



PAIR 2030

Quadro conoscitivo





Referenti della **Regione Emilia-Romagna**

Area Qualità dell'aria e agenti fisici

Katia Raffaelli

Gruppo di Lavoro:

Matteo Balboni, Cecilia Guaitoli, Gianluca Iannuzzi, Lucia Ramponi, Alberto Toschi

Referenti di **Arpae Emilia-Romagna**

Centro Tematico Regionale – Qualità dell'Aria

Vanes Poluzzi – Responsabile di progetto

Gruppo di Lavoro:

Chiara Agostini, Simona Maccaferri, Stefano Zauli Sajani, Arianna Trentini, Fabiana Scotto, Dimitri Bacco, Silvia Ferrari, Claudio Maccone

Centro Tematico Regionale – Qualità dell'Aria

Michele Stortini, Roberta Amorati, Giulia Giovannini, Lidia Bressan, Giorgio Veratti

Struttura Tematica Idro-Meteo-Clima – Unità previsioni numeriche qualità dell'aria

Andrea Ranzi, Simone Giannini

Struttura Tematica Ambiente Prevenzione e Salute

Ha inoltre contribuito il personale di Arpae impegnato a diverso titolo nelle attività relative all'inquinamento atmosferico e alla qualità dell'aria, in particolare gli operatori coinvolti nella rete qualità dell'aria, negli inventari delle emissioni, negli aspetti meteorologici, nei servizi di vigilanza e controllo, nei servizi che rilasciano le autorizzazioni ambientali, nei laboratori di analisi.

Sommario

Introduzione	5
Il contesto territoriale e il quadro socio-economico	6
L'influenza dei fattori meteorologici sulle concentrazioni degli inquinanti	9
Cambiamenti climatici e qualità dell'aria in Emilia-Romagna: il servizio AQCLI di CLARA	13
La zonizzazione del territorio ai fini della valutazione e gestione della qualità dell'aria	18
Il programma di valutazione	19
Il sistema integrato di monitoraggio, valutazione e previsione	23
La rete regionale di monitoraggio della qualità dell'aria (RRQA)	24
La suite modellistica NINFA	29
Il tool RIAT+	30
Il database delle tecnologie GAINS-Italy	33
Gli input di RIAT+ per l'Emilia-Romagna	34
Le aree di superamento dei valori limite per PM10 ed NO2	36
Lo stato della qualità dell'aria	36
Materiale Particolato: PM10	39
Stima del trend delle concentrazioni giornaliere di PM10	49
Analisi della relazione fra medie annue e superamenti del limite giornaliero per il PM10	50
Materiale Particolato: PM2.5	53
Stima del trend delle concentrazioni giornaliere di PM2.5	57
Positive Matrix Factorization (PMF)	58
Biossido di Azoto: NO2	67
L'origine geografica dell'inquinamento da PM10, PM2.5, NO2	75
L'origine settoriale delle concentrazioni di PM10 prodotte dalle emissioni regionali	78
Ozono: O3	81
Inquinanti che rispettano i valori limite	89
Biossido di zolfo (SO2) e monossido di carbonio (CO)	89
Benzene e Benzo(A) pirene	95
Metalli	98
Inventario regionale delle emissioni in atmosfera	100
Macroinquinanti	100
Gas climalteranti	107
Le emissioni extra-regionali	110
Il contributo dell'Emilia Romagna alle emissioni del Bacino padano	111
Valutazione dell'esposizione della popolazione	116
Scenari e valutazioni preliminari del documento strategico programmatico	120
Scenari base e tendenziali (CLE)	120
Scenario "teorico" di piano	125
Valutazione degli scenari del documento strategico con il modello di qualità dell'aria NINFA	133

Scenari emissivi della pianificazione regionale integrata	138
Piano Energetico Regionale - PER 2030	139
Piano Regionale Integrato Trasporti - PRIT 2025	144
Programma di Sviluppo Rurale PSR 2014 - 2020 e piani successivi	147
Individuazione delle azioni specifiche per la qualità dell'aria	149
Piano Aria Integrato Regionale PAIR 2030	151
Valutazione dello scenario di piano con il modello di qualità dell'aria NINFA	153
Valutazione d'impatto sanitario sugli scenari di riduzione dell'inquinamento	159
Scenari CLE 2030 e "teorico" di piano	159
Scenario di piano	161
APPENDICE 1. Valori limite e obiettivo, soglie, livelli critici, e valori di riferimento OMS della qualità dell'aria	167
APPENDICE 2. Metodo per il calcolo delle giornate favorevoli all'accumulo di PM10 e O3	171
APPENDICE 3. Stima dei trend delle concentrazioni giornaliere di PM10, PM2.5, NO2, O3	173
APPENDICE 4. Legenda uso del suolo dell'Emilia Romagna	182

Introduzione

Questo rapporto costituisce il Quadro conoscitivo allegato alla deliberazione della Giunta Regionale del 3 aprile 2023 avente per oggetto "ADOZIONE DELLA PROPOSTA DI PIANO ARIA INTEGRATO REGIONALE (PAIR 2030)" e contiene:

- la valutazione dello stato della qualità dell'aria (aggiornata al 2022),
- l'analisi degli scenari dal punto di vista emissivo e modellistico
- la valutazione dell'impatto sanitario degli scenari

L'analisi dello stato mostra che i valori medi annuali delle polveri, PM10 e PM2.5, risultano ampiamente entro i limiti di legge, mentre permangono criticità relative al superamento del valore limite giornaliero di PM10.

Il valore medio annuale per il biossido di azoto ha visto un progressivo miglioramento e negli ultimi anni le criticità sono state limitate, con residui superamenti del valore limite per la media annuale e nessun superamento del valore limite orario.

I livelli di concentrazione di ozono e il numero di superamenti delle soglie continuano a non rispettare gli obiettivi previsti dalla legge.

Risultano invece nei limiti biossido di zolfo, benzene e monossido di carbonio.

Nella prima fase del lavoro di pianificazione le valutazioni effettuate hanno permesso di individuare uno scenario di piano "teorico" che ha guidato la fase successiva.

Sulla base degli indirizzi tecnologici emergenti dallo scenario "teorico", nel percorso di elaborazione del piano sono poi state concertate ed individuate le misure che vanno a comporre il Piano Aria Integrato Regionale (PAIR 2030) vero proprio.

Il contesto territoriale e il quadro socio-economico

La Regione Emilia-Romagna occupa la porzione sud-orientale della Pianura Padana ed è delimitata dal fiume Po a nord, dal Mare Adriatico a est e dalla catena Appenninica a sud. 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 3000 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 1000 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 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, di oltre 1500 ab/km², che salgono a oltre 3600 per l'area di Milano, risulta essere tra le più alte d'Europa. La percentuale di consumo di suolo (quantificazione della perdita di suolo a seguito dell'occupazione di superficie agricola, naturale o seminaturale) nel 2019 ha superato anche il 12% in Lombardia. 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.

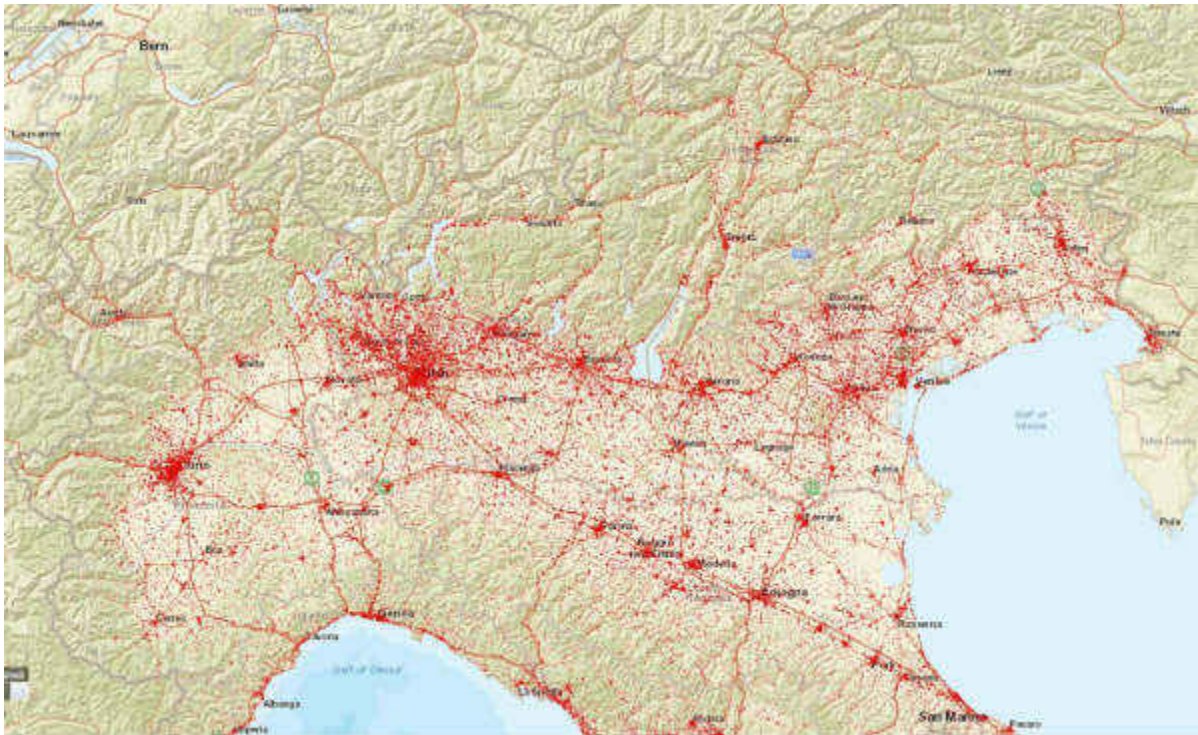


Figura 1. Consumo del suolo nella Pianura Padana, suolo consumato in rosso (fonte: Ispra 2020)

L'Emilia Romagna è profondamente inserita in questo contesto sociale e produttivo. La grande maggioranza della popolazione si concentra nelle aree di pianura, dove la densità abitativa (198.5 ab/km^2 , al 2022) risulta essere tra le più alte d'Europa, raggiungendo i valori massimi nelle zone urbane con oltre 2.700 ab/km^2 a Bologna e Cattolica (RN), e valori minimi nelle aree appenniniche (meno di 10 ab/km^2). La percentuale di consumo del suolo è pari a circa il 9% (al 2021). La regione è un elemento centrale del sistema di mobilità nazionale, sia per quel che riguarda la rete autostradale, sia per il trasporto ferroviario; 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, la A13 Bologna-Padova e la A14 Bologna-Taranto; 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.

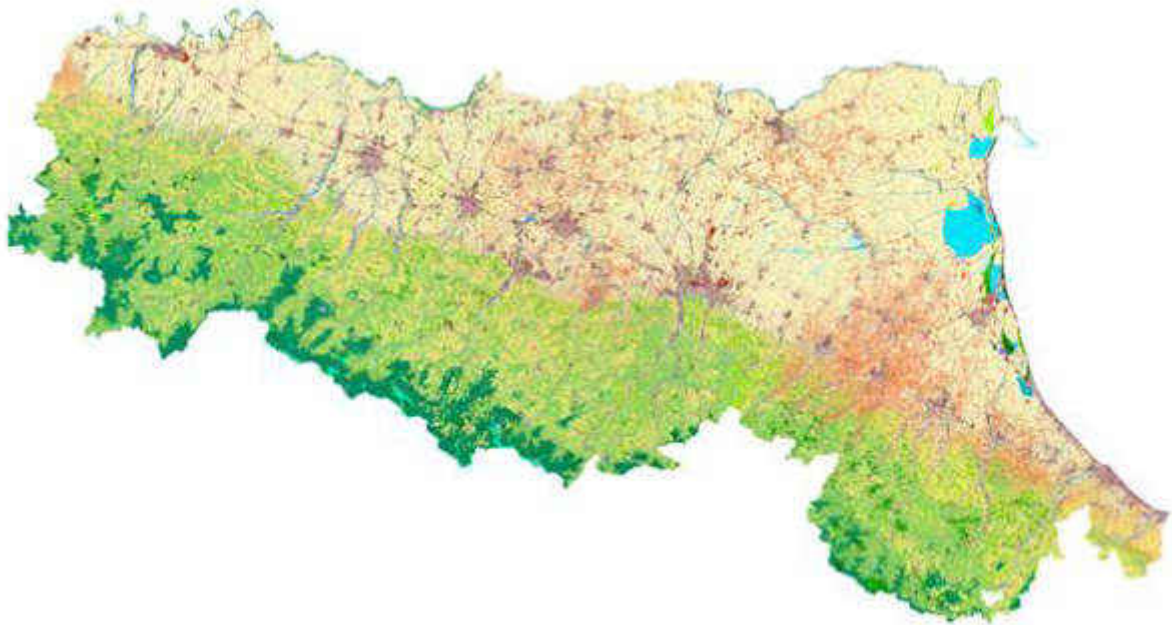


Figura 2. Uso del suolo in Emilia Romagna anno 2017 (fonte: RER da ortofoto TeA 2017 a colori a 20 cm di dettaglio. Si rimanda in appendice per la legenda, consultabile anche all'URL: <https://geoportale.regione.emilia-romagna.it/download/dati-e-prodotti-cartografici-preconfezionati/pianificazione-e-catasto/uso-del-suolo/2017-coperture-vettoriali-uso-del-suolo-di-dettaglio-edizione-2020>)

L'influenza dei fattori meteorologici sulle concentrazioni degli inquinanti

Le caratteristiche topografiche della Pianura Padana influenzano fortemente la meteorologia locale, determinando il clima tipico della regione caratterizzato da venti deboli nei mesi invernali, con velocità medie tra le più basse rispetto al resto del continente europeo. Altri elementi che influiscono sulle concentrazioni degli inquinanti sono:

- l'altezza dello strato di rimescolamento corrisponde all'altezza fino alla quale gli inquinanti emessi a terra si rimescolano, definendo così il volume di diluizione degli inquinanti);
- la presenza di inversioni termiche ed il passaggio di perturbazioni atmosferiche;
- la pioggia, l'umidità relativa, l'irraggiamento solare.

Il rimescolamento e la diluizione degli inquinanti sono in massima parte dovuti alla turbolenza atmosferica, generata sia dal riscaldamento diurno della superficie terrestre (componente termica) sia dall'attrito esercitato dalla superficie sul vento a larga scala (componente meccanica). Nella Pianura Padana, a causa della debolezza dei venti, il contributo più importante è dato dalla componente termica innescata essenzialmente dall'irraggiamento solare estivo. In inverno inoltre si riscontrano frequenti condizioni di inversione termica in prossimità del suolo, soprattutto di notte, che determinano un unico strato di inquinamento diffuso e uniforme nella parte più bassa dell'atmosfera. In queste condizioni, che a volte possono persistere per tutto il giorno, la dispersione degli inquinanti è fortemente ostacolata, con gli inquinanti primari che tendono ad accumularsi progressivamente in prossimità del suolo, raggiungendo alte concentrazioni e favorendo la formazione di ulteriore inquinamento di tipo secondario. Durante questi episodi, l'inquinamento non è più limitato alle aree urbane e industriali, ma si registrano concentrazioni elevate ed omogenee in tutto il bacino, anche nelle zone rurali, lontano dalle fonti di emissione. Questo spiega perché nella Pianura Padana le concentrazioni della maggior parte degli inquinanti mostrano un marcato ciclo stagionale, con valori invernali di molto superiori a quelli estivi.

Per meglio descrivere le caratteristiche di diffusività dello strato limite atmosferico, seguendo quanto utilizzato nel report elaborato nell'ambito del progetto PrepAIR¹ sono stati calcolati per il quadriennio 2016-2019, usando le analisi del modello meteorologico COSMO, tre indicatori su base giornaliera:

- la ventilazione, che indica la capacità dell'atmosfera di diluire gli inquinanti ed è la media giornaliera della ventilazione oraria definita come la somma dal suolo fino all'altezza dello strato limite della velocità del vento di ciascun livello ponderata con lo spessore del livello stesso;
- la stagnazione, che individua le condizioni persistenti di vento debole, definita come la frazione delle 24 ore in cui la velocità del vento è inferiore a 2 m/s;
- il ricircolo che individua i regimi di vento che mantengono gli inquinanti in una area circoscritta.

Per ciascun indice è stato inoltre definito un valore critico di soglia che fornisce una stima delle condizioni favorevoli all'accumulo di inquinanti e nella Figura 3 sono presentate le mappe medie stagionali per il quadriennio 2016-2019 per tali indicatori.

Condizioni di scarsa ventilazione interessano la pianura in inverno e sono meno frequenti in estate; anche la stagnazione presenta un forte ciclo annuale, mentre i fenomeni di ricircolo sono caratterizzati da una minore stagionalità.

¹ Studio preliminare degli effetti delle misure Covid19 sulle emissioni in atmosfera e sulla qualità dell'aria del bacino padano (https://www.lifepreair.eu/?smd_process_download=1&download_id=9033)

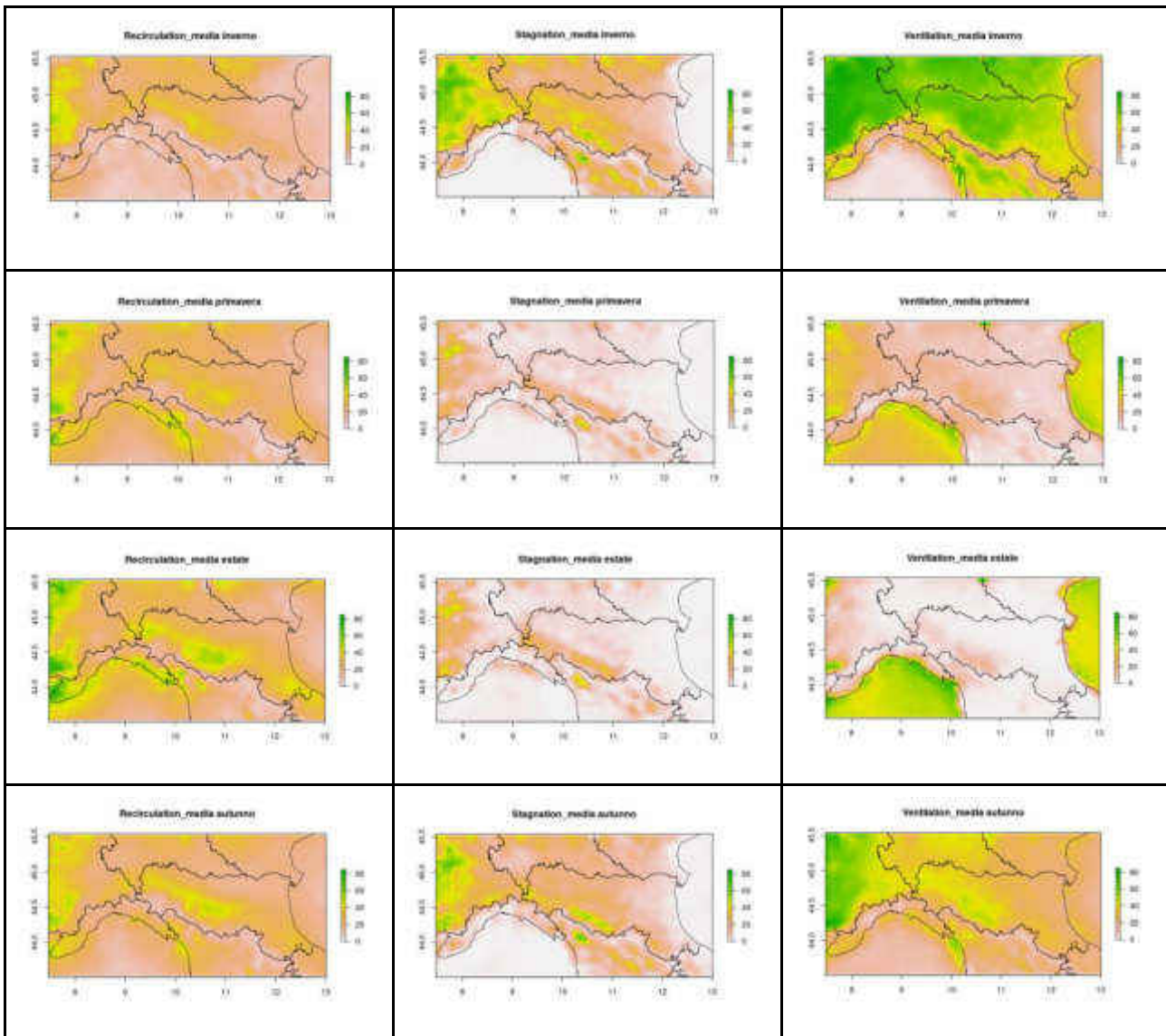


Figure 3. Ricircolo, stagnazione, ventilazione

Per meglio evidenziare questa fenomenologia si è calcolato su base mensile e sull'intero periodo considerato i tre indicatori per le città di Torino, Milano, Bologna e Padova. Come esempio in Figure 4.- 6. è mostrato l'andamento per l'anno 2017.

L'andamento stagionale è apprezzabile in particolare per la stagnazione e la ventilazione che tendono rispettivamente verso valori bassi e alti con l'avanzare della stagione.

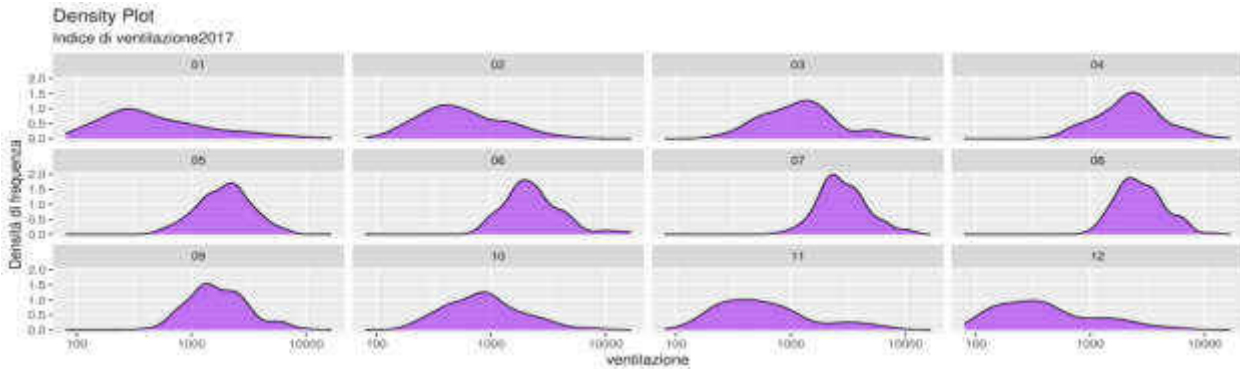


Figura 4. Ventilazione

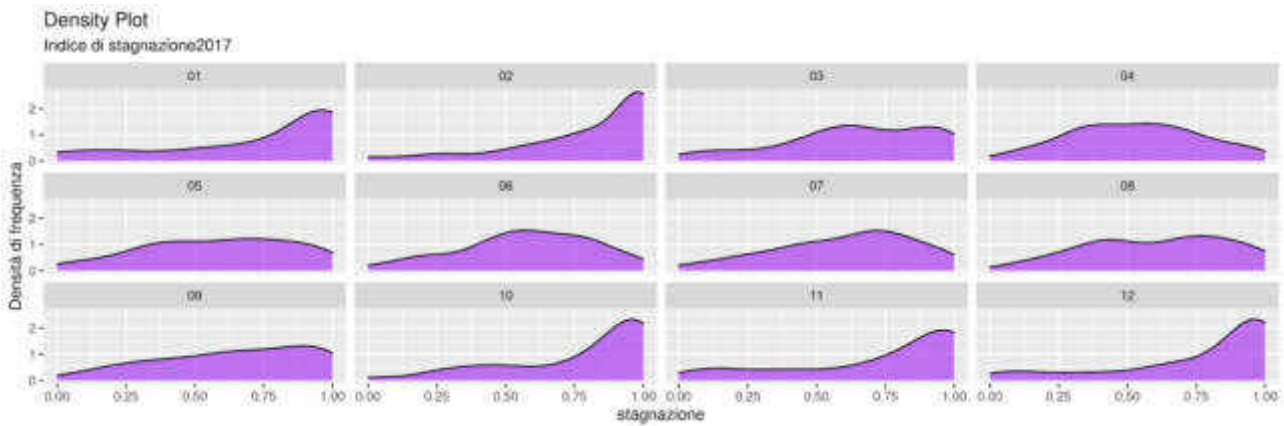


Figura 5. Stagnazione

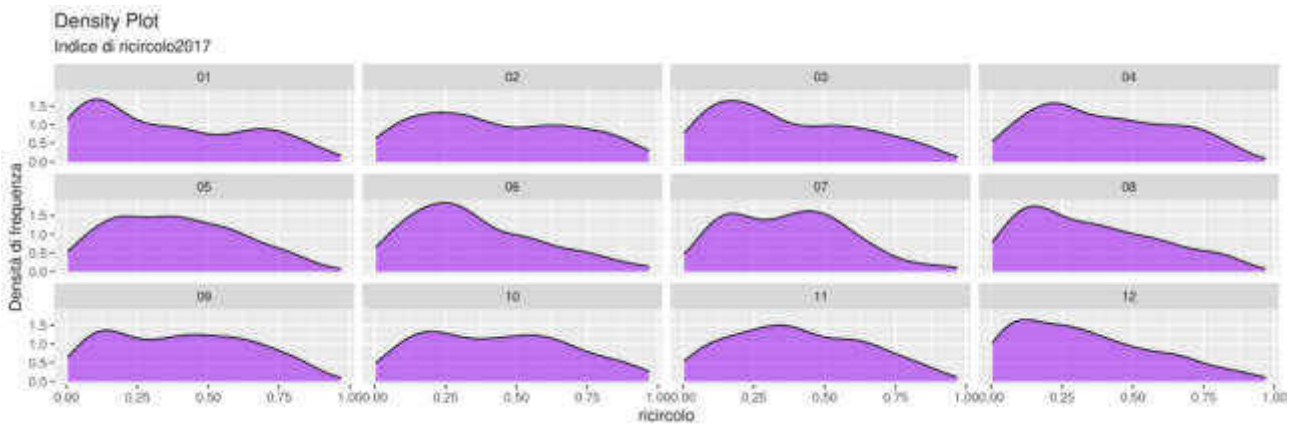


Figura 6. Ricircolo

A titolo di valutazione semi quantitativa dell'impatto della meteorologia sulla concentrazione di aerosol e di gas (PM10, e NO₂) nella Pianura Padana, è stata stimata la variazione delle concentrazioni, a parità di livelli di emissione, in condizioni meteorologiche diverse e "realistiche". Sono state eseguite due simulazioni di qualità dell'aria con la suite modellistica NINFA (vedi in seguito il paragrafo dedicato "La suite modellistica

NINFA") per il periodo di un mese sul dominio che comprende la zona pianeggiante della Pianura Padana (casella blu più bassa, Figura 7).²

Nel primo caso è stata utilizzata la meteorologia standard della Pianura Padana nel dicembre 2018 (Scenario standard), mentre nel secondo la meteorologia è stata sostituita con quella corrispondente ad un'area dell'Europa centrale (Scenario test, area in rosso in Figura 7), in cui la velocità media del vento a 10 m nello stesso periodo, stimata attraverso le analisi giornaliere del modello COSMO-5M, mostra valori notevolmente superiori a quelli della Pianura Padana.

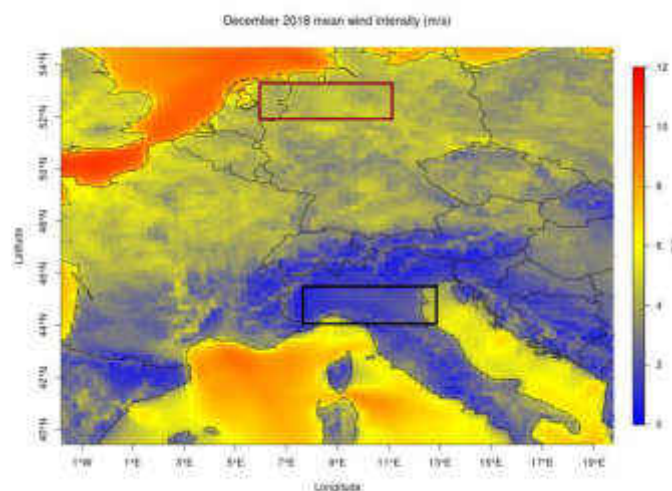


Figura 7. Velocità media del vento di dicembre 2018. Le due aree (riquadri) selezionate corrispondono alla Pianura Padana e ad un'area dell'Europa centro-settentrionale

I principali risultati ottenuti sono presentati nelle Figure 8 e 9, in cui si confronta la variazione di concentrazione media mensile di PM₁₀ e NO₂ per le due simulazioni.

Le mappe mostrano livelli significativamente più bassi nello scenario test rispetto allo scenario standard:

- per la concentrazione di PM₁₀, un risultato inferiore di circa il 60-70% nelle aree di pianura con effetto massimo, fino al 70-80%, nella parte occidentale della Pianura Padana;
- per la concentrazione di NO₂, il livello ottenuto nello scenario è inferiore di circa il 60%.

Questi risultati evidenziano come la peculiare circolazione atmosferica invernale della Pianura Padana, legata a frequenti condizioni di stagnazione e scarsa ventilazione, influisca sulle concentrazioni di inquinanti.

² Katia Raffaelli, Marco Deserti, Michele Stortini, Roberta Amorati, Matteo Vasconi, Giulia Giovannini **Air Quality in the Po Valley, Italy: Some Results by the LIFE-IP-PREPAIR Project**, Atmosphere 2020, 11(4), 429, <https://doi.org/10.3390/atmos11040429>.

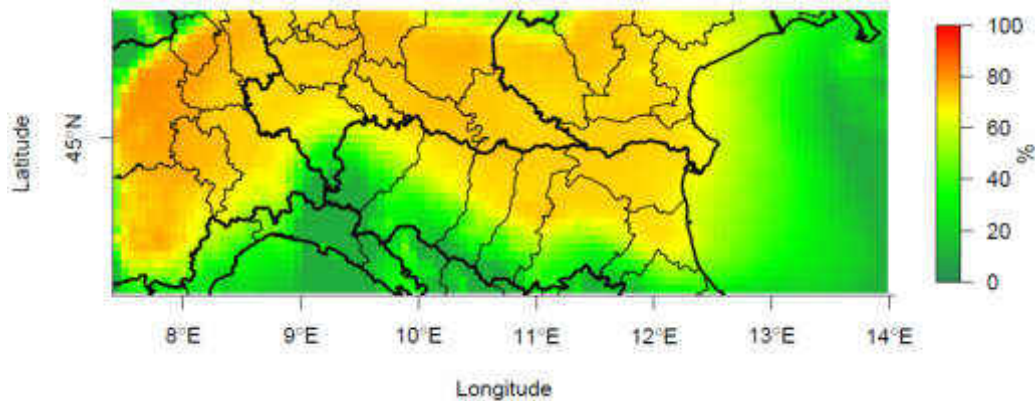


Figura 8. Riduzione % delle concentrazioni medie mensili di PM10 dei due scenari

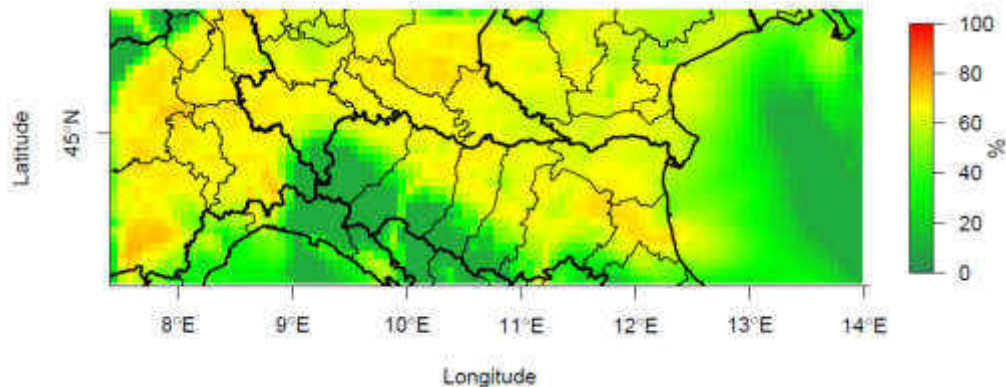


Figura 9. Riduzione % delle concentrazioni medie mensili di NO₂ dei due scenari

Cambiamenti climatici e qualità dell'aria in Emilia-Romagna: il servizio AQCLI di CLARA

Data la rilevanza crescente del tema cambiamenti climatici e la necessità di estendere le analisi del suo impatto a tutte le programmazioni regionali, sono stati analizzati i risultati preliminari di uno studio pilota sull'influenza dello scenario climatico futuro sul raggiungimento degli obiettivi di qualità dell'aria.

Nell'ambito del progetto Horizon 2020 CLARA (Climate forecast enabled knowledge services - <https://www.clara-project.eu/>) Arpae ha realizzato il servizio climatico relativo alla qualità dell'aria AQCLI (Air Quality in future CLimate) che ha lo scopo di fornire una stima dell'impatto di scenari di clima futuro sulla qualità dell'aria nell'ipotesi che non venga modificato lo scenario emissivo.

L'area di riferimento è centrata sull'agglomerato urbano di Bologna per un'estensione di 150 x 150 km² e comprende i capoluoghi di provincia di Modena, Ferrara, Reggio-Emilia e Parma, rappresentativi delle condizioni urbane.

Il servizio si sviluppa a partire da un dataset di variabili meteorologiche orarie a 1 km di risoluzione in uno scenario di clima presente e futuro, disponibile nell'ambito del progetto CLARA e realizzato precedentemente nell'ambito del progetto Urban-SIS (<https://urbansis.eu/>). Durante il progetto Urban-SIS è stato sviluppato un servizio di fornitura di variabili climatologiche essenziali ad alta risoluzione spaziale e temporale per tre aree urbane europee, tra cui Bologna. Il modello dinamico di downscaling usato in Urban-SIS è stato concepito per contribuire alla progettazione urbana a lungo termine e non si propone come previsione meteorologica per la gestione di emergenze giorno per giorno.

Il progetto ha realizzato il downscaling di un modello climatico a scala continentale per due periodi di 5 anni rappresentativi del clima presente (1980–2010) e futuro (2030–2065), utilizzati per stimare cambiamenti futuri a scala urbana. Gli anni di riferimento sono stati selezionati per comprendere le possibili combinazioni di anni secchi/umidi, caldi/freddi o “normali”: Normale (N), Caldo Secco (CS), Caldo Umido (CU), Freddo Secco (FS), Freddo Umido (FU). Per la selezione degli anni di riferimento ciascun anno all’interno dei due periodi di 30-35 anni di clima presente e futuro è confrontato con gli altri, utilizzando indicatori di eventi estremi. Per la temperatura ciò può comprendere giorni con temperature estreme o ondate di calore di lunga durata, per la precipitazione possono essere considerati eventi di lunga (o corta durata) insieme ai quantitativi caduti. La spiegazione di come è stato prodotto il dataset e di come sono stati selezionati gli anni rappresentativi è presentata nel report di progetto

https://urbansis.eu/wp-content/uploads/2018/01/C3S_D441.3.4_UrbanSIS_201711_Climate_ECV_and_indicator_future.pdf e in “Towards climate services for European cities: Lessons learnt from the Copernicus project Urban SIS”, Gidhagen et al., Urban Climate, 2020 (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212095518303444>).

Il dataset ottenuto dal progetto Urban-SIS comprende tutte le variabili meteorologiche necessarie per la stima dei giorni meteorologicamente critici per l’accumulo e la formazione degli inquinanti applicata per la valutazione annuale di qualità dell’aria in Emilia-Romagna e descritta in Appendice 2.

Lo studio sviluppato nell’ambito del servizio AQCLI si propone di valutare la variazione del numero di giorni favorevoli (calcolati in previsione secondo il metodo descritto in Appendice 2) alla formazione di ozono e all’accumulo di PM10 nello scenario di clima futuro rispetto allo scenario presente. Le analisi sono condotte a livello di comune e sono tanto più rappresentative quanto più grande è il territorio considerato. In Figure 10 e 11 viene riportato per il comune di Bologna l’andamento per gli anni di riferimento del numero di giorni favorevoli all’accumulo di PM10 e alla formazione di ozono, dove tutti i valori all’interno di un comune sono espressi come distribuzione in forma di boxplot.

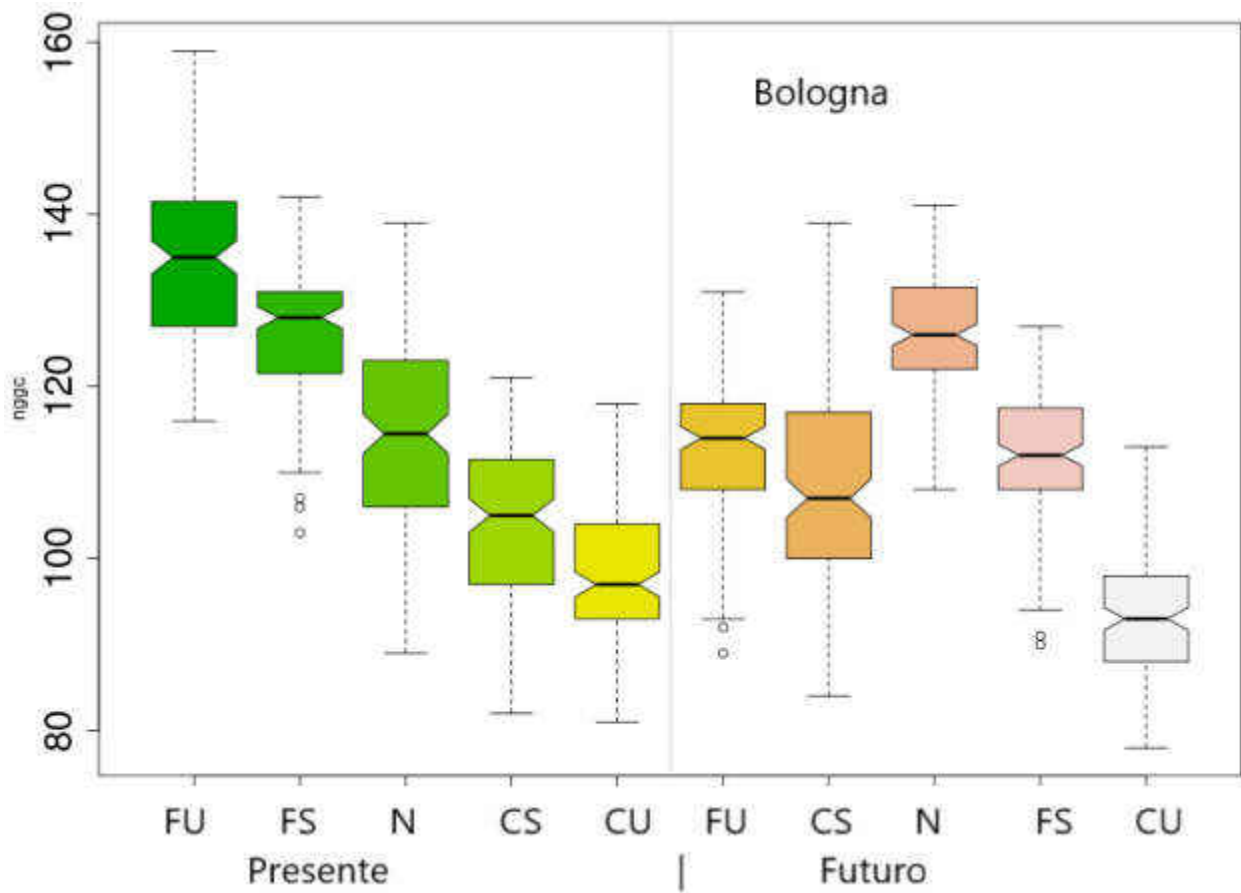


Figura 10. Variazione nel tempo del numero di giorni all'anno favorevoli all'accumulo di PM10.

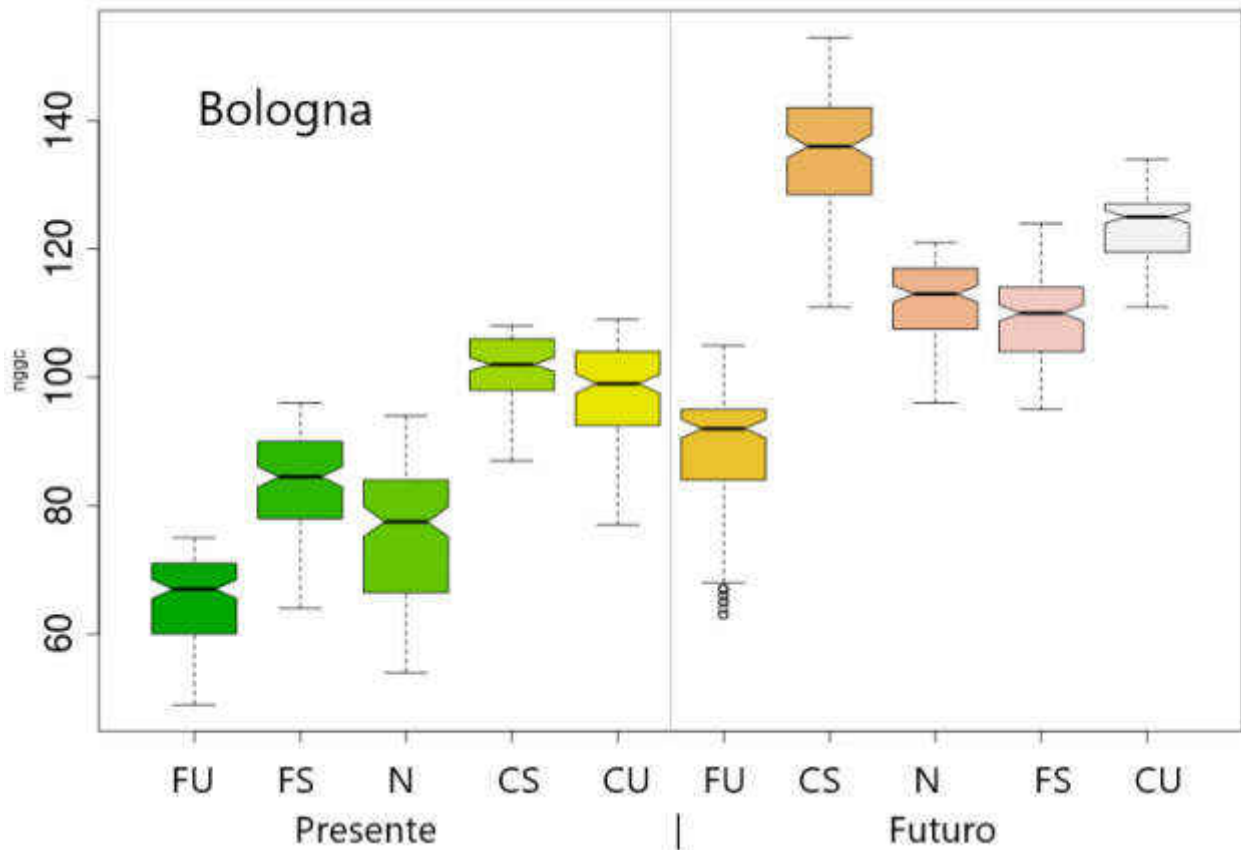


Figura 11. Variazione nel tempo del numero di giorni all'anno favorevoli alla formazione di ozono.

Tabella 1. Differenza percentuale fra le mediane della distribuzione dei giorni favorevoli all'accumulo di inquinanti in anni dello stesso tipo.

Anno Tipo Presente e Futuro	Ozono		PM10	
	Bologna	Modena	Bologna	Modena
Freddo Umido	+37	+50	-16	-22
Freddo Secco	+30	+43	-12	-7
Normale	+46	+56	+10	+0
Caldo Secco	+33	+30	+2	+3
Caldo Umido	+26	+26	-4	-12

Allo scopo di valutare la variazione del numero di giorni favorevoli all'accumulo di inquinanti di ozono e PM10, e quindi di possibili superamenti delle soglie dei VL, è stata condotta un'analisi di dettaglio sui comuni di Modena e Bologna.

La mediana della distribuzione dei giorni favorevoli all'accumulo degli inquinanti viene assunta come valore di riferimento negli anni considerati, accoppiati per tipo (ad es. Caldo Secco), uno dello scenario presente e uno dello scenario futuro. Dopo avere verificato che le distribuzioni siano significativamente diverse (Wilcoxon test), viene calcolata la differenza percentuale fra le mediane. I risultati sono riportati in Tabella 1. Dove la variazione è positiva si ha un aumento del numero di giorni di possibile superamento dei valori limite. L'analisi condotta nell'ambito del progetto CLARA durante la realizzazione del servizio AQCLI mostra che non è possibile affermare con certezza che la meteorologia in un clima futuro favorirà il raggiungimento degli obiettivi di qualità dell'aria. Per quanto concerne l'ozono, la cui concentrazione, in riferimento a questa analisi, è strettamente correlata alla temperatura, le condizioni di clima futuro sembrano non essere favorevoli al raggiungimento degli obiettivi.

Per il PM10 si evidenzia una variabilità percentuale minore rispetto alla variabilità dell'ozono e di segno non ben definito.

La zonizzazione del territorio ai fini della valutazione e gestione della qualità dell'aria

Il recepimento a livello nazionale della Direttiva 2008/50/Ce con il D.Lgs. 155/2010, ha delineato un nuovo assetto gestionale della qualità dell'aria, che ha comportato la revisione degli strumenti a servizio della valutazione della stessa. Pertanto, nel 2011, a seguito della valutazione della qualità dell'aria e dell'analisi degli elementi del contesto territoriale e socio-economico, si è proceduto al riesame della zonizzazione. La zonizzazione definisce le unità territoriali (zone e agglomerati) sulle quali viene eseguita la valutazione della qualità dell'aria ed alle quali si applicano le misure gestionali. L'individuazione delle zone, effettuata secondo i criteri stabiliti dal D.Lgs. 155/2010 all'articolo 3 per la zonizzazione del territorio, è mostrata nella Figura 12. Con la zonizzazione regionale, approvata con DGR 2001/2011, il territorio è stato ripartito in un agglomerato, relativo a Bologna ed ai comuni limitrofi, e in tre zone di qualità dell'aria (Appennino, Pianura Est, Pianura Ovest).

Con Legge n. 84 del 28 maggio 2021 è avvenuto ufficialmente il distacco dei comuni di Montecopiolo e Sassofeltrio dalla regione Marche e la loro aggregazione alla regione Emilia Romagna.

Non essendo intervenute variazioni ai presupposti su cui è basata (valutazione delle pressioni – carico emissivo, urbanizzazione del territorio e caratteristiche orografiche e meteorologiche dell'area, vedi Appendice I D.Lgs. 155/2010), la zonizzazione approvata con DGR 2001/2011 (modificata per i codici identificativi delle zone dalla DGR 1998/2013 e confermata con DGR 1135/2019) è tuttora vigente e viene utilizzata per gli adempimenti di reporting alla UE.

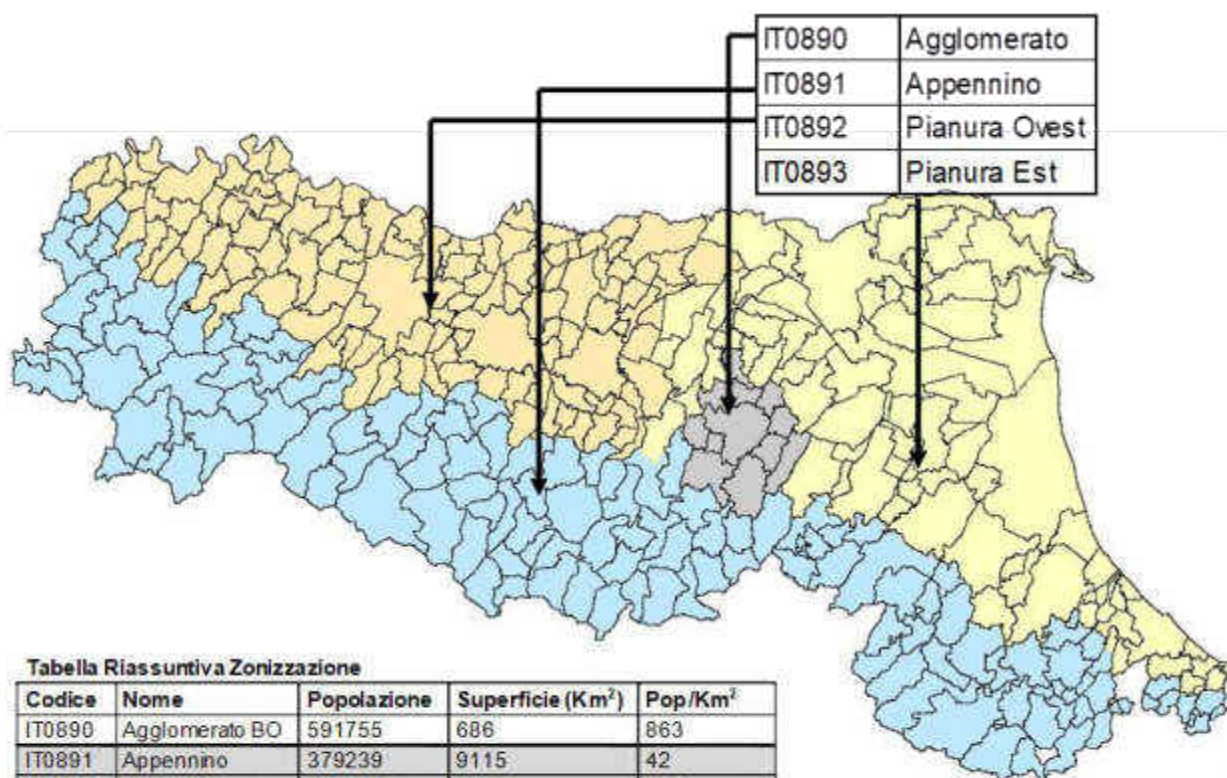


Tabella Riassuntiva Zonizzazione

Codice	Nome	Popolazione	Superficie (Km ²)	Pop/Km ²
IT0890	Agglomerato BO	591755	686	863
IT0891	Appennino	379239	9115	42
IT0892	PianuraOvest	1781669	5648	315
IT0893	Pianura Est	1672703	7058	237

Figura 12. La zonizzazione del territorio dell'Emilia-Romagna nel 2019 (DLgs 155/2010)

Il programma di valutazione

La valutazione delle qualità dell'aria in Emilia-Romagna è attuata secondo il Programma di Valutazione predisposto secondo i criteri stabiliti dal D.Lgs. 155/2010 all'articolo 4, per la classificazione territoriale, e l'allegato al DM del MATTM del 22 febbraio 2013 per il progetto di adeguamento della rete di misura ai fini della valutazione della qualità dell'aria. La normativa prevede che il Programma di Valutazione (PdV) venga riesaminato almeno ogni 5 anni. Il primo PdV è stato predisposto nel 2011 ed è stato approvato dalla Giunta regionale con Deliberazione n. 2001/2011 (aggiornata nel 2013 Delibera di Giunta Regionale n.1998 del 23/12/2013), avente per oggetto il *"Recepimento del Decreto Legislativo 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 ed indirizzi per la gestione della qualità dell'aria."*

Come richiesto dall'Art. 4 del D.Lgs. 155/2010, nel 2017 è stato realizzato l'aggiornamento della classificazione delle zone, al fine di adeguare le modalità di valutazione della qualità dell'aria a seguito dell'evoluzione nel clima chimico della regione. Per la verifica dei livelli degli inquinanti aerodispersi in relazione alle soglie di valutazione indicate nella norma sono stati analizzati i dati del quinquennio 2012 – 2016.

Il confronto con la situazione pregressa del primo PdV mette in evidenza una tendenza al miglioramento per quanto riguarda i livelli di ossidi di azoto in Appennino ed in Pianura est per l'obiettivo di protezione della vegetazione, di biossido di azoto in Appennino e nell'Agglomerato di Bologna e di benzene nelle zone Pianura ovest e Pianura est.

Tabella 2. Livelli di inquinanti dell'ultimo PdV, confrontati con le soglie di valutazione in base ai criteri del D.Lgs 155/2010.

ZONE_NAME	IT0890	IT0891	IT0892	IT0893
ZONE_CODE	Agglomerato	Appennino	Pianura Ovest	Pianura Est
ZONE_TYPE	ag	nonag	nonag	nonag
POLL_TARG	SH; NH; P; P2_5; L; C; B; O_H; As; Cd; Ni;	SH; SE; NH; NV; P; P2_5; L; C; B; O_H; O_V; As; Cd; Ni; Bap	SH; SE; NH; NV; P; P2_5; L; C; B; O_H; O_V; As; Cd; Ni; Bap	SH; SE; NH; NV; P; P2_5; L; C; B; O_H; O_V; As; Cd; Ni; Bap
SO2 obiettivo salute umana	SH_AT	LAT	LAT	LAT
SO2 obiettivo ecosistemi	SE_AT	LAT	LAT	LAT
NO2 obiettivo salute umana (media ora)	NH_H_AT	UAT	UAT	UAT
NO2 obiettivo salute umana (media anno)	NH_Y_AT	UAT-LAT	LAT	UAT
NOx obiettivo vegetazione	NV_AT	LAT	UAT	UAT-LAT
PM10 obiettivo salute umana (media giorno)	P_D_AT	UAT	LAT	UAT
PM10 obiettivo salute umana (media anno)	P_Y_AT	UAT-LAT	LAT	UAT
PM2.5 obiettivo salute umana	P2_5_Y_AT	UAT	LAT	UAT
Piombo obiettivo salute umana	L_AT	LAT	LAT	LAT
Benzene obiettivo salute umana	B_AT	LAT	LAT	LAT
CO obiettivo salute umana	C_AT	LAT	LAT	LAT
Ozono obiettivo salute umana	O_H	LTO_U	LTO_U	LTO_U
Ozono obiettivo vegetazione	O_V	LTO_U	LTO_U	LTO_U
Arsenico obiettivo salute umana	AS_AT	LAT	LAT	LAT
Cadmio obiettivo salute umana	CD_AT	LAT	LAT	LAT
Nichel obiettivo salute umana	NI_AT	LAT	LAT	LAT
Benzo(a)pirene obiettivo salute umana	BAP_AT	LAT	LAT	UAT-LAT
Area (km2)	687	9174	5645	6946
Population	576707	400367	1742402	1658011

Legenda:

UAT Upper Assessment Threshold
 LAT Lower Assessment Threshold
 UAT - LAT Between LAT UAT
 LTO_U Upper Long Term Objective
 LTO_L Lower Long Term Objective

SV5 Soglia Valutazione Superiore
 SVI Soglia Valutazione inferiore
 SVI-SV5 tra SVI e SV5
 >OLT Superiore all'obiettivo a lungo termine
 <OLT inferiore all'obiettivo a lungo termine

Alla base del processo di valutazione vi è l'impiego di un insieme di strumenti tecnici e scientifici tra loro integrati in modo da garantire un'informazione che copra l'intero territorio e non solamente i punti ove è presente una stazione di rilevamento. Il complesso di strumenti oggi utilizzati, frutto di un processo di evoluzione tecnica e scientifica attuato da Arpa, attraverso vari progetti a finanziamento regionale, nazionale ed europeo, va dalla tradizionale rete di monitoraggio degli inquinanti e dei parametri atmosferici alle tecniche di simulazione numerica delle condizioni meteorologiche e di diffusione, trasporto e trasformazione chimica degli inquinanti, alle stime obiettive che consentono di calcolare concentrazioni a partire da valori misurati in luoghi o tempi diversi da quelli a cui si riferisce il calcolo e di dare un giudizio esperto, costituendo nel loro insieme il sistema integrato di valutazione, previsione e gestione della qualità dell'aria.

Il sistema consente di soddisfare con regolarità ed in modo quotidiano i compiti istituzionali affidati dallo Stato alle Regioni in tema di valutazione e gestione della qualità dell'aria, in particolare per quanto riguarda la redazione dei piani e l'informazione al pubblico.

Il set di punti di misura selezionato include, oltre al minimo numero di stazioni (i punti fissi della rete regionale derivanti dall'applicazione dei criteri per l'individuazione del numero di punti di misura presenti negli allegati V e IX del D.Lgs. 155/2010), stazioni aggiuntive, derivanti da ulteriori necessità tecniche (necessità di monitorare aree critiche per orografia, densità di popolazione e per supportare le valutazioni modellistiche), e ulteriori stazioni di supporto, che garantiscono il rilevamento qualora non sia raggiunto il numero di dati minimo previsto dalla normativa. La rete è completata da laboratori mobili e numerose unità mobili per la realizzazione di campagne di valutazione.

Con deliberazione di Giunta n. 1135 del 08/07/2019, e ai sensi dell'art. 4 del D. Lgs. 155/2010, la Regione ha approvato il "Progetto di riesame della classificazione delle zone e degli agglomerati della Regione Emilia-Romagna ai fini della valutazione della qualità dell'aria", confermando sostanzialmente la configurazione della rete regionale di monitoraggio della qualità dell'aria e la zonizzazione del territorio, approvate con DGR n. 2001/2011. Il notevole sforzo di razionalizzazione sino ad oggi svolto sulla rete regionale di monitoraggio della qualità dell'aria esistente consente di mantenere la configurazione della rete pressoché invariata ma con un numero inferiore di punti di misura per gli inquinanti CO e Benzene. Le concentrazioni di monossido di carbonio e di benzene, rilevate nelle stazioni da traffico dell'Emilia-Romagna, risultano essere, da diversi anni, molto contenute, sia nei valori medi sia nei massimi orari, al punto che, tali inquinanti, insieme al biossido di zolfo, possono considerarsi non più rilevanti nel territorio regionale. Non essendo necessari punti di misura, in quanto i livelli per questi due inquinanti risultano inferiori alla soglia di valutazione inferiore, è stato possibile ridurre i punti di misura presenti sul territorio. A partire dal 1 gennaio 2020, questi sono passati da 11 a 5 per il CO e da 11 a 9 per il benzene.

Tabella 3. Rete di misura prevista dal Programma di Valutazione approvato con DGR n. 1135 del 8/7/2019.

ZONE_CODE	CODE_NAZ	CODE_EOI	NOME_STAZ	CLASS_STAZ	SH	SE	NH	NV	p	P2_5	L	B	C	O_H	O_V	As	Ni	Cd	BAP	D/I	Via	Vlg
IT0892	803320	IT1923A	Giordani - Farnese	TU			Y		M1			Y	Y								D	X
IT0892	803322	IT1975A	Montecucco	FU			Y		M1	M1				Y							D	X
IT0892	803306	IT0544A	Lugagnano	FS			Y		M1					Y							D	
IT0891	803323	IT2074A	Corte Brugnatella	FR			Y	Y	M1					Y	Y						D	
IT0892	803321	IT1924A	Besenzone	FR			Y	Y		M1				Y	Y						D	
IT0892	803405	IT1105A	Montebello	TU			Y		M1			Y									D	X
IT0892	803401	IT0804A	Cittadella	FU			Y		M1	M1	Y			Y		Y	Y	Y	Y	D	X	
IT0892	803409	IT1910A	Saragat	FS			Y		M1					Y							D	X
IT0892	803410	IT1911A	Badia	FR			Y	Y	M1	M1				Y	Y					D		
IT0892	803508	IT0940A	S. Lazzaro	FU			Y		M1	M1				Y							D	
IT0892	803518	IT2156A	Timavo	TU			Y		M1			Y	Y								D	X
IT0892	803502	IT0903A	Castellarano	FS			Y		M1	M1				Y							D	X
IT0892	803517	IT1914A	San Rocco	FR			Y	Y	M1	M1				Y	Y						D	X
IT0891	803515	IT1672A	Febbio	FR			Y	Y	M1					Y	Y						D	
IT0892	803613	IT0721A	Giardini	TU			Y		M1			Y									D	X
IT0892	803624	IT1771A	Parco Ferrari	FU			Y		M1	M1	Y			Y		Y	Y	Y	Y	D	X	
IT0892	803603	IT1152A	Remesina	FS			Y		M1					Y							D	X
IT0892	803625	IT1920A	Circ. San Francesco	TU			Y		M1												D	X
IT0892	803629	IT2073A	Parco Edilcarani	FU			Y		M1	M1				Y							D	X
IT0892	803626	IT1921A	Gavello	FR			Y	Y	M1	M1				Y	Y						D	X
IT0890	803719	IT2075A	Via Chiarini	FS			Y		M1					Y							D	
IT0891	803721	IT2097A	Porretta Terme	FR			Y	Y	M1	M1				Y	Y						D	
IT0890	803708	IT0892A	Giardini Margherita	FU			Y		M1	M1	Y			Y		Y	Y	Y	Y	D		
IT0890	803713	IT1159A	Porta San Felice	TU			Y		M1	M1		Y	Y								D	X
IT0893	803705	IT1029A	de Amicis	TU			Y		M1												D	
IT0893	803717	IT1451A	San Pietro Capofiume	FR			Y	Y	M1	M1				Y	Y						D	
IT0890	803714	IT1163A	San Lazzaro	TU			Y		M1												D	
IT0893	803803	IT0187A	Isonzo	TU			Y		M1		Y	Y				Y	Y	Y	Y	D	X	
IT0893	803812	IT1918A	Villa Fulvia	FU			Y		M1	M1				Y							D	X
IT0893	803811	IT1917A	Cento	FS			Y		M1					Y							D	X
IT0893	803805	IT1179A	Gherardi	FR			Y	Y	M1	M1				Y	Y						D	X
IT0893	803813	IT1919A	Ostellato	FR			Y	Y		M1				Y	Y						D	
IT0893	803920	IT1204A	Caorle	FU	Y		Y		M1	M1				Y							D	X
IT0893	803921	IT0895A	Zalamella	TU			Y		M1			Y	Y								D	X
IT0893	803911	IT2209A	Parco Bertozzi	FU			Y		M1	M1				Y							D	
IT0893	803923	IT1928A	Delta Cervia	FS			Y		M1					Y							D	
IT0893	803922	IT1927A	Ballirana	FR			Y	Y		M1				Y	Y						D	
IT0893	804009	IT1048A	Parco Resistenza	FU			Y		M1	M1				Y							D	
IT0893	804010	IT0755A	Roma	TU			Y		M1			Y									D	X
IT0893	804012	IT1670A	Franchini Angeloni	FU			Y		M1												D	
IT0893	804013	IT1908A	Savignano	FS			Y		M1	M1				Y							D	X
IT0891	804015	IT2027A	Savignano di Rigo	FR			Y	Y	M1					Y	Y						D	
IT0893	804004	IT1044A	Flaminia	TU			Y		M1			Y	Y								D	X
IT0893	804002	IT1043A	Marecchia	FU			Y		M1	M1	Y			Y		Y	Y	Y	Y	D	X	
IT0893	809902	IT1916A	Verucchio	FS			Y		M1					Y							D	
IT0891	809904	IT2158A	San Leo	FR			Y	Y	M1					Y	Y						D	
IT0893	809901	IT1915A	San Clemente	FS			Y	Y		M1				Y	Y						D	

M1: Beta-absorption

D: fonti diffuse

Y: presenza sensore

X: superamenti del Vlg per PM10 nei 3 anni precedenti

Il sistema integrato di monitoraggio, valutazione e previsione

Il D.Lgs. 155/2010 prevede che la valutazione della qualità dell'aria ambiente venga effettuata mediante l'impiego delle informazioni provenienti dai punti di campionamento in siti fissi e che queste possano essere integrate con quelle provenienti da altre fonti, come le tecniche di modellizzazione e di stima obiettiva, per poter rappresentare adeguatamente la distribuzione delle concentrazioni degli inquinanti atmosferici normati.

A questo scopo Arpaè si è dotata di un sistema complesso e articolato di strumenti informativi. Lo schema a blocchi del sistema integrato è mostrato in Figura 13. I tre blocchi principali del sistema sono costituiti dal monitoraggio, dal sistema di modelli numerici e dalle emissioni.

Il sistema delle reti di monitoraggio comprende le due reti principali costituite dalla rete regionale di monitoraggio della qualità dell'aria (RRQA) e la rete meteorologica (RIRER). Vi è poi la rete ausiliaria dei pollini.

I dati forniti dal sistema di monitoraggio vengono rielaborati e completati attraverso un articolato sistema di modelli numerici che integra i dati puntuali con altri dati territoriali, quali la morfologia del territorio, le emissioni regionali e provenienti dall'esterno della regione.

Le funzioni svolte da queste componenti sono rappresentate dai blocchi superiori dello schema e fungono da supporto alle attività riportate nel blocco inferiore: valutazione quotidiana e annuale dello stato della qualità dell'aria; previsione e gestione dell'inquinamento, sul breve periodo mediante l'attivazione delle misure emergenziali, durante il periodo di applicazione (1 Ottobre – 30 Aprile), o la comunicazione alla popolazione in caso di valori critici di Ozono nel periodo estivo; gestione sul lungo periodo attraverso il supporto alla pianificazione regionale e locale. Il sistema integrato interagisce anche con le attività di progetto, sia fornendo dati ed informazioni necessarie alla loro realizzazione, sia ottenendo nuovi strumenti e tecniche che vengono trasferite nel sistema.

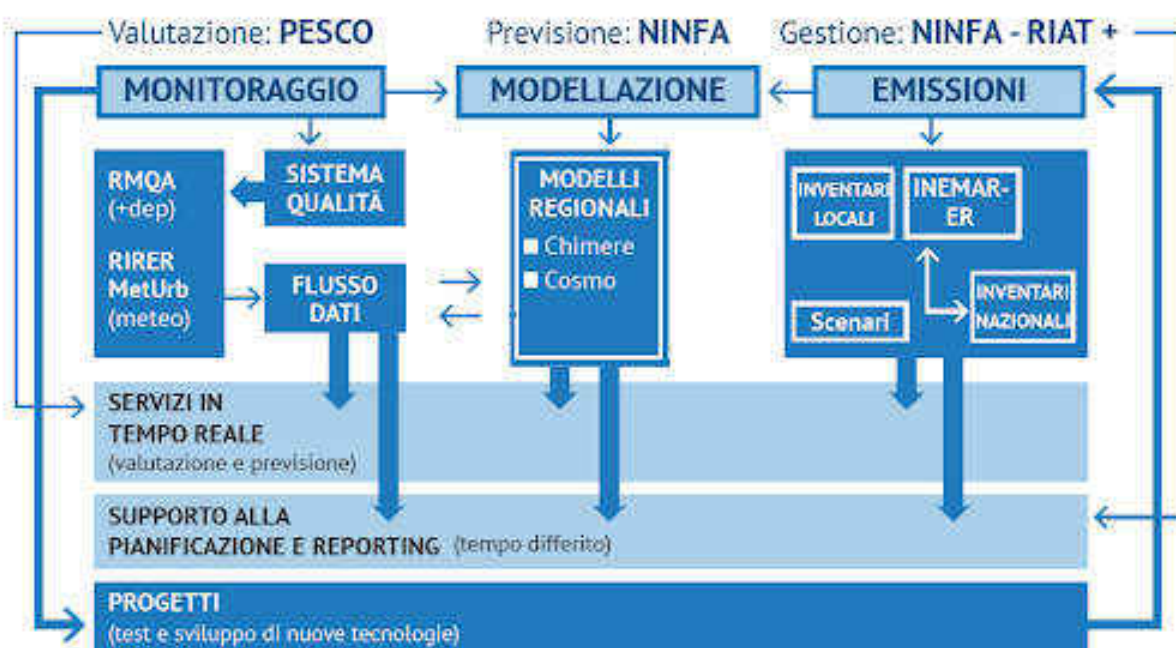


Figura 13. Schema a blocchi del sistema integrato di valutazione, previsione e gestione della qualità dell'aria in Emilia-Romagna

La rete regionale di monitoraggio della qualità dell'aria (RRQA)

L'ultima fase del percorso evolutivo della rete di monitoraggio è avvenuta a seguito del riesame del Programma di Valutazione, effettuato nel 2017 e approvato dalla Giunta Regionale a Luglio 2019. A partire dal 1 gennaio 2020 sono stati spenti 5 degli 11 sensori di monossido di carbonio e 2 degli 11 sensori di benzene della RRQA che in precedenza rilevavano tali inquinanti.

La rete regionale della qualità dell'aria resta sostanzialmente invariata nella configurazione delle stazioni e soddisfa tuttora sia i criteri normativi (Allegati III, V, VIII, IX, Appendice II D.Lgs 155/2010), sia le esigenze modellistiche e di rappresentatività del territorio.

La rete regionale della qualità dell'aria (RRQA) dal primo gennaio 2020 risulta pertanto composta da 47 punti di misura in siti fissi, con un totale di 163 analizzatori automatici per gli inquinanti principali: particolato (PM10, PM2.5), ossidi di azoto (NOx), monossido di carbonio (CO), BTX (benzene, toluene, etilbenzene, xileni), biossido di zolfo (SO₂), ozono (O₃), composti organici volatili (COV). La rete è completata da altri sensori di microinquinanti, 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 9001:2015 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 *hotspots* (aree dove le concentrazioni degli inquinanti sono più alte rispetto a quelle di fondo); in tutte vengono rilevati PM10 e ossidi di azoto, mentre in aggiunta vengono monitorati anche in 5 di queste il monossido di carbonio e in 9 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.

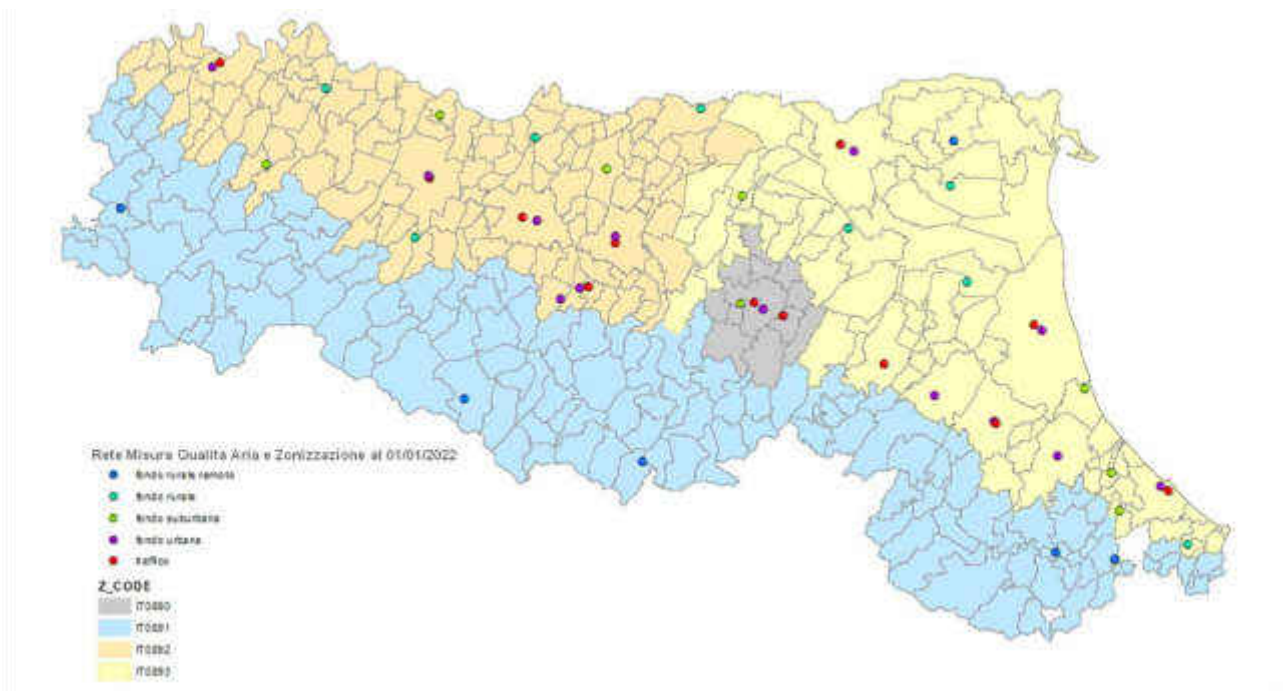


Figura 14. Le stazioni della rete regionale di monitoraggio della qualità dell'aria e la zonizzazione al 1 gennaio 2022 (IT0890 agglomerato di Bologna, IT0891 Appennino, IT0892 Pianura ovest, IT0893 Pianura est).

In queste stazioni, oltre al PM10 e agli ossidi di azoto, si rilevano anche ozono e PM2.5. 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. I dati delle stazioni di fondo vengono usati nel modulo di post processamento statistico integrato alla catena modellistica operativa NINFA (vedi § la suite modellistica NINFA), al fine di ottenere una distribuzione territoriale delle concentrazioni degli inquinanti principali (PM10, PM2.5, biossido di azoto e ozono) sull'intero 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 nazionali (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.

La rete della qualità dell'aria ha ottenuto nel 2005 la certificazione UNI EN ISO 9001. Il sistema di controllo qualità, attraverso una sistematica azione di documentazione delle procedure, controllo e verifica, garantisce il mantenimento degli standard stabiliti dalla certificazione.

In Tabella 14 è riportata in dettaglio la dotazione strumentale delle stazioni della rete regionale al 1 gennaio 2020.

Ad integrazione del monitoraggio degli inquinanti da parte delle reti di qualità dell'aria, la modellistica di diffusione degli stessi utilizza inoltre i dati rilevati dalla rete meteorologica RIRER (Rete idro-meteo-pluviometrica integrata), gestita da Arpae – SIMC.

La rete RIRER è stata realizzata unendo stazioni di preesistenti reti di monitoraggio idro-meteo-pluviometrico, con lo scopo di ottenere l'omogeneità della copertura territoriale e della qualità dei dati rilevati. La riorganizzazione della rete RIRER ha portato alla definizione della rete di monitoraggio della meteorologia

urbana (MetUrb), nata per colmare una carenza informativa sulla conoscenza della dinamica delle grandezze meteorologiche in ambiente fortemente antropizzato.

Le stazioni sono 10, una per ciascun principale capoluogo e constano di 61 sensori.

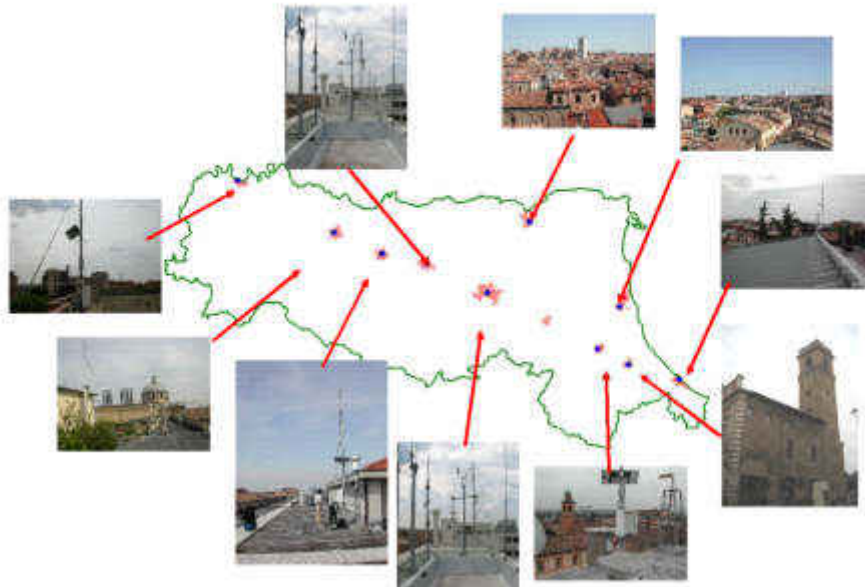


Figura 15. Stazioni della sottorete meteorologica per la meteorologia urbana.

Tabella 4. Dotazione strumentale attuale delle stazioni della RRQA.

■ 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	Bodia	FR		●	●	●		●	●							
Reggio Emilia	S. Lazzaro	FU		●		●	●	●								
Reggio Emilia	Tinava	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 Edlicorani	FU		●		●	●	●								
Mirandola	Gavello	FR		●	●	●	●	●								
Imola	De Amicis	TU		●		●										
Molinella	S. Pietro Copofiume	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		●		●		●								
Alfonso	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	9	5	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 suite modellistica NINFA

In Arpae è operativa dal 2004 una catena modellistica, denominata NINFA (Network dell'Italia del Nord per previsioni di smog Fotochimico e Aerosol), per la valutazione e la previsione della qualità dell'aria. Tale catena è stata recentemente valutata nell'ambito dell'attività del gruppo FAIRMODE.³

La suite NINFA si basa sulla versione regionale del modello di trasporto chimico Chimere⁴, abbinato al modello meteorologico COSMO⁵. Le concentrazioni di inquinanti ai bordi del dominio di simulazione di NINFA (condizioni al contorno) possono essere fornite sia dal sistema modellistico per la qualità dell'aria PREV'AIR⁶ sia dal modello a scala nazionale sviluppato nell'ambito del SNPA (Sistema Nazionale Protezione Ambientale).⁷

L'input emissivo del modello di simulazione viene predisposto a partire dagli inventari a diversa scala spaziale: a livello regionale dall'inventario delle emissioni INEMAR (Inventario Emissioni ARia), a livello nazionale dall'inventario nazionale ISPRA per le emissioni diffuse e puntuali, a livello transnazionale dall'inventario europeo forniti da EMEP/EEA (European monitoring and evaluation program / Environment European Agency).

Il sistema di valutazione di qualità dell'aria a scala regionale si completa con un modulo di post processamento statistico dei dati misurati dalle stazioni della rete osservativa, integrato alla catena modellistica operativa NINFA. Il post processamento permette di ottenere un valore stimato di concentrazioni su un grigliato regolare che copre l'intera regione a partire dalle osservazioni puntuali sparse. Esistono diversi metodi di interpolazione, a diverso livello di complessità, che permettono di stimare il valore in un punto dove non è disponibile un dato misurato.

Le tecniche adottate in Arpae per la valutazione regionale di qualità dell'aria si basano sul concetto di “*data fusion*”, ovvero sull'utilizzo combinato di informazioni provenienti da sorgenti diverse. L'approccio più strettamente quantitativo delle misure puntuali da stazione viene integrato con la capacità del modello di ricostruire la struttura del campo di concentrazione di inquinanti su un'area vasta, difficile da individuare da una rete di punti sparsi. Gli eventuali scostamenti quantitativi del modello vengono tenuti in considerazione usando le misure da stazione, mentre l'impossibilità delle stazioni di intercettare le strutture fra una stazione e l'altra viene compensata dal modello.

Le elaborazioni di qualità dell'aria per la valutazione regionale in Arpae si basano su consolidate tecniche di kriging, in particolare tecniche di kriging a deriva esterna. Con questa metodologia il valore del dato misurato viene riprodotto, mentre la variabilità spaziale viene stimata tenendo conto della distanza dalle stazioni e, nel caso di kriging a deriva esterna, da ulteriori informazioni esterne ai dati misurati. Nel metodo applicato il dato più informativo deriva dal modello fotochimico e informazioni secondarie derivano dalla quota: per ogni

³ Monteiro, *et al.* 2018. Strengths and weaknesses of the FAIRMODE benchmarking methodology for the evaluation of air quality models. *Air Qual Atmos Health* 11, 373–383. <https://doi.org/10.1007/s11869-018-0554-8>

⁴ <https://www.lmd.polytechnique.fr/chimere/>

⁵ <http://www.cosmo-model.org/content/model/>

⁶ www.prevoir.org

⁷ Stortini *et al.* 2020. Operational Forecast and Daily Assessment of the Air Quality in Italy: A Copernicus-CAMS Downstream Service *Atmosphere*, 11(5), 447;

<https://doi.org/10.3390/atmos11050447>

punto della griglia in cui si vuole stimare la concentrazione, il valore ottenuto dipende dalla distanza dai punti di misura, dal valore del modello sul punto e dalla quota. La valutazione delle concentrazioni viene eseguita ad una risoluzione di 3 km, corrispondente alla griglia del modello.

Gli indicatori di qualità dell'aria annuale valutati sono le medie annuali di concentrazione di PM10, PM2.5, NO₂, ottenute dalla media annuale misurata dalle stazioni e dalla media annuale ottenuta dalle corse giornaliere del modello fotochimico.

Il numero di superamenti del valore limite giornaliero di 50 µg/m³ per il PM10 è ottenuto dalla spazializzazione delle osservazioni annuali di tale indicatore da stazione.

Per l'ozono l'indicatore valutato è il massimo giornaliero della media mobile sulle 8 ore, per il quale si è scelto di spazializzare tutti i giorni dell'anno separatamente e di risalire per tutta la mappa, punto per punto, al numero di superamenti annuali del valore obiettivo di 120 µg/m³.

L'analisi è stata eseguita per l'anno 2022 e, con la stessa metodologia, per i cinque anni precedenti, al fine di avere un dataset omogeneo per il periodo 2016-2022.

Le valutazioni ottenute sono presentate in forma di mappa nei capitoli dedicati.

Il tool RIAT+

RIAT+ è un applicativo software di valutazione integrata sviluppato inizialmente durante il progetto OPERA⁸ (LIFE09 ENV/IT/000092) al fine di supportare i decisori e i tecnici nell'individuazione di misure e tecnologie ottimali per la riduzione delle emissioni inquinanti per migliorare la qualità dell'aria al minimo costo.

Nell'ambito del progetto LIFE-IP Prepair⁹ è stata realizzata una nuova versione del tool RIAT+ tenendo conto anche dei miglioramenti ottenuti grazie al progetto Interreg Alcotra Climaera¹⁰.

Il software di proprietà del JRC (Joint Research Center) della Commissione Europea e dei partner di OPERA è distribuito gratuitamente: <http://www.riatplus.eu/html/ita/download.html>.

⁸ <http://operatool.terraria.com/html/ita/project.html>

⁹ <https://www.lifeprepare.eu/index.php/azioni/air-quality-and-emission-evaluation/#toggle-id-27>

¹⁰ <https://www.climaera.eu/it/>

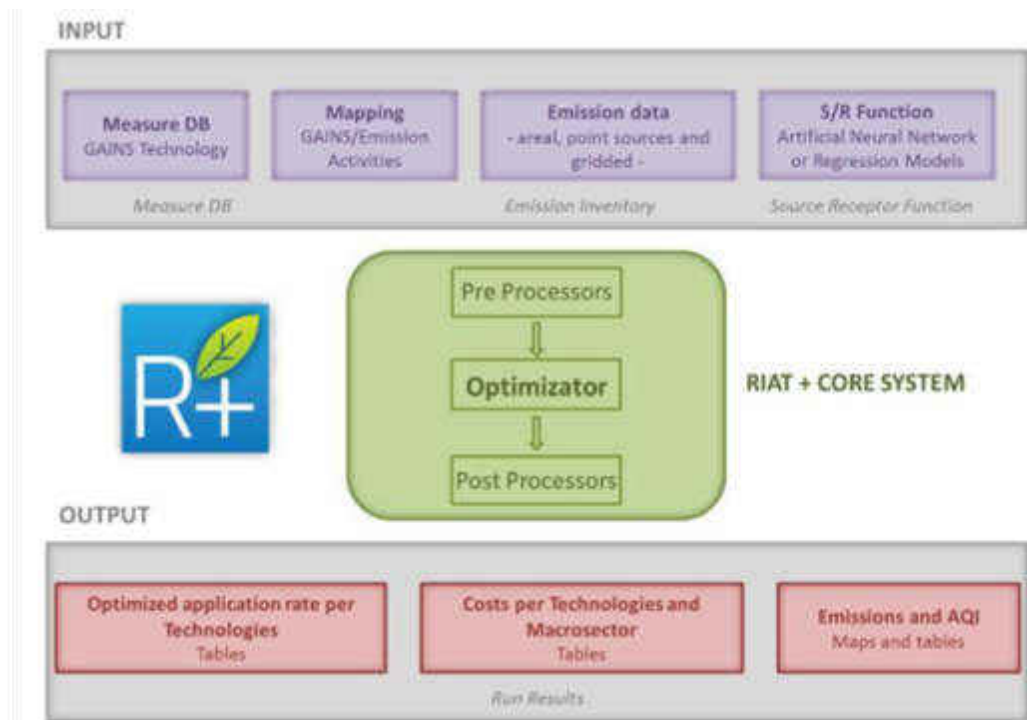


Figura 16. Schema generale del software RIAT+ con i principali input e output del modello.

Le componenti e le caratteristiche principali dell'applicativo RIAT+ sono:

- un risolutore di scenari di ottimizzazione multi-obiettivo

Le tecnologie messe a disposizione, ovvero le misure di riduzione delle emissioni, sono selezionate per minimizzare uno o più indicatori di qualità dell'aria (es. concentrazione di PM10 media annua) nel dominio spaziale di applicazione delle politiche, minimizzando i costi necessari legate alla loro applicazione per ottenere la massima riduzione delle concentrazioni; il solutore è in grado di selezionare e mostrare all'utente, attraverso l'interfaccia grafica di RIAT+, l'intero insieme di queste misure ottimali di abbattimento, sia in termini di tassi di applicazione (ovvero i livelli di penetrazione delle tecnologie da raggiungere nel mercato nell'anno del piano), sia in termini di riduzione dei costi indiretti (sanitari) e delle emissioni

- l'applicazione di modelli sorgente-recettore per la stima delle concentrazioni in atmosfera a partire dalle riduzioni emissive applicate.

Poiché un CTM (Chemical Transport Model), a causa dei tempi di calcolo elevati, non può essere eseguito in tempo reale all'interno della procedura di ottimizzazione utilizzata da RIAT+, si utilizza una relazione più semplice che lega la riduzione delle fonti emissive con gli indicatori di qualità dell'aria. Questa relazione (denominata modello sorgente/recettore) può essere definita attraverso reti neurali artificiali o funzioni lineari. Il modello sorgente/recettore è stato costruito secondo l'approccio impiegato all'interno del tool di screening SHERPA¹¹ (Screening for High Emission Reduction Potential on Air), presupponendo una relazione lineare tra la concentrazione e le variazioni delle emissioni.

Secondo questo approccio i legami tra le variazioni delle emissioni e delle concentrazioni sono calcolati cella per cella senza alcuna definizione a priori delle aggregazioni di emissioni e la variazione della

¹¹ Thunis P, Degraeuwe B, Pisoni E, Ferrari F and Clappier A 2016 On the Design and Assessment of Regional Air Quality Plans: The SHERPA Approach, Journal of Environmental Management 183 (Pt 3) 952-958

concentrazione in una cella della griglia "i" è espressa come una combinazione lineare delle variazioni di emissioni in una cella j per ogni precursore k. Le relazioni tra variazioni emissive e variazioni di concentrazione dipendono dalla distanza e da due parametri (vedi Figura 17), uno legato all'ampiezza della funzione e fornisce informazioni sull'importanza relativa di un precursore di emissioni rispetto ad un altro, mentre l'altro è legato alla larghezza della funzione e fornisce informazioni sulla velocità di diminuzione dell'impatto delle emissioni con la distanza. Nel progetto PREPAIR sono state eseguite 13 simulazioni annuali (scenari di allenamento) con due modelli fotochimici (NINFA e FARM) per definire il modello S/R e 12 simulazioni annuali indipendenti (scenari di validazione) per valutarlo.

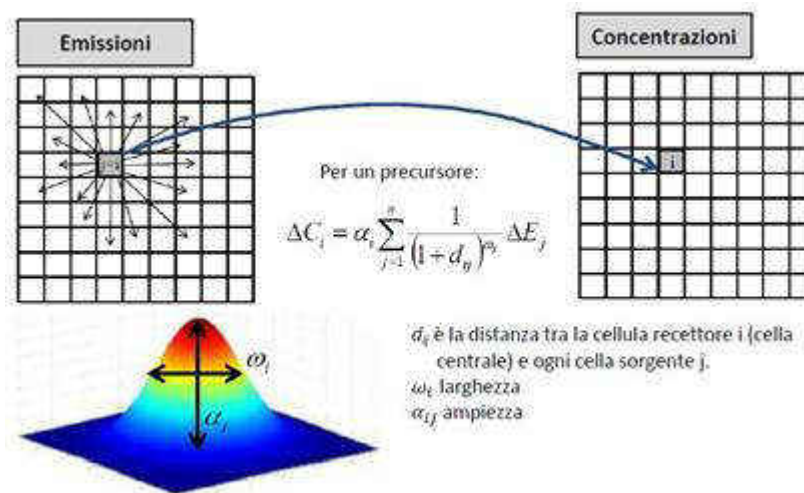


Figura 17. Relazione di dipendenza fra emissioni e concentrazioni.

RIAT+ consente numerose opzioni di esecuzione:

- è possibile considerare diversi indici di qualità dell'aria (media annuale di PM10, PM2.5, NO₂ ...);
- il budget può essere vincolato a un valore specifico (approccio costo-efficacia);
- è possibile definire un sottodominio di applicazione delle politiche e/o di ottimizzazione (ad es. zone critiche per la qualità dell'aria);
- la sostituzione delle tecnologie più avanzate può essere inibita per alcuni anni mentre le tecnologie più obsolete possono essere sostituite da tecnologie migliori;
- l'ottimizzazione può essere limitata a un sottoinsieme di tecnologie;
- scenari di emissione specifici possono essere simulati con riduzioni di emissioni aggregate o con l'applicazione di tecnologie specifiche;
- nella versione sviluppata per il progetto PREPAIR con RIAT+ è possibile effettuare valutazioni di politiche di Bacino regionalizzate, cioè differenziate per ogni regione.

In particolare la versione di RIAT+ sviluppata nell'ambito del progetto PREPAIR permette di eseguire le seguenti elaborazioni:

- Scenario dettagliato

Tale approccio permette all'utente di introdurre i tassi di applicazione (AR) di un sottoinsieme di misure (o dell'intero set di misure) e valutare gli impatti in termini di indicatori di qualità dell'aria e costi ed è utile per monitorare i piani regionali di qualità dell'aria

- Scenario multi-obiettivo

Tale approccio permette di individuare quali sono le tecnologie più efficaci ed efficienti a livello regionale o sovragionale per migliorare la qualità dell'aria individuando l'insieme teoricamente ottimale di azioni di riduzione delle emissioni

- Scenario aggregato

Tale approccio permette all'utente di applicare le percentuali di riduzione delle emissioni per inquinante ad un intero macrosettore o più macrosettori per stimare attraverso RIAT+ l'impatto di tali riduzioni sulla qualità dell'aria.

Il database delle tecnologie GAINS-Italy

Il modello GAINS (Greenhouse Gas and Air Pollution Interactions and Synergies) è un sistema integrato per la valutazione dei costi e delle potenzialità legate al controllo dell'inquinamento atmosferico e per la mitigazione dei gas ad effetto serra (GHG). Il modello GAINS nella versione europea è gestito e sviluppato dallo IASA (International Institute for Applied Systems Analysis) ed è utilizzato come parte del quadro di modellizzazione standard per i negoziati nell'ambito della Convenzione sull'inquinamento atmosferico transfrontaliero a lungo raggio dell'Unione europea.

A livello italiano, ENEA si occupa di elaborare e trasferire le strategie del modello europeo a scala nazionale e regionale. La versione nazionale del modello GAINS-Italy è infatti adottata come strumento ministeriale nell'ambito del tavolo Ministero-Regioni, e rappresenta il riferimento metodologico che consente la messa a punto di scenari futuri regionali in un contesto coerente, assumendo una serie di ipotesi (economiche, di evoluzione delle normative e delle strategie di controllo progressivamente applicate), sulla base delle quali possono essere ricavati dei trend emissivi regionali per i principali inquinanti atmosferici e gas serra: ammoniaca (NH₃), anidride carbonica (CO₂), metano (CH₄), ossidi di azoto (NO_x), protossido di azoto (N₂O), particolato (PTS, PM₁₀, PM_{2,5}), biossido di zolfo (SO₂) e Composti Organici Volatili (VOC).

Come database delle tecnologie da utilizzare all'interno di RIAT+ per definire gli scenari emissivi futuri è stata utilizzata, la regionalizzazione per l'Emilia-Romagna dello scenario nazionale denominato BAU_Tiscar_mar2018, calcolato originariamente con lo scenario energetico prodotto dal tavolo *Tiscar* sulla decarbonizzazione nel gennaio 2017 e aggiornato nel marzo 2018 a seguito dell'aggiornamento dei fattori emissivi e della strategia di controllo per il trasporto stradale.

Lo scenario CLE 2030¹² messo a disposizione da ENEA corrisponde allo scenario energetico 'base' definito

¹² Principali riferimenti bibliografici riguardanti la definizione degli scenari energetici da parte di ENEA:

D'Elia, I., Bencardino, M., Ciancarella, L., Contaldi, M., Vialetto, G., 2009. Technical and Non-Technical Measures for air pollution emission reduction: The integrated assessment of the regional Air Quality Management Plans through the Italian national model. *Atmospheric Environment*, 43, 6182-6189, ISSN 1352-2310, <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.09.003>

D'Elia, I., Piersanti, A., Briganti, G., Cappelletti, A., Ciancarella, L., Peschi, E., 2018. Evaluation of mitigation measures for air quality in Italy in 2020 and 2030. *Atmospheric Pollution Research*, 9, 977-988, <http://dx.doi.org/10.1016/j.apr.2018.03.002>

With Measure (WM), utilizzato per il primo Piano Nazionale di Controllo dell’Inquinamento Atmosferico (PNCIA)¹³ della direttiva NEC (National Emission Ceiling) e derivante dalle elaborazioni del tavolo di lavoro istituito presso la Presidenza del Consiglio dei Ministri.

Gli scenari messi a disposizione da ENEA per gli anni 2010 e 2030 comprendono la lista delle tecnologie disponibili per il controllo delle emissioni in atmosfera declinate attraverso i seguenti parametri GAINS:

- livello di attività (*Activity Level*) che rappresenta l’indicatore per ciascuna attività emissiva considerata;
- grado di penetrazione di ciascuna tecnologia (*Application Rate*);
- efficienza di abbattimento delle emissioni di ciascuna tecnologia (*Removal Efficiency*);
- fattore emissivo delle emissioni non controllate per ciascuna attività emissiva considerata (*Unabated emission factor*).

Il set di tecnologie messo a disposizione da ENEA è stato allargato ad alcune tecnologie presenti nello scenario GAINS-Europe per l’Italia in modo da ampliare le possibilità di scelta di tecnologie da parte dell’ottimizzatore per lo scenario teorico. Lo scenario utilizzato tra quelli presenti nel portale GAINS-Europe è il NAPCP (*National Air Pollution Control Program*) per l’anno 2030. Dallo stesso scenario sono stati estrapolati anche i costi (*Unit Cost*) associati ad ogni tecnologia.

Un ulteriore affinamento del set tecnologico è stato inoltre definito per il settore relativo alla combustione delle biomasse in ambito residenziale per il quale, coerentemente con quanto fatto dagli inventari regionali, sono stati previste nuove attività GAINS e nuove tecnologie in linea con quanto previsto dal Decreto del Ministero dell’Ambiente 186/2017 che prevede la classificazione dei generatori di calore a biomassa in 5 categorie (da 1 stella a 5 stelle), sulla base delle prestazioni energetiche ed emmissive, da cui è stata ricavata l’efficienza di abbattimento della relativa tecnologia. Le informazioni sulla distribuzione di questi apparecchi sono state estrapolate dal consumo del combustibile stimato nel documento “*Analisi dei flussi di biomasse legnose a uso energetico nel Bacino Padano*” realizzato all’interno del progetto PREPAIR¹⁴.

I nuovi settori (e relativi combustibili) introdotti sono:

- camini aperti (legna)
- camini chiusi (legna)
- stufa o caldaia tradizionale (legna)
- stufa o caldaia innovativa (legna)
- stufa automatica (pellet)
- sistema BAT (pellet)

Gli input di RIAT+ per l’Emilia-Romagna

I principali input al software RIAT+ necessari per la definizione degli scenari emissivi futuri di riferimento (CLE 2025 e CLE 2030) sono:

- inventario emissivo di riferimento e relative variabili proxy di disaggregazione spaziale: INEMAR 2017;

Piersanti, A., D’Elia, I., Gualtieri, M.; Briganti, G., Cappelletti, A., Zanini, G., Ciancarella, L., 2021. The Italian National Air Pollution Control Programme: Air Quality, Health Impact and Cost Assessment. *Atmosphere* 2021, 12, 196. <https://doi.org/10.3390/atmos12020196>

¹³ https://www.mase.gov.it/sites/default/files/archivio/allegati/PTE/PNCIA_20_12_21.pdf

¹⁴ <https://www.lifepreair.eu/index.php/azioni/air-quality-and-biomass>

- database delle tecnologie in formato GAINS: scenario ENEA WM (with measure) aggiornato nel 2018 ed utilizzato per il Piano Nazionale di Controllo dell’Inquinamento Atmosferico (PNCIA) della direttiva NEC (National Emission Ceiling);
- mappatura tra l’inventario emissivo base e settori emissivi GAINS;
- funzioni sorgente/recettore costruite sulla base delle simulazioni del modello chimico di trasporto NINFA di Arpae Emilia-Romagna appositamente eseguite per il PAIR 2030.

Il file di mappatura prodotto per RIAT+ è utile per associare i settori emissivi espressi secondo la nomenclatura CORINAIR dell’inventario INEMAR e il database delle misure di riduzione espresso nel linguaggio di GAINS: il primo fornisce l’emissione specificando il macrosettore, il settore e l’attività (tale “tripletta” esprime l’attività emissiva) e il combustibile, mentre nel database GAINS si ha SNAP1, settore e l’attività che coincide con il combustibile. Nel file di mappatura prodotto per RIAT+ sono elencate tutte le attività presenti nell’inventario emissivo INEMAR con il dettaglio emissivo a cui sono associate le corrispondenti triplette SNAP1- settore-attività del database GAINS-Italy.

Nell’ambito del PAIR 2030 il tool è stato aggiornato in modo da considerare le emissioni dello scenario realizzato nel contesto del progetto PREPAIR, aggiornato al 2017 e rilasciato a luglio 2021, e quelle degli scenari emissivi CLE 2025 e CLE 2030. Oltre all’aggiornamento dei dati di input (emissioni dei comuni, variabili proxy di disaggregazione spaziale, tecnologie del database GAINS), sono state eseguite una serie di simulazioni da parte di Arpae Emilia-Romagna, con il modello fotochimico NINFA, al fine di costruire i modelli sorgente/recettore (S/R).



Figura 18. Principali dati di input per il software RIAT+.

Le aree di superamento dei valori limite per PM10 ed NO₂

Antecedentemente il PAIR 2020, per l'efficace applicazione delle misure volte alla tutela della qualità dell'aria, nell'ambito del territorio regionale, furono individuate, su base comunale, le aree di superamento di PM10 e di ossidi di azoto (NO₂), di seguito "aree di superamento".

La Regione Emilia-Romagna con DGR n. 344 del 14 marzo 2011 approvò la cartografia delle aree di superamento dei valori limite di PM10 e NO₂, individuate ai fini della richiesta alla Commissione Europea di deroga al rispetto dei valori limite nei termini previsti dalle norme in vigore. Tali aree furono indicate quali zone di intervento prioritario per il risanamento della qualità dell'aria, stabilendo che al conseguimento degli obiettivi di qualità dell'aria ambiente dovessero contribuire anche gli strumenti di pianificazione regionale settoriale, in particolare nei settori dei trasporti, energia, industria, agricoltura, edilizia ed urbanistica, e che pertanto nella redazione di detti strumenti e delle loro revisioni la Regione tenesse conto, nell'individuazione delle misure e degli interventi che li caratterizzano, anche della necessità del conseguimento dei valori limite per il biossido di azoto ed il PM10, nei termini previsti dalla normativa comunitaria.

La cartografia delle aree di superamento è stata successivamente integrata con valutazioni di carattere modellistico, ai fini di individuare le aree di superamento, su base comunale, dei valori limite del PM10 e NO₂ con riferimento all'anno 2009 (ALLEGATO 2 - A), e approvata con DAL 51/2011 e DGR 362/2012. Queste aree rappresentano le zone più critiche del territorio regionale ed il PAIR 2020 ha pertanto previsto criteri di localizzazione e condizioni di esercizio delle attività e delle sorgenti emmissive ivi localizzate al fine di rientrare negli standard di qualità dell'aria.

Il precedente Piano prevedeva fra le azioni di monitoraggio l'aggiornamento della cartografia delle aree di superamento ogni 5 anni. La cartografia è stata rivalutata nel 2021, sulla base di valutazioni di carattere modellistico con riferimento al quinquennio 2015 – 2019 per gli indicatori media annuale di PM10 ed NO₂ e numero di superamenti del VL giornaliero di PM10 (si è escluso il 2020 in quanto anno anomalo). L'esito della valutazione evidenzia una criticità della qualità dell'aria nelle zone di pianura della regione. Questo è confermato dalla valutazione annuale delle concentrazioni di fondo (medie annue e numero di giorni di superamento), riportate nelle mappe dei capitoli seguenti (Figure 22, 23 e 33): l'andamento negli ultimi 6 anni mostra, seppur con alcune differenze interannuali, chiaramente come la pianura sia interessata da criticità. Tali aree vanno di fatto a coincidere con la zonizzazione ai sensi della qualità dell'aria.

Pertanto, ai sensi dell'attuazione delle misure previste nella DAL 51/2011, d'ora in poi per aree di superamento si intendono le zone di Pianura ovest, Pianura Est ed Agglomerato, come da zonizzazione ai sensi degli articoli 3 e 4 del D.Lgs. n. 155/2010 (Figura 12), zone in cui si verificano i superamenti dei VL, con Pianura Ovest e Pianura Est, sottoposte a procedura di infrazione.

Lo stato della qualità dell'aria

Nei capitoli che seguono è esposto lo stato di qualità dell'aria in regione, con i trend evolutivi in relazione ai diversi inquinanti, aggiornato all'anno 2022. In Emilia-Romagna, analogamente a quanto accade in tutto il bacino padano, vi sono criticità per la qualità dell'aria che riguardano principalmente gli inquinanti PM10, ozono (O₃) e biossido di azoto (NO₂). PM10 e ozono interessano pressoché l'intero territorio regionale, mentre per l'NO₂ la problematica è più localizzata in prossimità dei grandi centri urbani. Il valore limite annuale di PM2.5 è stato superato in alcuni anni.

Diversamente, inquinanti primari come il monossido di carbonio e il biossido di zolfo non costituiscono più un problema, in quanto i livelli di concentrazione in aria sono da tempo al di sotto dei valori limite. Anche alcuni degli inquinanti che in precedenza avevano manifestato alcune criticità, come i metalli pesanti, gli idrocarburi policiclici aromatici ed il benzene sono sotto controllo.

Le polveri fini e l'ozono sono inquinanti in parte o totalmente di origine secondaria, ovvero dovuti a trasformazioni chimico-fisiche degli inquinanti primari, favorite da fattori meteorologici. Per il PM10 la componente secondaria è preponderante in quanto rappresenta circa il 70% del particolato totale. Gli inquinanti che concorrono alla formazione della componente secondaria del particolato sono ammoniaca (NH₃), ossidi di azoto (NO_x), biossido di zolfo (SO₂) e composti organici volatili (COV).

Le condizioni di inquinamento diffuso sono causate dalla elevata densità abitativa, dalla forte industrializzazione, dell'agricoltura e allevamento intensivi, dal sistema dei trasporti e di produzione dell'energia e sono favorite dalla particolare conformazione geografica che determina condizioni di stagnazione dell'aria inquinata in conseguenza della scarsa ventilazione e basso rimescolamento degli strati bassi dell'atmosfera.

La Commissione Europea ha riconosciuto che le situazioni di superamento dei limiti per PM10 siano dovute soprattutto a condizioni climatiche avverse (si veda al proposito il Punto 25 della Notifica ai sensi dell'Art. 254 del Trattato CE. Procedura di infrazione 2008/2194: qualità dell'aria ambiente valori limite PM10 archiviata).

In data 16 giugno 2016 la Commissione europea ha inviato all'Italia una lettera di messa in mora complementare (nota C(2016)3585 final – Infrazione n.2014/2147), ai sensi dell'art. 258 del TFUE, per i superamenti del valore limite giornaliero di PM10 nel periodo 2008-2014 in 11 zone e agglomerati, tra cui la Pianura ovest e la Pianura est della Regione Emilia-Romagna.

Nell'ambito della medesima procedura di infrazione 2014/2147 la Commissione Europea, con nota Prot. SG-Greffe(2017)D/6393 del 28/04/2017, ha emesso un parere motivato nei confronti dell'Italia per l'inadempimento degli obblighi derivanti dagli articoli 13 e 23 della Direttiva/2008/50/CE per quanto concerne i valori limite del materiale particolato PM10, a cui la Regione Emilia-Romagna ha dato risposta per il tramite del Ministero dell'Ambiente con nota Prot. PG/2017/0456336 del 20/06/2017.

Con ricorso del 13 ottobre 2018 (causa C-644/18), la Commissione europea ha deferito l'Italia alla Corte di Giustizia dell'Unione Europea per violazione degli obblighi previsti dagli art. 13 e 23 della direttiva citata. In specifico, la Regione è coinvolta nella procedura per il superamento del valore limite giornaliero di PM10 nelle zone Pianura Est e Pianura Ovest, negli anni 2008-2016.

A seguito del ricorso depositato presso la Corte di Giustizia dalla Commissione Europea, ricevuto da parte del Ministero dell'Ambiente, la Regione ha trasmesso la relazione illustrativa di propria pertinenza a riscontro dei rilievi mossi dalla Commissione Europea (nota PG/2018/709393 del 27/11/2018), ai fini della

predisposizione, da parte dell'Avvocatura dello Stato, della memoria nazionale per la difesa nella causa in oggetto.

Nel gennaio 2019 l'Avvocatura dello Stato ha presentato il controricorso dello Stato italiano al quale ha fatto seguito la memoria di replica della Commissione Europea depositata il 1° aprile 2019.

Nel giugno 2019 la Regione Emilia-Romagna ha fornito il contributo di propria competenza all'Avvocatura dello Stato rispetto alle controdeduzioni della Commissione europea nell'ambito della medesima causa C-644/18.

Nel novembre 2020 è stata emessa la sentenza di condanna in merito all'inadempimento agli obblighi comunitari da parte dell'Italia.

Materiale Particolato: PM10

I Valori Limite (VL) annuale e giornaliero per il PM10 fissati dalla Direttiva 2008/50/CE, sono stati superati nelle zone di pianura e nell'agglomerato di Bologna, fin dalla loro entrata in vigore nel 2005.

Nel corso del tempo l'andamento delle concentrazioni medie annuali è migliorato, tanto che dal 2013 non viene registrato più alcun superamento del VL annuale.

Continuano invece a permanere criticità relative al superamento del VL giornaliero ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare per oltre 35 giorni).

Il VL giornaliero è stato sistematicamente superato in gran parte delle stazioni di traffico e di fondo urbano e suburbano e in buona parte delle stazioni di fondo rurale (Figura 21).

Il numero maggiore di superamenti si registra nelle stazioni da traffico, ma anche le stazioni di fondo urbano e, in alcuni anni, anche alcune rurali (collocate in diverse condizioni geografiche, che variano dalla pianura alle zone appenniniche, e nel loro assetto attuale a partire dal 2012) risultano superare il limite.

I grafici box plot riportati in Figure 20 e 21 permettono di avere una visione d'insieme dell'andamento pluriennale.

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.

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, legata all'andamento meteorologico. Questo andamento può essere rappresentato sinteticamente attraverso l'indice giorni favorevoli all'accumulo di PM10 (Figura 19) che rappresenta i giorni in cui si hanno condizioni di stagnazione. Ulteriori dettagli sulla metodologia sono riportati in Appendice 2.

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.

La valutazione è completata dalle mappe riferite alle concentrazioni di fondo (medie annue e numero di giorni di superamento) ottenute mediante l'impiego della catena modellistica (Figure 22 e 23).

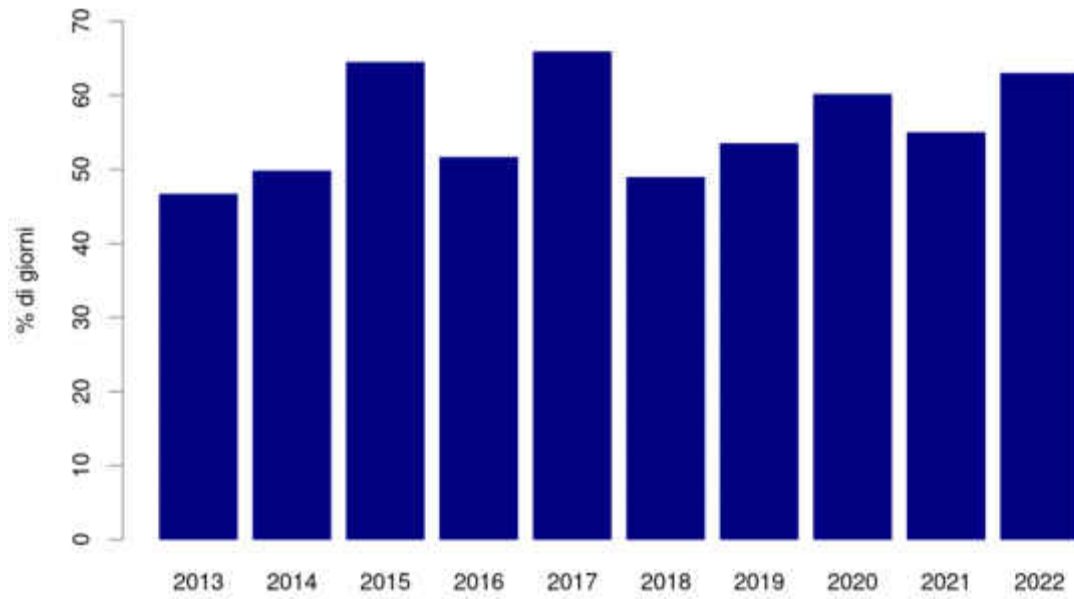


Figura 19. Giorni favorevoli all'accumulo del PM10 per anno (periodi gennaio-marzo e ottobre-dicembre).

PM10 (2001-2022) media annua

tutte le stazioni regionali (escluse industriali), divise per tipologia

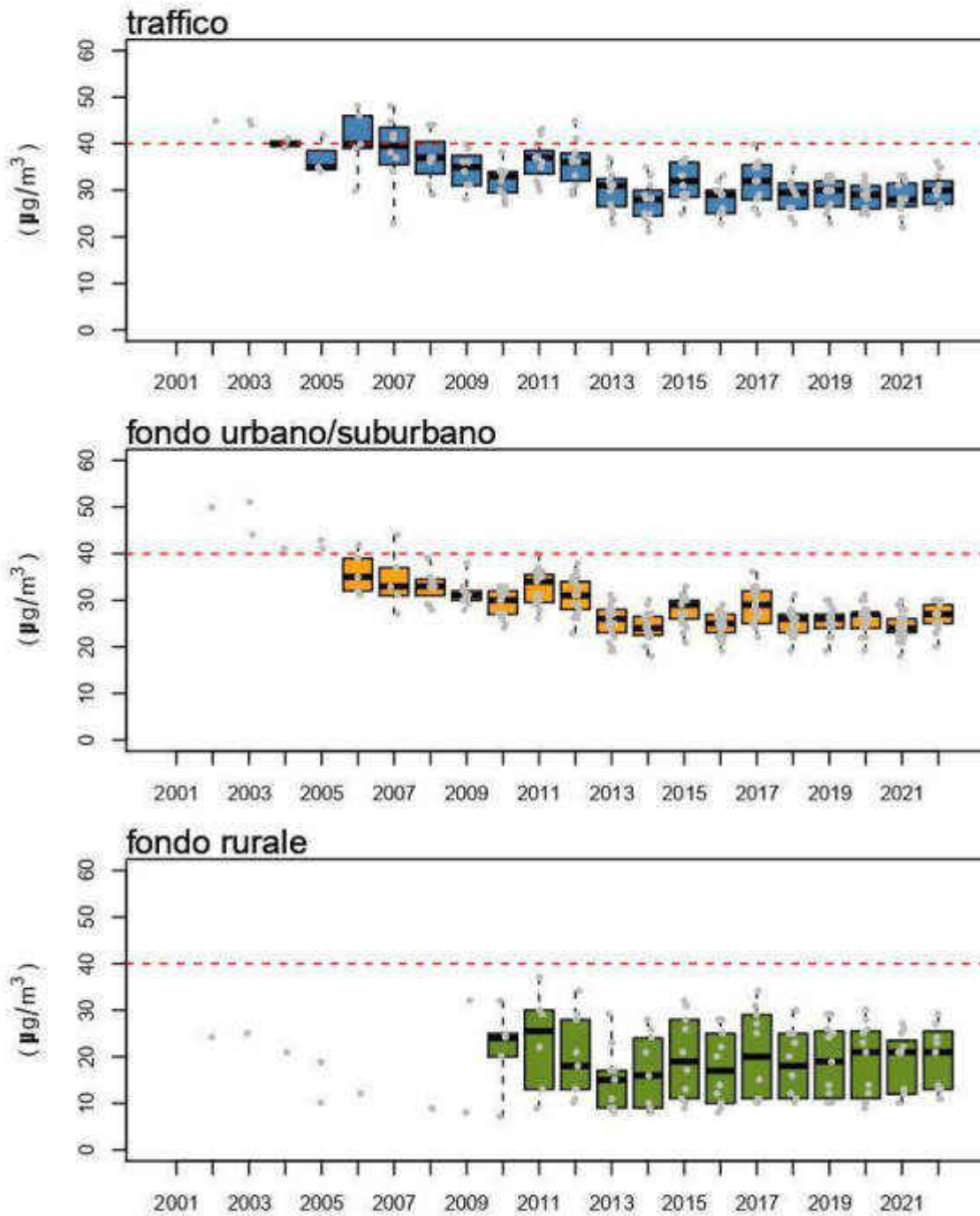


Figura 20. Andamento della concentrazione media annuale di PM10 dal 2001 al 2022. La linea rossa indica il valore limite annuale ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$). I valori rilevati ogni anno dalle stazioni da traffico (in alto), di fondo urbano e suburbano (al centro) e di fondo rurale (in basso) sono rappresentati come boxplot. Ciascun box rappresenta l'intervallo tra il 25° e il 75° percentile dei valori medi annuali ed è evidenziata la linea della mediana. 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.

PM10 (2001-2022) superamenti giornalieri

tutte le stazioni regionali (escluse industriali), divise per tipologia

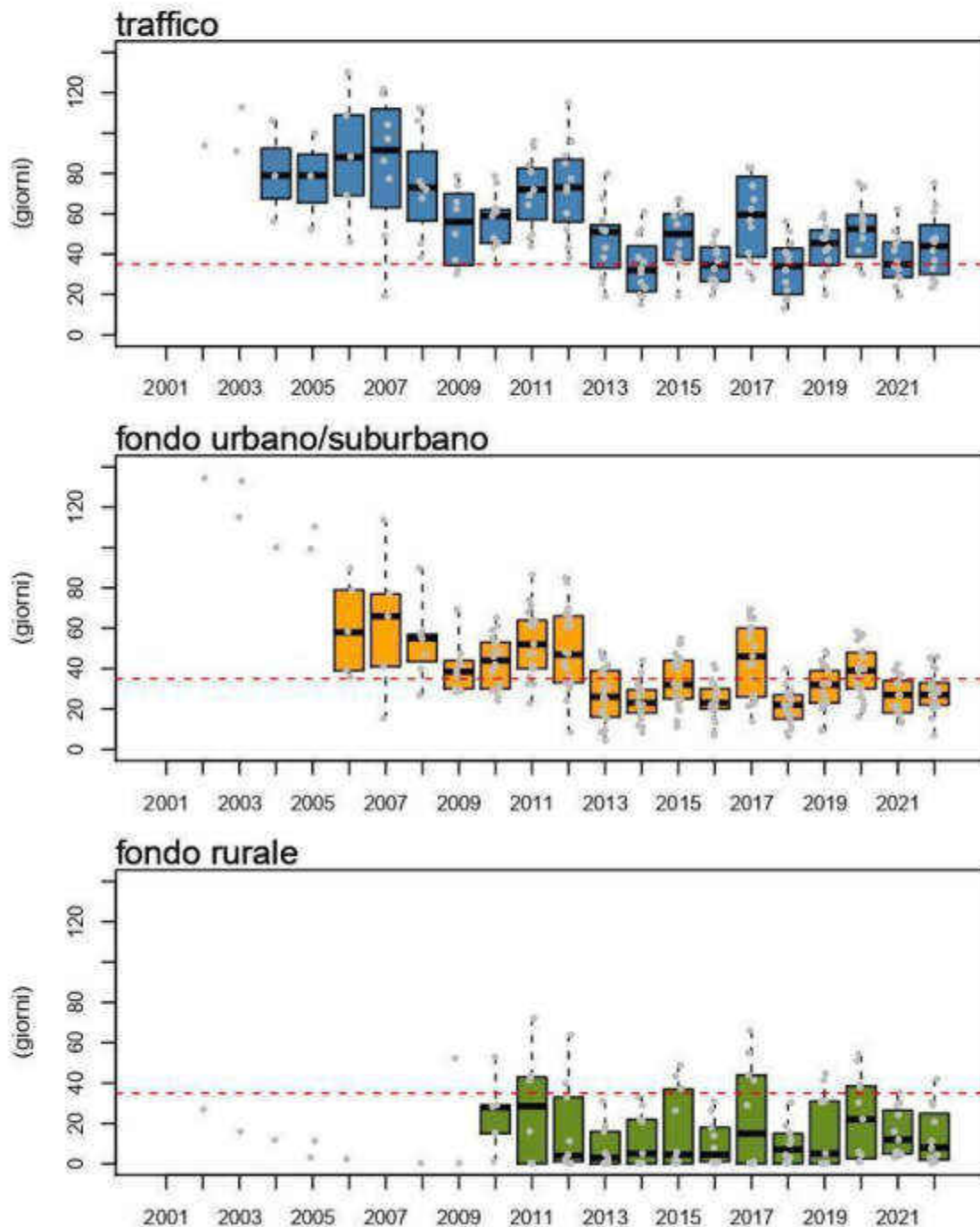


Figura 21. Andamento del numero di superamenti del valore limite giornaliero per PM10 dal 2001 al 2022. La linea rossa indica il valore limite annuale (35 giorni di superamento). I valori rilevati ogni anno dalle stazioni da traffico (in alto), di fondo urbano e

suburbano (al centro) e di fondo rurale (in basso) sono rappresentati come boxplot. Ciascun box rappresenta l'intervallo tra il 25° e il 75° percentile dei valori medi annuali ed è evidenziata la linea della mediana. 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 22a. Valutazione modellistica della concentrazione media annuale di fondo del PM10 per l'anno 2016.



Figura 22b. Valutazione modellistica della concentrazione media annuale di fondo del PM10 per l'anno 2017.



Figura 22c. Valutazione modellistica della concentrazione media annuale di fondo del PM10 per l'anno 2018.



Figura 22d. Valutazione modellistica della concentrazione media annuale di fondo del PM10 per l'anno 2019.



Figura 22e. Valutazione modellistica della concentrazione media annuale di fondo del PM10 per l'anno 2020.



Figura 22f. Valutazione modellistica della concentrazione media annuale di fondo del PM10 per l'anno 2021.



Figura 22g. Valutazione modellistica della concentrazione media annuale di fondo del PM10 per l'anno 2022.



Figura 23a. Valutazione modellistica del numero di superamenti del VL giornaliero per il PM10 di fondo nel 2016.



Figura 23b. Valutazione modellistica del numero di superamenti del VL giornaliero per il PM10 di fondo nel 2017.



Figura 23c. Valutazione modellistica del numero di superamenti del VL giornaliero per il PM10 di fondo nel 2018.



Figura 23d. Valutazione modellistica del numero di superamenti del VL giornaliero per il PM10 di fondo nel 2019.

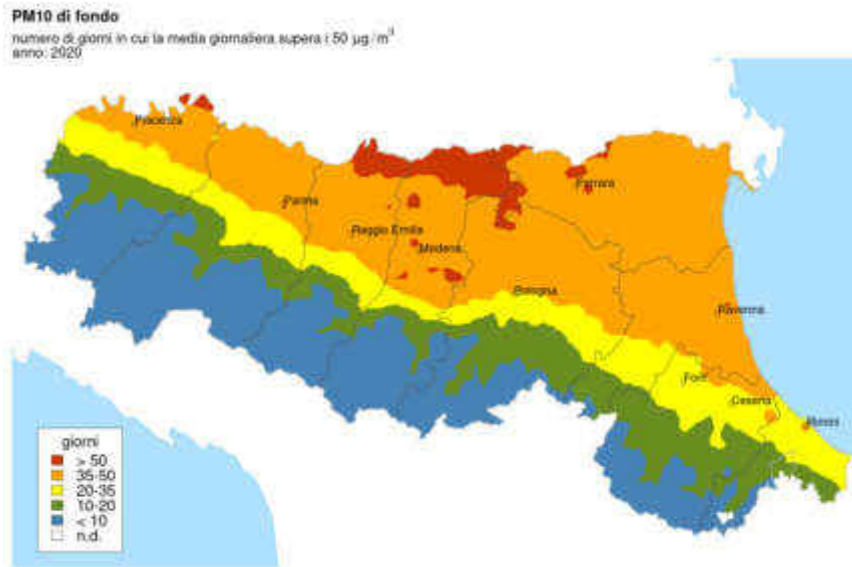


Figura 23e. Valutazione modellistica del numero di superamenti del VL giornaliero per il PM10 di fondo nel 2020.



Figura 23f. Valutazione modellistica del numero di superamenti del VL giornaliero per il PM10 di fondo nel 2021.

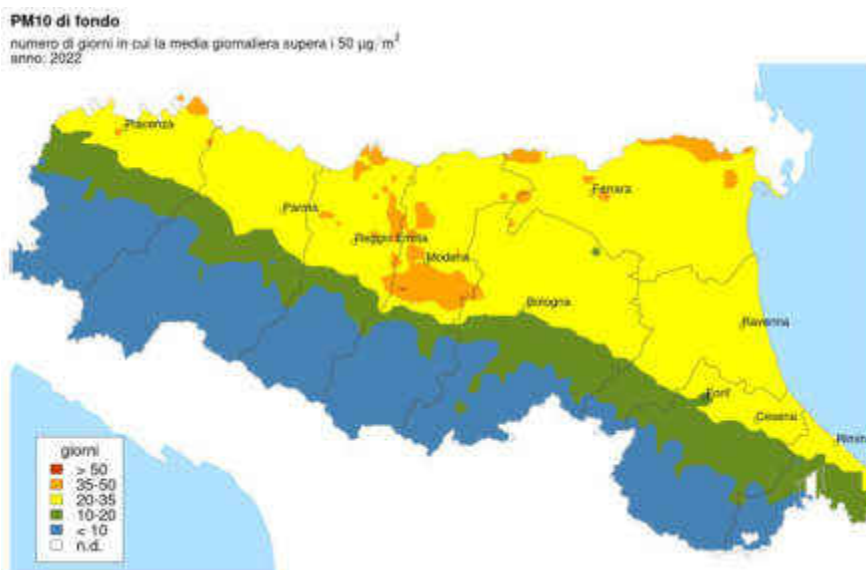


Figura 23g. Valutazione modellistica del numero di superamenti del VL giornaliero per il PM10 di fondo nel 2022.

Stima del trend delle concentrazioni giornaliere di PM10

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. L'analisi del trend per singola stazione è rappresentata in Appendice 3.

I risultati sono stati espressi suddividendo le stazioni disponibili in 4 classi in base al tipo: da traffico, di fondo urbano/suburbano, di fondo rurale in pianura, di fondo rurale in Appennino.

In Figura 24 sono riportate le stime dei trend raggruppate per tipologia stazione di misura, calcolate sui dati delle stazioni di monitoraggio selezionate disponibili nel periodo 2013-2021.

L'analisi per tipo di stazione non evidenzia variazioni per gli insiemi delle stazioni di fondo e rurale, mentre appare una lieve diminuzione per le stazioni di traffico (trend mediano pari a $-0,10 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{anno}$).

Come mostrato in Appendice 3, alla variabilità dovuta alle condizioni meteorologiche si sovrappone una tendenza alla diminuzione, visibile in circa la metà delle stazioni e statisticamente significativa in sei di esse (Figura A3.1.).

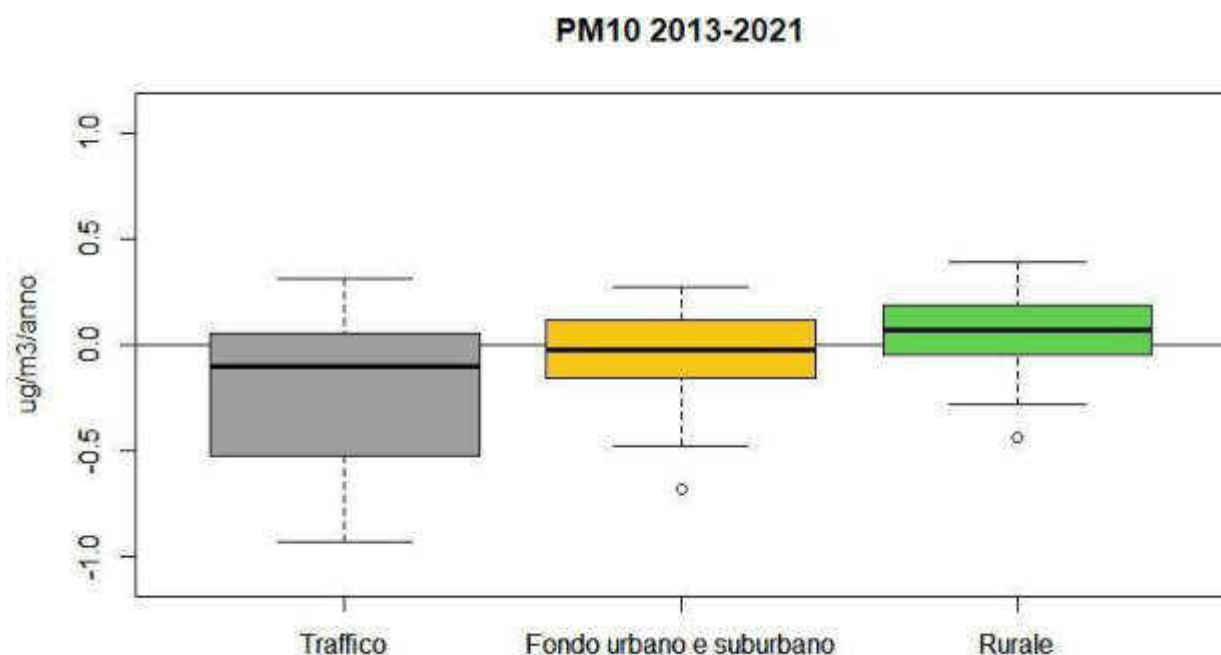


Figura 24. Distribuzione del tasso di variazione annuale (trend) delle concentrazioni medie giornaliere di PM10, calcolato sui dati disponibili nel periodo 2013-2021. I valori risultanti dallo studio del trend sui dati rilevati dalle stazioni di misura sono rappresentati come boxplot, suddivisi per tipologia 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 esterni ai "baffi" della scatola sono considerati valori anomali.

Analisi della relazione fra medie annue e superamenti del limite giornaliero per il PM10

Come già detto, la legislazione corrente impone, per le concentrazioni di PM10, valori limite sulla media annuale ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e sul numero di giornate con valori maggiori di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (35).

Poiché per i modelli deterministici la previsione del numero di superamenti della soglia giornaliera risulta difficoltosa mentre è sensibilmente più affidabile la stima delle medie annue, al fine delle valutazioni modellistiche degli scenari di piano risulta importante valutare se esista una relazione statistica tra valori medi e numero di superamenti su scala annuale.

La verifica è stata fatta calcolando per ogni stazione il valore medio e il 36° valore più alto misurato nel corso dell'anno (Rank36). Supponendo che il valore di Rank36 sia proporzionale alle concentrazioni medie, si definisce "valore limite equivalente" (VLE) quel valore delle concentrazioni medie corrispondente a un Rank36 di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (il limite di legge risulta rispettato se e solo se Rank36 risulta minore di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Nell'ambito del PAIR2020 era stata svolta una analoga valutazione sulla base dei dati 2006-2010 di tutte le stazioni dell'Emilia Romagna includendo gli anni con almeno l'85% di dati validi. L'analisi aveva mostrato una buona correlazione tra concentrazioni medie e Rank36 anche per stazioni molto diverse per tipologia e valori medi.

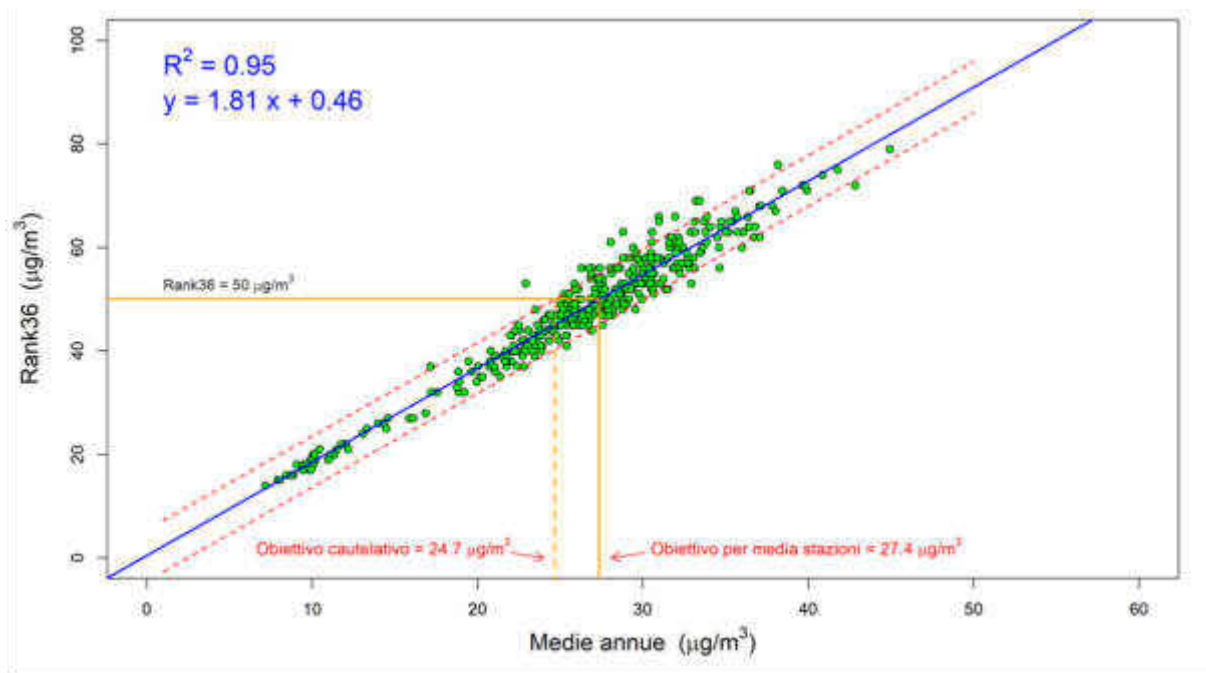


Figura 25. Relazione tra medie annue e Rank36 sul periodo 2010-2020. Sono evidenziati il valore di media annua associato al rispetto del limite dei 35 superamenti ($27,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) nella media delle stazioni (VLE) e il valore di media annua che garantisce il rispetto del limite dei 35 giorni per il 95% delle stazioni aventi quel valore di media annua ($24,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Nell'ambito delle attività preparatorie al PAIR2030 si è deciso di ripetere l'analisi utilizzando dati più recenti. Le uniche differenze metodologiche rispetto all'analisi precedente riguardano le stazioni incluse nel calcolo degli indici. Le stazioni selezionate infatti, a causa dell'evoluzione della rete di monitoraggio, non sono perfettamente coincidenti a quelle utilizzate precedentemente. Inoltre si è ritenuto di utilizzare per la numerosità dei dati disponibili annualmente un cut off del 90% invece dell'85%, estendendo la valutazione ad un periodo più lungo (2010-2020). La Figura 25 riporta lo scatter plot dei dati delle medie annue e del Rank36 insieme ad una analisi di regressione lineare. Emerge l'elevata correlazione tra i due indicatori evidenziata da un indice di determinazione lineare (R^2) pari a 0,95.

Il valore della media annua in corrispondenza del quale il numero dei superamenti resta entro i 35 nella media delle stazioni, è risultato pari a $27,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per il periodo 2010-2020 (inferiore al valore di $28,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ottenuto per il periodo 2006-2010).

Tuttavia anche in corrispondenza di un valore medio annuo pari a $27,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ alcune stazioni mostrano un numero di superamenti superiore a 35. Per ricavare quindi un valore medio di concentrazione che permetta di avere garanzie sul fatto che la quasi totalità delle centraline rispetti il limite sui superamenti si è analizzata l'incertezza associata alla regressione. Questo ha permesso di stimare che in corrispondenza di una media annua pari a $24,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ il numero dei superamenti risulterebbe inferiore a 35 per il 95% delle stazioni (caratterizzate da quella media annua).

La fascia compresa fra $24,7$ e $27,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (definita fascia di incertezza) rappresenta dunque l'intervallo di concentrazioni medie annue all'interno del quale non è ancora del tutto garantito il rispetto del limite giornaliero attuale di PM10 sul numero di superamenti. Al di sopra di tale fascia vi è la quasi certezza del non rispetto mentre al di sotto vi è la quasi certezza del rispetto.

Sono stati condotti inoltre alcuni approfondimenti per verificare se questa relazione fosse stabile rispetto alla stagione, al tipo di stazione e di zona. Queste verifiche hanno evidenziato come non esista una significativa differenza rispetto a queste caratteristiche (Figura 26).

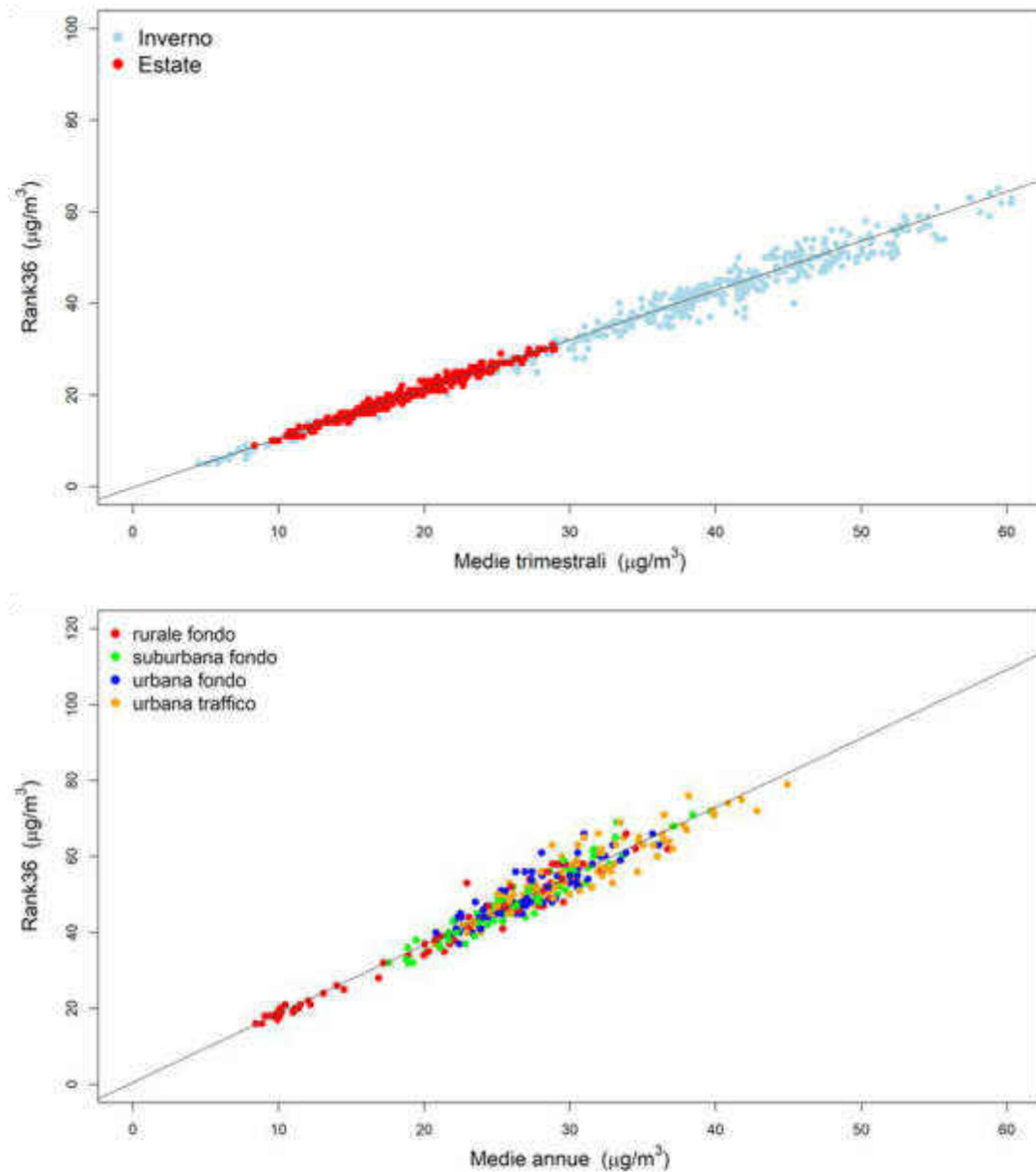


Figura 26. Scatter plot delle medie annue e del Rank36 differenziati per stagione (inverno/estate - riquadro superiore) e per tipologia di stazione (riquadro inferiore).

Materiale Particolato: PM2.5

Misure sistematiche di questo inquinante sono disponibili a partire dal 2008, mentre dal 2005 al 2007 sono disponibili dati da una sola stazione. I dati di monitoraggio e le stime modellistiche mostrano come la concentrazione media annuale di PM2.5 presenti una distribuzione relativamente uniforme sul territorio. Questa relativa omogeneità è conseguenza dell'origine prevalentemente secondaria di questo inquinante; la forte componente secondaria si riflette anche nella marcata componente di fondo, evidenziata dall'analisi PMF (Positive Matrix Factorization) descritta nel paragrafo successivo.

Il valore limite della concentrazione media annuale per il PM2.5 ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) è stato superato solo sporadicamente in alcune stazioni di fondo rurale nel 2011, 2012, 2015 e 2017, anni meteorologicamente favorevoli all'accumulo di polveri. L'andamento complessivamente presenta una lieve tendenza alla diminuzione nella concentrazione di questo inquinante (Figura 27) confermata dall'analisi del trend.

In riferimento al periodo 2016-2022, mostrato in Figure 28, la concentrazione annua di fondo di PM2.5 ha avuto valori superiori o prossimi al limite di legge di $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in alcune aree della pianura occidentale nell'anno 2017, mentre non si evidenziano criticità nei rimanenti anni.

Dal 1 gennaio 2020, il rispetto del valore di $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ come media annuale è oggetto di comunicazione all'Unione Europea, sebbene continui ad applicarsi come limite indicativo e non normativo.

PM2.5 (2001–2022) media annua

tutte le stazioni regionali (escluse industriali), divise per tipologia

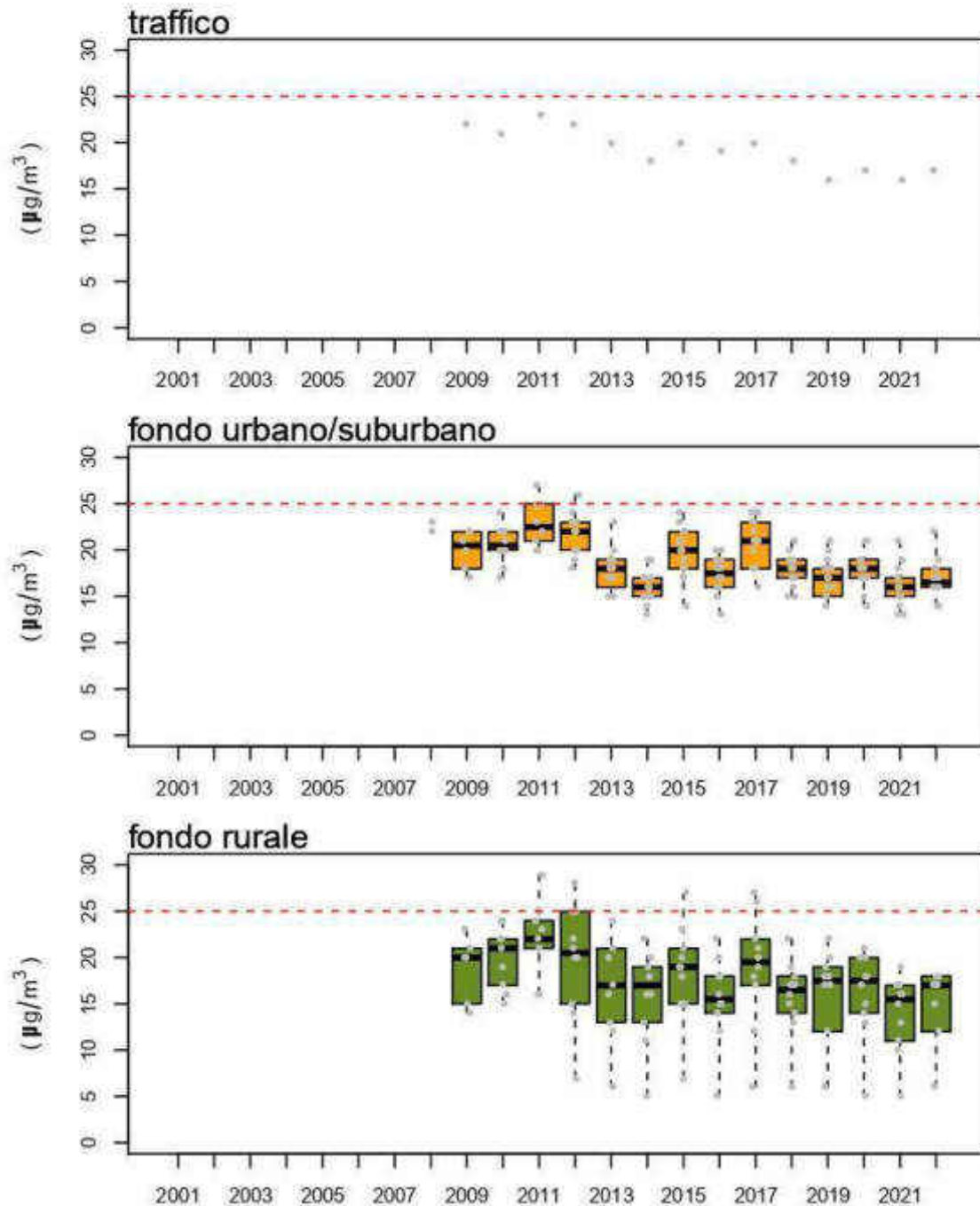


Figura 27. Andamento della concentrazione media annuale di PM2.5 dal 2008 al 2022. La linea rossa indica il valore limite annuale (25 µg/m³). I valori rilevati ogni anno dalle stazioni da traffico (in alto), di fondo urbano e suburbano (al centro) e di fondo rurale (in basso) sono rappresentati come boxplot. Ciascun box rappresenta l'intervallo tra il 25° e il 75° percentile dei valori medi annuali ed è evidenziata la linea della mediana. 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.

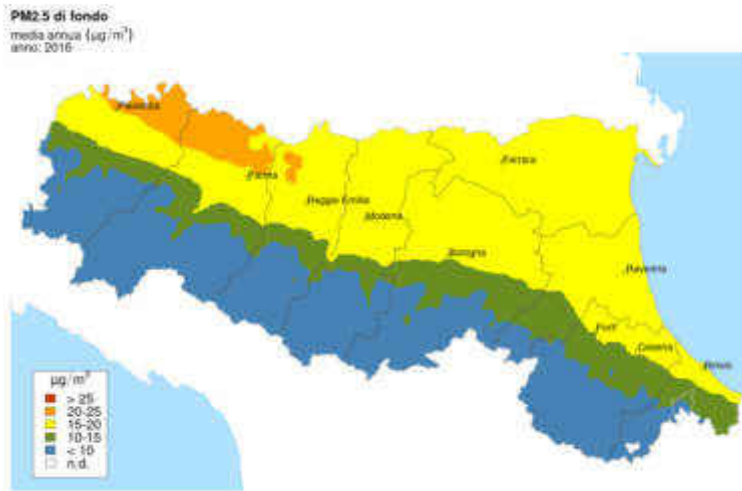


Figura 28a. Valutazione modellistica della concentrazione media annuale di fondo del PM2.5 per l'anno 2016.

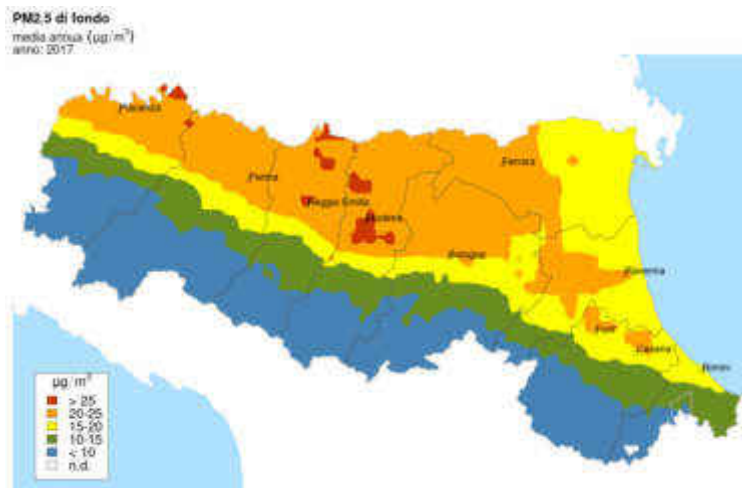


Figura 28b. Valutazione modellistica della concentrazione media annuale di fondo del PM2.5 per l'anno 2017.



Figura 28c. Valutazione modellistica della concentrazione media annuale di fondo del PM2.5 per l'anno 2018.



Figura 28d. Valutazione modellistica della concentrazione media annuale di fondo del PM2.5 per l'anno 2019.

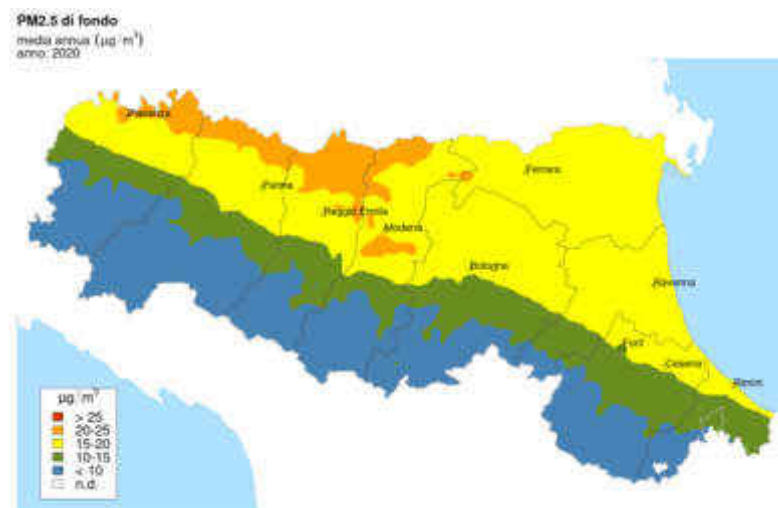


Figura 28e. Valutazione modellistica della concentrazione media annuale di fondo del PM2.5 per l'anno 2020.



Figura 28f. Valutazione modellistica della concentrazione media annuale di fondo del PM2.5 per l'anno 2021.



Figura 28g. Valutazione modellistica della concentrazione media annuale di fondo del PM2.5 per l'anno 2022.

Stima del trend delle concentrazioni giornaliere di PM2.5

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. I risultati sono stati espressi suddividendo le stazioni disponibili in 4 classi in base al tipo: da traffico, di fondo urbano/suburbano, di fondo rurale in pianura, di fondo rurale in Appennino.

Le stime dei trend raggruppate per tipologia stazione di misura, calcolate sui dati delle stazioni di monitoraggio selezionate disponibili nel periodo 2013-2021 e riportate in Figura 29 mostrano una diminuzione, sia nelle aree di fondo sia in aree rurali.

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 $-0,066 \mu\text{g}/\text{m}^3$ all'anno; Porta San Felice è la sola stazione da traffico con trend di $-0,42 \mu\text{g}/\text{m}^3$ all'anno.

L'analisi del trend per singola stazione è rappresentata in Appendice 3. I risultati mostrano per il PM2.5 una tendenza alla diminuzione nella pressoché totalità delle stazioni, con un intervallo statisticamente significativo in un terzo di queste (Figura A3.2.).

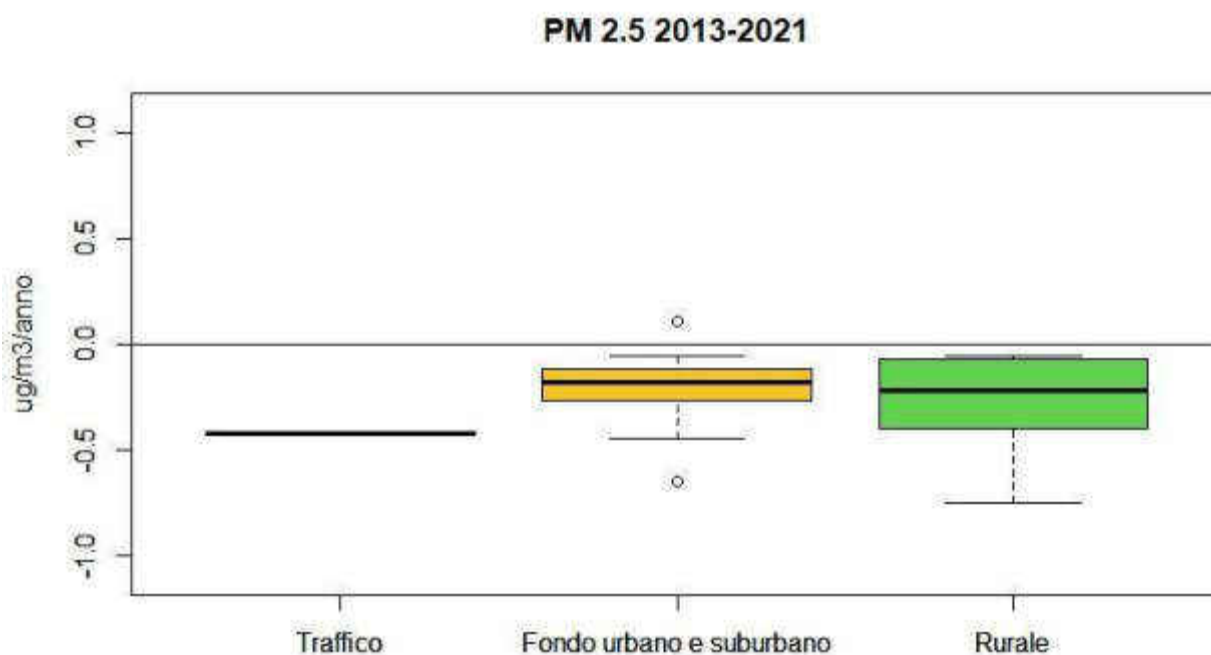


Figura 29. Distribuzione del tasso di variazione annuale (trend) delle concentrazioni medie giornaliere di PM2.5, calcolato sui dati disponibili nel periodo 2013-2021. I valori risultanti dallo studio del trend sui dati rilevati dalle stazioni di misura sono rappresentati come boxplot, suddivisi per 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 esterni ai "baffi" della scatola sono considerati valori anomali.

Positive Matrix Factorization (PMF)

Il particolato di origine secondaria, nella regione Emilia-Romagna, riveste una grande importanza ed è pari a circa il 50% o più del PM2.5 totale in tutti i siti considerati in questa analisi.

L'attribuzione della componente secondaria alle sorgenti primarie è un'operazione non semplice e solitamente non viene effettuata nelle analisi al recettore, a causa delle notevoli approssimazioni che un'operazione del genere comporta. Vista l'importanza del particolato secondario nella nostra regione, in questa sede si vuole cercare di fornire comunque qualche indicazione in tal senso, ma devono essere chiari i limiti di questa operazione, che si basa su approssimazioni ed ipotesi forti, attualmente non verificabili.

Proprio per via delle forti approssimazioni necessarie, l'attribuzione del particolato secondario alle sorgenti primarie si è effettuata su un dato medio rispetto ai siti in studio, non ritenendo che ci siano le condizioni per fornire un risultato differenziato per i 4 siti.

Il particolato organico secondario si divide in una frazione organica ed in una frazione inorganica.

La frazione organica è molto difficile da ripartire tra specifiche fonti, anche se qualcosa può essere fatto con tecniche particolari per determinate sorgenti che emettano specie con caratteristiche individuabili e peculiari. Tali tecniche non sono però state utilizzate in questo lavoro.

Il SIA (Secondary Inorganic Aerosol) può invece essere approcciato basandosi sulle informazioni derivanti dall'inventario regionale delle emissioni in quanto la variabilità delle specie che lo compongono è contenuta (sostanzialmente nitrato, solfato e ammonio). In particolare è stato utilizzato l'inventario delle emissioni della regione Emilia-Romagna. Si è scelto l'inventario relativo all'anno 2015 in quanto è l'anno centrale rispetto al periodo analizzato in questo studio PMF (2013-2017).

Il nitrato nel PM_{2.5} deriva per la maggior parte dall'ossidazione degli ossidi di azoto (NO_x) ed è presente come nitrato d'ammonio (NH₄NO₃). La formazione di questo sale si ha a temperature superiori ai 5 °C circa, ma oltre i 25°C circa esso evapora lasciando la fase particolata; per questo è comunemente caratterizzante il PM invernale.

Secondo l'inventario regionale delle emissioni, gli ossidi di azoto (NO_x) derivano sostanzialmente dalle combustioni, principalmente legate ai trasporti (72% circa nelle province in studio). La trasformazione di tali gas in nitrato avviene, come si è detto, tramite meccanismi strettamente legati alle condizioni atmosferiche, che possono differire tra le sorgenti a causa del loro diverso impatto emissivo nel ciclo diurno e annuo. Non essendo possibile tener conto di queste eventuali differenze tra le sorgenti, è stato effettuato un apporcionamiento delle emissioni annue degli ossidi di azoto alla concentrazione media annua di nitrato, misurato sul PM_{2.5} di tutti i siti del Supersito (4,9 µg/m³).

In tal modo 3,5 µg/m³ di nitrato sono stati attribuiti ai trasporti (16% del PM_{2.5} medio), 0,6 µg/m³ (3% del PM_{2.5} medio) al riscaldamento e 0,4 µg/m³ (2% del PM_{2.5} medio) ciascuno alle attività produttive e al macrosettore "altre sorgenti mobili e macchinari" (principalmente legate al traffico aereo, ferroviario, navale e mezzi agricoli).

Il terzo ione concorrente a formare il SIA, e l'unico positivo, è l'ammonio (NH₄⁺). Esso ha come precursore quasi esclusivo l'ammoniaca, un gas contenente azoto in forma ridotta (contrariamente ai NO_x che lo contengono in forma ossidata). Secondo l'inventario regionale delle emissioni, l'ammoniaca deriva in forma quasi esclusiva (> 98%) dalle attività agricole e zootecniche. La stessa approssimazione applicata a NO_x/NO₃ risulta molto più accettabile se applicata a NH₃/NH₄⁺, vista la sorgente quasi esclusiva del gas precursore, e porterebbe ad attribuire i 2,4 µg/m³ medi di ammonio all'agricoltura e alle attività zootecniche, quindi l'11% dei 21,7 µg/m³ medi di PM_{2.5}. Questa percentuale è da intendersi come una soglia minima relativa alle attività agricole e zootecniche, in quanto riguardante solo il contributo dell'ammoniaca.

Per quanto riguarda il solfato, questo ione nel PM_{2.5} si trova prevalentemente come solfato d'ammonio ((NH₄)₂SO₄), derivante da SO₂ attraverso la formazione dell'acido solforico (H₂SO₄). Secondo l'inventario regionale, la quasi totalità del biossido di zolfo (circa il 90% nei siti in studio) deriva dalle attività produttive, ma il solfato è comunemente indicato come facente parte di un fondo continentale emesso da sorgenti distanti come, ad esempio, il traffico marino o le centrali di potenza che sorgono nell'Europa dell'Est (Hamed et al., 2007), in quanto l'SO₂ tende a diffondersi in modo spazialmente omogeneo vista la sua stabilità termica e il tempo di vita in atmosfera, relativamente lungo. Inoltre non si possono escludere contributi al solfato legati alla componente crostale, seppure presumibilmente minoritari in questa frazione dimensionale del particolato. Non potendo quantificare i contributi transfrontalieri e naturali che per questo ione non possono essere trascurati, non si è ritenuto opportuno ripartire il solfato misurato tra i macrosettori indicati nell'inventario regionale.

In questa sezione viene presentato uno studio al recettore effettuato sugli anni 2013-2017 su quattro siti della regione. Nell'ambito del Progetto Supersito¹⁵ Arpae ha effettuato la speciazione chimica del PM2.5 in 4 siti considerati rappresentativi delle diverse aree geografiche e meteorologiche della regione: il sito di Bologna per l'area centrale della regione, Parma per l'area occidentale e più interna, Rimini per l'area costiera e San Pietro Capofiume per il fondo rurale.

I dati di speciazione chimica hanno permesso di effettuare un'analisi di source apportionment analitico. Questo tipo di analisi, note anche come "modelli al recettore", parte dalla conoscenza dettagliata dell'inquinamento osservato nel sito detto "recettore" (nello specifico, la composizione chimica del particolato), per ripartire tale inquinamento tra le sorgenti che lo hanno prodotto.

Tra i diversi modelli si è scelto di utilizzare la Positive Matrix Factorization (PMF) con il software EPA-PMF 5.0. Si tratta di un'analisi fattoriale che, a partire dalle concentrazioni misurate, consente di individuare i principali fattori responsabili della massa del PM2.5 osservato, determinando, per ciascuno di essi, il contributo in termini di massa di PM2.5 e il profilo chimico caratteristico.

È stato analizzato un periodo composto da due bienni: 1 aprile 2013 - 31 marzo 2015 e 15 ottobre 2015 - 14 ottobre 2017.

Le analisi in tutti i 4 siti individuano 6 fattori (sorgenti e processi di formazione) come principali responsabili della massa di PM2.5. Uno di questi 6 fattori (mix di attività antropogeniche) non è stato individuato singolarmente sul sito rurale di SPC. Questi fattori presentano un profilo chimico molto simile nei siti in analisi, evidenziando una certa omogeneità a livello regionale nella formazione del particolato.

Quattro dei fattori individuati sono di origine antropica:

- traffico e risollevarmento crostale;
- combustione di legna e derivati;
- combustione di oli pesanti (probabilmente legati al traffico navale);
- mix di attività antropogeniche (industrie, artigiani, attività di servizio...).

Un altro fattore antropico molto importante per la formazione del PM2.5 non emerge invece dal modello ma da un'analisi successiva delle principali componenti caratterizzanti il contributo secondario: l'agricoltura insieme alle attività zootecniche.

Il modello statistico utilizzato non è in grado di rilevare sorgenti di inquinamento puntuali (come ad esempio una singola industria), in quanto non sembrano esserci sorgenti singole così rilevanti da incidere in modo significativo sulla massa del PM2.5 nei siti analizzati, come atteso, essendo stati scelti siti di fondo.

Oltre a questi fattori di origine antropica, sono stati individuati due fattori legati a componenti secondarie:

- un fattore secondario caratterizzato dal nitrato d'ammonio;
- un fattore secondario caratterizzato dal solfato d'ammonio e particolato organico.

Traffico e risollevarmento crostale

La sorgente traffico con risollevarmento crostale presenta un profilo chimico caratterizzato dalla presenza di elementi chimici imputabili alla combustione e all'abrasione delle parti meccaniche dei veicoli o caratteristici del suolo che indicano come il traffico veicolare provochi anche un risollevarmento di materiale crostale. Questa sorgente presenta contributi percentuali alla massa di PM2.5 variabili tra il 10 e il 20% circa; la maggiore o minore concentrazione in atmosfera di PM2.5 imputabile al traffico nei diversi siti, dipende sia

¹⁵ www.arpae.it/it/temi-ambientali/aria/scopri-di-piu/progetti-speciali/progetto-supersito

dal diverso volume di traffico (come nel caso del sito rurale) sia da condizioni dispersive dell'atmosfera più o meno favorevoli (come nel caso di Parma che presenta concentrazioni superiori rispetto a Rimini ma anche a Bologna).

Sebbene le concentrazioni di PM_{2.5} durante il periodo in studio non risultino più alte nei giorni lavorativi rispetto ai giorni festivi, il PM_{2.5} derivante da questo fattore mostra concentrazioni più elevate nei giorni lavorativi (dal lunedì al venerdì) rispetto al week end, in tutti i siti, con una differenza che diventa ancora più marcata se i giorni lavorativi vengono confrontati con la sola domenica. Questo conferma che, nonostante le condizioni meteorologiche giochino un ruolo fondamentale nel determinare le concentrazioni di particolato, una diminuzione delle emissioni di una certa rilevanza di un fattore riesce a produrre, su un dato mediato sul lungo periodo, una diminuzione delle concentrazioni in atmosfera del particolato emesso dal quel fattore. Contemporaneamente, questa diminuzione non è necessariamente osservabile sul particolato rilevato dalle centraline, che deriva dal contributo di tutti i fattori primari e dalle trasformazioni secondarie e infatti, come si è detto, non si riscontra una diminuzione di PM_{2.5} durante il fine settimana.

Combustione di legna e derivati

La sorgente legata alla combustione di legna (e dei suoi derivati come il pellet) presenta un profilo chimico caratterizzato da cloruro di potassio, carbonio elementare ed organico e anche da alcuni metalli pesanti (Zn, Cd e Pb) i quali, pur non incidendo sulla massa di PM_{2.5}, sono da evidenziare per il loro possibile effetto sulla salute. Questa sorgente rappresenta una fonte importante di PM_{2.5}: è la principale sorgente emissiva in tutti i siti durante la stagione fredda ed è presente anche durante il periodo estivo, pur presentando ovviamente contributi molto più bassi. Probabilmente, oltre alla combustione della legna per il riscaldamento domestico (come le stufe a pellet o i caminetti), sono una fonte non trascurabile di combustione di legna o simili, in particolare nel periodo caldo, anche le cotture in forno o con grigliatura a legna o carbone (pizzerie, ristoranti e privati) e la combustione a cielo aperto di sfalci e potature agricole, in particolar modo nel sito di Rimini, in cui si osservano i contributi più alti, sia assoluti che percentuali, sia nella stagione calda che nel resto dell'anno. La modalità di combustione tipica di queste attività è meno efficiente e senza sistemi di abbattimento comportando verosimilmente, a parità di quantità di legna bruciata, un aumento delle emissioni rispetto ad altre attività di combustione.

Combustione di oli pesanti

L'utilizzo di oli combustibili è in generale attribuibile alle centrali di potenza e al traffico navale, tuttavia, l'elevata correlazione che si osserva tra gli andamenti temporali di questo fattore nei quattro siti monitorati fa pensare che si tratti più probabilmente di una sorgente con trasporto long-range. L'analisi delle back-trajectories mostra che quando si registra un maggiore impatto di questo fattore, la massa d'aria è transitata, nei giorni precedenti, sul Mediterraneo; talvolta in coincidenza con un evento di trasporto sahariano. Si tratta pertanto di un fattore collegato al trasporto di masse d'aria che sono transitate sul Mediterraneo, arricchendosi di aerosol prodotto da sorgenti anche molto distanti come il traffico navale o, talvolta, le sabbie sahariane. La stagionalità è marcata, con maggiori contributi assoluti e relativi durante la stagione calda.

Questa sorgente spiega solo pochi punti percentuali (media annua non superiore al 5%) del PM_{2.5} e prevalentemente durante la stagione calda, per cui non contribuisce in maniera determinante al superamento del valore medio annuo di 25 µg/m³; tuttavia gli elementi chimici caratterizzanti questo fattore,

pur essendo di scarsa importanza in termini di massa, possono avere un effetto nocivo sulla salute, cosa che rende comunque questa sorgente degna di interesse.

Mix di attività antropogeniche

Viene identificato un mix di attività antropogeniche (industrie, artigiani, attività di servizio), il cui profilo chimico è caratterizzato soprattutto dalla presenza di alcuni metalli. Purtroppo il modello non è in grado di distinguere ulteriormente queste sorgenti.

Il contributo di questo fattore in termini di massa del PM_{2.5} è contenuto per tutti i siti urbani, compreso tra il 5 e il 10%, mentre a San Pietro Capofiume non è stato identificato un contributo isolato di questo fattore.

Il contributo di queste sorgenti emissive alla massa del PM_{2.5} identificato dall'analisi PMF è da considerare come un contributo diretto, primario, al quale dovrà essere sommata una quota di PM di origine secondaria.

Agricoltura ed attività zootecniche

L'importanza di agricoltura e attività zootecniche non emerge direttamente dall'analisi al recettore, ma dalla composizione chimica del PM_{2.5} si può trarre un'indicazione sul peso che queste attività hanno sulle concentrazioni rilevate di PM_{2.5}. Infatti, l'ammonio (NH₄⁺) rilevato sul particolato ha come precursore quasi esclusivo l'ammoniaca che, secondo l'inventario regionale delle emissioni, deriva quasi totalmente (per il 98%) dalle attività agricole e zootecniche. Ne deriva che circa 2.4 µg/m³ di PM_{2.5} (un 10% circa del PM_{2.5} rilevato) sulla media dei siti deriva da queste emissioni. Anche questa stima relativa alle attività agricole e zootecniche è da intendersi come una soglia minima, in quanto riguarda solo il contributo dell'ammoniaca.

Fattori secondari

Oltre ai fattori di origine antropica identificati come sorgenti primarie di PM_{2.5}, il modello identifica in particolare due componenti secondarie. Le componenti definite "secondarie" sono quelle non emesse direttamente, ma che si formano in atmosfera dai precursori gassosi emessi dalle fonti dirette, in particolari condizioni meteorologiche e chimiche. Da questa analisi la componente secondaria risulta costituire da poco meno di metà a circa i due terzi del PM_{2.5} nei 4 siti analizzati.

Una delle due componenti secondarie individuate è un fattore composto principalmente da nitrato d'ammonio, che costituisce tra il 25 e il 30% del PM_{2.5} in tutti i siti sulla media dell'anno ed ha un andamento fortemente stagionale, con contributi estivi nulli o comunque non superiori al 5% e pari a circa il 30-40% durante la stagione fredda, in tutti i siti. La forte stagionalità di questo fattore è sicuramente imputabile alle condizioni meteorologiche, in quanto le alte temperature fanno rimanere in fase gas il nitrato d'ammonio che è la specie che maggiormente lo caratterizza.

Un secondo fattore di origine secondaria risulta caratterizzato principalmente da solfato d'ammonio e specie organiche. Questo fattore presenta contributi medi annui del PM_{2.5} variabili tra circa il 20 e il 35% nei diversi siti, con valori assoluti superiori durante la stagione calda (probabilmente a cause delle condizioni meteorologiche estive) che, a fronte di un livello di particolato che invece diminuisce, danno luogo a contributi percentuali molto importanti, compresi tra circa il 40% a Rimini e il 65% a San Pietro Capofiume. Il solfato è comunemente considerato un fondo continentale.

I contributi medi sull'intero periodo analizzato e stagionali sono riportati in tabella 5.

In Figura 30 sono riportati gli istogrammi di composizione del PM2.5 medio annuo nei due bienni in studio. La quantità di PM2.5 attribuibile ad ogni singolo fattore presenta naturalmente una quota di incertezza derivante dall'incertezza di campionamento, dall'incertezza del processo di determinazione analitica delle specie chimiche e dall'incertezza relativa al modello statistico. Ci sono diversi modi possibili per stimare l'incertezza dei risultati. In tabella 6 si riporta l'incertezza relativa alla ripartizione media su tutto il periodo in studio del PM2.5 tra i fattori identificati, ottenuta come intervallo tra il 5° e il 95° percentile delle stime BS-DISP (ovvero con ricampionamento bootstrap e valutazione del displacement error, per dettagli si veda la EPA Positive Matrix Factorization 5.0 Fundamentals and User Guide, US-EPA, 2014).

Tabella 5 - Contributi percentuali e assoluti ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) alla massa di $\text{PM}_{2.5}$ dei fattori individuati dall'analisi PMF.

	Traffico con risollevarimento	Combustione di legna e derivati	Combustione di oli pesanti	Mix di attività antropogeniche	Ammonio nitrato	Ammonio solfato e organici
Intero anno						
BO	20.2%	17.9%	5.1%	5.7%	29.3%	21.7%
PR	19.5%	17.1%	4.3%	5.7%	35.3%	18.1%
RN	11.0%	31.1%	3.1%	8.2%	25.8%	20.9%
SPC	11.4%	23.5%	3.1%		26.4%	35.7%
Stagione calda (15 maggio - 14 settembre)						
BO	28.0%	9.0%	9.9%	6.0%	0.7%	46.4%
PR	30.5%	8.1%	9.8%	5.1%	1.5%	45.0%
RN	19.7%	19.9%	6.7%	8.7%	3.1%	42.0%
SPC	15.3%	7.6%	5.2%		5.5%	66.3%
Stagione fredda (1 novembre - 31 marzo)						
BO	18.2%	21.9%	3.9%	5.2%	36.7%	14.2%
PR	16.4%	22.0%	3.1%	5.6%	42.2%	10.8%
RN	8.3%	36.4%	2.0%	7.6%	31.3%	14.4%
SPC	9.6%	30.3%	2.4%		32.6%	25.1%
	Traffic with dust resuspension	Biomass burning	Oil combustion/ ship emission	Mix anthropogenic	Ammonium nitrate	Ammonium sulfate and organics
Intero anno						
BO	4.0	3.5	1.0	1.1	5.8	4.3
PR	4.9	4.3	1.1	1.4	8.9	4.6
RN	2.0	5.7	0.6	1.5	4.8	3.9
SPC	1.9	3.8	0.5		4.3	5.8
Stagione calda (15 maggio - 14 settembre)						
BO	2.9	0.9	1.0	0.6	0.1	4.8
PR	4.1	1.1	1.3	0.7	0.2	6.0
RN	1.9	1.9	0.6	0.8	0.3	4.0
SPC	1.5	0.8	0.5		0.6	6.6
Stagione fredda (1 novembre - 31 marzo)						
BO	4.8	5.8	1.0	1.4	9.7	3.8
PR	5.4	7.2	1.0	1.8	13.8	3.6
RN	2.1	9.2	0.5	1.9	7.9	3.6
SPC	2.1	6.4	0.5		7.0	5.3

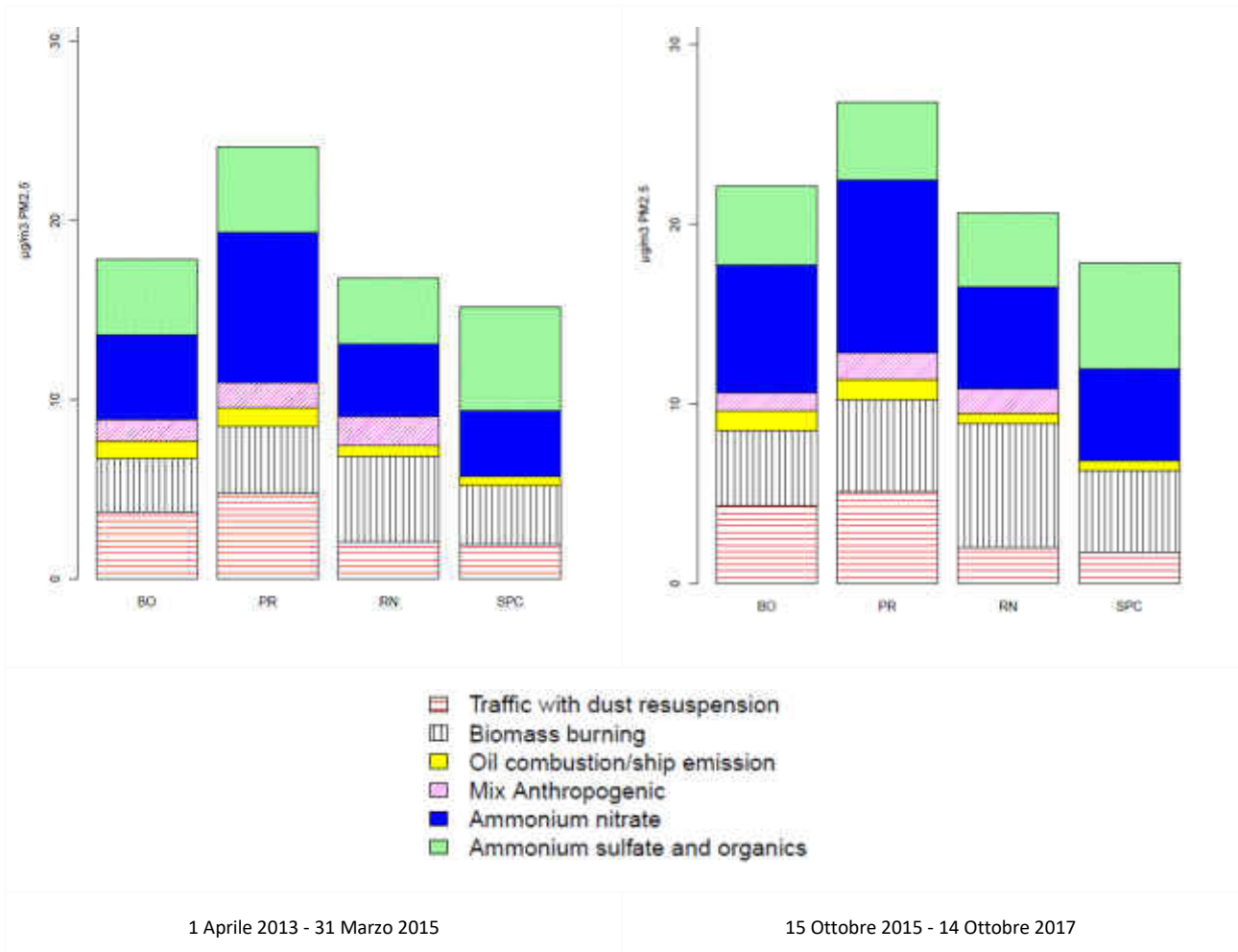


Figura 30. Istogrammi di composizione del PM2.5 medio annuo nei due bienni in studio

Tabella 6 - Incertezza dei $\mu\text{g}/\text{m}^3$ di PM2.5 attribuibili in media su tutto il periodo in studio tra i fattori identificati, stimata come intervallo tra il 5° e il 95° percentile delle stime BS-DISP.

	BO	PR	RN	SPC
	5th - 95th percentile stime BS-DISP	5th - 95th percentile stime BS-DISP	5th - 95th percentile stime BS-DISP	5th - 95th percentile stime BS-DISP
Traffico con risollevarimento	2.2 - 6.2	3.0 - 7.6	1.0 - 3.5	0.5 - 4.8
Combustione di legna e derivati	0.2 - 6.2	1.4 - 9.6	4.7 - 8.3	0.3 - 6.3
Combustione di oli pesanti	0.3 - 2.	0.0 - 1.9	0.1 - 2.2	0.2 - 2.8
Mix di attività antropogeniche	0.1 - 3.3	0.0 - 3.6	0.7 - 3.6	-
Ammonio nitrato	5.2 - 8.4	6.3 - 12.4	4.2 - 8.1	3.6 - 8.0
Ammonium solfato e organici	3.3 - 5.5	3.2 - 6.3	2.7 - 5.0	3.1 - 6.6

Biossido di Azoto: NO₂

Il valore medio annuale per il biossido di azoto ha visto un progressivo miglioramento. Il numero di stazioni superiori al limite si è ridotto nel trascorrere degli anni. A partire dal 2011 tutte le stazioni di fondo sono risultate inferiori al limite, mentre sono rimaste alcune criticità locali, in prossimità di importanti fonti di emissione di ossidi di azoto (traffico) (Figura 31).

Nel 2020 la media annuale di biossido di azoto (NO₂) ha fortemente risentito dell'effetto del lockdown.

I valori medi annuali sono risultati inferiori all'anno precedente e per la prima volta in tutte le stazioni è stato rispettato il valore limite annuale di 40 µg/m³ (nel 2019 è stato superato in 4 stazioni, nel 2021 in 1 sola).

Nel 2020 e nel 2021 in nessuna stazione si è avuto il superamento del valore limite orario di 200 µg /m³, del resto mai superato per più di 18 volte a partire dalla sua entrata in vigore (Figura 32).

Nel 2022, per il secondo anno, le medie annuali di tutte le stazioni sono rimaste al di sotto del valore limite. Questo è un risultato significativo in quanto non erano più in essere le limitazioni dovute alla pandemia.

Nel periodo 2016-2022 non si sono evidenziate zone di superamento del VL annuale di 40 µg/m³ della concentrazione di fondo di biossido di azoto. La valutazione a livello regionale si riferisce alle concentrazioni di fondo a larga scala e non rappresenta indicazione delle concentrazioni nei pressi di sorgenti localizzate. Le mappe regionali sono rappresentate in Figura 33.

Dall'analisi della distribuzione territoriale della concentrazione di fondo si rileva come questa risulti generalmente più elevata in prossimità degli agglomerati urbani e delle principali arterie stradali.

biossido di azoto (2001-2022) media annua

tutte le stazioni regionali (escluse industriali), divise per tipologia

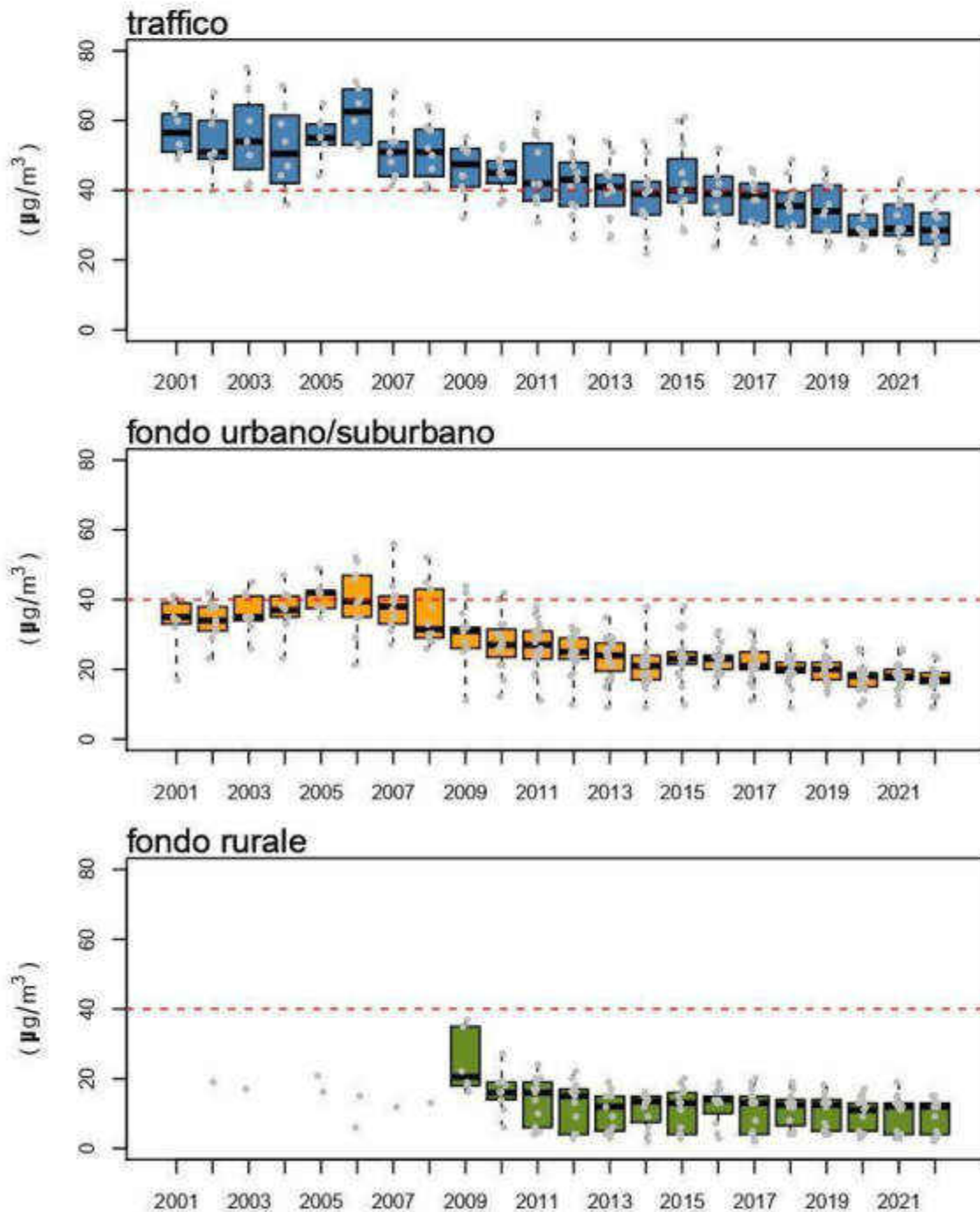


Figura 31. Andamento della concentrazione media annuale di NO₂ dal 2001 al 2022. La linea rossa indica il valore limite annuale (40 µg/m³). I valori rilevati ogni anno dalle stazioni da traffico (in alto), di fondo urbano e suburbano (al centro) e di fondo rurale (in basso) sono rappresentati come boxplot. Ciascun box rappresenta l'intervallo tra il 25° e il 75° percentile dei valori medi annuali

ed è evidenziata la linea della mediana. 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.

biossido di azoto (2001–2022) superamenti orari

tutte le stazioni regionali (escluse industriali), divise per tipologia

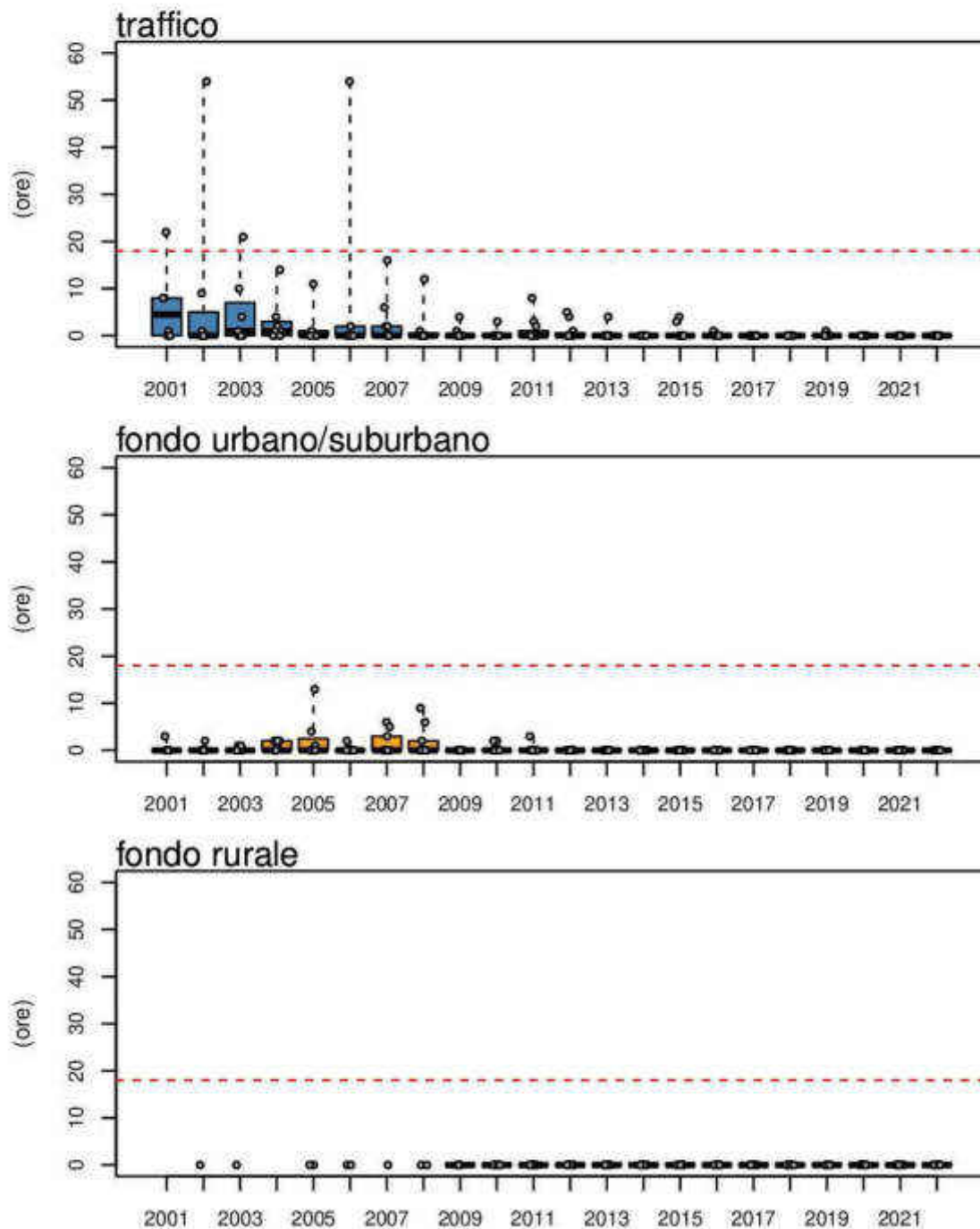


Figura 32. Andamento del numero di superamenti del valore limite orario di NO₂ dal 2001 al 2022. La linea rossa indica il valore limite annuale (max 18 superamenti in un anno). I valori rilevati ogni anno dalle stazioni da traffico (in alto), di fondo urbano e

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 33a. Valutazione modellistica della concentrazione media annuale di fondo di NO₂ per l'anno 2016.



Figura 33b. Valutazione modellistica della concentrazione media annuale di fondo di NO₂ per l'anno 2017.



Figura 33c. Valutazione modellistica della concentrazione media annuale di fondo di NO₂ per l'anno 2018.



Figura 33d. Valutazione modellistica della concentrazione media annuale di fondo di NO₂ per l'anno 2019.

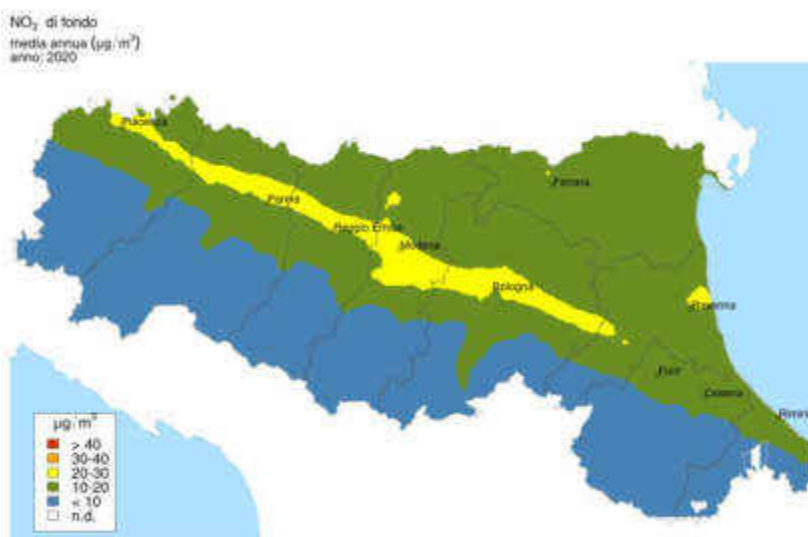


Figura 33e. Valutazione modellistica della concentrazione media annuale di fondo di NO₂ per l'anno 2020.



Figura 33f. Valutazione modellistica della concentrazione media annuale di fondo di NO₂ per l'anno 2021.



Figura 33g. Valutazione modellistica della concentrazione media annuale di fondo di NO₂ per l'anno 2022.

Stima del trend delle concentrazioni giornaliere di NO₂

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. I risultati sono stati espressi suddividendo le stazioni disponibili in 4 classi in base al tipo: da traffico, di fondo urbano/suburbano, di fondo rurale in pianura, di fondo rurale in Appennino.

Le stime dei trend raggruppate per tipologia stazione di misura, calcolate sui dati delle stazioni di monitoraggio selezionate disponibili nel periodo 2013-2021 e riportate in Figura 34 rivelano una tendenza alla diminuzione generale delle concentrazioni nella maggior parte delle stazioni.

Le stazioni di traffico e di fondo urbano/suburbano mostrano una maggiore tendenza al calo (valori mediani del trend di $-1.20 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{anno}$ per le stazioni da traffico, $-0.51 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{anno}$ per quelle di fondo urbano e suburbano); analogo trend, seppur in modo minore, mostrano le stazioni di fondo rurale.

Pur considerando l'influenza che il lockdown del 2020 e le misure di contenimento adottate per l'emergenza sanitaria nel periodo successivo hanno avuto sulle concentrazioni di ossidi di azoto, l'analisi dei dati NO_2 fino al 2019 mostrava già una tendenza significativa alla riduzione.

L'analisi del trend per singola stazione è rappresentata in Appendice 3.

Come mostrato in Figura A3.5., la riduzione risulta statisticamente significativa in oltre metà delle stazioni.

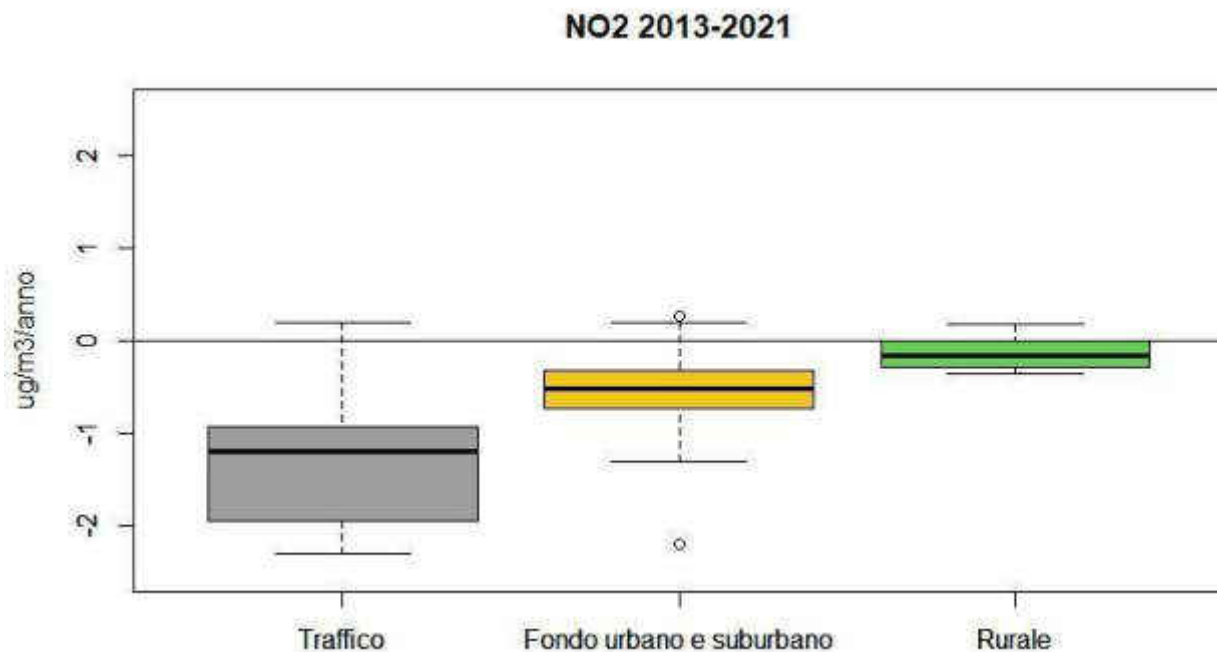


Figura 34. Distribuzione del tasso di variazione annuale (trend) delle concentrazioni medie giornaliere di NO_2 , calcolato sui dati disponibili nel periodo 2013-2021. I valori risultanti dallo studio del trend sui dati rilevati dalle stazioni di misura sono rappresentati come boxplot, suddivisi per 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 esterni ai "baffi" della scatola sono considerati valori anomali.

L'origine geografica dell'inquinamento da PM₁₀, PM_{2.5}, NO₂

Seguendo uno schema adottato in ambito europeo, le concentrazioni medie annue di inquinanti su un territorio possono essere rappresentate come la somma di tre contributi geograficamente distinti tra loro: a grande scala, a scala urbana e a scala locale, dove il contributo a grande scala determina le concentrazioni rilevate dalle stazioni di fondo rurale, poste lontano dall'influenza diretta delle aree urbane e industriali. La componente a grande scala può essere ulteriormente distinta in una parte dovuta al contributo emissivo della sola regione Emilia-Romagna.

Nelle aree urbane e suburbane a questo si aggiunge il contributo a scala urbana e si raggiungono così le concentrazioni rilevate dalle stazioni di fondo urbano.

Localmente, inoltre, a bordo strada o laddove si determinano condizioni di forte accumulo (*hot spot*) degli inquinanti emessi da sorgenti vicine, il contributo a scala locale determina il raggiungimento dei livelli misurati dalle stazioni di traffico e industriali.

L'analisi dell'origine geografica dell'inquinamento da PM₁₀ in Emilia-Romagna è stata condotta utilizzando i dati delle stazioni della rete fissa e le valutazioni prodotte dalla suite modellistica NINFA ed è riferita alla zonizzazione regionale ai sensi del D. Lgs. 155/2010.

I risultati di Figura 35 mostrano che:

- La componente a grande scala (barre verdi chiare e scure) è decisamente preponderante; di tale componente la quota ascrivibile alle emissioni regionali (barre verdi scure) è circa un terzo nelle zone di pianura più vicine ai confini regionali e quasi metà nell'agglomerato di Bologna. Una parte di tale contributo è da imputare anche al trasporto di polvere (*dust*) e ai processi di erosione/risospensione che normalmente coinvolgono la frazione più grossolana del particolato;
- Il contributo dovuto al fondo urbano (barre blu) incrementa la concentrazione media con contributi percentuali attorno al 10%;
- Nelle aree di pianura e nell'agglomerato di Bologna la componente locale (barra arancione) contribuisce a circa il 20% delle concentrazioni misurate.

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 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 ad una riduzione complessiva delle emissioni inquinanti.**

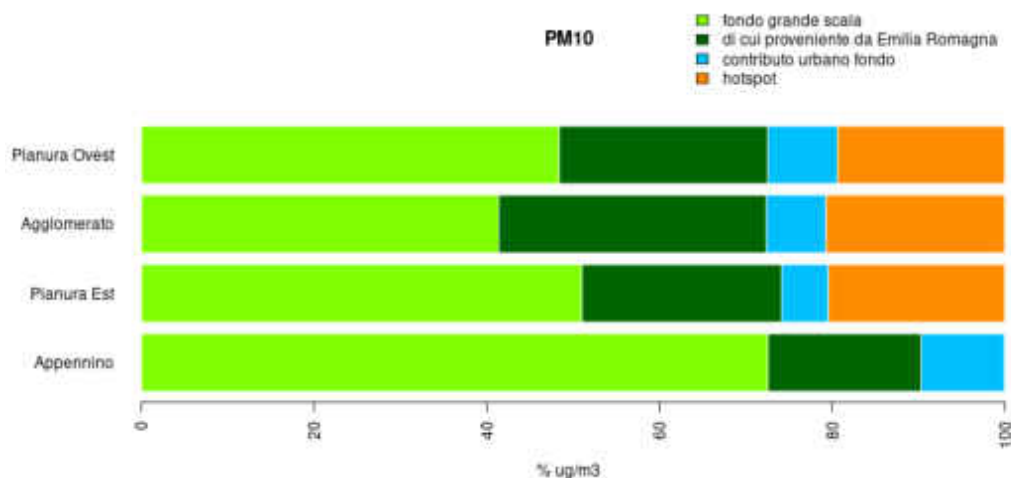


Figura 35. Ripartizione percentuale per aree geografiche dell'origine dell'inquinamento per il PM10.

Per quanto riguarda il **PM2.5**, la stima dell'origine geografica dell'inquinamento (Figura 36) mostra la predominanza della componente attribuibile al fondo a grande scala (barre verdi chiare e scure) ed un contributo meno rilevante da parte delle componenti di fondo urbano (barre azzurre) e locale (barre arancioni), conseguenza dell'origine in gran parte secondaria di questo inquinante. Questo è confermato anche dall'analisi delle concentrazioni misurate dalla rete di monitoraggio, che evidenzia concentrazioni medie annuali di PM2.5 relativamente uniformi sul territorio regionale, con valori del tutto simili tra le stazioni di fondo e la stazione urbana da traffico di Bologna Porta San Felice.

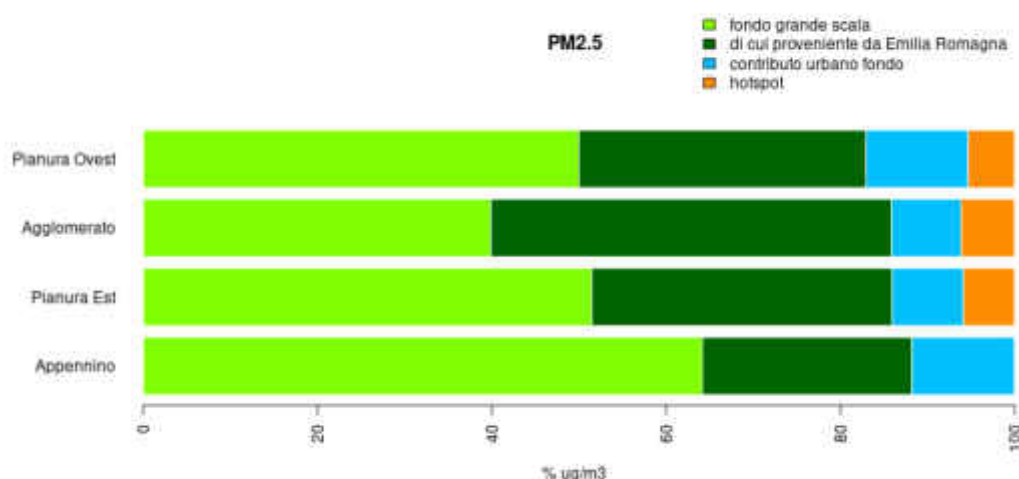


Figura 36. Ripartizione percentuale per aree geografiche dell'origine dell'inquinamento per il PM2.5.

L'analisi dell'origine geografica dell'inquinamento da NO₂ (Figura 37) evidenzia in questo caso un notevole contributo della componente locale (barre arancioni) che contribuisce per circa il 50% alle concentrazioni in prossimità delle principali sorgenti di emissione, in particolare le strade ad intenso traffico. Significativa è anche la componente della concentrazione attribuibile al fondo urbano (barre azzurre) e della componente prevalentemente originata all'interno della regione (barre verdi scure), mentre è del tutto trascurabile il contributo della componente a larga scala attribuibile all'esterno della regione (barre verde chiaro). Fa eccezione la zona appenninica, dove le componenti di fondo sono in proporzione predominanti a causa delle ridotte emissioni locali.

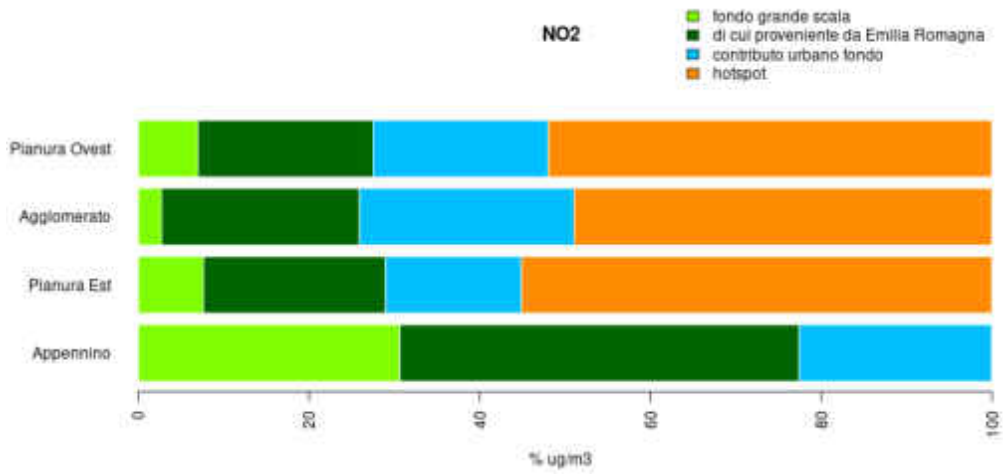


Figura 37. Ripartizione percentuale per aree geografiche dell'origine dell'inquinamento per NO₂.

L'origine settoriale delle concentrazioni di PM10 prodotte dalle emissioni regionali

Uno dei metodi per studiare l'impatto delle varie sorgenti emissive sulla qualità dell'aria è il cosiddetto Brute Force Method (BFM) che prevede l'esecuzione di simulazioni modellistiche utilizzando modelli fotochimici (CTM) variando di volta in volta le emissioni di inquinanti o di settori emissivi. Il contributo di ciascun settore emissivo viene quindi calcolato analizzando le differenze tra i risultati delle diverse simulazioni ottenute variando le emissioni e quelli della simulazione di riferimento. Uno dei limiti di questo approccio è la necessità di effettuare diverse simulazioni con un modello CTM con notevole utilizzo di tempo di calcolo. Nel nostro caso abbiamo usato la nuova versione del tool RIAT+, aggiornata nell'ambito del progetto Prepair Life (<http://www.riatplus.eu/html/ita/home.html>) in modalità "scenario aggregato" che permette all'utente di variare le emissioni per area geografica, per macrosettore e per inquinante e di stimare la variazione corrispondente alle medie annuali di PM10 senza dover effettuare simulazioni esplicite con un modello fotochimico. La valutazione è stata effettuata applicando le funzioni sorgente/recettore stimate con il modello fotochimico utilizzato da Arpa (NINFA). Per ogni comparto emissivo considerato sono state ridotte le emissioni del 20% in regione Emilia-Romagna lasciando inalterate quelle esterne. I comparti emissivi considerati sono: agricoltura, energia, industria, allevamenti, riscaldamento a legna, riscaldamento non a legna, altre sorgenti mobili, trasporto di veicoli pesanti (camion e autobus), trasporto di mezzi leggeri (auto, veicoli commerciali, moto).

L'impatto per ogni comparto è stato valutato come il rapporto tra la variazione percentuale delle concentrazioni calcolate come media pesata sulla popolazione e la variazione delle emissioni del comparto stesso. Lo scopo di tale valutazione è di stimare l'impatto delle sole emissioni regionali alle concentrazioni del PM10; per questo motivo la somma di tutti gli impatti è stata normalizzata ad 1.

Per ogni area di interesse (comuni capoluogo, 30 comuni PAIR, zone ed agglomerato, regione) è stato anche stimato il contributo in primario e secondario tenendo conto dell'inventario utilizzato nella versione di RIAT+ presente nel progetto PREPAIR. In questo modo (vedi figura seguente) l'attribuzione delle sorgenti focalizzata alle sole emissioni della regione Emilia-Romagna ci consente di distinguere il contributo primario/secondario e delle diverse attività emissive.

Questa valutazione sull'impatto dei comparti emissivi focalizzata alle emissioni della sola regione Emilia-Romagna si intende complementare alla analisi geografica fatta nel capitolo "Origine geografica dell'inquinamento" e in generale evidenzia che il contributo del traffico, delle pratiche agricole, allevamenti compresi, del riscaldamento domestico sono sostanzialmente equivalenti.

Più in dettaglio:

- La frazione primaria in media contribuisce al 30% delle concentrazioni con il contributo maggiore nell'agglomerato bolognese
- Le pratiche agricole e di allevamenti danno il loro contributo maggiore nella frazione secondaria per un valore complessivo di circa il 30% del totale con un minimo relativo nella pianura occidentale
- Il riscaldamento domestico a biomassa contribuisce quasi esclusivamente alla parte primaria con peso totale di circa il 20% e un massimo di circa il 25% sulla pianura occidentale
- Il traffico su strada è equamente suddiviso tra traffico pesante e mezzi leggeri con un contributo medio di circa il 30% di cui il 20% è nella frazione secondaria; il contributo maggiore del settore traffico è nelle zone urbane e nell'agglomerato dove raggiunge circa il 40%

Contributo percentuale al PM10 antropogenico per settore - Regione

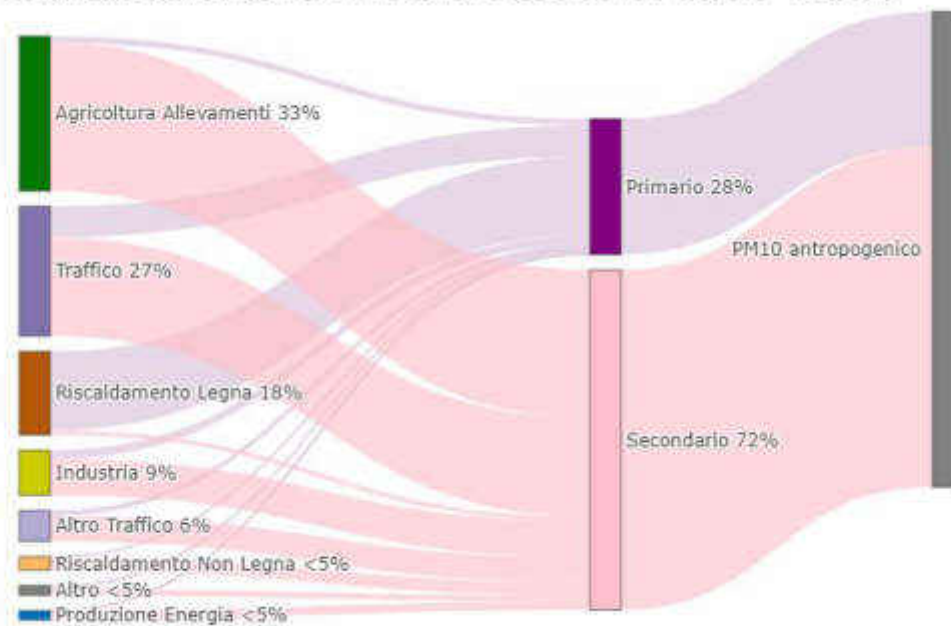


Figura 38. Ripartizione percentuale in Emilia-Romagna dell'origine settoriale delle concentrazioni di PM10 dovute alle emissioni regionali (Traffico è riferito al contributo del trasporto su strada, Altro traffico è riferito ai mezzi aerei, marittimi e agricoli, Altro raggruppa i restanti settori emissivi).

Contributo percentuale al PM10 antropogenico per settore - Agglomerato

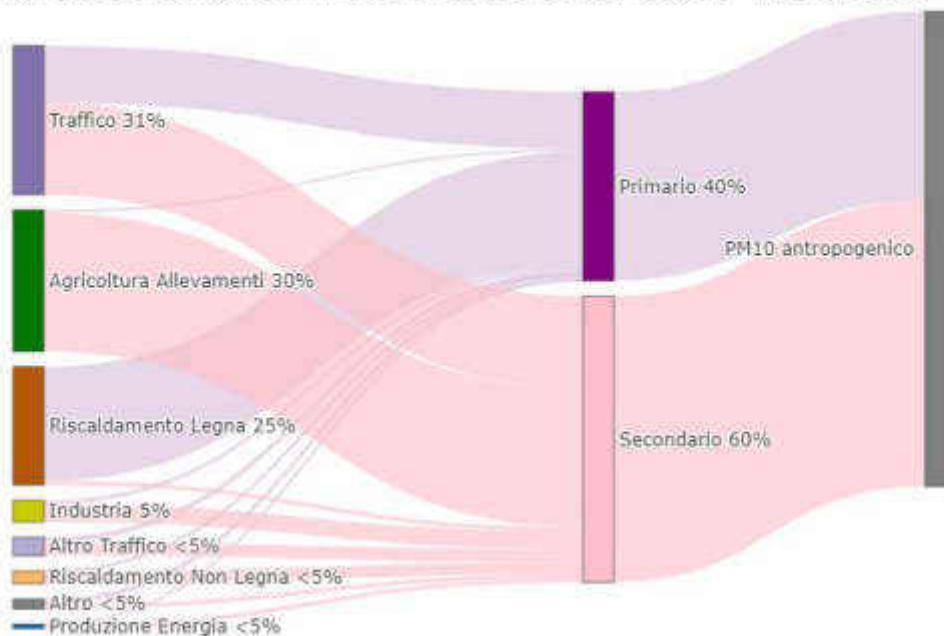


Figura 39. Ripartizione percentuale nell'agglomerato urbano di Bologna dell'origine settoriale delle concentrazioni di PM10 dovute alle emissioni regionali (Traffico è riferito al contributo del trasporto su strada, Altro traffico è riferito ai mezzi aerei, marittimi e agricoli, Altro raggruppa i restanti settori emissivi).

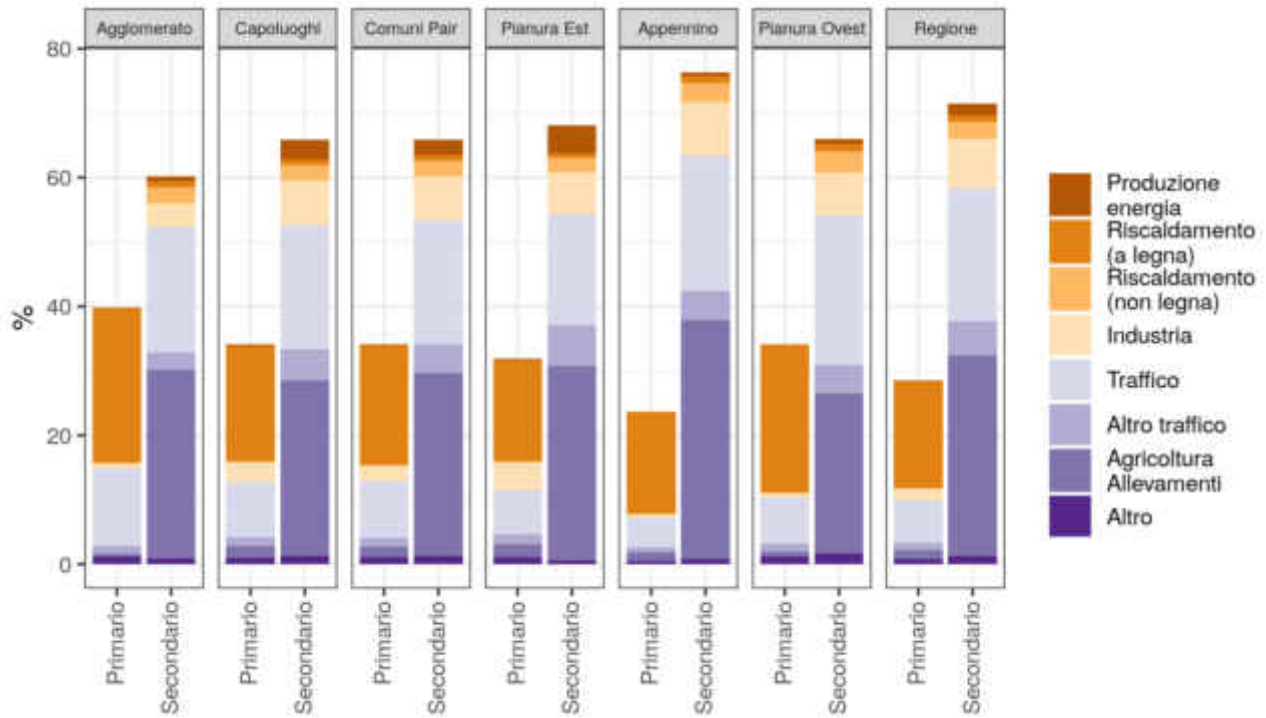


Figura 40. Ripartizione percentuale per aree geografiche dell'origine settoriale delle concentrazioni di PM10 dovute dalle emissioni regionali.

Ozono: O₃

L'andamento dell'ozono si mostra pressoché stazionario nell'ultimo decennio, con fluttuazioni dovute alla variabilità meteorologica della stagione estiva.

Questo inquinante viene prodotto in atmosfera per effetto delle reazioni fotochimiche, catalizzate dalla radiazione solare, dei principali precursori, COV e NO_x, trasportati e diffusi dai venti e dalla turbolenza atmosferica. Ne consegue che si osservano concentrazioni elevate anche a distanza dalle sorgenti primarie.

Le concentrazioni rilevate e il numero di superamenti delle soglie continuano a superare gli obiettivi previsti dalla legge. La situazione risulta abbastanza critica sul territorio regionale con superamenti dell'obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana (120 µg/m³) generalizzati pressoché all'intera regione, con l'eccezione dell'alto Appennino (Figura 41).

Il numero di superamenti della soglia di informazione alla popolazione (concentrazione media oraria uguale a 180 µg/m³) non mostra tendenze evidenti su scala regionale (Figura 42).

La soglia di allarme per la popolazione (concentrazione media oraria uguale a 240 µg/m³) non è mai stata superata.

Le mappe del numero di giorni in cui il massimo della media mobile sulle 8 ore della concentrazione ha superato il valore di 120 µg/m³, rappresentate in Figure 43, mostrano che nel periodo 2016-2021 si sono avute ampie zone di superamento dell'obiettivo a lungo termine, con particolare riferimento agli anni più caldi, meteorologicamente favorevoli alla formazione di ozono.

L'indice "giorni favorevoli alla formazione di ozono" (Figura 44) individua i giorni in cui vi sono state condizioni che favoriscono le trasformazioni fotochimiche che portano alla formazione di questo inquinante.

L'ozono risulta essere potenzialmente dannoso anche per la 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 stesse. Gli effetti indotti dall'ozono sono cumulativi, e comportano la riduzione netta del processo di fotosintesi, cambiamenti nell'allocazione 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 dello stesso 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 ppb = 80 µg/m³) 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 e le 20), quando, quindi, l'esposizione è maggiore.

L'obiettivo a lungo termine AOT40 per la protezione della vegetazione risulta ampiamente al di sopra del valore di riferimento (6.000 µg/m³ x h) in tutte le stazioni della regione (Figura 45). I valori tendono a rimanere costanti.

ozono (2001–2022)
superamenti max media 8 ore

tutte le stazioni regionali di fondo, divise per tipologia

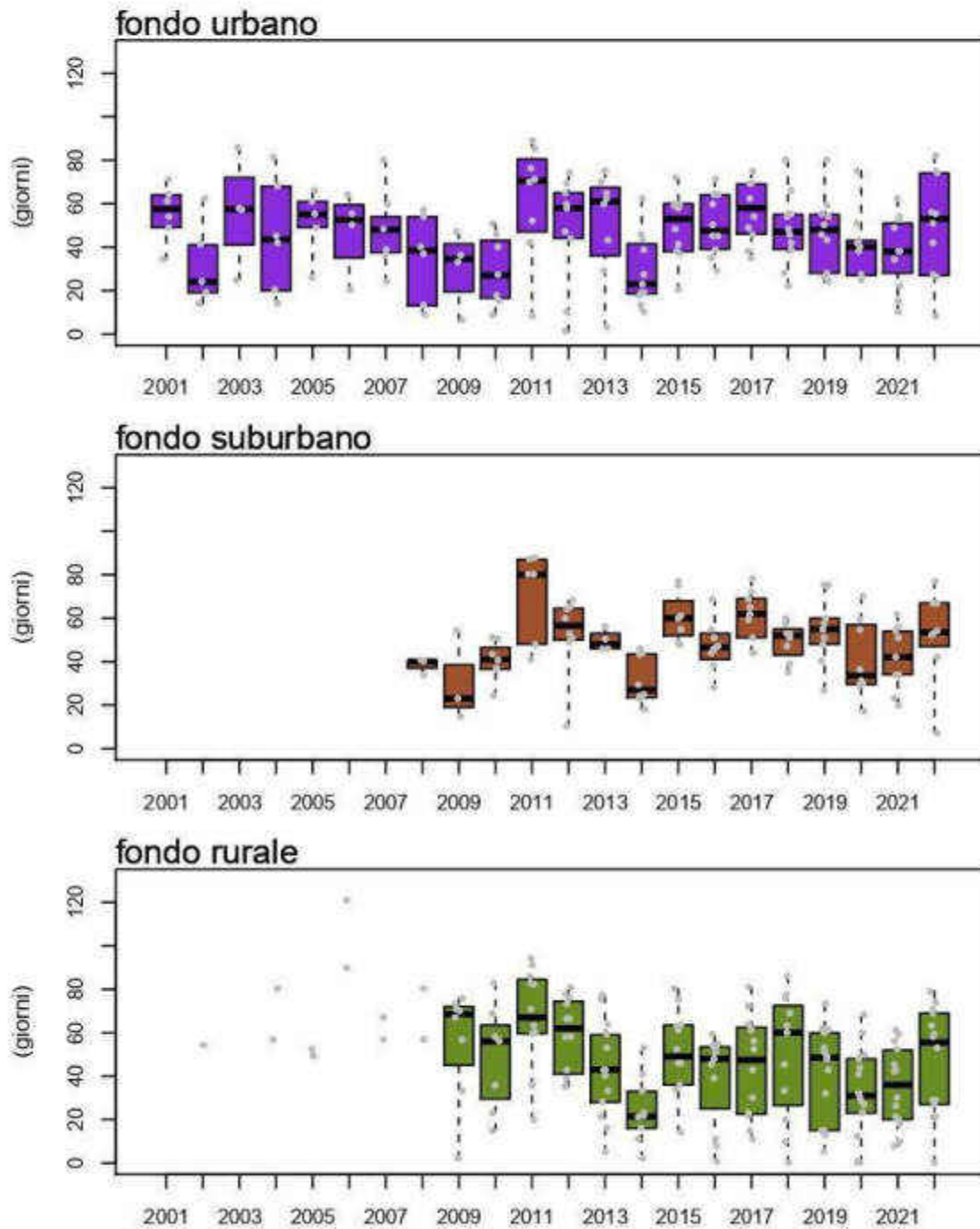


Figura 41. Andamento del numero di superamenti dell'obiettivo a lungo termine per la protezione della salute per l'ozono (massimo giornaliero della media mobile su 8 ore superiore a $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) dal 2001 al 2022. I valori rilevati ogni anno dalle stazioni da traffico (in alto), di fondo urbano e suburbano (al centro) e di fondo rurale (in basso) sono rappresentati come boxplot. Ciascun box rappresenta l'intervallo tra il 25° e il 75° percentile dei valori annuali ed è evidenziata la linea della mediana. 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.

ozono (2001-2022)
superamenti orari della soglia di informazione
tutte le stazioni regionali di fondo, divise per tipologia

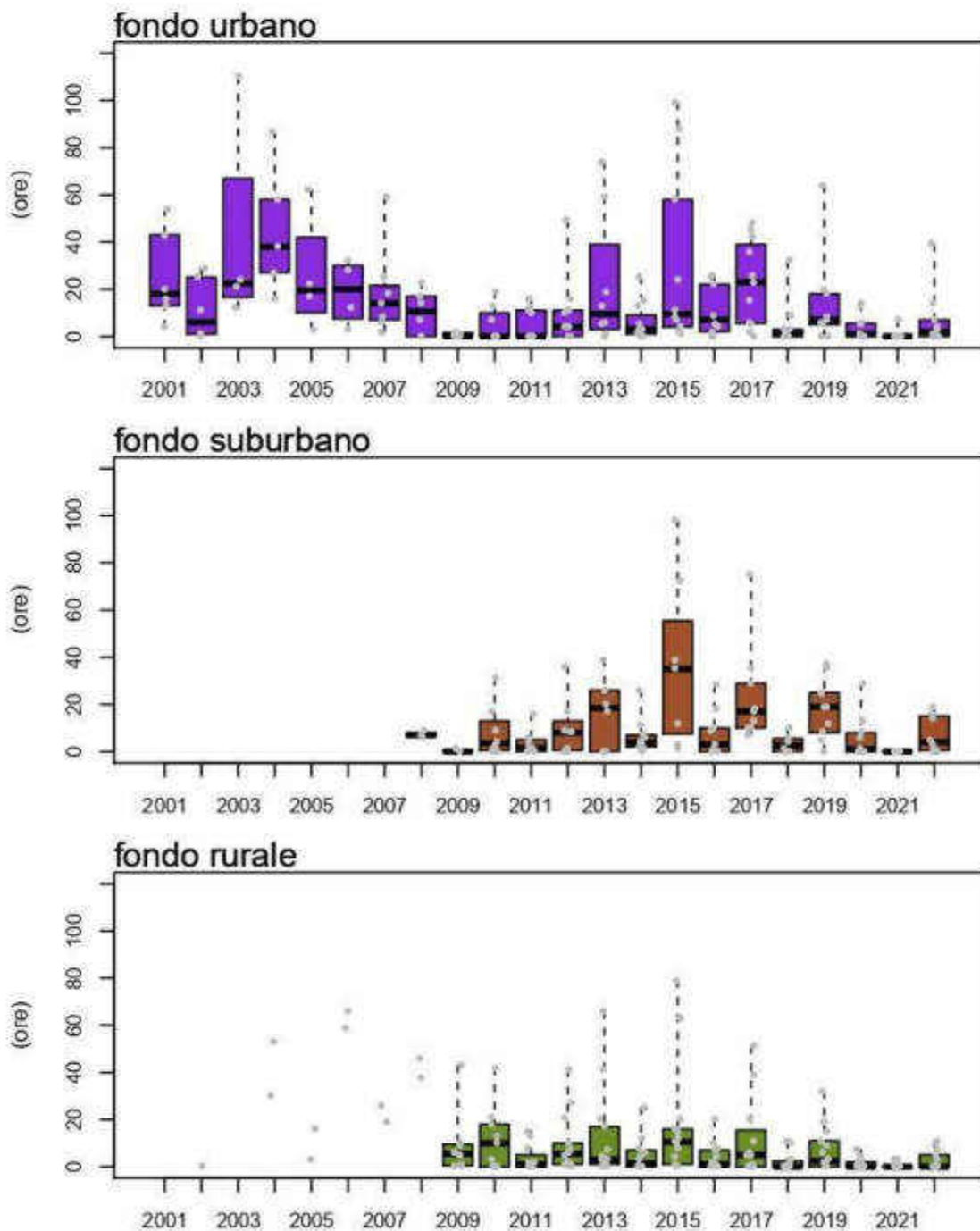


Figura 42. Andamento del numero di superamenti (ore) della soglia di informazione dell'ozono ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$) dal 2001 al 2022. I valori rilevati ogni anno dalle stazioni da traffico (in alto), di fondo urbano e suburbano (al centro) e di fondo rurale (in basso) sono

rappresentati come boxplot. Ciascun box rappresenta l'intervallo tra il 25° e il 75° percentile dei valori annuali ed è evidenziata la linea della mediana. 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.

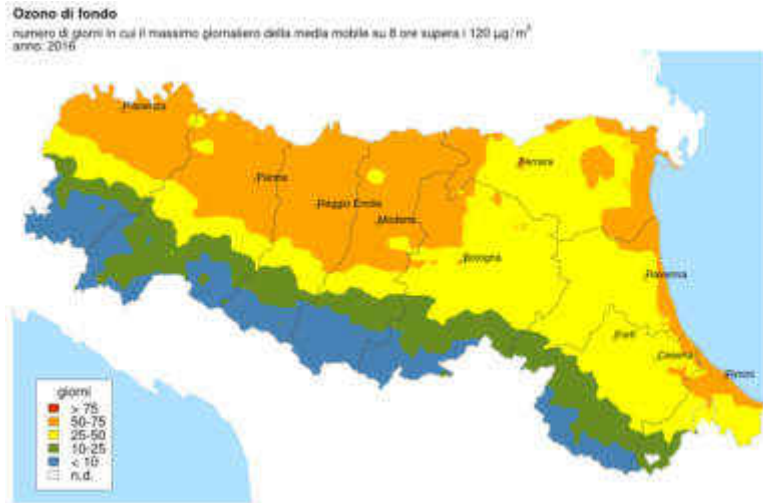


Figura 43a. Valutazione modellistica del numero di superamenti del VL per il massimo della media mobile sulle 8 ore della concentrazione di ozono di fondo nel 2016.



Figura 43b. Valutazione modellistica del numero di superamenti del VL per il massimo della media mobile sulle 8 ore della concentrazione di ozono di fondo nel 2017.



Figura 43c. Valutazione modellistica del numero di superamenti del VL per il massimo della media mobile sulle 8 ore della concentrazione di ozono di fondo nel 2018.



Figura 43d. Valutazione modellistica del numero di superamenti del VL per il massimo della media mobile sulle 8 ore della concentrazione di ozono di fondo nel 2019.



Figura 43e. Valutazione modellistica del numero di superamenti del VL per il massimo della media mobile sulle 8 ore della concentrazione di ozono di fondo nel 2020.

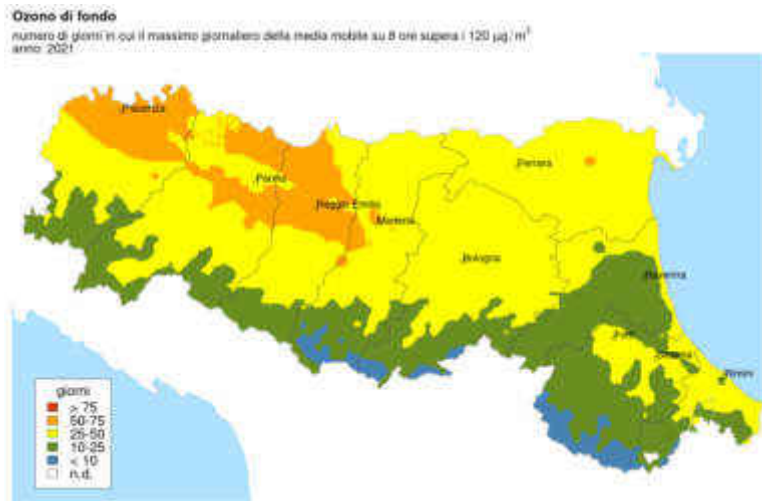


Figura 43f. Valutazione modellistica del numero di superamenti del VL per il massimo della media mobile sulle 8 ore della concentrazione di ozono di fondo nel 2021.

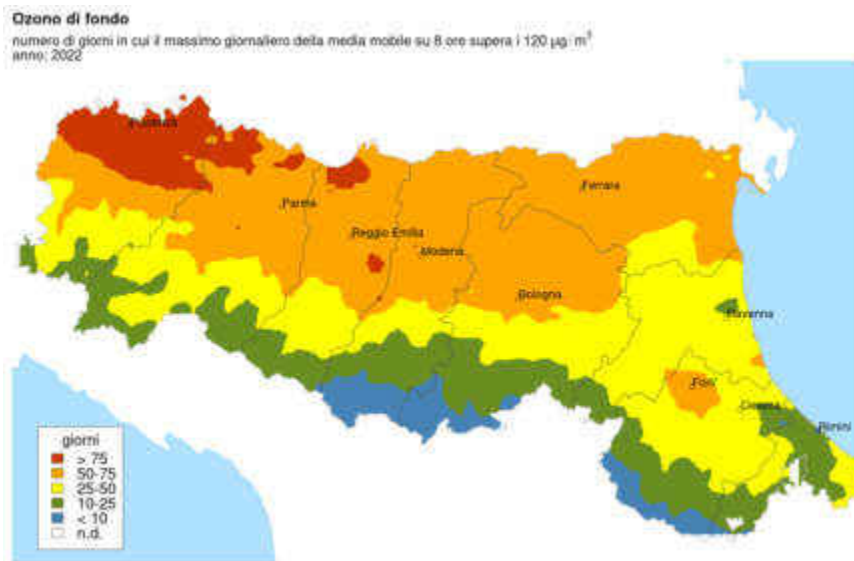


Figura 43g. Valutazione modellistica del numero di superamenti del VL per il massimo della media mobile sulle 8 ore della concentrazione di ozono di fondo nel 2022.

giorni favorevoli alla formazione di ozono (apr-set)

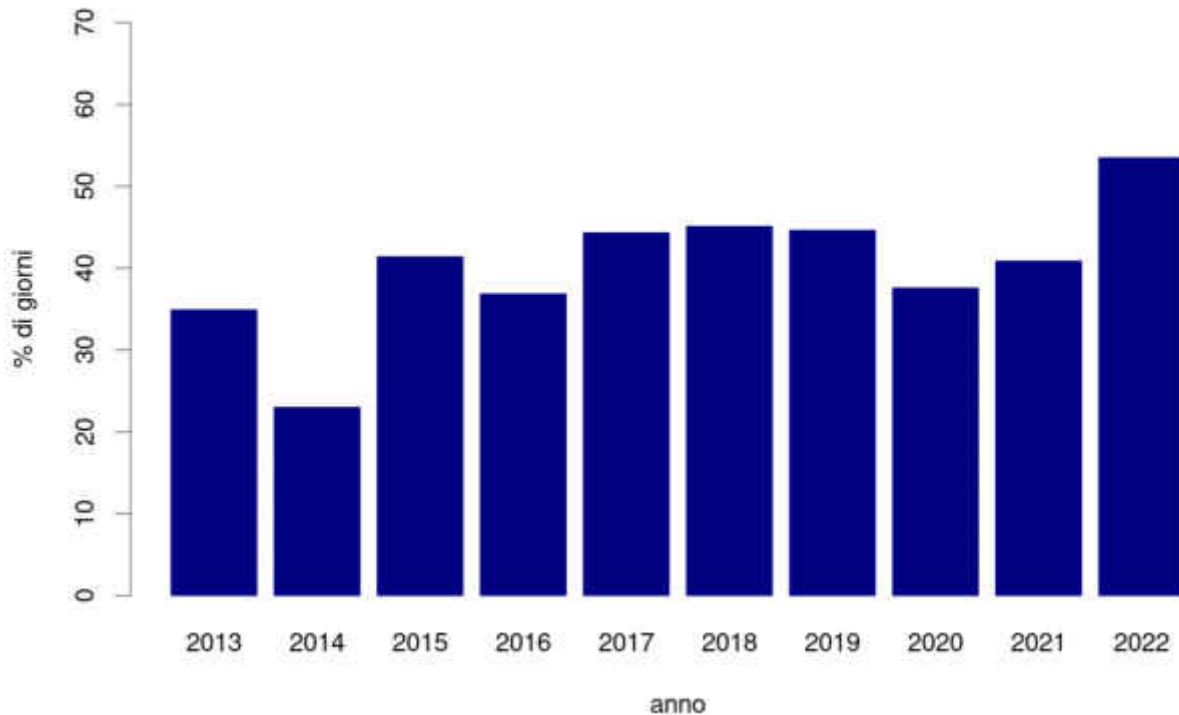


Figura 44. Andamento dei giorni favorevoli alla formazione di ozono troposferico (aprile-settembre).

ozono (2001-2022)

AOT40, valore bersaglio per la protezione della vegetazione

tutte le stazioni regionali di fondo, divise per tipologia

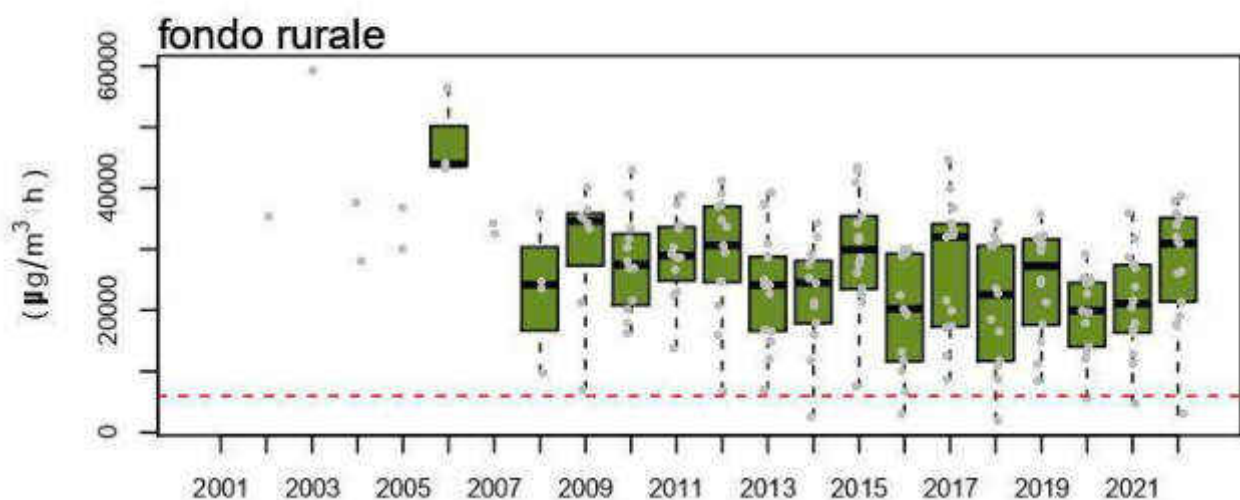


Figura 45. Andamento delle concentrazioni di AOT40 per l'obiettivo a lungo termine relativo alla protezione della vegetazione per l'ozono dal 2001 al 2022. La linea rossa indica il valore dell'obiettivo a lungo termine ($6000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$). I valori rilevati ogni anno dalle stazioni di fondo rurale 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.

Stima del trend delle concentrazioni giornaliere di O₃

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. L'analisi del trend per singola stazione è rappresentata in Appendice 3.

I risultati sono stati espressi suddividendo le stazioni disponibili in 3 classi in base al tipo: di fondo urbano/suburbano, di fondo rurale in pianura, di fondo rurale in Appennino.

L'analisi, effettuata sull'intero anno, mostra una tendenza al rialzo nella maggior parte delle stazioni (Figura 46), ma gli intervalli di confidenza sono ampi e quasi tutti non significativi, con l'eccezione di 5 stazioni.

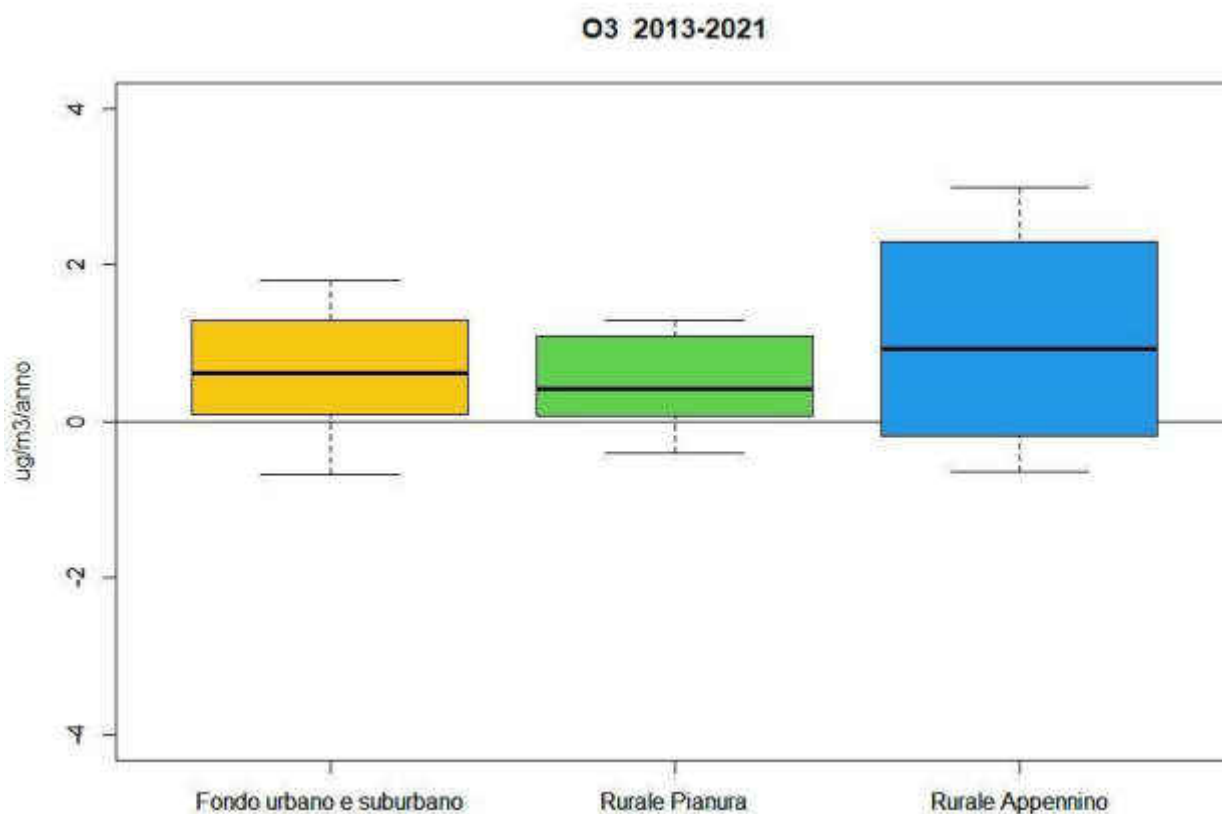


Figura 46. Distribuzione del tasso di variazione annuale (trend) delle concentrazioni medie giornaliere di O₃, calcolato sui dati disponibili nel periodo 2013-2021. I valori risultanti dallo studio del trend sui dati rilevati dalle stazioni di misura sono rappresentati come boxplot, suddivisi per tipologia 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.

Inquinanti che rispettano i valori limite

I risultati dei monitoraggi hanno evidenziato situazioni in progressivo miglioramento per gli inquinanti monossido di carbonio (CO), biossido di zolfo (SO₂), benzene, benzo(A)pirene e metalli, per i quali non si registrano situazioni critiche.

Biossido di zolfo (SO₂) e monossido di carbonio (CO)

La concentrazione in aria di biossido di zolfo e monossido di carbonio si è progressivamente ridotta nel tempo, assumendo negli ultimi anni valori di gran lunga inferiori ai valori limite e, per quanto riguarda SO₂, prossimi al limite di rilevabilità strumentale.

Anche per questi inquinanti la normativa vigente fissa valori limite e l'obbligo di valutazione e gestione della qualità dell'aria su tutto il territorio regionale.

Per quanto concerne il **biossido di zolfo**, negli ultimi anni non si sono mai verificati superamenti dei valori limite, orario e giornaliero (Figure 48 e 49). Per questa ragione il numero di stazioni che misurano l'SO₂ 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.

La valutazione dell'inquinamento da SO₂ sull'intero territorio regionale è effettuata mediante stime obiettive, basate sui dati forniti dalla stazione fissa, e da campagne di misura con laboratorio mobile.

La stazione di "Rocca Brancaleone" (Ravenna) fornisce la serie storica più estesa di SO₂: come mostrato in Figura 47 le concentrazioni sono drasticamente calate fino alla metà degli anni 90, per poi diminuire ancora fino a oggi.

Allo stato attuale il biossido di zolfo non è più un inquinante critico; si rileva tuttavia che esso può risultare un importante precursore della formazione di particolato secondario, anche alle basse concentrazioni attuali. Gli ossidi di zolfo sono inoltre riconosciuti come potenzialmente dannosi per la vegetazione ed inoltre su materiali e beni culturali a causa delle proprietà chimico – fisiche dello stesso SO₂ e dei suoi prodotti di ossidazione.



Figura 47. Andamento della media annua di biossido di zolfo nella stazione di Ravenna "Rocca Brancaleone".

biossido di zolfo (2001-2022)

N. di superamenti giornalieri

tutte le stazioni regionali (escluse industriali), divise per tipologia

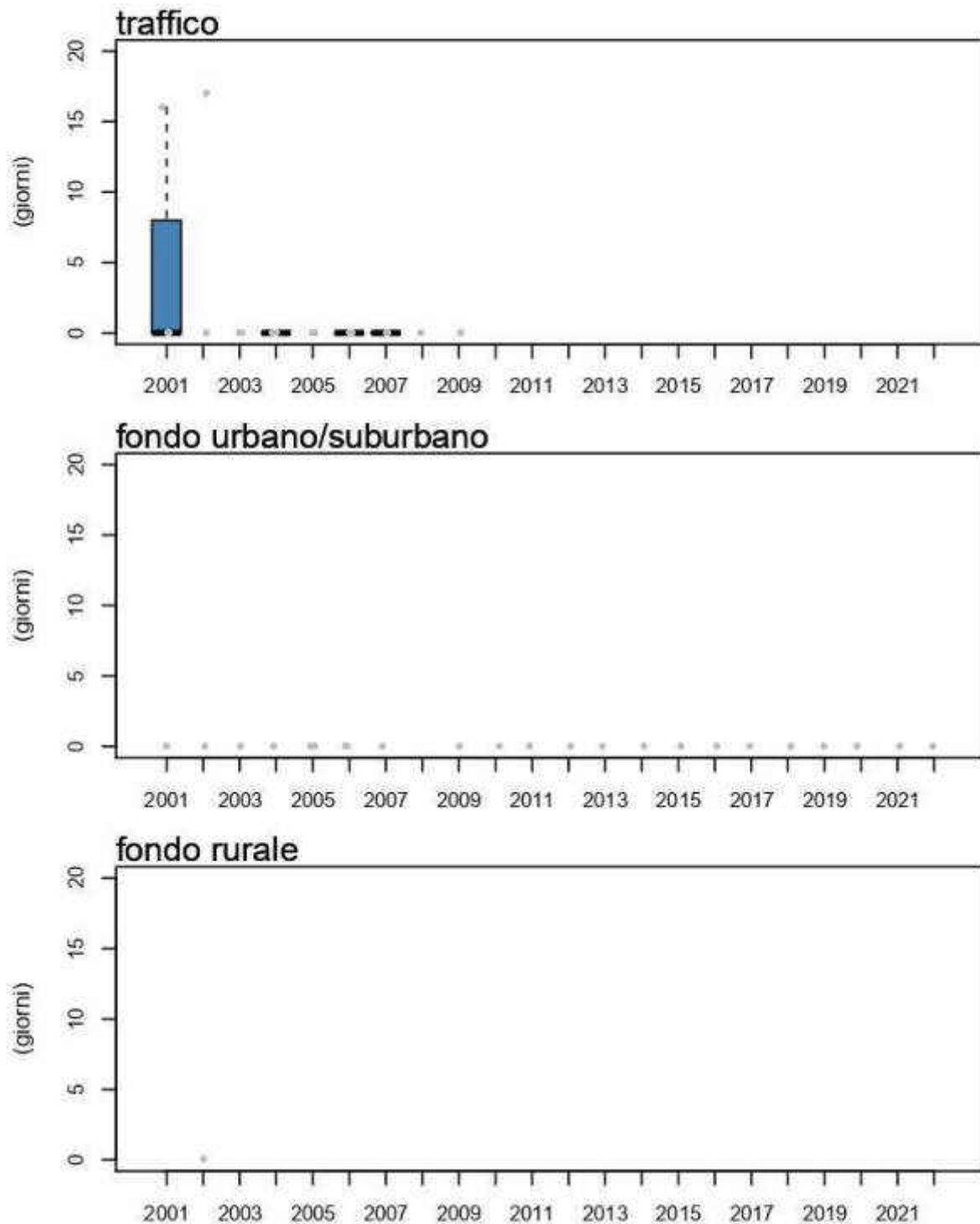


Figura 48. Andamento del numero di superamenti del valore limite giornaliero ($125 \mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare per più di 3 giorni) di SO_2 dal 2001 al 2022. I valori rilevati ogni anno dalle stazioni da traffico (in alto), di fondo urbano e suburbano (al centro) e di fondo rurale (in basso) 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.

biossido di zolfo (2001–2022)

N. di superamenti orari

tutte le stazioni regionali (escluse industriali), divise per tipologia

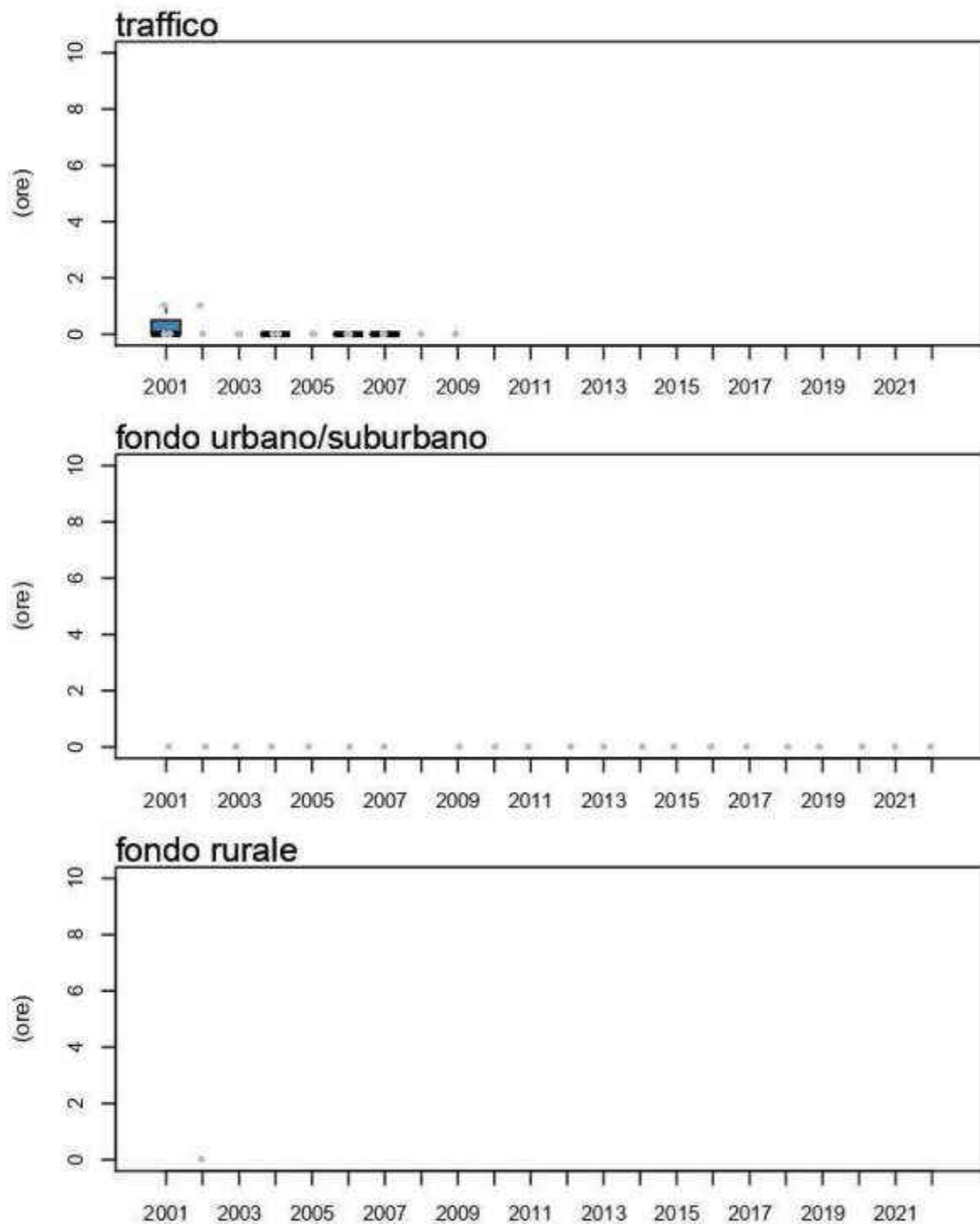


Figura 49. Andamento del numero di superamenti del valore limite orario ($350 \mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare per più di 24 ore) di SO_2 dal 2001 al 2022. I valori rilevati ogni anno dalle stazioni da traffico (in alto), di fondo urbano e suburbano (al centro) e di fondo rurale (in basso) sono 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.

Le concentrazioni in aria di **monossido di carbonio** si sono progressivamente ridotte, rimanendo ben al di sotto dei limiti di legge da lungo tempo. Da oltre 10 anni, infatti, il valore limite (massimo giornaliero media mobile su 8 ore = 10 mg/m^3) non è mai stato superato in alcuna stazione di monitoraggio e in tutte le stazioni si misurano spesso concentrazioni orarie al di sotto del limite di quantificazione (Figura 50).

Considerate le concentrazioni estremamente contenute, nell'ultimo PdV (vedi § Programma di valutazione) si è proceduto alla razionalizzazione, sull'intero territorio regionale, dei sensori che misurano questo inquinante che, pertanto, a partire dal 2020 passano da 11 a 5.

La stazione di traffico "Timavo" di Reggio Emilia mostra la serie storica più lunga di CO in Regione (Figura 51). Il monossido di carbonio era in crescita in un passato recente per l'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 ed il crollo delle concentrazioni di CO, ora molto al di sotto delle soglie di pericolosità.

monossido di carbonio (2001–2022) Media annua del massimo giornaliero su 8 ore tutte le stazioni regionali (escluse industriali), divise per tipologia

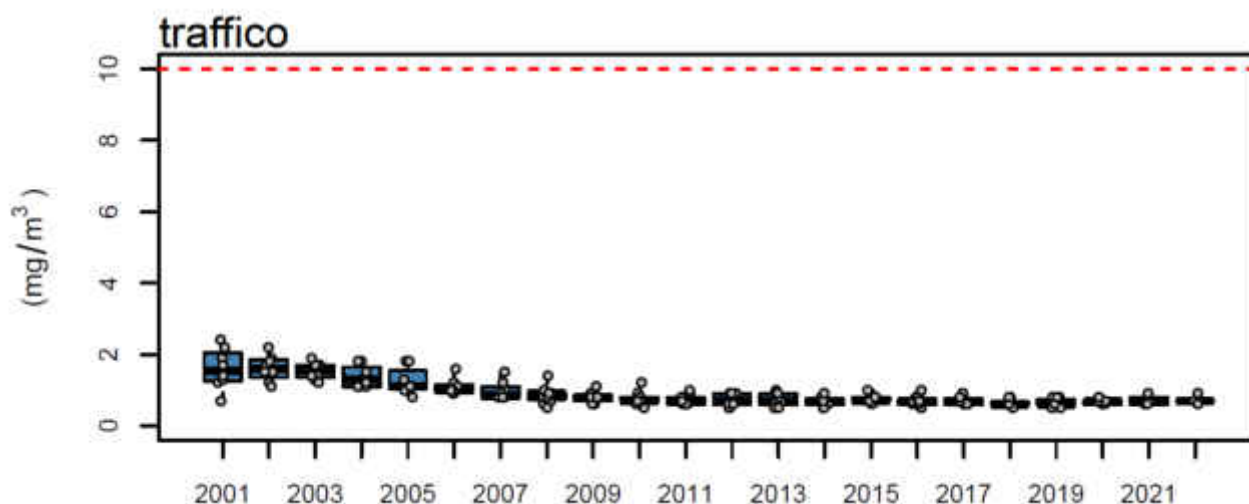


Figura 50. Andamento delle medie annuali dei massimi giornalieri delle medie mobili su 8 ore di monossido di carbonio dal 2001 al 2022 nelle stazioni da traffico. La linea rossa indica il valore limite annuale (10 mg/m^3). I valori rilevati ogni anno dalle stazioni da traffico (in alto), di fondo urbano 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 51. Andamento dei massimi per ogni anno della media mobile su 8 ore di monossido di carbonio nella stazione di Reggio Emilia "Timavo".

Benzene e Benzo(A) pirene

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 ($5 \mu\text{g}/\text{m}^3$). L'andamento pluriennale nel periodo 2001-2022 evidenzia una sostanziale stazionarietà dei livelli di questo inquinante (Figura 52).

Tale inquinante, dunque, 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 ove risulta presente in quantità maggiori ovvero nelle stazioni di traffico, razionalizzate a 9 a partire dal 2020.

La combustione incompleta di materiali organici determina l'emissione in atmosfera di idrocarburi policiclici aromatici (IPA) quasi totalmente adsorbiti sul materiale particolato. Livelli elevati di IPA sono rilevabili durante la stagione invernale in relazione all'utilizzo generatori di calore (apparecchi domestici) alimentati con biomasse. Molti composti sono cancerogeni, anche se l'evidenza di cancerogenicità sull'uomo relativa a singoli IPA è estremamente difficile, poiché in condizioni reali si verifica sempre una esposizione simultanea a miscele complesse di molte decine di IPA. La IARC ha classificato in particolare il benzo(a)pirene (B(a)P), come cancerogeno per l'uomo (categoria 1).

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 PM2.5.

Il **benzo(a)pirene** ha un andamento più discontinuo, ma sempre inferiore al limite (Figura 53). 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: le medie annuali oscillano fra 0.09 e $0.62 \text{ ng}/\text{m}^3$ a seconda

delle stazioni. 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 $3,14 \text{ ng/m}^3$ 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. Anche qui il valore obiettivo è ampiamente rispettato.

benzene (2001–2022) media annua

tutte le stazioni regionali (escluse industriali), divise per tipologia

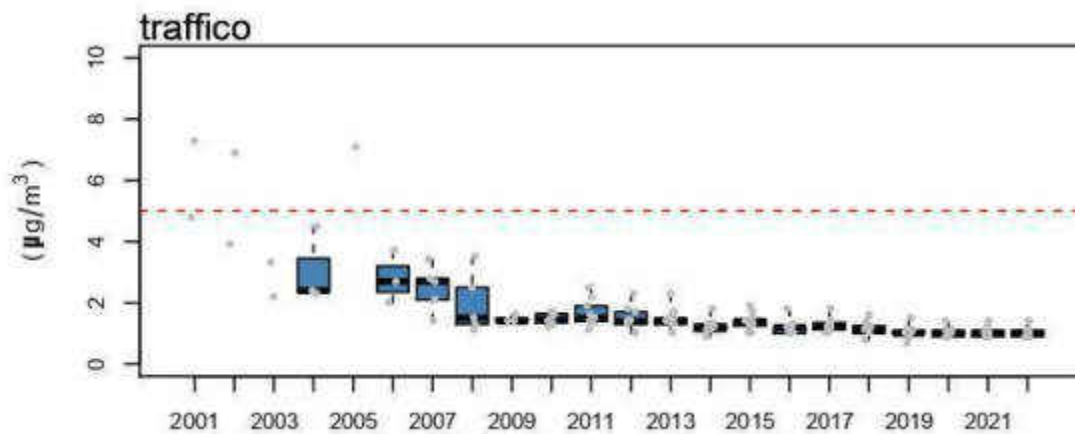


Figura 52. Andamento della concentrazione media annuale di benzene dal 2001 al 2022 nelle stazioni da traffico. La linea rossa indica il valore limite annuale ($5 \text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$). I valori rilevati ogni anno dalle stazioni da traffico (in alto), di fondo urbano e suburbano (al centro) e di fondo rurale (in basso) sono rappresentati come boxplot. Ciascun box rappresenta l'intervallo tra il 25° e il 75° percentile dei valori annuali ed è evidenziata la linea della mediana. 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

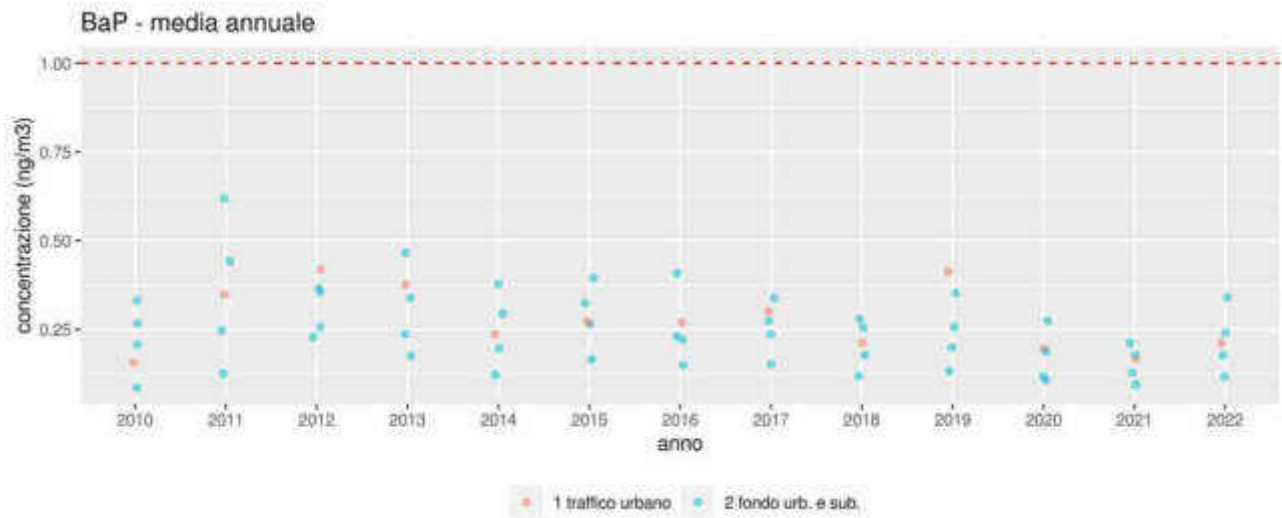


Figura 53. Andamento della concentrazione media annuale di Benzo (a) pirene dal 2010 al 2022. La linea rossa tratteggiata indica il valore obiettivo annuale (1 ng/m³). Sono rappresentati i valori rilevati ogni anno dalle stazioni di fondo urbano e di traffico.

Metalli

I metalli, i semimetalli e i loro composti sono immessi nell'atmosfera sia da sorgenti antropiche (quali i processi di combustione da sorgenti stazionarie, l'industria del ferro e dell'acciaio, l'industria dei metalli non ferrosi, le combustioni da sorgenti mobili), che da sorgenti naturali (quali eruzioni vulcaniche, risollevarimento dal suolo, trasporto a lunga distanza di sabbie sahariane). Essi si ritrovano essenzialmente distribuiti nella massa delle varie frazioni dimensionali del materiale particolato nell'atmosfera. Tra i metalli e i semimetalli che possono essere liberati in atmosfera, particolare rilevanza assumono **piombo, cadmio, nichel e arsenico**. 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 (2010-2022).

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 54). Per quanto riguarda **cadmio, arsenico e nichel** le concentrazioni mensili sono sempre inferiori al valore obiettivo di quasi un ordine di grandezza (Figure 54-57).

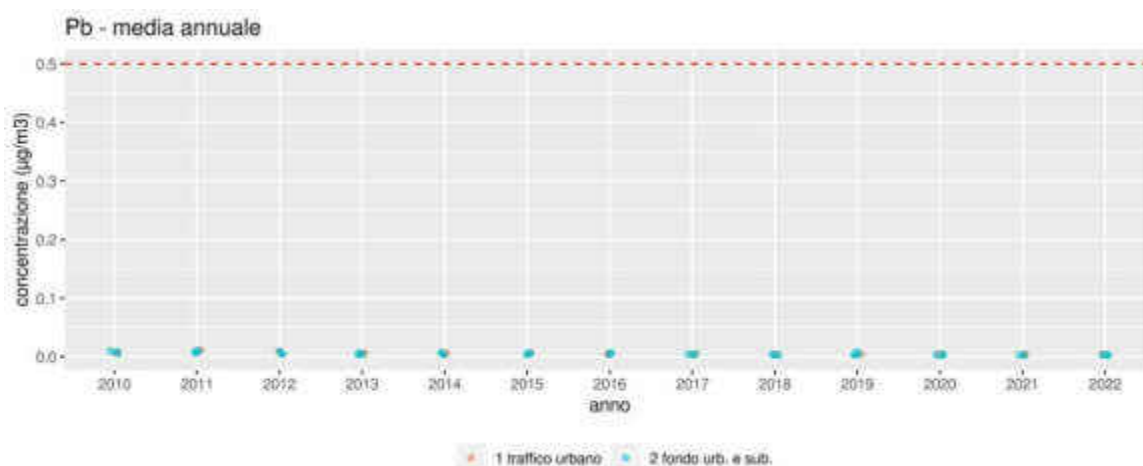


Figura 54. Andamento della concentrazione media annuale di piombo, dal 2010 al 2022. La linea rossa tratteggiata indica il valore limite annuale (0,5 µg/m³). Sono rappresentati i valori rilevati ogni anno dalle stazioni di fondo urbano e di traffico.

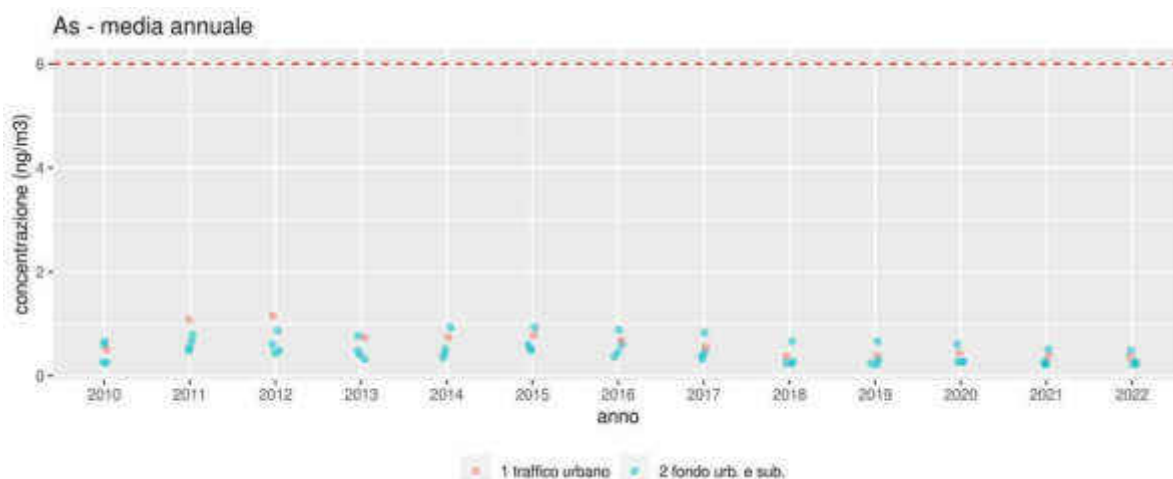


Figura 55. Andamento della concentrazione media annuale di arsenico, dal 2010 al 2022. La linea rossa tratteggiata indica il valore limite annuale (6 ng/m³). Sono rappresentati i valori rilevati ogni anno dalle stazioni di fondo urbano e di traffico.

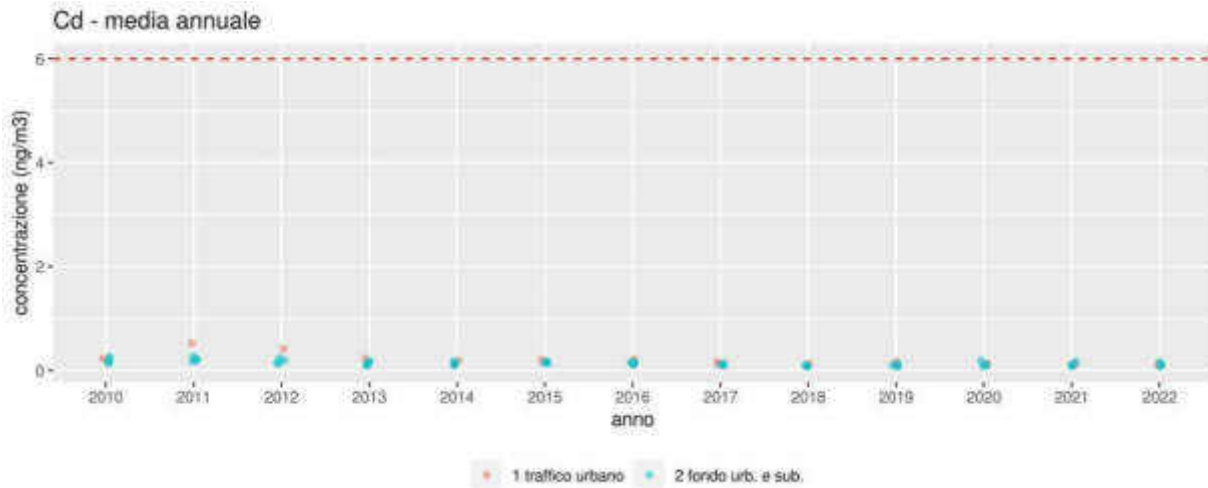


Figura 56. Andamento della concentrazione media annuale di cadmio, dal 2010 al 2022. La linea rossa indica il valore limite annuale (20 ng/m³). Sono rappresentati i valori rilevati ogni anno dalle stazioni di fondo urbano e di traffico.

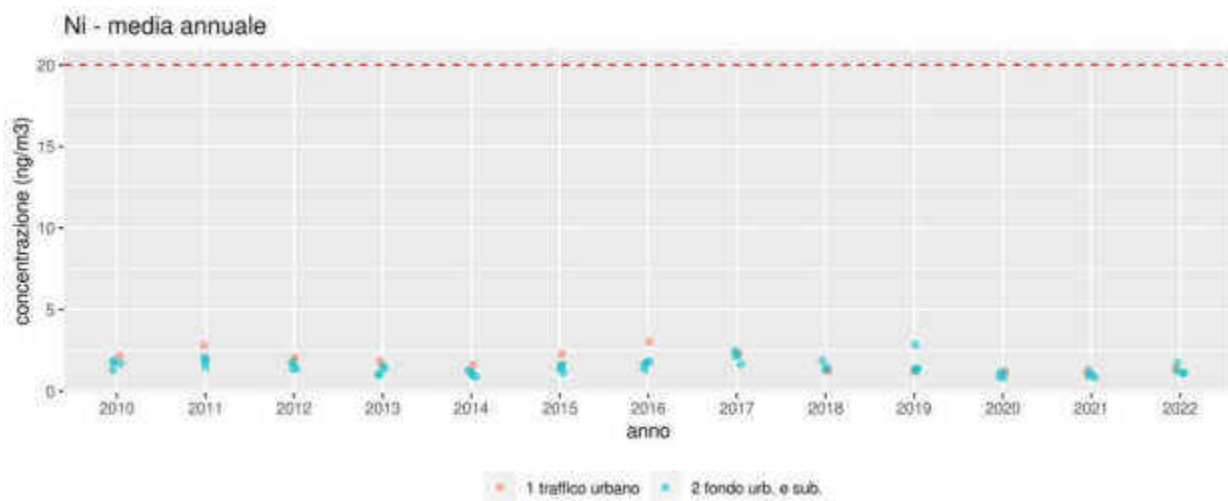


Figura 57. Andamento della concentrazione media annuale di nichel, dal 2010 al 2022. La linea rossa tratteggiata indica il valore limite annuale (20 ng/m³). Sono rappresentati i valori rilevati ogni anno dalle stazioni di fondo urbano e di traffico.

Inventario regionale delle emissioni in atmosfera

L'inventario regionale delle emissioni in atmosfera raccoglie le stime emissive degli inquinanti primari prodotti delle varie sorgenti e la loro distribuzione territoriale, fino a dettaglio comunale.

L'edizione dell'inventario delle emissioni utilizzata per le valutazioni è relativa al 2017 ed è stata redatta mediante l'impiego del software IN.EM.AR (INventario EMISSIONI ARia ¹⁶) nella sua versione 7.0.9.

La metodologia di riferimento implementata da INEMAR è quella EMEP-CORINAIR contenuta nel documento "EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2016" e rivista nel 2018 per alcune parti¹⁷ al quale si rimanda per i dettagli.

Di seguito si richiamano i risultati principali dell'inventario, rimandando al relativo rapporto tecnico¹⁸ per l'analisi di dettaglio.

In fase già avanzata del percorso di pianificazione è stato pubblicato l'aggiornamento dell'inventario delle emissioni al 2019: tale versione non presenta variazioni significative nella distribuzione delle pressioni emissive sul territorio per cui si conferma l'impostazione data alle valutazioni.

Macroinquinanti

Le stime relative all'anno 2017, confermate dall'aggiornamento al 2019, indicano che le fonti principali di emissioni legate all'inquinamento diretto da polveri sono costituite dal riscaldamento domestico a biomassa e dal trasporto su strada, seguiti dalle attività produttive e dai trasporti non stradali.

Alle emissioni di ossidi di azoto (NO_x), importanti precursori della formazione di particolato secondario e ozono, contribuiscono il trasporto su strada per il 56%, a seguire le altre sorgenti mobili, la combustione nell'industria, il riscaldamento e la produzione di energia.

Il principale contributo (98%) alle emissioni di ammoniaca (NH₃), anch'esso precursore di particolato secondario, deriva dalle pratiche agricole e dalla zootecnia.

L'utilizzo di solventi nel settore industriale e civile risulta il principale contributo antropogenico alle emissioni di composti organici volatili non metanici (COV_{nm}), precursori, assieme agli ossidi di azoto della formazione di particolato secondario e ozono. La produzione di COV_{nm} di origine biogenica, da specie agricole e da vegetazione è la fonte che contribuisce maggiormente alle emissioni di questo inquinante.

La combustione nell'industria ed i processi produttivi risultano la fonte più rilevante di biossido di zolfo (SO₂) che, sebbene presenti una concentrazione in aria di gran lunga inferiore ai valori limite, risulta un importante precursore della formazione di particolato secondario, anche a basse concentrazioni.

Il monossido di carbonio (CO) è emesso dai trasporti su strada per il 43% e dalla combustione domestica per il 48%.

Le emissioni di sostanze inquinanti della regione Emilia-Romagna per i macrosettori *Corinair* sono riportate in Tabelle 7a e 7b e in Figura 58a.

¹⁶ www.inemar.eu/xwiki/bin/view/Inemar

¹⁷ www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2016

¹⁸ www.arpae.it/it/temi-ambientali/aria/inventari-emissioni/archivio-inventario-inemar/inventario-emissioni

Il contributo dei diversi tipi di combustibile utilizzati in regione è mostrato in Figura 58b. Dall'analisi della distribuzione delle emissioni dei diversi inquinanti rispetto al combustibile utilizzato emerge che il consumo del gasolio per autotrasporto (diesel) è responsabile del 65% delle emissioni di NO_x; per il PM₁₀ gli apporti dalle attività di combustione di legna e similari contribuiscono per il 57%, mentre l'utilizzo di gasolio per autotrazione e le attività senza combustibile (usura freni e pneumatici, abrasione strade) contribuiscono per il 39%. La combustione della biomassa legnosa ha un ruolo importante anche nelle emissioni di CO (45%).

Le emissioni di COV_{nm} e NH₃ non dipendono o derivano solo parzialmente dalla combustione e, pertanto, non sono associabili all'uso di uno specifico combustibile.

Tabella 7a. Ripartizione delle emissioni dell'Emilia-Romagna per macrosettori Corinair.

	NO _x (t)	PTS (t)	PM ₁₀ (t)	PM _{2.5} (t)	SO ₂ (t)	CO (t)	NH ₃ (t)	COV _{nm} (t)
1 - Produzione di energia e trasformazione di combustibili	4129	61	42	37	402	2706	13	135
2 - Combustione non industriale	6507	6759	6423	6355	248	59448	133	6677
3 - Combustione industriale	6297	565	387	308	7610	2702	22	349
4 - Processi Produttivi	2117	1142	706	481	2435	2415	139	2069
5 - Estrazione e distribuzione di combustibili	2	0	0	0	2	1	0	2845
6 - Uso di solventi	111	420	282	248	15	16	4	29431
7 - Trasporto su strada	38778	3230	2405	1711	60	54177	525	10939
8 - Altre sorgenti mobili e macchinari	9668	532	433	432	79	3260	2	991
9 - Trattamento e smaltimento rifiuti	706	17	7	7	38	233	143	49
10 - Agricoltura	405	872	515	232	0	0	45880	36723
11 - Altre sorgenti (vegetazione)	0	0	0	0	0	0	0	34958
totali	68720	13598	11200	9811	10889	124958	46861	125166

Tabella 7b. Ripartizione percentuale delle emissioni dell'Emilia-Romagna per macrosettori Corinair.

	NOx (t)	PTS (t)	PM ₁₀ (t)	PM _{2.5} (t)	SO ₂ (t)	CO (t)	NH ₃ (t)	COVnm (t)
1 - Produzione di energia e trasformazione di combustibili	6%	0%	0%	0%	4%	2%	0%	0%
2 - Combustione non industriale	9%	50%	57%	65%	2%	48%	0%	5%
3 - Combustione industriale	9%	4%	3%	3%	70%	2%	0%	0%
4 - Processi Produttivi	3%	8%	6%	5%	22%	2%	0%	2%
5 - Estrazione e distribuzione di combustibili	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	2%
6 - Uso di solventi	0%	3%	3%	3%	0%	0%	0%	24%
7 - Trasporto su strada	56%	24%	21%	17%	1%	43%	1%	9%
8 - Altre sorgenti mobili e macchinari	14%	4%	4%	4%	1%	3%	0%	1%
9 - Trattamento e smaltimento rifiuti	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
10 - Agricoltura	1%	6%	5%	2%	0%	0%	98%	29%
11 - Altre sorgenti (vegetazione)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	28%
totali	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

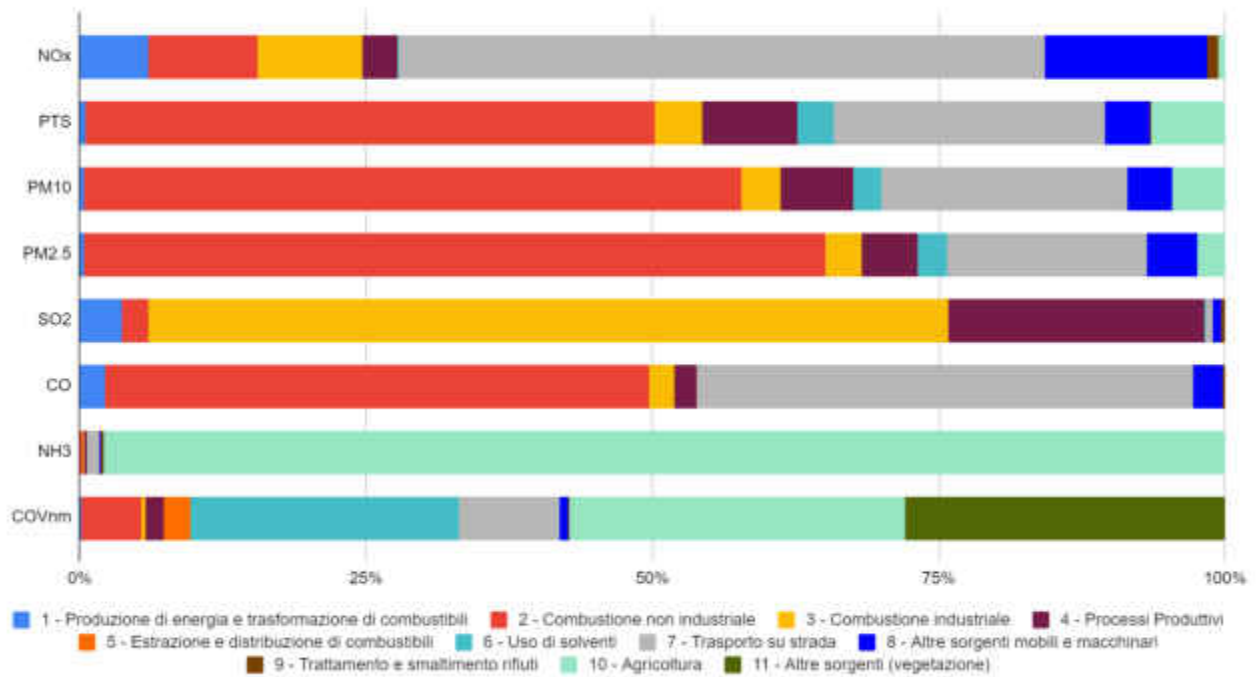


Figura 58a. Contributi alle emissioni inquinanti di origine antropogenica in Emilia-Romagna (INEMAR 2017)

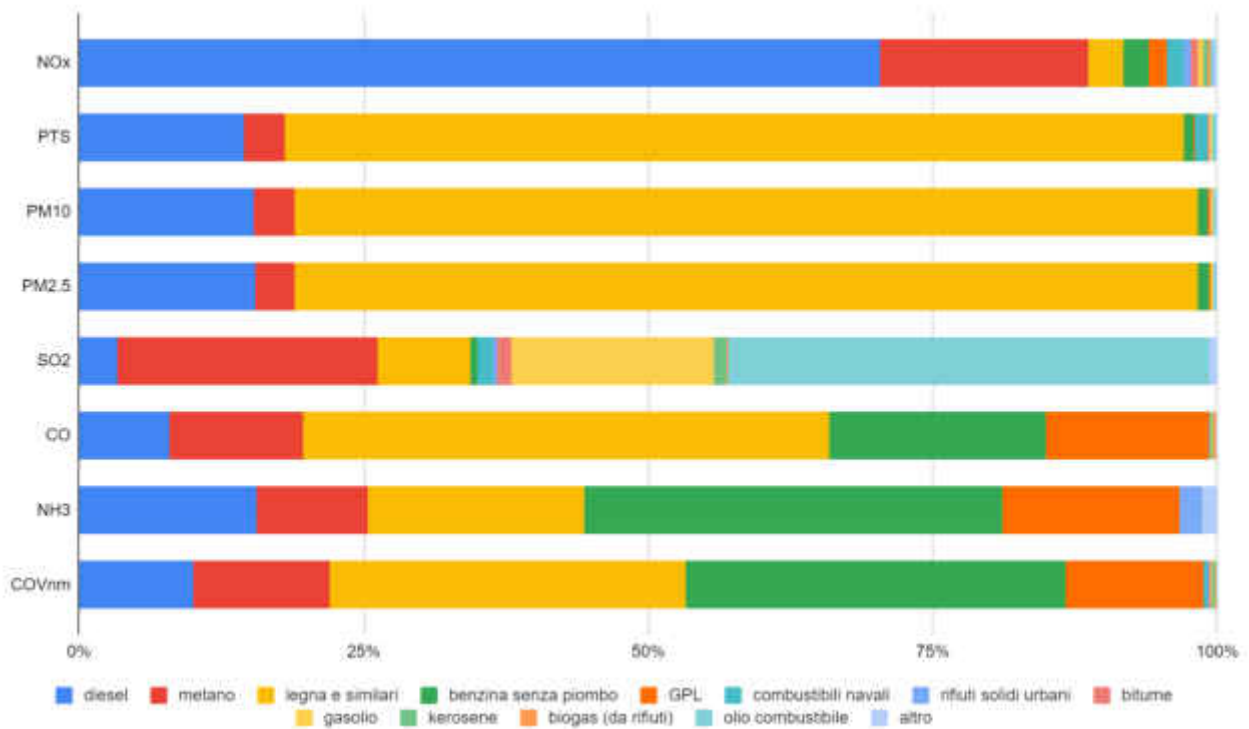


Figura 58b. Ripartizione percentuale delle emissioni dei principali inquinanti per combustibili (INEMAR 2017).

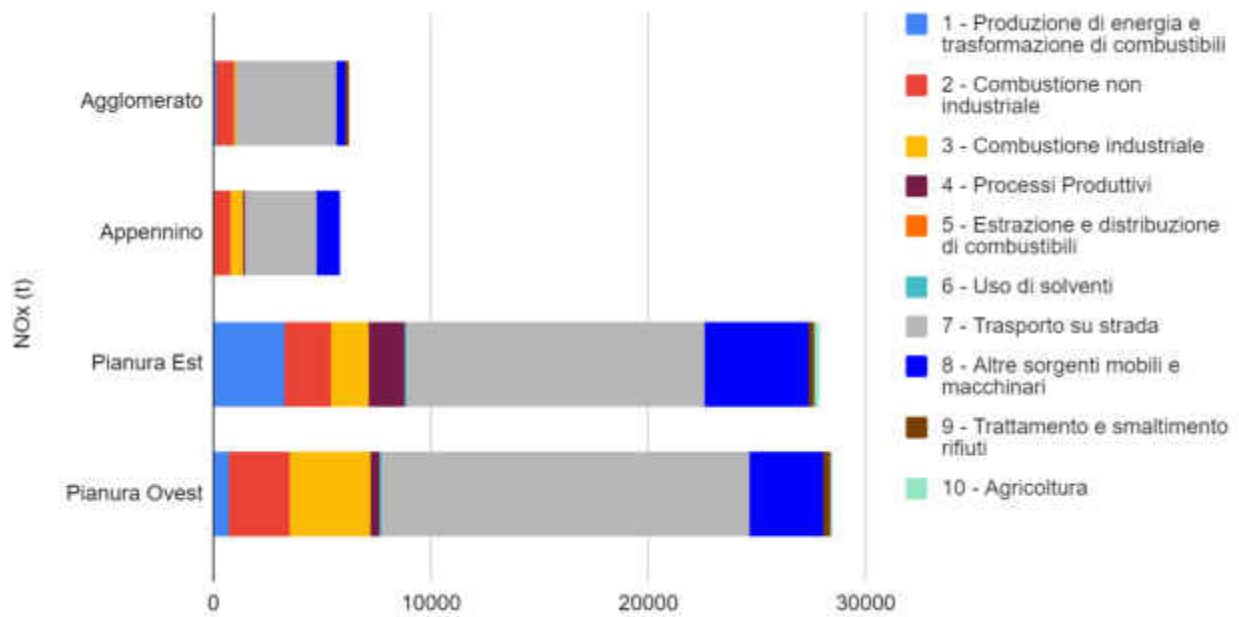


Figura 59. Ripartizione per macrosettore dei contributi emissivi di NOx per zone e agglomerato

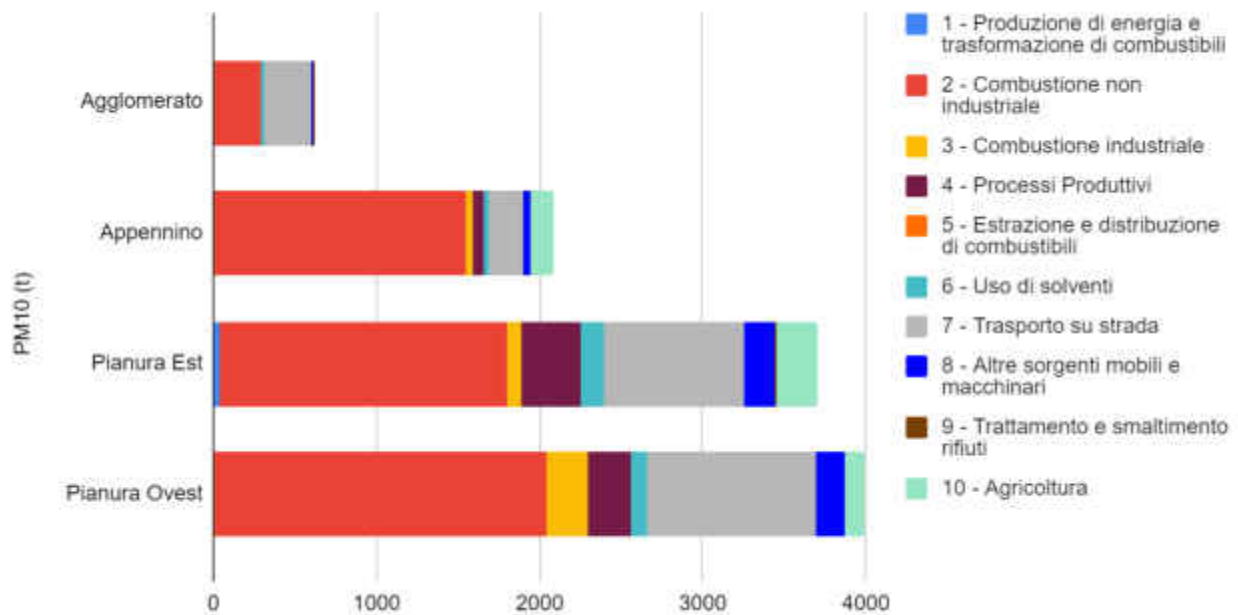


Figura 60. Ripartizione per macrosettore dei contributi emissivi di PM10 per zone e agglomerato

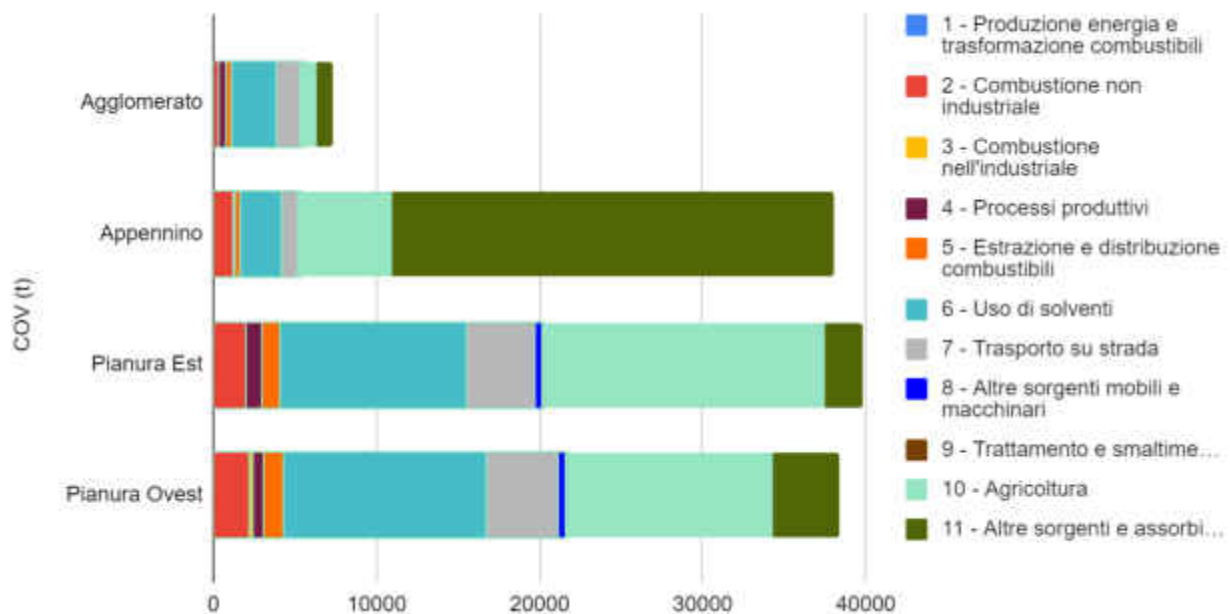


Figura 61. Ripartizione per macrosettore dei contributi emissivi di COV per zone e agglomerato

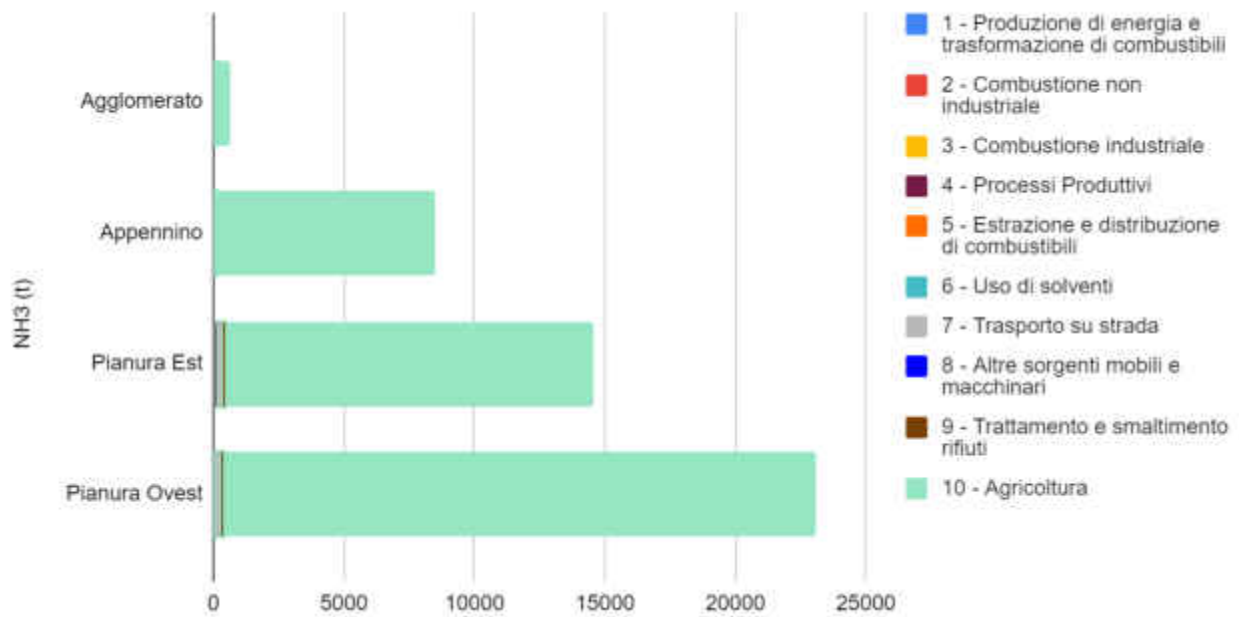


Figura 62. Ripartizione per macrosettore dei contributi emissivi di NH₃ per zone e agglomerato

Gas climalteranti

Per quanto riguarda i principali gas climalteranti, le emissioni di CO₂ sono imputabili per il 35% ai trasporti stradali (MS7) e per il resto ai processi di combustione industriali (MS3) e all'uso del metano per il riscaldamento (MS2). La stima dell'assorbimento da parte della vegetazione è pari a circa il 14% dell'emissione di di CO₂.

Le emissioni di N₂O sono quasi interamente dovute a coltivazioni e allevamenti (MS10).

Le emissioni di CH₄ sono dovute per il 45% alla zootecnia (MS10), per il 30% derivano dalle discariche di rifiuti (MS9), mentre la distribuzione del metano stesso e le sue emissioni fuggitive contribuiscono per il 21% circa (MS5).

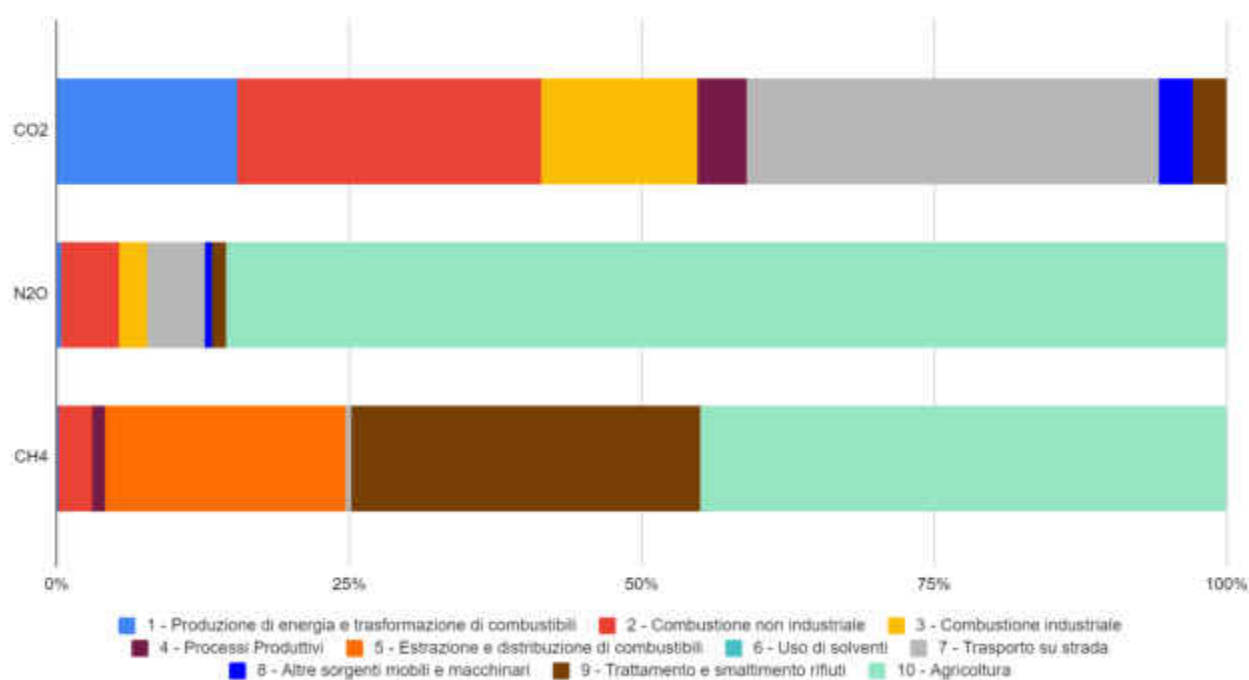


Figura 63. Contributi alle emissioni inquinanti di gas serra in Emilia-Romagna (INEMAR 2017)

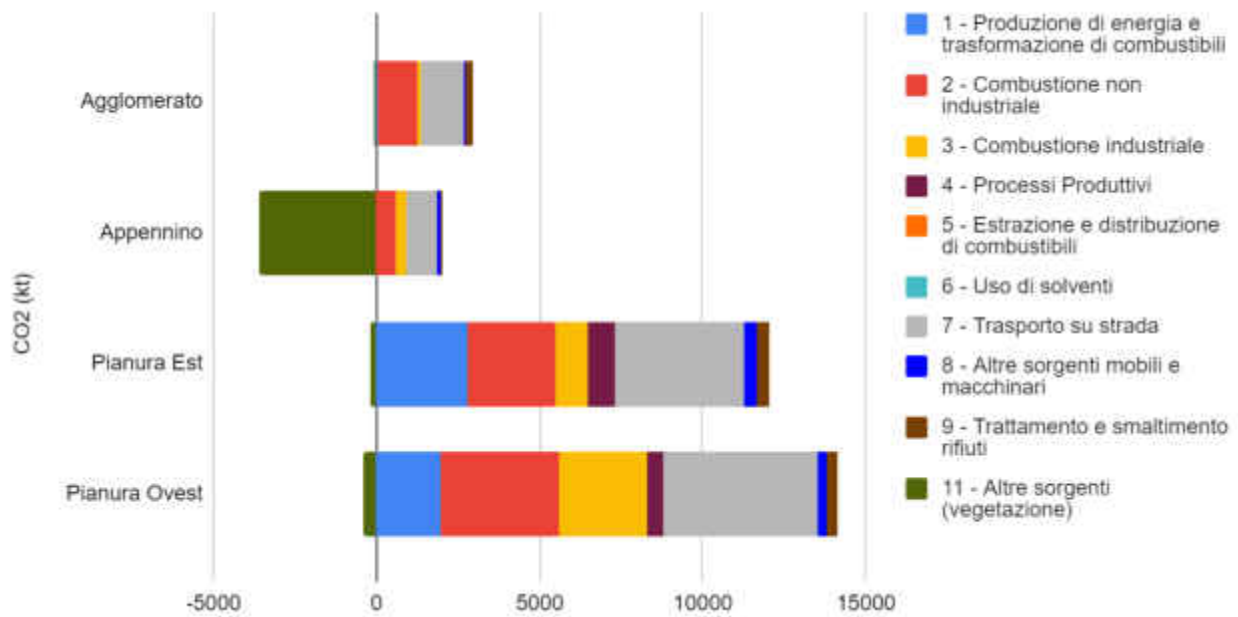


Figura 64. Ripartizione per macrosettore dei contributi emissivi di CO₂ per zone e agglomerato

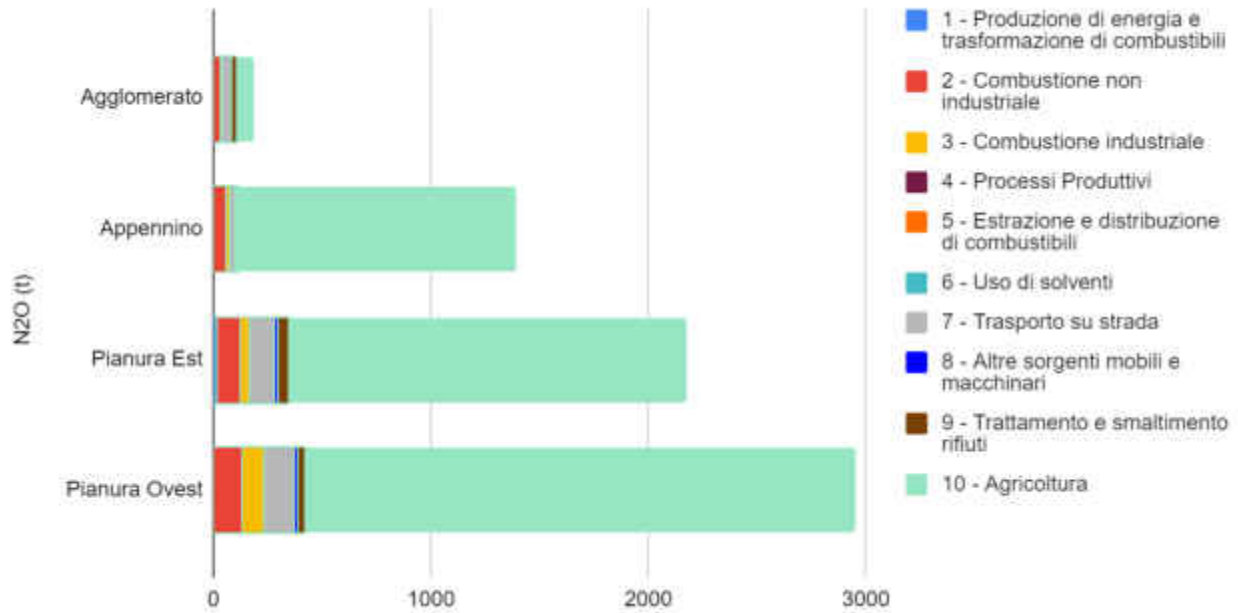


Figura 65. Ripartizione per macrosettore dei contributi emissivi di N₂O per zone e agglomerato

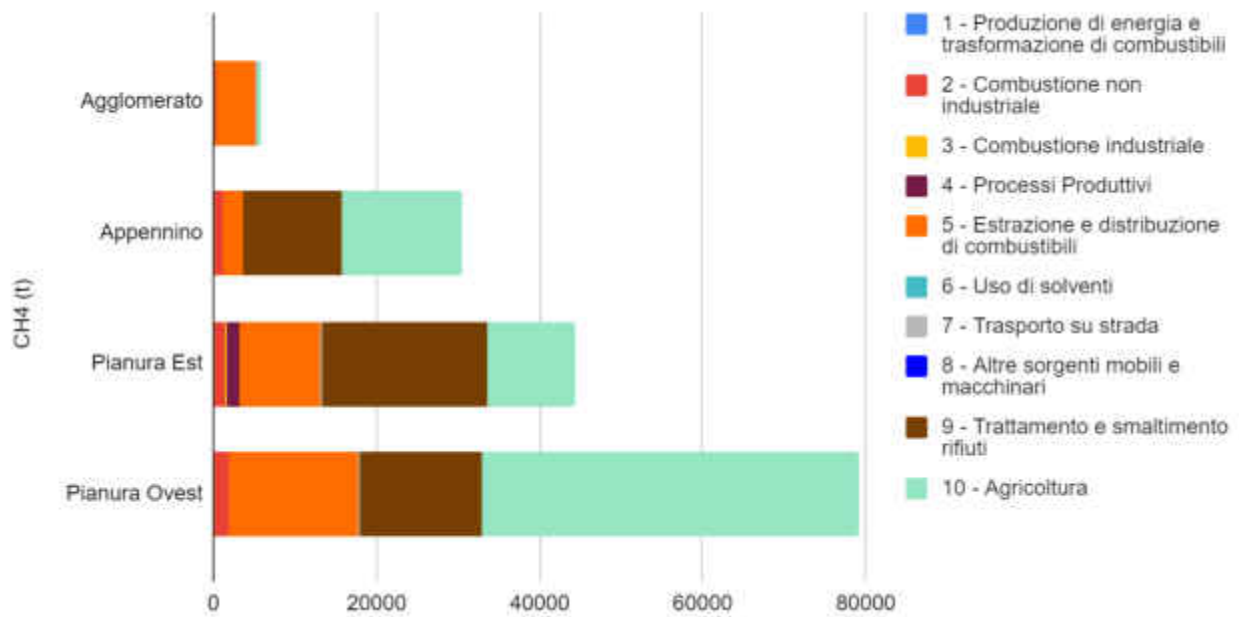


Figura 66. Ripartizione per macrosettore dei contributi emissivi di CH₄ per zone e agglomerato

Le emissioni extra-regionali

Il quadro emissivo di bacino padano è stato implementato a partire dai singoli inventari regionali nell'ambito del progetto PREPAIR (<https://www.lifeprepare.eu/>) che coinvolge enti amministrativi ed agenzie ambientali afferenti, oltre all'Emilia-Romagna, ai territori di Piemonte, Val d'Aosta, Lombardia, Veneto, Trentino Alto Adige, Friuli-Venezia-Giulia e Slovenia.

L'aggiornamento più recente è relativo all'anno 2017.

Tabella 8 Ripartizione delle emissioni di bacino padano (Piemonte, Val d'Aosta, Lombardia, Veneto, Trentino Alto Adige, Friuli-Venezia-Giulia) per macrosettori Corinair.

	NOx (t)	PTS (t)	PM ₁₀ (t)	PM _{2.5} (t)	SO ₂ (t)	CO (t)	NH ₃ (t)	COVnm (t)
1 - Produzione di energia e trasformazione di combustibili	19089	447	410	376	5731	10918	75	1270
2 - Combustione non industriale	29149	33107	31742	31297	2531	307761	1333	30040
3 - Combustione industriale	48071	3004	2419	1998	11633	27789	521	7659
4 - Processi Produttivi	6241	2081	1445	847	6489	40237	184	34646
5 - Estrazione e distribuzione di combustibili								18224
6 - Uso di solventi	752	2863	1956	1677	10	717	59	159972
7 - Trasporto su strada	131164	11634	11705	6592	215	172748	2141	38236
8 - Altre sorgenti mobili e macchinari	38642	1825	2026	1821	1053	16498	6	4632
9 - Trattamento e smaltimento rifiuti	3364	63	52	50	692	1303	1725	996
10 - Agricoltura	2117	5290	2762	1589	147	7672	200801	156412
11 - Altre sorgenti e assorbimenti	1190	4074	3467	3059	241	33677	316	247317
totali	279779	64390	57984	49307	28743	619319	207160	699405

Tabella 9. Contributi emissivi delle regioni del bacino padano (Piemonte, Val d'Aosta, Lombardia, Veneto, Trentino Alto Adige, Friuli-Venezia-Giulia).

	NOx (t)	PTS (t)	PM ₁₀ (t)	PM _{2.5} (t)	SO ₂ (t)	CO (t)	NH ₃ (t)	COVnm (t)
Valle d'Aosta	1709		595	422	159	9716	1688	2756
Piemonte	64539	15500	15829	12248	8362	157052	40045	165599
Lombardia	111475	22154	17823	15040	11180	208227	97114	243058
Veneto	61451	15826	13904	12704	5003	135888	51855	157229
Trentino Alto Adige	15044	5021	4585	4300	752	49302	7395	76045
Friuli Venezia Giulia	25562	5889	5247	4593	3286	59134	9064	54717
Totali	279779	64390	57984	49307	28743	619319	207160	699405

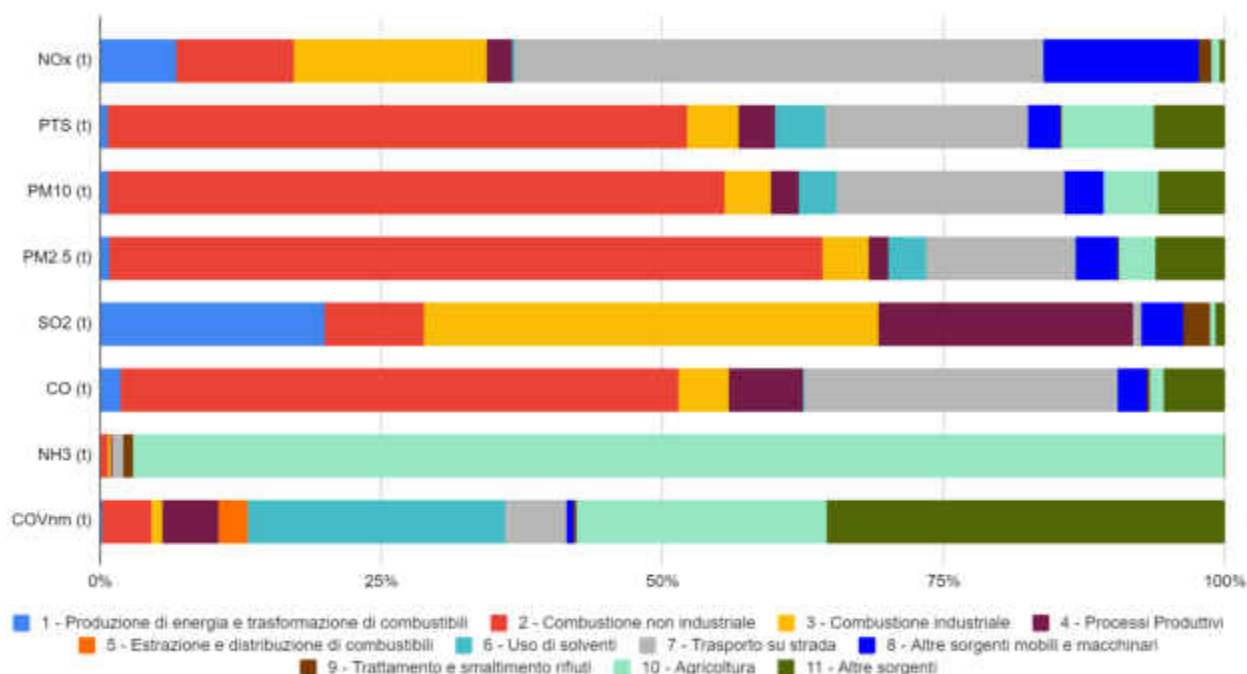


Figura 67. Contributi alle emissioni inquinanti nel bacino padano (Piemonte, Val d'Aosta, Lombardia, Veneto, Trentino Alto Adige, Friuli-Venezia-Giulia) per macrosettori Corinair.

Il contributo dell'Emilia Romagna alle emissioni del Bacino padano

In Tabella 10 è riportato il contributo dell'Emilia-Romagna alle emissioni del Bacino Padano, sia per ciascun macrosettore sia totali.

Tabella 10. Contributi dell'Emilia Romagna alle emissioni inquinanti nel bacino padano (in valore assoluto e percentuale)

	NOx (t)	Contributo % ER NOx	PTS (t)	Contributo % ER PTS	PM10 (t)	Contributo % ER PM10	PM2.5 (t)	Contributo % ER PM2.5	SO2 (t)	Contributo % ER SO2	CO (t)	Contributo % ER CO	NH3 (t)	Contributo % ER NH3	COVnm (t)	Contributo % ER COVnm
1 - Produzione di energia e trasformazione di combustibili	23218	18%	508	12%	452	9%	413	9%	6133	7%	13624	20%	88	15%	1405	10%
2 - Combustione non industriale	35656	18%	39866	17%	38165	17%	37652	17%	2779	9%	367209	16%	1466	9%	36717	18%
3 - Combustione industriale	54368	12%	3569	16%	2806	14%	2306	13%	19243	40%	30491	9%	543	4%	8008	4%
4 - Processi Produttivi	8358	25%	3223	35%	2151	33%	1328	36%	8924	27%	42652	6%	323	43%	36715	6%
5 - Estrazione e distribuzione di combustibili			0		0		0		2	100%	1	100%	0		21069	14%
6 - Uso di solventi	863	13%	3283	13%	2238	13%	1925	13%	25	60%	733	2%	63	6%	189403	16%
7 - Trasporto su strada	169942	23%	14864	22%	14110	17%	8303	21%	275	22%	226925	24%	2666	20%	49175	22%
8 - Altre sorgenti mobili e macchinari	48310	20%	2357	23%	2459	18%	2253	19%	1132	7%	19758	16%	8	25%	5623	18%
9 - Trattamento e smaltimento rifiuti	4070	17%	80	21%	59	12%	57	12%	730	5%	1536	15%	1868	8%	1045	5%
10 - Agricoltura	2522	16%	6162	14%	3277	16%	1821	13%	147		7672		246681	19%	193135	19%
11 - Altre sorgenti e assorbimenti	1190		4074		3467		3059		241		33677		316		282275	12%
totali	348499	20%	77988	17%	69184	16%	59118	17%	39632	27%	744277	17%	254021	18%	824571	15%

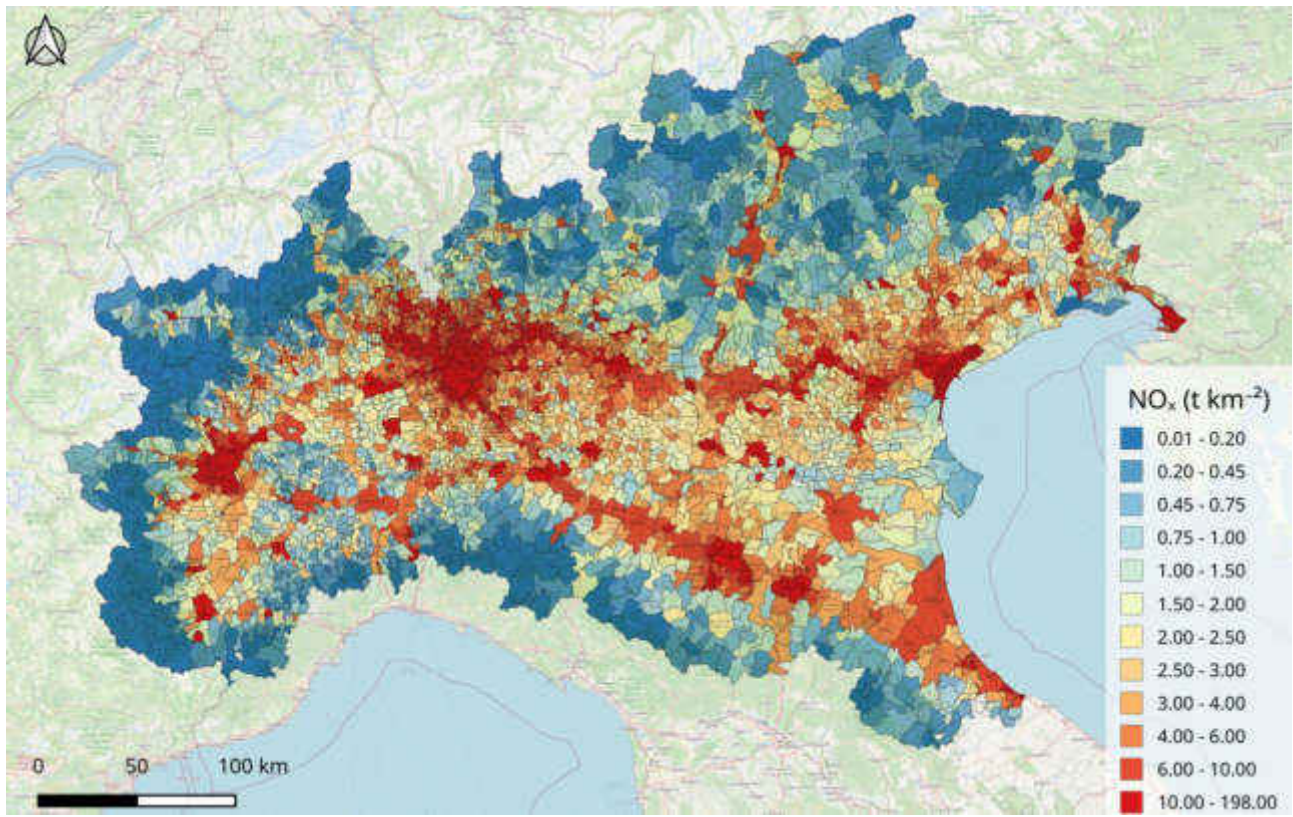


Figura 68. Mappa della densità emissiva (t/km²) di NOx

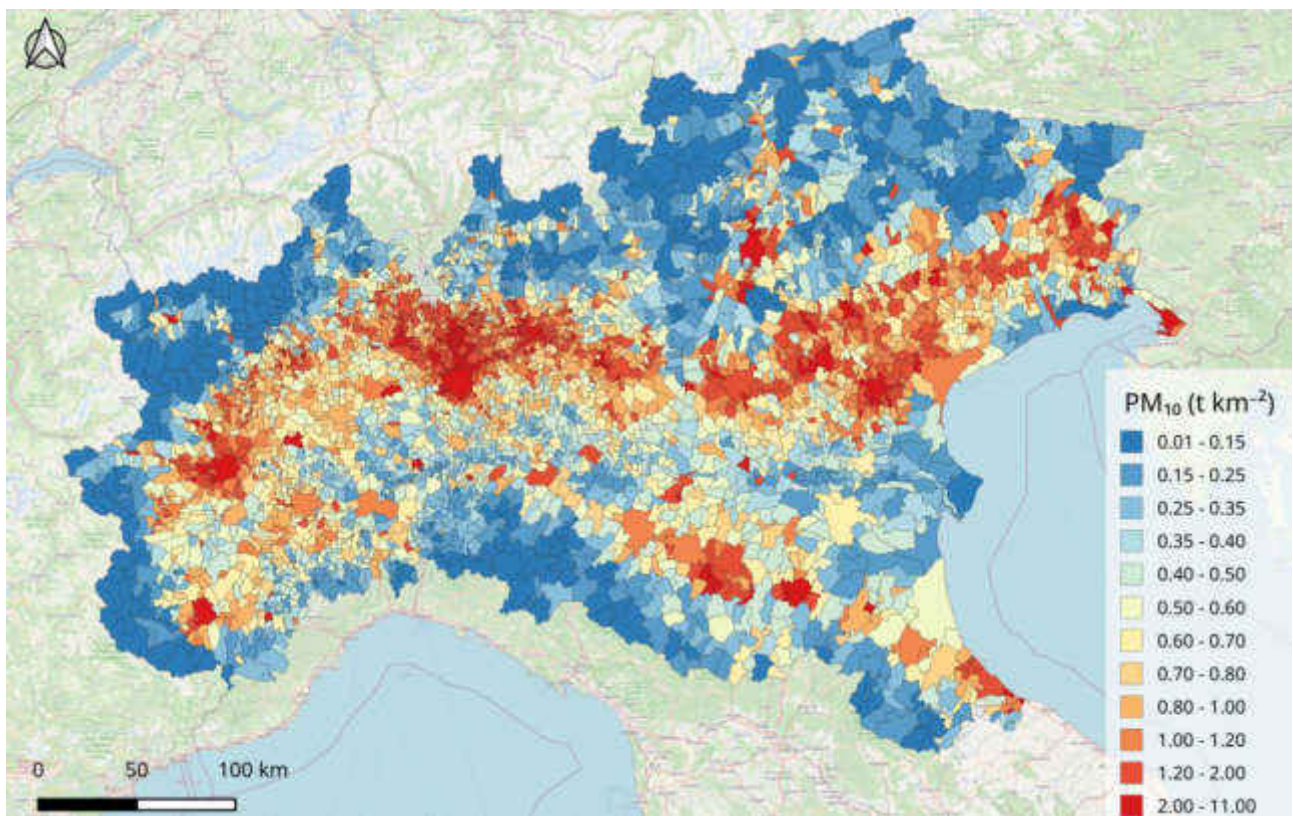


Figura 69. Mappa della densità emissiva (t/km²) di PM10

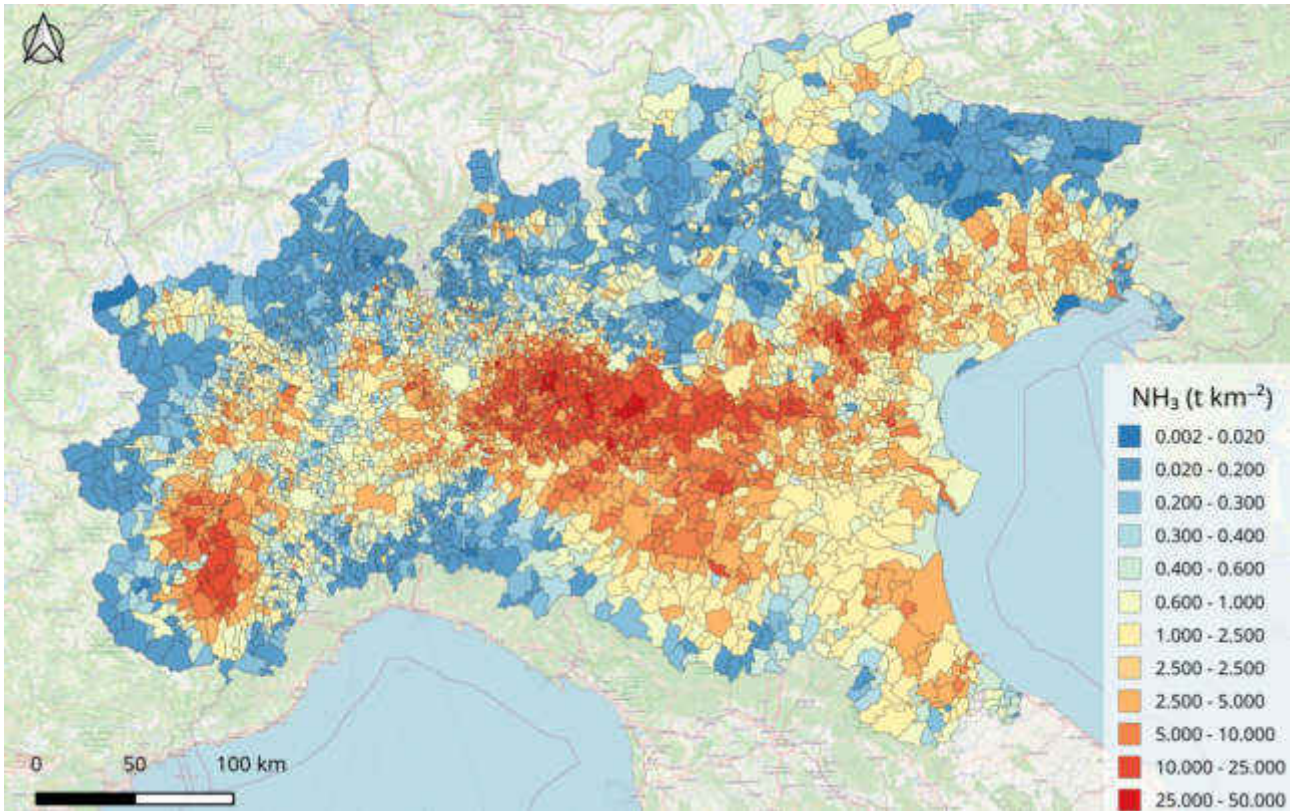


Figura 70. Mappa della densità emissiva (t/km²) di NH₃

Valutazione dell'esposizione della popolazione

Per il calcolo della popolazione esposta e dei livelli di esposizione le informazioni sulla distribuzione della popolazione regionale a livello di sezione di censimento sono state incrociate con le stime per le concentrazioni di fondo (media annua e numero di giorni di superamento), ottenute combinando i dati rilevati dalle stazioni di monitoraggio di fondo urbano-suburbano e rurale con le simulazioni modellistiche. L'approccio utilizzato per l'elaborazione dei dati di popolazione consiste nel calcolo della PWE (Population Weighted Exposure), ovvero la media dei valori di concentrazione che ricadono in ciascuna sezione, pesata per il numero di abitanti della sezione stessa.

L'assunzione alla base di questa valutazione è la distribuzione uniforme della popolazione all'interno di ciascuna sezione di censimento. In base a questa assunzione, nel caso in cui l'area contenente il dato ambientale comprenda solo parzialmente la superficie territoriale di una sezione di censimento, la definizione della numerosità della popolazione esposta a quella concentrazione risulta essere la percentuale proporzionale alla parte di sezione che ricade in ciascun quadrato della maglia di lato 3 km del modello ambientale. Questa impostazione è stata utilizzata per le intersezioni fra i quadrati di concentrazione ambientale e le sezioni di censimento, come illustrato in Figura 71.

È stato utilizzato il dato derivante dall'ultimo censimento (2011), riscaldando il numero di abitanti per sezione rispetto alla popolazione comunale degli anni successivi al 2011. Questo allineamento permette di seguire l'andamento demografico annuale (ottenuto dai dati ISTAT a livello comunale), nell'assunzione di una distribuzione costante della popolazione in ogni sezione dal 2011 al 2021.

Le informazioni utilizzate sono state scaricate dal sito ISTAT, dove, oltre alle tabelle demografiche annuali, si possono trovare sia i dati geografici sulle sezioni di censimento (come shapefile) che i dati di popolazione abbinati a ciascuna sezione.

Questa informazione spazializzata della popolazione ha permesso l'assegnazione dell'esposizione di ogni soggetto considerato nella popolazione in studio dell'inquinante considerato, in base alla media dei valori che ricadono all'interno della sezione di riferimento.

Si riportano di seguito i grafici dell'andamento nel periodo 2016-2021 della frazione (%) di popolazione dell'Emilia-Romagna residente in aree:

- con valori di concentrazione media annua di fondo per il PM10 minori di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, compresi tra 10 e 20, 20 e 30, 30 e $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$; non risulta popolazione esposta a livelli di concentrazione superiori al limite annuale di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- dove la concentrazione media giornaliera di PM10 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
- con valori di concentrazione media annua di fondo per il PM2,5 minori di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, compresi tra 10 e 15, 15 e 20, 20 e 25, 25 e $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- con valori di concentrazione media annua di fondo per NO₂ minori di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, compresi tra 10 e 15, 15 e 20, 20 e 25, 25 e 30, 30 e 35, 35 e $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- 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 $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per più di 75, tra 50 e 75, tra 25 e 50, tra 10 e 25 e meno di 10 giorni all'anno.

In Figura 72 è mostrato l'andamento nel periodo 2016 - 2021 della frazione (%) di popolazione, per ciascuna zona, residente in aree dove la concentrazione media giornaliera di PM10 risulta superiore al valore limite di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per più di 35 volte all'anno.

La popolazione esposta riportata è quella comunicata mediante Reporting alla UE.

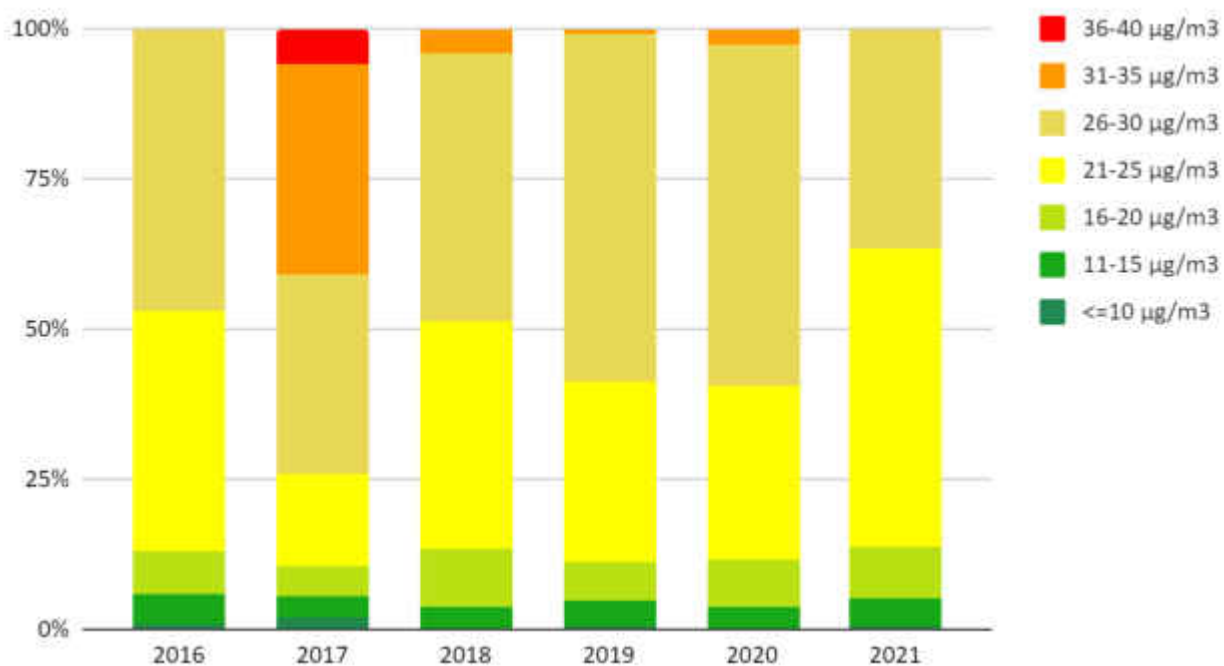
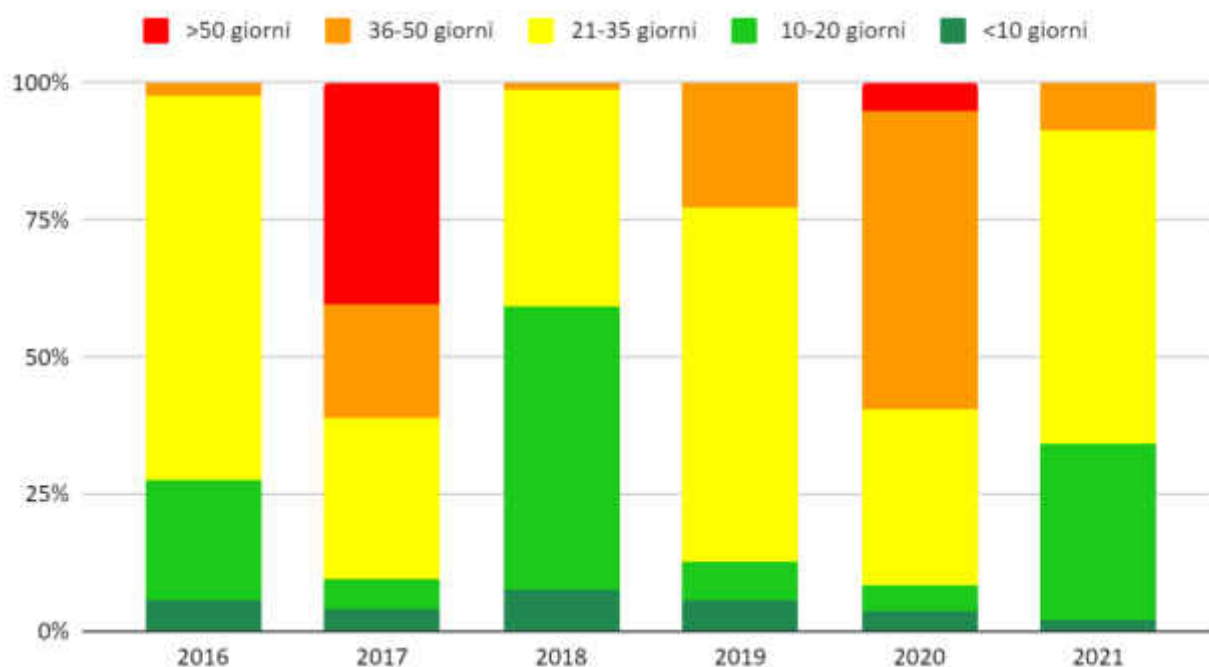


Figura 71. PM10¹⁹ - Popolazione esposta a diverse concentrazioni medie annuali²⁰ (2016-2021)



¹⁹ valori di fondo

²⁰ limite normativo, concentrazione media annua = 40 µg/m³

Figura 72. PM10²¹ - Popolazione esposta a superamenti del valore limite giornaliero²² (2016-2021)

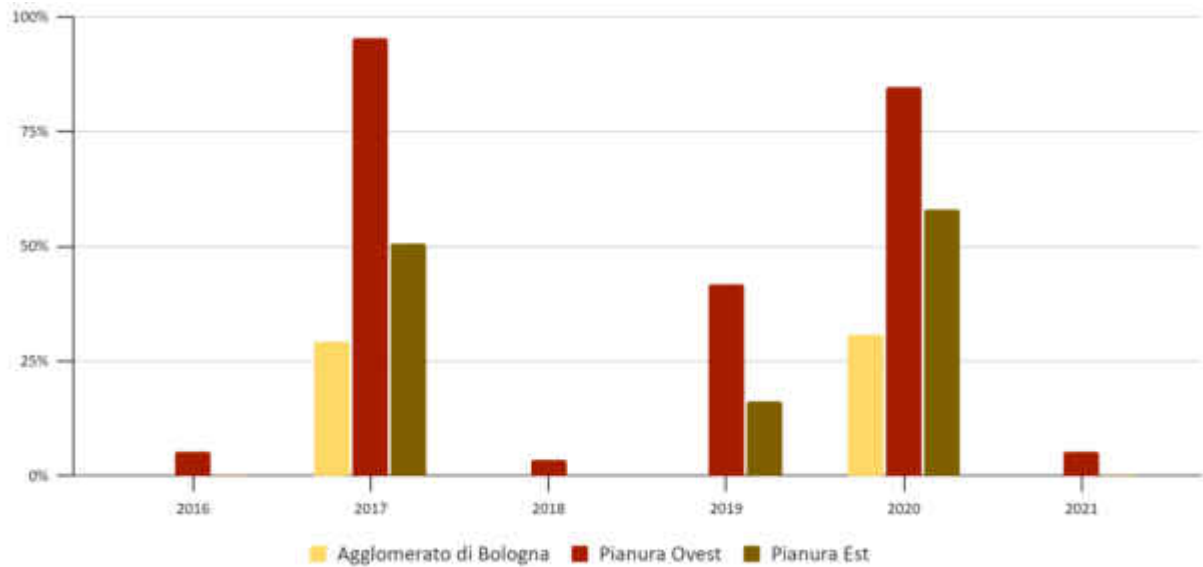
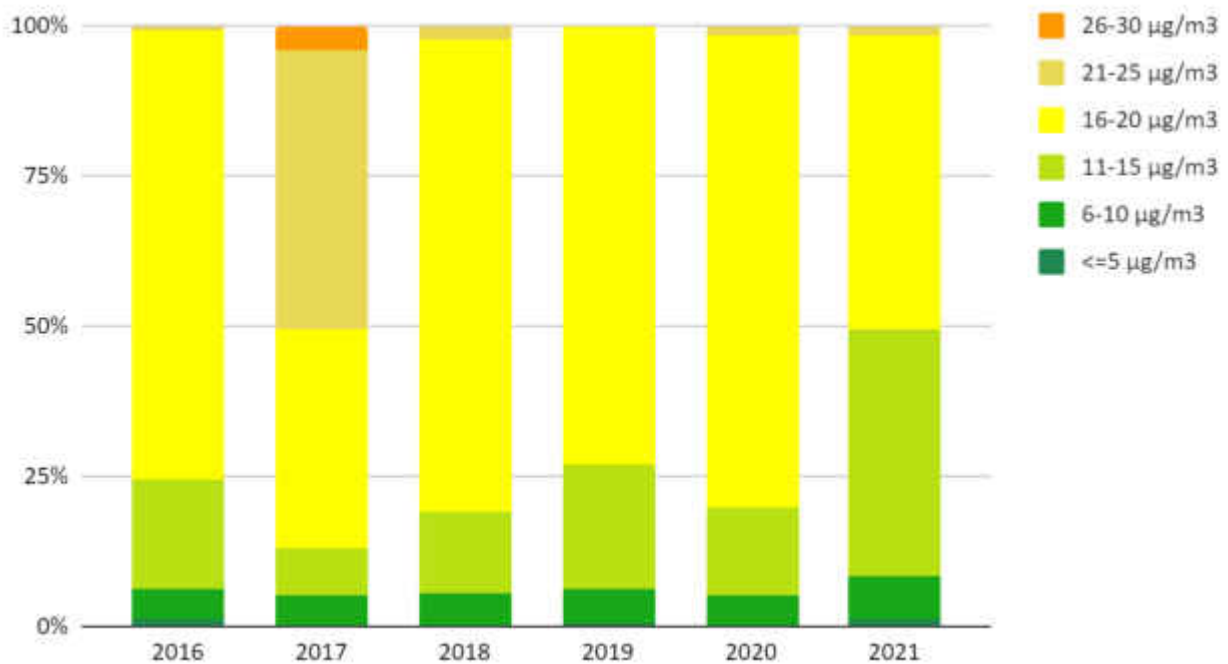


Figura 73. Andamento nel periodo 2016 - 2021 della frazione (%) di popolazione, per ciascuna zona, residente in aree dove la concentrazione media giornaliera di PM10 di fondo risulta superiore al valore limite di 50 µg/m³ per più di 35 volte all'anno



²¹ valori di fondo

²² concentrazione media giornaliera > 50 µg/m³ (da non superare più di 35 volte in un anno)

Figura 74. PM2.5²³ - Popolazione esposta a diverse concentrazioni medie annuali²⁴ (2016-2021)

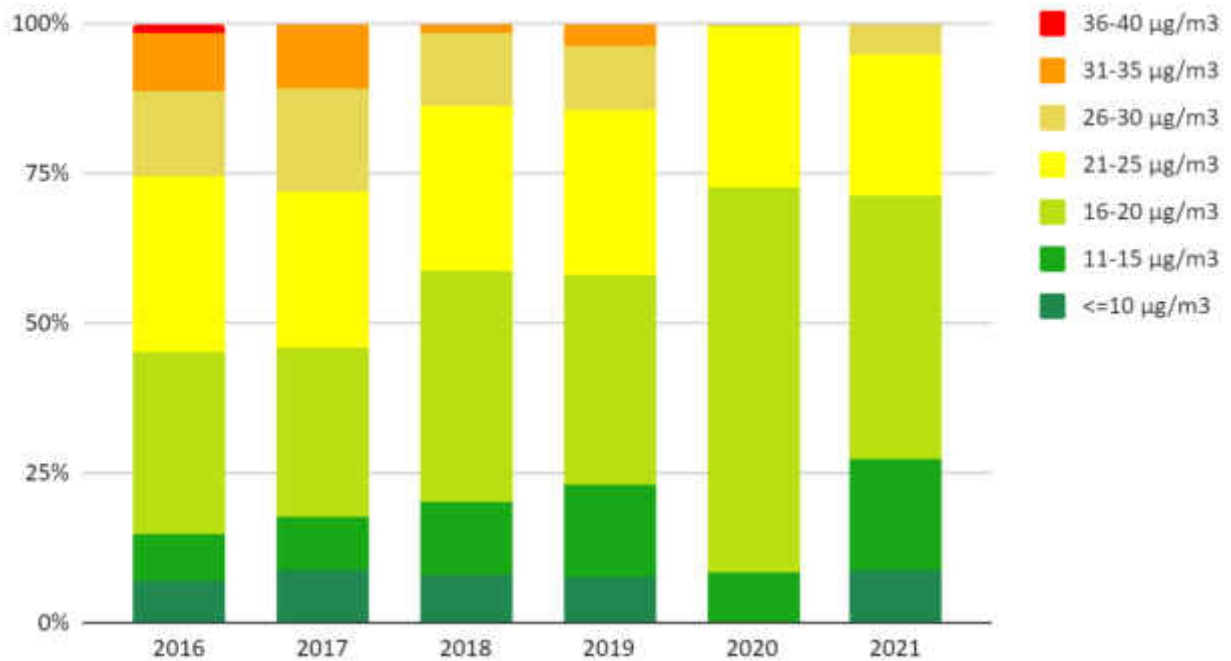


Figura 75. NO₂²⁵ - Popolazione esposta a diverse concentrazioni medie annuali²⁶ (2016-2021)

²³ valori di fondo

²⁴ limite normativo, concentrazione media annua = 25 µg/m³

²⁵ valori di fondo

²⁶ limite normativo, concentrazione media annua = 40 µg/m³

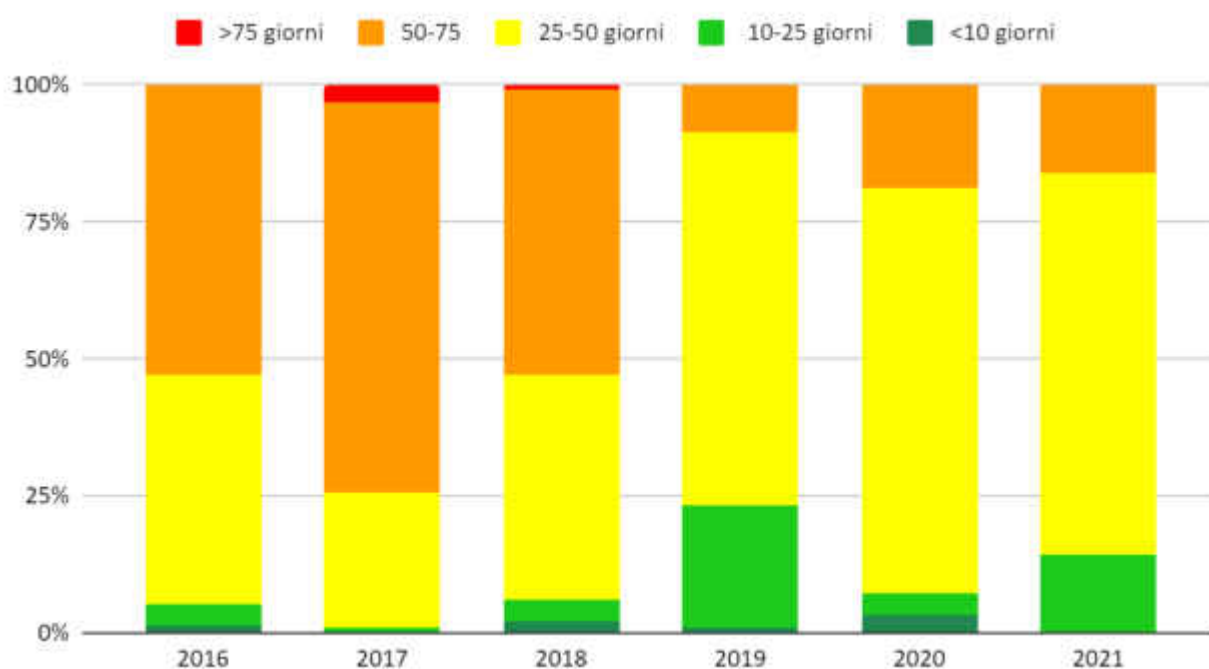


Figura 76. O₃²⁷ - Popolazione esposta a superamenti dell'obiettivo a lungo termine²⁸ (2016-2021)

Scenari e valutazioni preliminari del documento strategico programmatico

Scenari base e tendenziali (CLE)

Lo scenario emissivo di riferimento da cui hanno preso avvio le valutazioni è costituito dall'inventario regionale INEMAR aggiornato all'anno 2017 per tutte le regioni all'interno del bacino padano aderenti al progetto PREPAIR. Gli inquinanti considerati sono: NO_x, COV, NH₃, PM10, PM2.5, SO₂.

Gli scenari tendenziali sviluppati secondo la metodologia GAINS sono stati forniti da ENEA (vedi § II database delle tecnologie GAINS-Italy) relativamente agli anni 2010 e 2030 e sono stati interpolati al fine di disporre di dati relativi alle annualità utili per la predisposizione del piano.

Si è inoltre provveduto a costruire il database delle tecnologie nel formato GAINS per l'utilizzo di RIAT+.

Gli scenari implementati per la valutazione col software RIAT+ sono stati pertanto:

- 2017 (relativo allo scenario di riferimento),
- 2025 (anno intermedio),
- 2030 (orizzonte temporale del PAIR 2030).

La metodologia di calcolo del livello di attività e grado di applicazione delle tecnologie coinvolte è riportata di seguito.

Costruzione dello scenario tecnologico 2017:

- settore relativo alla combustione delle biomasse in ambito residenziale:

²⁷ valori di fondo

²⁸ massimo giornaliero della media mobile su 8 ore > 120 µg/m³

- livelli di attività (consumo di combustibile) e grado di applicazione delle tecnologie (1 stella, 2 stelle, ecc.) ricavati dall'analisi del consumo di biomasse legnose condotta all'interno del progetto PREPAIR
- settore relativo traffico stradale:
 - livelli di attività (consumi di combustibile) da interpolazione degli scenari tecnologici 2010 e 2030 di ENEA
 - grado di applicazione delle tecnologie (EURO1, EURO2, ...) dai dati di ripartizione del parco circolante ACI (2017)
- tutti gli altri settori emissivi:
 - livelli di attività e grado di applicazione da interpolazione degli scenari tecnologici 2010 e 2030 di ENEA

Costruzione dello scenario tecnologico 2025:

- settore relativo alla combustione delle biomasse in ambito residenziale:
 - livelli di attività (consumi di combustibile) ricavati dall'evoluzione prevista tra il 2010 e il 2030 degli scenari ENEA applicata al consumo del 2017 fino al 2025
 - grado di applicazione delle tecnologie ottenuto ipotizzando un tasso annuo di sostituzione al 6,5% (1 apparecchio sostituito ogni 15 anni) con impianti a 3 o 4 stelle
- settore relativo traffico stradale:
 - livelli di attività e grado di penetrazione delle tecnologie da interpolazione dello scenario 2017 e dello scenario 2030 (ENEA) per l'anno 2025
- tutti gli altri settori emissivi:
 - livelli di attività e grado di applicazione da interpolazione degli scenari tecnologici 2010 e 2030 di ENEA

Costruzione dello scenario tecnologico 2030:

- settore relativo alla combustione delle biomasse in ambito residenziale:
 - livelli di attività (consumi di combustibile) da evoluzione prevista tra il 2010 e il 2030 degli scenari ENEA applicata al consumo del 2017 fino al 2030
 - grado di applicazione delle tecnologie ipotizzando un tasso annuo di sostituzione al 6,5% (1 apparecchio sostituito ogni 15 anni) con impianti a 4 o 5 stelle
- settore relativo traffico stradale:
 - livelli di attività e grado di applicazione delle tecnologie da scenario 2030 di ENEA
- tutti gli altri settori emissivi:
 - livelli di attività e grado di applicazione delle tecnologie da scenario 2030 di ENEA

Confrontando le stime dello scenario emissivo di riferimento INEMAR 2017 e degli scenari emissivi tendenziali a legislazione corrente (Current Legislation) CLE 2025 e CLE 2030, si evidenzia una tendenza significativa alla diminuzione delle emissioni di NOx (-34% al 2025 e -55% al 2030 rispetto alle emissioni del 2017) soprattutto grazie al miglioramento tecnologico legato al rinnovo parco veicolare nel comparto dei trasporti su strada e delle emissioni del particolato primario PM10 (rispettivamente -24% al 2025 e -41% al 2030) grazie principalmente al rinnovo tecnologico negli impianti domestici alimentati a biomasse legnose (camini, stufe e caldaie).

Per quanto riguarda le riduzioni emissive dei COV (-1% e -4% sempre rispettivamente al 2025 ed al 2030) i settori maggiormente coinvolti riguardano ancora il traffico stradale e gli impianti residenziali, mentre le riduzioni dell'SO₂ (-15% al 2025 e -24% al 2030) si concentrano principalmente nel settore industriale grazie alle politiche rivolte alla riduzione del tenore di zolfo nei combustibili liquidi e solidi.

Per l'ammoniaca si stimano riduzioni molto limitate (-2% al 2025 e -3% al 2030) a causa dell'azione limitata delle politiche europee e nazionali sulle attività del comparto agricolo.

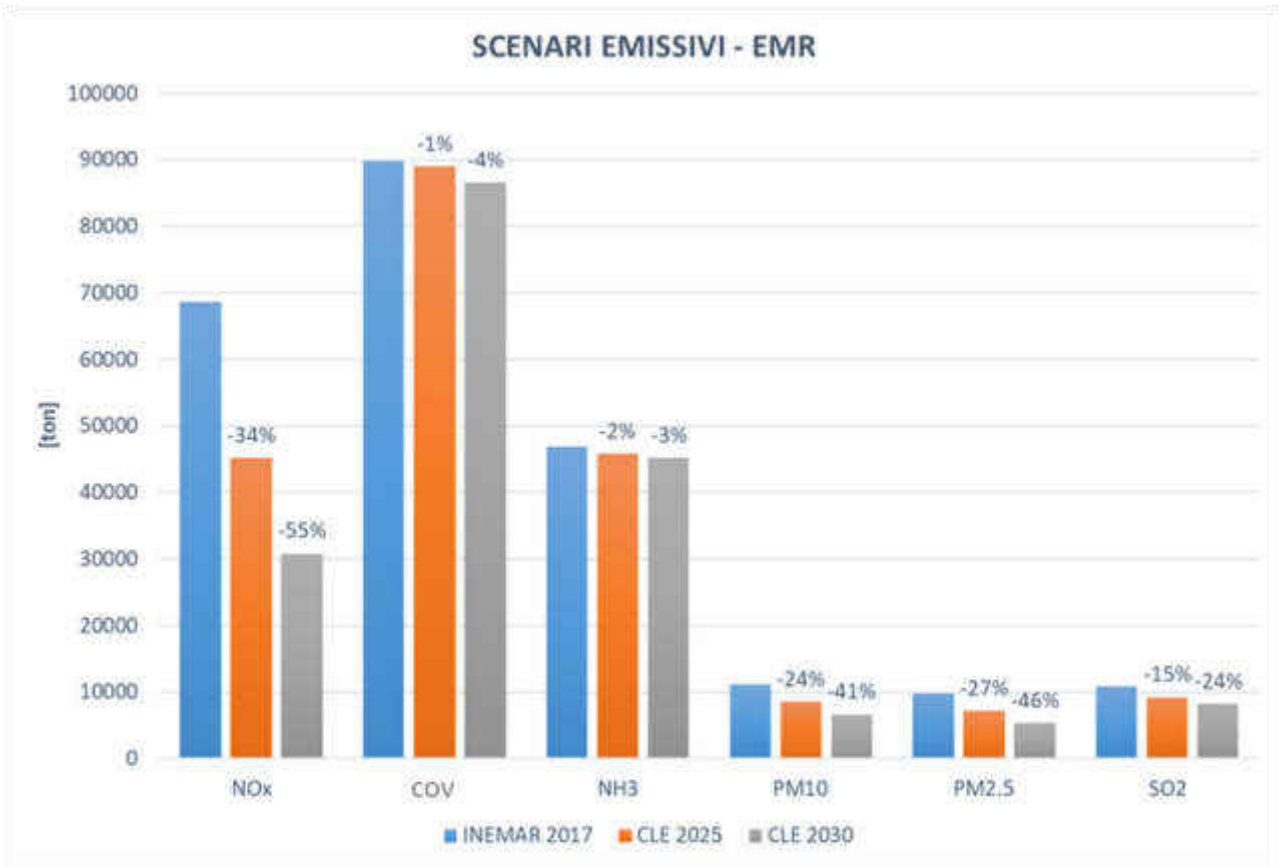


Figura 77. Confronto degli scenari emissivi per Emilia Romagna

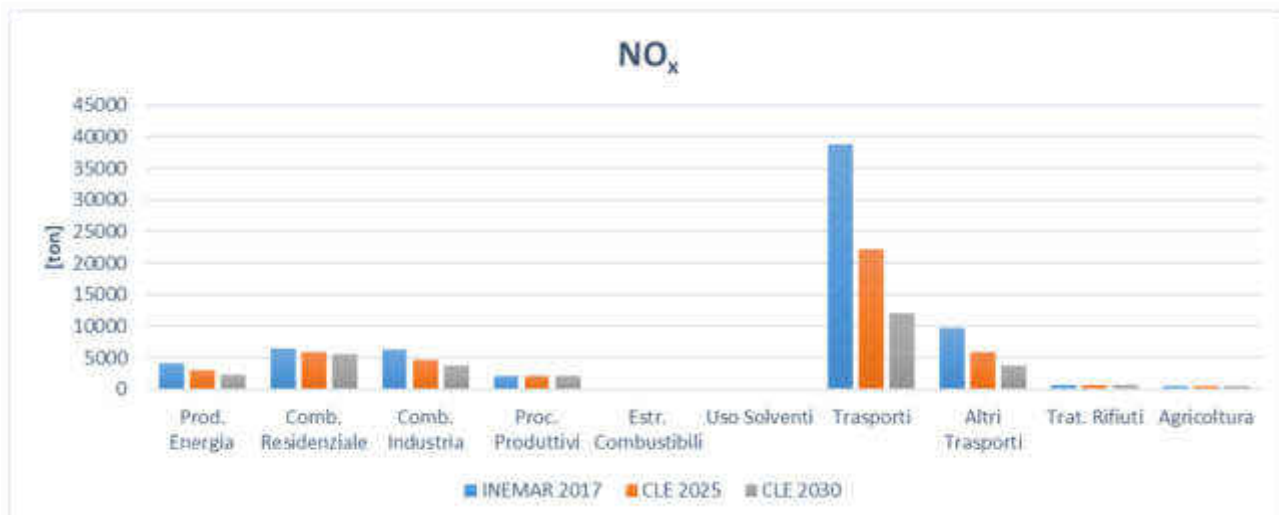


Figura 78. Confronto degli scenari emissivi per gli ossidi di azoto (NO_x), con dettaglio per settore emissivo

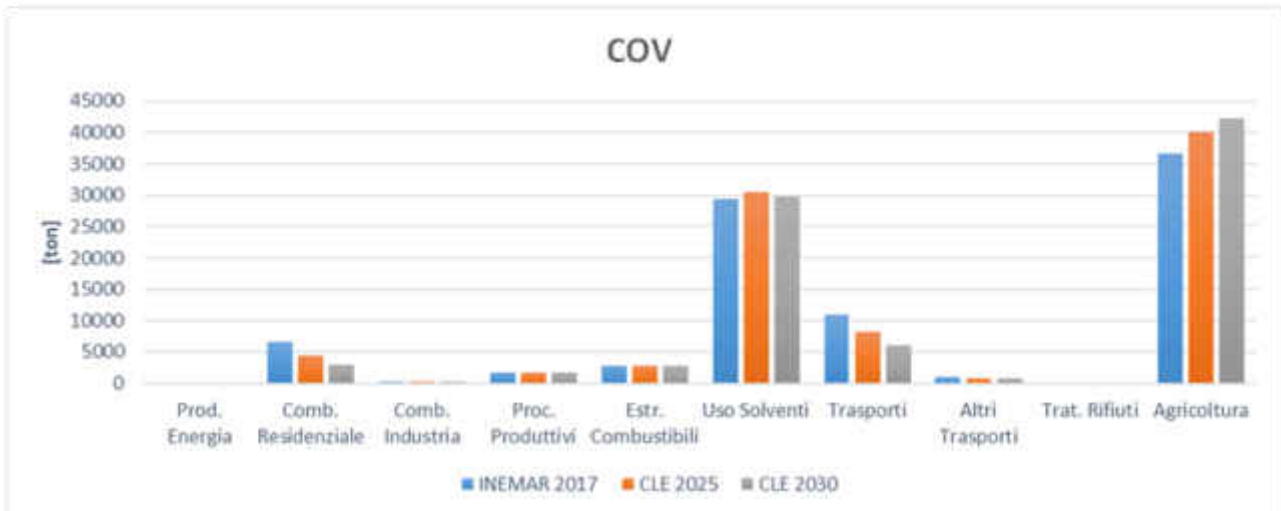


Figura 79. Confronto degli scenari emissivi per i composti organici volatili (COV), con dettaglio per settore emissivo

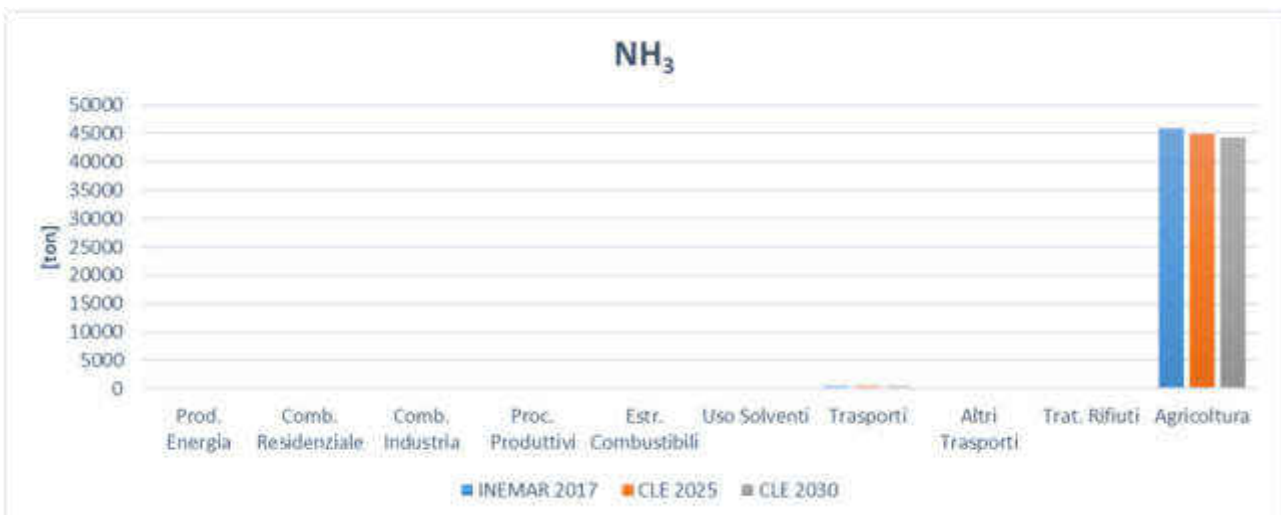


Figura 80. Confronto degli scenari emissivi per l'ammoniaca (NH₃), con dettaglio per settore emissivo

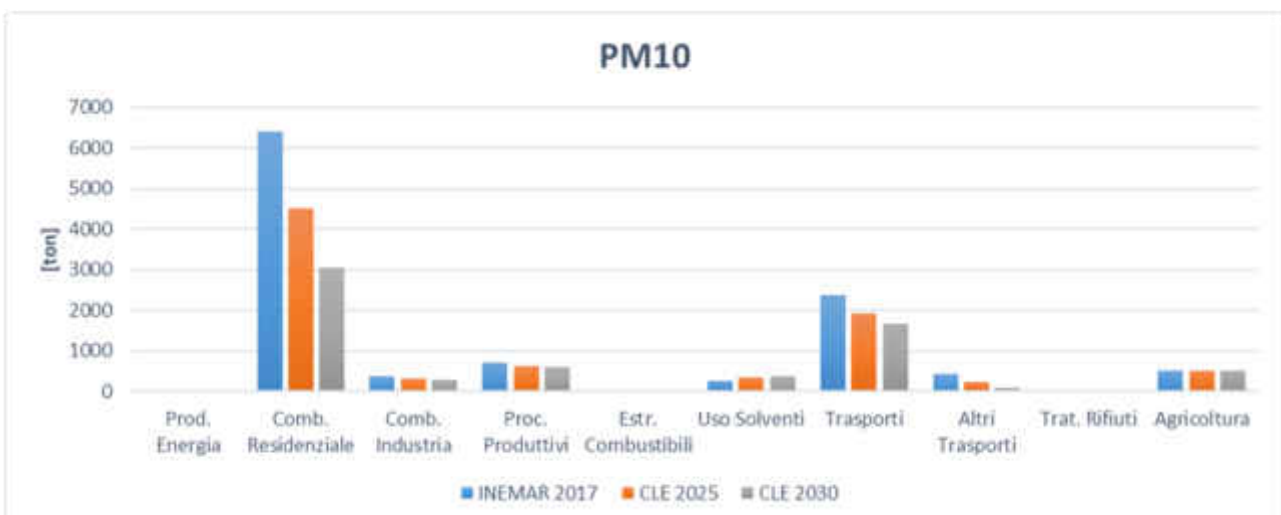


Figura 81. Confronto degli scenari emissivi per il PM10, con dettaglio per settore emissivo

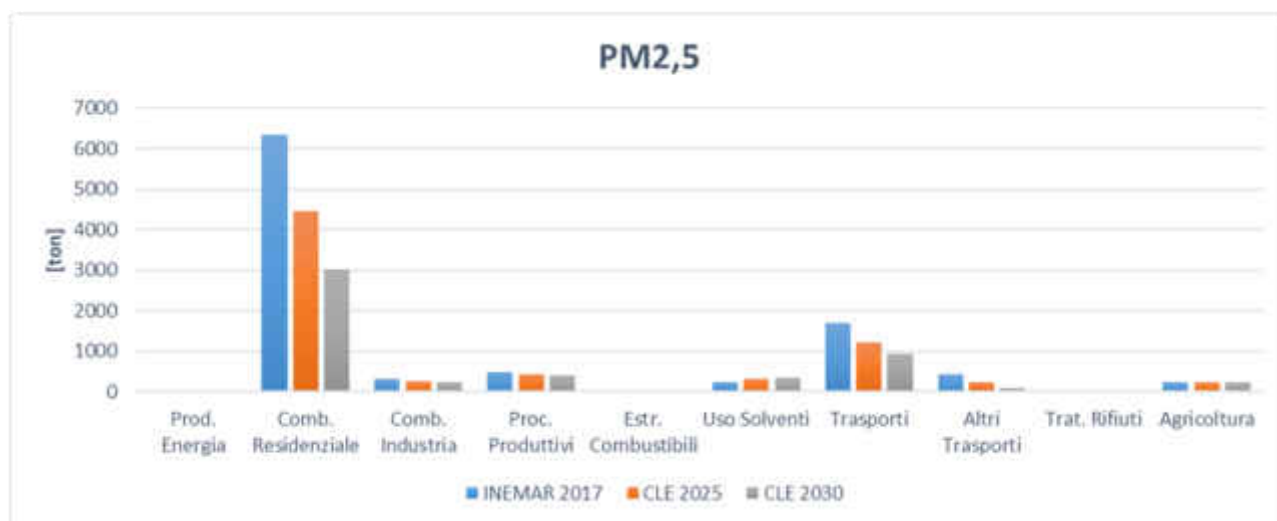


Figura 82. Confronto degli scenari emissivi per il PM2.5, con dettaglio per settore emissivo

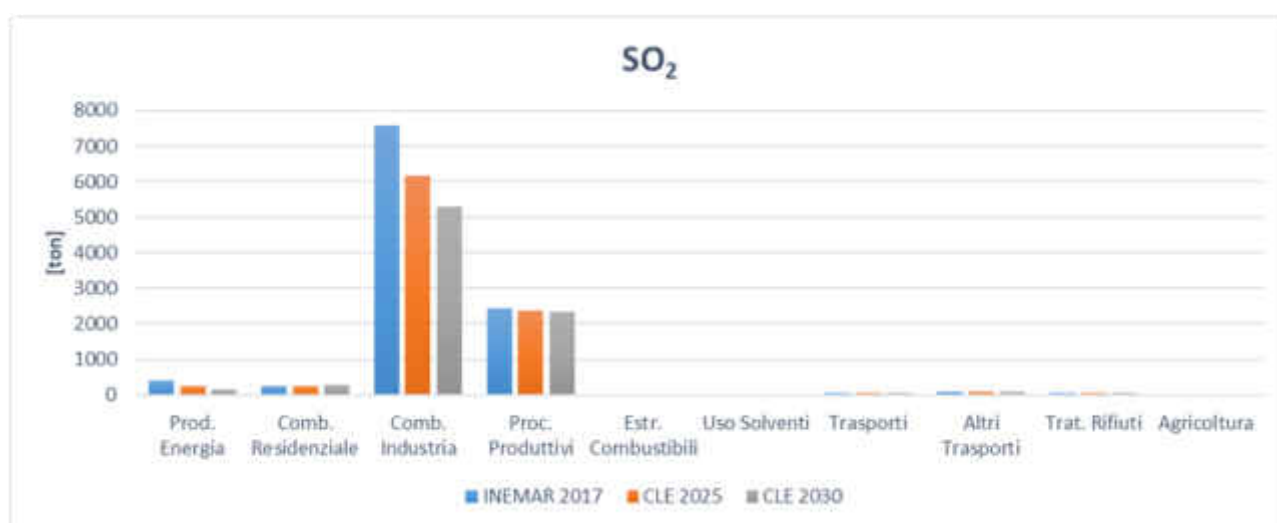


Figura 83. Confronto degli scenari emissivi per il biossido di zolfo (SO₂), con dettaglio per settore emissivo

Scenario "teorico" di piano

Lo scenario "teorico" di piano si prefigge l'obiettivo del raggiungimento dei valori limite indicati dal D.Lgs n.155/2010 sull'intero territorio regionale entro l'anno 2030.

Attraverso il software RIAT+ (opzione - Scenario multi-obiettivo) è stata effettuata una simulazione per individuare il set di politiche che permettano di minimizzare le concentrazioni di PM10 sul dominio regionale (ed i costi di implementazione delle politiche) e stabilire conseguentemente su quali settori il piano deve agire per ottenere le riduzioni emissive necessarie.

In Figura 84 sono riportate le emissioni dei principali inquinanti in atmosfera dello scenario base al 2017, degli scenari tendenziali CLE 2025 e CLE 2030 e dello scenario teorico di piano così come individuate dal software RIAT+. Dall'esame del grafico si nota che i margini di intervento tecnologico sulle emissioni di ossidi

di azoto sono limitate dal fatto che lo scenario CLE 2030 ha già previsto un significativo rinnovo del parco veicolare verso direttive EURO a minore emissione; lo spazio di riduzione è un po' più ampio per il PM10 dove il rinnovo "naturale" degli impianti a biomassa può essere ulteriormente "stimolato" attraverso politiche regionali; lo scenario teorico individua infine un intervento significativo di riduzione delle emissioni di ammoniaca, comparto nel quale le politiche europee ed italiane come detto non sono di fatto intervenute nel CLE 2030.

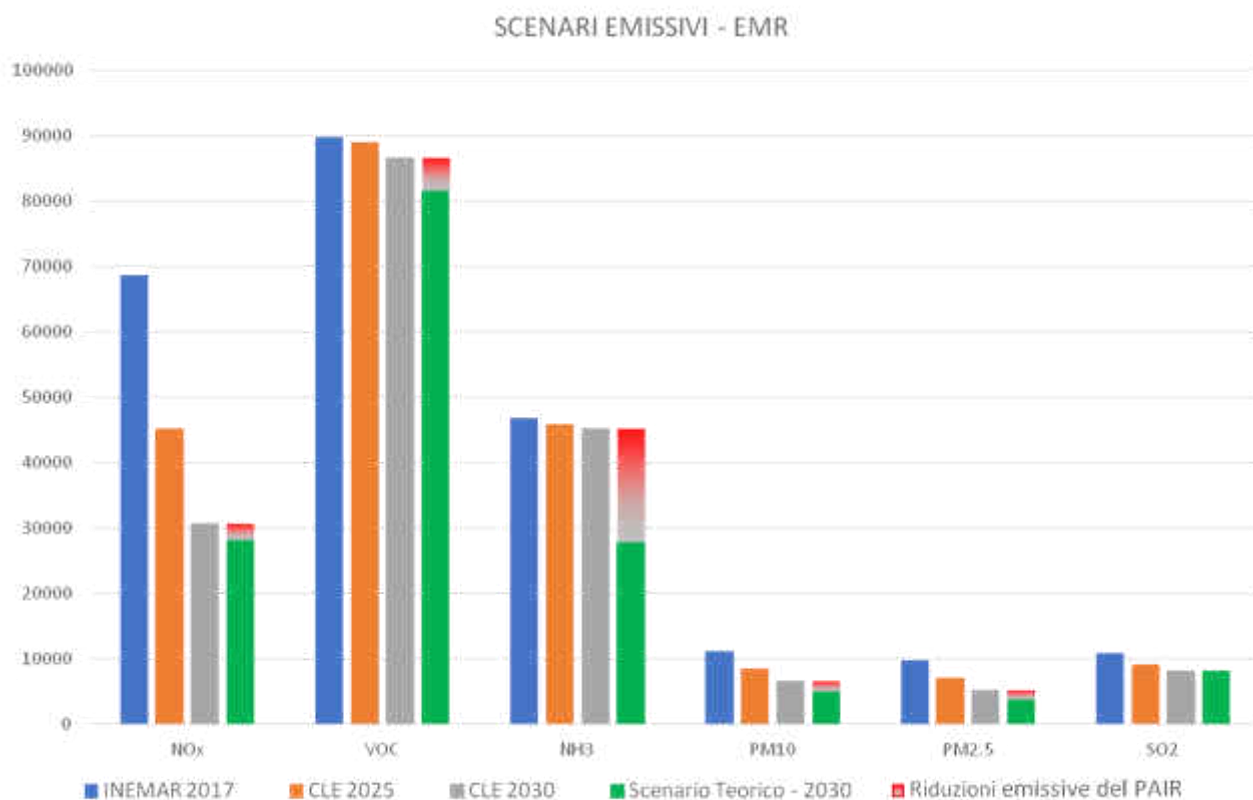


Figura 84. Scenario di riferimento 2017, scenari tendenziali CLE 2025 e CLE 2030 e scenario teorico. Le riduzioni si riferiscono allo scenario CLE 2030.

Tabella 11. Emissioni totali dello scenario di riferimento 2017, scenari tendenziali CLE 2025 e CLE 2030, scenario teorico e riduzioni previste.

Scenario	Emissioni totali in [ton]					
	NOx	COV	NH ₃	PM10	PM2.5	SO ₂
INEMAR 2017	68720	90208	46861	11200	9811	10889
CLE 2025	45209	89046	43932	8500	7154	9215
CLE 2030	30803	86575	43058	6631	5311	8210
Scenario teorico di piano	28235	81639	26768	5128	3828	8207
Riduzioni emissive previste dallo scenario "teorico"	2568	4936	16290	1503	1483	3

In Tabella 11 sono indicate le emissioni dei principali inquinanti in atmosfera dello scenario base al 2017, degli scenari tendenziali CLE 2025 e CLE 2030 e dello scenario "teorico" di piano così come individuate dal software RIAT+.

Nei grafici riportati in Figure 85-90 sono rappresentati i settori emissivi su cui si ipotizza di agire nello scenario "teorico" per ottenere le riduzioni emissive previste e sopra riportate. Le dimensioni di ogni settore emissivo sono proporzionali alle riduzioni emissive del settore stesso.

Il settore prioritario di intervento per la riduzione della componente primaria di PM10, individuato nello scenario "teorico", è la combustione domestica di biomasse per la quale lo scenario prevede la conversione degli impianti meno efficienti con impianti a 5 stelle. Altre azioni individuate sono, per i processi produttivi, l'utilizzo di sistemi di depolverazione ad alta efficienza e per i trasporti, la conversione dei veicoli Euro < 5 in veicoli Euro 6.

Le riduzioni possibili per gli ossidi di azoto, dato l'importante rinnovo previsto del parco veicolare ed in particolare automobili, sono limitate e concentrate sul trasporto delle merci, settore per il quale la sostituzione dei veicoli diesel con veicoli elettrici o a basso impatto ambientale richiede tempi più lunghi (misura non tecnologica legata alla riduzione dei consumi di carburanti).

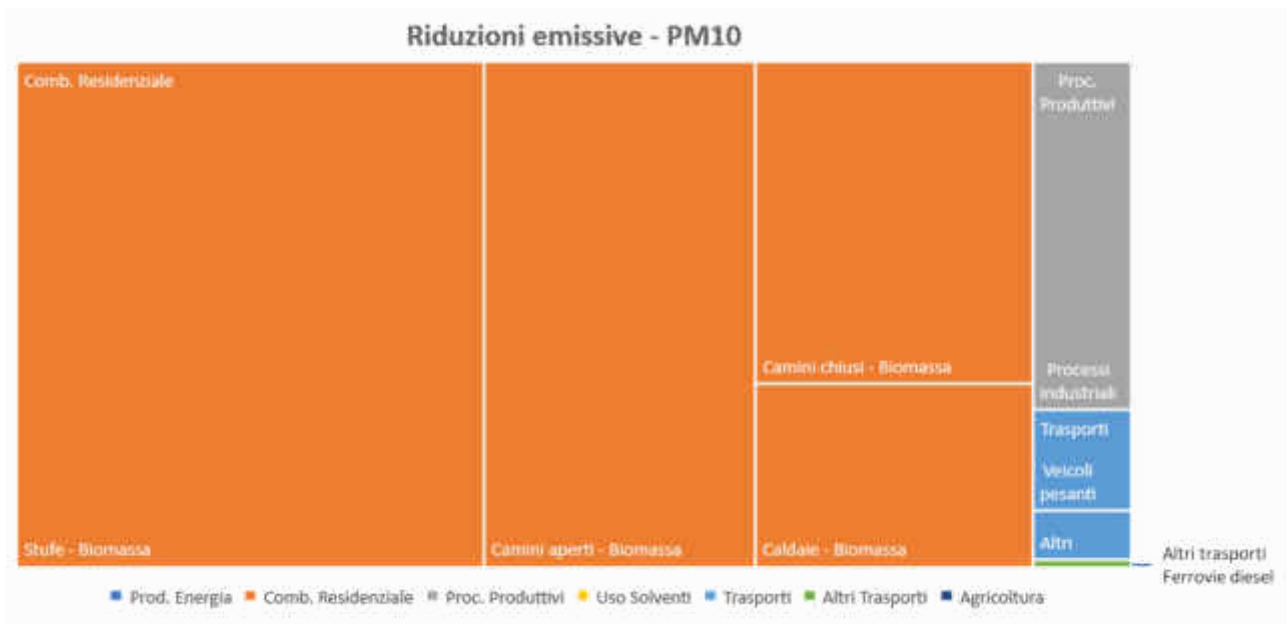


Figura 85. Distribuzione delle riduzioni emissive di PM10 relative allo scenario teorico.

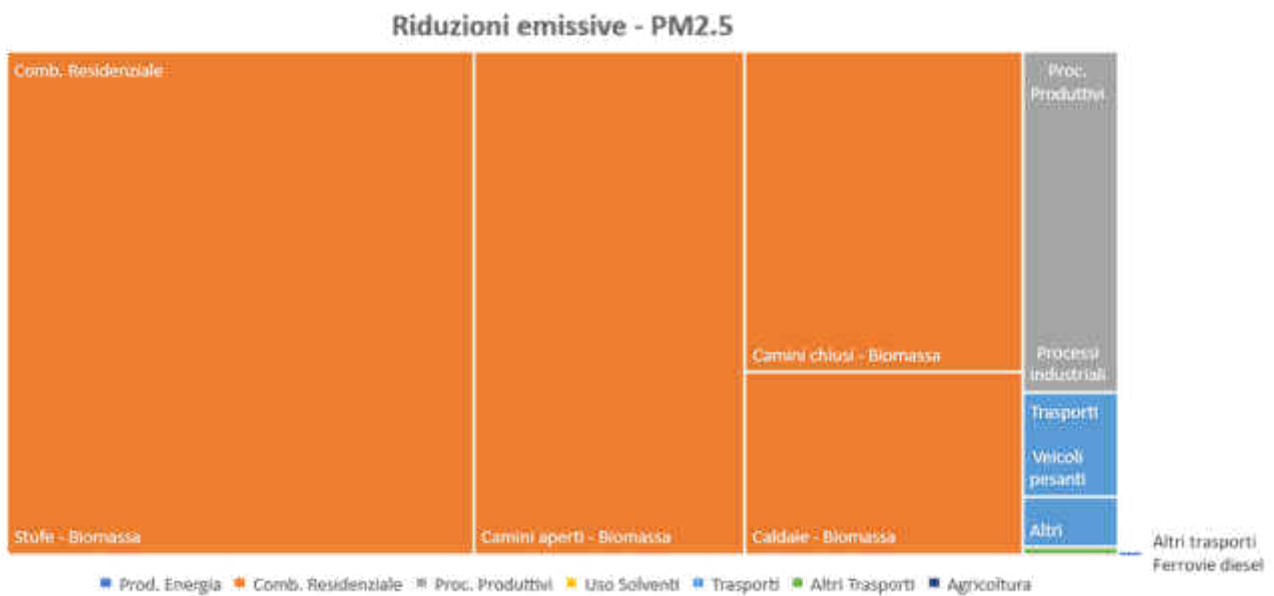


Figura 86. Distribuzione delle riduzioni emissive di PM2.5 relative allo scenario teorico.

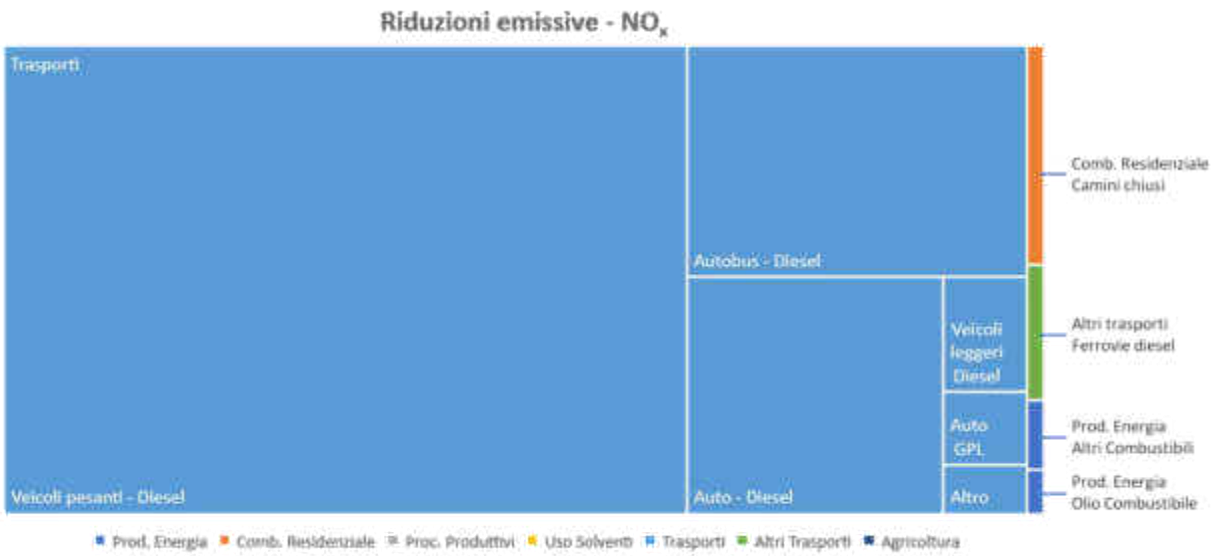


Figura 87. Distribuzione delle riduzioni emissive di NO_x relative allo scenario teorico.

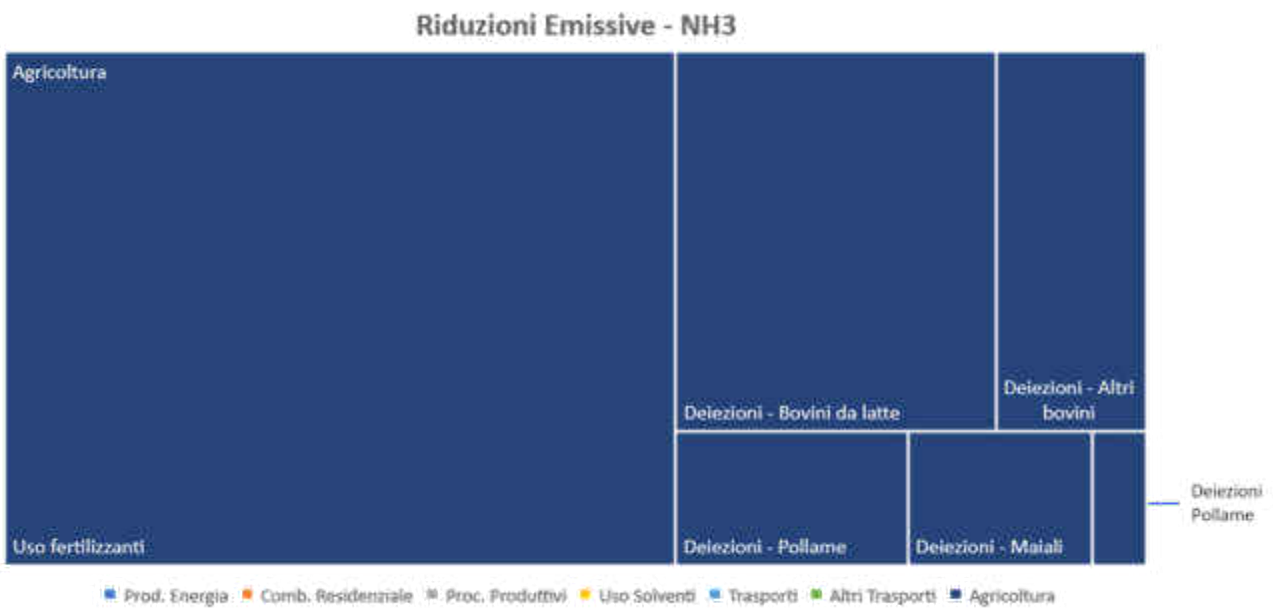


Figura 88. Distribuzione delle riduzioni emissive di NH₃ relative allo scenario teorico.

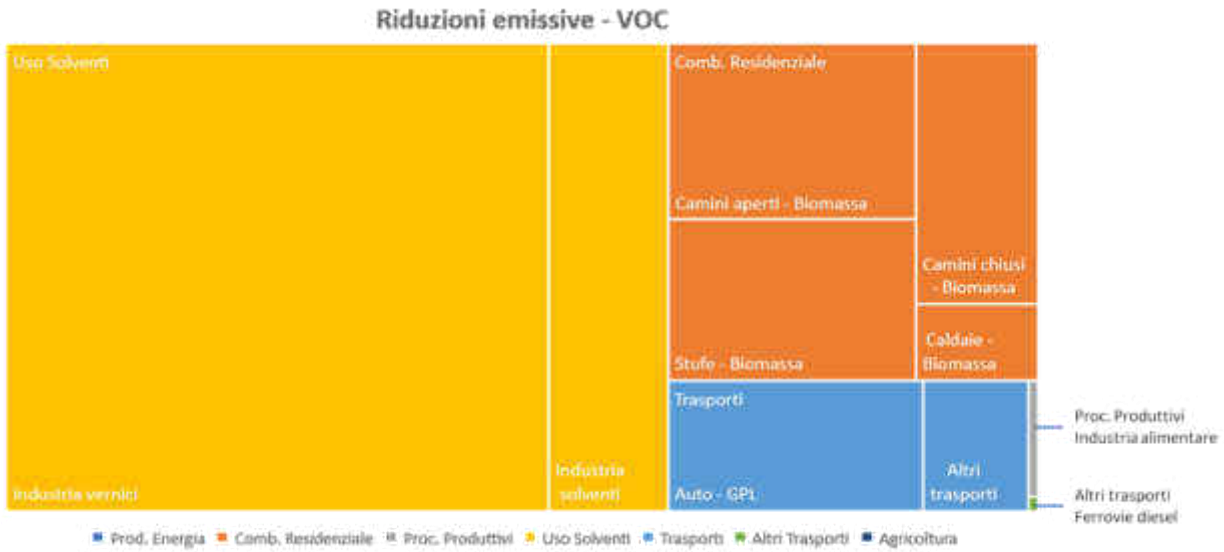


Figura 89. Distribuzione delle riduzioni emissive di COV relative allo scenario teorico.



Figura 90. Distribuzione delle riduzioni emissive di SO₂ relative allo scenario teorico.

La consistente riduzione delle emissioni prevista dallo scenario "teorico" per l'ammoniaca (-35% rispetto al CLE 2030) si ottiene attraverso interventi sull'uso dei fertilizzanti e sulla gestione e lo spandimento dei reflui zootecnici delle differenti tipologie di allevamento.

Per i composti organici volatili la limitata riduzione è concentrata nel settore uso solventi e nella combustione residenziale a biomassa.

Per il biossido di zolfo, invece, lo scenario "teorico" non riesce ad intervenire in modo sostanziale rispetto allo scenario CLE 2030, riducendo di fatto solo di 3 tonnellate le emissioni, come riportato in Tabella 11.

Lo scenario "teorico" di riduzione delle emissioni attraverso interventi di tipo tecnologico garantisce il rispetto del limite dei 35 superamenti della media giornaliera di PM10 per il territorio regionale tranne alcune condizioni locali vicine ad arterie stradali in cui non si ha la certezza del rientro di tale limite.

Risulta dunque necessario, a titolo cautelativo, che il PAIR 2030 agisca per la riduzione delle emissioni anche sul fronte degli indicatori di attività che, insieme ai fattori di emissione, determinano le emissioni regionali. Altrettanto importanti sono la formazione ed informazione degli operatori dei vari processi e dei cittadini per accompagnare le misure di Piano attraverso una maggiore consapevolezza dell'impatto del proprio stile di vita sulle emissioni e di conseguenza sulle concentrazioni degli inquinanti.

Lo scenario tendenziale PNCIA al 2030 di GAINS-Italy elaborato da RIAT+, da cui parte lo scenario "teorico", infatti, considera solo misure cosiddette tecnologiche, cioè le misure che consentono la riduzione delle emissioni inquinanti attraverso l'introduzione di sistemi di abbattimento (ad es. riduzione catalitica selettiva - SCR) od il cambio di tecnologia (ad es. la sostituzione di veicoli Euro I con veicoli Euro VI), oppure ancora attraverso la sostituzione di sistemi di combustione (ad es. stufe tradizionali sostituite con stufe a basse emissioni).

Ulteriori misure si possono affiancare a quelle tecnologiche per ottenere importanti miglioramenti sulla qualità dell'aria sia a livello regionale sia a scala locale e riguardano le misure non tecniche, di promozione o di indirizzo. Le azioni non tecniche o energetiche sono misure che mirano alla riduzione delle emissioni attraverso la riduzione dell'indicatore di attività emissiva (ad es. i consumi energetici, i km percorsi), ad esempio attraverso pratiche di coibentazione degli edifici, o modifiche del comportamento (ad es. attraverso il trasferimento della mobilità dal mezzo privato al mezzo pubblico o alle biciclette). Un esempio importante su questo fronte riguarda l'incentivazione per l'efficientamento degli edifici residenziali oppure l'incentivazione per l'acquisto e sostituzione dei veicoli a combustione con veicoli a trazione elettrica.

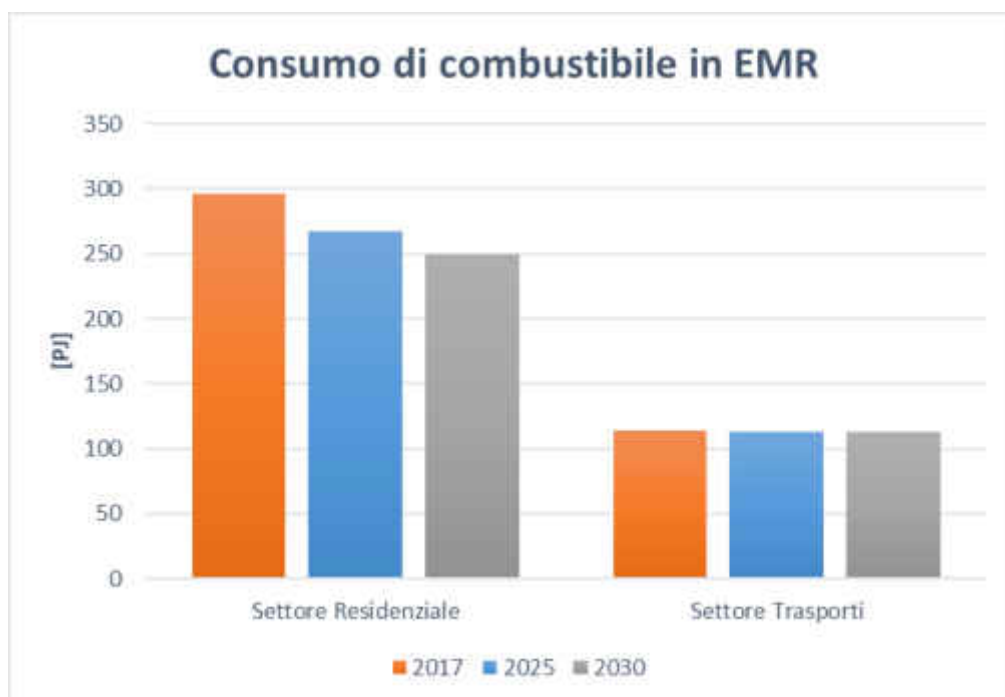


Figura 91. Consumi di combustibile in PJ in Emilia Romagna – Scenario PNCIA GAINS-Italy ENEA.

Analizzando i consumi sia dello scenario CLE 2030 sia dello scenario "teorico" discussi, nel settore residenziale e in quello dei trasporti è possibile notare come nel primo si stima una riduzione dei consumi di combustibile del 10% tra il 2025 e il 2017 e del 15,6% tra il 2030 e il 2017, spinti dalle attuali politiche nazionali di incentivazione dell'efficientamento energetico degli edifici residenziali, mentre nel settore dei trasporti i consumi di combustibile rimangono pressoché invariati (riduzione inferiore al 1% al 2030 rispetto al 2017), con una compensazione tra riduzione dei consumi specifici per km grazie alla diffusione dei veicoli elettrici da un lato, ma dall'altro all'incremento delle percorrenze.

Alla luce dell'obiettivo europeo di riduzione delle emissioni di CO₂ del 55% entro il 2030 rispetto alle emissioni al 1990 che comporta una drastica riduzione dell'utilizzo di combustibili fossili, è pertanto importante che in coordinamento con gli obiettivi del futuro Piano Energetico Regionale e del futuro Piano dei Trasporti Regione Emilia-Romagna, nel PAIR 2030 si promuovano azioni di efficientamento energetico del patrimonio edilizio di fatto riducendo i consumi di biomassa e quindi le emissioni di particolato e dall'altro azioni di sostituzione, in particolare di veicoli diesel, con veicoli elettrici, soprattutto negli ambiti urbani dove il rischio di superamento locale può essere maggiore.

Infine le azioni informative, di sensibilizzazione o di promozione, quali campagne di comunicazione, corsi di aggiornamento, sono misure che pur non agendo direttamente sui livelli emissivi degli inquinanti atmosferici e sugli indicatori di attività, possono potenziare gli effetti delle misure tecniche ed energetiche.

In sintesi il PAIR 2030 dovrà pertanto agire su tre fronti:

- tecnologico, individuando attraverso quali azioni specifiche ottenere e superare le riduzioni emissive ipotetiche previste dallo scenario teorico;
- energetico, sul fronte dell'efficientamento energetico del comparto edilizio e della elettrificazione dei consumi energetici sia nel comparto edilizio che soprattutto in quello dei trasporti;
- azioni di supporto e sensibilizzazione che accompagnino e potenzino i due fronti precedenti.

Valutazione degli scenari del documento strategico con il modello di qualità dell'aria NINFA

Le concentrazioni annuali di PM₁₀, PM_{2.5}, O₃ e NO₂ associate agli scenari emissivi preliminari sono stimate mediante il modello NINFA tenendo conto dei dati osservati. La calibrazione è stata svolta sulla base del rapporto fra concentrazione osservata e concentrazione stimata dal modello per il caso con scenario emissivo base che costituisce il fattore di correzione sul punto stazione. Il fattore di correzione per tutti i punti della mappa è stato ottenuto creando un campo sullo stesso grigliato del modello mediante un algoritmo di spazializzazione dei rapporti calcolati sui punti stazione. Per la spazializzazione la metodologia usata è un algoritmo di Universal Kriging dei fattori di correzione calcolati nei punti delle stazioni di fondo, utilizzando come variabili esplicative il modello stesso e la quota.

Per ciascun inquinante il tipo di kriging è stato selezionato tra diverse possibilità (lineare nel modello e nella quota, logaritmico nel modello e lineare nella quota, solo spaziale), considerando il valore minimo dell'errore standard medio assoluto, ricavato dalla cross-validazione con metodo one-leave-out. Il campo di correzione

moltiplicativo così ricavato dallo scenario base è stato applicato per correggere le concentrazioni degli altri scenari.

Il dominio della simulazione comprende la gran parte del Nord-Italia con una risoluzione orizzontale di 5 X 5 km. Per la simulazione modellistica dello scenario di base l'input emissivo è quello di INEMAR 2017, mentre l'input meteorologico e i dati osservati si riferiscono al 2018, questi ultimi derivanti dall'archivio dell'Agenzia Ambientale Europea, dataset e1a. Le mappe riportate in Figure 92-97, rappresentative delle condizioni di fondo, mostrano la concentrazione media annuale di PM10 in Emilia-Romagna dei risultati della modellistica nello scenario base e nello scenario tendenziale CLE 2030.

Le concentrazioni medie nello scenario base Inemar 2017 in gran parte della regione sono comprese tra 25 e 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ mentre nello scenario CLE 2030 sono ovunque inferiori a 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Nel caso delle condizioni di fondo, come confermato dalle stazioni di monitoraggio, il valore limite della media annuale (40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) è rispettato anche nello scenario base.

Diversa è invece la situazione per il valore limite legato al numero di giornate con media giornaliera superiore a 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, che deve essere inferiore a 35. Per tale valutazione si è fatto riferimento al valore limite equivalente (VLE, per la descrizione del quale si rimanda al § Analisi della relazione fra medie annue e superamenti del limite giornaliero per il PM10) che garantisce il rispetto del limite di 35 giorni di superamento nel 95% delle stazioni caratterizzate da quella media annua.

La mappa di Figura 92 relativa allo scenario base, presenta un'area abbastanza estesa in cui le concentrazioni medie annue di PM10 risultano nella fascia tra i 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ed i 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e non garantiscono dunque il rispetto del limite dei 35 superamenti annui del limite sulla media giornaliera di PM10, secondo il legame statistico descritto in precedenza (vedi § Analisi della relazione fra medie annue e superamenti del limite giornaliero per il PM10).

Nello scenario CLE 2030 il superamento di tale limite è confinato ad aree molto ristrette a Nord del territorio regionale (Figura 93).

In Figure 94-97 si riportano le mappe dei risultati modellistici dello scenario di base e dello scenario al 2030, per le concentrazioni medie annue di fondo per PM2.5 ed NO₂, per i quali, in entrambi gli scenari, risultano rispettati i valori limite annuali.

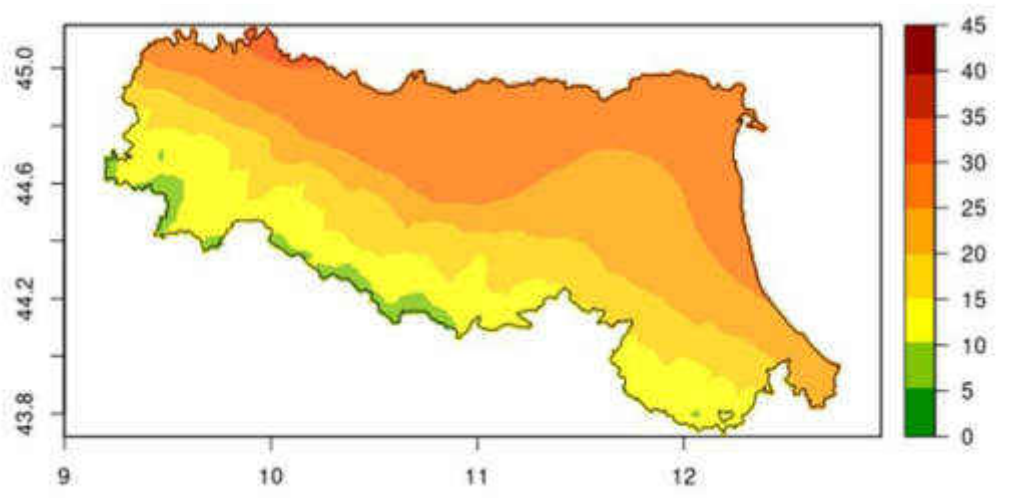


Figura 92. Concentrazione media annuale di PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nello scenario base (2017)

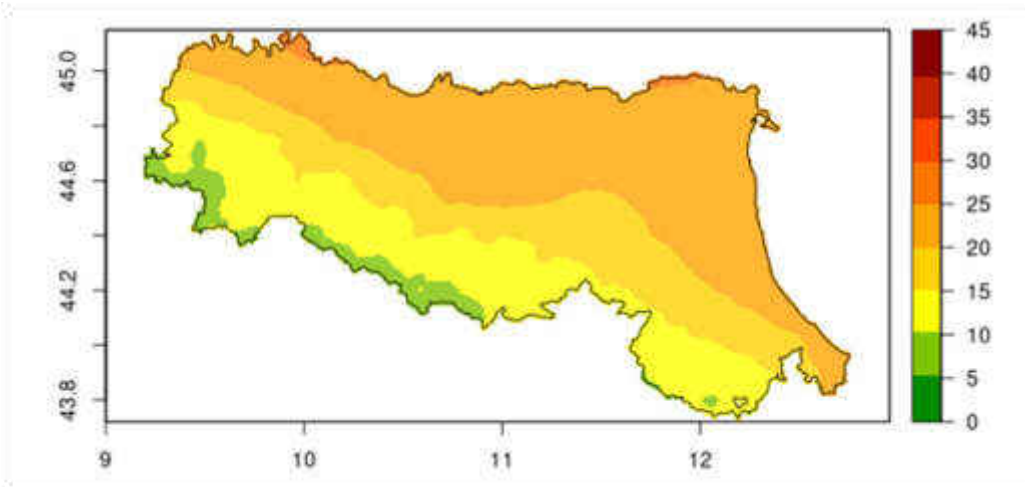


Figura 93. Concentrazione media annuale di PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nello scenario CLE 2030

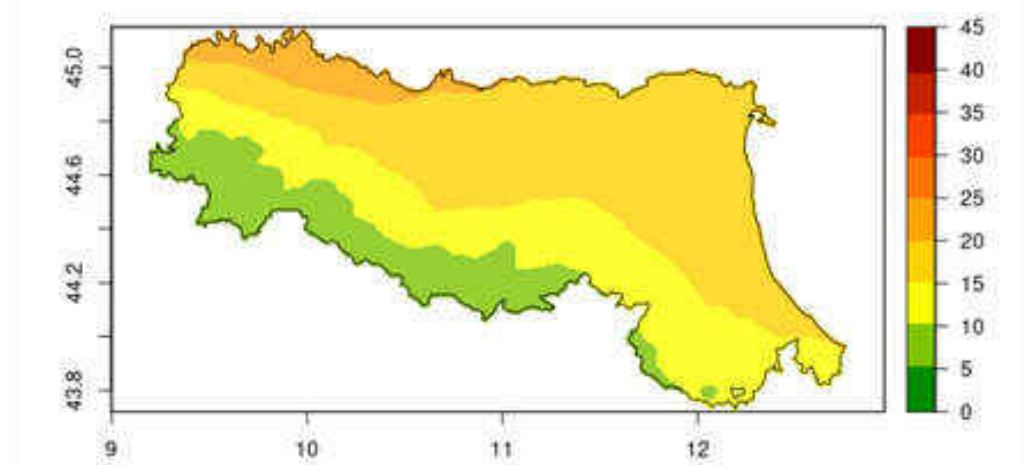


Figura 94. Concentrazione media annuale di PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nello scenario base (2017)

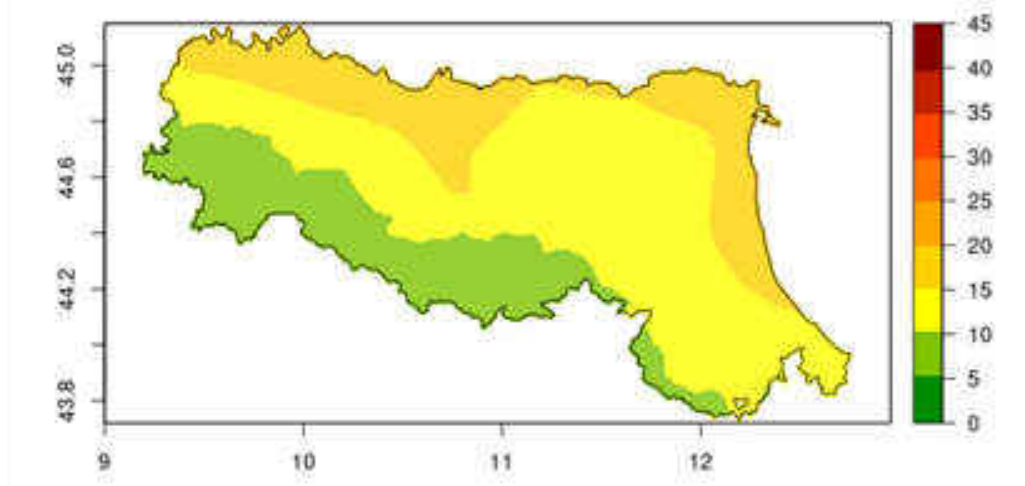


Figura 95. Concentrazione media annuale di PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), scenario CLE 2030

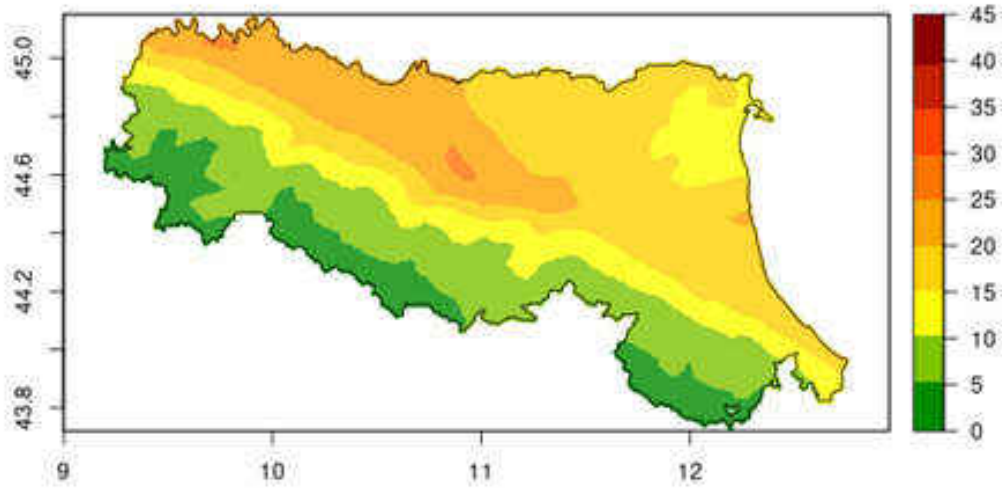


Figura 96. Concentrazione media annuale di NO₂ (µg/m³), scenario base (2017)

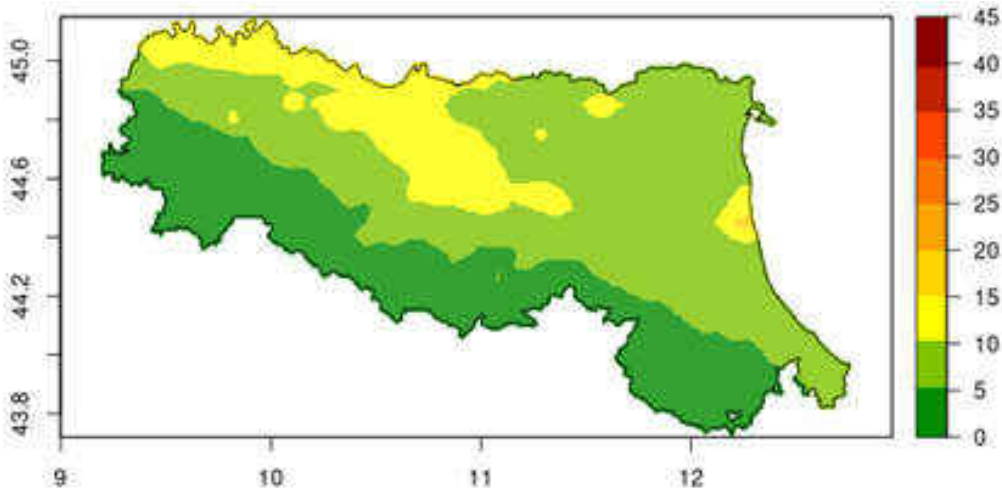


Figura 97. Concentrazione media annuale di NO₂ (µg/m³) nello scenario CLE 2030

O₃ scenario Base

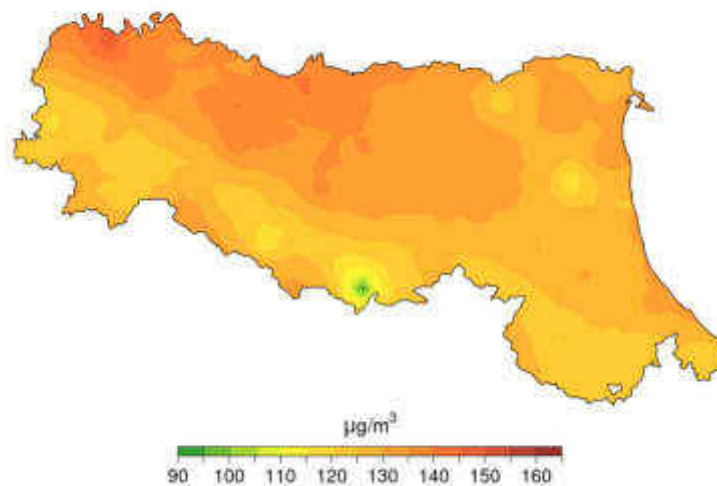


Figura 98. Concentrazione media annuale di O₃ (µg/m³) nello scenario base (2017)

O3 scenario Cle2030

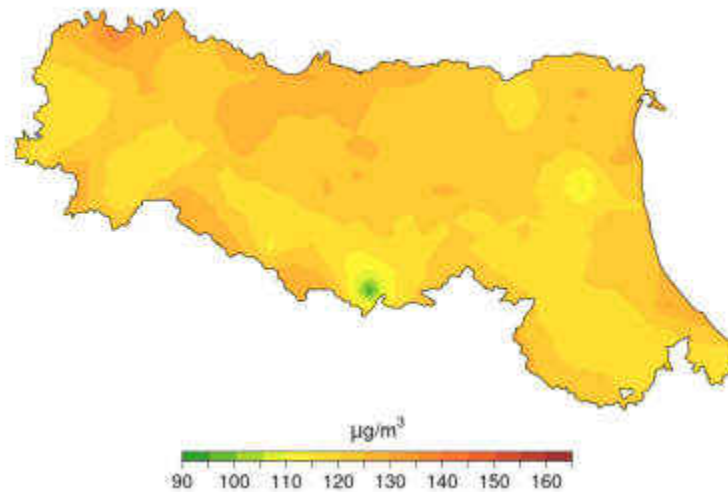


Figura 99. Concentrazione media annuale di O₃ (µg/m³) nello scenario CLE 2030

Per completare la valutazione degli effetti sulla qualità dell'aria degli scenari emissivi analizzati sono state stimate le concentrazioni nelle stazioni della rete di monitoraggio regionale.

La stima per ogni stazione e per ogni scenario è stata ottenuta sulla base del rapporto tra le concentrazioni simulate nel caso base e nello scenario analizzato, moltiplicato per le concentrazioni osservate nel 2018 in modo da allineare i risultati della stima ai valori misurati.

Le concentrazioni nella stazione j per lo scenario k (CP_{j,k}) è quindi ottenuta dalla seguente formula:

$$CP_{j,k} = C_j \cdot \left(\frac{CS_{j,k}}{CB_j} \right)$$

dove C_j è la media annuale osservata per l'anno 2018 alla stazione di monitoraggio j mentre (CS_{j,k}/CB_j) è il rapporto nella stazione di monitoraggio j tra le concentrazioni simulate nello scenario k ed il caso base CB_j. In Figura 100 sono mostrati i boxplot dei dati osservati di PM₁₀ nelle stazioni di monitoraggio da traffico e di fondo per lo scenario base e i valori "previsti" per lo scenario CLE 2030.

Mentre nello scenario base buona parte delle stazioni da traffico e alcune stazioni di fondo superano il VLE sulla media annua di PM₁₀ (valore limite equivalente per garantire il rispetto del limite dei 35 superamenti annui), nello scenario CLE 2030 le stazioni di fondo le medie annuali di PM₁₀ sono inferiori al VLE mentre circa la metà delle stazioni di traffico supera tale limite.

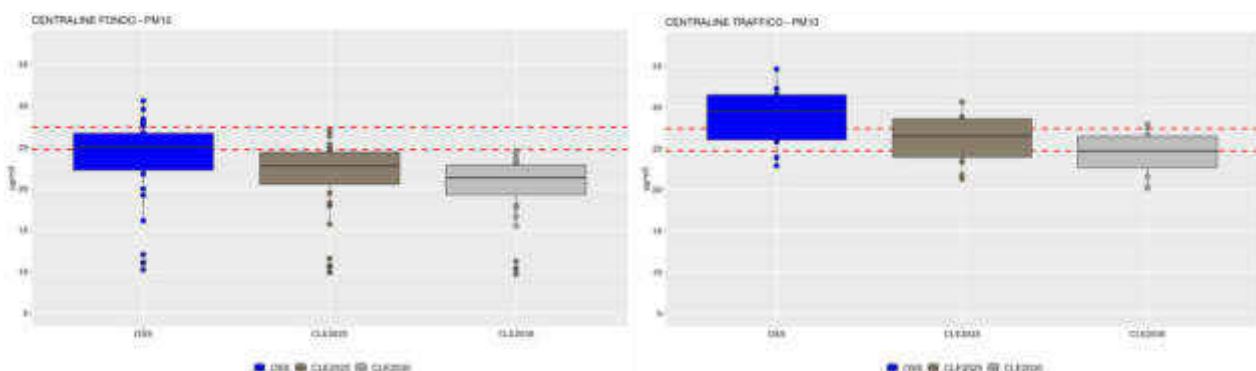


Figura 100. Concentrazioni osservate per lo scenario di riferimento e stimate per ,scenario tendenziale CLE 2025 e CLE 2030 nelle stazioni di fondo (a sinistra) e di traffico (a destra); la porzione compresa fra le linee rosse tratteggiate rappresenta la zona all'interno della quale è probabile il non rispetto del limite dei 35 superamenti annui.)

Risulta dunque necessario che il PAIR 2030 riduca ulteriormente le emissioni per raggiungere il rispetto del limite dei 35 superamenti annui del limite sulla media giornaliera di PM10 anche nelle stazioni da traffico, attraverso lo scenario teorico descritto.

Lo scenario "teorico", attraverso la metodologia RIAT+, individua un'ulteriore riduzione delle emissioni dello scenario CLE 2030, attraverso interventi di tipo tecnologico, ovvero agendo sulla riduzione dei fattori di emissione delle attività emmissive più impattanti sulle concentrazioni di PM10.

I risultati dell'elaborazione modellistica di qualità dell'aria con il modello NINFA di Arpae dello scenario teorico di piano sono mostrati in Figure 101-102.

Si osserva una significativa riduzione delle concentrazioni in atmosfera, anche nelle stazioni da traffico.

In termini di concentrazioni medie annuali previste di PM10, l'area della regione con concentrazioni di fondo tra 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ si riduce ulteriormente (Figura 101), rispetto a quanto mostrato nello scenario CLE 2030 (vedi Figura 93). Persistono tuttavia alcune condizioni locali vicine alle principali arterie stradali in cui non si ha la certezza del rientro dei limiti previsti dal D.Lgs 155/2010. queste situazioni sarà necessario intervenire a livello locale con misure specifiche.

Analizzando i boxplot relativi alla previsione nelle stazioni di fondo e di traffico (Figura 102), anche se le concentrazioni si riducono ulteriormente, rimangono due stazioni di traffico con la media annuale al di sopra del VLE, posizionandosi quindi in una zona in cui non è garantito il rispetto dei limiti di legge previsti dal D.Lgs 155/2010.

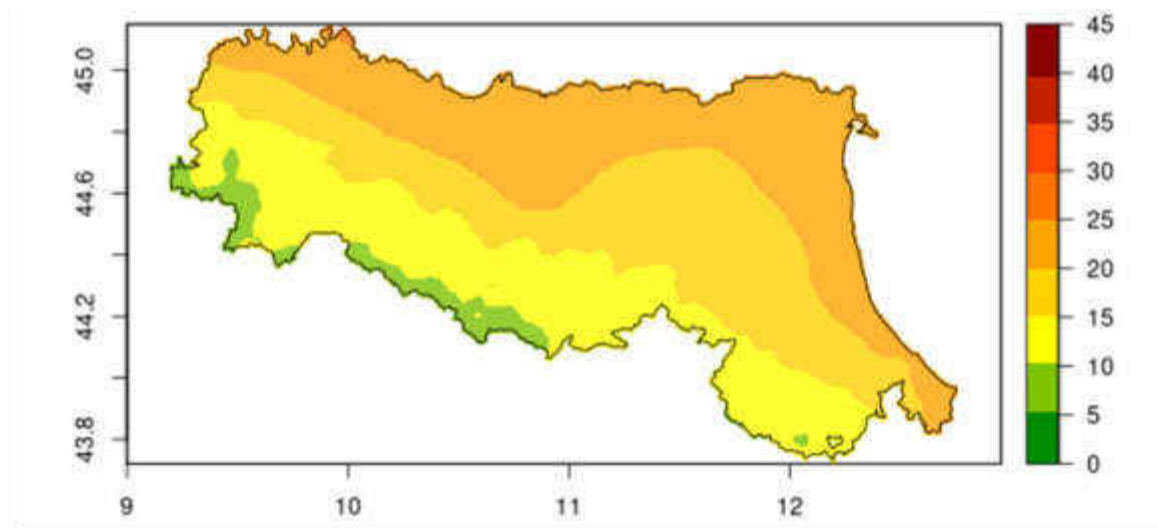


Figura 101. Media annuale di PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), scenario "teorico"

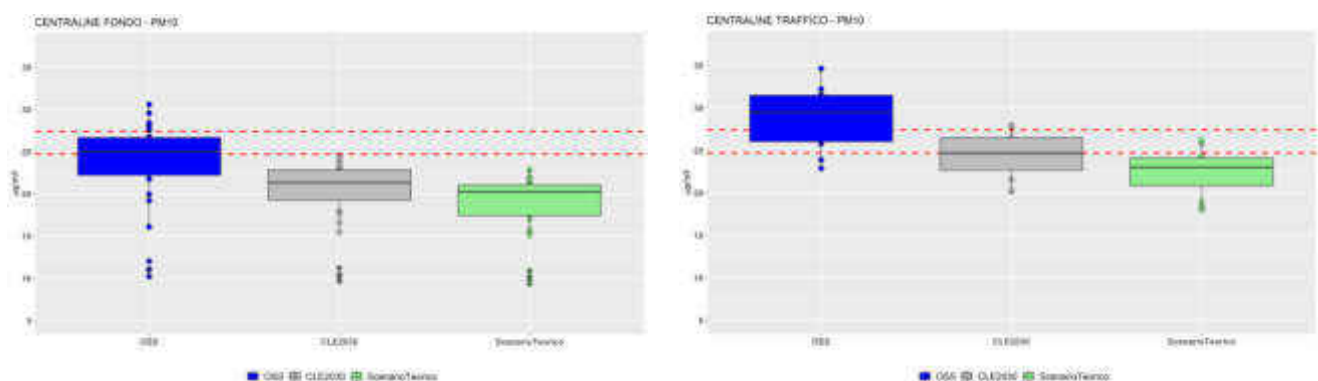


Figura 102. Concentrazioni osservate per lo scenario di riferimento e stimate per gli scenari CLE 2030 e "teorico" nelle stazioni di fondo (a sinistra) e di traffico (a destra); la porzione compresa fra le linee rosse tratteggiate rappresenta la zona all'interno della quale è probabile il non rispetto del limite dei 35 superamenti annui.)

Scenari emissivi della pianificazione regionale integrata

Con lo scenario "teorico" di piano sono state quantificate le riduzioni emissive degli inquinanti primari e dei principali precursori dell'inquinamento da PM10 necessarie a raggiungere gli standard di qualità dell'aria richiesti dalla normativa.

Sulla base degli indirizzi tecnologici emergenti dallo scenario "teorico", nel percorso di elaborazione del piano sono poi state concertate ed individuate le misure finalizzate a perseguire gli obiettivi di riduzione stimati.

Successivamente all'approvazione del documento strategico di Piano, l'Area Qualità dell'aria e agenti fisici della Regione Emilia-Romagna ha infatti svolto numerosi incontri con i vari Uffici della Regione stessa coinvolti nella pianificazione (Attività produttive, Energia, Trasporti ed Agricoltura) e Arpae Emilia-Romagna, nel corso dei quali sono stati analizzati dettagliatamente i diversi ambiti di intervento connessi al miglioramento della qualità dell'aria e alla pianificazione concorrente al PAIR.

Dagli incontri è maturata la necessità di integrare ed in parte modificare gli scenari energetici ENEA in modo da renderli coerenti con il trend in atto registrato dai bilanci energetici redatti annualmente da Arpae, e le previsioni del Piano Energetico Regionale 2030 (PER 2030) approvato con Delibera dell'Assemblea legislativa n. 111 dell'1 marzo 2017 monitorati e verificati attraverso i Piani Triennali Attuativi dall'Osservatorio Energia di Arpae e la società consortile regionale Art-ER. Questo ha portato alla modifica degli indicatori di attività previsti dallo scenario tendenziale e di conseguenza degli scenari emissivi futuri.

La descrizione dell'insieme delle misure individuate e il loro impatto sulle emissioni inquinanti è riportata di seguito. L'analisi si articola nella stima delle emissioni regionali relative allo scenario emissivo di piano e nella successiva valutazione della qualità dell'aria.

Piano Energetico Regionale - PER 2030

Il Piano energetico regionale, approvato con Delibera dell'Assemblea legislativa n. 111 del 1° marzo 2017, fissa la strategia e gli obiettivi della Regione Emilia-Romagna per clima e energia fino al 2030 in materia di rafforzamento dell'economia verde, di risparmio ed efficienza energetica, di sviluppo di energie rinnovabili, di interventi su trasporti, ricerca, innovazione e formazione.

In particolare, il Piano energetico fa propri gli obiettivi europei al 2020, 2030 e 2050 in materia di clima ed energia come *driver* di sviluppo dell'economia regionale. Diventano pertanto strategici per la Regione:

- la riduzione delle emissioni climalteranti del 20% al 2020 e del 40% al 2030 rispetto ai livelli del 1990;
- l'incremento del 20% al 2020 e del 27% al 2030 della quota di copertura dei consumi attraverso l'impiego di fonti rinnovabili;
- l'incremento dell'efficienza energetica del 20% al 2020 e del 27% al 2030.

La priorità di intervento della Regione Emilia-Romagna è dedicata alle misure di decarbonizzazione dove l'intervento regionale può essere maggiormente efficace, quindi in particolare nei settori non ETS: mobilità,

industria diffusa (PMI), residenziale, terziario e agricoltura. In particolare i principali ambiti di intervento saranno i seguenti:

- Risparmio energetico ed uso efficiente dell'energia nei diversi settori
- Produzione di energia elettrica e termica da fonti rinnovabili
- Razionalizzazione energetica nel settore dei trasporti
- Aspetti trasversali

Tabella 12. Scenari energetici PER 2030 [ktep]

Macrosettore	Settore	Combustibile	PER 2030 [ktep]		
			2017	2030 tendenziale	2030 obiettivo
Industria	Biometano e biogas immessi in rete		12	82	245
	Combustione industriale	Biomasse	1	2	2
		Gas naturale	2171	2054	1602
		Prodotti petroliferi	330	312	244
		Combustibili solidi	1	1	1
Rifiuti	Rifiuti	95	92	75	
Trasporti	Stradali	Gpl	234	281	169
		Benzina	624	433	232
		Gasolio	2313	1907	1007
		Gas naturale	191	283	552
		Elettricità	2	11	137
	Aerei	Gasolio	35	44	44
	Marittimi fluviali	Gasolio	0	1	1
	Ferroviani	Gasolio	52	66	79
Civile	Solare termico		15	30	36
	Geotermia		1	1	2
	Pompe di calore		471	821	944
	Stufe pellet	Biomasse	31	35	117
	Caldaie a cippato	Biomasse	5	6	50
	Stufe legna	Biomasse	87	99	84
	Termocamino	Biomasse	20	23	67
	Camino aperto	Biomasse	120	136	17
	Residenziale/Terziario	Gas naturale	1682	1316	1016
	Residenziale/Terziario	Prodotti petroliferi	253	202	165

	Calore derivato	Gas naturale	635	628	390
	Calore derivato	Rinnovabile	153	167	181

A seguito di numerose interlocuzioni con l'Osservatorio Energia e la società consortile Art-ER si è deciso di integrare gli scenari presenti all'interno del PER 2030 (sintetizzati nella precedente tabella) all'interno del software RIAT+ (sostituendo di fatto gli indicatori di attività dello scenario PNCIA di GAINS-Italy), in modo che le proiezioni emissive stimate fossero coerenti con la programmazione regionale e con il trend misurato dai bilanci energetici annuali redatti da Arpa e ed il monitoraggio di attuazione del PER 2030 attraverso i PTA. La società Art-ER ha messo a disposizione i consumi energetici suddivisi per settore e combustibile per i seguenti scenari:

- scenario base all'anno 2017
- scenario tendenziale all'anno 2030
- scenario obiettivo all'anno 2030

A partire dagli scenari del PER 2030 sono stati ricalcolati gli scenari per il PAIR 2030 considerando gli stessi valori energetici di consumo riconvertiti in PetaJoule. L'unica eccezione riguarda gli impianti civili alimentati a biomassa per i quali è stato mantenuto il consumo di combustibile per lo scenario 2017 in quanto lo scenario energetico ENEA è stato sostituito da quello derivante dallo specifico report realizzato all'interno del progetto PREPAIR e quindi più recente ed aggiornato rispetto a quello presente all'interno del PER.

In sintesi l'approccio seguito utilizza:

- i consumi energetici stimati dal PER al 2017 ed al 2030
- il parco tecnologico dello scenario WM del PNCIA di GAINS ITALY - ENEA

e, sulla base delle emissioni dell'inventario INEMAR al 2017, stima conseguentemente le emissioni al 2030.

Attraverso questa metodologia gli scenari così ottenuti sono coerenti con:

1. la pianificazione energetica regionale descritta all'interno del PER al 2017 ed al 2030,
2. lo scenario di penetrazione tecnologica al 2017 ed al 2030 previsto dal Piano Nazionale di Controllo dell'Inquinamento Atmosferico così come descritto negli scenari ENEA
3. l'inventario emissivo INEMAR al 2017

Gli scenari emissivi finali calcolati con questa metodologia sono riportati in Tabella 13.

Le riduzioni emissive associate al Piano Energetico Regionale al 2030 sono quindi riportate in Tabella 14 come differenza tra gli scenari PER al 2030 tendenziale ed obiettivo.

Tabella 13. Scenari emissivi calcolati utilizzando gli scenari energetici del PER 2030.

Scenario	Emissioni totali in [ton]					
	NO _x	COV	NH ₃	PM10	PM2.5	SO ₂
INEMAR 2017	68720	90208	46861	11200	9811	10889
CLE 2025 PER	44384	88664	45734	8904	7546	9916

CLE 2030 PER [tendenziale]	30209	86434	45082	7259	5922	9299
CLE 2030 PER [obiettivo]	23739	84534	45027	6850	5533	7892

Tabella 14. Riduzioni emissive associate al PER 2030.

Riduzioni emissive	Riduzioni emissive totali in ton					
	NO _x	COV	NH ₃	PM10	PM2.5	SO ₂
PER 2030	6471	1901	54	408	389	1407

La modifica degli scenari energetici ha comportato la necessità di un aggiornamento del grado di penetrazione delle tecnologie applicate al settore degli impianti domestici alimentati a biomasse legnose.

L'aggiornamento tecnologico ha previsto la messa al bando degli impianti a 3 stelle nel CLE 2025, in quanto l'installazione di tali tecnologie è vietata su tutto il territorio regionale dal 1° gennaio 2020. Infine, è stato dimezzato il tasso di sostituzione dei caminetti aperti (tasso dal 6,5% al 3,3% pari ad un impianto sostituito ogni 30 anni) in quanto non si tratta di un vero e proprio impianto tecnologico (soggetto ad una maggiore obsolescenza) come nel caso delle stufe e delle caldaie.

Nella figura seguente sono riportate le distribuzioni delle tecnologie nel settore relativo alla combustione delle biomasse in ambito residenziale per i 4 scenari considerati 2017, 2025, 2030 tendenziale e 2030 obiettivo. Le ipotesi utilizzate sono:

- anno 2017: livelli di attività (consumo di combustibile) e grado di penetrazione delle tecnologie (1 stella, 2 stelle, ...) dall'analisi del consumo di biomasse legnose condotta all'interno del progetto PREPAIR.

- anno 2025:

- livelli di attività (consumo di combustibile) da evoluzione prevista tra lo scenario 2017 e lo scenario 2030 tendenziale del PER applicata al consumo del 2017 fino al 2025;
- grado di penetrazione delle tecnologie ipotizzando un tasso annuo di sostituzione al 3.3% (1 apparecchio sostituito ogni 30 anni) per i caminetti aperti e al 6.5% (1 apparecchio sostituito ogni 15 anni) per tutti gli altri impianti. La sostituzione avviene con impianti a 4 o 5 stelle.

- anno 2030 tendenziale:

- livelli di attività (consumo di combustibile) da evoluzione prevista tra lo scenario 2017 e lo scenario 2030 tendenziale del PER applicata al consumo del 2017 fino al 2030
- grado di penetrazione delle tecnologie ipotizzando un tasso annuo di sostituzione al 3.3% (1 apparecchio sostituito ogni 30 anni) per i caminetti aperti e al 6,5% (1 apparecchio sostituito ogni 15 anni) per tutti gli altri impianti. La sostituzione avviene con impianti a 5 stelle.

- anno 2030 obiettivo:

- livelli di attività (consumo di combustibile) da evoluzione prevista tra lo scenario 2017 e lo scenario 2030 obiettivo del PER applicata al consumo del 2017 fino al 2030

- grado di penetrazione delle tecnologie ipotizzando un tasso annuo di sostituzione al 3.3% (1 apparecchio sostituito ogni 30 anni) per i caminetti aperti e al 6,5% (1 apparecchio sostituito ogni 15 anni) per tutti gli altri impianti. La sostituzione avviene con impianti a 5 stelle.

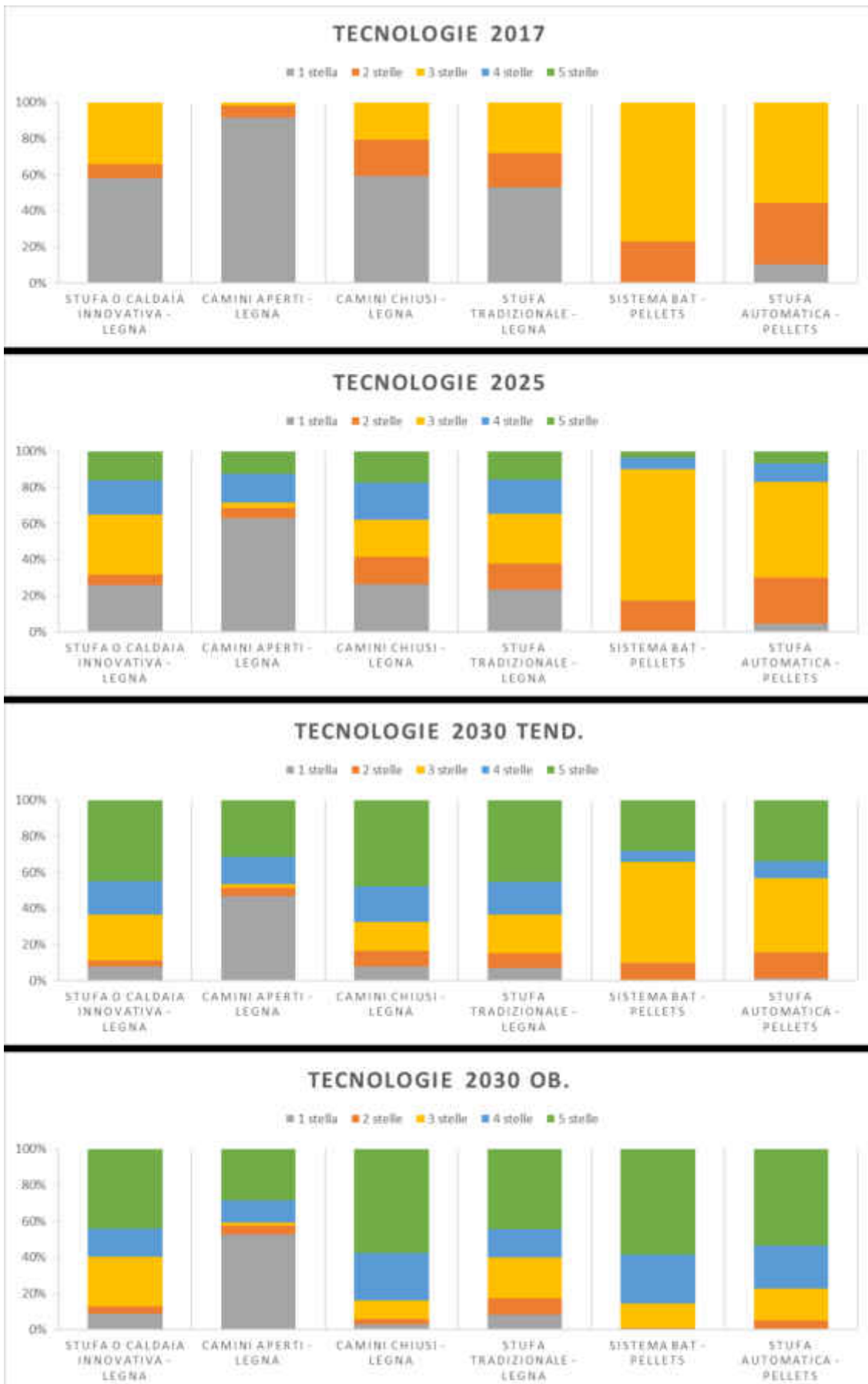


Figura 103. Aggiornamento della distribuzione del grado di penetrazione delle tecnologie in [%] per gli impianti residenziali alimentati a biomasse legnose in Emilia-Romagna.

Piano Regionale Integrato Trasporti - PRIT 2025

La Legge regionale n. 30 del 1998 (Disciplina generale del trasporto pubblico regionale e locale) individua il PRIT (Piano Regionale Integrato dei Trasporti) come il principale strumento di pianificazione con cui la Regione stabilisce indirizzi e direttive per le politiche regionali sulla mobilità e fissa i principali interventi e le azioni prioritarie da perseguire nei diversi ambiti di intervento. Attualmente è vigente il PRIT 2025, approvato con Delibera di Assemblea Regionale n° 59 del 23/12/2021 e pubblicato sul BUR n° 379 del 31/12/21.

Le strategie principali del PRIT 2025, da cui discendono gli obiettivi e le azioni operative del Piano, sono le seguenti:

- Conferma dell'importanza della pianificazione per agire in maniera integrata.
- Verifica e completamento dell'impianto infrastrutturale del PRIT98 e definizione degli elementi base per l'apertura di un nuovo ciclo di pianificazione.
- Promozione di una mobilità socialmente economicamente e ambientalmente sostenibile, articolata ed integrata nelle diverse componenti urbane e territoriali Organizzazione gerarchica delle infrastrutture, intesa dal punto di vista del ruolo per la accessibilità territoriale (locale, regionale, nazionale) e non delle priorità d'intervento.
- Priorità assegnata alla manutenzione e valorizzazione del patrimonio infrastrutturale esistente.
- Necessità di valutazioni sulla qualità e benefici da porre a base delle scelte di nuove infrastrutture.
- Coordinamento con la pianificazione urbanistica: verifica della sostenibilità del sistema insediativo (nuovo o rigenerato) rispetto al sistema della mobilità.
- Integrazione degli obiettivi del PRIT 2025 con quelli del PAIR 2020 e del PER 2030.
- Opportunità di una programmazione pluriennale degli interventi coordinata per tutti i settori.
- Definizione della componente infrastrutturale del Piano Territoriale Regionale.

Le azioni di Piano necessarie ad attuare le strategie sopra indicate devono consentire di raggiungere entro il 2025, anche in termini quantitativi, i target di miglioramento rispetto alla situazione di partenza (2013-2014) espressi in Tabella 15.

Molti di tali obiettivi, come il potenziamento del trasporto pubblico, l'incremento della quota modale di movimenti in bicicletta nei contesti urbani e di trasporto ferroviario per le merci, l'elettrificazione dei veicoli, contribuiscono direttamente o indirettamente al miglioramento delle condizioni ambientali ed in particolare della qualità dell'aria. Si segnala che alcuni obiettivi derivano dall'assunzione nel PRIT di obiettivi propri delle politiche ambientali di livello comunitario, nazionale e regionale: in primo luogo gli obiettivi di riduzione dei consumi energetici e delle emissioni di CO₂, l'incentivo al miglioramento delle prestazioni ambientali del parco circolante, la riduzione della quota modale dell'automobile negli spostamenti urbani.

Il rapporto ambientale per la Valutazione Ambientale Strategica del PRIT 2025 riporta gli scenari emissivi considerati all'interno del PRIT 2025 (Tabella 15). Da questi si ricavano le riduzioni emissive riconducibili alle azioni del PRIT riportate in Tabella 16.

Le azioni calcolate all'interno del PRIT non sono compatibili con i nuovi scenari calcolati per il PAIR 2030 per differenti motivi: anno base differente (2015 per il PRIT, 2017 per il PAIR 2030), differenti ipotesi gradi di penetrazione delle tecnologie e differenti anni di proiezione (2025 per il PRIT, 2030 per il PAIR). Ne consegue che non è possibile applicare agli scenari del PAIR 2030 le riduzioni assolute calcolate all'interno del PRIT. Sono quindi state applicate le riduzioni percentuali del PRIT alle emissioni del macrosettore 7 (trasporti su strada) dello scenario obiettivo 2030 del PER.

Le riduzioni emissive finali sono riportate in Tabella 18. La riduzione delle emissioni di ossidi di azoto è quella che si è contratta maggiormente (da circa 2000 tonnellate a 600) perché gli effetti delle politiche del PRIT vanno ad incidere su un parco al 2030 significativamente migliorato in termini emissivi.

Tabella 15. Obiettivi principali con target del Prit 2025.

Obiettivi Piano	Target al 2025 (riferiti anno 2013-2014)
Riduzione dei tratti in congestione della rete stradale regionale	-50%
Riduzione mortalità nelle strade	-50%
Quota (share) modale passeggeri TPL (gomma e ferro) su base regionale	12-13%
Incremento dei servizi minimi TPL gomma	+10%
Aumento servizi ferroviari	+30%
Aumento passeggeri TPL ferro	+50%
Aumento passeggeri TPL gomma	+10%
Migliorare composizione parco circolante TPL gomma: riduzione età media	-20%
Quota (share) modale mobilità ciclabile degli spostamenti urbani	20%
Quota (share) modale trasporto merci ferroviario	13%
Aumento di trasporto merci ferroviario	+30%
Riduzione della crescita del tasso motorizzazione (auto) regionale	-10%
Auto elettriche, % di immatricolazione	20%
Auto ibride benzina, % di immatricolazione	15%
Autobus elettrici, % di immatricolazione	35%
Autoveicoli commerciali leggeri elettrici, % di immatricolazione	25%
Autoveicoli commerciali pesanti elettrici, % di immatricolazione	10%
Auto combustibili alternativi (metano), % di immatricolazione	20%
Autobus metano % di immatricolazione	25%
Veicoli commerciali leggeri metano GNL % di immatricolazione	25%
Veicoli commerciali pesanti metano GNL % di immatricolazione	15%
Sostituzione veicoli commerciali leggeri < euro 1 (su previsione circolanti al 2025)	50%
Consumo energetico per trasporti – (Ktep)	-20%

Emissioni CO ₂ trasporti - (tonnellate)	-30%
--	------

Tabella 16. Emissioni totali per gli scenari emissivi del PRIT 2025

Scenario	Emissioni totali in [ton]			
	CO	COV	NO _x	PM10
BASE 2015	55456	16891	47229	2859
TENDENZIALE 2025	35706	11'048	21715	2240
PROGRAMMATICO 2025	31071	5533	19649	1985

Tabella 17. Riduzioni emissive PRIT 2025

	CO	COV	NO _x	PM10
Riduzioni emissive PRIT 2025 [ton]	4635	5515	2066	255
Riduzioni emissive PRIT 2025 [%]	13%	50%	10%	11%

Tabella 18. Riduzioni emissive associate al PRIT per l'anno 2030

Riduzioni emissive in [ton]	NO _x	COV	NH ₃	PM10	PM2.5	SO ₂
PRIT al 2030	595	2012	0	184	102	0

Programma di Sviluppo Rurale PSR 2014 - 2020 e piani successivi

Con delibera di Giunta regionale n.1353 del 30 agosto 2021 è stata adottata dalla Giunta della Regione Emilia-Romagna la versione 11.1 del Programma di sviluppo rurale 2014-2020.

L'obiettivo di riduzione delle emissioni di ammoniaca rientra tra le Priorità del PSR 2014-2020, prorogato al 31/12/2022 (P5D - Ridurre le emissioni di gas a effetto serra e di ammoniaca prodotte dall'agricoltura).

La Focus Area FA 5D, per la quale si stanziava circa il 35% delle risorse finanziarie della Priorità 5 (39% considerando top-up), soddisfa il Fabbisogno FB 22 di diffondere buone pratiche di gestione/investimenti per ridurre le emissioni di gas ad effetto serra (GHG) ed ammoniaca (NH₃) nei processi produttivi agricoli, di

coltivazione ed allevamento, emissioni che risultano in riduzione negli ultimi anni (quale effetto del minor uso dei fertilizzanti minerali/di sintesi azotati e per la riduzione nel numero dei capi allevati), ma rispetto alle quali si individuano ulteriori margini di contrazione anche alla luce dei nuovi obiettivi definiti a livello comunitario e nazionale.

Questo obiettivo è stato perseguito direttamente attraverso due operazioni specifiche:

- Tipo di operazione TO 4.1.04 investimenti non produttivi per la riduzione delle emissioni (misura d'investimento)

- Tipo di operazione TO 10.1.02 gestione effluenti (misura a superficie).

A queste operazioni si aggiungono altre misure collegate (4.1.01- Investimenti in aziende agricole in approccio individuale e di sistema, e altre operazioni delle misure 10 – Agricoltura integrata e 11 - Agricoltura biologica) che indirettamente contribuiscono all'obiettivo, insieme alle cosiddette misure "trasversali" sul sistema della conoscenza.

A proseguimento delle misure previste dal PSR, si inserisce la nuova Politica agricola comune (PAC) per il periodo 2023-2027, frutto del processo di riforma iniziato nel 2018 e conclusosi formalmente nel 2021.

La PAC attuerà per il periodo 2023-27 interventi che contribuiranno a perseguire il raggiungimento di tutti gli obiettivi e anche dei processi trasversali individuati dal Patto per il lavoro e per il clima. Al fine di massimizzare il contributo dei fondi europei e nazionali al raggiungimento degli obiettivi del Patto per il lavoro e per il clima, nel 2021 la Giunta regionale approva il Documento strategico regionale per la programmazione unitaria delle politiche europee di sviluppo (DSR 2021-2027).

Il Settore Programmazione, Sviluppo del Territorio e Sostenibilità delle produzioni della regione Emilia-Romagna ha calcolato le riduzioni emissive di ammoniaca relative sia all'attuazione in corso del PSR 2014-2022, sia alla futura programmazione 2023-2027.

Il valore complessivo di riduzione delle emissioni di ammoniaca risultante al 2027 è pari a 7150 tonnellate di cui 4400 derivanti dalla programmazione 2014 - 2022, 2285 derivanti dalla programmazione 2023 - 2027 e 465 da altri finanziamenti dell'Agricoltura (bando agromeccanici).

Individuazione delle azioni specifiche per la qualità dell'aria

Una volta definite le riduzioni ottenute attraverso la pianificazione regionale concorrente (PER, PRIT, PSR) descritte nei precedenti paragrafi, si è proceduto all'individuazione delle misure specifiche del piano di qualità dell'aria, che perseguono il raggiungimento della riduzione individuata a livello di indirizzo da parte dello scenario teorico per ottenere il raggiungimento dei livelli di qualità dell'aria al di sotto dei limiti.

Le politiche di gestione della qualità dell'aria, per consentire il raggiungimento di tale obiettivo, devono agire simultaneamente su più livelli e diverse scale spaziali e temporali.

I principali settori individuati sui quali agire per ridurre le emissioni in atmosfera sono

- **Combustione non industriale** per ridurre le emissioni di particolato (PM10) principalmente derivanti dalla combustione delle biomasse legnose, ma anche da altri combustibili, sia con interventi di rinnovo che di manutenzione del parco impiantistico e con azioni di efficientamento energetico;
- **Trasporti su strada** per ridurre i flussi di traffico, incentivando e promuovendo uno shift modale di persone e merci verso una mobilità sostenibile;
- **Agricoltura** per ridurre le emissioni di ammoniaca (NH₃) derivanti dalla gestione dei reflui zootecnici e dall'utilizzo di fertilizzanti chimici;
- **Processi produttivi (Industria)** per ridurre le emissioni derivanti dalla combustione dei processi produttivi.

Sono state pertanto individuate misure che agiscono:

- a scala regionale e di bacino padano, che vanno ad intervenire sui precursori dell'inquinamento da polveri (NO_x, NH₃, SO₂), oltre che sulle emissioni dirette di PM10, e su quelli che concorrono alla formazione di ozono troposferico (NO_x, COV);
- a scala locale all'interno delle grandi aree urbane ed in prossimità delle principali sorgenti di emissione di PM10 e ossidi di azoto, in modo strutturale;
- su periodi di tempo limitati, finalizzate a ridurre le emissioni dirette di PM10 e ossidi di azoto nei periodi più critici (misure emergenziali che concorrono alla realizzazione del piano, da attivare in caso di superamento dei limiti normativi);
- in modo concorrente al raggiungimento degli obiettivi di tutta la pianificazione regionale;
- al fine di coordinamento ed indirizzo;
- da catalizzatori delle misure di cui sopra, promuovendo, sensibilizzando e formando.

Come detto in precedenza, per individuare le principali linee di indirizzo per raggiungere gli obiettivi di riduzione delle emissioni degli inquinanti, si è fatto ricorso all'analisi costi benefici condotta attraverso lo strumento RIAT+ per individuare il set di misure tecnologiche più efficaci nel migliorare la qualità dell'aria al minimo costo. Le misure selezionate sono state il punto di partenza delle discussioni ed analisi con i vari settori interessati e con meccanismo di concertazione si è provveduto alla modulazione del grado di penetrazione delle principali e maggiormente incisive.

Per le prime tre tipologie di misure sono state valutate quelle maggiormente significative; diverse sono infatti le azioni il cui specifico contributo è incluso nelle principali.

Le ultime tre tipologie di azioni non sono quantificabili direttamente in termini di riduzione emissiva, ma concorrono alla realizzazione ed all'efficacia sia dello scenario CLE che dello scenario obiettivo del PAIR 2030. Le misure e le azioni di riduzione previste specificamente dal PAIR 2030 sono declinate in maniera dettagliata nella Relazione generale, al capitolo 11, al quale si rimanda per i dettagli.

In Tabella 19 è riportata la sintesi delle riduzioni stimate per le misure specifiche previste dal PAIR 2030.

Tabella 19. Valutazione delle azioni specifiche di piano in termini di riduzioni emissive e totale riduzione emissiva.

AZIONI DI PIANO	NH ₃	NO _x	PM10	PM2.5	COV	SO ₂
AGRICOLTURA						
Copertura stoccaggi (obbligo normativo PAIR)	1200					
Biometano Finanziamento PNRR	1250					
Fertilizzanti minerali (obbligo NEC) + Finanziamento PAIR di attrezzature per distribuzione o agri precisione	3017					
Interramento liquami entro 12h per bovini	836					
AMBITO URBANO E AREE DI PIANURA						
Obiettivi share modale (riduzione flussi traffico)	12	267	56	33	302	2
TRASPORTI						
Rinnovo autobus	0	79	2		3	0
Incremento passeggeri gomma	1	31	6	3	39	0,1
Incremento passeggeri ferro	1,1	10,7	5,6	3	0,5	0,1
Smartworking RER	0,01	0,25	0,05	0,03	0,30	0
Shift merci da gomma a ferro	1,7	17,04	0,33	0,19	0,22	0,1
Elettrificazione linee ferroviarie	0	155	20	18	18	2
ENERGIA						
Obbligo chiusura porte e riduzione temperature negli ambienti	0	232,35	1,39	1,39	37,39	3,6
Riqualificazione impianti illuminazione pubblica (solo passaggio da mercurio a sodio ad alta pressione)	0	4,7	0	0	0,2	0,02
Misure sulle biomasse (limitazioni impianti obsoleti e rinnovo impianti)	14	146	670	662	607	29
Riduzione di 1 °C temp (impianti a metano e biomassa)	1	249	87	86	84	10
TOTALE MISURE	6334	1192	848	807	1092	47

Piano Aria Integrato Regionale PAIR 2030

La pianificazione regionale integrata con le misure del PAIR 2030 definisce lo scenario del PAIR 2030 riportato nella tabella seguente, dove sono riportati lo scenario base INEMAR 2017, lo scenario tendenziale CLE 2030 e i diversi contributi che concorrono al raggiungimento dello scenario obiettivo di piano al 2030.

Le stime indicano una significativa decrescita delle emissioni di NOx (-68% al 2030 rispetto alle emissioni INEMAR del 2017), soprattutto grazie al ricambio tecnologico legato al rinnovo del parco veicolare nel comparto dei trasporti su strada connesso all'applicazione delle direttive EURO che le nuove immatricolazioni devono man mano rispettare (CLE 2030) e anche all'impulso alla diffusione dell'elettrico che il Piano Energetico Regionale stima al 2030 (PER 2030). Allo stesso modo si prevede una forte riduzione del particolato primario PM10 e PM2.5 (rispettivamente -48% e -53% al 2030 rispetto alle emissioni dello scenario base 2017), da un lato legato al rinnovo naturale tecnologico ed i vincoli normativi sulle stelle che i nuovi impianti devono rispettare (CLE 2030) e dall'altro in ragione delle politiche regionali messe in campo per la limitazione e la sostituzione dei sistemi di combustione alimentati da biomassa in ambito civile (PAIR 2030).

Per quanto riguarda le riduzioni emissive previste per l'ammoniaca si evidenzia la sostanziale assenza di un contributo di politiche sovra-regionali, ciò richiede che la gran parte del notevole sforzo debba essere sostenuto dalla pianificazione regionale sia attraverso i Piani di Sviluppo Regionale (PSR) sia attraverso le azioni specifiche del PAIR 2030 al fine di contenere un importante precursore del particolato secondario. Le riduzioni emissive totali sono valutate in 15317 tonnellate, pari a -33% rispetto al 2017, di cui 13538 tonnellate, pari a -29%, rispetto al 2017, attribuibili alle misure regionali.

Infine, per quanto riguarda le riduzioni emissive dei composti organici volatili e del biossido di zolfo si prevedono rispettivamente variazioni di -10% e -28% rispetto allo scenario base 2017. Per i COV i settori maggiormente coinvolti riguardano ancora il traffico stradale e gli impianti residenziali mentre per l'SO₂ si concentrano principalmente nel settore industriale.

Tabella 20. Stime emissive degli scenari base, CLE 2030, di pianificazione regionale e delle azioni specifiche di piano.

	Emissioni totali in [ton]					
	NOx	COV	NH ₃	PM10	PM2.5	SO ₂
Scenario emissivo base (INEMAR 2017)	68720	90208	46861	11200	9811	10889
Scenario emissivo CLE 2030	30209	86434	45082	7259	5922	9299
Scenari emissivi della pianificazione regionale						
azioni PER 2030	6471	1901	54	408	389	1407
azioni PRIT	595	2012	0	184	102	0
azioni PSR			7150			

azioni specifiche PAIR 2030	1192	1092	6334	848	807	47
Scenario di piano PAIR 2030	21951	81429	31544	5819	4624	7845

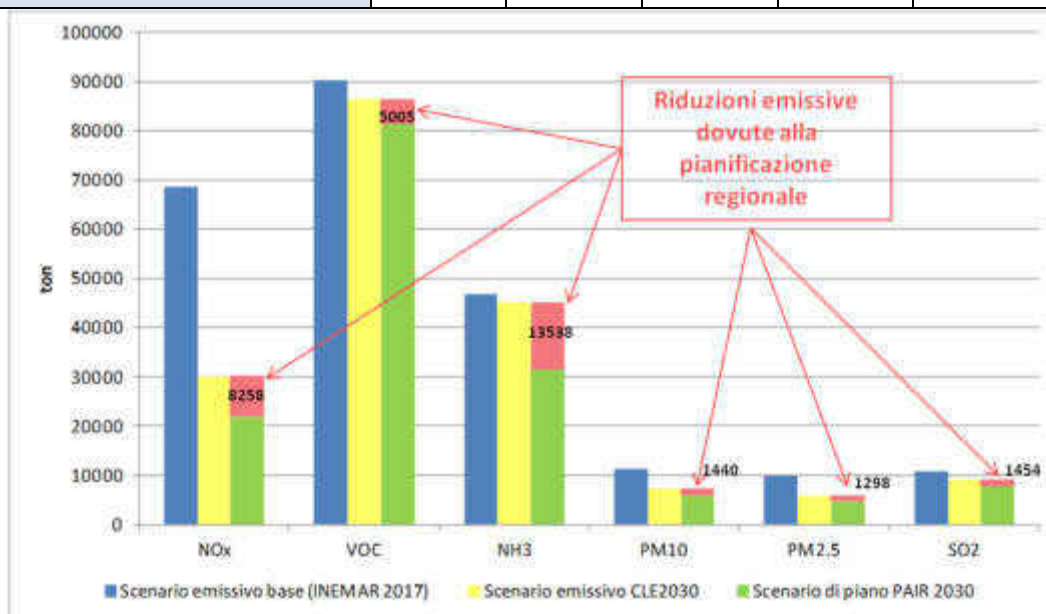


Figura 104. Scenario di riferimento 2017, scenario CLE 2030 e scenario di piano. Le riduzioni si riferiscono allo scenario CLE 2030.

Rispetto al target di riduzioni emissive definito lo scenario di Piano differisce in parte dallo scenario "teorico" definito come indirizzo nella fase preliminare:

- le riduzioni emissive previste nello scenario di Piano degli ossidi di azoto sono ampiamente superiori (oltre 6000 di riduzioni in più nel PAIR 2030),
- le riduzioni dei composti organici volatili e del biossido di zolfo sono di poco superiori (200 tonnellate di riduzione in più per i COV e 300 tonnellate per l'SO₂ nel PAIR 2030)
- la riduzione delle emissioni dirette di particolato è inferiore di circa 700 tonnellate per il PM10 nel PAIR 2030
- la riduzione delle emissioni di ammoniaca è inferiore di circa 4800 tonnellate per il PAIR 2030.

Va precisato che lo scenario "teorico" è stato definito, utilizzando il software RIAT+, con un approccio modellistico semplificato (le funzioni S/R) ed attraverso una procedura di ottimizzazione che individua un primo set di politiche che permettano di minimizzare le concentrazioni medie annue di PM10 al minor costo sul dominio regionale. Tale scenario è quindi utile per indirizzare le misure di piano, definendo i settori prioritari su cui agire e le azioni da implementare, ma non può sostituire né la contrattazione politica che prende in considerazioni differenti e più complesse scale di giudizio (sociale, economica, ambientale, ecc...) né la valutazione dettagliata degli impatti delle riduzioni effettuata con il modello chimico di trasporto completo (NINFA).

In sintesi, la maggior riduzione di emissioni prevista per gli ossidi di azoto e il biossido di zolfo contribuisce ad una maggiore riduzione delle concentrazioni di PM10 in quanto questi composti rappresentano i precursori della frazione secondaria del particolato stesso, questo compensa ampiamente la minor riduzione di ammoniaca e di emissioni dirette di particolato, a maggior ragione in presenza di un'atmosfera nel 2030 avente gli ossidi di azoto come composto limitante rispetto all'ammoniaca.

Infine la stima delle riduzioni emissive, soprattutto per quanto riguarda le azioni di Piano, è da intendersi cautelativa in quanto non sono state valutate tutte quelle misure definite informative, di sensibilizzazione o di promozione, come le campagne di comunicazione, i corsi di aggiornamento, ecc Tali misure, impossibili da quantificare in termini di riduzioni emissive, in quanto non agiscono direttamente sui livelli emissivi degli inquinanti atmosferici e sugli indicatori di attività, possono però potenziare gli effetti delle altre misure tecniche ed energetiche.

Valutazione dello scenario di piano con il modello di qualità dell'aria NINFA

Le concentrazioni di PM₁₀, PM_{2.5}, O₃ e NO₂, associate allo scenario di piano, sono state stimate mediante il modello NINFA, calibrato con dati osservati (vedi § Valutazione degli scenari del documento strategico con il modello di qualità dell'aria NINFA).

La mappa riportata in Figura 105, rappresentativa delle condizioni di fondo, mostra la concentrazione media annuale di PM₁₀ in Emilia-Romagna nello scenario di piano. Nel caso delle condizioni di fondo, il valore limite della media annuale a legislazione corrente (40 µg/m³) è rispettato, cosa non sorprendente dato che tale limite è rispettato anche nello scenario base. Diversa è invece la situazione per il valore limite legato al numero di giorni con media giornaliera superiore a 50 µg/m³, che deve essere inferiore a 35. Per tale valutazione si è fatto riferimento al valore limite equivalente (VLE, vedi § Analisi della relazione fra medie annue e superamenti del limite giornaliero per il PM₁₀), che garantisce il rispetto del limite di 35 giorni di superamento nel 95% delle stazioni caratterizzate da quella media annua.

Nello scenario di piano lo sfioramento di tale limite è confinato in piccole aree al confine con la Lombardia ed il Veneto .

Per completare la valutazione degli effetti sulla qualità dell'aria degli scenari emissivi analizzati, sono state stimate le concentrazioni nelle stazioni della rete di monitoraggio regionale usando la stessa metodologia usata in precedenza (vedi § Valutazione degli scenari del documento strategico con il modello di qualità dell'aria NINFA).

In Figura 106 sono mostrati i boxplot delle concentrazioni di PM₁₀ delle stazioni di monitoraggio di fondo e di traffico osservate per lo scenario base, e stimate per lo scenario CLE 2030 e per lo scenario di piano.

PM10 scenario Piano

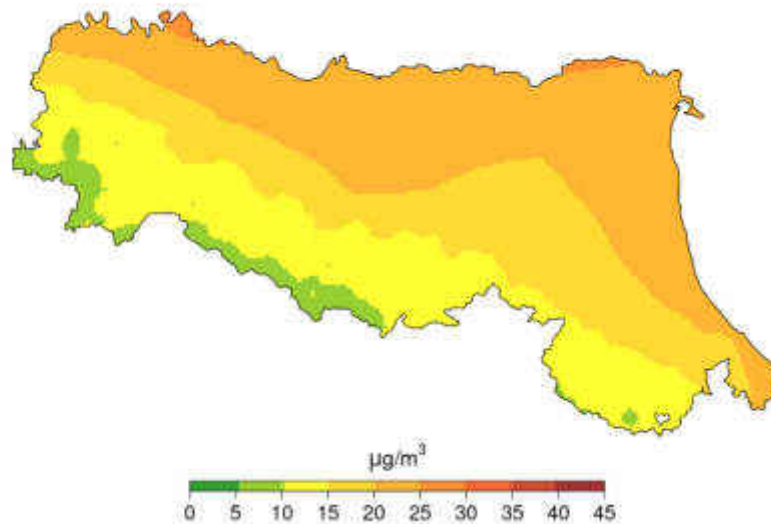


Figura 105. Concentrazioni medie annuali di PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) dello scenario di piano.

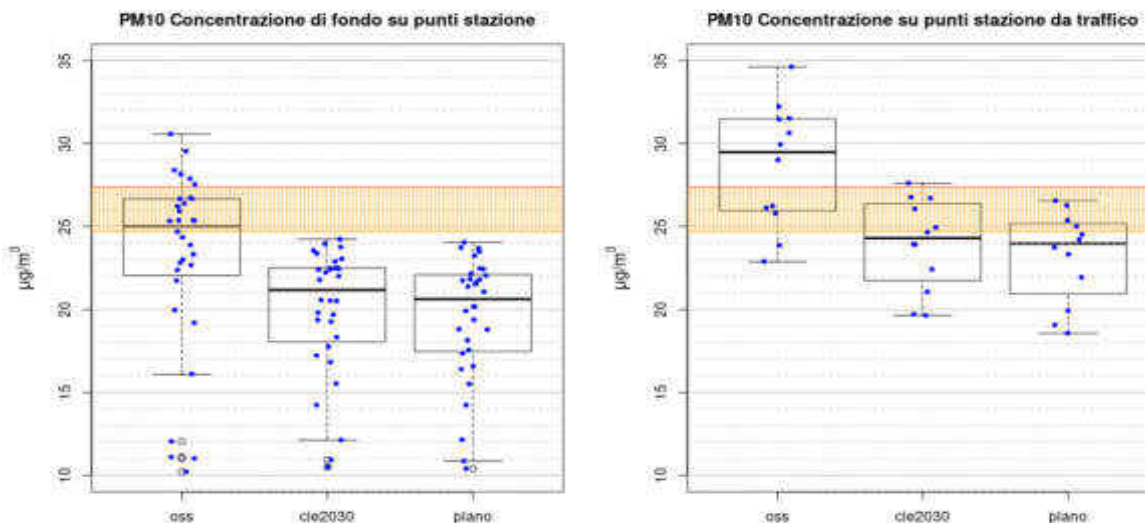


Figura 106. Valori di concentrazione di PM10 osservati per lo scenario di riferimento 2017 e valori stimati per lo scenario tendenziale CLE 2030 e per lo scenario di piano (a sinistra per le stazioni di fondo, a destra per quelle da traffico). La fascia arancione rappresenta la zona all'interno della quale è probabile il non rispetto del limite dei 35 superamenti annui.

Mentre nello scenario base quasi tutte le stazioni da traffico e alcune stazioni di fondo si collocano sopra la fascia di incertezza, superando abbondantemente il VLE sulla media annua di PM10 (valore limite equivalente per garantire il rispetto del limite dei 35 superamenti annui), nello scenario CLE 2030 e nello scenario di piano le concentrazioni medie annuali delle stazioni di fondo sono inferiori al VLE.

Riguardo le stazioni da traffico nello scenario CLE 2030 metà di queste è nella fascia di incertezza. Lo scenario di piano migliora in modo consistente la qualità dell'aria, sebbene persistano situazioni in cui non si ha la

certezza del rientro nei limiti previsti dall'attuale normativa. Occorrerà dunque prevedere un accurato monitoraggio e, nel caso, misure specifiche a livello locale.

La Figura 106 mostra che il rispetto del valore limite giornaliero è collegato al raggiungimento di concentrazioni medie annuali che ricadono all'interno di un intervallo molto piccolo; la fascia di incertezza rappresentata (così come definita al § Analisi della relazione fra medie annue e superamenti del limite giornaliero per il PM10) è dell'ordine di $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per cui anche una differenza di un solo microgrammo può risultare significativa.

La Figura 107 mostra le differenze delle medie annuali tra lo scenario di piano e il CLE 2030: nella zona centrale della regione, tra Bologna e Parma, le differenze nelle concentrazioni sono dell'ordine di $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valore quindi significativo date le modeste quantità in gioco.

Nelle Figure 108 e 109 sono riportate le mappe dei risultati modellistici per le concentrazioni medie annue di fondo di PM2.5 ed NO₂ nello scenario di piano.

Gran parte della regione mostra concentrazioni di fondo di PM2.5 inferiori a $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con valori tra i 15 e $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nella zona al confine con la Lombardia ed il Veneto e lungo la costa. Tali valori risultano in ogni caso molto al di sotto del limite normativo ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Per quanto concerne l'NO₂, la quasi totalità della regione evidenzia concentrazioni di fondo inferiori a $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con l'eccezione delle aree di confine con Lombardia e Veneto, del comparto ceramico e delle aree industriali di Ferrara e Ravenna. In ogni caso il limite normativo ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) risulta ampiamente rispettato.

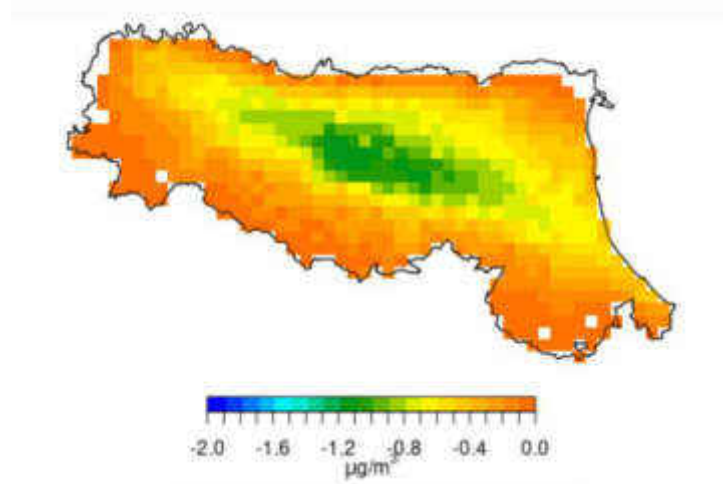


Figura 107. Differenze delle concentrazioni medie annuali di PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) tra lo scenario di piano e lo scenario CLE 2030.

PM25 scenario Piano

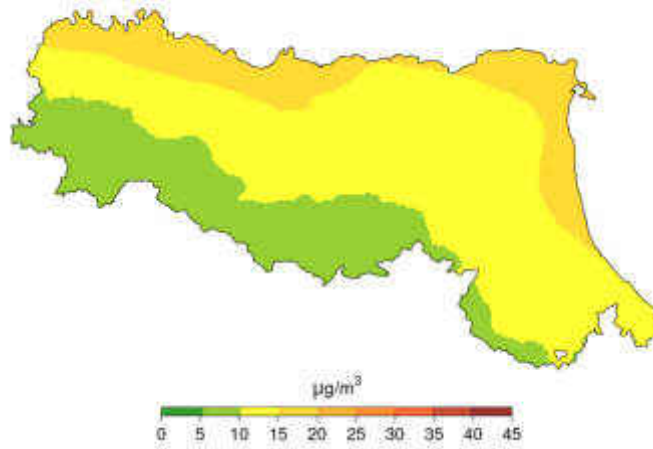


Figura 108. Concentrazioni medie annuali di PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) dello scenario di piano.

NO2 scenario Piano

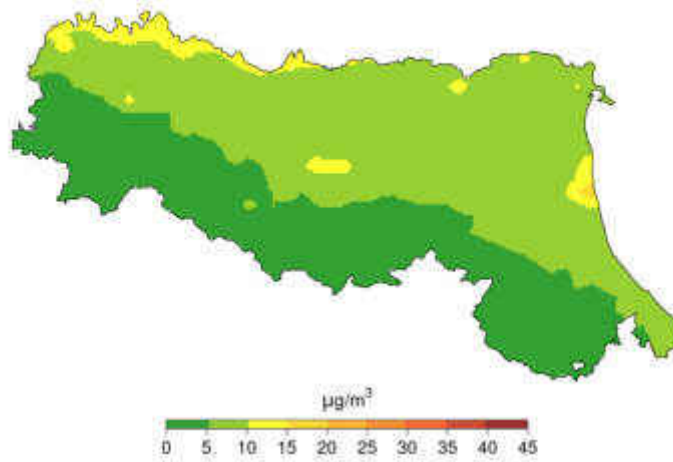


Figura 109. Concentrazioni medie annuali di NO₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) dello scenario di piano.

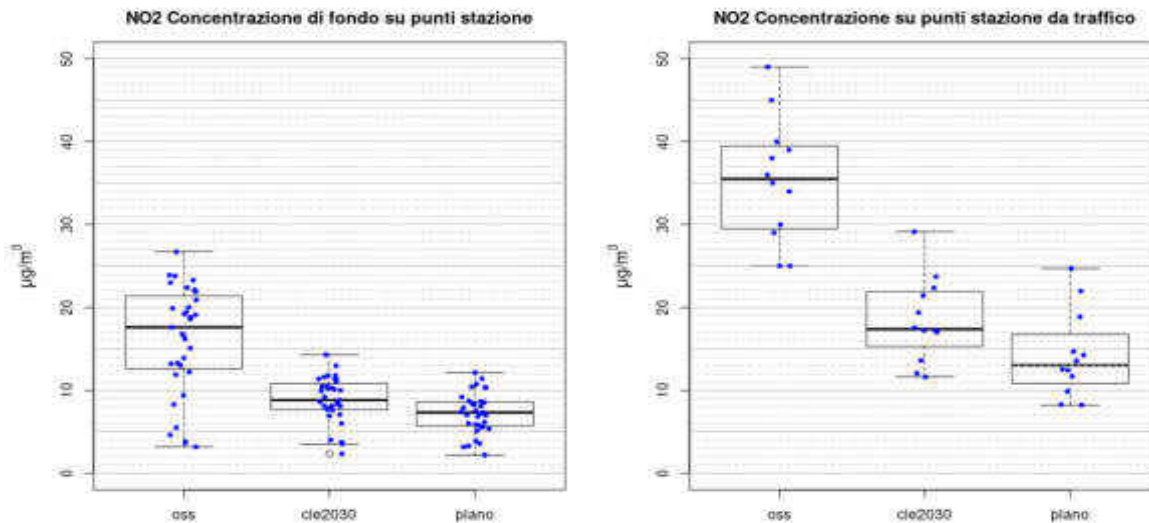


Figura 110. Valori di concentrazione di NO₂ osservati per lo scenario di riferimento 2017 e valori stimati per lo scenario tendenziale CLE 2030 e per lo scenario di piano (a sinistra per le stazioni di fondo, a destra per quelle da traffico).

Per completare la valutazione degli effetti sulla qualità dell'aria degli scenari emissivi sulle concentrazioni di NO₂, sono state stimate le concentrazioni nelle stazioni della rete di monitoraggio regionale usando la stessa metodologia usata in precedenza (vedi § Valutazione degli scenari del documento strategico con il modello di qualità dell'aria NINFA).

In Figura 110 sono mostrati i boxplot delle concentrazioni di NO₂ delle stazioni di monitoraggio di fondo e di traffico osservate per lo scenario base, e stimate per lo scenario CLE 2030 e per lo scenario di piano

Diversamente dal PM₁₀ in questo caso la differenza tra i siti di traffico e quelli di fondo è evidente: le concentrazioni nelle stazioni da traffico sono quasi il doppio di quelle di fondo; inoltre nello scenario di riferimento 2017 queste superavano anche l'attuale valore limite normativo.

Per quanto concerne l'ozono, per fornire una previsione del numero di superamenti, è stato valutato il valore del 93.2° percentile, corrispondente al 26-esimo valore più elevato della distribuzione della massima concentrazione giornaliera delle media mobile su 8 ore di ozono. Tale valore, confrontato con l'attuale limite normativo di 120 µg/m³, evidenzia il rispetto o meno del numero di superamenti del valore obiettivo (media sui 3 anni).

La Figura 111 illustra come nello scenario di piano sostanzialmente buona parte della regione superi il limite normativo.

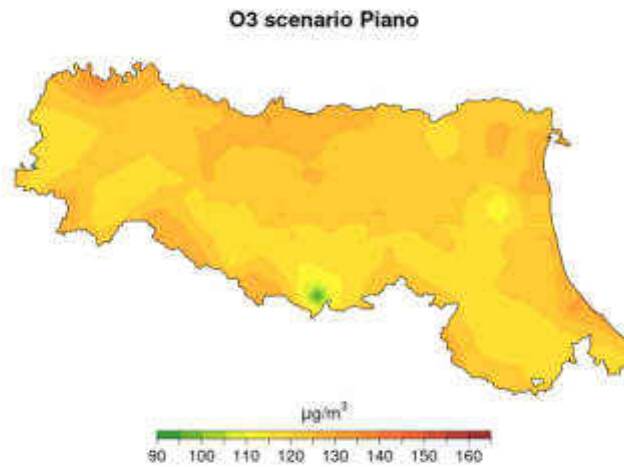


Figura 111. 93.2° percentile della massima concentrazione giornaliera delle media mobile su 8 ore di ozono dello scenario di piano.

Analizzando le differenze dell'indicatore tra lo scenario base e lo scenario di piano, riportate in Figura 112, risultano comunque evidenti riduzioni significative nella zona centro orientale della regione, anche sino a 15 µg/m³. Da tenere in considerazione, come già illustrato in altre sezioni del presente documento, la fenomenologia complessa che caratterizza questo inquinante, la non linearità dei fenomeni associati alla produzione e alla distruzione delle molecole dello stesso, e l'influenza che le condizioni meteo climatiche del periodo estivo hanno su questi processi.

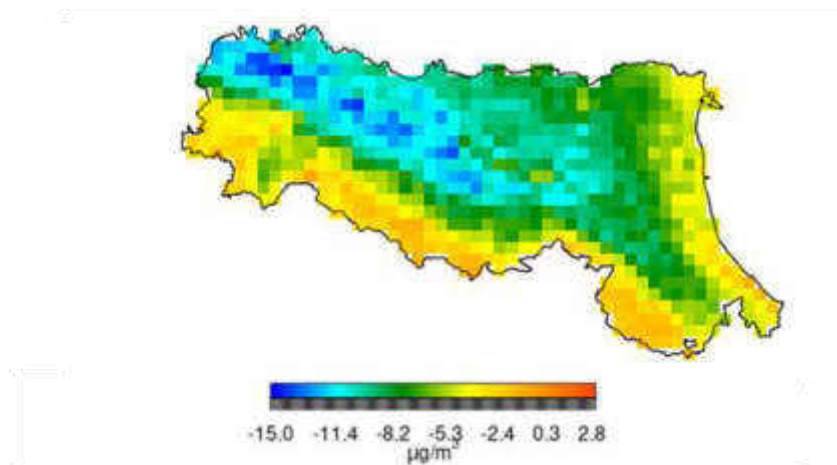


Figura 112. Differenze del 93.2° percentile della massima concentrazione giornaliera delle media mobile su 8 ore di ozono tra lo scenario di piano e lo scenario base.

Valutazione d'impatto sanitario sugli scenari di riduzione dell'inquinamento

Sono state stimate le variazioni in termini di impatto sulla salute della popolazione regionale, dovute ai diversi scenari ipotizzati nel percorso di pianificazione.

Sono stati calcolati il numero di decessi evitabili, o meglio posticipati, e gli anni di vita guadagnati considerando diversi scenari di riduzione dei livelli di inquinamento nella regione Emilia Romagna dal 2017 al 2030.

La nuova versione delle *Air Quality Guidelines* (WHO-AQG), pubblicata dall'OMS nel 2021, ha ridotto ulteriormente i livelli di inquinamento suggeriti ai fini della protezione della salute umana.

I metodi utilizzati per definire i livelli hanno seguito un rigoroso processo di revisione sistematica delle evidenze e meta-analisi delle stime quantitative degli effetti per l'aggiornamento dei livelli AQG. Sono stati coinvolti diversi gruppi di esperti e la revisione ha riguardato più di 500 documenti che sono stati classificati in base al contributo conoscitivo per stabilire i nuovi livelli guida. Questo processo ha permesso di aggiornare anche le funzioni concentrazione-risposta per i principali inquinanti, che quantificano l'aumento del rischio per incrementi dei livelli di esposizione agli inquinanti stessi.

Scenari CLE 2030 e "teorico" di piano

Utilizzando le funzioni concentrazione-risposta suggerite dall'OMS, sono stati calcolati diversi indicatori di miglioramento dello stato di salute della popolazione, in riferimento alle riduzioni delle concentrazioni di inquinanti e delle conseguenti esposizioni della popolazione regionale, secondo il metodo PWE (Population Weighted Exposure, per la descrizione del metodo vedi § Valutazione dell'esposizione della popolazione).

Si riportano in Tabella 21 i principali indicatori, calcolati per l'intero territorio regionale, confrontando la situazione espositiva al 2017 secondo le simulazioni modellistiche, con i 2 scenari CLE 2030 e "teorico". L'inquinante considerato è il PM2.5 e il periodo temporale è quello dell'applicazione del piano (2017-2030). Gli stessi indicatori sono stati calcolati limitatamente ai soli comuni capoluogo e sono riportati in Tabella 22.

Tabella 21. Indicatori calcolati per l'intero territorio regionale per l'inquinante PM2.5

	CLE	teorico
Guadagno nella speranza di vita su tutto il periodo espressa in mesi	2,11 (1,60; 2,37)	2,88 (2,18; 3,22)
Decessi posticipati su tutto il periodo	572 (433; 641)	779 (590; 872)
Percentuale decessi posticipati sul totale dei decessi per cause naturali nel periodo	0,08 (0,06; 0,09)	0,10 (0,08; 0,12)
Numero medio di decessi posticipati attribuibili per 100000 abitanti	0,94 (0,71; 1,05)	1,28 (0,97; 1,43)

Tabella 22. Indicatori calcolati per i comuni capoluogo per l'inquinante PM2.5

	CLE	teorico
Guadagno nella speranza di vita su tutto il periodo espressa in mesi	2,32 (1,76; 2,60)	3,19 (2,41; 3,57)
Decessi posticipati su tutto il periodo	226 (171; 253)	310 (235; 347)
Percentuale decessi posticipati sul totale dei decessi per cause naturali nel periodo	0,09 (0,06; 0,10)	0,12 (0,09; 0,13)

Numero medio di decessi posticipati attribuibili per 100000 abitanti	1,03 (0,78; 1,15)	1,41 (1,07; 1,58)
--	----------------------	----------------------

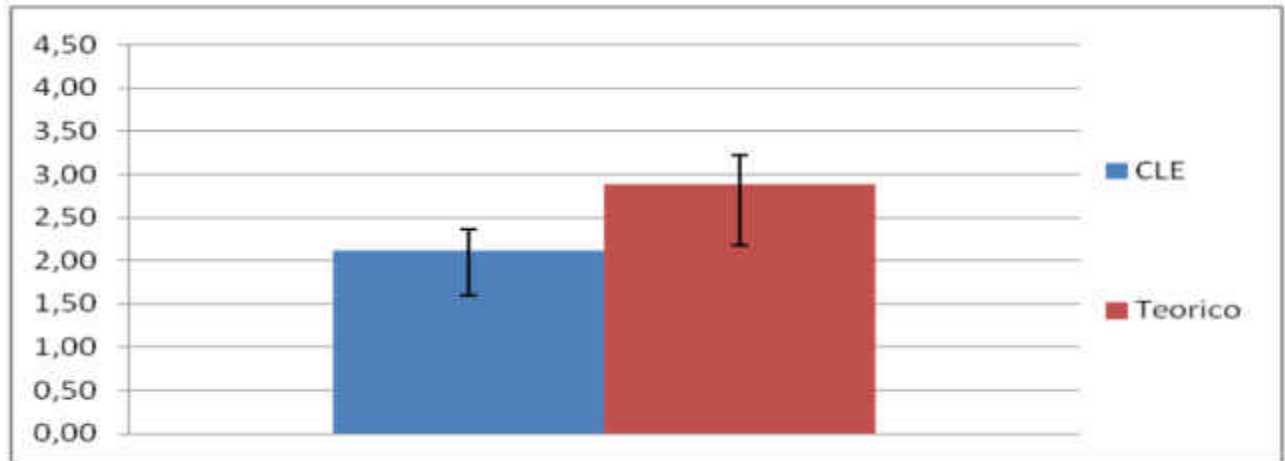


Figura 113. Guadagno nella speranza di vita alla nascita (espressa in mesi)

La speranza di vita è stata calcolata per il periodo 2017-2030, tenendo conto dell'evoluzione demografica della popolazione regionale, e ipotizzando una riduzione annua costante dell'inquinamento dai livelli del 2017, fino ad arrivare a quelli legati ai 2 scenari.

Applicando lo scenario "teorico", al 2030 si stima una riduzione rispetto al CLE 2030 dei decessi attribuibili a PM2.5 pari a circa 200 .

In termini di speranza di vita alla nascita, questo si traduce in un guadagno nella speranza di vita dai 2 ai 3 mesi, a seconda dello scenario considerato (Figura 113).

Le stime di impatto relative ai diversi scenari (2017, CLE 2030, "teorico") sono riportate in Figura 114 .

La prima colonna è riferita ai casi attribuibili dovuti all'esposizione della popolazione regionale ai livelli di PM2.5 del 2017; la seconda ai casi legati all'esposizione della popolazione regionale ai livelli di PM2.5 in corrispondenza del CLE 2030 e la terza in corrispondenza dello scenario "teorico". Rispetto allo scenario del 2017, il solo scenario CLE porterebbe al 2030 ad una riduzione del numero di casi attribuibili di circa 1000 unità, mentre lo scenario "teorico" ad un'ulteriore riduzione di 359 decessi annui (con un intervallo di confidenza da 275 a 400 casi).

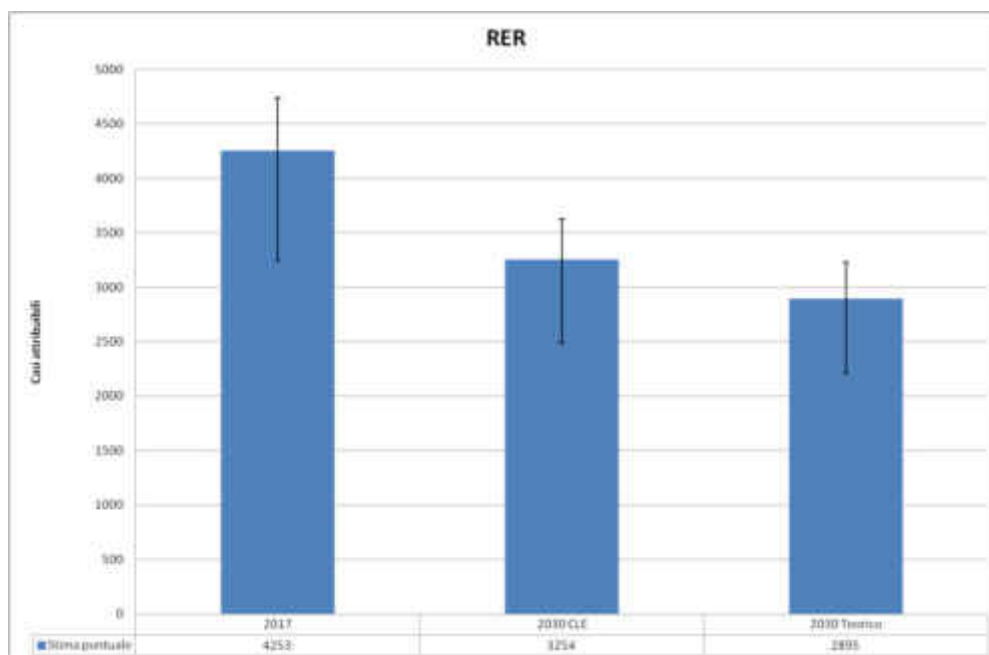


Figura 114. Stime di impatto relative ai diversi scenari (2017, CLE 2030, "teorico").

Scenario di piano

Per la valutazione dello scenario di piano è stata applicata la stessa metodologia utilizzata per gli scenari CLE 2030 e "teorico". L'analisi è stata estesa anche a PM10 e NO₂, riportando i dati completi e il confronto col CLE 2030 nelle corrispondenti tabelle. Va comunque considerato che le stime dei vari indicatori di impatto per inquinante non possono essere sommate, data la alta correlazione fra gli inquinanti.

In base alla metodologia utilizzata, risulta che a livello regionale la riduzione dei livelli di PM2.5 nello scenario di piano è pari a 3,22 µg/m³; nei comuni capoluogo 3,58 µg/m³.

Supponendo una riduzione costante del livello di inquinamento di PM2.5 nel periodo 2017-2030 su tutta la regione, si guadagnerebbero annualmente 0,18 (0,13; 0,20) mesi nello scenario di piano.

Complessivamente con l'applicazione del piano, il guadagno nella speranza di vita, nel periodo considerato, risulterebbe 2,49 mesi, sarebbero posticipati 675 decessi e il numero medio di decessi posticipati attribuibili per 100000 abitanti sarebbe pari a 1,11.

Per i 9 comuni capoluogo si otterrebbe un guadagno annuale di 0,20 (0,15; 0,22) mesi.

Tali risultanze sono molto prossime e del tutto sovrapponibili a quelle ottenute nella valutazione dello scenario "teorico".

Tabella 23. Indicatori calcolati per l'intero territorio regionale per l'inquinante PM2.5

	Piano
Guadagno nella speranza di vita su tutto il periodo espressa in mesi	2,49 (1,89; 2,79)
Decessi posticipati su tutto il periodo	675 (511; 755)
Percentuale decessi posticipati sul totale dei decessi per cause naturali nel periodo	0,09 (0,07; 0,10)

Numero medio di decessi posticipati attribuibili per 100000 abitanti	1,11 (0,84; 1,24)
--	----------------------

Tabella 24. Indicatori calcolati per i comuni capoluogo per l'inquinante PM2.5

	Piano
Guadagno nella speranza di vita su tutto il periodo espressa in mesi	2,74 (2,08; 3,07)
Decessi posticipati su tutto il periodo	267 (202; 299)
Percentuale decessi posticipati sul totale dei decessi per cause naturali nel periodo	0,10 (0,08; 0,11)
Numero medio di decessi posticipati attribuibili per 100000 abitanti	1,21 (0, 92; 1,31)

Per quanto riguarda il PM10, nello scenario di piano le riduzioni sono pari a 4,56 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a livello regionale e 5,12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nei comuni capoluogo.

Supponendo una riduzione costante del livello di inquinamento di PM10 nel periodo 2017-2030 su tutta la regione, si guadagnerebbero annualmente 0,13 (0,10; 0,19) mesi. Complessivamente il guadagno nella speranza di vita, nel periodo considerato, risulterebbe di 1,80 mesi. I decessi posticipati sono 487 e il numero medio di decessi posticipati attribuibili per 100000 abitanti risulta pari 0,80.

Per i 9 comuni capoluogo il guadagno annuale è pari a 0,14 (0,11; 0,21) mesi.

Considerando invece l' NO_2 a livello regionale nello scenario di piano i livelli di inquinamento si riducono di 11,52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in regione e nei capoluoghi 13,72 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Supponendo una riduzione costante del livello di inquinamento di NO_2 nel periodo 2017-2030 su tutta la regione, si guadagnerebbero annualmente e 0,16 (0,08; 0,32) mesi nello scenario di piano. Complessivamente il guadagno nella speranza di vita, nel periodo considerato, risulterebbe di 2,29 mesi. Vengono posticipati sono 621. Il numero medio di decessi posticipati attribuibili per 100000 abitanti risulta pari a 1,02.

Per i 9 comuni capoluogo il guadagno annuale risulta pari a 0,19 (0,10; 0,38) mesi nello scenario di piano.

Tabella 25. Indicatori calcolati per l'intero territorio regionale per l'inquinante PM10

	CLE	Piano
Guadagno nella speranza di vita su tutto il periodo espressa in mesi	1,56 (1,18; 2,32)	1,80 (1,36; 2,67)
Decessi posticipati su tutto il periodo	422 (318; 627)	487 (367; 723)
Percentuale decessi posticipati sul totale dei decessi per cause naturali nel periodo	0,06 (0,04; 0,08)	0,07 (0,05; 0,10)
Numero medio di decessi posticipati attribuibili per 100000 abitanti	0,69 (0,52; 1,03)	0,80 (0,60; 1,19)

Tabella 26. Indicatori calcolati per i comuni capoluogo per l'inquinante PM10

	CLE	Piano
Guadagno nella speranza di vita su tutto il periodo espressa in mesi	1,73 (1,31; 2,57)	2,00 (1,51; 2,97)
Decessi posticipati su tutto il periodo	169 (127; 250)	195 (147; 289)
Percentuale decessi posticipati sul totale dei decessi per cause naturali nel periodo	0,06 (0,05; 0,09)	0,07 (0,06; 0,11)
Numero medio di decessi posticipati attribuibili per 100000 abitanti	0,77 (0,58; 1,14)	0,88 (0,67; 1,31)

Tabella 27. Indicatori calcolati per l'intero territorio regionale per l'inquinante NO₂

Scenari	CLE	Piano
Guadagno nella speranza di vita su tutto il periodo espressa in mesi	1,89 (0,95; 3,73)	2,29 (1,15; 4,54)
Decessi posticipati su tutto il periodo	510 (256; 1010)	621 (312; 1229)
Percentuale decessi posticipati sul totale dei decessi per cause naturali nel periodo	0,07 (0,03; 0,14)	0,08 (0,04; 0,17)
Numero medio di decessi posticipati attribuibili per 100000 abitanti	0,84 (0,42; 1,66)	1,02 (0,51; 2,02)

Tabella 28. Indicatori calcolati per i comuni capoluogo per l'inquinante NO₂

Scenari	CLE	Piano
Guadagno nella speranza di vita su tutto il periodo espressa in mesi	2,16 (1,09; 4,28)	2,71 (1,36; 5,36)
Decessi posticipati su tutto il periodo	210 (106; 416)	263 (132; 521)
Percentuale decessi posticipati sul totale dei decessi per cause naturali nel periodo	0,08 (0,04; 0,16)	0,10 (0,05; 0,20)
Numero medio di decessi posticipati attribuibili per 100000 abitanti	0,95 (0,48; 1,89)	1,20 (0,60; 2,37)

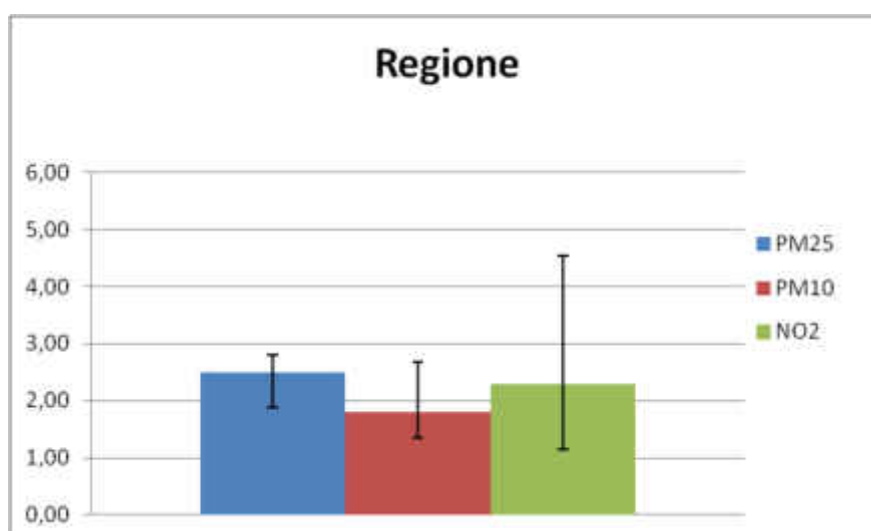


Figura 113. Guadagno nella speranza di vita alla nascita per esposizione della popolazione regionale

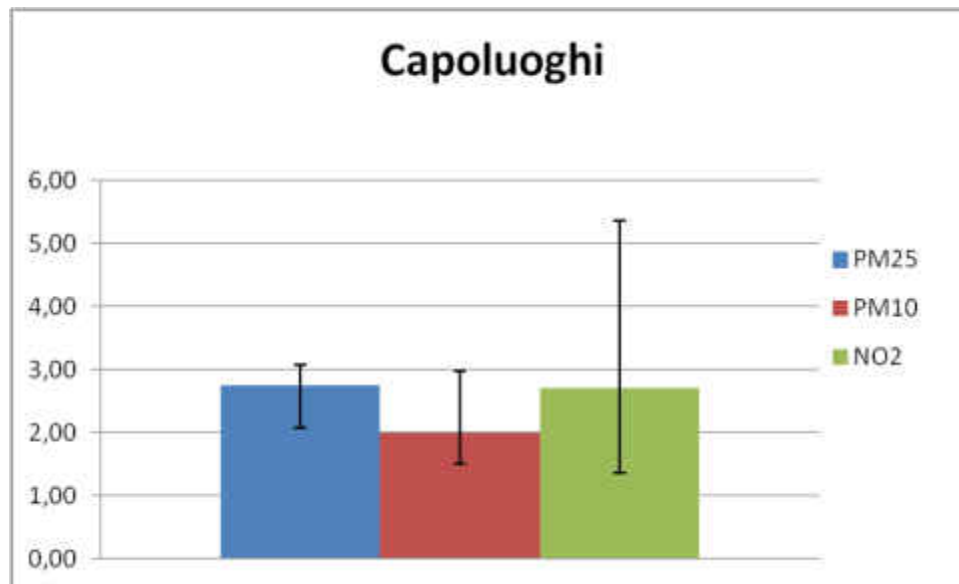


Figura 114. Guadagno nella speranza di vita alla nascita per esposizione della popolazione dei 9 capoluoghi di provincia

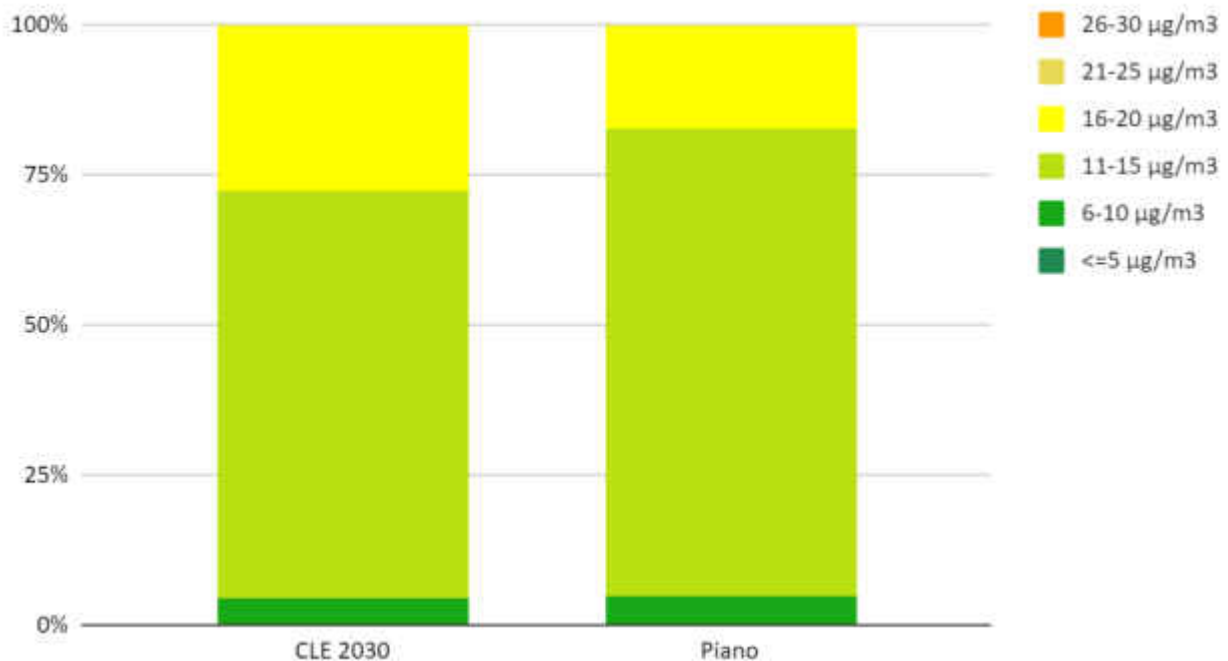


Figura 115. Percentuale di popolazione esposta a PM2.5 negli scenari CLE 2030 e piano

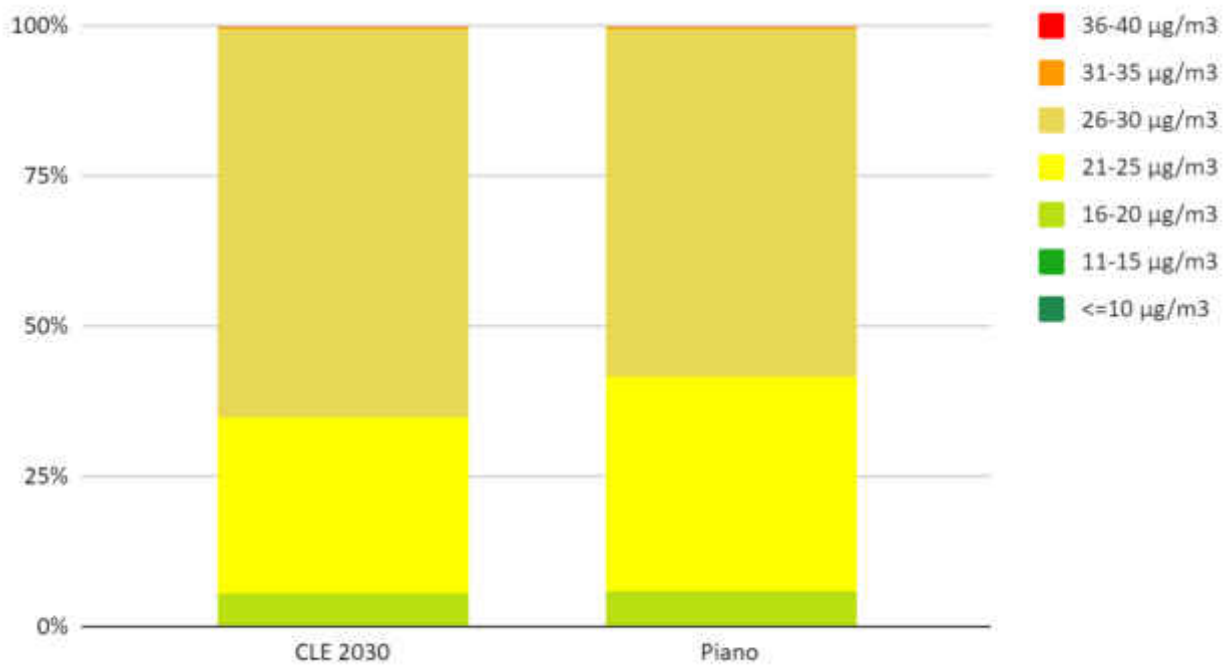


Figura 116. Percentuale di popolazione esposta a PM10 negli scenari CLE 2030 e piano

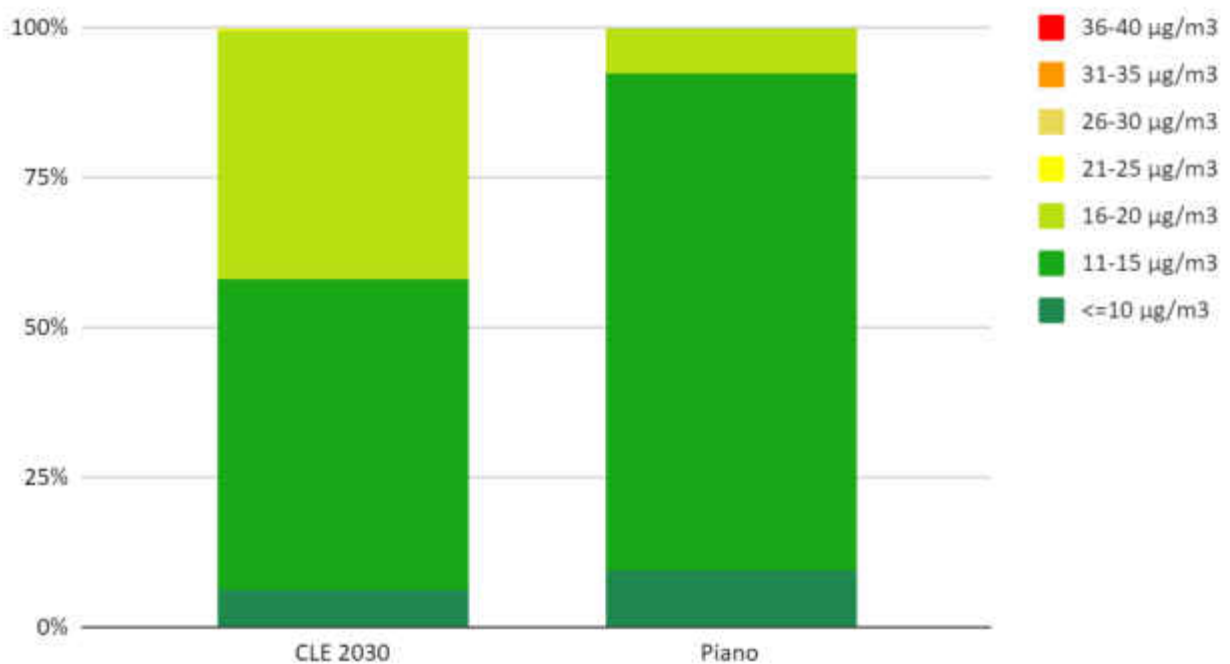


Figura 117. Percentuale di popolazione esposta a NO₂ negli scenari CLE 2030 e piano.

APPENDICE 1. Valori limite e obiettivo, soglie, livelli critici, e valori di riferimento OMS della qualità dell'aria

Tabella A1.1. Limiti normativi, valori obiettivo e altri obiettivi ambientali (prima parte)

Inquinante	Target di protezione	Obiettivi ambientali	Periodo di mediazione	Metrica dell'obiettivo ambientale	Valori numerici degli obiettivi ambientali
PM ₁₀	Salute	Valore limite	Giorno	Giorni di eccedenza nell'anno civile del valore limite di 50 µg/m ³	35
		Valore limite	Anno civile	Media annua	40 µg/m ³
PM _{2.5}	Salute	Valore limite	Anno civile	Media annua	25 µg/m ³ (dal 2015)
		Valore limite indicativo	Anno civile	Media annua	20 µg/m ³ (dal 2020)
		Obbligo di concentrazione dell'esposizione	3 anni civili	Indicatore di esposizione media (IEM)	20 µg/m ³
		Obiettivo di riduzione dell'esposizione			Da 0 a 20% e dipendente dal IEM dell'anno di riferimento. Da raggiungere entro il 2020 (Allegato XIV, punto 2 D.Lgs. 155/2010)
NO ₂	Salute	Valore limite	ora	Ore di eccedenza nell'anno civile del valore limite di 200 µg/m ³	18
		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 registrata per 3 ore consecutive (400 µg/m ³)	0
NO _x	Vegetazione	Livello critico	Anno civile	Media annua	30 µg/m ³
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
		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 nell'anno civile (120 µg/m ³)	0
		Soglia di informazione	ora	Ore in eccedenza rispetto alla soglia di informazione nell'anno civile (180 µg/m ³)	0
		Soglia di allarme	ora	Ore in eccedenza nell'anno civile rispetto alla soglia di allarme (240 µg/m ³)	0
	Vegetazione	Valore obiettivo	1 Maggio – 31 Luglio	AOT40 come media sui 5 anni	18000 µg/m ³
		Obiettivo a lungo termine	1 Maggio – 31 Luglio	AOT40 come media su 1 anno	6000 µg/m ³

Tabella A1.1. Limiti normativi, valori obiettivo e altri obiettivi ambientali (seconda parte)

Inquinante	Target di protezione	Obiettivi ambientali	Periodo di mediazione	Metrica dell'obiettivo ambientale	Valori numerici degli obiettivi ambientali
SO ₂	Salute	Valore limite	ora	Ore di eccedenza nell'anno civile del valore limite di 350 µg/m ³	24
			giorno	Ore di eccedenza nell'anno civile del valore limite di 125 µg/m ³	3
		Soglia di allarme	ora	Ore in eccedenza nell'anno civile rispetto alla soglia di allarme (500 µg/m ³)	0
	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
Benzene	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
B(a)P	Salute	Valore obiettivo	Anno civile	Media annua	1 ng/m ³

Tabella A1.2. Livelli di esposizione dell'OMS ai vari inquinanti (da Linee Guida OMS 2006)

Inquinante	Periodo di mediazione	Metrica dell'obiettivo ambientale	Valori di riferimento OMS
PM ₁₀	Giorno	Giorni di eccedenza nell'anno civile del valore limite di 50 µg/m ³	3
	Anno civile	Media annua	20 µg/m ³
PM _{2.5}	Anno civile	Media annua	10 µg/m ³
NO ₂	ora	Ore di eccedenza nell'anno civile del valore limite di 200 µg/m ³	0
	Anno civile	Media annua	40 µg/m ³
O ₃	Massimo giornaliero media mobile su 8 ore	Giorni in cui il massimo della media mobile su 8 ore eccede il valore obiettivo nell'anno civile (100 µg/m ³)	Livello al di sotto del quale è prevedibile un'adeguata protezione della salute pubblica sebbene effetti avversi per la salute non possono essere del tutto esclusi (non è possibile individuare con certezza una soglia di non effetto)
	Massimo giornaliero media mobile su 8 ore	Ore in eccedenza nell'anno civile rispetto alla soglia di allarme (240 µg/m ³)	0
SO ₂	Media giornaliera	Concentrazione media per un'esposizione di 24 ore	20 µg/m ³
	minuti	Concentrazione media per un'esposizione di 10 minuti	500 µg/m ³
CO	Minuti/ore	Valori soglia per esposizioni di breve periodo	100 mg/m ³ per esposizioni di 15 minuti 60 mg/m ³ per esposizioni di 30 minuti

			30 mg/m ³ per esposizioni di 1 ora 10 mg/m ³ per esposizioni di 8 ore
B(a)P	Anno civile	Media annua	1 ng/m ³

Secondo l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS), in conseguenza della accertata cancerogenicità del benzene, non è possibile stabilire livelli di esposizione al di sotto dei quali non c'è rischio di sviluppo degli effetti avversi.

APPENDICE 2. Metodo per il calcolo delle giornate favorevoli all'accumulo di PM10 e O₃

La variabilità di breve periodo delle concentrazioni di **PM10** è dominata dalle condizioni meteorologiche: si può quindi cercare una relazione semplice tra parametri meteorologici e concentrazioni, che spieghi il più possibile della loro variabilità.

Il punto di partenza sono le serie storiche di concentrazioni e predittori meteorologici osservati in Emilia-Romagna. In particolare, sono state considerate solo grandezze medie giornaliere, relative a una decina di parametri e loro combinazioni scelti a priori; sono sempre stati usati dati meteorologici relativi allo stesso luogo e alla stessa giornata delle misure di concentrazione.

I dati raccolti sono stati elaborati su base puramente statistica, con la tecnica dell'albero di classificazione: con questo approccio, le giornate vengono suddivise in gruppi con valori di concentrazione omogenei, tramite scelte successive sui predittori meteorologici. I giorni appartenenti ai gruppi in cui il valor medio delle concentrazioni è $> 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vengono considerati favorevoli all'accumulo del PM10 ("critici").

Al termine dell'analisi, sono risultati "significativi" due parametri:

- i
indice di ventilazione (prodotto tra altezza di rimescolamento e velocità del vento; l'altezza di rimescolamento è stata stimata col pre-processor meteorologico Calmet);

- p
precipitazione cumulata nel corso della giornata

In base all'albero di classificazione risultante (Figura A2.1), risultano "critiche" le giornate senza pioggia (precipitazione $< 0.3 \text{ mm}$) in cui l'indice di ventilazione è inferiore a $800 \text{ m}^2/\text{s}$.

L'indicatore risulta utile per analisi di lungo periodo, ma richiede estrema cautela nell'analisi di giornate specifiche. Si è scelto di usare il numero mensile di giorni critici rinunciando ad analisi di "criticità meteorologica" osservata giorno per giorno.

Con la stessa metodologia di classificazione ad albero si sono selezionate le variabili meteorologiche correlate alle giornate critiche per l'**ozono**. Per questo inquinante la variabile più indicativa è la temperatura e la soglia individuata per classificare la giornata come critica per l'ozono è temperatura massima superiore $29 \text{ }^\circ\text{C}$.

Come per il PM10 anche nel caso dell'ozono l'indicatore risulta utile per analisi di lungo periodo e non può essere applicata per analisi di "criticità meteorologica" osservata giorno per giorno.

Chiaramente non c'è una corrispondenza esatta tra giorni "critici" e valori elevati di concentrazioni, ma l'albero di classificazione ha comunque una discreta capacità discriminante: la sovrapposizione tra le concentrazioni nei giorni "critici" e in quelli "non critici" risulta circa del 25% (Figura A2.1).

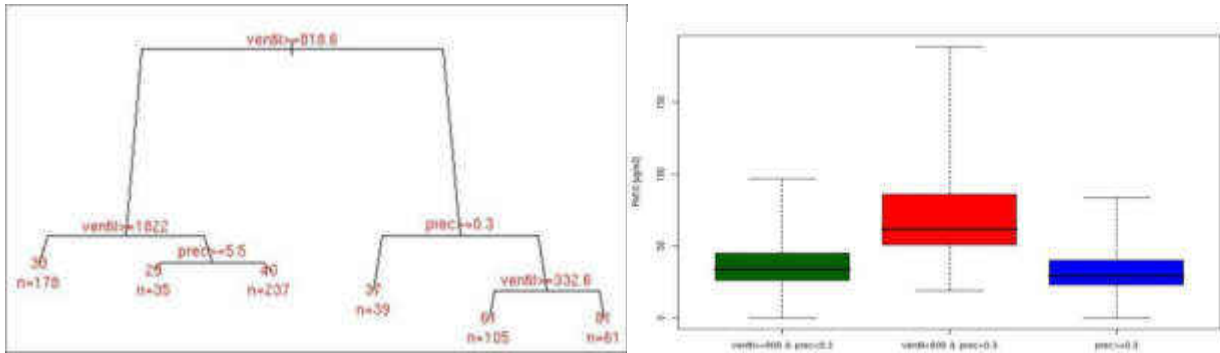


Figura A3.1. Albero di classificazione usato per definire l'indicatore "giorni critici" (sinistra); distribuzione di frequenza delle concentrazioni osservate nei giorni "critici" (rosso) e in quelli "non critici" (verde e blu).

APPENDICE 3. Stima dei trend delle concentrazioni giornaliere di PM10, PM2.5, NO₂, O₃

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. L'analisi del trend della qualità dell'aria per i principali inquinanti, NO₂, O₃, PM10, PM2.5, ha lo scopo di descrivere in modo sintetico ed 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. L'analisi è stata condotta utilizzando i dati delle stazioni RRQA di Arpa durante il periodo 2013-2021 per gli inquinanti sopra descritti. Il trend viene calcolato separatamente per ciascuno degli inquinanti presi in esame e per ciascuna stazione che li misura. Per l'ozono, l'analisi è stata effettuata sul valore massimo giornaliero della media mobile su 8 ore, per i rimanenti inquinanti sulle medie mensili, calcolati a partire dal dato orario/giornaliero misurato. I dati rilevati dalle stazioni di misura vengono preventivamente preparati e sottoposti a controllo di qualità. Inoltre, 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. 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 ed 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.

La medesima analisi è stata poi condotta sull'ultimo periodo 2016-2021.

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.

Di seguito sono riportati i risultati relativi a ciascuna stazione, presentati sotto forma di grafici a barre.

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

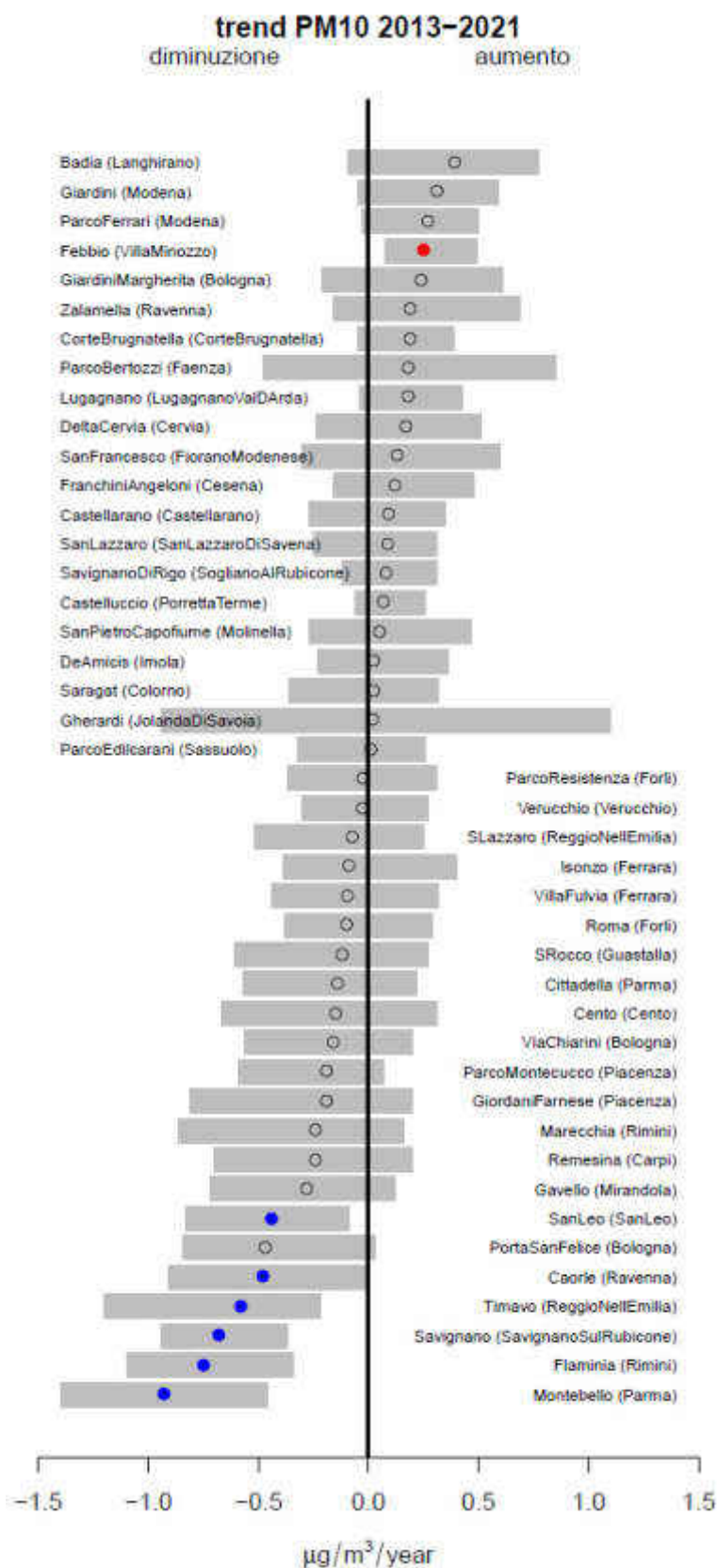


Figura A3.1. Trend PM₁₀ 2013 – 2021. Stima del trend delle concentrazioni giornaliere di PM₁₀, calcolato per ciascuna stazione di misura sui dati delle stazioni di monitoraggio selezionate disponibili nel periodo 2013-2021. I cerchietti

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%

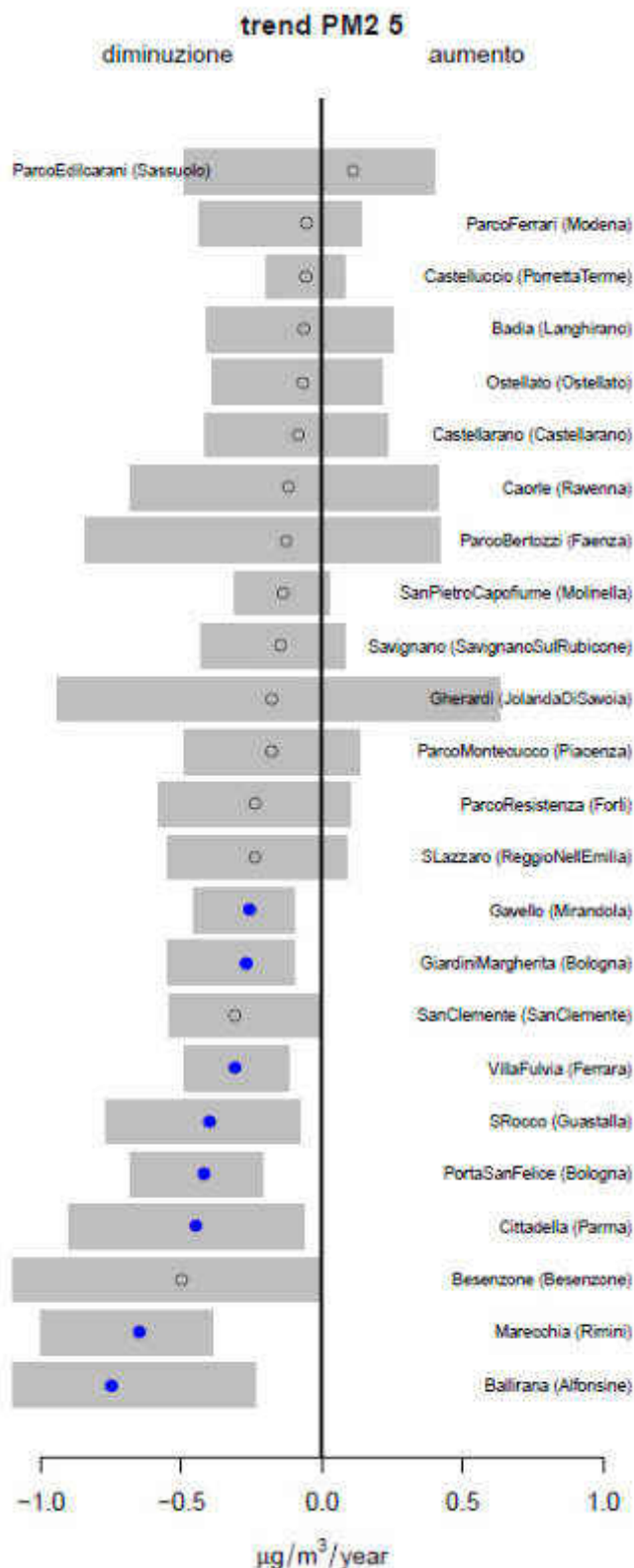


Figura A3.2. Trend PM2.5 2013 – 2021. Stima del trend delle concentrazioni giornaliere di PM2.5, calcolato per ciascuna stazione di misura sui dati delle stazioni di monitoraggio selezionate disponibili nel periodo 2013-2021. I

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%.

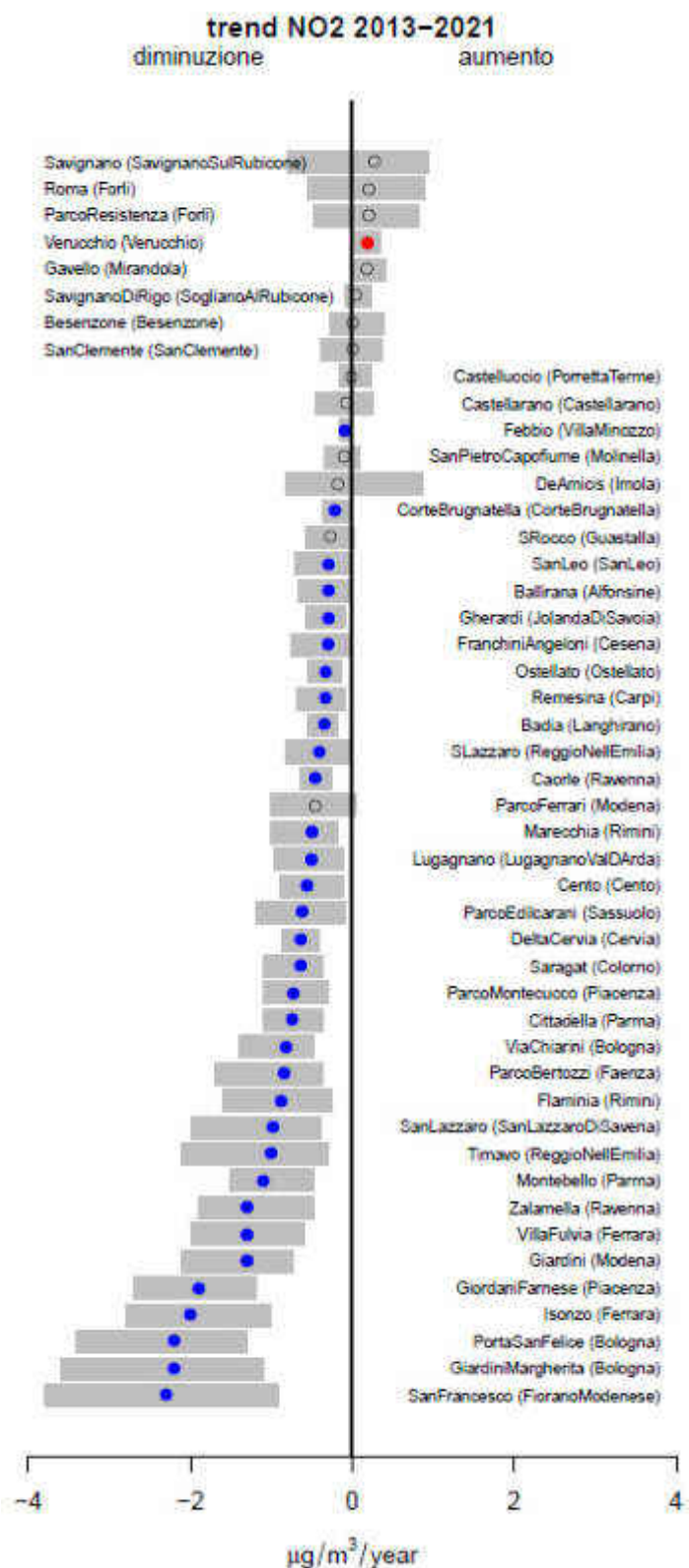


Figura A3.3 Trend NO₂ 2013 – 2021. Stima del trend delle concentrazioni orarie di NO₂, calcolato per ciascuna stazione di misura sui dati delle stazioni di monitoraggio selezionate disponibili nel periodo 2013-2021. I cerchietti indicano il

Figura A3.4 Trend NO₂ 2013 – 2019. Stima del trend delle concentrazioni orarie di NO₂, calcolato per ciascuna stazione di misura sui dati delle stazioni di monitoraggio selezionate disponibili nel periodo 2016-2021. 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%.

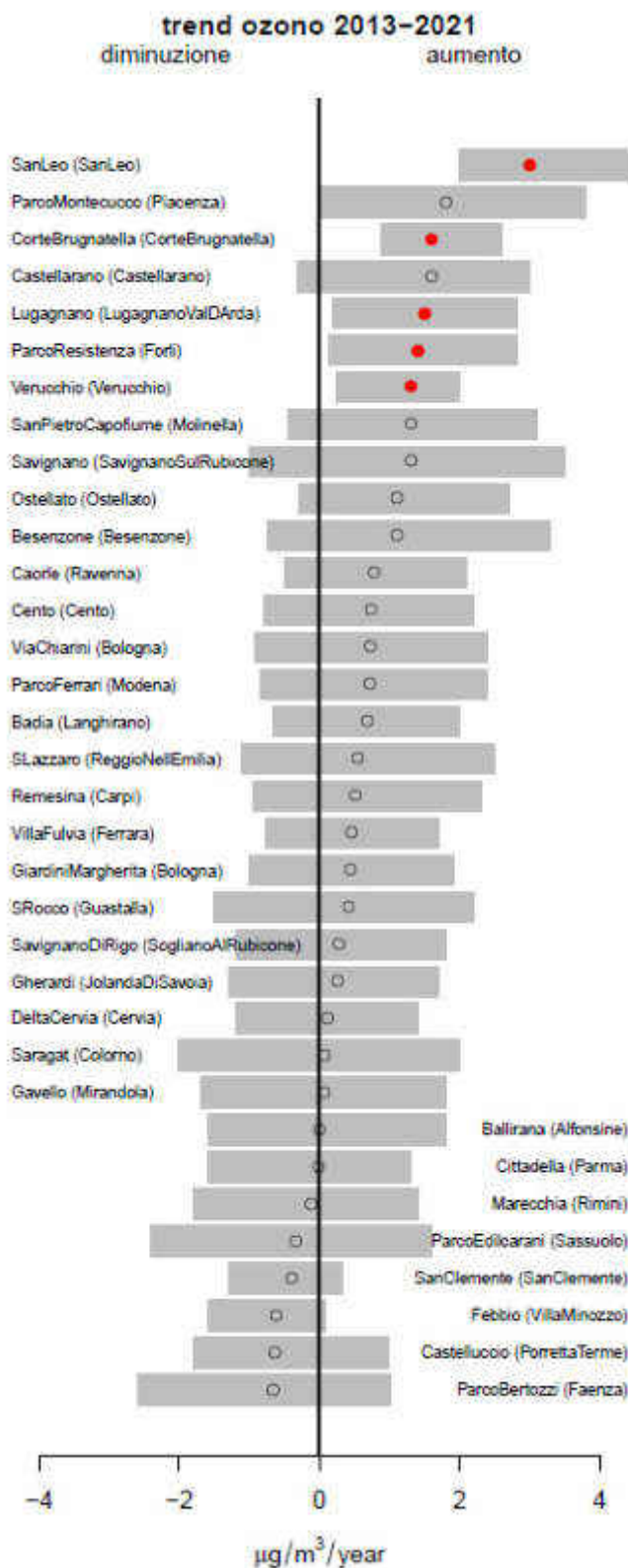


Figura A3.5. Trend Ozono 2013 - 2021. Stima del trend delle concentrazioni orarie di Ozono, calcolato per ciascuna stazione di misura sui dati delle stazioni di monitoraggio selezionate disponibili nel periodo 2013-2021. I cerchi indicano il trend, il colore esprime la significatività statistica (blu=diminuzione significativa; rosso=aumento significativo; grigio=trend non significativo). La barra grigia identifica l'intervallo di confidenza del 95%

APPENDICE 4. Legenda uso del suolo dell'Emilia Romagna

1111 Ec Tessuto residenziale compatto e denso	1231 Nc Aree portuali commerciali
1112 Er Tessuto residenziale rado	1232 Nd Aree portuali da diporto
1121 Ed Tessuto residenziale urbano	1233 Np Aree portuali per la pesca
1122 Es Strutture residenziali isolate	1241 Fc Aeroporti commerciali
1211 Ia Insediamenti produttivi	1242 Fs Aeroporti per volo sportivo e eliporti
1212 Iz Insediamenti agro-zootecnici	1243 Fm Aeroporti militari
1213 Ic Insediamenti commerciali	1311 Qa Aree estrattive attive
1214 Is Insediamenti di servizi	1312 Qi Aree estrattive inattive
1215 Io Insediamenti ospedalieri	1321 Qq Discariche e depositi di cave, miniere e industrie
1216 It Impianti tecnologici	1322 Qu Discariche di rifiuti solidi urbani
1221 Ra Autostrade e superstrade	1323 Qr Depositi di rottami
1222 Rs Reti stradali	1331 Qc Cantieri e scavi
1223 Rv Aree verdi associate alla viabilità	1332 Qs Suoli rimaneggiati e artefatti
1224 Rf Reti ferroviarie	1411 Vp Parchi
1225 Rm Impianti di smistamento merci	1412 Vv Ville
1226 Rt Impianti delle telecomunicazioni	1413 Vx Aree incolte urbane
1227 Re Reti per la distribuzione e produzione dell'energia	1421 Vt Campeggi e strutture turistico-ricettive
1228 Ro Impianti fotovoltaici	1422 Vs Aree sportive
1229 Ri Reti per la distribuzione idrica	1423 Vd Parchi di divertimento

1424	Vg	Campi da golf
1425	Vi	Ippodromi
1426	Va	Autodromi
1427	Vr	Aree archeologiche
1428	Vb	Stabilimenti balneari
1430	Vm	Cimiteri
2110	Sn	Seminativi non irrigui
2121	Se	Seminativi semplici irrigui
2122	Sv	Vivai
2123	So	Culture orticole
2130	Sr	Risaie
2210	Cv	Vigneti
2220	Cf	Frutteti
2230	Co	Oliveti
2241	Cp	Pioppeti culturali
2242	Cl	Altre colture da legno
2310	Pp	Prati stabili
2410	Zt	Culture temporanee associate a culture permanenti
2420	Zo	Sistemi colturali e particellari complessi
2430	Ze	Aree con colture agricole e spazi naturali importanti
3111	Bf	Boschi a prevalenza di faggi
3112	Bq	Boschi a prevalenza di querce, carpini e castagni
3113	Bs	Boschi a prevalenza di salici e pioppi
3114	Bp	Boschi planiziari a prevalenza di farnie e frassini
3115	Bc	Castagneti da frutto
3116	Br	Boscaglie ruderali
3120	Ba	Boschi di conifere
3130	Bm	Boschi misti di conifere e latifoglie
3210	Tp	Praterie e brughiere di alta quota
3220	Tc	Cespuglieti e arbusteti
3231	Tn	Vegetazione arbustiva e arborea in evoluzione
3232	Ta	Rimboschimenti recenti
3310	Ds	Spiagge, dune e sabbie
3320	Dr	Rocce nude, falesie e affioramenti
3331	Dc	Aree calanchive
3332	Dx	Aree con vegetazione rada di altro tipo

- 3340 Di Aree percorse da incendi
- 4110 Ui Zone umide interne
- 4120 Ut Torbiere
- 4211 Up Zone umide salmastre
- 4212 Uv Valli salmastre
- 4213 Ua Acquaculture in zone umide salmastre
- 4220 Us Saline
- 5111 Af Alvei di fiumi e torrenti con vegetazione scarsa
- 5112 Av Alvei di fiumi e torrenti con vegetazione abbondante
- 5113 Ar Argini
- 5114 Ac Canali e idrovie
- 5121 An Bacini naturali
- 5122 Ap Bacini produttivi
- 5123 Ax Bacini artificiali
- 5124 Aa Acquaculture in ambiente continentale
- 5211 Ma Acquaculture in ambiente marino