

**SERVIZIO SANITARIO REGIONALE
EMILIA-ROMAGNA**
Azienda Unità Sanitaria Locale di Bologna

Istituto delle Scienze Neurologiche
Istituto di Ricovero e Cura a Carattere Scientifico

VALUTAZIONE SANITARIA DELLA QUALITÀ DELL'ARIA A BOLOGNA 2023

Valutazione sanitaria della qualità dell'aria a Bologna, 2023

A cura di:

Vincenza Perlangeli¹, Giorgia Zanutto¹, Muriel A. Musti¹, Paolo Pandolfi^{1,2}

¹UOC Epidemiologia, Promozione della Salute e Comunicazione del Rischio – Dipartimento di Sanità Pubblica, Azienda USL di Bologna

²Dipartimento di Sanità Pubblica, Azienda USL di Bologna

Un ringraziamento per la messa a disposizione di dati ed informazioni utili a produrre questo rapporto va ai colleghi di ARPAE e del Dipartimento di Sanità Pubblica dell'Azienda USL di Imola.

Per informazioni:

vincenza.perlangeli@ausl.bologna.it

paolo.pandolfi@ausl.bologna.it

Novembre 2024

Questo Rapporto è di proprietà dell'Azienda USL di Bologna e non è coperto da copyright, può quindi essere diffuso, purché non modificato, e sue parti possono essere estratte purché correttamente citato in bibliografia.

SOMMARIO

1. Premessa.....	4
2. Indicatori dell'inquinamento atmosferico.....	7
3. Metodi.....	9
4. Città Metropolitana di Bologna	13
5. Comune di Bologna.....	20
6. Confronto temporale	25
7. Considerazioni	35
Glossario	38
Bibliografia	39

1. Premessa

Vi sono ampie prove degli effetti negativi sulla salute causati dall'inquinamento atmosferico, considerato il maggiore fattore di rischio ambientale per la salute umana¹.

Numerosi studi, anche recenti, hanno confermato gli effetti dell'inquinamento atmosferico sulla mortalità, sulla morbidità e sul ricorso ai servizi sanitari per diverse patologie; le persone anziane, i bambini e le persone con patologie preesistenti risultano i più sensibili agli impatti negativi sulla salute²⁻⁸.

L'esposizione sia a breve che a lungo termine all'inquinamento atmosferico può portare ad un'ampia gamma di patologie, tra cui ictus, broncopneumopatia cronica ostruttiva (BPCO), cancro polmonare, asma bronchiale, infezioni delle vie respiratorie inferiori, diabete mellito di tipo 2, obesità, infiammazione sistemica, morbo di Alzheimer e demenza⁹.

Nel 2013 l'inquinamento atmosferico e il PM (*particulate matter* o particolato) sono stati classificati come cancerogeni dall'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC)¹⁰.

In particolare, due progetti dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS), REVIHAAP¹¹, (*Review of Evidence on Health Aspects of Air Pollution*) e HRAPIE¹² (*Health Risk of Air Pollution in Europe*), hanno raccolto le evidenze scientifiche sugli effetti indesiderati acuti e cronici dell'inquinamento atmosferico sulla salute umana anche a concentrazioni inferiori a quelle riportate nelle linee guida OMS 2005.

L'OMS ha pubblicato a fine 2021 un aggiornamento delle linee guida globali sulla qualità dell'aria (*WHO global Air Quality Guidelines* o AQG 2021)¹³. Dalla pubblicazione dell'edizione precedente, numerosi sono gli studi che documentano l'impatto dell'inquinamento atmosferico sulla salute anche a basse concentrazioni di inquinanti¹⁴⁻¹⁸. Ciò ha portato ad un aggiornamento dei valori soglia delle AQG. I livelli raccomandati sono molto stringenti per alcuni inquinanti, con riduzioni considerevoli dei valori limite per l'esposizione a lungo termine più dannosi per la salute. In particolare, le concentrazioni medie annue del particolato fine (PM_{2,5}) passano da 10 a 5 µg/m³, quelle del particolato inalabile (PM₁₀) da 20 a 15 µg/m³, mentre per il biossido di azoto (NO₂) calano drasticamente da 40 a 10 µg/m³. Tali raccomandazioni non costituiscono norme giuridicamente vincolanti, mettono invece a disposizione degli Stati membri dell'OMS uno strumento informativo utile ai legislatori e alla politica in generale per orientare azioni finalizzate alla riduzione dei livelli di inquinanti atmosferici e di conseguenza per diminuire l'impatto sulla salute della popolazione mondiale.

In Europa, nonostante una significativa riduzione delle emissioni registrata negli ultimi due decenni, le concentrazioni degli inquinanti atmosferici sono tuttora eccessivamente elevate. Infatti, secondo l'Agenzia Europea per l'Ambiente (*European Environment Agency* o EEA) nel 2021 il 97% della popolazione urbana è stata esposta a concentrazioni nocive di particolato fine (PM_{2,5}) superiori al livello raccomandato dall'OMS.¹ Nel 2022 l'EEA con la collaborazione dell'*European Topic Centre on Human Health and the Environment* (ETC HE) ha prodotto un report di valutazione del rischio sanitario dell'inquinamento dell'aria e dell'impatto delle nuove linee guida OMS¹⁹. Il report riporta le stime di mortalità naturale dovuta all'esposizione a lungo termine a PM_{2,5} e biossido di azoto (NO₂) e a breve termine all'ozono (O₃). In base al report dell'EEA la mortalità associata all'esposizione all'inquinamento atmosferico in Europa è tuttora elevata. La mortalità maggiore è attribuibile al PM_{2,5}, seguito da NO₂ e O₃¹⁹. Considerando 41 Paesi europei, l'esposizione a livelli di inquinanti superiori rispetto a quelli raccomandati dalle AQG 2021 corrisponde nel 2020 a 275.000 decessi prematuri in relazione all'esposizione a PM_{2,5} e 64.000 a NO₂, mentre l'esposizione a breve termine all'O₃ è causa di 28.000 decessi prematuri; considerando

invece solamente i 27 Paesi membri dell'Unione Europea (UE), le stime sono pari a 238.000 decessi prematuri attribuibili al PM_{2,5}, 49.000 al NO₂ e 24.000 all'esposizione acuta all'ozono¹⁹. È importante sottolineare come, tra i Paesi europei considerati, l'Italia presenta il maggior impatto in termini di numero assoluto di decessi attribuibili stimati sia per il PM_{2,5} (52.300 decessi) sia per l'O₃ (5.100 decessi); relativamente all'impatto dell'esposizione all'NO₂ l'Italia si trova al secondo posto con 11.200 decessi, preceduta solamente dalla Turchia¹⁹.

Oltre alla mortalità prematura l'inquinamento atmosferico è anche causa di morbilità. Tale impatto è stato stimato e riportato nel report del 2022 dell'EEA in termini di carico di malattia dovuto all'esposizione agli inquinanti atmosferici²⁰. In particolare, per i Paesi europei per il 2019 si stimano 51,6 anni vissuti con disabilità (*years lived with disability* o YLDs) per 100.000 abitanti ≥ 25 anni per BPCO attribuibili all'esposizione al PM_{2,5}, 54,6 YLDs per 100.000 abitanti ≥ 35 anni per diabete mellito attribuibili all'esposizione a NO₂ e 18 ospedalizzazioni per 100.000 abitanti ≥ 65 anni per malattie respiratorie attribuibili all'esposizione acuta all'ozono²⁰. L'Italia si classifica al primo posto per YLDs dovuti a cancro polmonare associato a PM_{2,5} (814 YLDs) e per le ospedalizzazioni per malattie respiratorie attribuibili all'esposizione acuta all'ozono (3.059 ricoveri)²⁰.

Nell'ambito del Green Deal europeo la Commissione Europea ha adottato nel 2021 il piano d'azione dell'UE "Pathway to a Healthy Planet for All EU Action Plan: Verso l'inquinamento zero per aria, acqua e suolo"²¹; il piano mira a ridurre i livelli di inquinamento dell'aria, dell'acqua e del suolo in modo che non siano più considerati dannosi per l'ambiente, la salute e gli ecosistemi naturali entro il 2050. In seguito, la Commissione Europea nell'ottobre 2022 ha presentato una proposta di revisione delle Direttive sulla qualità dell'aria²², con l'obiettivo di allineare maggiormente gli standard di qualità dell'aria dell'UE alle raccomandazioni dell'OMS (WHO AQG 2021), pur rimanendo, per alcuni parametri, parzialmente superiori agli *air quality guideline level*.

Ad aprile 2024, il Parlamento Europeo ha adottato in via definitiva un accordo politico con i governi dell'UE sulle nuove misure per migliorare la qualità dell'aria nell'UE e a ottobre 2024 il Consiglio Europeo dell'UE ha adottato formalmente la direttiva che stabilisce standard di qualità dell'aria aggiornati per il territorio dell'UE²³. Il testo verrà pubblicato sul Giornale Ufficiale dell'UE ed entrerà in vigore al ventesimo giorno successivo alla pubblicazione. Gli Stati Membri avranno due anni dall'entrata in vigore per trasporre la Direttiva in norma nazionale. Il nuovo regolamento contribuirà all'obiettivo dell'UE di "inquinamento zero" entro il 2050 e alla prevenzione di decessi prematuri attribuibili all'inquinamento atmosferico. La nuova Direttiva stabilisce standard di qualità dell'aria più stringenti da rispettare in tutta l'UE entro il 2030: i nuovi valori limite annuali sono 20 µg/m³ per il PM₁₀, 10 µg/m³ per il PM_{2,5} e 20 µg/m³ per l'NO₂²³. Sebbene questi valori limite proposti siano più restrittivi di quelli attuali, sono comunque più alti dell'AQG 2021 dell'OMS.

La qualità dell'aria è strettamente legata al clima e agli ecosistemi a livello globale. Molti dei fattori che determinano l'inquinamento atmosferico (ad esempio la combustione di fossili) sono anche fonti di emissioni di gas ad effetto serra. Alcuni inquinanti atmosferici, in particolare il *black carbon* (un componente del PM) e l'ozono troposferico, sono collegati oltre che agli effetti sulla salute anche al riscaldamento a breve termine del pianeta e la loro riduzione apporterebbe co-benefici non solo per la salute umana ma anche per il clima. Le politiche per ridurre l'inquinamento atmosferico, quindi, offrono una strategia vincente sia per il clima che per la salute umana, riducendo il carico di malattie attribuibili ad esso, oltre a contribuire alla mitigazione a breve e lungo termine del cambiamento climatico²⁴⁻²⁶.

Dal 2003 il Dipartimento di Sanità Pubblica (DSP) dell'Azienda USL di Bologna produce il presente rapporto con l'obiettivo di monitorare l'impatto dei principali inquinanti atmosferici sulla salute dei residenti nel territorio della Città Metropolitana di Bologna. Nel 2023 con DGR n. 183 del 13/02/2023, in ragione della esperienza maturata nel tempo, al DSP è stato affidato il

coordinamento del centro di riferimento per il Clima del Sistema Regionale Prevenzione Salute (SRPS) dell'Emilia-Romagna, con il compito di valutare il rapporto tra clima e salute, relazione fortemente condizionata dall'inquinamento atmosferico.

In questo documento, ormai più che ventennale, l'impatto dell'inquinamento atmosferico è stimato in termini di mortalità, ospedalizzazioni e anni di vita persi della popolazione residente nella Città Metropolitana di Bologna sia nel breve che nel lungo termine. Inoltre, la lunga serie di rapporti permette di rappresentare il fenomeno anche in termini di andamento temporale.

L'impatto viene espresso come numero di decessi e di ospedalizzazioni attribuibili ai vari inquinanti e come frazione di eventi (decessi e di ospedalizzazioni) che si sarebbero potuti evitare, o ritardare, se l'inquinamento non avesse superato una determinata soglia. Sono stati presi in considerazione gli inquinanti atmosferici che determinano le maggiori criticità per la salute¹³: PM₁₀, PM_{2,5}, NO₂ e O₃.

Il presente rapporto rappresenta uno strumento per campagne di comunicazione e informazione sui rischi sanitari dell'inquinamento e uno strumento di supporto ai decisori al fine di garantire "la tutela della collettività e dei singoli dai rischi connessi con gli ambienti di vita, anche con riferimento agli effetti sanitari degli inquinanti ambientali" come indicato dai Livelli Essenziali di Assistenza (LEA)²⁷.

2. Indicatori dell'inquinamento atmosferico

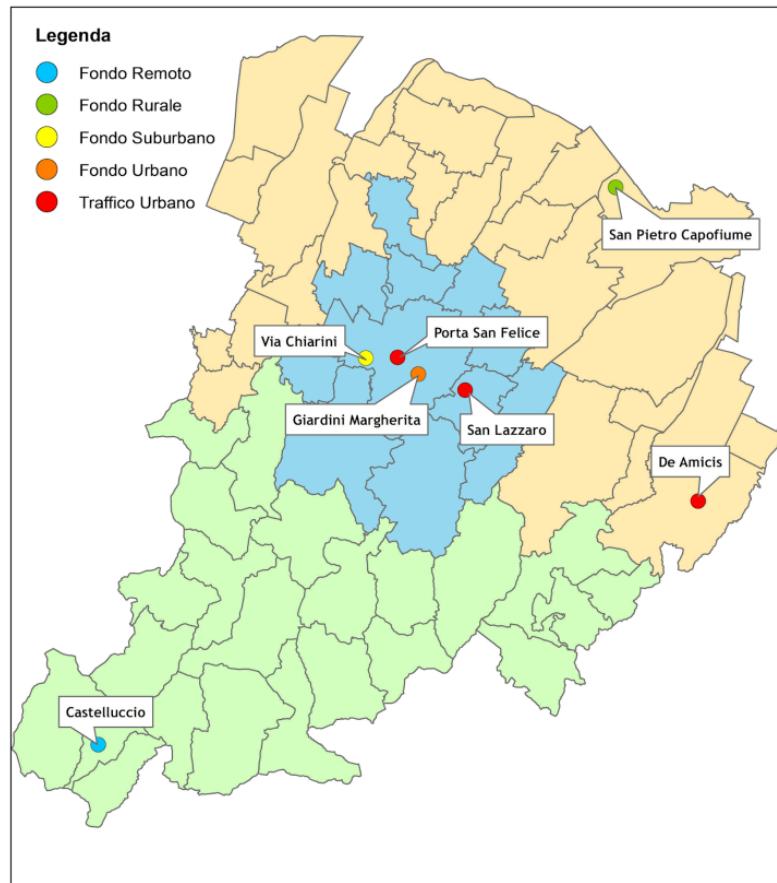
Le informazioni sulle concentrazioni del PM₁₀, PM_{2,5}, NO₂ e O₃ derivano delle stazioni di misura della rete di monitoraggio della qualità dell'aria dell'Agenzia regionale per la prevenzione, l'ambiente e l'energia dell'Emilia-Romagna (ARPAE) ubicate nel territorio della Città Metropolitana di Bologna. Nel 2023 erano operative le stazioni di misura riportate in tabella 1²⁸. In figura 1 si evidenza la loro localizzazione.

Tabella 1 - Stazioni e parametri della rete di monitoraggio

Rete centraline ARPAE, Città Metropolitana di Bologna, 2023		Inquinanti			
		PM ₁₀	PM _{2,5}	O ₃	NO ₂
Bologna	Giardini Margherita	•	•*	•	•*
	Porta San Felice	•	•*		•*
	Chiarini	•		•	•*
San Lazzaro di Savena		•			•*
Molinella – San Pietro Capofiume		•	•*	•	•*
Imola – De Amicis		•			•*
Alto Reno Terme – Castelluccio ¹					

• per impatto a breve termine; *per impatto a lungo termine

Figura 1: Disposizione delle stazioni di misura di qualità dell'aria (Fonte: ARPAE²⁸)



¹ La centralina di Alto Reno Terme – Castelluccio rileva i parametri relativi a PM₁₀, PM_{2,5}, NO₂ e O₃; tuttavia, non è stata considerata ai fini della presente valutazione.

Ai fini della presente valutazione, la centralina di Castelluccio (Alto Reno Terme) non è stata considerata poiché ritenuta poco rappresentativa dell'esposizione della popolazione essendo una centralina di fondo remoto, ossia localizzata a una distanza maggiore di 50 km dalle fonti di maggior emissione (D.Lgs. 155/2010)²⁹. Inoltre, tra le sei centraline del territorio della Città Metropolitana vi è quella di San Pietro Capofiume (Molinella) collocata in area rurale, mentre quelle poste nella Città di Bologna sono tutte stazioni di fondo urbano o suburbano (Fig. 1).

Come nelle valutazioni precedenti, si assume quale valore dell'esposizione media della popolazione provinciale, la media dei valori di concentrazione giornaliera od oraria forniti dalle sei stazioni della Città Metropolitana. Similmente, come valore dell'esposizione della popolazione del Comune di Bologna, si considera la media dei valori di concentrazione giornaliera od oraria forniti dalle tre stazioni ubicate nel territorio comunale (Giardini Margherita, Porta San Felice e Via Chiarini).

Per ulteriori approfondimenti circa la qualità dell'aria e i superamenti dei limiti normativi si rimanda al documento "Rete Regionale di Monitoraggio e Valutazione della Qualità dell'Aria, Città Metropolitana di Bologna, Report dei dati 2023"²⁸ di ARPAE.

Nella tabella seguente vengono riportati i principali valori di PM₁₀, PM_{2,5}, O₃ e NO₂ registrati dalle stazioni di misura nel 2023 per la Città Metropolitana di Bologna e per il Comune di Bologna.

Tabella 2: Dati relativi agli inquinanti nell'anno 2023

Inquinante		Città Metropolitana di Bologna	Comune di Bologna
PM ₁₀	N. dati validi (giorni)	365	365
	Media annua ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	21,25	21,05
	Massima annua ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	72,50	72,00
	N. giorni >50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	4	3
PM _{2,5}	N. dati validi (giorni)	365	364
	Media annua ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	14,09	13,38
	Massima annua ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	60,67	59,50
O ₃	N. dati validi (giorni)	365	365
	Media annua ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	50,48	49,80
	Media massima 8 ore ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	157,50	162,94
	N. giorni con media massima 8 ore >120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	48	50
NO ₂	N. giorni validi (giorni)	365	365
	Media annua ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	21,01	24,90
	Massima oraria ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	76,17	94,00
	Media delle massime giornaliere ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	32,80	39,46

3. Metodi

L'impatto sulla salute nel 2023 è stato valutato in termini di:

- 1) **numero di decessi o ricoveri che si sarebbero potuti evitare o ritardare** se l'inquinante analizzato non avesse superato una determinata soglia per definizione di "non effetto";
- 2) **rischio attribuibile di popolazione percentuale (RA%)**, cioè la proporzione di eventi (morti o ricoveri), osservati in una popolazione durante un periodo di tempo, attribuibili all'esposizione;
- 3) **anni di vita persi**, ossia il numero di anni di vita persi a seguito dell'esposizione alle concentrazioni raggiunte dal PM_{2,5} utilizzando la soglia di non effetto di 10 µg/m³.

Le stime del numero dei decessi o ricoveri ed il rischio attribuibile (RA%) sono state calcolate sia per il breve che per il lungo termine, gli anni di vita persi solo per il lungo termine.

Per il calcolo degli indicatori d'impatto è stata utilizzata l'ultima versione del software AirQ+ 2.2.4, uno strumento validato per la misura dell'impatto sulla salute dell'inquinamento atmosferico prodotto e distribuito dal *WHO European Centre for Environment and Health*³⁰. La versione 2.2 include funzioni di rischio basate sulle "Linee guida globali sulla qualità dell'aria dell'OMS del 2021: particolato (PM_{2,5} e PM₁₀), ozono, biossido di azoto".

Si sottolinea che, a causa di correlazioni tra i vari inquinanti, non è corretto sommare tra loro i singoli impatti, in quanto ciò porterebbe ad una complessiva sovrastima. Ciò è valido a maggior ragione considerando che il PM_{2,5} è parte del PM₁₀; lo stesso dicasi per l'impatto nel breve termine che a sua volta è compreso nell'impatto a lungo termine.

3.1 Esiti e rischi relativi

L'analisi riguarda la mortalità per cause naturali (escluso quelle traumatiche), per malattie respiratorie, malattie cardiovascolari e per tumore di trachea, bronchi e polmone. La stima dell'impatto in termini di ospedalizzazioni è stata calcolata per le diagnosi di patologie cardiovascolari, cardiache e respiratorie. I codici delle patologie sono stati definiti in base al sistema di classificazione internazionale delle malattie: ICD-9 fino all'anno 2008 e ICD-10 a partire dall'anno 2009 per i decessi; ICD-9-CM per i ricoveri.

L'entità di decessi e ricoveri che si sarebbero potuti evitare o ritardare è stimata sulla popolazione media residente nel 2023 nella Città Metropolitana di Bologna/Comune di Bologna³¹. La fonte informativa utilizzata per i decessi è rappresentata dalla banca dati del Registro di mortalità dell'AUSL di Bologna e dell'AUSL di Imola, mentre la fonte dei dati relativi ai ricoveri è l'archivio delle Schede di Dimissione Ospedaliera (SDO)³².

Per il calcolo delle stime di impatto sanitario, sono stati applicati i rischi relativi (RR) raccomandati dall'OMS e presenti nella versione di AirQ+ 2.2.4^{9,15-17}. A seguito della pubblicazione nel 2020 di revisioni sistematiche delle evidenze degli effetti degli inquinanti atmosferici sulla salute umana¹⁵⁻¹⁷, sono stati definiti nuovi valori di rischi relativi; a tal proposito si evidenzia che i nuovi rischi relativi per gli effetti a breve termine di PM_{2,5} e PM₁₀ sono inferiori rispetto a quelli della versione precedente di AirQ+. Infatti, per il PM_{2,5} i valori sono passati da 1,0123 (1,0045-1,0201) a 1,0065 (1,0044-1,0086) e per il PM₁₀ da 1,0074 (1,0062-1,0086) a 1,0041 (1,0034-1,0049).

Va inoltre menzionato che le revisioni sistematiche considerate per l'aggiornamento delle nuove linee guida AQG 2021¹³ non comprendono quindi nuovi importanti studi europei che sono stati pubblicati recentemente, tra cui il progetto ELAPSE (*Effects of low-level air pollution: a study in Europe*)³³. ELAPSE rappresenta il più grande studio in Europa progettato specificamente per studiare gli effetti dell'esposizione a livelli di inquinamento atmosferico al di sotto dei valori limite di qualità dell'aria nell'UE allora vigenti³⁴⁻³⁶. In base ai risultati di tale progetto, le stime degli effetti di PM_{2,5} e di NO₂ sulla mortalità in Europa risultano maggiori rispetto a quelle emerse dalle

revisioni sistematiche globali dell'OMS: il RR per l'esposizione a lungo termine al PM_{2,5} è di 1,118 (IC 95% 1,060-1,179) per 10 µg/m³, maggiore di quello stimato di 1,08 (IC 95% 1,06-1,09) della revisione sistematica dell'OMS; la stima per l'effetto a lungo termine dell'esposizione a NO₂ è di 1,045 (IC 95% 1,026-1,065) per 10 µg/m³, maggiore di quella della revisione sistematica dell'OMS pari a 1,02 (IC 95% 1,01-1,04).³⁴

Nella presente valutazione vengono messi a confronto i dati di impatto sanitario utilizzando i rischi relativi calcolati a livello europeo nel progetto ELAPSE³³⁻³⁴ con le stime ottenute da AirQ+ versione 2.2.4 che utilizza i RR proposti dall'OMS.

Nelle tabelle 3 e 4 sono riportati i RR per esito e inquinante utilizzati per il calcolo dell'impatto sanitario sia per il breve che per il lungo termine.

Tabella 3: RR di mortalità e ricoveri utilizzati per la valutazione di impatto a breve termine

Inquinante	Unità di misura (µg/m ³)	Esito/Impatto	Codici ICD-9-CM/ ICD-10	Fonte	RR (IC 95%) per 10 µg/m ³
PM ₁₀	Media giornaliera	Mortalità naturale	A00-R99, Uxx	AirQ+ ¹⁵	1,0041 (1,0034-1,0049)
PM _{2,5}	Media giornaliera	Mortalità naturale	A00-R99, Uxx	AirQ+ ¹⁵	1,0065 (1,0044-1,0086)
		Ricoveri per mal. cardiovascolari	390-459	AirQ+ ¹²	1,0091 (1,0017-1,0166)
		Ricoveri per malattie respiratorie	460-519	AirQ+ ¹²	1,0190 (1,0000-1,0402)
O ₃	Media massima giornaliera su 8 h ²	Mortalità naturale	A00-R99, Uxx	AirQ+ ¹⁵	1,0043 (1,0034-1,0052)
		Mortalità per mal. cardiovascolari	I00-I99	AirQ+ ¹²	1,0049 (1,0013-1,0085)
		Mortalità per mal. respiratorie	J00-J99	AirQ+ ¹²	1,0029 (1,0000-1,0070)
		Ricoveri per malattie cardiache	390-429	AirQ+ ¹²	1,0089 (1,0050-1,0127)
		Ricoveri per malattie respiratorie	460-519	AirQ+ ¹²	1,0044 (1,0007-1,0083)
NO ₂	Media massima giornaliera	Mortalità naturale (età ≥30 anni)	A00-R99, Uxx	AirQ+ ¹²	1,0027 (1,0016-1,0038)
	Media giornaliera	Ricoveri per malattie respiratorie	460-519	AirQ+ ¹²	1,0180 (1,0115-1,0245)

Tabella 4: RR di mortalità utilizzati per la valutazione di impatto a lungo termine

Inquinante	Unità di misura (µg/m ³)	Esito/Impatto	Codici ICD-10	Fonte	RR (IC 95%) per 10 µg/m ³
PM _{2,5}	Media annuale	Mortalità naturale (età ≥30 anni)	A00-R99, Uxx	AirQ+ ¹⁷ ELAPSE ³³⁻³⁴	1,08 (1,06-1,09) 1,118 (1,060-1,179)
		Mortalità per mal. cardiovascolari (età ≥30 anni)	I00-I99	AirQ+ ¹⁷	1,11 (1,09-1,14)
		Mortalità per mal. respiratorie (età ≥30 anni)	J00-J99	AirQ+ ¹⁷	1,10 (1,03-1,18)
		Mortalità per tumore trachea, bronchi e polmone (età ≥30 anni)	C33-C34, D02.1- D02.2, D38.1*	AirQ+ ¹⁷	1,12 (1,07-1,16)
NO ₂	Media annuale	Mortalità naturale (età ≥30 anni)	A00-R99, Uxx	AirQ+ ¹⁶ ELAPSE ³³⁻³⁴	1,02 (1,01-1,04) 1,045 (1,026-1,065)

* Nella presente valutazione sono stati inclusi anche i codici D02.1-D02.2 e D38.1 come da indicazioni di AirQ+.

² Valore massimo giornaliero delle medie mobili su 8 ore

3.2 Soglie

Allo stato attuale delle conoscenze, secondo l'OMS, non è possibile fissare una soglia di esposizione al di sotto della quale non si verifichino degli effetti avversi sulla salute¹³.

Nella presente analisi, per il calcolo delle stime di impatto sono state considerate come soglie convenzionalmente definite “di non effetto” i valori riportati in tabella 5. Le soglie di 10 µg/m³ per il PM₁₀ e per l'ozono e di 110 µg/m³ per l'ozono vengono mantenute al fine di effettuare confronti con gli anni precedenti.

L'analisi dell'impatto considera i valori limite delle concentrazioni secondo le linee AQG 2021 e la nuova Direttiva europea sulla qualità dell'aria²³, per evidenziare i benefici sulla salute in termini di decessi e ospedalizzazioni evitabili che si otterrebbero con il raggiungimento dei valori proposti.

Il numero dei casi (decessi od ospedalizzazioni) attribuibili al superamento del limite di concentrazione diminuisce all'aumentare del valore soglia che si prende in considerazione (tanto più alta è la soglia, tanto minore risulta il numero dei casi attribuibili al suo superamento).

Tabella 5: Soglie di “non effetto”

Inquinante	Soglie di “non effetto” (µg/m ³)	Riferimento
PM ₁₀	10	Soglia utilizzata per i confronti temporali
	15	AQG OMS 2021 Soglie di valutazione per la protezione della salute (Direttiva UE 2024 del Parlamento Europeo e del Consiglio relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa) ²³
	20	Valori limite per la protezione della salute umana da raggiungere entro il 1° gennaio 2030 (Direttiva UE 2024 del Parlamento Europeo e del Consiglio relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa) ²³
	40	Valore limite normativo (D.Lgs. 155/2010) ²⁹
PM _{2,5}	5	AQG OMS 2021 Soglie di valutazione per la protezione della salute (Direttiva UE 2024 del Parlamento Europeo e del Consiglio relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa) ²³
	10	Valori limite per la protezione della salute umana da raggiungere entro il 1° gennaio 2030 (Direttiva UE 2024 del Parlamento Europeo e del Consiglio relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa) ²³
	20	Valore limite indicativo
	25	Valore limite normativo (D.Lgs. 155/2010) ²⁹
O ₃	10	Soglia utilizzata per i confronti temporali
	70	Livello di ozono attribuito a fonti non antropogeniche Soglia suggerita dallo studio HRAPIE ¹²
	100	AQG OMS 2021 Soglie di valutazione per la protezione della salute (Direttiva UE 2024 del Parlamento Europeo e del Consiglio relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa) ²³
	110	Soglia utilizzata per i confronti temporali
NO ₂	10	AQG OMS 2021 Soglie di valutazione per la protezione della salute (Direttiva UE 2024 del Parlamento Europeo e del Consiglio relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa) ²³
	20	Valori limite per la protezione della salute umana da raggiungere entro il 1° gennaio 2030 (Direttiva UE 2024 del Parlamento Europeo e del Consiglio relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa) ²³
	40	Valore limite normativo (D.Lgs. 155/2010) ²⁹

3.3 Confronti temporali

I confronti temporali sono stati effettuati utilizzando i dati provenienti dalla stazione di Porta San Felice di Bologna per la quale è presente una continuità di rilevazione dal 1999 per il PM₁₀, dal 2005 per il PM_{2,5} e dal 2002 per l'NO₂, mentre per l'O₃ sono stati utilizzati i dati della stazione dei Giardini Margherita di Bologna per la quale è presente una continuità di rilevazione dal 2000.

L'analisi degli andamenti temporali del rischio attribuibile di mortalità utilizza i nuovi RR (OMS 2021) anche per gli anni precedenti al 2023.

Tabella 6: Stazioni di misura utilizzate per il confronto temporale

Stazione	Parametro	Anno di inizio rilevazione
Porta San Felice	PM ₁₀	1999
Porta San Felice	PM _{2,5}	2005
Porta San Felice	NO ₂	2002
Giardini Margherita	O ₃	2000

L'andamento temporale delle concentrazioni è stato studiato mediante regressione *joinpoint* o *piecewise linear regression* allo scopo di descrivere le variazioni percentuali annue (*annual percentage change* o APC). Il software utilizzato per l'analisi è Joinpoint (Joinpoint Regression Program, Versione 5.2.0.0. Aprile, 2024; Statistical Research and Applications Branch, National Cancer Institute).

Il valore di *p-value* utilizzato come soglia per la significatività statistica è 0,05.

3.4 Limiti della valutazione

Questa valutazione si limita a offrire un quadro solo parziale degli effetti sanitari dell'inquinamento in quanto l'impatto sanitario viene studiato solo per alcuni esiti di salute, quali mortalità e ricoveri per alcune patologie, e non vengono considerati altri esiti, come ad esempio il diabete mellito³⁷⁻³⁹, l'ipertensione arteriosa⁴⁰, la nascita pretermine e il basso peso alla nascita⁴¹⁻⁴³, le modifiche di densità ossea⁴⁴, i disturbi neurologici e psichiatrici (compresa la demenza⁴⁵⁻⁵⁵ e il morbo di Parkinson), i disturbi neuropsichiatrici (come i disturbi dello spettro autistico)⁵⁶⁻⁵⁷ e tumori diversi dal tumore polmonare⁵⁸⁻⁵⁹, le cui associazioni con l'inquinamento atmosferico sono emerse in studi recenti.

In questa relazione inoltre non vengono considerati gli effetti sulle categorie più vulnerabili e sui soggetti di basso livello socioeconomico⁶⁰⁻⁶¹; infine, nel calcolo dell'impatto a lungo termine vengono considerati gli anni di vita persi ma non l'aspettativa di vita corretta per disabilità (*Disability-adjusted life years* o DALYs).

Le stime di impatto sono state calcolate utilizzando i RR pubblicati nella letteratura internazionale che non necessariamente sono quelle del territorio bolognese del 2023. Tali stime potrebbero anche differire per una diversa composizione chimica delle polveri, per diverse situazioni metereologiche, per il tempo trascorso all'esterno delle abitazioni, per l'uso di condizionatori e per la diffusione di inquinanti all'interno delle abitazioni⁶²⁻⁷⁰.

La presente valutazione stima l'impatto per ogni singolo inquinante atmosferico e non tiene conto degli effetti combinati delle esposizioni a più inquinanti, in quanto mancano modelli volti a quantificare gli effetti delle esposizioni multiple sulla salute umana. Le linee guida AQG 2021 forniscono raccomandazioni per ogni inquinante considerato singolarmente come elemento necessario per minimizzare il rischio dell'esposizione sulla salute.

4. Città Metropolitana di Bologna

4.1 Popolazione, mortalità e ospedalizzazioni

La tabella 7 riporta i dati inerenti alla popolazione residente nella Città Metropolitana di Bologna nell'anno 2023.

Tabella 7: Residenti nella Città Metropolitana di Bologna nel 2023

Popolazione ³¹	A1 01/01/2023	A1 01/01/2024	Media nel 2023
Tutte le età	1.018.731	1.022.338	1.020.535
Età ≥ 30 anni	752.126	754.758	753.442

Nelle tabelle 8 e 9 vengono elencati rispettivamente il numero di decessi e il numero di ricoveri per causa specifica con il relativo tasso grezzo (rapporto tra il numero di morti/ricoveri e la popolazione) e l'intervallo di confidenza al 95% (IC 95%).

Tabella 8: Mortalità per causa ed età nel 2023: numero di decessi, tasso grezzo per 100.000 abitanti e intervallo di confidenza (IC 95%)

Cause di morte (ICD-10)	Età	Numero	Tasso grezzo (IC 95%)
Mortalità naturale (A00-R99, Uxx)	tutte le età	11.180	1.095,5 (1.075,4-1.115,9)
	≥30 anni	11.146	1.479,3 (1.452,2-1.506,9)
Mortalità per malattie cardiovascolari (I00-I99)	tutte le età	3.376	330,8 (319,8-342,1)
	≥30 anni	3.375	447,9 (433,0-463,3)
Mortalità per malattie respiratorie (J01-J99)	tutte le età	1.039	101,8 (95,7-108,2)
	≥30 anni	1.039	137,9 (129,6-146,5)
Mortalità per tumore trachea, bronchi e polmone (C33-C34, D02.1-D02.2, D38.1)	tutte le età	580	56,8 (52,3-61,7)
	≥30 anni	580	77,0 (70,8-83,5)

Tabella 9: Ricoveri in regime ordinario per causa nel 2023: numero di ricoveri, tasso grezzo per 100.000 abitanti e intervallo di confidenza (IC 95%)

Cause di ricovero (ICD-9-CM)	Età	Numero	Tasso grezzo (IC 95%)
Malattie cardiache (390-429)	tutte le età	9.207	902,2 (883,9-920,7)
Malattie cardiovascolari (390-459)	tutte le età	14.780	1.448,3 (1.425,2-1.471,6)
Malattie respiratorie (460-519)	tutte le età	11.707	1.147,1 (1.126,6-1.168,0)

4.2 Impatto a breve termine del PM₁₀

L'analisi dell'impatto a breve termine del PM₁₀ viene calcolato in termini di mortalità per cause naturali.

La tabella seguente riporta il numero dei decessi attribuibili al PM₁₀ in funzione della soglia definita convenzionalmente di "non effetto" e i corrispondenti rischi attribuibili espressi in percentuale (RA%) relativi alla popolazione esposta nel periodo considerato. Nel 2023 nella Città

Metropolitana di Bologna alla soglia di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ la stima del numero di morti per cause naturali attribuibili al PM₁₀ è pari a 53 (IC 95% 44-63), corrispondente a un RA% dello 0,48% (IC 95% 0,39%-0,57%). Considerando la soglia di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i decessi attribuibili stimati sono pari a 2 (IC 95% 2-3), corrispondenti a un RA% di 0,02% (IC 95% 0,02%-0,02%).

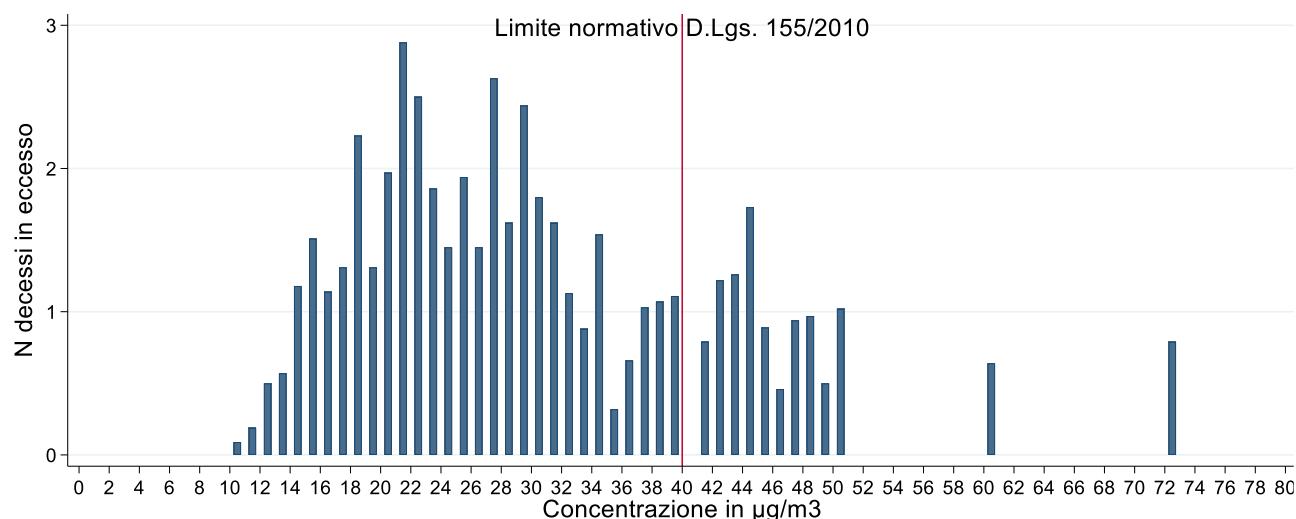
Il rispetto del limite annuale di $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ proposto dalle nuove guide dell'OMS eviterebbe invece 34 decessi all'anno attribuibili al PM₁₀ (RA% pari a 0,31% con IC 95% 0,26%-0,37%). Qualora la soglia rispettata fosse quella dei $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ come proposto dalla nuova Direttiva europea²³ i decessi evitabili sarebbero pari a 21 con un RA% pari a 0,19% (IC 95% 0,16%-0,22%).

Tabella 10: RA% e decessi attribuibili al PM₁₀ con relativi intervalli di confidenza (IC 95%)

Città Metropolitana, 2023	Valore limite di PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
	40 (limite normativo)	20	15	10
Mortalità naturale				
N. decessi (IC 95%)	2 (2-3)	21 (17-25)	34 (29-41)	53 (44-63)
RA% (IC 95%)	0,02 (0,02-0,02)	0,19 (0,16-0,22)	0,31 (0,26-0,37)	0,48 (0,39-0,57)

La figura 2 mostra come sono distribuiti i 53 decessi calcolati alla soglia di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in funzione delle concentrazioni giornaliere registrate nel 2023. Quasi l'80% dei decessi avviene a valori inferiori a $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valore limite normativo attualmente vigente relativo alla media annuale di PM₁₀ (D.Lgs. 155/2010)²⁹.

Figura 2: Decessi attribuibili per concentrazione di PM₁₀ (soglia di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$)



4.3 Impatto a breve termine del PM_{2,5}

Alla soglia di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, il numero di morti attribuibili al PM_{2,5} è di 40, corrispondente allo 0,36% di tutti i decessi per cause naturali. Se fosse rispettato il limite di $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ proposto dalle linee guida dell'OMS del 2021 si potrebbero evitare 68 decessi all'anno attribuibili al PM_{2,5}, corrispondenti a un RA% pari a 0,61% (IC 95% 0,41%-0,80%). Considerando la soglia di $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i decessi attribuibili stimati sono pari a 8 (IC 95% 5-11), corrispondenti a un RA% di 0,07% (IC 95% 0,05%-0,09%).

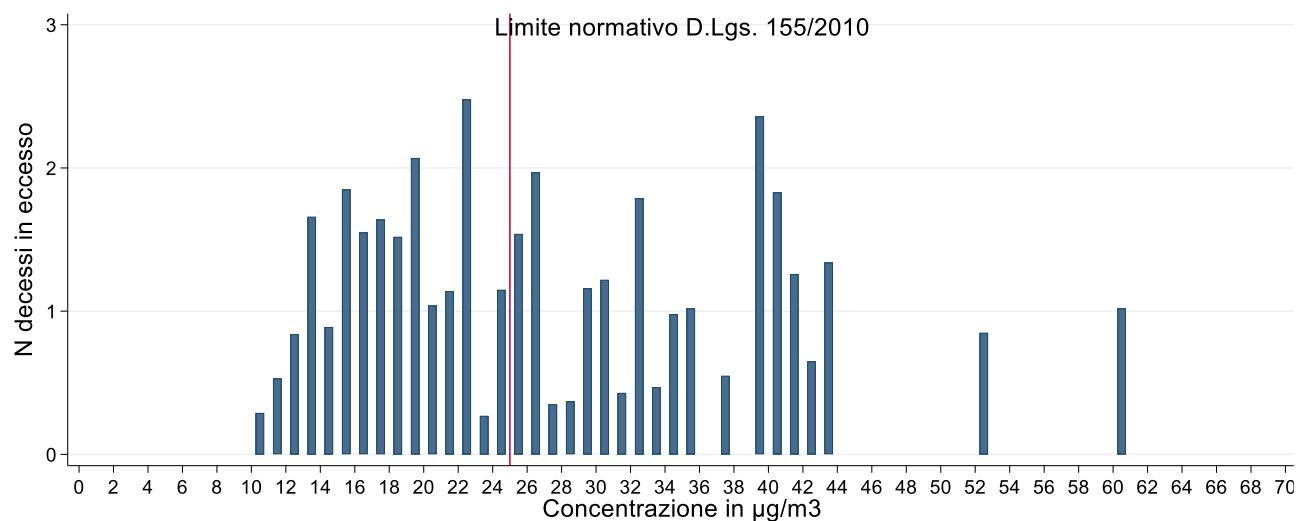
Il PM_{2,5} ha un impatto maggiore in termini di ricoveri per patologie respiratorie rispetto a quelle cardiovascolari.

Tabella 11: RA%, decessi e ricoveri attribuibili al PM_{2,5} con relativi intervalli di confidenza al 95% (IC 95%)

Città Metropolitana, 2023	Valore limite di PM _{2,5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
	25 (limite normativo)	20	10	5
Mortalità naturale				
N. decessi (IC 95%)	8 (5-11)	13 (9-18)	40 (27-53)	68 (46-90)
RA% (IC 95%)	0,07 (0,05-0,09)	0,12 (0,08-0,16)	0,36 (0,24-0,47)	0,61 (0,41-0,80)
Ricoveri per malattie cardiovascolari				
N. ricoveri (IC 95%)	15 (3-27)	25 (5-46)	74 (14-135)	126 (24-229)
RA% (IC 95%)	0,10 (0,02-0,18)	0,17 (0,03-0,31)	0,50 (0,09-0,91)	0,85 (0,16-1,55)
Ricoveri per malattie respiratorie				
N. ricoveri (IC 95%)	24 (0-52)	41 (0-88)	122 (0-258)	207 (0-433)
RA% (IC 95%)	0,21 (0,00-0,44)	0,35 (0,00-0,75)	1,05 (0,00-2,20)	1,77 (0,00-3,70)

La figura 3 mostra la distribuzione dei 40 decessi calcolati alla soglia di PM_{2,5} maggiore di 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in funzione delle concentrazioni giornaliere registrate nel 2023; circa il 47% dei casi avviene a concentrazioni inferiori ai 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, l'attuale limite normativo della media annuale di PM_{2,5} (D.Lgs. 155/2010)²⁹.

Figura 3: Decessi attribuibili per concentrazione di PM_{2,5} (soglia di 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)



4.4 Impatto a breve termine dell'ozono

L'analisi della mortalità a breve termine dell'ozono alla soglia di 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ registra un RA% dello 0,78% (IC 95% 0,62%-0,95%) per la mortalità naturale, dello 0,89% (IC 95% 0,24%-1,55%) e dello 0,53% (IC 95% 0,00%-1,28%) rispettivamente per malattie cardiovascolari e respiratorie. I ricoveri da attribuire all'esposizione all'O₃ alla soglia di 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sono 149 per patologie cardiache e 94 per quelle respiratorie, ossia l'1,62% e lo 0,80% di tutti i ricoveri per le stesse cause.

Tabella 12: RA%, decessi e ricoveri attribuibili all'O₃ con relativi intervalli di confidenza (IC 95%)

Città Metropolitana, 2023	Valore limite di ozono ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
	100	70	10
Mortalità naturale			
N. decessi (IC95%)	26 (21-32)	88 (69-106)	308 (244-371)
RA% (IC95%)	0,24 (0,19-0,28)	0,78 (0,62-0,95)	2,75 (2,18-3,32)
Mortalità per malattie cardiovascolari			
N. decessi (IC95%)	9 (2-16)	30 (8-52)	106 (28-182)
RA% (IC95%)	0,27 (0,07-0,47)	0,89 (0,24-1,55)	3,13 (0,84-5,38)
Mortalità per malattie respiratorie			
N. decessi (IC95%)	2 (0-4)	5 (0-13)	19 (0-46)
RA% (IC95%)	0,16 (0,00-0,38)	0,53 (0,00-1,28)	1,86 (0,00-4,45)
Ricoveri per malattie cardiache			
N. ricoveri (IC95%)	45 (25-64)	149 (84-213)	518 (294-732)
RA% (IC95%)	0,49 (0,27-0,70)	1,62 (0,91-2,32)	5,63 (3,19-7,95)
Ricoveri per malattie respiratorie			
N. ricoveri (IC95%)	28 (4-53)	94 (15-177)	330 (53-615)
RA% (IC95%)	0,24 (0,04-0,46)	0,80 (0,13-1,51)	2,82 (0,45-5,26)

La figura 4 mostra come sono distribuiti i 308 morti in eccesso alla soglia di O₃ maggiore di 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ed evidenzia una tendenza all'aumento dei decessi all'aumentare delle concentrazioni dell'inquinante.

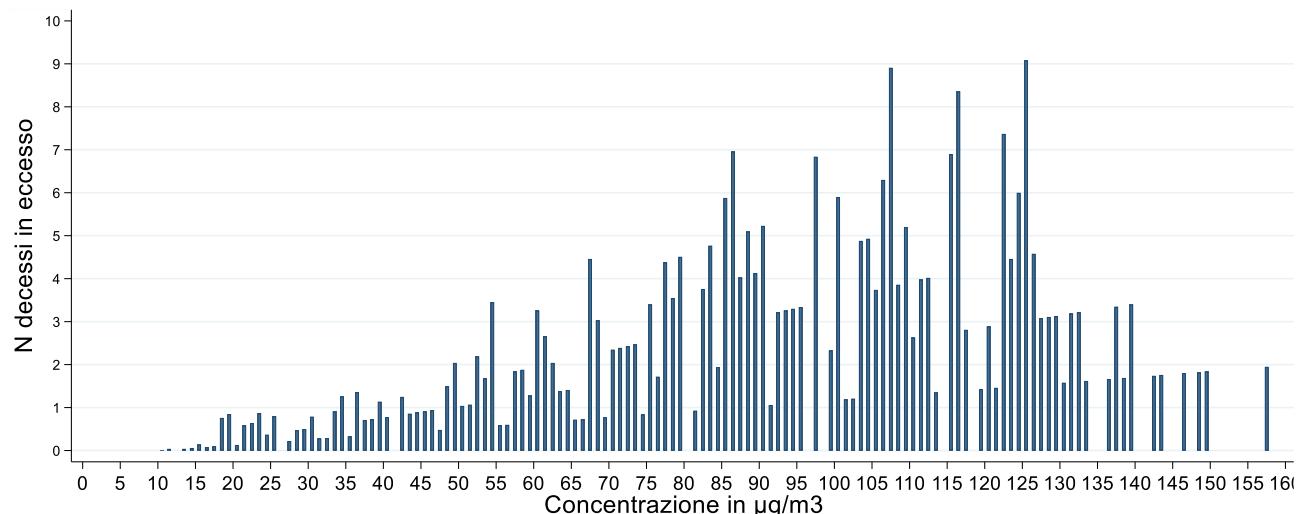
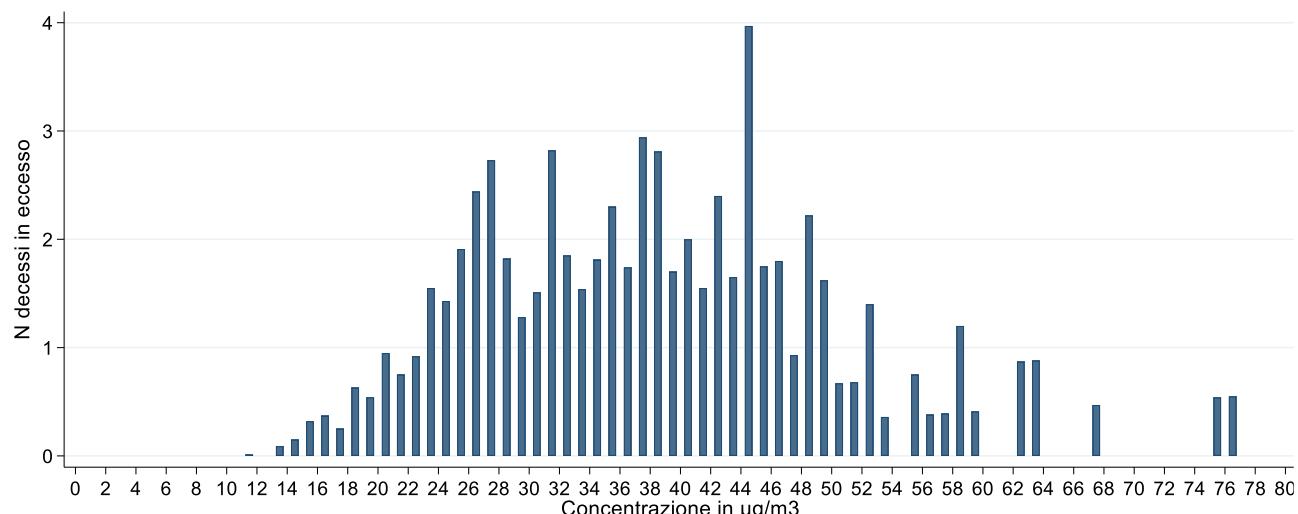
Figura 4: Decessi attribuibili per concentrazione di ozono (soglia di 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Tabella 13: RA%, decessi e ricoveri attribuibili a NO₂ con relativi intervalli di confidenza (IC 95%)

Città Metropolitana, 2023	Valore limite di NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
	40 (limite normativo)	20	10
	Mortalità naturale		
N. decessi (IC 95%)	6 (4-9)	40 (24-56)	69 (41-96)
RA% (IC 95%)	0,06 (0,03-0,08)	0,36 (0,21-0,50)	0,62 (0,37-0,86)
Ricoveri per malattie respiratorie			
N. ricoveri (IC 95%)	1 (0-1)	75 (48-103)	229 (147-310)
RA% (IC 95%)	0,01 (0,00-0,01)	0,64 (0,41-0,88)	1,95 (1,26-2,65)

Dalla figura 5 si può notare che i 69 decessi stimati alla soglia di 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sono distribuiti in un range di concentrazioni molto ampio.

Figura 5: Decessi attribuibili per concentrazione di NO₂ (soglia di 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

4.6 Impatto a lungo termine del PM_{2,5}

Di seguito si riportano la speranza di vita (espressa in anni), gli anni di vita persi a causa dell'esposizione ai livelli raggiunti dalle polveri di PM_{2,5} nel 2023 e la percentuale d'impatto degli anni di vita persi sulla speranza di vita, considerando la soglia di "non effetto" pari a 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Tabella 14) e a 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Tabella 15).

La colonna "% impatto" fornisce il valore di quanto gli anni persi incidano sul totale della speranza di vita, per ogni classe d'età considerata.

Tabella 14: Anni di vita persi per esposizione al PM_{2,5} con soglia di "non effetto" pari a 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Età (anni)	Speranza di vita (anni)	Anni di vita persi (IC 95%)	% impatto
0	84,90	0,27 (0,21-0,31)	0,32
5	80,07	0,27 (0,20-0,30)	0,34
10	75,09	0,27 (0,20-0,30)	0,36
20	65,15	0,27 (0,20-0,30)	0,41

30	55,21	0,27 (0,20-0,30)	0,49
50	35,63	0,26 (0,19-0,29)	0,73
65	21,91	0,23 (0,17-0,25)	1,05
80	10,15	0,17 (0,13-0,19)	1,67
100	2,08	0,06 (0,04-0,07)	2,88

Tabella 15: Anni di vita persi per esposizione al PM_{2,5} con soglia di “non effetto” pari a 5 µg/m³

Età (anni)	Speranza di vita (anni)	Anni di vita persi (IC 95%)	% impatto
0	84,90	0,61 (0,46-0,68)	0,72
5	80,07	0,60 (0,45-0,67)	0,75
10	75,09	0,60 (0,45-0,67)	0,80
20	65,15	0,59 (0,45-0,67)	0,91
30	55,21	0,59 (0,45-0,66)	1,07
50	35,63	0,57 (0,43-0,64)	1,60
65	21,91	0,50 (0,38-0,57)	2,28
80	10,15	0,37 (0,28-0,42)	3,65
100	2,08	0,13 (0,10-0,15)	6,25

Una persona nata nel 2023 nella Città Metropolitana di Bologna ha, in base alla struttura della popolazione e al tasso di mortalità generale, una speranza di vita alla nascita di quasi 85 anni. Di questi circa 3 mesi per la soglia di “non effetto” 10 µg/m³, e circa 7 mesi per la soglia di “non effetto” 5 µg/m³ vengono persi a causa dell'esposizione a livelli di inquinamento da PM_{2,5} pari a quelli del 2023.

Sono soprattutto le fasce di popolazione anziana a pagare il maggior tributo in termini di anni di vita persi; infatti, l'inquinamento ha un impatto via via crescente sulla speranza di vita all'aumentare dell'età. Considerando la soglia di “non effetto” di 10 µg/m³, a 50 anni lo 0,73% della speranza di vita viene perduta a causa dell'inquinamento; a 80 anni la percentuale stimata raggiunge l'1,67%. Tali i valori risultano maggiori se si considera la soglia di 5 µg/m³ (rispettivamente 1,60% e 3,65%).

Nella tabella seguente vengono riportati i decessi attribuibili agli effetti a lungo termine del PM_{2,5} calcolati sia sul limite di 10 µg/m³ che sul limite di 5 µg/m³. Il numero di decessi per cause naturali che si potrebbero evitare al nuovo valore proposto dall'OMS (5 µg/m³) nel lungo periodo è di 753 casi con RA% pari a 6,76% (IC95% 5,16%-7,53%), comprensivo di 305 decessi per cause cardiovascolari e 86 per cause respiratorie. L'entità dell'impatto stimato aumenta, per la mortalità naturale, più del 40% se viene calcolato mediante il RR suggerito dal progetto europeo ELAPSE³³⁻³⁴: 1.075 decessi (IC95% 575-1.549), corrispondenti a un RA% di 9,64% (IC95% 5,16%-13,90%).

Considerando invece la soglia di 25 µg/m³ (attuale limite normativo) i decessi attribuibili stimati sono pari a 0 (RA%: 0,00%).

Tabella 16: RA% e decessi attribuibili al PM_{2,5} con relativi intervalli di confidenza al 95% (IC 95%)

Città Metropolitana, 2023	Valore limite di PM _{2,5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
	25 (limite normativo)	10	5
Mortalità naturale RR OMS			
N. decessi (IC 95%)	0 (0-0)	345 (262-386)	753 (575-840)
RA% (IC 95%)	0,00 (0,00-0,00)	3,1 (2,35-3,46)	6,76 (5,16-7,53)
Mortalità naturale con RR di ELAPSE³³			
N. decessi (IC 95%)	0 (0-0)	497 (262-726)	1.075 (575-1.549)
RA% (IC 95%)	0,00 (0,00-0,00)	4,46 (2,35-6,51)	9,64 (5,16-13,90)
Mortalità per malattie cardiovascolari			
N. decessi (IC 95%)	0 (0-0)	141 (117-176)	305 (254-379)
RA% (IC 95%)	0,00 (0,00-0,00)	4,18 (3,46-5,22)	9,05 (7,53-11,23)
Mortalità per malattie respiratorie			
N. decessi (IC 95%)	0 (0-0)	40 (12-68)	86 (28-145)
RA% (IC 95%)	0,00 (0,00-0,00)	3,82 (1,20-6,55)	8,30 (2,65-13,97)
Mortalità per tumore trachea, bronchi e polmone			
N. decessi (IC 95%)	0 (0-0)	26 (16-34)	57 (35-73)
RA% (IC 95%)	0,00 (0,00-0,00)	4,53 (2,73-5,89)	9,79 (5,96-12,62)

4.7 Impatto a lungo termine del biossido d'azoto

Nella tabella seguente viene riportato il calcolo dell'impatto a lungo termine del biossido di azoto alla soglia di “non effetto” di 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e di 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Se si riuscisse a raggiungere il livello di 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ della concentrazione media annua di NO₂, il numero di decessi per cause naturali che si potrebbero evitare nel lungo periodo è stimato in 240 eventi (IC95% 121-471), corrispondente a un RA% di 2,16% (IC95% 1,09%-4,23%) valore che aumenta di circa il 120% se l'impatto viene valutato con le recenti stime di rischio proposte dal progetto europeo ELAPSE³³⁻³⁴, con le quali l'impatto stimato risulta di 527 decessi (IC95% 311-747) e un RA% di 4,73% (IC95% 2,79%-6,70%).

Tabella 17: RA% e decessi attribuibili a NO₂ con relativi intervalli di confidenza (IC95%)

Città Metropolitana, 2023	Valore limite di NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
	40 (limite normativo)	20	10
Mortalità naturale RR OMS			
N. decessi (IC95%)	0 (0-0)	22 (11-44)	240 (121-471)
RA% (IC95%)	0,00 (0,00-0,00)	0,20 (0,10-0,40)	2,16 (1,09-4,23)
Mortalità naturale con RR ELAPSE³³			
N. decessi (IC95%)	0 (0-0)	49 (29-71)	527 (311-747)
RA% (IC95%)	0,00 (0,00-0,00)	0,44 (0,26-0,63)	4,73 (2,79-6,70)

5. Comune di Bologna

5.1 Popolazione, mortalità e ospedalizzazioni

La tabella 18 riporta i dati relativi alla popolazione residente nel Comune di Bologna nell'anno 2023.

Tabella 18: Residenti nel Comune di Bologna nel 2023

Popolazione ³¹	Al 01/01/2023	Al 01/01/2024	Media nel 2023
Tutte le età	390.554	392.017	391.286
Età ≥ 30 anni	291.045	291.887	291.466

Nelle tabelle 19 e 20 sono elencati rispettivamente il numero di decessi e il numero di ricoveri per causa specifica con il relativo tasso grezzo (rapporto tra il numero di decessi/ricoveri e la popolazione) e l'intervallo di confidenza al 95% (IC 95%).

Tabella 19: Mortalità per causa ed età nel 2023: numero di decessi, tasso grezzo x 100.000 e intervallo di confidenza (IC 95%)

Cause di mortalità (ICD-10)	Età	Numero	Tasso grezzo (IC 95%)
Mortalità naturale (A00-R99, Uxx)	tutte le età	4.302	1.099,5 (1.067,0-1.132,6)
	≥30 anni	4.289	1.471,5 (1.428,1-1.515,9)
Mortalità per malattie cardiovascolari (I00-I99)	tutte le età	1.294	330,7 (313,0-349,2)
	≥30 anni	1.294	444,0 (420,1-468,8)
Mortalità per malattie respiratorie (J01-J99)	tutte le età	384	98,1 (88,6-108,5)
	≥30 anni	384	131,7 (118,9-145,6)
Mortalità per tumore trachea, bronchi e polmone (C33-C34, D02.1-D02.2, D38.1)	tutte le età	242	61,8 (54,3-70,1)
	≥30 anni	242	83,0 (72,9-94,2)

Tabella 20: Ricoveri in regime ordinario per causa nel 2023: numero di ricoveri, tasso grezzo x 100.000 e intervallo di confidenza (IC 95%)

Cause di ricovero (ICD-9 CM)	Numero (tutte le età)	Tasso grezzo (IC 95%)
Malattie cardiache (390-429)	3.576	913,9 (884,3-944,2)
Malattie cardiovascolari (390-459)	5.625	1.437,6 (1.400,5-1.475,4)
Malattie respiratorie (460-519)	4.244	1.084,6 (1.052,4-1.117,6)

5.2 Impatto a breve termine del PM₁₀

Nel 2023 nel Comune di Bologna, alla soglia di 10 µg/m³, il numero dei decessi per cause naturali attribuibili al PM₁₀ è pari a 20 (IC 95% 17-24), corrispondente ad un RA% dello 0,47% (IC 95% 0,39-0,56). Se fosse rispettato il limite di 15 µg/m³ proposto dalle nuove guide dell'OMS si potrebbero evitare 13 decessi all'anno (IC 95% 11-16) attribuibili al PM₁₀, corrispondente ad un RA% dello 0,30% (IC 95% 0,25%-0,36%).

Tabella 21: RA% e decessi attribuibili al PM₁₀ con relativi intervalli di confidenza (IC 95%)

Comune di Bologna, 2023	Valore limite di PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
	40 (limite normativo)	20	15	10
Mortalità naturale				
N. decessi (IC 95%)	1 (1-1)	8 (7-9)	13 (11-16)	20 (17-24)
RA% (IC 95%)	0,02 (0,01-0,02)	0,18 (0,15-0,22)	0,30 (0,25-0,36)	0,47 (0,39-0,56)

5.3 Impatto a breve termine del PM_{2,5}

Per quanto riguarda il PM_{2,5}, il numero di decessi attribuibili considerando la soglia di 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ è 14 (IC 95% 9-18), corrispondente ad un RA% dello 0,32% (IC 95% 0,22%-0,43%). Alla stessa soglia, i ricoveri attribuibili al PM_{2,5} sono lo 0,95% (IC 95% 0,00%-2,00%) dei ricoveri per cause respiratorie e lo 0,45% (IC 95% 0,09%-0,83%) di quelli per cause cardiovascolari.

Tabella 22: RA%, decessi e ricoveri attribuibili al PM_{2,5} con relativi intervalli di confidenza (IC 95%)

Comune di Bologna, 2023	Valore limite di PM _{2,5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
	25 (limite normativo)	20	10	5
Mortalità naturale				
N. decessi (IC 95%)	2 (2-3)	4 (3-6)	14 (9-18)	24 (17-32)
RA% (IC 95%)	0,06 (0,04-0,08)	0,10 (0,07-0,14)	0,32 (0,22-0,43)	0,57 (0,38-0,75)
Ricoveri per malattie respiratorie				
N. ricoveri (IC 95%)	7 (0-15)	13 (0-28)	40 (0-85)	70 (0-147)
RA% (IC 95%)	0,17 (0,00-0,36)	0,31 (0,00-0,65)	0,95 (0,00-2,00)	1,65 (0,00-3,45)
Ricoveri per malattie cardiovascolari				
N. ricoveri (IC 95%)	5 (1-8)	8 (2-15)	26 (5-47)	45 (8-81)
RA% (IC 95%)	0,08 (0,01-0,15)	0,15 (0,03-0,27)	0,45 (0,09-0,83)	0,79 (0,15-1,44)

5.4 Impatto a breve termine dell'ozono

Alla soglia di 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, nel Comune di Bologna, sono attribuibili all'esposizione all'ozono 33 decessi (IC 95% 26-40), ossia lo 0,77% della mortalità naturale (IC 95% 0,61%-0,93%). Per quanto riguarda l'impatto in termini di ospedalizzazioni, alla stessa soglia di 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ le stime dei RA% raggiungono l'1,59% per le malattie cardiache (IC 95% 0,89%-2,27%) e lo 0,79% per quelle respiratorie (IC 95% 0,13%-1,48%).

Tabella 23: RA%, decessi e ricoveri attribuibili all'ozono con relativi intervalli di confidenza (IC 95%)

Comune di Bologna, 2023	Valore limite di ozono ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
	100	70	10
Mortalità naturale			
N. decessi (IC 95%)	10 (8-13)	33 (26-40)	116 (92-139)
RA% (IC 95%)	0,24 (0,19-0,29)	0,77 (0,61-0,93)	2,69 (2,13-3,24)
Mortalità per malattie cardiovascolari			
N. decessi (IC 95%)	4 (1-6)	11 (3-20)	40 (11-68)
RA% (IC 95%)	0,28 (0,07-0,48)	0,88 (0,23-1,52)	3,06 (0,82-5,25)

Mortalità per malattie respiratorie			
N. decessi (IC 95%)	1 (0-2)	2 (0-5)	7 (0-17)
RA% (IC 95%)	0,16 (0,00-0,39)	0,52 (0,00-1,25)	1,82 (0,00-4,34)
Ricoveri per malattie cardiache			
N. ricoveri (IC 95%)	18 (10-26)	57 (32-81)	196 (111-278)
RA% (IC 95%)	0,50 (0,28-0,72)	1,59 (0,89-2,27)	5,49 (3,12-7,77)
Ricoveri per malattie respiratorie			
N. ricoveri (IC 95%)	11 (2-20)	33 (5-63)	117 (19-218)
RA% (IC 95%)	0,25 (0,04-0,47)	0,79 (0,13-1,48)	2,75 (0,44-5,13)

5.5 Impatto a breve termine del biossido d'azoto

I decessi attribuibili a NO₂ alla soglia di 10 µg/m³ per cause naturali sono 34 (20-48), corrispondente ad un RA% dello 0,80% (IC 95% 0,47%-1,12%). I ricoveri per malattie respiratorie sono 112 (72-151), corrispondente ad un RA% di 2,64% (IC 95% 1,70%-3,56%).

Tabella 24: RA%, decessi e ricoveri attribuibili a NO₂ con relativi intervalli di confidenza (IC 95%)

Comune di Bologna, 2023	Valore limite di NO ₂ (µg/m ³)		
	40 (limite normativo)	20	10
Mortalità naturale			
N. decessi (IC95%)	5 (3-8)	23 (13-32)	34 (20-48)
RA% (IC95%)	0,12 (0,07-0,18)	0,53 (0,31-0,74)	0,80 (0,47-1,12)
Ricoveri per malattie respiratorie			
N. ricoveri (IC95%)	1 (1-1)	47 (30-64)	112 (72-151)
RA% (IC95%)	0,03 (0,02-0,03)	1,10 (0,71-1,50)	2,64 (1,70-3,56)

5.6 Impatto a lungo termine del PM_{2,5}

Di seguito si riporta la speranza di vita (espressa in anni), gli anni di vita persi a seguito dell'esposizione ai livelli raggiunti dal PM_{2,5} e la percentuale d'impatto degli anni di vita persi sulla speranza di vita, considerando la soglia di "non effetto" pari a 10 µg/m³ (Tabella 25) e a 5 µg/m³ (Tabella 26).

Tabella 25: Anni di vita persi attribuibili al PM_{2,5} con soglia di "non effetto" pari a 10 µg/m³

Età (anni)	Speranza di vita (anni)	Anni di vita persi (IC 95 %)	% impatto
0	85,20	0,23 (0,18-0,26)	0,27
5	80,35	0,23 (0,17-0,26)	0,29
10	75,37	0,23 (0,17-0,25)	0,31
20	65,44	0,23 (0,17-0,25)	0,35
30	55,50	0,22 (0,17-0,25)	0,40
50	35,93	0,22 (0,16-0,24)	0,61
65	22,25	0,19 (0,14-0,21)	0,85
80	10,45	0,14 (0,11-0,16)	1,34
100	2,26	0,05 (0,04-0,06)	2,21

Tabella 26: Anni di vita persi attribuibili al PM_{2,5} con soglia di “non effetto” pari a 5 µg/m³

Età (anni)	Speranza di vita (anni)	Anni di vita persi (IC 95 %)	% impatto
0	85,20	0,57 (0,43-0,64)	0,67
5	80,35	0,57 (0,43-0,63)	0,71
10	75,37	0,56 (0,43-0,63)	0,74
20	65,44	0,56 (0,42-0,63)	0,86
30	55,50	0,56 (0,42-0,62)	1,01
50	35,93	0,53 (0,40-0,60)	1,48
65	22,25	0,47 (0,36-0,53)	2,11
80	10,45	0,36 (0,27-0,40)	3,44
100	2,26	0,13 (0,10-0,15)	5,75

Si desume che una persona nata nel 2023 nel Comune di Bologna ha una speranza di vita alla nascita di poco più di 85 anni. Di questi circa 3 mesi per la soglia di “non effetto” 10 µg/m³ e circa 7 mesi per la soglia di “non effetto” 5 µg/m³ vengono persi a causa dei livelli di inquinamento da PM_{2,5} del 2023.

Sono soprattutto le fasce di popolazione anziana a pagare il maggior tributo in termini di anni di vita persi; infatti, l'inquinamento ha un impatto via via crescente sulla speranza di vita all'aumentare dell'età. Considerando la soglia di “non effetto” di 10 µg/m³, a 50 anni lo 0,61% della speranza di vita viene perduta a causa dell'inquinamento; a 80 anni la percentuale stimata raggiunge l'1,34%. Tali i valori risultano maggiori se si considera la soglia di 5 µg/m³ (rispettivamente 1,48% e 3,44%).

Nella tabella successiva vengono riportati il numero di decessi nella popolazione con età maggiore o uguale a 30 anni attribuibili agli effetti a lungo termine del PM_{2,5} nel Comune di Bologna, calcolati sia sul limite di 10 µg/m³ che sul limite di 5 µg/m³. La stima del numero di decessi per cause naturali che si potrebbero evitare se la concentrazione media annuale di PM_{2,5} non superasse il valore proposto dalle linee guida OMS 2021 (5 µg/m³) è pari a 268 decessi (IC 95% 204-299), corrispondente a un RA% del 6,24% (IC 95% 4,76%-6,97%). Di questi, 108 decessi (IC 95% 90-135) avvengono per cause cardiovascolari, con un RA% dell'8,37% (IC 95% 6,97%-10,40%), e 29 per cause respiratorie (IC 95% 9-50), con un RA% del 7,67% (IC 95% 2,45%-12,95%).

L'entità dell'impatto stimato aumenta, per la mortalità naturale, di più del 40% se viene calcolato mediante il RR suggerito dal progetto europeo ELAPSE³³⁻³⁴, in base al quale si stimano 383 (IC 95% 204-553) decessi e un RA% dell'8,92% (IC 95% 4,76%-12,89%) utilizzando come valore soglia 5 µg/m³.

Tabella 27: RA% e decessi attribuibili al PM_{2,5} con relativi intervalli di confidenza (IC 95%)

Comune di Bologna, 2023	Valore limite di PM _{2,5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
	25 (limite normativo)	10	5
Mortalità naturale con RR OMS			
N. decessi (IC 95%)	0 (0-0)	110 (84-123)	268 (204-299)
RA% (IC 95%)	0,00 (0,00-0,00)	2,57 (1,95-2,87)	6,24 (4,76-6,97)
Mortalità naturale con RR di ELAPSE³³			
N. decessi (IC 95%)	0 (0-0)	159 (84-232)	383 (204-553)
RA% (IC 95%)	0,00 (0,00-0,00)	3,70 (1,95-5,41)	8,92 (4,76-12,89)
Mortalità per malattie cardiovascolari			
N. decessi (IC 95%)	0 (0-0)	45 (37-56)	108 (90-135)
RA% (IC 95%)	0,00 (0,00-0,00)	3,46 (2,87-4,33)	8,37 (6,97-10,40)
Mortalità per malattie respiratorie			
N. decessi (IC 95%)	0 (0-0)	12 (4-21)	29 (9-50)
RA% (IC 95%)	0,00 (0,00-0,00)	3,17 (0,99-5,44)	7,67 (2,45-12,95)
Mortalità per tumore a trachea, bronchi e polmone			
N. decessi (IC 95%)	0 (0-0)	9 (5-12)	22 (13-28)
RA% (IC 95%)	0,00 (0,00-0,00)	3,76 (2,26-4,89)	9,06 (5,51-11,69)

5.7 Impatto a lungo termine del biossido di azoto

Nella seguente tabella vengono riportati il numero di decessi nella popolazione con età maggiore o uguale a 30 anni attribuibili all'esposizione a lungo termine al biossido di azoto nel Comune di Bologna.

La stima del numero di decessi per cause naturali che si potrebbero evitare se la concentrazione annuale di NO₂ non superasse il valore proposto dalle linee guida OMS 2021 (10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) è pari a 125 casi (IC 95% 63-243), corrispondente a un RA% del 2,91% (IC 95% 1,47%-5,68%). L'entità dell'impatto stimato aumenta, per la mortalità naturale, di più del doppio se viene calcolato mediante il RR suggerito dal progetto ELAPSE³³⁻³⁴, in base al quale si stimano 272 decessi (IC 95% 161-384) e un RA% del 6,35% (IC 95% 3,75%-8,96%) considerando come valore soglia 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabella 28: RA% e decessi attribuibili all'NO₂ con relativi intervalli di confidenza (IC 95%)

Comune di Bologna, 2023	Valore limite di NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
	40	20	10
Mortalità naturale con RR OMS			
N. decessi (IC 95%)	0 (0-0)	41 (21-82)	125 (63-243)
RA% (IC 95%)	0,00 (0,00-0,00)	0,97 (0,49-1,90)	2,91 (1,47-5,68)
Mortalità naturale con RR di ELAPSE³³			
N. decessi (IC 95%)	0 (0-0)	91 (54-130)	272 (161-384)
RA% (IC 95%)	0,00 (0,00-0,00)	2,13 (1,25-3,04)	6,35 (3,75-8,96)

6. Confronto temporale

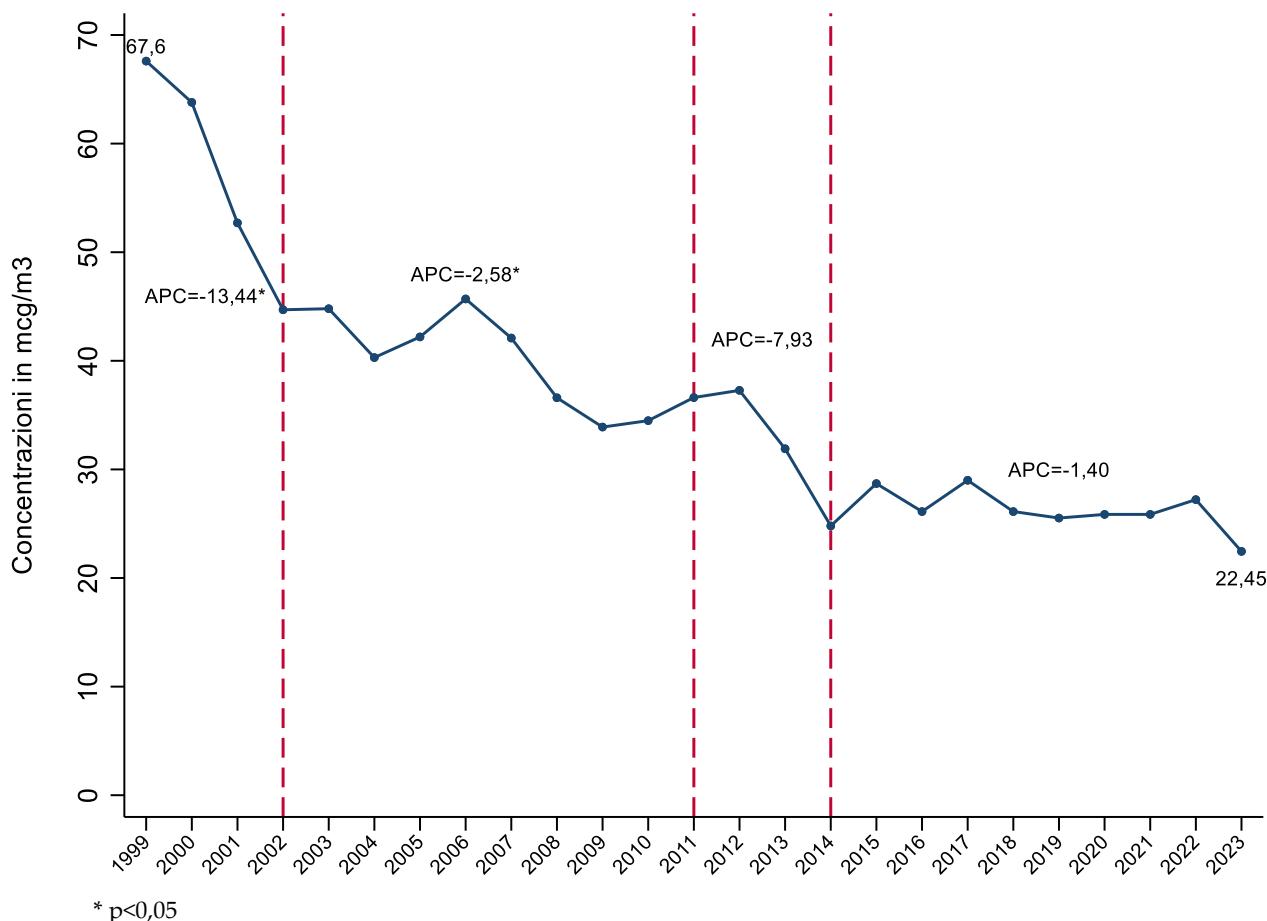
Di seguito si riporta l'andamento temporale delle concentrazioni dei quattro inquinanti e del loro impatto sulla mortalità nella Città Metropolitana di Bologna.

I valori di concentrazione degli inquinanti considerati per i confronti temporali sono quelli registrati singolarmente dalla centralina di Porta San Felice (per PM₁₀, PM_{2,5} e NO₂) e da quella dei Giardini Margherita (per O₃), diversamente dalle analisi riportate in precedenza, le quali considerano invece il valore medio delle centraline del territorio preso in considerazione (Città Metropolitana o Comune di Bologna).

6.1 PM₁₀

Dal grafico riportato si evince che nel periodo 1999-2023 le concentrazioni di PM₁₀ della centralina di Porta San Felice presentano una variazione annua percentuale (*Annual Percentage Change* o APC) media pari a -4,25; pertanto, considerando complessivamente tutto il periodo, il trend dei valori risulta in diminuzione e tale riduzione è statisticamente significativa. Tuttavia, considerando solamente l'ultimo decennio (2014-2023) non si riscontra una riduzione significativa delle concentrazioni medie annue del PM₁₀ (APC=-1,40, p=0,117), con il valore più basso rilevato nel 2023 (22,45 µg/m³).

Figura 6 : Concentrazioni medie annuali di PM₁₀ della centralina di Porta San Felice, anni 1999-2023



In parallelo, come si vede dai grafici riportati nelle figure 7 e 8, è aumentata la percentuale di giornate con valori di concentrazione più bassi rispetto ai primi anni duemila. Complessivamente nel 2023 il numero di giornate con valori di PM₁₀ superiori a 50 µg/m³ (valore limite giornaliero D.Lgs. 155/2010) rappresentano solamente circa l'1%; rispetto al 2022, il numero di superamenti del valore limite giornaliero è notevolmente diminuito. Il numero di giornate con valori di PM₁₀ superiori a 50 µg/m³ (valore limite giornaliero D.Lgs. 155/2010) sono calate da circa il 50% nel 2000 a circa il 99% nel 2023.

Figura 7: Frequenza cumulativa di concentrazione di PM₁₀ (centralina di Porta San Felice), 2004-2023

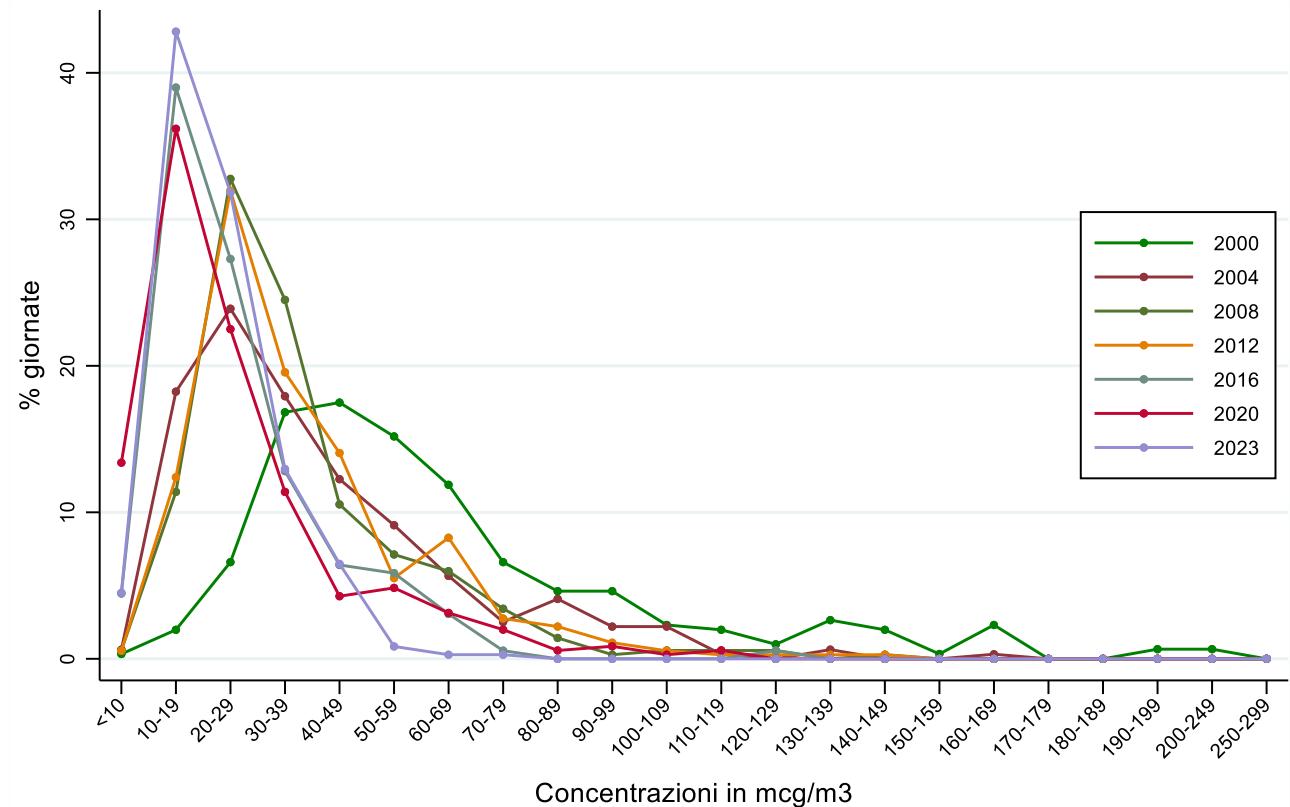
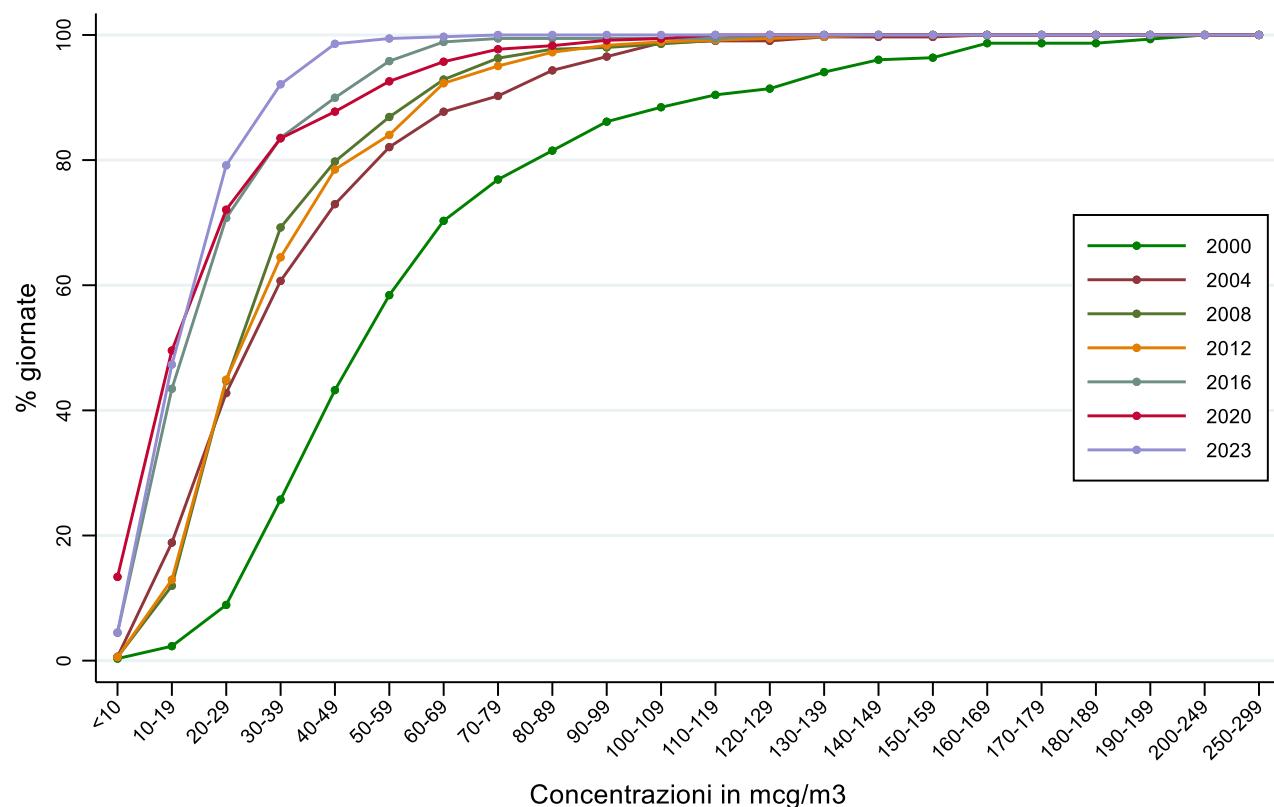
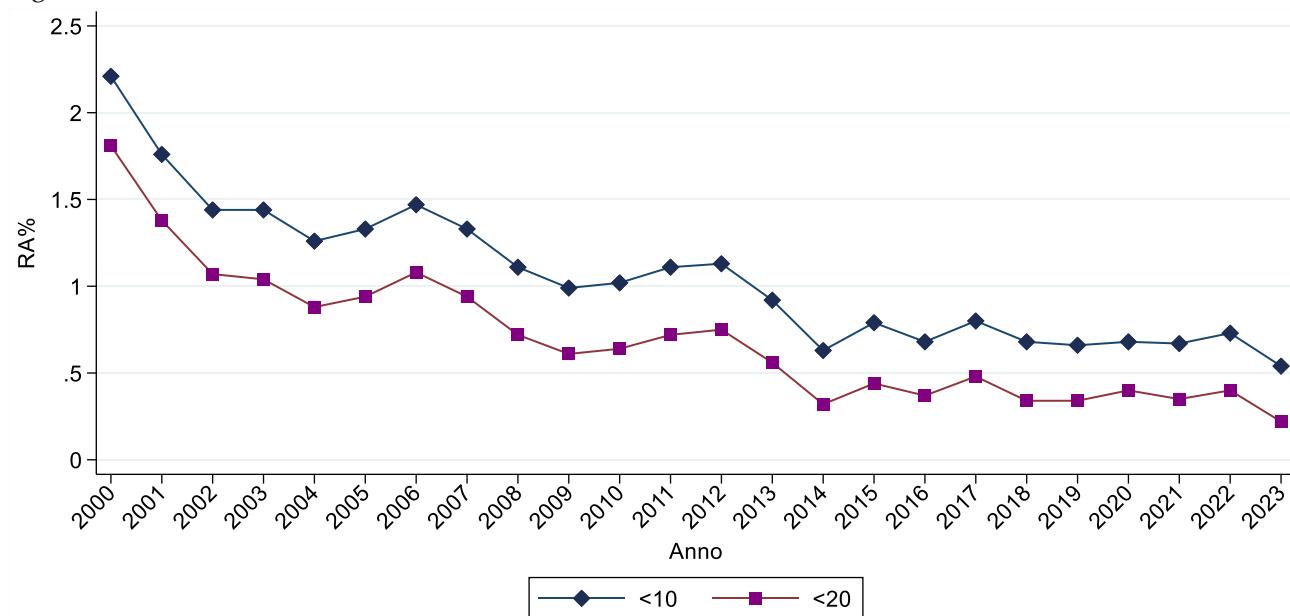


Figura 8: Frequenza giornaliera di concentrazione di PM₁₀ (centralina di Porta San Felice), 2004-2023

Per quanto riguarda la mortalità a breve termine attribuibile all'esposizione al PM₁₀, dal 2000 si è osservato un decremento del RA%. Il decremento riguarda in particolar modo il primo periodo, ma anche per il 2023 il valore stimato (0,22% per la soglia di 20 µg/m³ e 0,54% per la soglia di 10 µg/m³) è inferiore rispetto a quello degli anni precedenti. Quest'ultimo è verosimilmente dovuto alla diminuzione della concentrazione dell'inquinante considerato, che è passata da una media annuale rilevata dalla centralina di Porta San Felice di 27,22 µg/m³ nel 2022 a 22,45 µg/m³ nel 2023.

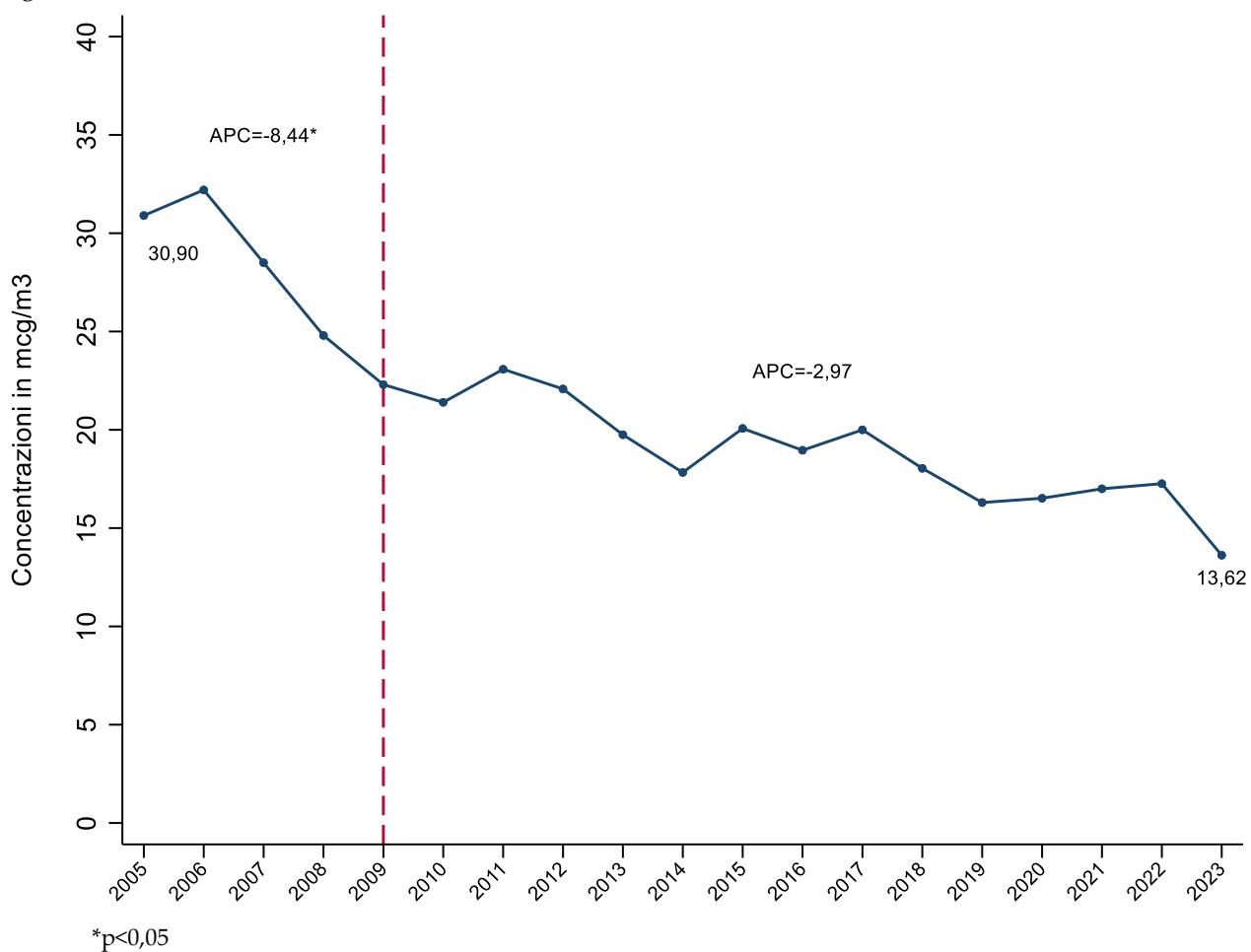
Figura 9: Mortalità naturale attribuibile al PM₁₀, centralina di Porta San Felice, anni 2000-2023

6.2 PM_{2,5}

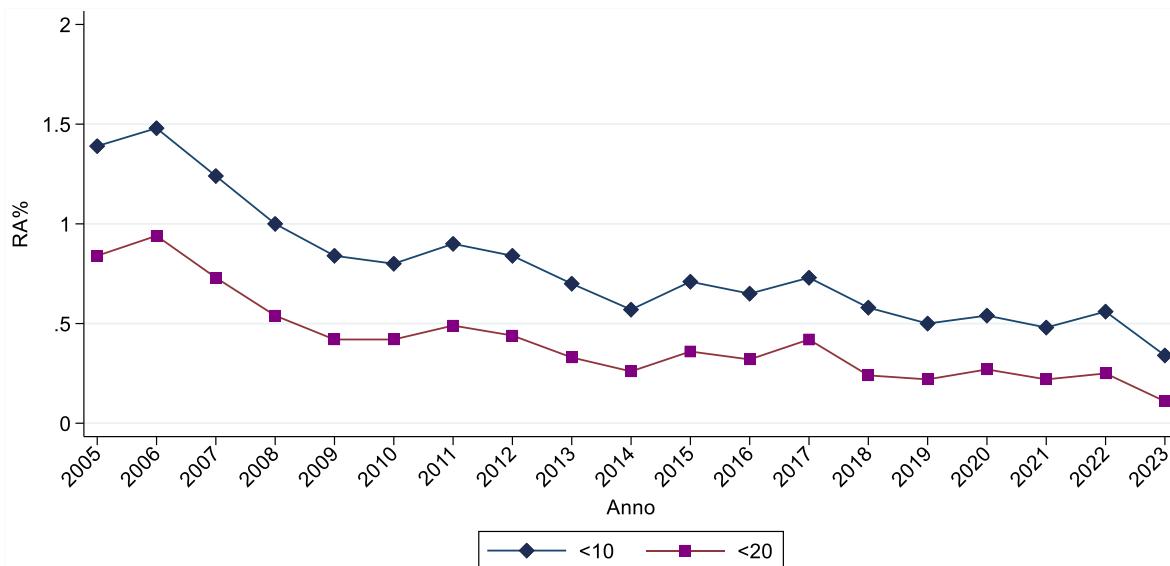
Nel periodo 2005-2023 le concentrazioni annuali del PM_{2,5} (rilevate presso la centralina di Porta San Felice) mostrano complessivamente un trend in riduzione; il valore di APC medio relativo al periodo 2005-2023 risulta pari a -4,21; pertanto, si osserva mediamente una riduzione significativa della concentrazione di PM_{2,5} di circa il 4% ogni anno.

Tuttavia, considerando il periodo 2009-2023 la riduzione non risulta significativa (APC=-2,97, p=0,112), sebbene nel 2023 sia stato rilevato il valore più basso (13,62 µg/m³) di tutto il periodo 2005-2023.

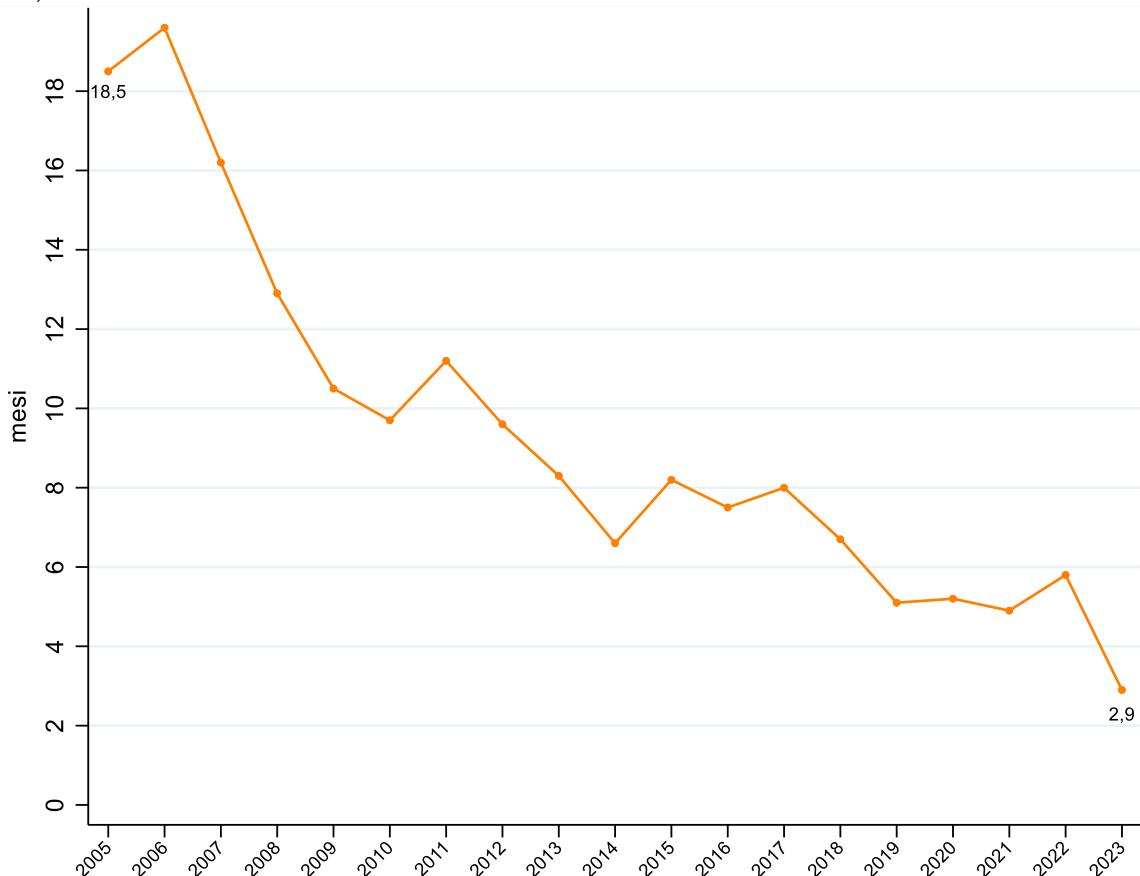
Figura 10: Concentrazioni medie annuali di PM_{2,5} della centralina di Porta San Felice, anni 2005-2023



La mortalità attribuibile all'esposizione a breve termine al PM_{2,5} segue un andamento simile a quello delle concentrazioni. Per il 2023 il valore stimato (0,11% per la soglia di 20 µg/m³ e 0,34% per la soglia di 10 µg/m³) è inferiore rispetto a quello degli anni precedenti. Quest'ultimo è verosimilmente dovuto alla diminuzione della concentrazione dell'inquinante considerato, che è passata da una media annuale rilevata dalla centralina di Porta San Felice di 17,26 µg/m³ nel 2022 a 13,62 µg/m³ nel 2023.

Figura 11: Mortalità naturale attribuibile al PM_{2,5}, centralina di Porta San Felice, anni 2005-2023

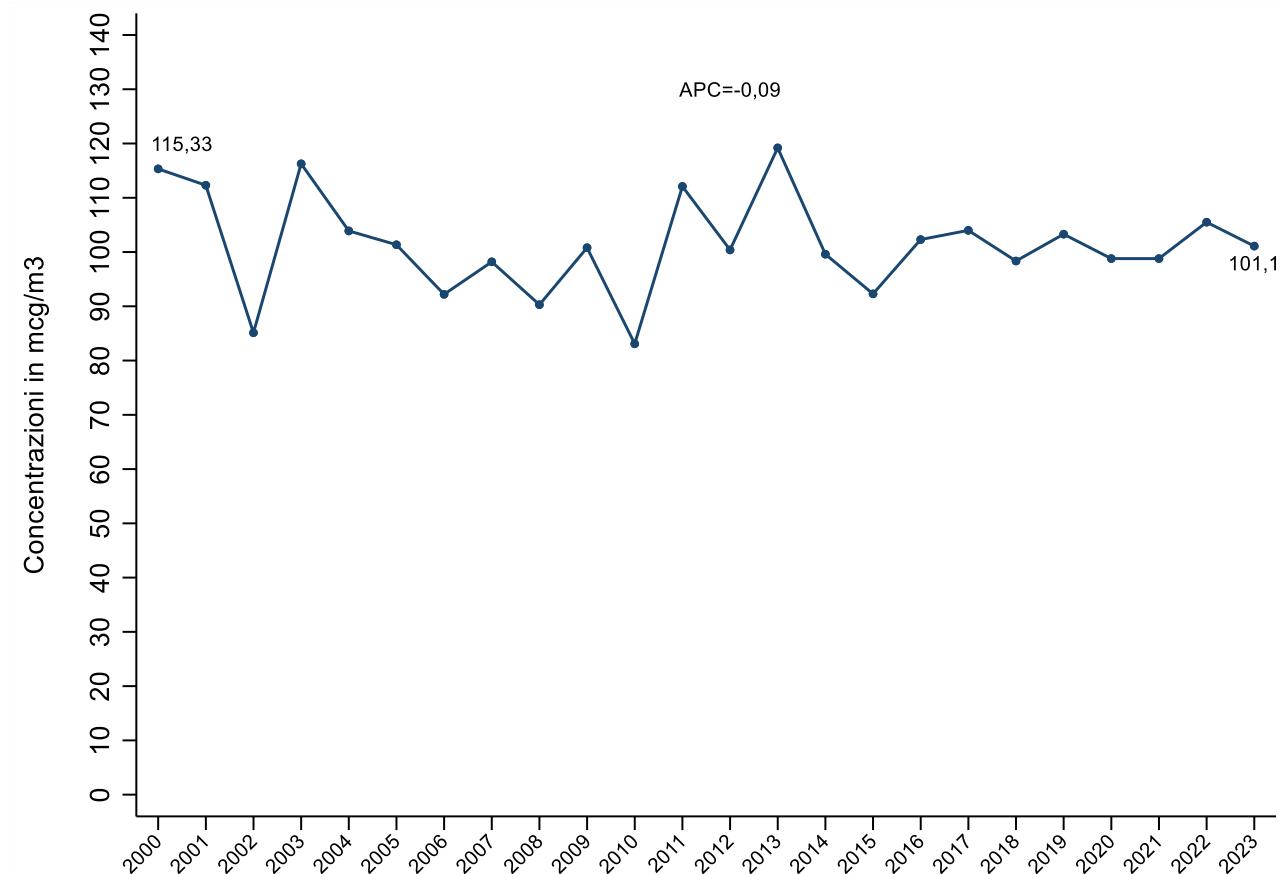
Per quanto riguarda l'impatto a lungo termine, il numero di mesi di vita persi attribuibili all'esposizione al PM_{2,5} si è ridotto in modo significativo passando da valori di circa un anno e mezzo (18,5 mesi) nel 2005 a quasi 3 mesi nel 2023 (soglia di "non effetto" 10 µg/m³) (Fig. 12). In particolare, si riscontra una riduzione del numero di mesi di vita persi nell'anno 2023 rispetto all'anno precedente, dovuto verosimilmente in parte al decremento della concentrazione dell'inquinante nell'anno 2023.

Figura 12: Mesi di vita persi attribuibili all'esposizione al PM_{2,5} (soglia 10 µg/m³), centralina di Porta San Felice, anni 2005-2023

6.3 O₃

Dal confronto delle concentrazioni dell'ozono del periodo estivo negli anni 2000-2023 rilevate presso la centralina dei Giardini Margherita non emergono riduzioni significative (Figura 13).

Figura 13: Medie del periodo estivo* di O₃, centralina dei Giardini Margherita, anni 2000-2023.

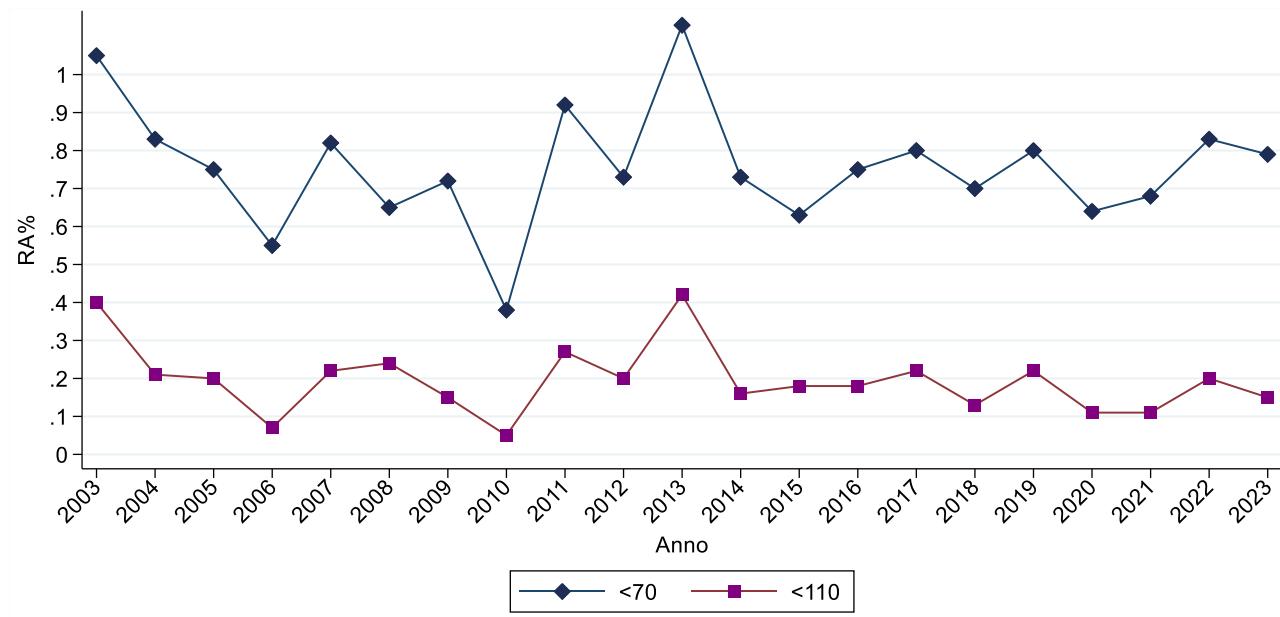


*Media dei massimi giornalieri delle medie mobili su 8 ore rilevate presso la centralina dei Giardini Margherita di Bologna nel periodo estivo (aprile-settembre).

Relativamente ai valori dei periodi estivi (aprile-settembre) dal 2000 al 2023 delle concentrazioni di ozono, il valore di APC risulta pari a -0,09 ($p=0,735$); pertanto, non si evidenziano variazioni annue percentuali significative.

Nella figura 14 è riportato l'andamento temporale della mortalità naturale attribuibile all'ozono che risulta simile a quello delle concentrazioni.

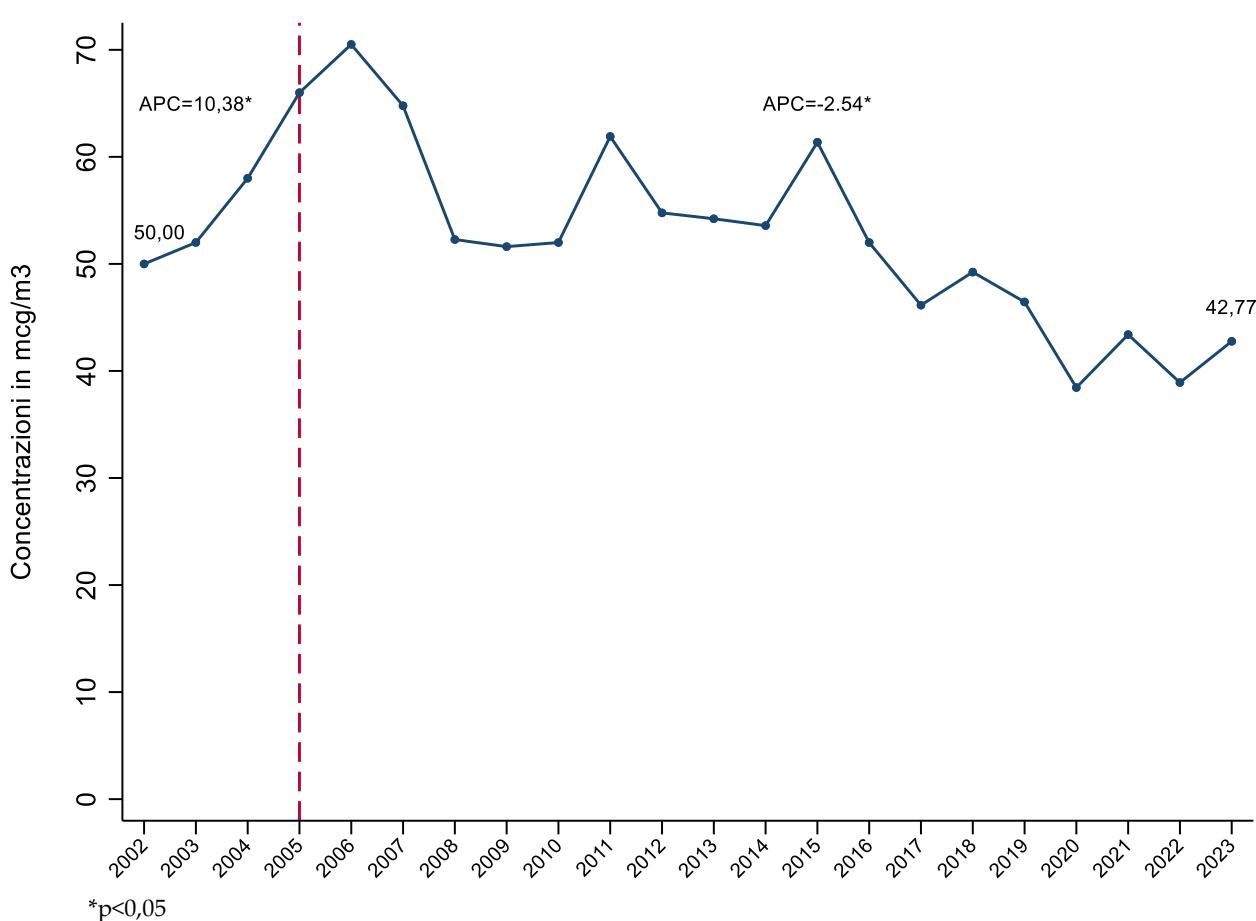
Nel 2023 si evidenzia un decremento del RA% rispetto a quello dell'anno precedente verosimilmente dovuto alla riduzione delle concentrazioni dell'inquinante.

Figura 14: Mortalità naturale attribuibile all'O₃, centralina dei Giardini Margherita, anni 2003-2023

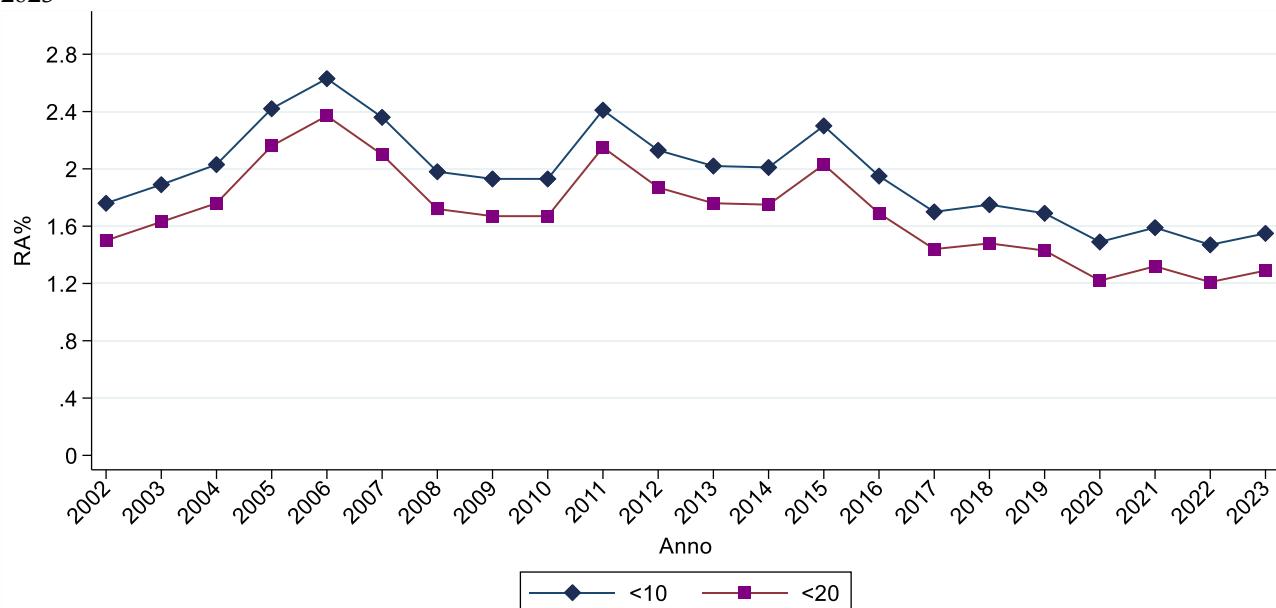
6.4 NO₂

L'analisi della serie storica degli ultimi vent'anni delle concentrazioni medie di NO₂ evidenzia, per la stazione di Porta San Felice, una prima fase (2002-2005) dove si osserva un significativo aumento e a partire dal 2005 al 2023 una significativa riduzione della concentrazione media annuale, pur con episodi di occasionali incrementi. Relativamente a quest'ultimo periodo, il valore di APC risulta pari a -2,54 (p<0,05) che corrisponde a un decremento annuo percentuale del 2,5%.

Il valore più basso della serie storica è stato raggiunto nel 2020 anno della pandemia caratterizzato da un lungo *lockdown*. Nel 2023 la media dei valori annuali registrati dalla stazione San Felice è aumentata di circa 4 µg/m³ rispetto alla media dell'anno precedente (42,77 vs 38,92 µg/m³).

Figura 15: Concentrazioni medie annuali di NO₂, centralina di Porta San Felice, anni 2002-2023

L'impatto sanitario del biossido di azoto sulla mortalità naturale a breve termine presenta un andamento analogo considerando come esposizione le concentrazioni rilevate a livello della stazione San Felice (Figura 16).

Figura 16: Mortalità naturale attribuibile a NO₂, centralina di Porta San Felice per concentrazioni, anni 2002-2023

6.5 PM₁₀, PM_{2,5}, O₃, NO₂

L'andamento temporale delle concentrazioni medie annuali e dell'impatto sanitario varia a seconda dell'inquinante. Relativamente alle singole stazioni considerate, si registra per i gas un trend sostanzialmente stabile negli ultimi anni, mentre per il particolato si riscontra un calo nel 2023 rispetto agli anni precedenti (Figura 17); questa tendenza si riflette sull'andamento dell'impatto sanitario come evidenziato in figura 18.

Figura 17: Concentrazioni annue degli inquinanti, anni 1999-2023

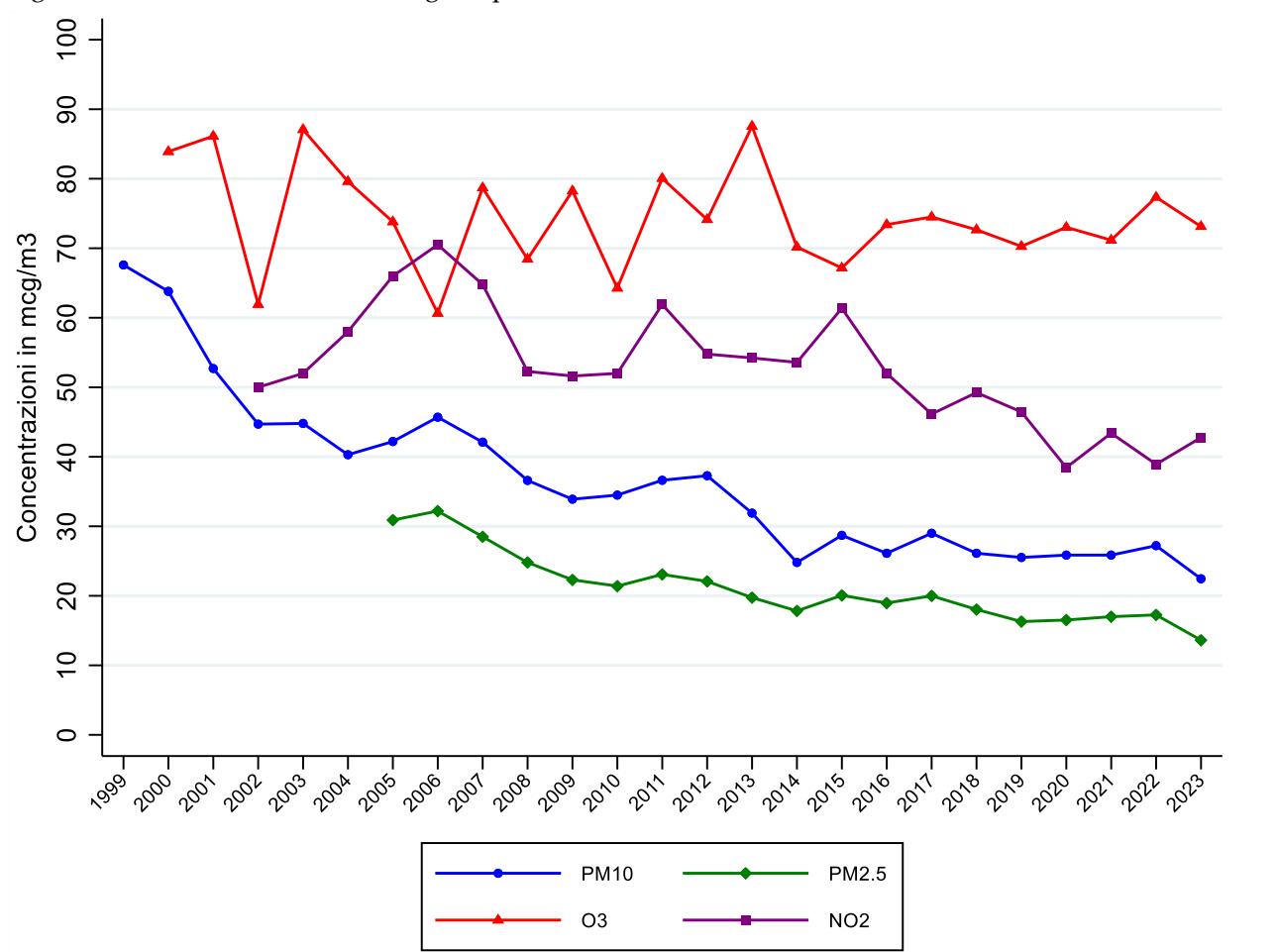
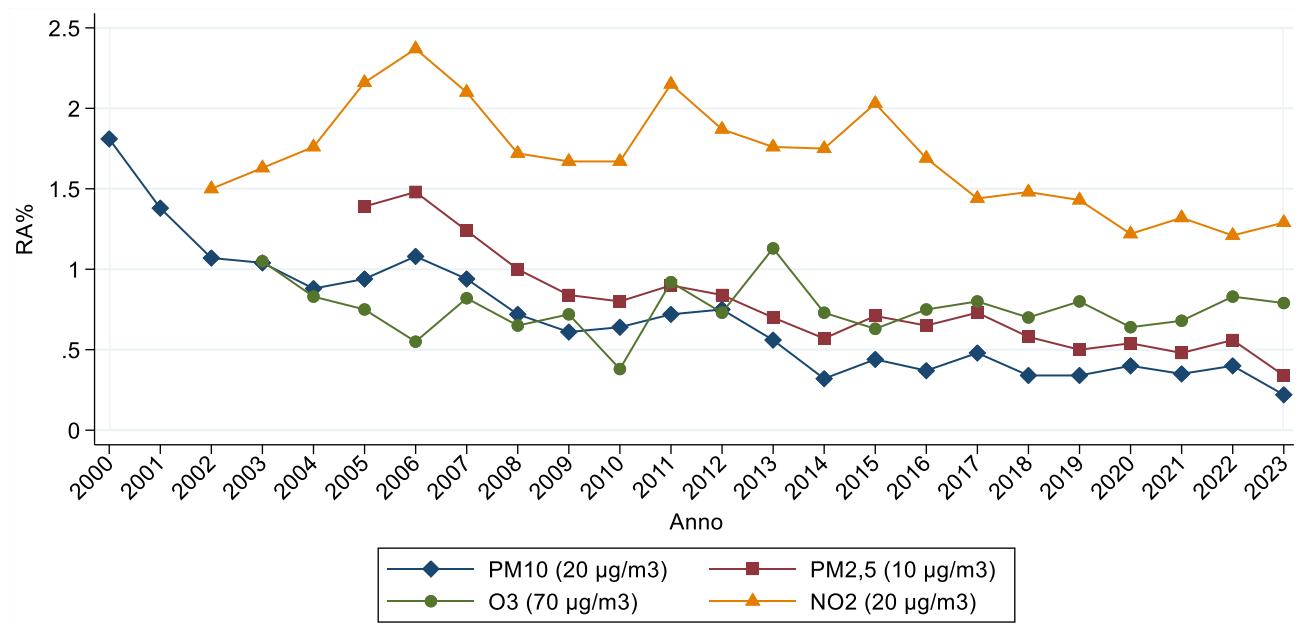


Figura 18: Rischi attribuibili di mortalità naturale per inquinante e per le soglie di non effetto, anni 2000-2023



7. Considerazioni

Relativamente all'andamento temporale degli inquinanti atmosferici sul territorio bolognese, per il PM₁₀ nel 2023 è stato registrato un calo delle concentrazioni rispetto agli anni precedenti; questo dato è in linea con quanto riportato nel report di ARPAE del 2023 per la Città Metropolitana di Bologna, secondo cui dopo un triennio di sostanziale stabilità nei valori, nel 2023 le medie di PM₁₀ di tutte le stazioni si sono ulteriormente ridotte e livellate, oscillando, nel caso di quelle in pianura, tutte tra i 20 ed i 22 µg/m³.²⁸ Le medie annuali di PM₁₀ rilevate dalle diverse stazioni risultano ben al di sotto del limite normativo previsto (40 µg/m³)²⁸, restano tuttavia superiori rispetto alle medie annuali raccomandate dalle linee guida dell'OMS 2021 (15 µg/m³ per PM₁₀).¹³

Il PM_{2,5} presenta, nel corso degli anni, un andamento meno variato rispetto al PM₁₀ anche se tendenzialmente in lieve diminuzione nel lungo periodo. Dal 2014, tutte le stazioni registrano una media annuale inferiore o pari a 20 µg/m³.²⁸ Si osserva una generalizzata riduzione delle medie annuali su tutte le stazioni della rete, con valori rimasti al di sotto sia del valore limite annuale (25 µg/m³), sia di quello obiettivo a lungo termine (20 µg/m³).²⁸ Ciò nonostante, tali valori restano superiori rispetto alle medie annuali raccomandate dalle linee guida dell'OMS 2021 (5 µg/m³ per PM_{2,5}).¹³ e ai valori limite per la protezione della salute umana da raggiungere entro il 1º gennaio 2030 della nuova Direttiva europea sulla qualità dell'aria (10 µg/m³ per PM_{2,5}).²³ Per quanto riguarda i gas, nell'ultimo decennio non si evidenzia un trend specifico delle concentrazioni di ozono sul lungo periodo; l'andamento riflette la forte dipendenza delle concentrazioni di O₃ dalla meteorologia, oltre che dalle emissioni dei precursori. È stato riscontrato per il 2023 una riduzione rispetto all'anno precedente del numero di giorni potenzialmente critici per i livelli di ozono e una generale riduzione del numero di superamenti delle soglie normative.²⁸ Tuttavia, ARPAE evidenzia come la media sui tre anni prevista dalla normativa per questo tipo di parametro vede ancora le stazioni dell'agglomerato e della pianura superare il numero massimo consentito (non più di 25 volte/anno).²⁸

Diversamente, il biossido di azoto è complessivamente diminuito nell'ultimo decennio. Il report di ARPAE mette in evidenza come, limitatamente all'ultimo quadriennio, si possa osservare una sostanziale costanza nei valori rilevati nell'area urbana di Bologna e a San Lazzaro di Savena, mentre per gli altri siti si possa riscontrare ancora una tendenza al calo dei valori.²⁸ Nel 2023 non è stato rispettato il limite annuale per il biossido di azoto (40 µg/m³) su tutte le stazioni della rete; tuttavia, a parte la stazione urbana da traffico di Porta San Felice, presso tutte le altre stazioni di misura si è registrata una lieve diminuzione delle concentrazioni medie annuali, che conferma il trend di riduzione osservabile in generale sul territorio bolognese.²⁸ Gli episodi acuti legati a concentrazioni orarie elevate di NO₂ non rappresentano più un elemento di criticità.²⁸ Ciò nonostante, i valori medi annui sul territorio della Città Metropolitana e del Comune di Bologna risultano ancora superiori rispetto alla media annuale raccomandata dalle linee guida dell'OMS 2021 (10 µg/m³ per NO₂).¹³

Relativamente alle stime di impatto sanitario dell'inquinamento atmosferico, l'andamento temporale è simile a quello delle concentrazioni degli inquinanti. Analogamente a quanto riportato dal report¹⁹ del 2022 dell'EEA, la presente valutazione stima un maggior impatto per il PM_{2,5} (753 decessi per la Città Metropolitana di Bologna per la soglia di 5 µg/m³), seguito dall'NO₂ (240 decessi per la Città Metropolitana di Bologna per la soglia di 10 µg/m³) e dall'O₃ (88 decessi per la

Città Metropolitana di Bologna per la soglia di 70 µg/m³). In termini di rischio attribuibile percentuale, la frazione di mortalità naturale attribuibile stimata per l'esposizione a lungo termine è pari a 6,76% per PM_{2,5} (per la Città Metropolitana di Bologna e per la soglia di 5 µg/m³) e a 2,16% per NO₂ (per la Città Metropolitana di Bologna e per la soglia di 10 µg/m³), mentre per l'esposizione a breve termine a O₃ è pari a 0,78% (per la Città Metropolitana di Bologna, per la soglia di 70 µg/m³). Inoltre, è da sottolineare l'entità dell'impatto dell'NO₂ anche in termini di ricoveri per patologie respiratorie, oltre che di decessi.

In termini di anni di vita persi, la riduzione della speranza di vita alla nascita per l'esposizione a lungo termine al PM_{2,5} è di quasi 3 mesi per la soglia di "non effetto" 10 µg/m³) e circa 7 mesi per la soglia di "non effetto" 5 µg/m³.

Inoltre, sia nella presente valutazione sia nelle analisi condotte dalla Commissione Europea⁷¹ utilizzando i RR del progetto ELAPSE le stime di mortalità risultano maggiori del 40% per PM_{2,5} e di più del doppio per NO₂.

I risultati mettono in luce la necessità di politiche che abbiano la finalità di migliorare ulteriormente la qualità dell'aria allineando maggiormente gli standard normativi dell'Unione Europea alle raccomandazioni dell'OMS. L'ambizione della nuova Direttiva europea sulla qualità dell'aria è quella di contribuire al "Piano d'azione per inquinamento zero"²¹ che prevede di ridurre entro il 2050 l'inquinamento atmosferico a livelli non più considerati dannosi per la salute umana e gli ecosistemi naturali.

Recentemente la Regione Emilia-Romagna ha approvato il nuovo Piano Aria Integrato Regionale (PAIR 2030)⁷² che è entrato in vigore a febbraio 2024. Il piano, in continuità con quello precedente, si pone l'obiettivo, dettato dalle norme europee e nazionali, di raggiungere livelli di qualità dell'aria e dell'ambiente volti a evitare, prevenire o ridurre gli effetti nocivi per la salute umana e per l'ambiente nel suo complesso, perseguire il mantenimento dei livelli di qualità dell'aria, laddove buona, e migliorarla negli altri casi.

Per quanto concerne il Comune di Bologna, dal 1° luglio 2023 è iniziata la transizione che ha portato Bologna ad essere nel 2024 la più grande città italiana a 30 km/h, con lo scopo di migliorare la sicurezza stradale, promuovere la mobilità sostenibile e aumentare qualità e fruibilità dell'ambiente e dello spazio pubblico.⁷³ Tra i vantaggi della Città 30, come dimostrano le esperienze europee, vi è senza dubbio quello di migliorare la sicurezza stradale ma anche quello di aumentare la mobilità ciclabile e la pedonalità, con una conseguente riduzione delle emissioni di inquinanti e climalteranti⁷³. A tal proposito, il Comune di Bologna ha evidenziato come nei primi 6 mesi del 2024 sia stato registrato un calo dell'NO₂, inquinante più legato al traffico urbano, presso la centralina di traffico urbano di Porta San Felice.⁷⁴ Il valore medio orario di 32,91 µg/m³ registrato nel periodo 1 gennaio-14 luglio 2024, infatti, è in calo del 23,1% rispetto alla media degli stessi periodi 2022-2023 (42,82 µg/m³).⁷⁴ In termini percentuali si tratta del calo sia annuale che biennale più marcato dal 2017 a oggi (con la sola eccezione del 2020, anno influenzato dalle restrizioni alla mobilità per il contrasto della pandemia da COVID-19).⁷⁴ Da parte sua l'AUSL di Bologna ha avviato un'indagine per valutare la variazione in termini di incidentalità grave nel periodo successivo all'introduzione dei nuovi limiti di velocità.

Considerando quanto sopra esposto l'inquinamento atmosferico rappresenta tuttora un pericolo per la salute pubblica e la sua riduzione deve rimanere un obiettivo da perseguire.

La presente valutazione stima i benefici di salute che si potrebbero ottenere se i livelli di inquinamento della Città Metropolitana di Bologna si allineassero con quanto raccomandato dall'OMS: a titolo esemplificativo, considerando il valore soglia di 5 µg/m³ per il PM_{2,5} si potrebbero evitare a lungo termine 753 decessi, pari al 6,76% dei decessi per cause naturali.

Il cambiamento climatico e l'inquinamento atmosferico, oltre a rappresentare i principali fattori di rischio ambientali per la salute pubblica, sono tra loro connessi, e impattano sia sulla salute umana che del Pianeta. Le fonti antropogeniche contribuiscono in modo sostanziale sia al cambiamento climatico sia all'inquinamento atmosferico. Infatti, sono principalmente le attività umane, fra le quali produzione di energia, attività agricole e zootecniche, trasporti, processi industriali, gestione dei rifiuti, riscaldamento e raffrescamento degli edifici a causare l'emissione di inquinanti gassosi e particolati che modificano la composizione dell'atmosfera e portano al degrado della qualità dell'aria, contribuendo contemporaneamente al riscaldamento climatico⁷⁵. Azioni volte alla diminuzione dell'inquinamento atmosferico contribuirebbero contemporaneamente a ridurre il carico di malattia attribuibile all'inquinamento dell'aria e una riduzione nelle emissioni di gas serra che contribuiscono al cambiamento climatico, fornendo così ulteriori benefici per la salute.

Glossario

Intervallo di Confidenza (IC): esprime l'intervallo di valori entro i quali si stima che cada con una probabilità prescelta (in questo documento pari a 0,95 o in termini percentuali 95%) il valore vero della popolazione. Alla base del calcolo c'è la stima puntuale di un determinato parametro, l'errore standard associato e il modello di distribuzione probabilistico. L'ampiezza dell'intervallo di confidenza dipende dalla numerosità del campione e dall'errore standard.

Rischio attribuibile percentuale nella popolazione: indica la proporzione di eventi sfavorevoli che potrebbero essere evitati o ritardati nell'intera popolazione rimuovendo completamente l'esposizione al fattore di rischio. La sua formula è: (rischio nella popolazione - rischio nei non esposti) / rischio nella popolazione.

Rischio relativo (RR): è il rapporto tra la probabilità che si verifichi un evento (malattia o decesso) in un gruppo di esposti e la probabilità che si verifichi lo stesso evento in un gruppo di non esposti. La sua formula è: (rischio negli esposti) / (rischio nei non esposti). L'esposizione può essere rappresentata da fattori ambientali, sociodemografici (età, residenza, livello socioeconomico), interventi sanitari, terapie. Possono essere fattori di rischio o protettivi. Se RR = 1 significa che il rischio che si verifichi l'evento nei due gruppi è uguale ossia che l'esposizione non modifica la probabilità che si verifichi l'evento. Se il RR>1 significa che il rischio di evento nel gruppo degli esposti è superiore rispetto al gruppo dei non esposti. Se il RR<1 significa che il rischio di evento nel gruppo degli esposti è inferiore rispetto al gruppo dei non esposti.

Speranza di vita: la speranza di vita all'età X rappresenta il numero medio di anni che una persona alla nascita o a una qualsiasi età può aspettarsi di vivere in un determinato anno e territorio, ossia il numero medio di anni vissuti da una generazione fittizia di sopravviventi a quella età. Viene calcolata sulla base delle cosiddette "tavole di mortalità o sopravvivenza" nell'anno e nel territorio considerato.

Tasso di mortalità: esprime il numero di decessi osservati ogni 100.000 (o altri multipli di 10) residenti in una popolazione, in un dato periodo. Si ottiene come rapporto tra il numero di morti osservati in un arco temporale (nel nostro caso un anno) e la popolazione a rischio nel periodo.

Tasso di ospedalizzazione: esprime il numero di ricoveri osservati ogni 100.000 (o altri multipli di 10) residenti in una popolazione in un dato periodo. Si ottiene come rapporto tra il numero di ricoveri osservati in un arco temporale (nel nostro caso un anno) e la popolazione a rischio nel periodo.

Anni di vita persi (YLL): numero medio annuo di anni di vita persi di una popolazione a seguito dell'esposizione alle concentrazioni raggiunte dal PM_{2,5} nel 2020 utilizzando la soglia di non effetto di 10 µg/m³.

Annual Percentage Change (APC): variazione percentuale annua del trend calcolata utilizzando la regressione joinpoint che individua i punti in cui si verificano i cambiamenti nel tempo. Nel caso di più punti di cambiamento è stata calcolata una media ponderata delle singole APC (AAPC, Average Annual Percentage Change) che fornisce una misura complessiva della tendenza.

Bibliografia

1. Europe's Air Quality Status 2023 [website]. In: European Environment Agency/Publications. Copenhagen: European Environment Agency; 2023 <https://www.eea.europa.eu/publications/europe-s-air-quality-status-2023>
2. Dominiski FH, Lorenzetti Branco JH, Buonanno G et al. Effects of air pollution on health: A mapping review of systematic reviews and meta-analyses. Environ Res, 2021; 201:111487.
3. Sun Z, Zhu D. Exposure to outdoor air pollution and its human related health outcomes: an evidence gap map. BMJ Open 2019;9:e031312.
4. Johnson NM, Hoffmann AR, Behlen JC, Lau C, Pendleton D, Harvey N, Shore R, Li Y, Chen J, Tian Y, Zhang R. Air pollution and children's health-a review of adverse effects associated with prenatal exposure from fine to ultrafine particulate matter. Environ Health Prev Med. 2021 Jul 12;26(1):72. doi: 10.1186/s12199-021-00995-5. PMID: 34253165; PMCID: PMC8274666.
5. Beelen R, Raaschou-Nielsen O, Stafoggia M et al. Effects of long-term exposure to air pollution on natural-cause mortality: an analysis of 22 European cohorts within the multicentre ESCAPE project. Lancet 2014; 383(9919):785-95.
6. Beelen R, Hoek G, Raaschou-Nielsen O et al. Natural-cause mortality and long-term exposure to particle components: an analysis of 19 European cohorts within the multi-center ESCAPE project. Environ Health Perspect 2015; 123:525-33.
7. Hänninen O, Knol AB, Jantunen M et al. Environmental burden of disease in Europe: assessing nine risk factors in six countries. Environ Health Perspect 2014; 122(5):439-46.
8. EpiAir. Inquinamento atmosferico e salute: sorveglianza epidemiologica e interventi di prevenzione (EpiAir) <http://www.EpiAir.it/>
9. Schraufnagel DE, Balmes JR, CowI CT, De Matteis S, Jung SH, Mortimer K, Perez-Padilla R, Rice MB, Riojas-Rodriguez H, Sood A, Thurston GD, To T, Vanker A, Wuebbles DJ. Air Pollution and Noncommunicable Diseases: A Review by the Forum of International Respiratory Societies' Environmental Committee, Part 2: Air Pollution and Organ Systems. Chest. 2019 Feb;155(2):417-426. doi: 10.1016/j.chest.2018.10.041. Epub 2018 Nov 9. PMID: 30419237; PMCID: PMC6904854.
10. IARC: Outdoor air pollution a leading environmental cause of cancer deaths, Press release 221, 2013, Lyon France
11. WHO Regional Office for Europe. Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP Project: Technical Report [Internet]. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2013. PMID: 27195369
12. WHO Regional Office for Europe. HRAPIE project: recommendations for concentration-response functions for cost-benefit analysis of particulate matter, ozone and nitrogen dioxide, 2013. WHO Copenhagen, Denmark
13. WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. World Health Organization 2021
14. Hvidtfeldt UA, Severi G, Andersen ZJ, Atkinson R, Bauwelinck M, Bellander T, Boutron-Ruault MC, Brandt J, Brunekreef B, Cesaroni G, Chen J, Concin H, Forastiere F, van Gils CH, Gulliver J, Hertel O, Hoek G, Hoffmann B, de Hoogh K, Janssen N, Jöckel KH, Jørgensen JT, Katsouyanni K, Ketzel M, Klompmaker JO, Krog NH, Lang A, Leander K, Liu S, Ljungman PLS, Magnusson PKE, Mehta AJ, Nagel G, Oftedal B, Pershagen G, Peter RS, Peters A, Renzi M, Rizzuto D, Rodopoulou S, Samoli E, Schwarze PE, Sigsgaard T,

- Simonsen MK, Stafoggia M, Strak M, Vienneau D, Weinmayr G, Wolf K, Raaschou-Nielsen O, Fecht D. Long-term low-level ambient air pollution exposure and risk of lung cancer - A pooled analysis of 7 European cohorts. *Environ Int.* 2021 Jan;146:106249. doi: 10.1016/j.envint.2020.106249. Epub 2020 Nov 13. PMID: 33197787.
15. Orellano P, Reynoso J, Quaranta N, Bardach A, Ciapponi A. Short-term exposure to particulate matter (PM_{10} and $PM_{2.5}$), nitrogen dioxide (NO_2), and ozone (O_3) and all-cause and cause-specific mortality: Systematic review and meta-analysis. *Environ Int.* 2020 Sep;142:105876. doi: 10.1016/j.envint.2020.105876. Epub 2020 Jun 23. PMID: 32590284.
16. Huangfu P, Atkinson R. Long-term exposure to NO_2 and O_3 and all-cause and respiratory mortality: A systematic review and meta-analysis. *Environ Int.* 2020 Nov;144:105998. doi: 10.1016/j.envint.2020.105998. Epub 2020 Oct 5. PMID: 33032072; PMCID: PMC7549128.
17. Chen J, Hoek G. Long-term exposure to PM and all-cause and cause-specific mortality: A systematic review and meta-analysis. *Environ Int.* 2020 Oct;143:105974. doi: 10.1016/j.envint.2020.105974. Epub 2020 Jul 20. PMID: 32703584.
18. Boogaard H, Patton AP, Atkinson RW, Brook JR, Chang HH, Crouse DL, Fussell JC, Hoek G, Hoffmann B, Kappeler R, Kutlar Joss M, Ondras M, Sagiv SK, Samoli E, Shaikh R, Smargiassi A, Szpiro AA, Van Vliet EDS, Vienneau D, Weuve J, Lurmann FW, Forastiere F. Long-term exposure to traffic-related air pollution and selected health outcomes: A systematic review and meta-analysis. *Environ Int.* 2022 Jun;164:107262. doi: 10.1016/j.envint.2022.107262. Epub 2022 Apr 25. PMID: 35569389.
19. Soares, J., González Ortiz, A., Gsella, A., Horálek, J., Plass, D. & Kienzler, S. (2022). Health risk assessment of air pollution and the impact of the new WHO guidelines (Eionet Report – ETC HE 2022/10). European Topic Centre on Human Health and the Environment.
20. Kienzler, S., Soares, J., González Ortiz, & A., Plass, D. (2022). Estimating the morbidity related environmental burden of disease due to exposure to $PM_{2.5}$, NO_2 and O_3 in outdoor ambient air. (Eionet Report – ETC HE 2022/11). European Topic Centre on Human Health and the Environment.
21. Communication From The Commission To The European Parliament, The Council, The European Economic And Social Committee And The Committee Of The Regions Pathway to a Healthy Planet for All EU Action Plan: 'Towards Zero Pollution for Air, Water and Soil' - European Commission 12/05/2021
22. European Commission. Proposal for a Directive of the European Parliament and the Council on ambient air quality and cleaner air for Europe. Brussels, 26.10.2022. COM(2022) 542 final. 2022.
23. Direttiva UE 2024 del Parlamento Europeo e del Consiglio relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa (rifusione): <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/PE-88-2024-INIT/it/pdf>
24. European Commision 'Air Pollution and Climate Change' – Science for Environment Policy. Issue24 Novembre 2010
25. Adelman Z, Fry MM, Anenberg S, Horowitz LW, Lamarque JF. Co-benefits of Global Greenhouse Gas Mitigation for Future Air Quality and Human Health. *Nat Clim Chang.* 2013 Oct 1;3(10):885-889. doi: 10.1038/NCLIMATE2009. PMID: 24926321; PMCID: PMC4051351.
26. Orru H, Ebi KL, Forsberg B. The Interplay of Climate Change and Air Pollution on Health. *Curr Environ Health Rep.* 2017 Dec;4(4):504-513. doi: 10.1007/s40572-017-0168-6. PMID: 29080073; PMCID: PMC5676805.

27. Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 12/01/2017. *Definizione e aggiornamento dei livelli essenziali di assistenza, di cui all'articolo 1, comma 7, del decreto legislativo 30 dicembre 1992, n. 502.*
28. ARPAE. Rete Regionale di Monitoraggio e Valutazione della Qualità dell'Aria, Città Metropolitana di Bologna, Report dei dati 2023.
29. Decreto Legislativo 13 agosto 2010, n. 155 *Attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualita' dell'aria ambiente e per un'aria piu' pulita in Europa.*
30. WHO Regional Office for Europe, European Centre for Environment and Health (2022). AirQ+: software tool for health risk assessment of air pollution. Bonn (Germany): WHO Regional Office for Europe. <https://www.who.int/europe/tools-and-toolkits/airq---software-tool-for-health-risk-assessment-of-air-pollution>. Accessed 08/2024
31. Regione Emilia-Romagna. https://statistica.regione.emilia-romagna.it/dati/statistica-self-service/popolazione/popolazione-per-eta-e-sesso/pop_eta_ammontare
32. Regione Emilia-Romagna. Salute. Schede di dimissione ospedaliera (<https://salute.regione.emilia-romagna.it/siseps/sanita/sdo>).
33. Brunekreef, B., et al., 2021, Mortality and Morbidity Effects of Long-Term Exposure to Low-Level PM2.5, BC, NO₂, and O₃: An Analysis of European Cohorts in the ELAPSE Project, Health Effects Institute, Boston, ISSN 1041-5505.
34. Hoffmann B, Brunekreef B, Andersen ZJ, Forastiere F, Boogaard H. Benefits of future clean air policies in Europe: Proposed analyses of the mortality impacts of PM2.5 and NO₂. Environ Epidemiol. 2022 Aug 31;6(5):e221. doi: 10.1097/EE9.0000000000000221. PMID: 36249272; PMCID: PMC9556041.
35. Stafoggia M., Oftedal B., Chen J., et al., 2022, "Long-term exposure to low ambient air pollution concentrations and mortality among 28 million people: results from seven large European cohorts within the Elapse project", Lancet Planet Health, Jan;6(1):e9-e18
36. Wolf K., Hoffmann B., Andersen Z.J., et al., 2021, "Longterm exposure to low-level ambient air pollution and incidence of stroke and coronary heart disease: a pooled analysis of six European cohorts within the Elapse project", Lancet Planet Health, Sep;5(9):e620-e632.
37. Eze IC, Hemkens LG, Bucher CH et al. Association between ambient air pollution and diabetes mellitus in Europe and North America: systematic review and meta-analysis. Environ Health Perspect 2015; 123:381-389.
38. Lao XQ, Guo C, Chang L. et al. Long-term exposure to ambient fine particulate matter (PM2.5) and incident type 2 diabetes: a longitudinal cohort study. Diabetologia 2019;62:759–769.
39. Benjamin Bowe, Yan Xie, Tingting Li, Yan Yan, Hong Xian, Ziyad Al-Aly The 2016 global and national burden of diabetes mellitus attributable to PM2,5 air pollution. Lancet Planet Health 2018; 2: e301–12
40. Cai Y, Zhang B, Ke W et al. Associations of Short-Term and Long-Term Exposure to Ambient Air Pollutants With Hypertension: A Systematic Review and Meta-Analysis. Hypertension 2017; 68(1):62-70.
41. Sun X, Luo X, Zhao C et al. The association between fine particulate matter exposure during pregnancy and preterm birth: a meta-analysis. BMC Pregnancy Childbirth 2015; 15:300.
42. Pedersen M, Giorgis-Allemand L, Bernard C, et al. Ambient air pollution and low birthweight: a European cohort study (ESCAPE), Lancet Respir Med 2013; 1(9):695-704.
43. Stieb DM, Chen L, Eshoul M, et al. Ambient air pollution, birth weight and preterm birth: a systematic review and meta-analysis, Environ Res 2012; 117:100-11.

44. Wu H, Kioumourtzoglou MA, Allan C et al. Association of ambient PM_{2.5} exposure with maternal bone strength in pregnant women from Mexico City: a longitudinal cohort study. *Lancet Planet Health*, 2020; 4(11):e530-e537.
45. Cesaroni G, Bargagli AM, Renzi M et al. Long-term exposure to air pollution and incidence of multiple sclerosis. International Society for Environmental Epidemiology, ISEE 2017 Conference Old and new risks: challenges for environmental epidemiology, Rome 2017.
46. Suades-González E, Gascon M, Guxens M et al. Air Pollution and Neuropsychological Development: A Review of the Latest Evidence. *Endocrinology* 2015; 156(10):3473-82.
47. Grande G, Ljungman PLS, Eneroth K et al. Association Between Cardiovascular Disease and Long-term Exposure to Air Pollution With the Risk of Dementia. *JAMA Neurol*, 2020; 77(7):801-809.
48. Weuve J, Bennett EE, Ranker L, Gianattasio KZ, Pedde M, Adar SD, Yanosky JD, Power MC. Exposure to Air Pollution in Relation to Risk of Dementia and Related Outcomes: An Updated Systematic Review of the Epidemiological Literature. *Environ Health Perspect*. 2021 Sep;129(9):96001. doi: 10.1289/EHP8716. Epub 2021 Sep 24. PMID: 34558969; PMCID: PMC8462495.
49. Bakolis I, Hammoud R, Stewart R, Beevers S, Dajnak D, MacCrimmon S, Broadbent M, Pritchard M, Shiode N, Fecht D, Gulliver J, Hotopf M, Hatch SL, Mudway IS. Mental health consequences of urban air pollution: prospective population-based longitudinal survey. *Soc Psychiatry Psychiatr Epidemiol*. 2021 Sep;56(9):1587-1599. doi: 10.1007/s00127-020-01966-x. Epub 2020 Oct 24. PMID: 33097984; PMCID: PMC7584487.
50. Peters R, Ee N, Peters J, Booth A, Mudway I, Anstey KJ. Air Pollution and Dementia: A Systematic Review. *J Alzheimers Dis*. 2019;70(s1):S145-S163. doi: 10.3233/JAD-180631. PMID: 30775976; PMCID: PMC6700631.
51. Fu P, Yung KKL. Air Pollution and Alzheimer's Disease: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Alzheimers Dis*. 2020;77(2):701-714. doi: 10.3233/JAD-200483. PMID: 32741830.
52. Fu P, Guo X, Cheung FMH, Yung KKL. The association between PM_{2.5} exposure and neurological disorders: A systematic review and meta-analysis. *Sci Total Environ*. 2019 Mar 10;655:1240-1248. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.11.218. Epub 2018 Nov 15. PMID: 30577116.
53. Cristaldi A, Fiore M, Oliveri Conti G, Pulvirenti E, Favara C, Grasso A, Copat C, Ferrante M. Possible association between PM_{2.5} and neurodegenerative diseases: A systematic review. *Environ Res*. 2022 May 15;208:112581. doi: 10.1016/j.envres.2021.112581. Epub 2021 Dec 31. PMID: 34979121.
54. Newbury JB, Stewart R, Fisher HL, Beevers S, Dajnak D, Broadbent M, Pritchard M, Shiode N, Heslin M, Hammoud R, Hotopf M, Hatch SL, Mudway IS, Bakolis I. Association between air pollution exposure and mental health service use among individuals with first presentations of psychotic and mood disorders: retrospective cohort study. *Br J Psychiatry*. 2021 Dec;219(6):678-685. doi: 10.1192/bjp.2021.119. PMID: 35048872; PMCID: PMC8636613.
55. Xue T, Guan T, Zheng Y, Geng G, Zhang Q, Yao Y, Zhu T. Long-term PM_{2.5} exposure and depressive symptoms in China: A quasi-experimental study. *Lancet Reg Health West Pac*. 2020 Dec 13;6:100079. doi: 10.1016/j.lanwpc.2020.100079. PMID: 34327409; PMCID: PMC8315430.
56. Dutheil F, Comptour A, Morlon R, Mermilliod M, Pereira B, Baker JS, Charkhabi M, Clinchamps M, Bourdel N. Autism spectrum disorder and air pollution: A systematic review and meta-analysis. *Environ Pollut*. 2021 Jun 1;278:116856. doi: 10.1016/j.envpol.2021.116856. Epub 2021 Mar 2. PMID: 33714060.

57. Imbriani G, Panico A, Grassi T, Idolo A, Serio F, Bagordo F, De Filippis G, De Giorgi D, Antonucci G, Piscitelli P, Colangelo M, Peccarisi L, Tumolo MR, De Masi R, Miani A, De Donno A. Early-Life Exposure to Environmental Air Pollution and Autism Spectrum Disorder: A Review of Available Evidence. *Int J Environ Res Public Health.* 2021 Jan 29;18(3):1204. doi: 10.3390/ijerph18031204. PMID: 33572907; PMCID: PMC7908547.
58. International Society for Environmental Epidemiology, ISEE 2017 Conference Old and new risks: challenges for environmental epidemiology, Rome 2017.
59. Filippini T, Heck JE, Malagoli C et al. A review and meta-analysis of outdoor air pollution and risk of childhood leukemia. *J Environ Sci Health C Environ Carcinog Ecotoxicol Rev* 2015; 33:36-66.
60. Bell ML, Zanobetti A, Dominici F. Who is more affected by ozone pollution? A systematic review and meta-analysis. *Am J Epidemiol* 2014; 180(1):15-28.
61. Wang L, Zhong B, Vardoulakis S et al. Air Quality Strategies on Public Health and Health Equity in Europe—A Systematic Review. *Int J Environ Res Public Health* 2017;13(12):1196.
62. Cassee FR, Héroux ME, Gerlofs-Nijland ME et al. Particulate matter beyond mass: recent health evidence on the role of fractions, chemical constituents and sources of emission. *Inhal Toxicol* 2013;25(14):802-12.
63. Dominici F, Wang Y, Correia AW et al. Chemical composition of fine particulate matter and life expectancy. *Epidemiology* 2015; 26:556-564.
64. Chung Y, Dominici F, Wang Y et al. Associations between Long-Term Exposure to Chemical Constituents of Fine Particulate Matter ($PM_{2.5}$) and Mortality in Medicare Enrollees in the Eastern United States. *Environ Health Perspect* 2015; 123:467-474.
65. Sarnat S E, Winquist A, Schauer JJ et al. Fine Particulate Matter Components and Emergency Department Visits for Cardiovascular and Respiratory Diseases in the St. Louis, Missouri–Illinois, Metropolitan Area. *Environ Health Perspect* 2015; 123:437-444.
66. Dai L, Zanobetti A, Koutrakis P et al. Associations of Fine Particulate Matter Species with Mortality in the United States: A Multicity Time-Series Analysis. *Environ Health Perspect* 2014; 122:837-842.
67. Wolf K, Stafoggia M, Cesaroni G. Long-term exposure to particulate matter constituents and the incidence of coronary events in 11 European cohorts. *Epidemiology* 2015; 26:565-574.
68. Chen R, Cai J, Meng X. Ozone and Daily Mortality Rate in 21 Cities of East Asia: How Does Season Modify the Association? *Am J Epidemiol* 2014; 180:729-736.
69. Cadum E, Forastiere F. [EpiAir Project: introduction and reading guide to the articles]. *Epidemiol Prev* 2013; 37(4-5):206-8.
70. Sujaritpong S, Dear K, Cope M et al. Quantifying the health impacts of air pollution under a changing climate-a review of approaches and methodology. *Int J Biometeorol* 2014; 58:149-60.
71. European Commission, Directorate-General for Environment, *Study to support the impact assessment for a revision of the EU Ambient Air Quality Directives – Final report – Appendix*, Publications Office of the European Union, 2022, <https://data.europa.eu/doi/10.2779/49843>
72. <https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/aria/pair-2030>
73. <https://www.comune.bologna.it/>
74. <https://www.comune.bologna.it/informazioni/citta-30-dati-6-mesi>
75. Maione M., Fowler D., Monks P.S., Reis S., Rudich Y., Williams M.L., Fuzzi S., 2016, "Air quality and climate change: Designing new win-win policies for Europe", *Environmental Science & Policy*, 65, 48-57.]