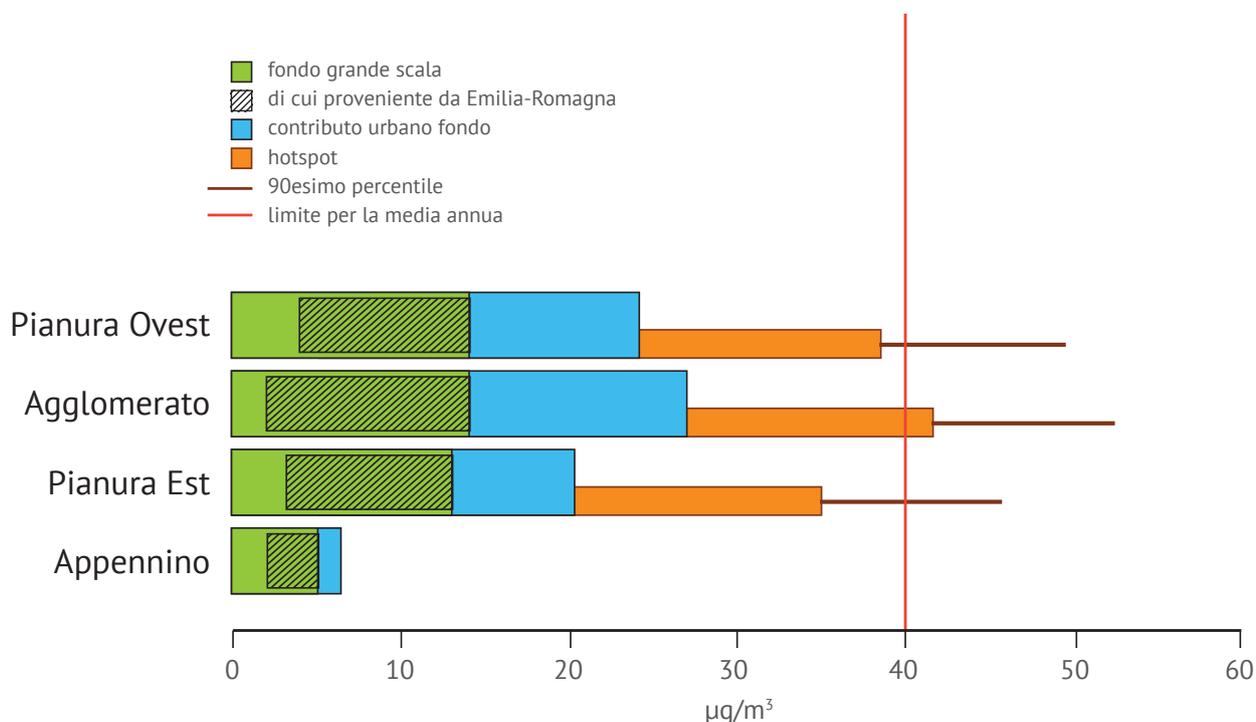
L'ORIGINE GEOGRAFICA DELL'INQUINAMENTO DA BISSIDO D'AZOTO

L'analisi dell'origine geografica dell'inquinamento da NO_2 (figura 21), condotta con metodo analogo a quello descritto per PM_{10} , evidenzia anche in questo caso una rilevante componente della concentrazione attribuibile al fondo a grande scala (barre verdi) e

urbano (barre azzurre), ma con una componente prevalentemente originata all'interno della regione (aree ombreggiate) e con situazioni di superamento del valore normativo limitate a pochi casi (90° percentile in figura) e attribuibili a sorgenti locali. La componente dell'inquinamento di fondo è dovuta al fatto che le sorgenti di emissione di ossidi di azoto (NO_x) sono una delle sorgenti di inquinanti atmosferici più ubiquitarie, in quanto tutti i processi di combustione portano all'emissione di questo inquinante, che sostiene i processi di produzione del particolato secondario e dell'ozono. Inoltre, la componente locale (barre e linee arancioni) contribuisce per circa il 50% alle concentrazioni in prossimità delle principali sorgenti di emissione, in particolare le strade a intenso traffico, che possono rendere necessari, per evitare le singole situazioni di superamento, interventi specifici di limitazione delle emissioni.

FIGURA 21

NO_2 , ripartizione per aree geografiche dell'origine dell'inquinamento (valutazione riferita all'anno 2016)



IL BENZO(A)PIRENE

I VALORI DI RIFERIMENTO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA PER IL BENZO(A)PIRENE

I valori di riferimento della qualità dell'aria per la protezione della salute per il benzo(a)pirene

sono mostrati nella tabella seguente.

La normativa prevede che gli standard di qualità debbano essere verificati mediante misure effettuate sulla frazione di particolato PM₁₀, anche se il benzo(a)pirene è maggiormente presente nella frazione PM_{2,5}.

TABELLA 6

Limiti normativi, valori obiettivo e altri obiettivi ambientali per il BaP

(DLgs 155/2010)

| Inquinante | Target di protezione | Obiettivo ambientale | Periodo di mediazione | Metrica dell'obiettivo ambientale | Valore numerico dell'obiettivo ambientale |
|------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------------------|---|
| B(a)P | Salute | Valore obiettivo | Anno civile | Media annua | 1 ng/m ³ |

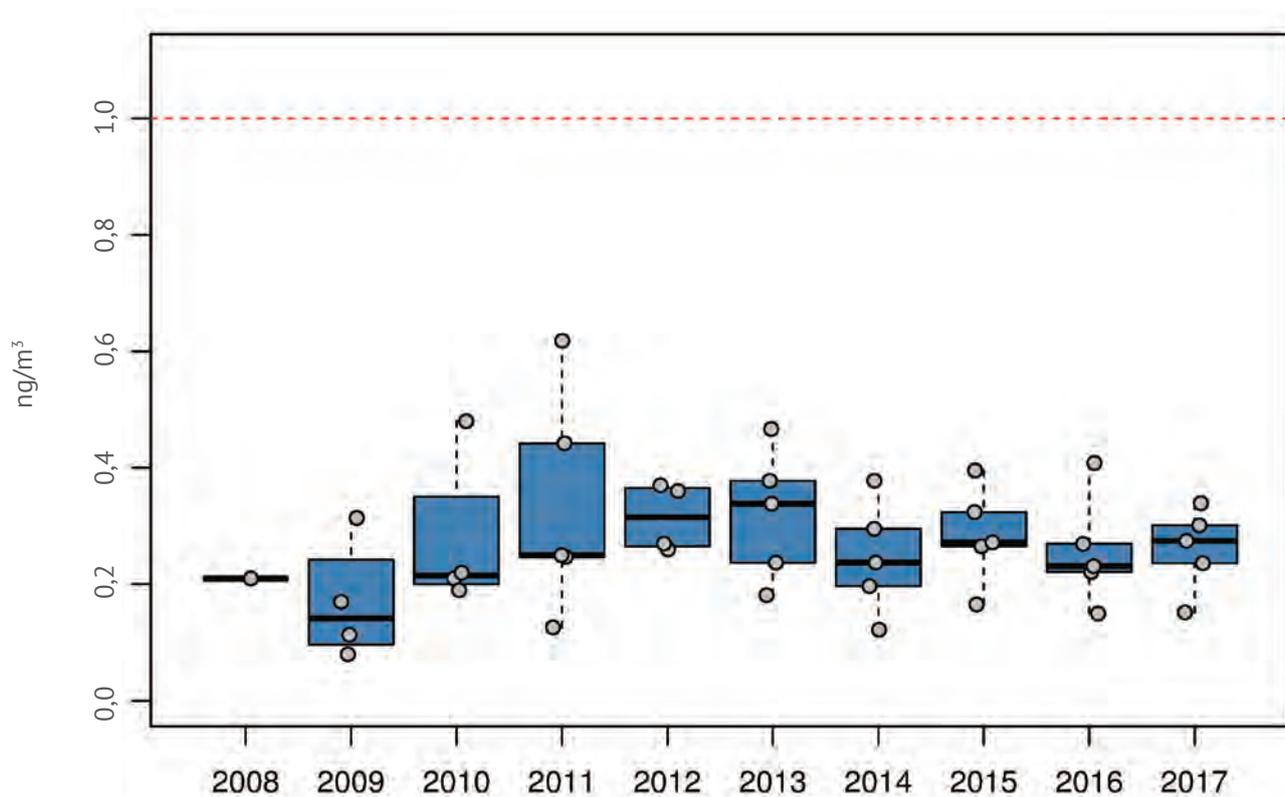
LO STATO E I TREND DELLA CONCENTRAZIONE DEL BENZO(A)PIRENE

Il valore medio annuale di benzo(a)pirene (BaP), rilevato nelle 5 stazioni della rete regionale dedicate, è pienamente rispettato in tutta la regione Emilia-Romagna: nel 2017 le medie annuali oscillano fra 0,15 e 0,34 ng/m³ a seconda delle stazioni (figura 22). Questo parametro ha una forte variabilità stagionale, essendo fortemente legato alla combustione della legna: le concentrazioni più elevate si riscontrano in dicembre e in gennaio, con valori che raggiungono anche gli 1,4 ng/m³ come media mensile. I valori

riscontrati in Emilia-Romagna rimangono comunque di gran lunga inferiori rispetto a quelli riscontrati nelle regioni del nord Italia dove, per la maggior prevalenza di territorio montano, si riscontrano diversi superamenti del valore obiettivo. Proprio in relazione al maggior uso di biomassa per il riscaldamento domestico, la valutazione delle concentrazioni di BaP è stata effettuata anche in Appennino, mediante campagne di monitoraggio effettuate con i Laboratori mobili. Anche qui il valore obiettivo è ampiamente rispettato. Per questo inquinante non si riscontra nessun andamento temporale e, negli ultimi anni, la variabilità intra annuale si è ridotta.

FIGURA 22

Andamento della concentrazione media annuale di benzo(a)pirene, dal 2008 al 2017



Nota: La linea rossa indica il valore obiettivo annuale (1 ng/m³). I valori rilevati ogni anno dalle stazioni di fondo urbano e di traffico sono stati rappresentati in uno stesso grafico come boxplot. Ciascun box è centrato sulla mediana e rappresenta il 25° e 75° percentile dei valori medi annuali. Le linee verticali rappresentano il massimo e il minimo. I punti contenuti in ciascun box forniscono una indicazione del numero e del valore dei dati che formano la distribuzione rappresentata dal box

GLI ALTRI INQUINANTI: BIOSSIDO DI ZOLFO, MONOSSIDO DI CARBONIO, BENZENE, METALLI PESANTI

I VALORI DI RIFERIMENTO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA PER IL BIOSSIDO DI ZOLFO, IL MONOSSIDO DI CARBONIO, IL BENZENE, I METALLI PESANTI

La tabella seguente mostra i valori di riferimento della qualità dell'aria per la protezione della salute per il biossido di zolfo, il monossido di

carbonio, il benzene e i metalli pesanti.

Per il biossido di zolfo sono riportati gli standard di qualità anche per la protezione della vegetazione. Anche per questi inquinanti la normativa vigente fissa un valore obiettivo e l'obbligo di valutazione e gestione della qualità dell'aria su tutto il territorio nazionale.



TABELLA 7

**Limiti normativi, valori obiettivo e altri obiettivi ambientali
per SO₂, CO, C₆H₆, Pb, Cd, As, Ni (DLgs 155/2010)**

| Inquinante | Target di protezione | Obiettivo ambientale | Periodo di mediazione | Metrica dell'obiettivo ambientale | Valore numerico dell'obiettivo ambientale |
|-------------------------------|----------------------|----------------------|---|--|---|
| SO ₂ | Salute | Valore limite | Ora | Ore di eccedenza nell'anno civile del valore limite (350 µg/m ³) | 24 ore |
| | | | Giorno | Giorni di eccedenza nell'anno civile del valore limite (125 µg/m ³) | 3 giorni |
| | | Soglia di allarme | Ora | Ore in eccedenza nell'anno civile rispetto alla soglia di allarme (500 µg/m ³) | 0 ore |
| | Vegetazione | Livello critico | Anno civile | Media annua | 20 µg/m ³ |
| | | | Inverno | Media sui valori orari invernali, 1 ottobre - 31 marzo | 20 µg/m ³ |
| CO | Salute | Valore limite | Massimo giornaliero media mobile su 8 ore | Giorni in cui il massimo della media mobile su 8 ore eccede il valore limite (10 mg/m ³) | 0 giorni |
| C ₆ H ₆ | Salute | Valore limite | Anno civile | Media annua | 5 µg/m ³ |
| Pb | Salute | Valore limite | Anno civile | Media annua | 0,5 µg/m ³ |
| Cd | Salute | Valore obiettivo | Anno civile | Media annua | 5 ng/m ³ |
| As | Salute | Valore obiettivo | Anno civile | Media annua | 6 ng/m ³ |
| Ni | Salute | Valore obiettivo | Anno civile | Media annua | 20 ng/m ³ |

LO STATO E I TRENDS DELLA CONCENTRAZIONE DEL BIOSSIDO DI ZOLFO, MONOSSIDO DI CARBONIO, BENZENE, METALLI PESANTI

Biossido di zolfo

La concentrazione in aria di biossido di zolfo si è ridotta sensibilmente nel tempo, grazie alla considerevole riduzione delle emissioni dovuta all'impiego diffuso di combustibili a bassissimo tenore di zolfo. Questo fa sì che non si siano mai verificati, nel periodo 2008-2017, superamenti dei valori limite, orario e giornaliero. Per questa ragione il numero di stazioni che misurano l' SO_2 è stato progressivamente ridotto nell'ambito della rete regionale, fino a una sola stazione di monitoraggio attiva dal 2012, localizzata a Ravenna, dove sono presenti le sorgenti più significative di questo inquinante. Pertanto, la valutazione dell'inquinamento da SO_2 viene effettuata sull'intero territorio regionale mediante stime obiettive, basate sui dati forniti dalla stazione fissa, e da campagne di misura con laboratorio mobile.

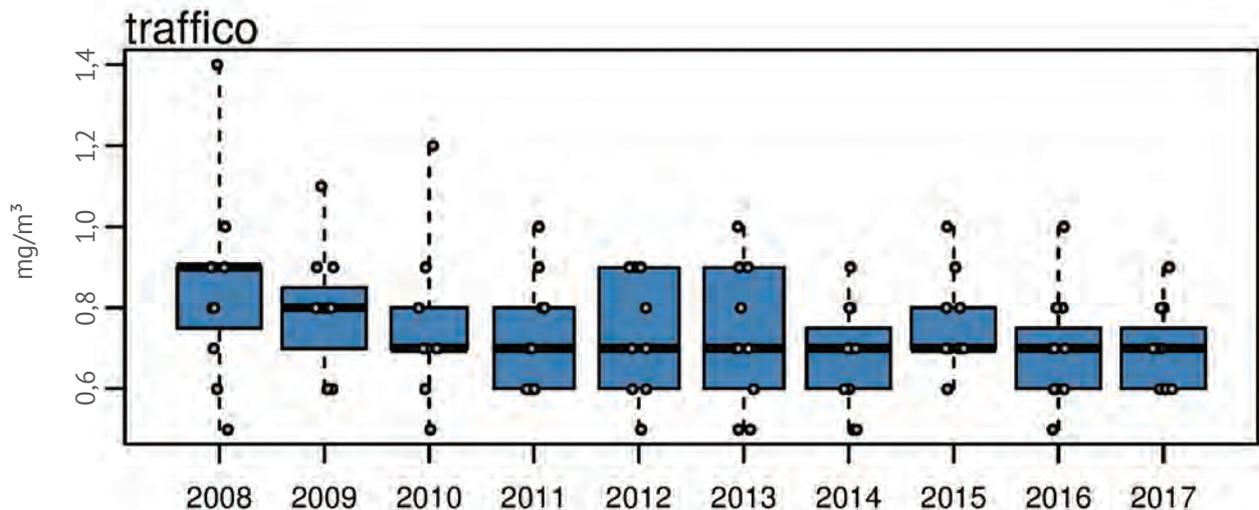
Le concentrazioni rilevate nel periodo 2008-2017 sono risultate estremamente basse, pressoché sempre inferiori al limite di quantificazione ($14 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Monossido di carbonio

Le concentrazioni in aria di monossido di carbonio, misurate nelle stazioni di traffico, ove vengono registrati valori più elevati, si sono progressivamente ridotte, rimanendo ben al di sotto dei limiti di legge da lungo tempo. Negli ultimi 10 anni, infatti, il valore limite (massimo giornaliero media mobile su 8 ore = $10 \text{ mg}/\text{m}^3$) non è mai stato superato in alcuna stazione di monitoraggio (figura 23). Inoltre, in tutte le stazioni si misurano spesso concentrazioni orarie al di sotto del limite di quantificazione ($0,6 \text{ mg}/\text{m}^3$). Nel grafico (figura 23) sono riportati i box plot relativi ai valori delle medie annuali dei massimi giornalieri delle medie mobili su 8 ore; dal grafico si evince che il CO non costituisce più un rilevante problema di inquinamento atmosferico.

FIGURA 23

Andamento delle medie annuali dei massimi giornalieri delle medie mobili su 8 ore del monossido di carbonio, dal 2008 al 2017



Nota: Le medie annuali dei massimi giornalieri delle medie mobili su 8 ore, calcolate sulla base dei dati rilevati dalle stazioni di traffico, sono state rappresentate come boxplot. Ciascun box è centrato sulla mediana e rappresenta il 25° e 75° percentile dei valori medi annuali. Le linee verticali rappresentano il massimo e minimo. I punti contenuti in ciascun box forniscono una indicazione del numero e del valore dei dati che formano la distribuzione rappresentata dal box

Benzene

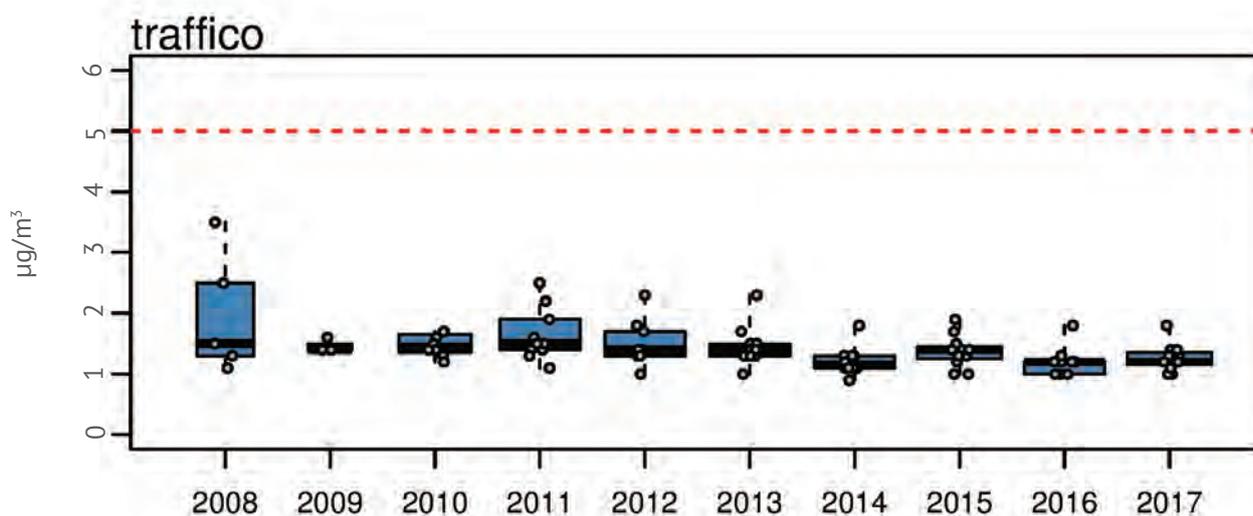
Analogamente a quanto riscontrato in Italia e in Europa da diversi anni, in Emilia-Romagna la concentrazione di benzene è notevolmente diminuita nel tempo e risulta ampiamente inferiore al valore limite di protezione della salute umana ($5 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Questo è dovuto a una notevole riduzione delle emissioni da parte dei veicoli con motori a combustione interna alimentati a benzina, avutasi a seguito della introduzione di norme per il controllo e

la limitazione delle emissioni allo scarico. L'andamento pluriennale nel periodo 2008-2017 evidenzia una sostanziale stazionarietà dei livelli di questo inquinante (figura 24). La variabilità intrannuale è andata a diminuire nel tempo. Pertanto l'inquinante non costituisce più un rilevante problema di inquinamento atmosferico. Tuttavia, in considerazione delle particolari ricadute che può avere sulla salute umana, la concentrazione in aria di benzene viene rilevata nelle stazioni di traffico, ove risulta presente in quantità maggiori.

FIGURA 24

Andamento della concentrazione media annuale di benzene, dal 2008 al 2017



Nota: La linea rossa indica il valore limite annuale ($5 \mu\text{g}/\text{m}^3$). I valori rilevati ogni anno dalle stazioni di traffico sono stati rappresentati come boxplot. Ciascun box è centrato sulla mediana e rappresenta il 25° e 75° percentile dei valori medi annuali. Le linee verticali rappresentano il massimo e minimo. I punti contenuti in ciascun box forniscono una indicazione del numero e del valore dei dati che formano la distribuzione rappresentata dal box

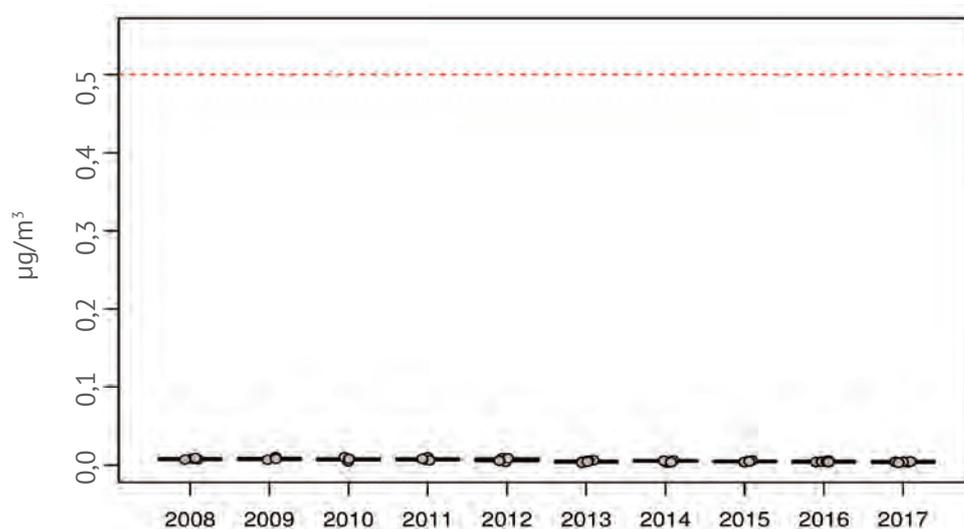
Metalli

Il valore limite e i valori obiettivo per i metalli pesanti, calcolati sulla base della media annuale delle concentrazioni mensili, rilevati nelle 5 stazioni della rete regionale dedicate (di traffico e di fondo), sono pienamente rispettati in tutta la regione Emilia-Romagna, nell'intero periodo preso in considerazione (2008-2017).

Per tutti e quattro i metalli, sia le variazioni interannuali, che intrannuali risultano minime. Le concentrazioni di piombo, rilevate in 5 stazioni, sono inferiori di ben 2 ordini di grandezza al valore limite (figura 25). Per quanto riguarda cadmio, arsenico e nichel le concentrazioni mensili sono pressoché sempre inferiori al valore obiettivo di un ordine di grandezza (figure 26-28).

FIGURA 25

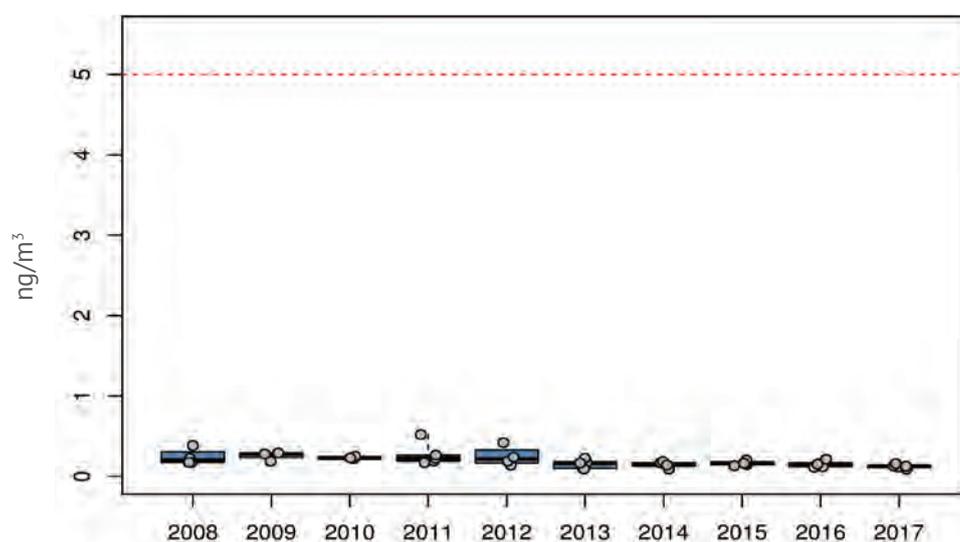
Andamento della concentrazione media annuale di piombo, dal 2008 al 2017



Nota: La linea rossa indica il valore limite annuale ($0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$). I valori rilevati ogni anno dalle stazioni di fondo urbano e di traffico sono stati rappresentati in uno stesso grafico come boxplot. Ciascun box è centrato sulla mediana e rappresenta il 25° e 75° percentile dei valori medi annuali. Le linee verticali rappresentano il massimo e minimo. I punti contenuti in ciascun box forniscono una indicazione del numero e del valore dei dati che formano la distribuzione rappresentata dal box

FIGURA 26

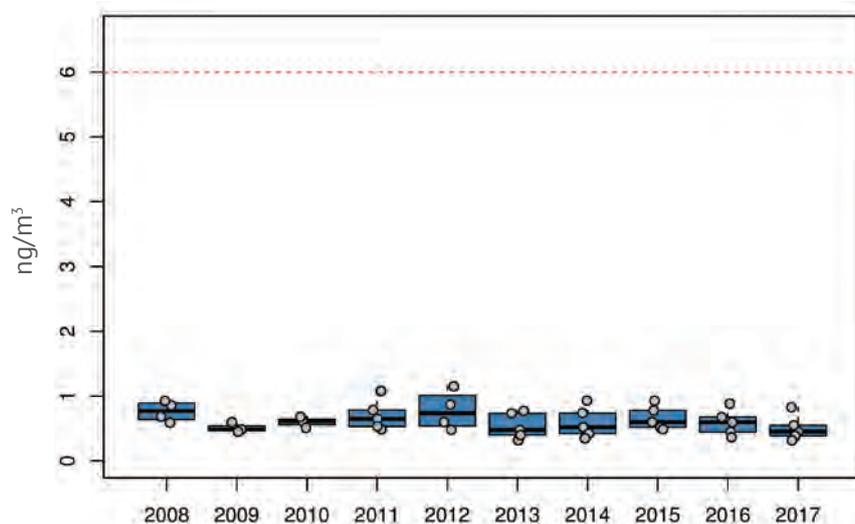
Andamento della concentrazione media annuale di cadmio, dal 2008 al 2017



Nota: La linea rossa indica il valore obiettivo annuale ($5 \text{ ng}/\text{m}^3$). I valori rilevati ogni anno dalle stazioni di fondo urbano e di traffico sono stati rappresentati in uno stesso grafico come boxplot. Ciascun box è centrato sulla mediana e rappresenta il 25° e 75° percentile dei valori medi annuali. Le linee verticali rappresentano il massimo e minimo. I punti contenuti in ciascun box forniscono una indicazione del numero e del valore dei dati che formano la distribuzione rappresentata dal box

FIGURA 27

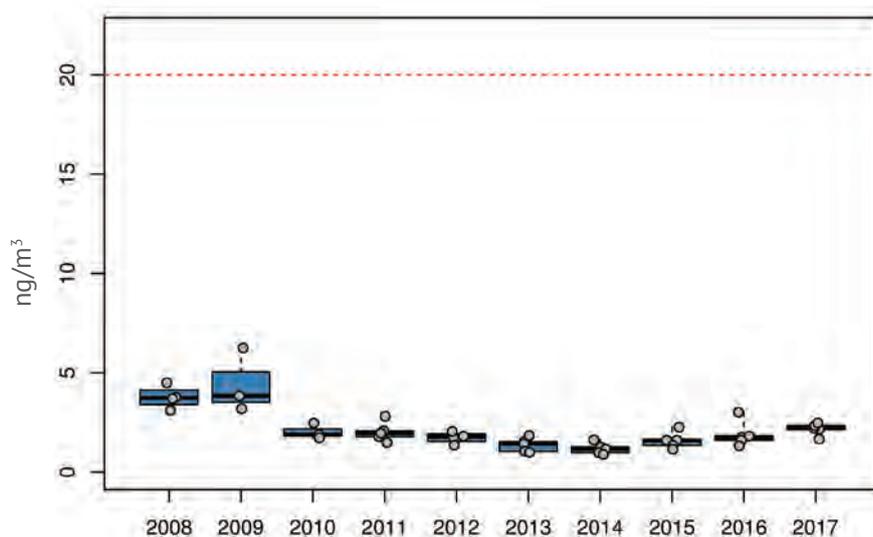
Andamento della concentrazione media annuale di arsenico, dal 2008 al 2017



Nota: La linea rossa indica il valore obiettivo annuale (6 ng/m^3). I valori rilevati ogni anno dalle stazioni di fondo urbano e di traffico sono stati rappresentati in uno stesso grafico come boxplot. Ciascun box è centrato sulla mediana e rappresenta il 25° e 75° percentile dei valori medi annuali. Le linee verticali rappresentano il massimo e minimo. I punti contenuti in ciascun box forniscono una indicazione del numero e del valore dei dati che formano la distribuzione rappresentata dal box

FIGURA 28

Andamento della concentrazione media annuale di nichel, dal 2008 al 2017



Nota: La linea rossa indica il valore obiettivo annuale (20 ng/m^3). I valori rilevati ogni anno dalle stazioni di fondo urbano e di traffico sono stati rappresentati in uno stesso grafico come boxplot. Ciascun box è centrato sulla mediana e rappresenta il 25° e 75° percentile dei valori medi annuali. Le linee verticali rappresentano il massimo e minimo. I punti contenuti in ciascun box forniscono una indicazione del numero e del valore dei dati che formano la distribuzione rappresentata dal box

UNO SGUARDO D'INSIEME ALLA QUALITÀ DELL'ARIA: ANALISI SUL LUNGO PERIODO

I dati di concentrazione dei principali inquinanti, rilevati in alcune stazioni che dispongono di lunghe serie storiche, evidenziano come alla variabilità interannuale dei livelli di concentrazione, dovuta ai forzanti meteorologici (capitolo “I processi fisici e chimici che influenzano la concentrazione degli inquinanti” pag. 30), si sovrappongono variazioni di lungo periodo, legate alla mutazione nel tempo delle emissioni degli inquinanti atmosferici. Nel complesso, se si guardano i dati misurati dalle stazioni di rilevamento delle reti di monitoraggio in tutta Italia (ISPRA, 2016), è possibile evidenziare come l'inquinamento diffuso nelle città sia in generale diminuito negli ultimi decenni, con un miglioramento sostanziale per diversi inquinanti.

Nel periodo 1960-1980, gli inquinanti di gran lunga più critici nei grandi agglomerati urbani e industriali italiani erano rappresentati dal biossido di zolfo, collegato all'utilizzo diffuso di combustibili ad alto tenore di zolfo per il riscaldamento degli edifici, i processi industriali e i trasporti. Negli anni 60 e 70, in molte città italiane, l' SO_2 raggiungeva, nelle giornate invernali, concentrazioni di centinaia di microgrammi per metro cubo, con punte anche dell'ordine delle migliaia di microgrammi per metro cubo. A partire dai primi anni 70, a seguito anche della crisi petrolifera, la tendenza di questo inquinante è andata verso una progressiva riduzione, dovuta alla diffusione del metano, sia per il riscaldamento domestico che per le combustioni in ambito industriale, alla conseguente diminuzione dell'uso di carbone, alla riduzione del tenore di zolfo nei combustibili da trazione. Pertanto, negli ultimi anni l'emissione di SO_2 si è drasticamente ridotta; le concentrazioni in aria sono diminuite sino ad arrivare a valori odierni, che rispettano ampiamente i limiti. A oggi il biossido di zolfo non è più un inquinante critico. Da considerare, comunque, il suo ruolo in qualità di precursore nella formazione di particolato secondario.

Per quanto riguarda il monossido di carbonio, tale inquinante era in crescita nel recente passato a causa dell'aumento dei processi di combustione,

soprattutto nelle aree urbane. A partire dagli anni 80 le concentrazioni in aria sono progressivamente diminuite grazie al miglioramento dell'efficienza di combustione, all'impiego di idrocarburi più semplici rispetto a combustibili di struttura più complessa, all'introduzione di marmitte catalitiche nei veicoli alimentati a benzina, azioni che hanno comportato la riduzione delle emissioni dei prodotti di combustione incompleta e il crollo delle concentrazioni di CO, ora molto al di sotto delle soglie di pericolosità.

La presenza di biossido di azoto e composti organici volatili, insieme alla presenza diffusa di ozono troposferico, soprattutto nelle zone suburbane e rurali, costituiscono la principale criticità a partire dagli anni 90. Emissioni di NO_2 sono prodotte da tutti i processi di combustione, le cui sorgenti sono pressoché ubiquitarie; la concentrazione in aria tuttavia presenta massimi marcati in prossimità delle principali sorgenti emmissive, in particolare strade a intenso traffico. L'impiego delle marmitte catalitiche ha ridotto le emissioni di NO_2 da parte dei veicoli a benzina. I motori diesel producono più ossidi di azoto dei motori a benzina, perché usano miscele molto povere in termini di rapporto aria-combustione.

Le valutazioni epidemiologiche degli impatti sulla salute della frazione inalabile del particolato, che sono via via state compiute a partire dagli anni 90, hanno fatto emergere la necessità di un monitoraggio distinto per alcune frazioni granulometriche (PM_{10} e $\text{PM}_{2,5}$). A partire dagli anni 2000 le regioni italiane hanno iniziato a dotarsi di stazioni di rilevamento della qualità dell'aria collocate non solo in prossimità delle sorgenti stradali e industriali, ma anche in zone di fondo urbano, suburbano e rurale, consentendo valutazioni più complete della qualità dell'aria.

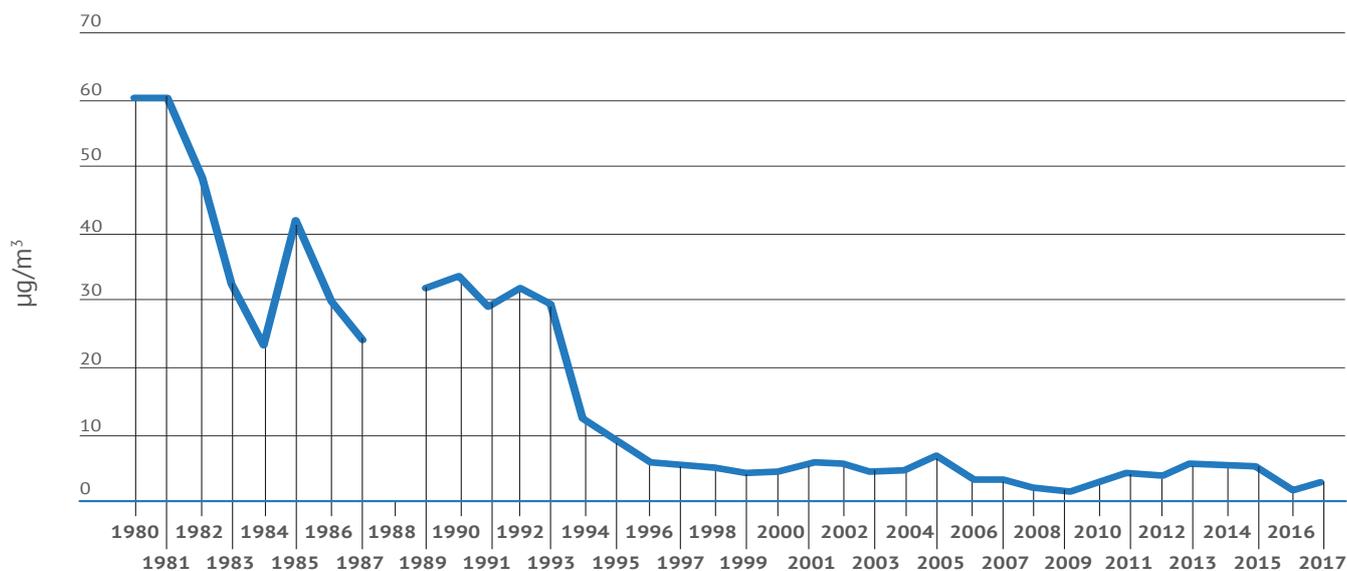
Le figure da 29 a 33, qui di seguito riportate, mostrano l'andamento di lungo periodo nelle stazioni dell'Emilia-Romagna che hanno rilevato le serie storiche più estese.

La stazione di "Rocca Brancaleone" (Ravenna) fornisce la serie storica più estesa di SO₂ (figura 29).

Le concentrazioni sono drasticamente calate sino alla metà degli anni 90, per poi diminuire ancora sino a oggi.

FIGURA 29

Andamento della media annua di **biossido di zolfo** nella stazione di Ravenna "Rocca Brancaleone"

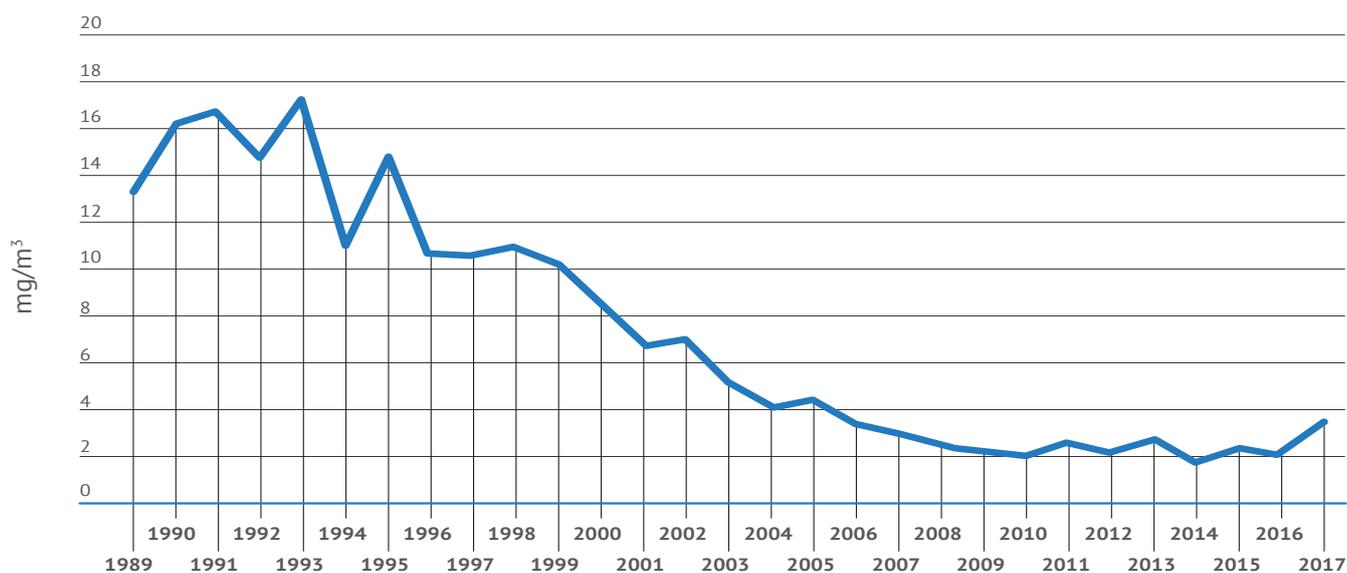


La stazione di traffico "Timavo" di Reggio Emilia possiede la serie storica più lunga di CO in Regione (figura 30).

Anche questo inquinante mostra un progressivo calo nelle concentrazioni.

FIGURA 30

Andamento dei massimi annui della media mobile su 8 ore del **monossido di carbonio** nella stazione di Reggio Emilia "Timavo"

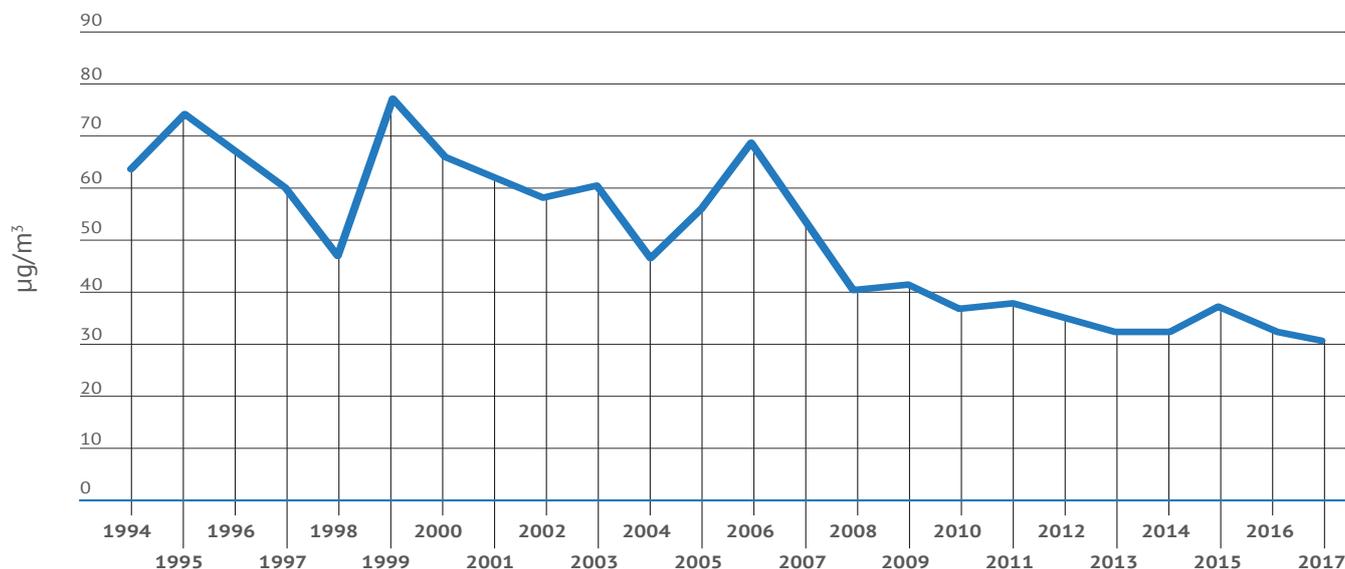


La stazione di traffico “Zalamella” (Ravenna) fornisce la serie storica più estesa di NO₂ (figura 31). L'andamento interannuale della media annua evidenzia come le concentrazioni siano progressivamente

diminuite nel tempo, in corrispondenza dell'immissione sul mercato di veicoli aventi parametri emissivi conformi a normative via via sempre più stringenti.

FIGURA 31

Andamento della media annua di **biossido di azoto** nella stazione di Ravenna “Zalamella”

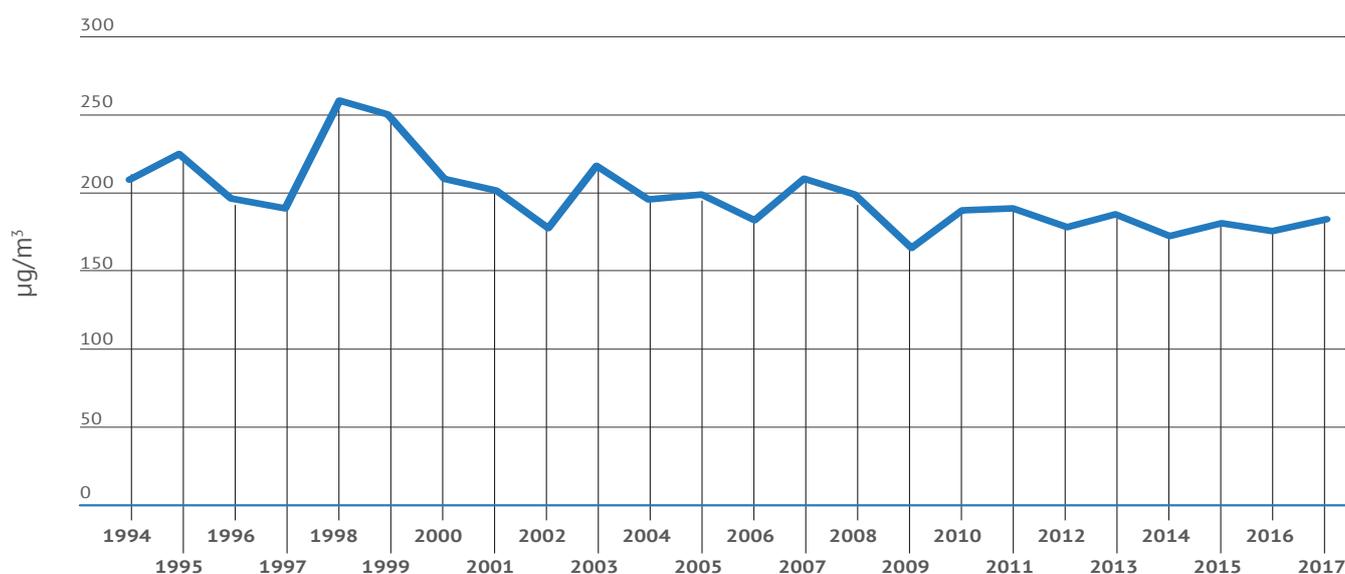


La serie storica più lunga disponibile per l'ozono è quella rilevata dalla stazione di fondo di “S. Lazzaro” (Reggio Emilia). L'andamento mostra oscillazioni

interannuali di ozono (figura 32), attribuibili alle naturali fluttuazioni della componente stagionale. Non è possibile evincere alcuna tendenza.

FIGURA 32

Andamento dei massimi annui della media mobile su 8 ore dell'**ozono** nella stazione di Reggio Emilia “S. Lazzaro”

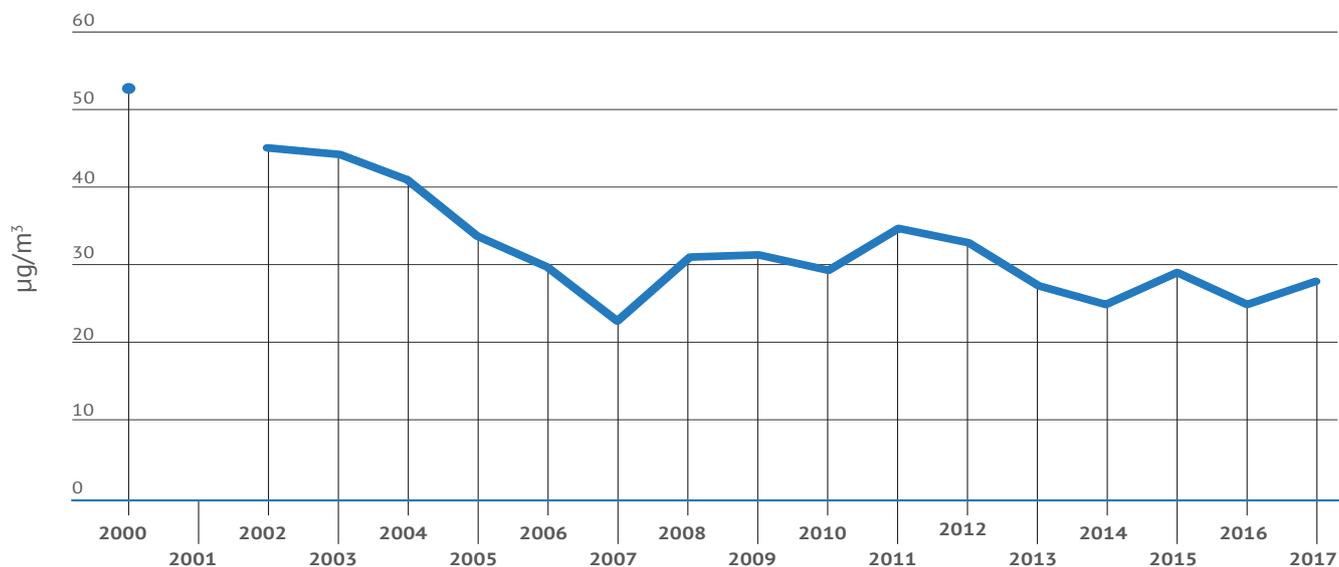


Appartiene sempre alla stazione di traffico "Zalamella", sita a Ravenna, la serie storica più estesa di PM_{10} (figura 33).

I dati del monitoraggio mostrano una tendenza alla riduzione delle concentrazioni di PM_{10} .

FIGURA 33

Andamento della media annua di PM_{10} nella stazione di Ravenna "Zalamella"



L'ESPOSIZIONE DELLA POPOLAZIONE AI PRINCIPALI INQUINANTI ATMOSFERICI

ESPOSIZIONE AL PARTICOLATO

I grafici a barre (figure 34-36) mostrano l'andamento, nel periodo 2009-2017, della frazione (%) di popolazione dell'Emilia-Romagna residente in aree con valori di concentrazione media annua di fondo rispettivamente compresi tra 10 e 20, 20 e 30, 30 e 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e maggiori del limite di 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, per il PM_{10} , e tra 10 e 25, 15 e 20, 20 e 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e maggiori di 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, per il $\text{PM}_{2,5}$. Nella figura 35 viene rappresentata la frazione (%) della popolazione residente in aree dove la concentrazione media giornaliera di PM_{10} risulta superiore a 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per più di 50, tra 35 e 50, tra 20 e 35, tra 10 e 20 e meno di 10 giorni all'anno.

Le colonne in grigio di entrambi i grafici (n.d.) indicano la frazione di popolazione per la quale non è stato possibile stimare l'esposizione.

Questa frazione risulta trascurabile.

La popolazione esposta viene stimata in base alla popolazione residente (dati del censimento 2010) in

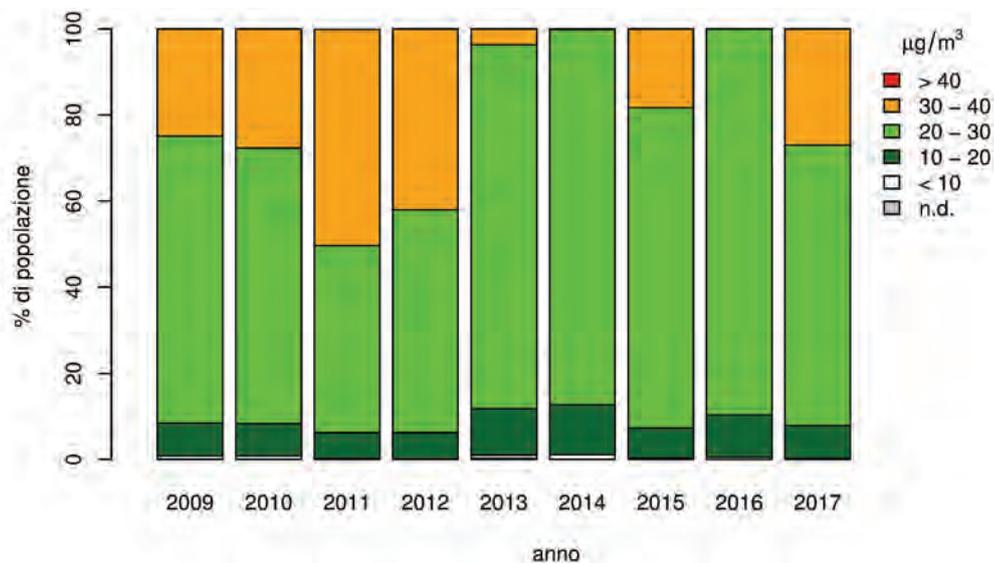
aree con valori di concentrazione di fondo rappresentati nelle mappe 8 e 10, capitolo "Il particolato".

Dell'analisi effettuata, basata sulla distribuzione geografica del particolato, si stima che la quasi totalità della popolazione regionale risulta risiedere in aree con valori di concentrazione media annua di fondo inferiore al valore limite annuale di 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ di PM_{10} e di 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ di $\text{PM}_{2,5}$. È oltre il 60%, invece, la popolazione residente che risulta esposta, nel triennio 2010-2012, a valori di PM_{10} superiori al valore limite giornaliero; questa proporzione è scesa a meno del 20% nel 2013, anno nel quale si è registrato un minimo nei superamenti per tale limite normativo. Il 2017 risulta l'anno con la frazione più elevata di popolazione residente in aree con concentrazione media giornaliera di PM_{10} superiori al limite giornaliero per più di 50 giorni, in conseguenza del fatto che i massimi hanno interessato una parte rilevante del territorio regionale, dove risiede una larga parte della popolazione.



FIGURA 34

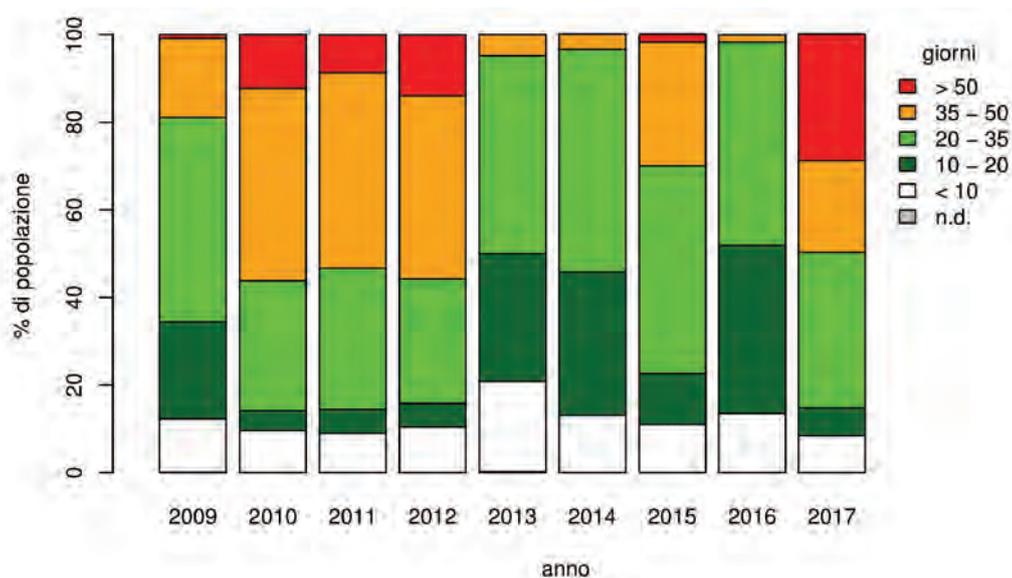
PM₁₀* – Popolazione esposta a diverse concentrazioni medie annuali** (2009-2017)



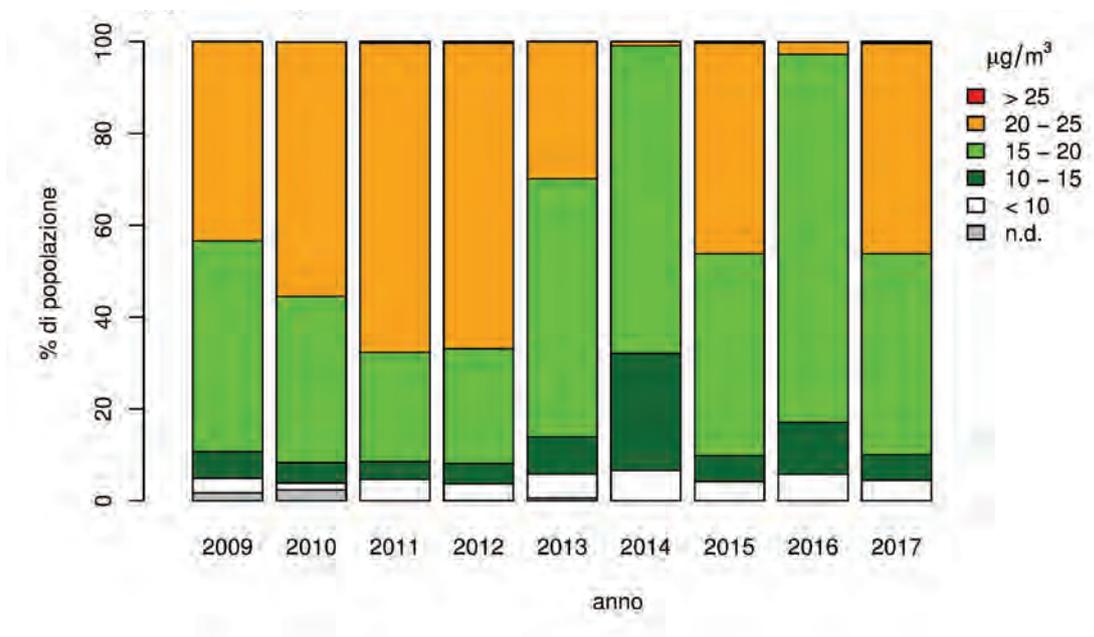
Nota: * valori di fondo; **limite normativo, concentrazione media annua = 40 µg/m³

FIGURA 35

PM₁₀* – Popolazione esposta a superamenti del valore limite giornaliero** (2009-2017)



Nota: * valori di fondo; ** concentrazione media giornaliera > 50 µg/m³ (da non superare più di 35 volte in un anno)

FIGURA 36PM_{2,5}* – Popolazione esposta a diverse concentrazioni medie annuali** (2009-2017)

Nota: *valori di fondo; **limite normativo, concentrazione media annua = 25 µg/m³

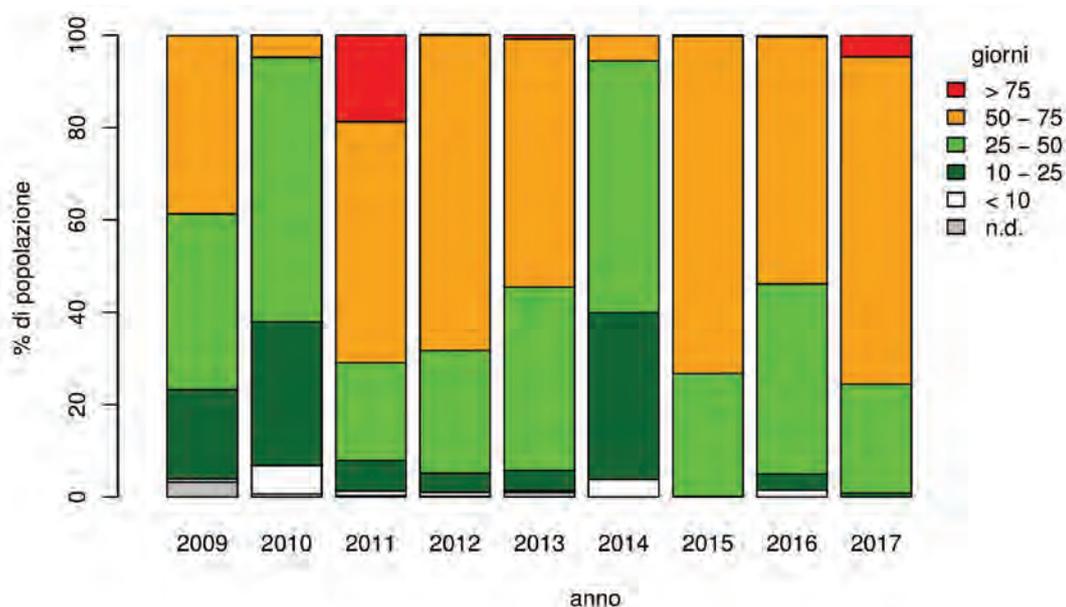
ESPOSIZIONE ALL'OZONO

Il grafico a barre di figura 37 mostra l'andamento, nel periodo 2009-2017, della frazione (%) di popolazione residente in aree dove il massimo giornaliero della media mobile di 8 ore di ozono risulta superiore all'obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana di 120 µg/m³ per più di 75, tra 50 e 75, tra 25 e 50, tra 10 e 25 e meno di 10 giorni all'anno. Il valore obiettivo non deve essere superato. Le colonne in grigio (n.d.) indicano la frazione di popolazione per la quale non è stato possibile stimare l'esposizione.

Questa frazione risulta trascurabile. Si stima che la totalità della popolazione risieda in aree con valori di concentrazione superiori al valore obiettivo per la protezione della salute umana per più di 10 giorni all'anno, mentre una frazione variabile tra il 20 e il 60% della popolazione risieda in aree con più di 50 giorni all'anno superiori al valore obiettivo. Questa elevata percentuale è dovuta alla vasta distribuzione geografica di questo inquinante che porta al verificarsi di situazioni critiche nel periodo estivo, estese a gran parte del territorio regionale (mappa 11, capitolo "Lozono").

FIGURA 37

O₃* – Popolazione esposta a superamenti del valore limite giornaliero** (2009-2017)



Nota: *valori di fondo; **massimo giornaliero della media mobile su 8 ore > 120 µg/m³

ESPOSIZIONE AL BISSIDO DI AZOTO

La concentrazione media annuale del biossido di azoto è caratterizzata da un marcato gradiente spaziale. Come si è mostrato nel capitolo “Il biossido d’azoto”, infatti, le stazioni di fondo rurale e urbano/suburbano risultano inferiori al valore limite a partire dal 2011, mentre alcune stazioni di traffico (una stazione nell’agglomerato e tre nella pianura ovest nel 2017) risultano superiori al valore limite. In accordo con le disposizioni della normativa (DLgs 155/2010 e Annex III - Section B della Direttiva 2008/50/CE) i livelli di inquinamento rilevati nelle stazioni di traffico non sono considerati rappresentativi dell’esposizione della popolazione generale. In base a questa assunzione,

l’esposizione media della popolazione viene, quindi, stimata utilizzando i dati delle sole stazioni di fondo e indica che una frazione trascurabile della popolazione regionale risiede in aree con una significativa concentrazione media di fondo superiore al valore limite annuale. La stima della distribuzione territoriale della concentrazione media annua (capitolo “Il biossido d’azoto”, mappa 12) ha, tuttavia, mostrato come i valori risultano più elevati in prossimità delle principali arterie stradali e nelle aree più congestionate dei principali centri urbani e decresce allontanandosi dalle sorgenti. Si ritengono, quindi, probabili situazioni locali di superamento del valore limite in prossimità delle principali sorgenti di emissione, in particolare le strade a intenso traffico.

PIANO ARIA INTEGRATO REGIONALE 2020



LE AZIONI DEL PIANO

Negli ultimi anni la Regione Emilia-Romagna ha proseguito le azioni di risanamento della qualità dell'aria derivanti dalla sottoscrizione del decimo Accordo di programma per la qualità dell'aria 2012-2015 tra Regione, Province, Comuni capoluogo e Comuni superiori a 50.000 abitanti.

Tale accordo confermava le limitazioni alla circolazione per i veicoli più inquinanti nel periodo ottobre-marzo, introducendo le "domeniche ecologiche" ogni prima domenica del mese, e prevedeva un pacchetto di misure strutturali e gestionali di medio periodo e un meccanismo automatico di attivazione di misure emergenziali, al verificarsi di condizioni particolarmente critiche per i livelli di PM_{10} nel periodo autunno-inverno. Tra le misure attuate, per le quali sono stati destinati investimenti per oltre 460 milioni di euro, si richiamano il rinnovo del parco autobus e del materiale ferroviario, la mobilità ciclo-pedonale e le infrastrutture verdi, la diffusione di biciclette e motocicli elettrici, azioni sull'efficientamento energetico e per il settore agricolo e zootecnico e attività di informazione e comunicazione sulla qualità dell'aria. Le misure messe in campo hanno permesso di ottenere risultati rilevanti, portando a un miglioramento della qualità dell'aria, ma il perdurare dei superamenti ha evidenziato la necessità di incrementare gli sforzi, intervenendo in modo sinergico sui processi che generano gli inquinanti più critici, quali: PM_{10} , NO_2 , O_3 e i loro precursori (composti organici volatili, ammoniaca e biossido di zolfo).

Nel 2017 la Regione Emilia-Romagna, con deliberazione dell'Assemblea Legislativa n. 115 dell'11 aprile 2017, ha approvato il Piano Aria Integrato Regionale (PAIR2020), entrato in vigore il 21 aprile 2017, portando quindi a compimento il percorso di pianificazione in attuazione della Direttiva europea 2008/50/CE sulla qualità dell'aria ambiente e del decreto di recepimento, il DLgs 155/2010. La Regione, dopo avere adottato, nel luglio 2014, la proposta di piano (DGR n. 1180 del 21 luglio 2014), con DGR 1392/2015¹, ha deliberato una parziale modifica dello stesso, individuando le modalità di prima

applicazione delle limitazioni alla circolazione dei veicoli privati nei centri abitati.

Successivamente all'approvazione del PAIR2020 e a seguito della sottoscrizione del Nuovo Accordo di Bacino Padano 2017, la Regione ha recepito alcune misure aggiuntive in esso contenute con DGR n. 1412/2017², che hanno pertanto integrato le corrispondenti disposizioni del PAIR2020. Infine, nell'ottobre 2018, con LR n. 14/2018³, sono state approvate alcune disposizioni riguardanti le limitazioni alla circolazione, la frequenza delle domeniche ecologiche e l'attivazione delle misure emergenziali, oltre che le modalità attuative del divieto di uso di impianti a biomasse per uso civile nei Comuni montani. Obiettivi principali del Piano, che copre un orizzonte temporale sino al 2020, sono la riduzione della popolazione esposta al superamento del valore limite giornaliero di PM_{10} dal 64% all'1% e il rientro nei valori limite di qualità dell'aria per PM_{10} e ossidi di azoto (NO_x) su tutto il territorio regionale.

Il PAIR2020 è il primo piano di livello regionale per il risanamento della qualità dell'aria che, in continuità all'"Accordo di Programma per la qualità dell'aria 2012-2015" sopra citato, segna il passaggio da un approccio "emergenziale" a uno "strutturale". Inoltre, come noto, il bacino padano è caratterizzato da un'alta densità abitativa e un'elevata industrializzazione; allo stesso tempo, le particolari caratteristiche meteorologiche e orografiche rendono difficile la dispersione degli inquinanti nell'atmosfera, portando a frequenti episodi acuti di inquinamento, nonché a concentrazioni di fondo rilevanti e su area vasta.

Per intervenire con maggiore efficacia sui complessi processi che portano al superamento dei valori limite è stato pertanto necessario ricondurre la pianificazione alla scala territoriale più appropriata, quella regionale, pur mantenendo il ruolo strategico svolto dagli Enti locali nell'attuazione delle misure. Le misure del PAIR2020 sono

state individuate valutando l'entità di riduzione delle emissioni necessaria al rientro nei limiti di legge per la qualità dell'aria e selezionate sulla base di un'analisi costi-benefici realizzata con il modello di valutazione integrata RIAT+⁴. Lo scenario emissivo di piano, conseguente all'attuazione delle misure, stima una riduzione delle emissioni degli inquinanti, rispetto ai valori del 2010, per il PM₁₀ del 47%, per l'NO_x del 36%, per l'SO₂ del 7%, per i COV del 27% e per l'NH₃ del 27%. Per raggiungere questi obiettivi, il PAIR2020 individua oltre 90 misure, finanziate con un investimento di oltre 300 milioni di euro, che vanno ad agire su tutti i settori emissivi e riguardano sei ambiti d'intervento:

1. La città, la pianificazione e l'utilizzo del territorio;
2. I trasporti e la mobilità sostenibile delle persone e delle merci;
3. L'energia;
4. Le attività produttive;
5. L'agricoltura (riduzione delle emissioni di ammoniaca dagli allevamenti e del contenuto di azoto nei fertilizzanti);
6. Gli acquisti verdi nelle pubbliche amministrazioni (*Green Public Procurement*).

A tali misure si accompagnano ulteriori interventi di contenimento delle emissioni per le aree di superamento dei valori limite di PM₁₀ e NO₂ e azioni di comunicazione ed educazione ambientale volte a informare e sensibilizzare i cittadini sui temi della qualità dell'aria e della sostenibilità ambientale.

¹ DGR 1392 del 28 settembre 2015: "Piano Aria Integrato Regionale (PAIR 2020). Indicazioni per l'applicazione delle limitazioni alla circolazione dei veicoli privati nel centro abitato e modifiche alla proposta di piano adottata con DGR n. 1180 del 21 luglio 2014. Disposizioni relative alle misure emergenziali"

² DGR 1412 del 25 settembre 2017 "Misure per il miglioramento della qualità dell'aria in attuazione del Piano Aria Integrato Regionale (PAIR2020) e del Nuovo Accordo di Bacino Padano 2017"

³ LR 14 del 22 ottobre 2018: "Attuazione della Sessione europea regionale 2018 - Abrogazione e modifiche di leggi, regolamenti e singole disposizioni normative regionali". Art. n. 39 e 40

⁴ RIAT+ è un applicativo regionale di modellistica di valutazione integrata, sviluppato durante il progetto OPERA (LIFE09 ENV/IT/000092), che supporta i decisori e i tecnici a individuare le misure ottimali per la riduzione delle emissioni per migliorare la qualità dell'aria al minimo costo

Ambito urbano

Un focus è riservato all'ambito territoriale delle città, dove vive la maggioranza della popolazione (51% della popolazione regionale) e in cui si concentrano le principali sorgenti di emissione. In particolare, sono previste misure specifiche per i Comuni con popolazione superiore a 30.000 abitanti e per i Comuni appartenenti all'agglomerato di Bologna (complessivamente 30 Comuni), di seguito riportate:

Limitazioni alla circolazione dei veicoli privati nei centri abitati

Attualmente, la limitazione della circolazione nei centri abitati, dal lunedì al venerdì e nelle domeniche ecologiche (due domeniche al mese), dall'1 ottobre al 31 marzo, dalle 8,30 alle 18,30, riguarda le seguenti categorie di veicoli:

- dall'1 ottobre 2016 veicoli a benzina fino all'Euro 1, veicoli diesel fino all'Euro 3, ciclomotori e motocicli fino all'Euro 0;
- dall'1 ottobre 2020 anche i veicoli a benzina Euro 2, i veicoli diesel fino a Euro 4, i veicoli benzina/GPL e benzina/metano fino Euro 1 e per le due ruote fino all'Euro 1.



Inoltre, il PAIR2020 ha inteso uniformare e rendere omogeneo il regime delle deroghe alle limitazioni alla circolazione stabilite dai Comuni, al fine di garantire una maggiore efficacia e applicabilità delle misure.

Riduzione dei flussi veicolari nei centri abitati

Il PAIR2020 prevede la riduzione del 20% al 2020 del traffico veicolare privato nei centri abitati, attraverso:

- l'ampliamento delle aree pedonali (area pari al 20% dell'estensione del centro storico);
- l'estensione delle zone a traffico limitato (ZTL) (area pari al 100% dell'estensione del centro storico);
- l'armonizzazione delle regole di accesso e sosta nelle ZTL.

Le aree pedonali e le ZTL possono essere collocate in aree del centro abitato a vocazione residenziale e associativa (es. poli scolastici, centri sportivi o sociali ecc.), anche esterne al perimetro dei centri storici.

Mobilità ciclo-pedonale

Il PAIR2020 fissa al 2020 l'obiettivo della quota del 20% degli spostamenti urbani tramite l'uso della bicicletta e individua obiettivi minimi di incremento dei percorsi ciclo-pedonali nei centri abitati e di collegamento tra gli stessi, fino al raggiungimento di una dotazione pari a 1,5 metri per abitante residente nel comune nel 2014.

Altre misure integrative equivalenti

In caso di difficoltà o vincoli oggettivi di inapplicabilità territoriale delle misure di riduzione del traffico o di mobilità ciclo-pedonale, i Comuni possono attuare misure integrative che siano equivalenti in termini di riduzione dei flussi veicolari nel centro abitato, ovvero che contribuiscano al raggiungimento dell'obiettivo di riduzione dei flussi di traffico al 2020.

Tali misure devono essere individuate dai Comuni nell'ambito dei Piani Urbani per la Mobilità Sostenibile (PUMS).

Ampliamento aree verdi

Altro tema centrale del Piano è la dotazione di infrastrutture verdi, visto il loro valore ecosistemico dato dalla capacità di assorbimento e cattura degli inquinanti atmosferici e dalla capacità di rendere le aree urbane più gradevoli per pedoni e ciclisti, oltretutto dagli effetti positivi in termini di mitigazione e adattamento al cambiamento climatico. Il piano prevede quindi l'aumento, al 2020, di almeno il 20% dei metri quadrati di aree verdi per abitante residente nel Comune nell'anno 2014.

Misure emergenziali

Le misure emergenziali stabilite dal PAIR2020 sono state successivamente integrate con quelle previste nel Nuovo Accordo di Bacino Padano 2017, recepite con DGR n. 1412/2017 e con la LR n. 14/2018.

Qualora nei giorni di controllo individuati, lunedì e giovedì, si verifichi il superamento del valore limite giornaliero di PM_{10} , per 3 giorni consecutivi si attivano, subito e integralmente, in modo automatico e fino al giorno di controllo successivo, le misure di primo e secondo livello:

- ampliamento della limitazione della circolazione dalle 8.30 alle 18.30 a tutti i veicoli diesel Euro 4 dall'1 ottobre 2017 e, dall'1 ottobre 2020, a tutti i veicoli diesel Euro 5;
- abbassamento di 1 grado centigrado della temperatura negli ambienti riscaldati fino al limite minimo di 19°C nelle case, negli uffici, nei luoghi per le attività ricreative associative o di culto, nelle attività commerciali e fino al limite minimo di 17°C nei luoghi che ospitano attività industriali e artigianali. Sono esclusi da queste indicazioni gli ospedali e le case di cura, le scuole e i luoghi che ospitano attività sportive;
- potenziamento dei controlli sui veicoli circolanti sulla base delle limitazioni della circolazione in vigore;
- divieto di utilizzo di generatori di calore domestici alimentati a biomassa legnosa (in presenza di riscaldamento alternativo) aventi prestazioni energetiche ed emissive che non sono in grado di rispettare i valori emissivi e di rendimento previsti almeno per la classe "4 stelle"⁵;
- divieto assoluto per qualsiasi tipologia di combustioni all'aperto, anche relativamente alle deroghe consentite dall'art. 182, comma 6 bis, del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, rappresentate dai piccoli cumuli di residui vegetali bruciati in loco;
- divieto di spandimento dei liquami zootecnici, eccetto per le tecniche di spandimento con interrimento immediato dei liquami e con iniezione diretta al suolo e, in presenza di divieto regionale, divieto di rilasciare le relative deroghe;
- potenziamento dei controlli con particolare riguardo al rispetto dei divieti di utilizzo degli impianti termici a biomassa legnosa, di combustioni all'aperto e di divieto di spandimento dei liquami.

Ai sensi del Nuovo Accordo 2017, per comunicare alla popolazione l'attivazione delle misure emergenziali, è stato predisposto, da parte della Regione Lombardia e in collaborazione con le altre Regioni e rispettive ARPA, un apposito sito web consultabile al seguente link: <http://www.l15.regione.lombardia.it/#/accordo-aria>

⁵ La classificazione emissiva a stelle è stabilita dal DM 7 novembre 2017, n. 186 "Regolamento recante la disciplina dei requisiti, delle procedure e delle competenze per il rilascio di una certificazione dei generatori di calore alimentati a biomasse combustibili solide"

Trasporti

Trasporto pubblico locale e regionale

Il PAIR2020 prevede azioni di riqualificazione e potenziamento del trasporto pubblico, quali:

- la sostituzione al 2020 degli autobus più obsoleti di categoria uguale o inferiore a Euro 2 con mezzi a minore impatto ambientale (circa 600 nuovi bus);
- il potenziamento del servizio di trasporto pubblico locale su gomma del 10% e del trasporto pubblico su ferro del 20%.

Sono inoltre previste altre misure finalizzate alla mobilità sostenibile, quali:

- la realizzazione di infrastrutture per il miglioramento dell'interscambio modale ferro-gomma-bici nelle stazioni/fermate del trasporto pubblico;
- il completamento del sistema di tariffazione integrata ferro-gomma («Mi Muovo») e lo sviluppo dell'ITS (*Intelligent Transport Systems*), nonché di progetti di Infomobilità;
- il potenziamento del *car-sharing* e la diffusione del *car-pooling* e delle piattaforme web di gestione;
- l'estensione del Pedibus/bicibus nei percorsi casa-scuola;
- la promozione di iniziative di *Mobility management* nelle aziende, nei distretti industriali e negli enti pubblici per ottimizzare gli spostamenti casa-lavoro dei dipendenti;
- azioni per ridurre le necessità di spostamento della popolazione connesse all'attività lavorativa, tramite lo sviluppo di videoconferenze e telelavoro;
- la promozione della guida ecologica "*Eco Driving*" dei veicoli pubblici e privati attraverso la formazione e l'addestramento dei conducenti.

Energia

Uso sostenibile dell'energia

Il PAIR2020 prevede diverse misure nel settore energia, che trovano cofinanziamento attraverso il Programma Operativo Regionale del Fondo Europeo di Sviluppo Regionale (POR-FESR) 2014-2020, quali la riqualificazione energetica degli edifici pubblici e la promozione di fonti di energia rinnovabile non emissive (ad esempio impianti solari e fotovoltaici). In aggiunta, il PAIR2020 prevede, ai fini del risparmio energetico, il divieto di installazione e di utilizzo di impianti per la climatizzazione invernale e/o estiva in spazi dell'organismo edilizio quali cantine, vani scale, box, garage e depositi, in spazi di circolazione e collegamento comuni a più unità immobiliari (androni, scale, rampe), in vani e locali tecnici e divieto di utilizzo di quelli esistenti, nonché l'obbligo di chiusura delle porte di accesso al pubblico da parte degli esercizi commerciali e degli edifici con accesso al pubblico per evitare dispersioni

termiche, sia nel periodo invernale che in quello estivo. Con la LR 16/2017 sono state stabilite le sanzioni amministrative (da 50 euro a 500 euro) per la violazione dei divieti sopra citati, imposti con ordinanza comunale.

Combustione di biomassa

La regolamentazione regionale dell'utilizzo delle biomasse come fonte di energia prevede, oltre alle limitazioni localizzative stabilite dalla DGR 362/2012, le seguenti misure previste nel PAIR2020, dalla DGR 1412/2017 di attuazione del Nuovo Accordo 2017 e dalla LR n. 14/2018:

- dall'1 ottobre 2018 e per il periodo dall'1/10 al 31/3, divieto di utilizzo di combustibili solidi per riscaldamento a uso civile nelle unità immobiliari dotate di sistema multicomustibile, negli impianti con classe di prestazione energetica inferiore a "2 stelle" ovvero nei focolari aperti o che possono funzionare aperti, nei Comuni i cui territori sono interamente ubicati a quota altimetrica inferiore ai 300 m. Dall'1 ottobre 2019 il divieto è esteso ai generatori di calore alimentati a biomassa con classe di prestazione emissiva inferiore a "3 stelle". Nei Comuni i cui territori siano posti ad altitudini anche in parte superiori a 300 m, i Sindaci dovranno individuare con proprio atto le zone situate al di sotto della suddetta quota cui si applica il divieto; in caso di mancata individuazione, tale divieto si applicherà a tutto il territorio comunale. Sono esclusi dalla norma i Comuni definiti "montani" dalla LR n. 2/2004 "Legge per la montagna", purché non compresi in zone oggetto di procedura di infrazione comunitaria per la qualità dell'aria;
- dall'1 ottobre 2018 divieto di installare generatori con classe di prestazione emissiva inferiore alla classe "3 stelle" e dall'1 gennaio 2020 divieto di installare generatori con classe di prestazione emissiva inferiore alla classe "4 stelle";
- dall'1 ottobre 2018 obbligo di utilizzare, nei generatori di calore di potenza termica nominale inferiore ai 35 KW, pellet che, oltre a rispettare le condizioni previste dall'Allegato X, Parte II, sezione 4, paragrafo 1, lettera d) alla parte V del DLgs 152/2006, sia certificato conforme alla classe A1 della norma UNI EN ISO 17225-2 da parte di un Organismo di certificazione accreditato; è stabilito altresì l'obbligo per gli utilizzatori di conservare la pertinente documentazione sul pellet;
- divieto di utilizzo della combustione delle biomasse, nelle aree di superamento della qualità dell'aria, per coprire in sede progettuale la quota parte dei consumi di energia termica ed elettrica dell'edificio da fonti rinnovabili⁶.

⁶ DGR 1275/2015 allegato 2 punto B.7 e DGR 967/2015

Attività produttive

Impianti in AIA

In caso di nuovi impianti produttivi o di ampliamenti consistenti, il PAIR2020 prevede la fissazione dei valori limite di emissione più bassi per PM_{10} , NO_2 (anche per SO_2 in aree di superamento) fra quelli di riferimento per la specifica tecnologia. Si stabilisce un percorso di adeguamento progressivo per gli impianti in AIA esistenti ad alta emissività situati nelle aree critiche per la qualità dell'aria.

Altre misure per attività produttive

Tra le misure previste per il settore produttivo si prevedono accordi d'area e territoriali volontari per il contenimento delle emissioni da stipularsi tra gli enti pubblici, le imprese e le associazioni di categoria; si prevede l'adozione delle migliori tecniche (BAT) di abbattimento per il contrasto alle emissioni di polveri diffuse e di composti organici volatili e la revisione dei criteri regionali di autorizzabilità per le attività con emissioni in atmosfera.

Agricoltura

Buone pratiche agricole

Il PAIR2020 prevede diverse misure nel settore agricoltura per la riduzione delle emissioni di ammoniaca, che dovranno essere attuate entro il 2020 e che trovano cofinanziamento attraverso il Programma di Sviluppo Rurale (PSR 2014-2020), quali la copertura delle vasche di stoccaggio delle deiezioni, l'adeguamento delle strutture di ricovero degli animali, l'impiego di pratiche efficienti di distribuzione degli effluenti e modifiche della dieta degli animali. Il PAIR2020 prevede anche la regolamentazione, attraverso un apposito atto di Giunta, della pratica dell'"abbruciamento" in campo dei residui agricoli nei periodi più critici per la qualità dell'aria e la valorizzazione degli scarti per il recupero energetico del calore prodotto attraverso accordi di filiera.

Valutazioni ambientali

Per i piani sottoposti a procedura di VAS (Valutazione Ambientale Strategica) ed i progetti ubicati in aree di superamento sottoposti a VIA (Valutazione d'Impatto Ambientale), il PAIR2020 stabilisce l'obbligo, da parte del proponente, di valutare le conseguenze in termini di emissioni di polveri sottili e ossidi di azoto e di individuare le eventuali misure aggiuntive idonee a compensare e/o mitigare l'effetto delle emissioni stesse per ridurre l'impatto al minimo.

LE PRINCIPALI AZIONI IN CORSO

In coerenza con le misure del Piano relative alla promozione della mobilità sostenibile, ai fini del rinnovo del parco veicolare con mezzi meno impattanti, nel 2017 la Regione ha attivato un bando, per complessivi 2 milioni di euro, per incentivare la sostituzione di mezzi commerciali di categoria N1 diesel, di categoria inferiore o uguale a Euro 3, con veicoli commerciali di categoria N1 Euro 6, ad alimentazione benzina/GPL, benzina/metano, elettrica o ibrida benzina/elettrico. Sempre in tema di mobilità sostenibile la Regione Emilia-Romagna ha finanziato con 350.000 euro lo sviluppo dei Piani Urbani della Mobilità Sostenibile (PUMS) dei Comuni. Inoltre, con Legge Regionale del 27 dicembre 2017 n. 26, articolo 7 (Legge di stabilità regionale 2018), la Regione ha stabilito di erogare un incentivo per i cittadini residenti nel proprio territorio che hanno acquistato nel 2017 o acquistano nel 2018 un'auto ibrida di prima immatricolazione. Tale incentivo consiste in un contributo al pagamento della tassa automobilistica, per l'importo massimo di 191 euro per ciascuna annualità 2018, 2019 e 2020, corrispondente circa al bollo dovuto da un veicolo ibrido di media cilindrata, per un ammontare complessivo di 3 milioni di euro (DGR 602/2018)⁷. Per il rinnovo e il potenziamento del trasporto pubblico locale con la sostituzione dei veicoli più inquinanti, sono state destinate risorse regionali, fondi ministeriali, fondi POR-FESR per complessivi 160 milioni di euro, i quali permetteranno l'acquisto di oltre 600 mezzi pubblici.

Le misure per la mobilità sostenibile previste dal PAIR2020 sono finanziate con oltre 14 milioni di euro derivanti dai fondi POR FESR, di cui 8,2 milioni di euro finalizzati a incentivi alla realizzazione di piste ciclabili, zone "30", opere di moderazione del traffico, riqualificazione delle fermate, miglioramento dell'accessibilità e sicurezza viaria dei centri urbani con popolazione inferiore ai 50.000 abitanti e Città metropolitana, previsti negli strumenti di pianificazione di settore, e 6 milioni di euro per interventi di sviluppo dell'ITS (*Intelligent Transport System*) e di progetti di infomobilità.

Per gli interventi individuati dal PAIR2020 in tema di aumento dell'efficienza energetica degli edifici pubblici e del settore produttivo (alcuni dei quali già in fase di attuazione attraverso specifici bandi di finanziamento), le risorse previste ammontano a oltre 86 milioni di euro, che derivano da fondi POR-FESR, regionali, e PON Metro (Programma Operativo Nazionale Città Metropolitane).

Anche nel settore agricolo il Piano interviene con diverse azioni mirate alla riduzione delle emissioni

di ammoniaca derivanti dalle pratiche agricole e zootecniche, finanziate attraverso diverse linee di intervento del PSR 2014-2020 per un impegno economico di oltre 55 milioni di euro.

Infine, per la manutenzione e l'aggiornamento degli strumenti di gestione della qualità dell'aria (rete regionale di monitoraggio, modellistica, inventario delle emissioni, sito web istituzionale ecc.) e per le azioni di comunicazione, sono previste risorse provenienti da fondi regionali e fondi europei (progetti LIFE integrati) per circa 5,7 milioni di euro, fino al 2020.

La Regione è coinvolta in un contenzioso con la Commissione europea nell'ambito della procedura d'infrazione 2014/2147 per il superamento del valore limite giornaliero del PM_{10} nelle zone Pianura ovest e Pianura est per il periodo 2008-2014. Nello specifico, la Commissione europea contesta che le misure e i piani per la qualità dell'aria adottati dalle regioni non siano adeguati a raggiungere il rispetto dei pertinenti valori limite di PM_{10} , venendo meno all'obbligo di mantenere il periodo di superamento il più breve possibile.

Nel settembre 2018 la procedura è giunta alla fase del parere motivato, emesso nei confronti dell'Italia il 28 aprile 2017, a cui la Regione Emilia-Romagna ha dato risposta il 20 giugno 2017, con nota trasmessa al Ministero dell'Ambiente.

Per quanto riguarda il biossido di azoto (NO_2), la Commissione europea ha accolto la richiesta della Regione Emilia-Romagna di proroga al rispetto del valore limite annuale sino al 31/12/2014. Nel corso degli anni 2015, 2016 e 2017 si sono tuttavia verificati superamenti del valore limite annuale dell' NO_2 nelle aree urbane di Bologna, Modena, Fiorano Modenese, Reggio Emilia, Piacenza e Rimini.

Alla luce di quanto sopra evidenziato, è indispensabile pertanto, ai fini della protezione della salute dei cittadini, che l'attività della Regione e dei Comuni per il miglioramento della qualità dell'aria prosegua con sempre maggiore determinazione ed efficacia, rafforzando ulteriormente le azioni sinora intraprese ai vari livelli istituzionali e dando concretezza agli impegni assunti sia a livello locale che di Bacino Padano.

⁷ DGR 602 del 23 aprile 2018 "Bando bollo auto - incentivi all'acquisto di veicoli ecologici di categoria M1. Approvazione"

GLI ACCORDI E LE INIZIATIVE DI BACINO PADANO

Per quanto riguarda il livello sovra-regionale, la Regione Emilia-Romagna ha proseguito la propria collaborazione con le altre regioni del Bacino Padano, attiva ormai dal 2005, per l'individuazione di misure coordinate volte al miglioramento della qualità dell'aria e la gestione di strumenti comuni.

Nell'Accordo di programma per l'adozione coordinata e congiunta di misure per il miglioramento della qualità dell'aria, sottoscritto nel dicembre 2013, oltre alle Regioni Emilia-Romagna, Lombardia, Piemonte, Veneto, Valle d'Aosta, Friuli Venezia Giulia e alle Province autonome di Trento e di Bolzano, sono stati coinvolti anche i Ministeri competenti in materia ambientale e nei settori impattanti sulla qualità dell'aria, oltreché il Ministero della Salute. Le parti si impegnavano a realizzare interventi relativi ai settori emissivi maggiormente responsabili delle emissioni inquinanti ovvero: combustione di biomasse; trasporto merci; trasporto passeggeri; riscaldamento civile; industria e produzione di energia; agricoltura.

I gruppi di lavoro settoriali istituiti a seguito dell'Accordo hanno elaborato documenti tecnici e proposte di decreti o linee guida da recepire con appositi decreti ministeriali per garantirne l'attuazione (si citano il DLgs 183/2017, contenente le modifiche ai valori limite di emissione degli impianti a biomasse, e il Decreto del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare n. 186/2017, sulla certificazione ambientale dei generatori di calore domestici a biomassa). Per rafforzare l'impegno a livello nazionale e di Bacino Padano ai fini del risanamento della qualità dell'aria, il 30 dicembre 2015 il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, la Conferenza delle Regioni e Province Autonome e l'Associazione Nazionale dei Comuni italiani hanno sottoscritto un "Protocollo d'Intesa per migliorare la qualità dell'aria, incoraggiare il passaggio a modalità di trasporto pubblico a basse emissioni, disincentivare l'utilizzo del mezzo privato, abbattere le emissioni, favorire misure intese ad aumentare l'efficienza energetica". Obiettivo di tale Protocollo è definire e attuare misure omogenee su scala di bacino per il miglioramento e la tutela della qualità dell'aria e ridurre le emissioni di gas climalteranti, con interventi prioritari nelle città metropolitane, utilizzando in modo coordinato gli strumenti normativi e finanziari previsti dall'ordinamento, nonché promuovendo il coordinamento delle reti di monitoraggio della qualità dell'aria da parte del sistema delle agenzie regionali di protezione ambientale e di ISPRA e le azioni di informazione e divulgazione mirate alla corretta comunicazione dei rischi ambientali e sanitari ai cittadini. Inoltre, l'intesa promuove l'implementazione

e il miglioramento delle infrastrutture del trasporto pubblico locale e mette in campo misure volte alla rottamazione o riconversione dei veicoli più inquinanti, con particolare riferimento alle flotte merci, incoraggiando le tecnologie combustibili a basso impatto ambientale.

In attuazione al Protocollo citato, il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare ha promosso interventi di miglioramento della qualità dell'aria a favore di Comuni e Città metropolitane attivando il "Programma sperimentale nazionale di mobilità sostenibile casa-scuola e casa-lavoro" che prevede lo stanziamento di 35 milioni di euro. Per rafforzare il coordinamento di Bacino Padano, la Regione Emilia-Romagna, in qualità di capofila e unitamente alle altre Regioni del Bacino Padano aderenti all'Accordo 2013, ha presentato il progetto LIFE integrato "PREPAIR" (*Po Regions Engaged to Policies of AIR*), approvato dalla Commissione europea nel dicembre 2016. Il progetto, della durata di sette anni, ha un budget di circa 17 milioni di euro per la realizzazione di azioni coordinate volte al miglioramento della qualità dell'aria nel Bacino Padano relativamente ai settori maggiormente impattanti sulla qualità dell'aria (trasporti e mobilità sostenibile, combustione delle biomasse, energia, agricoltura) e di un sistema condiviso per la loro valutazione e monitoraggio.

Successivamente, il 9 giugno 2017, in occasione del G7 Ambiente, il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare e le Regioni Emilia-Romagna, Lombardia, Piemonte e Veneto hanno sottoscritto il "Nuovo accordo di programma per l'adozione coordinata e congiunta di misure per il miglioramento della qualità dell'aria nel Bacino Padano". L'accordo prevede una serie di specifici impegni in capo alle Regioni e al Ministero al fine di attuare una politica coordinata, secondo un approccio di area vasta, per rendere le azioni più efficaci.

Il Nuovo Accordo 2017 prevede l'adozione di misure comuni per il miglioramento della qualità dell'aria uniformando le misure già vigenti nelle quattro Regioni, al fine di aumentarne l'effetto sinergico sulla riduzione dell'inquinamento atmosferico. I settori coinvolti sono la combustione di biomasse, i trasporti, le attività in ambito agricolo, sia a livello di misure strutturali che emergenziali.

Le misure proposte sono frutto dell'esperienza maturata nelle diverse Regioni attraverso i piani di qualità della aria e gli accordi a livello territoriale: ciò significa, nella maggioranza degli interventi previsti, mettere in pratica gli esempi più sfidanti delle azioni praticate nelle quattro Regioni.

In attuazione al Nuovo Accordo di Bacino Padano, la Regione Emilia-Romagna, con Deliberazione di Giunta

Regionale n. 1412 del 25 settembre 2017, ha recepito alcune delle misure in esso previste, in specifico quelle riguardanti la regolamentazione degli impianti di combustione a biomassa per riscaldamento a uso civile e le misure emergenziali. Tali misure si aggiungono a quanto già stabilito dal Piano Aria Integrato Regionale. Gli ulteriori impegni regionali, la maggioranza dei quali trovano già attuazione attraverso il PAIR2020, riguardano:

- la limitazione alla circolazione dal 1° ottobre al 31 marzo, dalle 8.30 alle 18.30 dei veicoli diesel euro 3 nei centri urbani con più di 30.000 abitanti, in zone di superamento dei valori limite di qualità dell'aria. La limitazione sarà estesa agli Euro 4 entro il 1° ottobre 2020 e agli Euro 5 entro il 1° ottobre 2025;
- la concessione di appositi contributi per la sostituzione di una o più tipologie di veicoli oggetto dei divieti sopra citati con veicoli a basso impatto ambientale;
- il sostegno a interventi per la riduzione delle emissioni prodotte dalle attività agricole (tra cui la copertura delle vasche di stoccaggio di liquami, le modalità corrette di spandimento degli stessi e dell'applicazione di fertilizzanti);
- l'elaborazione di una proposta normativa riguardante i requisiti generali per specifiche attività di allevamento zootecnico soggette ad autorizzazione integrata ambientale;
- l'installazione di nuove infrastrutture per la distribuzione di carburanti alternativi e per la mobilità ciclo-pedonale nelle aree urbane;
- una regolamentazione omogenea per l'accesso alle zone a traffico limitato;
- la promozione del *car-sharing* con auto alimentate con carburanti alternativi;
- la regolamentazione della combustione di biomasse e della combustione all'aperto del materiale vegetale;
- l'adozione di modalità comuni di individuazione, contrasto e comunicazione delle situazioni di accumulo degli inquinanti atmosferici, con particolare riferimento al PM_{10} .

Il Ministero dell'Ambiente si impegna a contribuire con risorse fino a un massimo di 4 milioni di euro per ogni Regione per sostenere interventi di sostituzione dei veicoli più inquinanti e di riduzione dell'inquinamento prodotto dalle attività agricole e zootecniche. Il Ministero si impegna inoltre a sottoporre ai Ministeri competenti misure sulle tasse automobilistiche, in funzione del potere inquinante del veicolo, utilizzando il criterio del bonus-malus; iniziative, anche di carattere legislativo, per accelerare, nel medio periodo, la progressiva diffusione di veicoli a basse e/o nulle emissioni, in sostituzione di tecnologie tradizionali quali il diesel.

IL PROGETTO PREPAIR

Il progetto PREPAIR, "Po Regions Engaged to Policies of AIR", è stato finanziato dal Programma europeo Life nel 2016, bando per progetti integrati (LIFE15IPEIT013, www.lifeprepare.eu). Avviato nel febbraio 2017, prevede azioni per un budget complessivo di quasi 17 milioni di euro, dei quali il 60% di cofinanziamento europeo, da realizzare nell'arco di sette anni. PREPAIR è un progetto strategico di ampio respiro, sia per la dimensione territoriale, che copre l'area del Bacino del Po e il territorio sloveno (mappa 13), sia per la dimensione economica, nonché per quella temporale. Si tratta di un progetto integrato per il miglioramento della qualità dell'aria, che trae origine dall'attività di coordinamento pluriennale tra le Regioni del Bacino del Po, che ha portato nel dicembre 2013 alla firma dell'Accordo Stato-Regioni e nel giugno 2017 alla firma di un nuovo Accordo per l'adozione di misure omogenee. La finalità è quella di realizzare le misure previste nei piani regionali e nell'accordo di Bacino attuandole a scala più ampia, in modo da rafforzare la sostenibilità e la durata dei risultati, migliorando così l'integrazione verticale tra i livelli di governo e l'integrazione orizzontale tra i settori.

AREA DI PROGETTO

Il Bacino del Po rappresenta un'area di criticità per la qualità dell'aria (polveri fini, ossidi di azoto, ozono), sin dall'entrata in vigore dei valori limite fissati dall'Unione europea. A causa delle condizioni meteo climatiche e delle caratteristiche morfologiche del Bacino, le concentrazioni di fondo rurale degli inquinanti sono spesso alte e una larga parte del particolato atmosferico ha origini secondarie. Negli ultimi quindici anni, tutte le regioni del Bacino hanno implementato azioni per il risanamento della qualità dell'aria, che però non si sono dimostrate

completamente efficaci nel ridurre le concentrazioni di inquinanti al di sotto dei valori limite. Questa esperienza ha dimostrato che sono necessarie azioni sovra regionali e con questa finalità le Regioni hanno istituito il Tavolo di Bacino Padano e, nel 2013, hanno sottoscritto con i competenti Ministeri nazionali un Accordo per l'adozione di misure coordinate per il miglioramento della qualità dell'aria, poi seguito da un nuovo Accordo firmato nel 2017 tra il Governo e le Regioni Emilia-Romagna, Lombardia, Piemonte e Veneto.

Il progetto PREPAIR coinvolge le Regioni del Bacino Padano e la Slovenia, in particolare il distretto costiero, ai fini della valutazione e riduzione degli inquinanti trasportati nel bacino Nord-Adriatico. In tema di qualità dell'aria, infatti, le regioni a sud delle Alpi sono caratterizzate da condizioni climatiche simili, che richiedono notevoli sforzi tecnici e finanziari per rientrare nei limiti fissati dalla normativa. Nello specifico, PREPAIR coinvolge 18 Enti. La Regione Emilia-Romagna è incaricata del coordinamento del progetto, cui partecipano anche le Regioni Lombardia, Piemonte, Veneto, Friuli Venezia Giulia e la Provincia Autonoma di Trento, Arpa Emilia-Romagna e le Arpa del Veneto, Lombardia, Piemonte, Valle d'Aosta e Friuli Venezia Giulia, l'Agenzia per l'ambiente della Slovenia, i Comuni di Bologna, Torino e Milano, ERVET e FLA.



MAPPA 13

Area di progetto



OBIETTIVI E AZIONI

PREPAIR prevede l'implementazione di misure nei settori della mobilità sostenibile, dell'efficienza energetica, delle biomasse e dell'agricoltura, attraverso azioni di coordinamento e *capacity building*, formazione e comunicazione. Si propone inoltre di integrare, a livello di bacino, gli strumenti utilizzati per supportare la pianificazione e monitorarne gli effetti, fornendo così un quadro d'insieme alla Commissione europea, al Governo nazionale, ai Governi regionali e ai cittadini. Gli obiettivi sono: la realizzazione delle misure previste dai Piani di Qualità dell'Aria e dall'Accordo di Bacino Padano, ampliando l'area di intervento e definendo metodiche comuni per la valutazione dell'efficacia delle azioni; l'incremento del *know-how* di enti pubblici e operatori

privati in modo da sviluppare le competenze e le conoscenze; un maggior coordinamento tra le autorità e la creazione di una rete permanente tra le agenzie ambientali del Bacino e altre regioni come la Slovenia; la creazione di report di valutazione omogenei circa l'efficacia delle azioni, per un'efficiente gestione della qualità dell'aria. Infine, ma non ultimo, il progetto si pone come obiettivo la sensibilizzazione dei cittadini e degli attori socio-economici, così da creare una comunità consapevole dei rischi per la salute umana e per l'ambiente connessi all'inquinamento atmosferico. Di seguito, le azioni che saranno realizzate per ciascun settore.

- Agricoltura: sviluppo di un modello coordinato e condiviso di stima e valutazione delle emissioni dagli

allevamenti animali e di uno studio per l'individuazione delle migliori tecniche per l'utilizzo dei fertilizzanti in modo da ridurre l'impatto ambientale.

- Combustione della biomassa per riscaldamento domestico: organizzazione di corsi sull'uso corretto della biomassa e sugli impatti conseguenti e di attività formative per una corretta installazione e manutenzione degli impianti; verrà inoltre intrapreso il percorso per la definizione della figura professionale dello spazzacamino.

- Trasporti: le azioni svilupperanno percorsi di formazione sulla mobilità sostenibile (trasporto pubblico, mobilità ciclo pedonale) e sulla mobilità elettrica, indirizzati a cittadini e addetti ai lavori (amministratori, professionisti e *mobility manager*); verranno inoltre diffuse le conoscenze sull'*eco-driving* e saranno sviluppati strumenti ICT per i passeggeri, oltre a iniziative locali per promuovere l'utilizzo della bicicletta.

- Efficienza energetica: saranno realizzate attività di formazione e di supporto nel settore industriale per la riduzione dei consumi energetici; verranno inoltre organizzate attività di formazione, rivolte agli operatori dei settori pubblici e ai professionisti, sia sugli edifici a emissioni zero che sul GPP.

- Monitoraggio e valutazione: verrà realizzata un'infrastruttura permanente per la condivisione dei dati, il monitoraggio e la valutazione della qualità dell'aria alla scala di bacino padano; gli strumenti che saranno implementati sono:

- un sistema di monitoraggio delle azioni di progetto e dei piani di qualità dell'aria;
- un sistema modellistico e di elaborazione dei dati per la valutazione degli effetti del progetto e dei piani di qualità dell'aria;

- un modello di valutazione integrata per la valutazione costi-benefici delle azioni.

Infine, PREPAIR svilupperà in modo organico e intensivo azioni di comunicazione e diffusione dei risultati. In aggiunta alle iniziative di divulgazione proprie di progetto, saranno realizzate una campagna di comunicazione sull'uso della biomassa, una pubblicazione sui comportamenti sostenibili, azioni di promozione della mobilità ciclabile ed elettrica.

COMPLEMENTARIETÀ

Una delle caratteristiche dei progetti integrati è la capacità di sviluppare sinergie tra le azioni di progetto e quelle realizzate con altre risorse. Per l'elaborazione di PREPAIR è stata quindi condotta una approfondita analisi dei programmi regionali approvati e in corso di approvazione, in primis quelli finanziati dal fondo europeo di Sviluppo Regionale e dal fondo di Sviluppo Rurale, identificando sinergie e complementarità. Le azioni complementari ammontano a 850 milioni di euro, ovvero il rapporto tra il budget delle azioni di progetto e quello delle azioni complementari è di 1:50.



IL PIANO ARIA INTEGRATO REGIONALE 2020

Lo strumento con cui la Regione Emilia-Romagna mette in campo importanti azioni, rafforzando il suo impegno per il miglioramento della qualità dell'aria

FINANZIAMENTI

Oltre 300 milioni di euro

INTERVALLO TEMPORALE

Entrato in vigore il 21 aprile 2017, sino al 2020

PAROLA CHIAVE "INTEGRAZIONE"

È necessario agire su tutti i settori che contribuiscono all'inquinamento atmosferico, oltre che al cambiamento climatico, sviluppando politiche e misure coordinate ai vari livelli di governo e Bacino Padano

OBIETTIVI

Rientro nei valori limite della qualità dell'aria per il PM₁₀ e l'NO_x su tutto il territorio regionale

Riduzione delle popolazione esposta al superamento del valore limite giornaliero del PM₁₀:



90 MISURE DI INTERVENTO

“Migliorare il presente, proteggendo il futuro”

-  Potenziamenti, riqualificazioni, regolamentazioni
-  Limitazioni, riduzioni, divieti

CITTÀ

-  Incremento delle **aree pedonali**, delle **zone a traffico limitato** e delle infrastrutture per la **mobilità ciclabile**

-  Limitazione alla **circolazione dei veicoli privati più inquinanti** nei centri abitati

-  Ampliamento delle **aree verdi**

TRASPORTI

-  Promozione della **mobilità elettrica**

-  Potenziamiento del **trasporto pubblico locale su gomma** e del **trasporto pubblico su ferro**

-  Incentivazione del **ricambio del parco veicolare** con mezzi meno inquinanti



BIBLIOGRAFIA

GUIDA ALLA CONSULTAZIONE

European Environment Agency (EEA) (2017), <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2017>

Sen P. K., 1968. Estimates of regression coefficient based on kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association* 63(324). 145

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

CAP. I PRINCIPALI INQUINANTI DELL'ARIA

EEA, 2015. EEA Report No 7/2015 "Evaluating 15 years of transport and environmental policy integration": 79 pp.

CAP. I PROCESSI FISICI E CHIMICI CHE INFLUENZANO LA CONCENTRAZIONE DEGLI INQUINANTI

Gilardoni S., Massoli P., Giulianelli L., Rinaldi M., Paglione M., Pollini F., Lanconelli C., Poluzzi V., Carbone C., Hillamo R., Russell L.M., Facchini M.C., Fuzzi S., 2014, "Fog scavenging of organic and inorganic aerosol in the Po Valley", *Atmospheric Chemistry and Physics*, 14, 6967-6981

Gilardoni S., Massoli P., Paglione M., Giulianelli L., Carbone C., Rinaldi M., Decesari S., Sandrini S., Costabile F., Gobbi G.P., Pietrogrande M.C., Visentin M., Scotto F., Fuzzi S., Facchini M.C., 2016, "Direct observation of aqueous secondary organic aerosol from biomass-burning emissions", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, PNAS, 113 (36), 10013-10018

Seinfeld J.H., Pandis S.N., 2006, "Atmospheric chemistry and physics – From air pollution to climate change", Wiley Interscience

CAP. LA ZONIZZAZIONE, IL MONITORAGGIO E LA VALUTAZIONE

Mailler S., Menut L., Khvorostyanov D., Valari M., Couvidat F., Siour G., Turquety S., Briant R., Tuccella P., Bessagnet B., Colette A., Letinois L. and Meleux F., CHIMERE-2017: from urban to hemispheric chemistry-transport modeling, *Geosci. Model Dev.*, 10, 2397-2423, <https://doi.org/10.5194/gmd-10-2397-2017>, PDF, 2017

Steppeler J., Doms G., Schättler U., Bitzer H.W., Gassmann A., Damrath U., Gregoric G., 2003. Meso-gamma scale forecasts using the nonhydrostatic model LM. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 82: 75-96

CAP. LE EMISSIONI D'INQUINANTI DELLE VARIE SORGENTI

Belis C.A., Cancelinha J., Duane M., Forcina V., Pedroni V., Passarella R., Tanet G., Douglas K., Piazzalunga A., Bolzacchini E., Sangiorgi G., Perrone M.G., Ferrero L., Fermo P., Larsen B.R. Sources for PM air pollution in the Po Plain, Italy: I. Critical comparison of methods for estimating biomass burning contributions to benzo(a) pyrene. *Atmospheric Environment* 45 (2011) 7266-7275

Perrone M.G., Larsen B.R., Ferrero L., Sangiorgi G., De Gennaro G., Udisti R., Zangrando R., Gambaro A., Bolzacchini E. Sources of high PM_{2,5} concentrations in Milan, Northern Italy: Molecular marker data and CMB modeling. *Science of the Total Environment* 414 (2012) 343–355

CAP. IL PARTICOLATO

de Leeuw F. A. (2002). A set of emission indicators for long-range transboundary air pollution. *Environmental Science & Policy*, 5(2), 135-145

de Leeuw F. A. (2012). Studio presentato a Bruxelles al PM-workshop del 18-19/6/2012

Johansson M., Karvosenoja N., Porvari P., & Kupiainen K. (2003). Emission scenarios for particulate matter research and policy assessment in Finland. In 12th International Emission Inventory Conference Emission inventories-applying new technologies (Vol. 28)

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

Stortini M., Bonafe' G., 2017. Quali sono le origini del particolato?, *Ecoscienza*, 1,12-13

CAP. UNO SGUARDO D'INSIEME ALLA QUALITA' DELL'ARIA: ANALISI SUL LUNGO PERIODO

ISPRA, 2016. Focus su Inquinamento atmosferico nelle aree urbane ed effetti sulla salute. XII Rapporto Qualità dell'ambiente urbano. Stato dell'ambiente 2016: 299 pp.

INDICE FIGURE

MAPPE

Mappa 1 pag. 25: Carta del consumo di suolo dell'Emilia-Romagna (2017)

Mappa 2 pag. 25: La rete autostradale e ferroviaria (2017)

Mappa 3 pag. 30: Velocità media del vento a 10 m nel periodo 2010-2011. Analisi meteorologica ECMWF a scala continentale a 15 km di risoluzione

Mappa 4 pag. 32: Altezza di rimescolamento media (m) nella Pianura Padana nel periodo invernale ed estivo, dal 2003 al 2007

Mappa 5 pag. 36: Mappa dei siti di indagine del progetto Supersito: Bologna, Rimini, Parma, San Pietro Capofiume e Monte Cimone

Mappa 6 pag. 40: Zonizzazione della regione Emilia-Romagna

Mappa 7 pag. 50: Esempio di output di simulazione del modello Chimere

Mappa 8a pag. 65: Stima della distribuzione territoriale della concentrazione media annuale di fondo di PM_{10} in Emilia-Romagna (2009-2016)

Mappa 8b pag. 66: Stima della distribuzione territoriale della concentrazione media annuale di fondo di PM_{10} in Emilia-Romagna (2017)

Mappa 9a pag. 67: Stima della distribuzione territoriale del numero di superamenti del valore limite giornaliero di PM_{10} in Emilia-Romagna (2009-2016)

Mappa 9b pag. 68: Stima della distribuzione territoriale del numero di superamenti del valore limite giornaliero di PM_{10} in Emilia-Romagna (2017)

Mappa 10a pag. 74: Stima della distribuzione territoriale della concentrazione media annuale di fondo di $PM_{2,5}$ in Emilia-Romagna (2009-2016)

Mappa 10b pag. 75: Stima della distribuzione territoriale della concentrazione media annuale di fondo di $PM_{2,5}$ in Emilia-Romagna (2017)

Mappa 11a pag. 85: Stima della distribuzione territoriale del numero di superamenti dell'obiettivo a lungo termine di ozono per la protezione della salute umana in Emilia-Romagna (2009-2016)

Mappa 11b pag. 86: Stima della distribuzione territoriale del numero di superamenti dell'obiettivo a lungo termine di ozono per la protezione della salute umana in Emilia-Romagna (2017)

Mappa 12a pag. 92: Stima della distribuzione territoriale della concentrazione media annuale di fondo dell' NO_2 in Emilia-Romagna (2014-2016)

Mappa 12b pag. 92: Stima della distribuzione territoriale della concentrazione media annuale di fondo dell' NO_2 in Emilia-Romagna (2017)

Mappa 13 pag. 118: Area di progetto

FIGURE

Figura 1 pag. 31: Velocità media del vento dal suolo sino a una quota di 250 m nel periodo invernale 2016-2017

Figura 2 pag. 32: Frequenze di occorrenza (percentuale giorni) di inversioni termiche maggiori di 4°C nel periodo invernale 2016-2017

Figura 3 pag. 33: Andamento dei giorni favorevoli all'accumulo di PM_{10} (autunno-inverno)

Figura 4 pag. 33: Andamento dei giorni favorevoli alla formazione di ozono troposferico (primavera-estate)

Figura 5 pag. 35: Esempi di reazioni in fase omogenea ed eterogenea

Figura 6 pag. 48: Schema a blocchi del sistema integrato di valutazione, previsione e gestione della qualità dell'aria in Emilia-Romagna

Figura 7 pag. 62: Andamento della concentrazione media annuale di PM_{10} , dal 2008 al 2017 ($\mu g/m^3$)

Figura 8 pag. 63: Andamento del numero di superamenti del valore limite giornaliero per il PM_{10} , dal 2008 al 2017 (giorni)

Figura 9 pag. 64: Distribuzione del tasso di variazione annuale (trend) di PM_{10} per tipologia di stazione (2006-2017)

Figura 10 pag. 69: PM_{10} , ripartizione per aree geografiche dell'origine dell'inquinamento (valutazione riferita all'anno 2016)

Figura 11 pag. 70: Emissioni di "PM₁₀ equivalente" in Emilia-Romagna. La larghezza della banda è proporzionale al "PM₁₀ equivalente"

Figura 12 pag. 72: Andamento della concentrazione media annuale di $PM_{2,5}$, dal 2008 al 2017

Figura 13 pag. 73: Distribuzione del tasso di variazione annuale (trend) di $PM_{2,5}$ per tipologia di stazione (2008-2017)

Figura 14 pag. 76: $PM_{2,5}$, ripartizione per aree geografiche dell'origine dell'inquinamento (valutazione riferita all'anno 2016)

Figura 15 pag. 81: Andamento delle concentrazioni AOT40 per l'obiettivo a lungo termine relativo alla protezione della vegetazione per l'ozono, dal 2008 al 2017

Figura 16 pag. 82: Andamento del numero di superamenti dell'obiettivo a lungo termine per la protezione della salute per l'ozono (massimo giornaliero media mobile su 8 ore), dal 2008 al 2017

Figura 17 pag. 83: Andamento del numero di superamenti (ore) della soglia di informazione dell'ozono, dal 2008 al 2017

Figura 18 pag. 84: Distribuzione del tasso di variazione annuale (trend) dell'ozono per tipologia di stazione (2006-2017)

Figura 19 pag. 90: Andamento della concentrazione media annuale di NO_2 , dal 2008 al 2017

Figura 20 pag. 91: Distribuzione del tasso di variazione annuale (trend) del biossido di azoto per tipologia di stazione (2006-2017)

Figura 21 pag. 93: NO_2 , ripartizione per aree geografiche dell'origine dell'inquinamento (valutazione riferita all'anno 2016)

Figura 22 pag. 95: Andamento della concentrazione media annuale di benzo(a)pirene, dal 2008 al 2017

Figura 23 pag. 98: Andamento delle medie annuali dei massimi giornalieri delle medie mobili su 8 ore del monossido di carbonio, dal 2008 al 2017

Figura 24 pag. 99: Andamento della concentrazione media annuale di benzene, dal 2008 al 2017

Figura 25 pag. 100: Andamento della concentrazione media annuale di piombo, dal 2008 al 2017

Figura 26 pag. 100: Andamento della concentrazione media annuale di cadmio, dal 2008 al 2017

Figura 27 pag. 101: Andamento della concentrazione media annuale di arsenico, dal 2008 al 2017

Figura 28 pag. 101: Andamento della concentrazione media annuale di nichel, dal 2008 al 2017

Figura 29 pag. 103: Andamento della media annua di biossido di zolfo nella stazione di Ravenna "Rocca Brancaleone"

Figura 30 pag. 103: Andamento dei massimi annui della media mobile su 8 ore del monossido di carbonio nella stazione di Reggio Emilia "Timavo"

Figura 31 pag. 104: Andamento della media annua di biossido di azoto nella stazione di Ravenna "Zalamella"

Figura 32 pag. 104: Andamento dei massimi annui della media mobile su 8 ore dell'ozono nella stazione di Reggio Emilia "S. Lazzaro"

Figura 33 pag. 105: Andamento della media annua di PM_{10} nella stazione di Ravenna "Zalamella"

Figura 34 pag. 107: PM_{10} – Popolazione esposta a diverse concentrazioni medie annuali (2009-2017)

Figura 35 pag. 107: PM_{10} – Popolazione esposta a superamenti del valore limite giornaliero (2009-2017)

Figura 36 pag. 108: $PM_{2,5}$ – Popolazione esposta a diverse concentrazioni medie annuali (2009-2017)

Figura 37 pag. 109: O_3 – Popolazione esposta a superamenti del valore limite giornaliero (2009-2017)

TABELLE

Tabella 1 pag. 43: La dotazione strumentale delle stazioni della rete regionale (31 dicembre 2017)

Tabella 2 pag. 53: Le emissioni dei principali inquinanti per i diversi macrosettori

Tabella 3 pag. 60: Limiti normativi, valori obiettivo e altri obiettivi ambientali per PM_{10} e $PM_{2,5}$

Tabella 4 pag. 79: Limiti normativi, valori obiettivo e altri obiettivi ambientali per l' O_3

Tabella 5 pag. 88: Limiti normativi, valori obiettivo e altri obiettivi ambientali per il NO_2

Tabella 6 pag. 94: Limiti normativi, valori obiettivo e altri obiettivi ambientali per il BaP

Tabella 7 pag. 97: Limiti normativi, valori obiettivo e altri obiettivi ambientali per SO_2 , CO, C_6H_6 , Pb, Cd, As, Ni

ALLEGATO I "LA NORMATIVA"

NORMATIVA EUROPEA

Direttiva 2004/107/CE – Direttiva del Parlamento europeo e del Consiglio, del 15 dicembre 2004, concernente l'arsenico, il cadmio, il mercurio, il nickel e gli idrocarburi policiclici aromatici nell'aria ambiente

Direttiva 2008/50/CE – Direttiva del Parlamento europeo e del Consiglio, del 21 maggio 2008, relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa

Direttiva 2010/75/CE – Direttiva del Parlamento europeo e del Consiglio del 24 novembre 2010 relativa alle emissioni industriali (prevenzione e riduzione integrate dell'inquinamento)

Direttiva (UE) 2015/2193 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 25 novembre 2015, relativa alla limitazione delle emissioni nell'atmosfera di taluni inquinanti originati da impianti di combustione medi

Direttiva (UE) 2016/2284 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 14 dicembre 2016, concernente la riduzione delle emissioni nazionali di determinati inquinanti atmosferici, che modifica la direttiva 2003/35/CE e abroga la direttiva 2001/81/CE

NORMATIVA NAZIONALE

DLgs 3 aprile 2006, n. 152 – Norme in materia ambientale

DLgs 29 giugno 2010, n. 128 - Modifiche e integrazioni al decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, recante norme in materia ambientale, a norma dell'articolo 12 della legge 18 giugno 2009, n. 69

DLgs 13 agosto 2010, n. 155 - Attuazione della Direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa - Approvazione della nuova zonizzazione e della nuova configurazione della rete di rilevamento e indirizzi per la gestione della qualità dell'aria

Decreto del Ministero dell'Ambiente 29 novembre 2012 - Individuazione delle stazioni speciali di misurazione della qualità dell'aria - Attuazione del DLgs 155/2010

Decreto del Ministero dell'Ambiente 13 marzo 2013 - Individuazione delle stazioni per il calcolo dell'indicatore d'esposizione media per il $PM_{2,5}$ di cui all'articolo 12, comma 2, del decreto legislativo 13 agosto 2010, n. 155

DLgs 4 marzo 2014, n. 46 - Attuazione della direttiva 2010/75/UE relativa alle emissioni industriali (prevenzione e riduzione integrate dell'inquinamento)

Decreto del Ministero dell'Ambiente 7 novembre 2017, n. 186 - Regolamento recante la disciplina dei requisiti, delle procedure e delle competenze per il rilascio di una certificazione dei generatori di calore alimentati a biomasse combustibili solide

DLgs 15 novembre 2017, n. 183 - Attuazione della direttiva (UE) 2015/2193 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 25 novembre 2015, relativa alla limitazione delle emissioni nell'atmosfera di taluni inquinanti originati da impianti di combustione medi, nonché per il riordino del quadro normativo degli stabilimenti che producono emissioni nell'atmosfera, ai sensi dell'articolo 17 della legge 12 agosto 2016, n. 170

DLgs 30 maggio 2018, n. 81 - Attuazione della direttiva (UE) 2016/2284 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 14 dicembre 2016, concernente la riduzione delle emissioni nazionali di determinati inquinanti atmosferici, che modifica la direttiva 2003/35/CE e abroga la direttiva 2001/81/CE

NORMATIVA REGIONALE

DGR n. 2236 del 28/12/2009 - Autorizzazioni alle emissioni in atmosfera - Interventi di semplificazione e omogeneizzazione delle procedure e determinazione delle prescrizioni delle autorizzazioni di carattere generale per le attività in deroga ai sensi dell'art. 272, commi 1, 2 e 3 del DLgs n. 152 del 3 aprile 2006 "Norme in materia ambientale"

DGR n. 1769 del 22/11/2010 - Integrazioni e modifiche alla DGR 2236/2009 e approvazione degli allegati relativi all'autorizzazione di carattere generale per impianti termici civili con potenzialità termica nominale complessiva inferiore a 10 MWT, ai sensi dell'art. 272 comma 2 e art. 281 comma 4 del DLgs 152/2006 "Norme in materia ambientale"

DGR n. 335 del 14/3/2011 - Integrazioni e modifiche alla DGR 2236/2009 e s.m.i. e approvazione degli allegati relativi all'Autorizzazione di carattere generale per motori fissi a combustione interna alimentati a Biomasse liquide e Biodisel con potenzialità termica nominale complessiva fino a 10 MWT, ai sensi degli artt. 271, comma 3 e 272, comma 2 del DLgs 152/2006

DGR n. 1496 del 24/10/2011 - Integrazioni e modifiche alla DGR 2236/09 - Approvazione degli allegati relativi all'autorizzazione di carattere generale per gli impianti di produzione di energia con motori a cogenerazione elettrica aventi potenza termica nominale compresa fra 3 e 10 MWT alimentati a biogas, ai sensi degli artt. 271, comma 3 e 272 comma 2 del DLgs 152/2006 "Norme in materia ambientale"

DGR n. 1497 del 24/10/2011 - Autorizzazione alle emissioni in atmosfera - Approvazione della modulistica per la presentazione delle domande di autorizzazione ai sensi dell'art. 269 del DLgs n. 152/2006 "NORME IN MATERIA AMBIENTALE" e s.m.i.

DGR n. 1498 del 24/10/2011 - Rinnovo delle autorizzazioni alle emissioni in atmosfera per le attività in deroga ai sensi dell'art. 272 del DLgs 152/2006 "NORME IN MATERIA AMBIENTALE". Approvazione di una direttiva alle Province per l'esercizio omogeneo e coordinato delle attività autorizzatorie

DGR n. 1681 del 21/11/2011 - Integrazioni e modifiche alla DGR 2236/2009 - Approvazione degli allegati relativi all'Autorizzazione di carattere generale per allevamenti di bestiame di cui alla parte II, dell'Allegato IV alla PARTE V del DLgs 152/06 e s.m.i.

DGR n. 2001 del 27/12/2011 - Recepimento del Decreto Legislativo 13 agosto 2010, n. 15 "Attuazione della Direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa" - Approvazione della nuova zonizzazione e della nuova configurazione della rete di rilevamento e indirizzi per la gestione della qualità dell'aria

DGR n. 362 del 26/03/2012 - Attuazione della DAL 51 del 26 luglio 2011 - Approvazione dei criteri per l'elaborazione del computo emissivo per gli impianti di produzione di energia a biomasse

DGR n. 855 del 25/06/2012 - Approvazione degli allegati relativi all'autorizzazione di carattere generale per impianti termici civili e industriali alimentati a biomasse solide con potenzialità termica nominale complessiva inferiore a 10 MWT, ai sensi degli articoli 271 comma 3 e 272 comma 2 del DLgs 152/2006 "Norme in materia ambientale" - Integrazioni e modifiche alla DGR 2236/2009

DGR n. 968 del 16/07/2012 - Integrazioni e modifiche alla DGR 2236/09 e alla DGR 1681/2011 - Modifica degli allegati relativi all'autorizzazione di carattere generale per allevamenti di bestiame di cui alla parte II, dell'allegato IV alla parte V, del DLgs 152/06 e s.m.i. e approvazione del modulo per la domanda di adesione

DGR n. 995 del 16/07/2012 - Integrazioni e modifiche alla DGR 2236/2009 - Approvazione degli allegati relativi all'autorizzazione di carattere generale per le linee di trattamento fanghi connesse a impianti di depurazione acque

DGR n. 1998 del 23/12/2013 - Modifiche al progetto di zonizzazione della regione Emilia-Romagna approvato con DGR n. 2001 del 27 dicembre 2011 - Recepimento del decreto legislativo 13 agosto

DGR n. 2204 del 21/12/2015 - Approvazione del modello per la richiesta di autorizzazione unica ambientale per l'Emilia-Romagna (DPR 59/2013 e DPCM 08/05/2015)

DGR n. 1648 del 17/10/2016 - Modifiche alla DGR 1496/2011: integrazioni e modifiche alla DGR 2236/09 - Approvazione degli allegati relativi all'autorizzazione di carattere generale per impianti di produzione di energia con motori a cogenerazione elettrica aventi potenza termica nominale compresa fra 3 e 10 MWT alimentati a biogas, ai sensi degli articoli 271 comma 3 e 272 comma 2 del DLgs 152/2006 "Norme in materia ambientale"

DAL n. 115 del 11/04/2017 - Decisione sulle osservazioni pervenute e approvazione del Piano Aria Integrato Regionale (PAIR2020)

DGR n. 1412 del 25/09/2017 - Misure per il miglioramento della qualità dell'aria in attuazione del Piano Aria Integrato Regionale (PAIR 2020) e del nuovo Accordo di Bacino Padano 2017

ALLEGATO II "I DATI"

■ *Traffico urbano*
 ■ *Fondo urbano*
 ■ *Fondo suburbano*
 ■ *Fondo rurale*

Concentrazione media annua di PM₁₀, andamento 2015-2017

| Zona | Provincia | Stazione | Tipologia | 2015 | 2016 | 2017 | |
|---------------|-------------------|----------------------|---------------------|------|------|------|----|
| PIANURA OVEST | Piacenza | PARCO MONTECUCCO | ■ | 31 | 26 | 32 | |
| | | LUGAGNANO | ■ | 23 | 21 | 25 | |
| | | GIORDANI-FARNESE | ■ | 36 | 30 | 36 | |
| | Parma | CITTADELLA | ■ | 33 | 29 | 36 | |
| | | SARAGAT | ■ | 30 | 27 | 33 | |
| | | BADIA | ■ | 21 | 20 | 25 | |
| | | MONTEBELLO | ■ | 36 | 29 | 35 | |
| | Reggio Emilia | S. LAZZARO | ■ | 29 | 28 | 33 | |
| | | CASTELLARANO | ■ | 27 | 26 | 32 | |
| | | S. ROCCO | ■ | 32 | 28 | 34 | |
| | | TIMAVO | ■ | 37 | 33 | 40 | |
| | Modena | PARCO EDILCARANI | ■ | 27 | 25 | 30 | |
| | | MO - PARCO FERRARI | ■ | 31 | 27 | 33 | |
| | | REMESINA | ■ | 33 | 28 | 32 | |
| | | MO - VIA GIARDINI | ■ | 33 | 30 | 36 | |
| | | GAVELLO | ■ | 31 | 28 | 31 | |
| | | CIRC. SAN FRANCESCO | ■ | 31 | 29 | 35 | |
| | AGGLOMERATO | Bologna | GIARDINI MARGHERITA | ■ | 26 | 23 | 25 |
| | | | VIA CHIARINI | ■ | 26 | 24 | 28 |
| | | | PORTA SAN FELICE | ■ | 29 | 26 | 29 |
| SAN LAZZARO | | | ■ | 28 | 25 | 28 | |
| PIANURA EST | Bologna | SAN PIETRO CAPOFIUME | ■ | 26 | 22 | 27 | |
| | | DE AMICIS | ■ | 25 | 23 | 25 | |
| | Ferrara | VILLA FULVIA | ■ | 29 | 26 | 31 | |
| | | CENTO | ■ | 30 | 24 | 32 | |
| | | GHERARDI | ■ | 28 | 25 | 29 | |
| | | ISONZO | ■ | 33 | 29 | 32 | |
| | Ravenna | CAORLE | ■ | 30 | 25 | 28 | |
| | | PARCO BUCCI | ■ | 24 | | | |
| | | PARCO BERTOZZI | ■ | | 21 | 24 | |
| | | DELTA CERVIA | ■ | 27 | 25 | 26 | |
| | | ZALAMELLA | ■ | 29 | 25 | 28 | |
| | | Forlì-Cesena | PARCO RESISTENZA | ■ | 25 | 22 | 24 |
| | Forlì-Cesena | FRANCHINI-ANGELONI | ■ | 25 | 22 | 24 | |
| | | SAVIGNANO | ■ | 30 | 25 | 27 | |
| | | ROMA | ■ | 28 | 25 | 26 | |
| | | Rimini | MARECCHIA | ■ | 31 | 27 | 29 |
| | Rimini | VERUCCHIO | ■ | 21 | 19 | 22 | |
| FLAMINIA | | ■ | 36 | 32 | 32 | | |
| APPENNINO | | Piacenza | CORTE BRUGNATELLA | ■ | 11 | 10 | 11 |
| Reggio Emilia | | FEBBIO | ■ | 9 | 8 | 10 | |
| Bologna | CASTELLUCCIO | ■ | 10 | 9 | 10 | | |
| Forlì-Cesena | SAVIGNANO DI RIGO | ■ | 13 | 12 | 11 | | |
| Rimini | SAN LEO | ■ | 17 | 14 | 15 | | |

LEGENDA: valori in µg/m³

≤10
 >10 ≤20
 >20 ≤30
 >30 ≤40
 >40
 Limite di legge = 40 µg/m³

Traffico urbano Fondo urbano Fondo suburbano Fondo rurale

Superamenti del limite giornaliero (50 µg/m³) per il PM₁₀, andamento 2015-2017

| Zona | Provincia | Stazione | Tipologia | 2015 | 2016 | 2017 | |
|------------------|---------------|---------------------|---------------------|-----------------|------|------|----|
| PIANURA OVEST | Piacenza | PARCO MONTECUCCO | Fondo urbano | 40 | 23 | 59 | |
| | | LUGAGNANO | Fondo suburbano | 11 | 7 | 24 | |
| | | GIORDANI-FARNESE | Traffico urbano | 61 | 45 | 83 | |
| | Parma | CITTADELLA | Fondo urbano | 52 | 30 | 69 | |
| | | SARAGAT | Fondo suburbano | 47 | 27 | 69 | |
| | | BADIA | Fondo rurale | 6 | 8 | 29 | |
| | | MONTEBELLO | Traffico urbano | 67 | 27 | 74 | |
| | Reggio Emilia | S. LAZZARO | Fondo urbano | 32 | 27 | 67 | |
| | | CASTELLARANO | Fondo suburbano | 31 | 42 | 55 | |
| | | S. ROCCO | Fondo rurale | 43 | 26 | 66 | |
| | | TIMAVO | Traffico urbano | 67 | 42 | 83 | |
| | Modena | PARCO EDILCARANI | Fondo urbano | 31 | 40 | 51 | |
| | | MO - PARCO FERRARI | Fondo urbano | 44 | 23 | 65 | |
| | | REMESINA | Fondo suburbano | 55 | 34 | 65 | |
| | | MO - VIA GIARDINI | Traffico urbano | 55 | 40 | 83 | |
| | | GAVELLO | Fondo rurale | 49 | 31 | 55 | |
| | | CIRC. SAN FRANCESCO | Traffico urbano | 45 | 49 | 67 | |
| | AGGLOMERATO | Bologna | GIARDINI MARGHERITA | Fondo urbano | 23 | 21 | 27 |
| | | | VIA CHIARINI | Fondo suburbano | 25 | 22 | 35 |
| PORTA SAN FELICE | | | Traffico urbano | 38 | 33 | 40 | |
| SAN LAZZARO | | | Traffico urbano | 35 | 27 | 37 | |
| PIANURA EST | Bologna | SAN PIETRO CAPOFUME | Fondo rurale | 26 | 14 | 41 | |
| | | DE AMICIS | Traffico urbano | 19 | 20 | 27 | |
| | Ferrara | VILLA FULVIA | Fondo urbano | 52 | 29 | 58 | |
| | | CENTO | Fondo suburbano | 41 | 24 | 60 | |
| | | GHERARDI | Fondo rurale | 37 | 18 | 44 | |
| | | ISONZO | Traffico urbano | 55 | 36 | 62 | |
| | Ravenna | CAORLE | Fondo urbano | 42 | 22 | 46 | |
| | | PARCO BUCCI | Fondo urbano | 19 | | | |
| | | PARCO BERTOZZI | Fondo urbano | | 16 | 22 | |
| | | DELTA CERVIA | Fondo suburbano | 32 | 20 | 23 | |
| | | ZALAMELLA | Traffico urbano | 40 | 26 | 53 | |
| | Forlì-Cesena | PARCO RESISTENZA | Fondo urbano | 26 | 20 | 26 | |
| | | FRANCHINI-ANGELONI | Fondo urbano | 22 | 13 | 21 | |
| | | SAVIGNANO | Fondo suburbano | 44 | 33 | 42 | |
| | | ROMA | Traffico urbano | 36 | 23 | 31 | |
| | Rimini | MARECCHIA | Fondo urbano | 45 | 31 | 42 | |
| | | VERUCCHIO | Fondo suburbano | 14 | 8 | 14 | |
| FLAMINIA | | Traffico urbano | 59 | 51 | 57 | | |
| APPENNINO | Piacenza | CORTE BRUGNATELLA | Fondo rurale | 0 | 0 | 1 | |
| | Reggio Emilia | FEBBIO | Fondo rurale | 0 | 1 | 0 | |
| | Bologna | CASTELLUCCIO | Fondo rurale | 0 | 1 | 0 | |
| | Forlì-Cesena | SAVIGNANO DI RIGO | Fondo rurale | 1 | 1 | 0 | |
| | Rimini | SAN LEO | Fondo rurale | 3 | 1 | 0 | |

LEGENDA: numero superamenti

≤10 >10 ≤20 >20 ≤35 >35 ≤50 >50 Limite di legge: 50 µg/m³ media oraria giornaliera da non superare più di 35 volte in un anno

■ Traffico urbano ■ Fondo urbano ■ Fondo suburbano ■ Fondo rurale

Concentrazione media annua di PM_{2,5}, andamento 2015-2017

| Zona | Provincia | Stazione | Tipologia | 2015 | 2016 | 2017 |
|---------------|---------------|----------------------|-----------|------|------|------|
| PIANURA OVEST | Piacenza | PARCO MONTECUCCO | ■ | 24 | 20 | 24 |
| | | BESENZONE | ■ | 27 | 22 | 27 |
| | Parma | CITTADELLA | ■ | 21 | 20 | 24 |
| | | BADIA | ■ | 15 | 14 | 17 |
| | Reggio Emilia | S. LAZZARO | ■ | 21 | 19 | 23 |
| | | CASTELLARANO | ■ | 20 | 19 | 23 |
| | | S. ROCCO | ■ | 23 | 20 | 26 |
| | Modena | MO - PARCO FERRARI | ■ | 22 | 17 | 22 |
| | | PARCO EDILCARANI | ■ | 18 | 17 | 21 |
| GAVELLO | | ■ | 20 | 18 | 21 | |
| AGGLOMERATO | Bologna | GIARDINI MARGHERITA | ■ | 18 | 16 | 18 |
| | | PORTA SAN FELICE | ■ | 20 | 19 | 20 |
| PIANURA EST | Bologna | SAN PIETRO CAPOFIUME | ■ | 19 | 16 | 20 |
| | Ferrara | VILLA FULVIA | ■ | 19 | 16 | 20 |
| | | GHERARDI | ■ | 21 | 18 | 22 |
| | | OSTELLATO | ■ | 19 | 15 | 18 |
| | | PARCO BUCCI | ■ | 14 | | |
| | Ravenna | PARCO BERTOZZI | ■ | | 13 | 16 |
| | | CAORLE | ■ | 19 | 18 | 21 |
| | | BALLIRANA | ■ | 18 | 15 | 19 |
| | | PARCO RESISTENZA | ■ | 17 | 15 | 18 |
| | Forlì-Cesena | SAVIGNANO | ■ | 20 | 16 | n.d. |
| Rimini | | MARECCHIA | ■ | 23 | 18 | 18 |
| APPENNINO | Bologna | SAN CLEMENTE | ■ | 15 | 12 | 12 |
| | | CASTELLUCCIO | ■ | 7 | 5 | 6 |

LEGENDA: valori in µg/m³

≤10
>10 ≤15
>15 ≤20
>20 ≤25
>25
 Limite di legge = 25 µg/m³

n.d.: raccolta minima di dati non sufficiente

Traffico urbano Fondo urbano Fondo suburbano Fondo rurale

Superamenti dell'obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) per l'ozono, andamento 2015-2017

| Zona | Provincia | Stazione | Tipologia | 2015 | 2016 | 2017 | |
|---------------|---------------|----------------------|---------------------|--------------|------|------|------|
| PIANURA OVEST | Piacenza | PARCO MONTECUCCO | Fondo urbano | 60 | 64 | 75 | |
| | | LUGAGNANO | Fondo suburbano | 60 | 55 | 72 | |
| | | BESENZONE | Fondo rurale | 52 | 39 | 61 | |
| | Parma | CITTADELLA | Fondo urbano | 72 | 64 | 69 | |
| | | SARAGAT | Fondo suburbano | 61 | 51 | 62 | |
| | | BADIA | Fondo rurale | 63 | 55 | n.d. | |
| | Reggio Emilia | S. LAZZARO | Fondo urbano | 60 | 50 | 62 | |
| | | CASTELLARANO | Fondo suburbano | 75 | 69 | 78 | |
| | | S. ROCCO | Fondo rurale | 75 | 59 | 72 | |
| | Modena | MO - PARCO FERRARI | Fondo urbano | 59 | 71 | 75 | |
| | | REMESINA | Fondo suburbano | 49 | 38 | 59 | |
| | | PARCO EDILCARANI | Fondo urbano | 58 | 60 | 69 | |
| | | GAVELLO | Fondo rurale | 61 | 54 | 81 | |
| | AGGLOMERATO | Bologna | GIARDINI MARGHERITA | Fondo urbano | n.d. | 45 | n.d. |
| VIA CHIARINI | | | Fondo suburbano | 55 | 46 | 51 | |
| PIANURA EST | Bologna | SAN PIETRO CAPOFIUME | Fondo rurale | 36 | 45 | 15 | |
| | | Ferrara | VILLA FULVIA | Fondo urbano | 41 | 45 | 49 |
| | CENTO | | Fondo suburbano | 77 | 44 | 69 | |
| | GHERARDI | | Fondo rurale | 80 | 53 | 52 | |
| | OSTELLATO | | Fondo rurale | 46 | 51 | 64 | |
| | Ravenna | PARCO BUCCI | Fondo urbano | 38 | | | |
| | | PARCO BERTOZZI | Fondo urbano | | 35 | 35 | |
| | | DELTA CERVIA | Fondo suburbano | n.d. | 47 | 65 | |
| | | CAORLE | Fondo urbano | 20 | 39 | 38 | |
| | | BALLIRANA | Fondo rurale | 34 | n.d. | 22 | |
| | Forlì-Cesena | PARCO RESISTENZA | Fondo urbano | 48 | n.d. | 54 | |
| | | SAVIGNANO | Fondo suburbano | n.d. | n.d. | 44 | |
| | Rimini | MARECCHIA | Fondo urbano | 37 | 29 | 46 | |
| | | VERUCCHIO | Fondo suburbano | 48 | 28 | 44 | |
| | | SAN CLEMENTE | Fondo rurale | 64 | n.d. | 56 | |
| | APPENNINO | Piacenza | CORTE BRUGNATELLA | Fondo rurale | 46 | 8 | 30 |
| | | Reggio Emilia | FEBBIO | Fondo rurale | n.d. | 11 | 23 |
| Bologna | | CASTELLUCCIO | Fondo rurale | 14 | 1 | 11 | |
| Forlì-Cesena | | SAVIGNANO DI RIGO | Fondo rurale | n.d. | 48 | n.d. | |
| Rimini | | SAN LEO | Fondo rurale | 36 | n.d. | 43 | |

LEGENDA: numero superamenti

≤10 >10 ≤25 >25 ≤50 >50 ≤75 >75

n.d.: raccolta minima di dati non sufficiente

Obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana:
massimo giornaliero della media mobile su 8 ore, pari a $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$

■ Traffico urbano ■ Fondo urbano ■ Fondo suburbano ■ Fondo rurale

Concentrazione media annua di biossido d'azoto, andamento 2015-2017

| Zona | Provincia | Stazione | Tipologia | 2015 | 2016 | 2017 | |
|------------------|----------------|----------------------|---------------------|--------|--------|--------|----|
| PIANURA OVEST | Piacenza | PARCO MONTECUCCO | ■ | 25 | 24 | 25 | |
| | | LUGAGNANO | ■ | 18 | 19 | 20 | |
| | | BESENZONE | ■ | 20 | 19 | 20 | |
| | | GIORDANI-FARNESE | ■ | 42 | n.d. | 37 | |
| | Parma | CITTADELLA | ■ | 25 | 24 | 26 | |
| | | SARAGAT | ■ | 21 | 21 | 21 | |
| | | BADIA | ■ | 13 | 16 | 15 | |
| | | MONTEBELLO | ■ | 36 | 35 | 37 | |
| | Reggio Emilia | S. LAZZARO | ■ | 23 | 23 | 25 | |
| | | CASTELLARANO | ■ | 19 | 18 | 21 | |
| | | S. ROCCO | ■ | 19 | 17 | 19 | |
| | | TIMAVO | ■ | 40 | 39 | 42 | |
| | Modena | PARCO EDILCARANI | ■ | 22 | 21 | 21 | |
| | | MO - PARCO FERRARI | ■ | 32 | 30 | 31 | |
| | | REMESINA | ■ | 32 | 28 | 28 | |
| | | GAVELLO | ■ | 13 | 13 | 13 | |
| | | MO - VIA GIARDINI | ■ | 53 | 42 | 42 | |
| | | CIRC. SAN FRANCESCO | ■ | 60 | 52 | 45 | |
| | AGGLOMERATO | Bologna | GIARDINI MARGHERITA | ■ | 38 | 31 | 25 |
| | | | VIA CHIARINI | ■ | 26 | 26 | 20 |
| PORTA SAN FELICE | | | ■ | 61 | 52 | 46 | |
| SAN LAZZARO | | | ■ | 28 | 29 | 25 | |
| PIANURA EST | Bologna | SAN PIETRO CAPOFiumE | ■ | 15 | 14 | 13 | |
| | | DE AMICIS | ■ | 29 | 24 | 25 | |
| | Ferrara | VILLA FULVIA | ■ | 23 | 20 | 21 | |
| | | CENTO | ■ | 23 | 21 | 22 | |
| | | GHERARDI | ■ | 15 | 13 | 13 | |
| | | OSTELLATO | ■ | 16 | 14 | 15 | |
| | | ISONZO | ■ | 40 | 39 | 40 | |
| | | Ravenna | CAORLE | ■ | 23 | 20 | 20 |
| | PARCO BUCCI | | ■ | n.d. | | | |
| | PARCO BERTOZZI | | ■ | | 18 | 20 | |
| | DELTA CERVIA | | ■ | 15 | 15 | 15 | |
| | BALLIRANA | | ■ | 17 | 14 | 17 | |
| | ZALAMELLA | | ■ | 37 | 33 | 31 | |
| | Forlì-Cesena | | PARCO RESISTENZA | ■ | 25 | n.d. | 20 |
| | | FRANCHINI-ANGELONI | ■ | 23 | 23 | 16 | |
| | | SAVIGNANO | ■ | n.d. | 24 | 18 | |
| | | ROMA | ■ | n.d. | n.d. | 30 | |
| | Rimini | MARECCHIA | ■ | 24 | 23 | 24 | |
| | | VERUCCHIO | ■ | < 12** | n.d. | < 12** | |
| | | SAN CLEMENTE | ■ | < 12** | n.d. | < 12** | |
| FLAMINIA | | ■ | 45 | 44 | 40 | | |
| APPENNINO | Piacenza | CORTE BRUGNATELLA | ■ | < 12** | < 12** | < 12** | |
| | Reggio Emilia | FEBBIO | ■ | < 12** | < 12** | < 12** | |
| | Bologna | CASTELLUCCIO | ■ | < 12** | < 12** | < 12** | |
| | Forlì-Cesena | SAVIGNANO DI RIGO | ■ | < 12** | n.d. | < 12** | |
| | Rimini | SAN LEO | ■ | < 12** | n.d. | < 12** | |

LEGENDA: valori in $\mu\text{g}/\text{m}^3$

≤12
>12 ≤20
>20 ≤30
>30 ≤40
>40
 Limite di legge = $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Nota: ** valore inferiore al limite di quantificazione

n.d.: raccolta minima di dati non sufficiente

■ Traffico urbano ■ Fondo urbano ■ Fondo suburbano ■ Fondo rurale

Concentrazione media annua di benzo(a)pirene, andamento 2015-2017

| Zona | Provincia | Stazione | Tipologia | 2015 | 2016 | 2017 |
|-------------|-----------|---------------------|-----------|--------|--------|--------|
| PIANURA | Parma | CITTADELLA | ■ | 0,2823 | 0,2212 | 0,2363 |
| OVEST | Modena | MO - PARCO FERRARI | ■ | 0,3975 | 0,2311 | 0,2745 |
| AGGLOMERATO | Bologna | GIARDINI MARGHERITA | ■ | n.d. | 0,1498 | 0,1517 |
| PIANURA | Ferrara | ISONZO | ■ | 0,2794 | 0,2694 | 0,3013 |
| EST | Rimini | MARECCHIA | ■ | 0,3217 | 0,4083 | 0,3391 |

Limite di legge = 1 ng/m³ n.d.: raccolta minima di dati non sufficiente

Concentrazione media annua di biossido di zolfo, andamento 2015-2017

| Zona | Provincia | Stazione | Tipologia | 2015 | 2016 | 2017 |
|-------------|-----------|----------|-----------|------|------|------|
| PIANURA EST | Ravenna | CAORLE | ■ | <14 | <14 | <14 |

Limite di legge = 20 µg/m³

Concentrazione media annua di monossido di carbonio, andamento 2015-2017

| Zona | Provincia | Stazione | Tipologia | 2015 | 2016 | 2017 |
|-------------|---------------|---------------------|-----------|------|------|------|
| PIANURA | Piacenza | GIORDANI-FARNESE | ■ | 0,6 | <0,6 | 0,6 |
| OVEST | Parma | MONTEBELLO | ■ | 0,6 | <0,6 | <0,6 |
| | Reggio Emilia | TIMAVO | ■ | 0,6 | <0,6 | 0,6 |
| | Modena | MO - VIA GIARDINI | ■ | <0,6 | <0,6 | <0,6 |
| | | CIRC. SAN FRANCESCO | ■ | <0,6 | <0,6 | <0,6 |
| AGGLOMERATO | Bologna | PORTA SAN FELICE | ■ | 0,8 | 0,6 | 0,7 |
| PIANURA | Bologna | DE AMICIS | ■ | <0,6 | <0,6 | <0,6 |
| EST | Ferrara | ISONZO | ■ | 0,6 | <0,6 | <0,6 |
| | Ravenna | ZALAMELLA | ■ | 0,6 | <0,6 | 0,6 |
| | Forlì-Cesena | ROMA | ■ | <0,6 | 0,6 | <0,6 |
| | Rimini | FLAMINIA | ■ | 0,7 | 0,8 | 0,6 |

Limite di legge = 10 mg/m³

Concentrazione media annua di benzene, andamento 2015-2017

| Zona | Provincia | Stazione | Tipologia | 2015 | 2016 | 2017 |
|-------------|---------------|---------------------|-----------|------|------|------|
| PIANURA | Piacenza | GIORDANI-FARNESE | ■ | 1,3 | 1,2 | 1,3 |
| OVEST | Parma | MONTEBELLO | ■ | 1,4 | 1,2 | 1,3 |
| | Reggio Emilia | TIMAVO | ■ | 1,5 | 1,3 | 1,4 |
| | Modena | MO - VIA GIARDINI | ■ | 1,2 | 1,0 | 1,2 |
| | | CIRC. SAN FRANCESCO | ■ | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| AGGLOMERATO | Bologna | PORTA SAN FELICE | ■ | 1,7 | n.d. | 1,4 |
| PIANURA | Bologna | DE AMICIS | ■ | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| EST | Ferrara | ISONZO | ■ | 1,4 | 1,2 | 1,2 |
| | Ravenna | ZALAMELLA | ■ | 1,4 | 1,2 | 1,1 |
| | Forlì-Cesena | ROMA | ■ | 1,3 | 1,2 | 1,2 |
| | Rimini | FLAMINIA | ■ | 1,9 | 1,8 | 1,8 |

Limite di legge = 5 µg/m³ n.d.: raccolta minima di dati non sufficiente

■ Traffico urbano ■ Fondo urbano ■ Fondo suburbano ■ Fondo rurale

Concentrazione media annua di piombo, andamento 2015-2017

| Zona | Provincia | Stazione | Tipologia | 2015 | 2016 | 2017 |
|-------------|-----------|---------------------|-----------|----------|----------|----------|
| PIANURA | Parma | CITTADELLA | ■ | 0,004780 | 0,004152 | 0,003801 |
| OVEST | Modena | MO - PARCO FERRARI | ■ | 0,004600 | 0,006090 | 0,004765 |
| AGGLOMERATO | Bologna | GIARDINI MARGHERITA | ■ | 0,004056 | 0,004495 | 0,004277 |
| PIANURA | Ferrara | ISONZO | ■ | 0,006177 | 0,004823 | 0,004216 |
| EST | Rimini | MARECCHIA | ■ | 0,004839 | 0,004137 | 0,003106 |

Limite di legge = 0,5 µg/m³

Concentrazione media annua di cadmio, andamento 2015-2017

| Zona | Provincia | Stazione | Tipologia | 2015 | 2016 | 2017 |
|-------------|-----------|---------------------|-----------|-------|-------|-------|
| PIANURA | Parma | CITTADELLA | ■ | 0,146 | 0,115 | 0,117 |
| OVEST | Modena | MO - PARCO FERRARI | ■ | 0,168 | 0,160 | 0,130 |
| AGGLOMERATO | Bologna | GIARDINI MARGHERITA | ■ | n.d. | 0,122 | 0,091 |
| PIANURA | Ferrara | ISONZO | ■ | 0,205 | 0,214 | 0,158 |
| EST | Rimini | MARECCHIA | ■ | 0,163 | 0,152 | 0,126 |

Limite di legge = 5 ng/m³ n.d.: raccolta minima di dati non sufficiente

Concentrazione media annua di arsenico, andamento 2015-2017

| Zona | Provincia | Stazione | Tipologia | 2015 | 2016 | 2017 |
|-------------|-----------|---------------------|-----------|-------|-------|-------|
| PIANURA | Parma | CITTADELLA | ■ | 0,608 | 0,596 | 0,453 |
| OVEST | Modena | MO - PARCO FERRARI | ■ | 0,924 | 0,883 | 0,826 |
| AGGLOMERATO | Bologna | GIARDINI MARGHERITA | ■ | n.d. | 0,447 | 0,387 |
| PIANURA | Ferrara | ISONZO | ■ | 0,781 | 0,676 | 0,549 |
| EST | Rimini | MARECCHIA | ■ | 0,488 | 0,364 | 0,316 |

Limite di legge = 6 ng/m³ n.d.: raccolta minima di dati non sufficiente

Concentrazione media annua di nichel, andamento 2015-2017

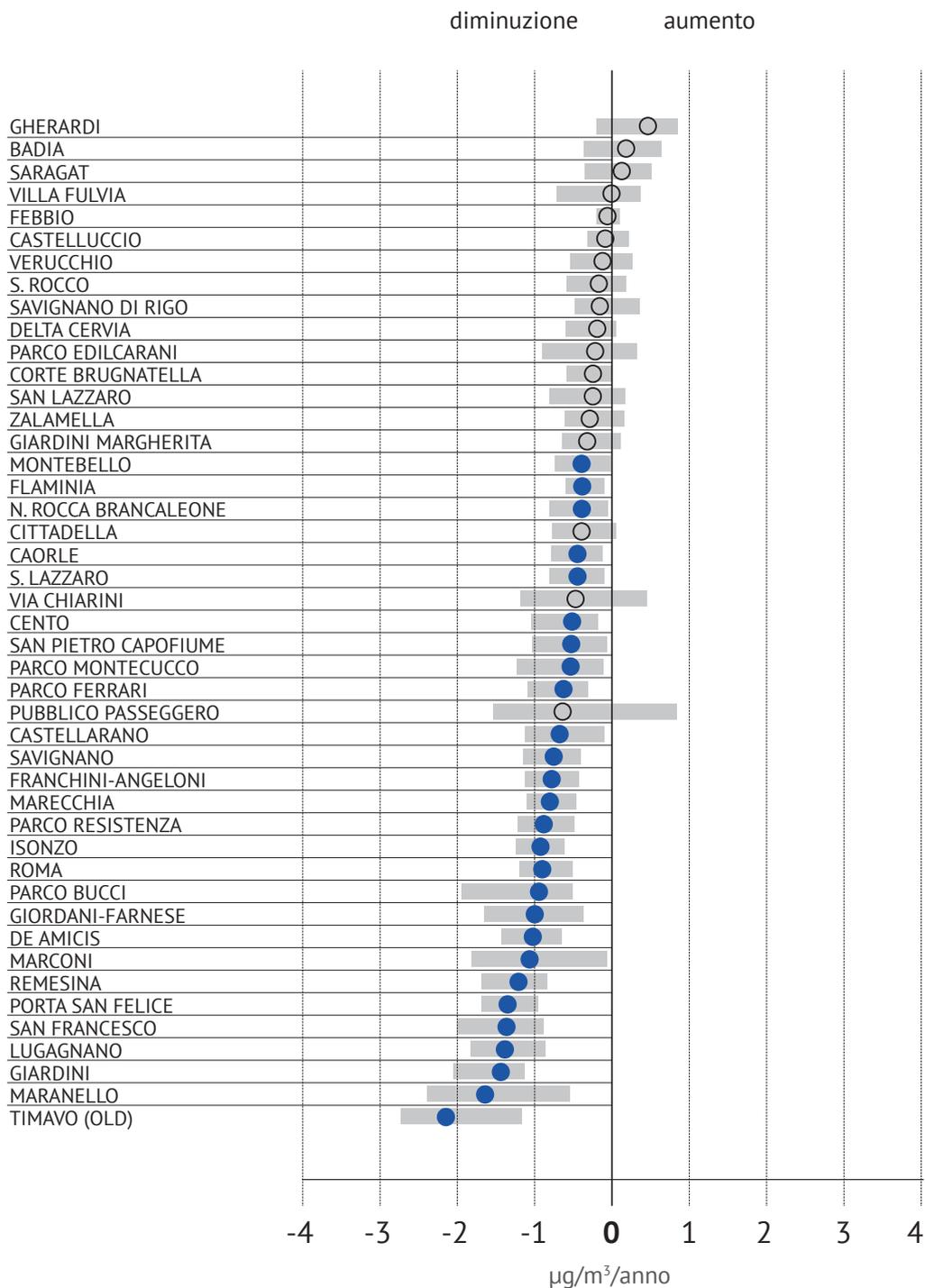
| Zona | Provincia | Stazione | Tipologia | 2015 | 2016 | 2017 |
|-------------|-----------|---------------------|-----------|-------|-------|-------|
| PIANURA | Parma | CITTADELLA | ■ | 1,574 | 1,761 | 2,161 |
| OVEST | Modena | MO - PARCO FERRARI | ■ | 1,607 | 1,814 | 2,208 |
| AGGLOMERATO | Bologna | GIARDINI MARGHERITA | ■ | n.d. | 1,608 | 1,664 |
| PIANURA | Ferrara | ISONZO | ■ | 2,299 | 3,018 | 2,340 |
| EST | Rimini | MARECCHIA | ■ | 1,161 | 1,326 | 2,480 |

Limite di legge = 20 ng/m³ n.d.: raccolta minima di dati non sufficiente

ALLEGATO III "I TREND"

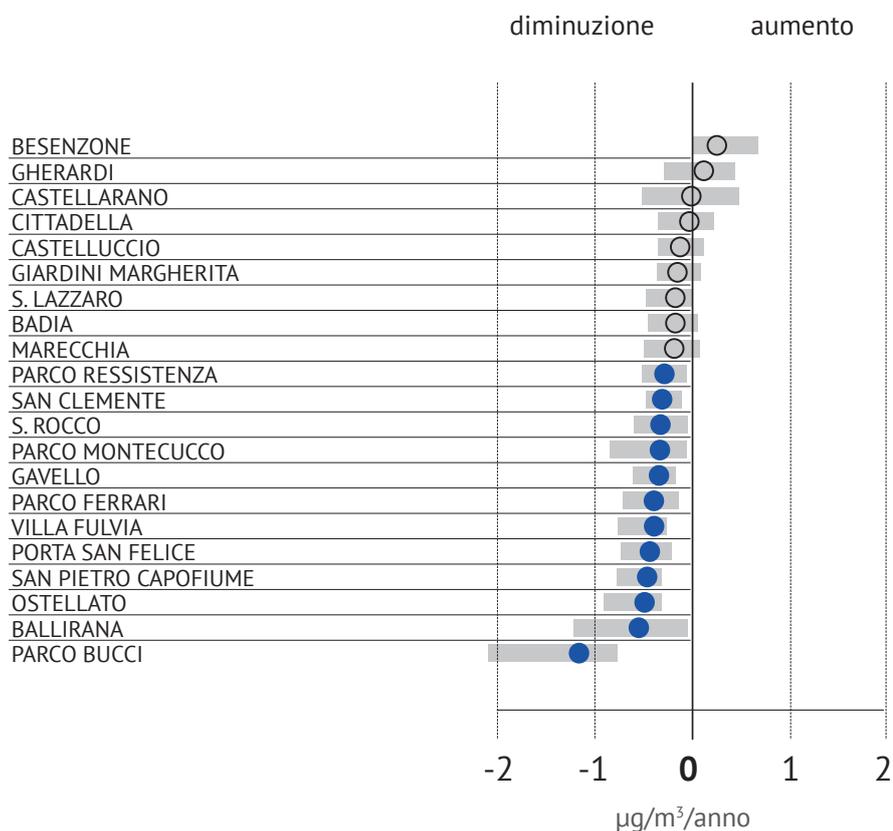
TREND PM₁₀ 2006-2017

Stima del trend delle concentrazioni giornaliere di PM₁₀, calcolato per ciascuna stazione di misura sui dati delle stazioni di monitoraggio selezionate disponibili nel periodo 2006-2017. I cerchietti indicano il trend, il colore esprime la significatività statistica (blu=diminuzione significativa; rosso=aumento significativo; grigio=trend non significativo). La barra grigia identifica l'intervallo di confidenza del 95%



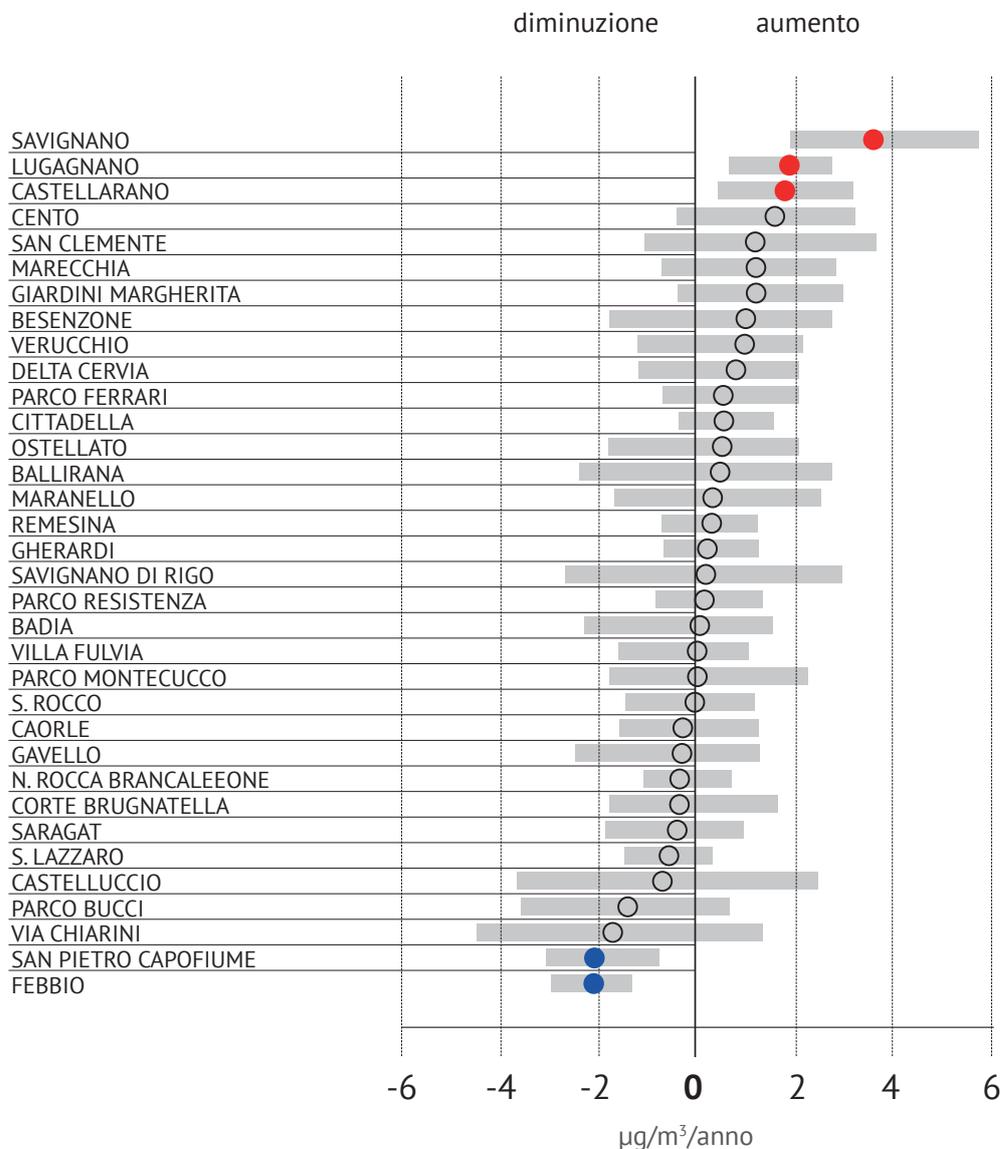
TREND PM_{2,5} 2008-2017

Stima del trend delle concentrazioni giornaliere di PM_{2,5}, calcolato per ciascuna stazione di misura sui dati delle stazioni di monitoraggio selezionate disponibili nel periodo 2008-2017. I cerchietti indicano il trend, il colore esprime la significatività statistica (blu=diminuzione significativa; rosso=aumento significativo; grigio=trend non significativo). La barra grigia identifica l'intervallo di confidenza del 95%



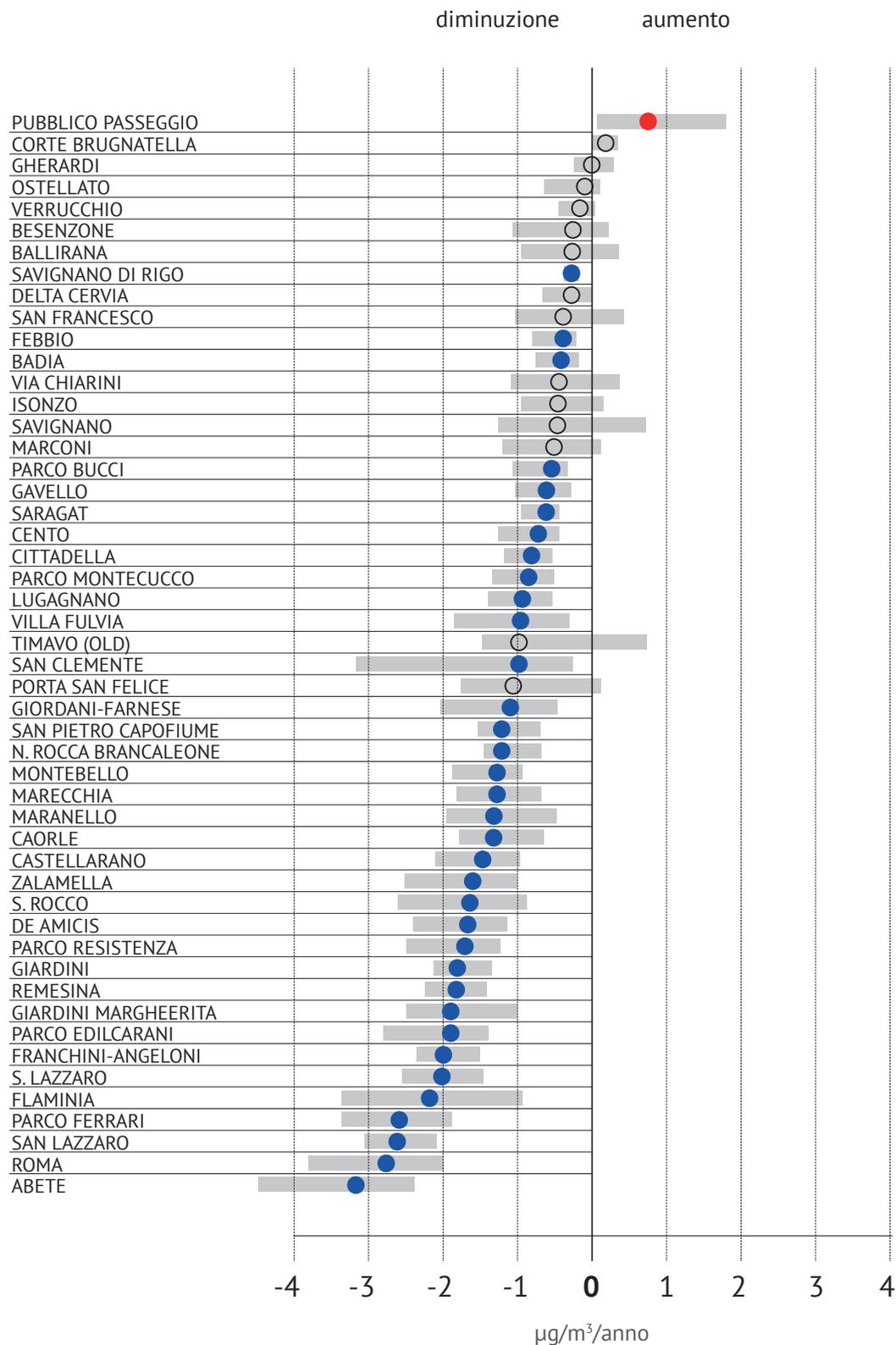
TREND OZONO 2006-2017

Stima del trend delle concentrazioni giornaliere di ozono, calcolato per ciascuna stazione di misura sui dati delle stazioni di monitoraggio selezionate disponibili nel periodo 2006-2017. I cerchietti indicano il trend, il colore esprime la significatività statistica (blu=diminuzione significativa; rosso=aumento significativo; grigio=trend non significativo). La barra grigia identifica l'intervallo di confidenza del 95%



TREND BIOSSIDO D'AZOTO 2006-2017

Stima del trend delle concentrazioni giornaliere di biossido d'azoto, calcolato per ciascuna stazione di misura sui dati delle stazioni di monitoraggio selezionate disponibili nel periodo 2006-2017. I cerchi indicano il trend, il colore esprime la significatività statistica (blu=diminuzione significativa; rosso=aumento significativo; grigio=trend non significativo). La barra grigia identifica l'intervallo di confidenza del 95%





NOTE

NOTE



NOTE

