

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 2022

Valutazione sanitaria della qualità dell'aria a Bologna, 2022

A cura di:

Federica Bergamini¹, Vincenza Perlangeli², Giorgia Zanutto⁴, Zeno Di Valerio⁴, Muriel A. Musti², Elisa Stivanello², Paolo Pandolfi^{2,3}

¹Programma Ambiente e Salute - Dipartimento di Sanità Pubblica, Azienda USL di Bologna

²UOC Epidemiologia, Promozione della Salute e Comunicazione del Rischio – Dipartimento di Sanità Pubblica, Azienda USL di Bologna

³Dipartimento di Sanità Pubblica, Azienda USL di Bologna

⁴Scuola di Specializzazione in Igiene e Medicina Preventiva, Dipartimento di Scienze Biomediche e Neuromotorie, Alma Mater Studiorum - Università 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

gennaio 2024

SOMMARIO

1.Premessa	4
2.Indicatori dell'inquinamento atmosferico.....	6
3.Metodi	8
4.VIS per la Città Metropolitana di Bologna.....	12
6.Confronto temporale	22
Considerazioni	34
Breve glossario	374
Bibliografia	38

1.Premessa

Vi sono ampie prove degli effetti negativi sulla salute causati dall'inquinamento atmosferico. Secondo l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS), si stima che l'esposizione all'inquinamento dell'aria causi circa 4,2 milioni di morti ogni anno in tutto il mondo¹.

Nell'Unione Europea, nonostante una significativa riduzione delle emissioni registrata negli ultimi due decenni, le concentrazioni degli inquinanti atmosferici sono ancora troppo elevate; secondo European Environment Agency (EEA), nel 2020 il 96% della popolazione urbana è stata esposta a concentrazioni nocive di particolato fine PM_{2,5} superiori al livello raccomandato dall'OMS; si stima che tale esposizione abbia provocato 238.000 decessi prematuri in Europa².

Numerosi studi, anche recenti, hanno confermato gli effetti dell'inquinamento atmosferico sulla mortalità, sulla morbilità 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 salute.³⁻⁹

Due Progetti dell'OMS, REVIHAAP¹⁰ (Review of Evidence on Health Aspects of Air Pollution) ed HRAPIE¹¹ (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'esposizione sia a breve che a lungo termine all'inquinamento atmosferico può portare ad un'ampia gamma di malattie, tra cui ictus, broncopneumopatia cronica ostruttiva, tumori polmonari, asma, infezioni delle basse vie respiratorie, diabete di tipo 2, obesità, infiammazione sistemica, morbo di Alzheimer e demenza¹².

Nel 2013, l'inquinamento atmosferico e il PM sono stati classificati come cancerogeni dall'Agenzia internazionale dell'OMS per la ricerca sul cancro (IARC)¹³.

L'Organizzazione Mondiale per la Sanità ha pubblicato a fine 2021 un aggiornamento delle Linee Guida globali sulla qualità dell'aria (AQG 2021)¹⁴. Dalla pubblicazione dell'edizione precedente, numerosi sono gli studi che documentano l'influenza negativa dell'inquinamento atmosferico sulla salute anche a bassi livelli¹⁵⁻¹⁹. Ciò ha portato ad un aggiornamento dei valori AQG inferiori a quelli di 15 anni fa. 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) scendono 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 questo contesto, la Commissione europea ha prodotto una proposta che riordina e migliora le disposizioni previste dalle attuali direttive; nell'ambito del Green Deal europeo, la Commissione ha adottato 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"²⁰; 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. A tal proposito, lo scorso ottobre, la Commissione Europea ha pubblicato una proposta di nuova direttiva sulla qualità dell'aria²¹, con l'obiettivo di allineare maggiormente gli standard di qualità dell'aria dell'UE alle raccomandazioni dell'OMS

(OMS, 2021), pur rimanendo, per alcuni parametri, parzialmente superiori agli *air quality guideline level*. I nuovi valori limite annuali proposti sono $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ per il PM_{10} , $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ per il $\text{PM}_{2,5}$ e $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ per l' NO_2 , da rispettare in tutta l'UE entro il 2030. Sebbene questi valori limite proposti siano più restrittivi di quelli attuali, sono comunque più alti dell'AQG 2021 dell'OMS. Attualmente, la proposta è al vaglio delle tre Istituzioni dell'Unione Europea, il Consiglio, il Parlamento e la Commissione; la direttiva potrà essere adottata solo con il raggiungimento di un testo condiviso.

La qualità dell'aria è strettamente legata al clima e agli ecosistemi della terra 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 infatti ha co-benefici, non solo per la salute 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, riducendo il carico di malattie attribuibili ad esso, oltre a contribuire alla mitigazione a breve e lungo termine del cambiamento climatico.²²⁻²⁴

Dal 2003 il Dipartimento di Sanità Pubblica dell'Azienda USL di Bologna produce questo rapporto con l'obiettivo di monitorare l'impatto dei principali inquinanti atmosferici sulla salute dei residenti nel territorio della Città Metropolitana di Bologna.

L'impatto è stimato in termini di mortalità, ricoveri ospedalieri e anni di vita persi della popolazione residente nella Città Metropolitana di Bologna sia nel breve che nel lungo termine, ma anche come trend per valutarne la variazione temporale.

L'impatto viene espresso come numero di morti e di ricoveri attribuibili ai vari inquinanti e come frazione di eventi (morti o ricoveri) 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 salute¹⁴: il PM_{10} , il $\text{PM}_{2,5}$ il biossido d'azoto (NO_2) e l'ozono (O_3).

Questo rapporto rappresenta uno strumento per campagne di comunicazione e informazione sui rischi sanitari dell'inquinamento ed 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.²⁵

2.Indicatori dell'inquinamento atmosferico

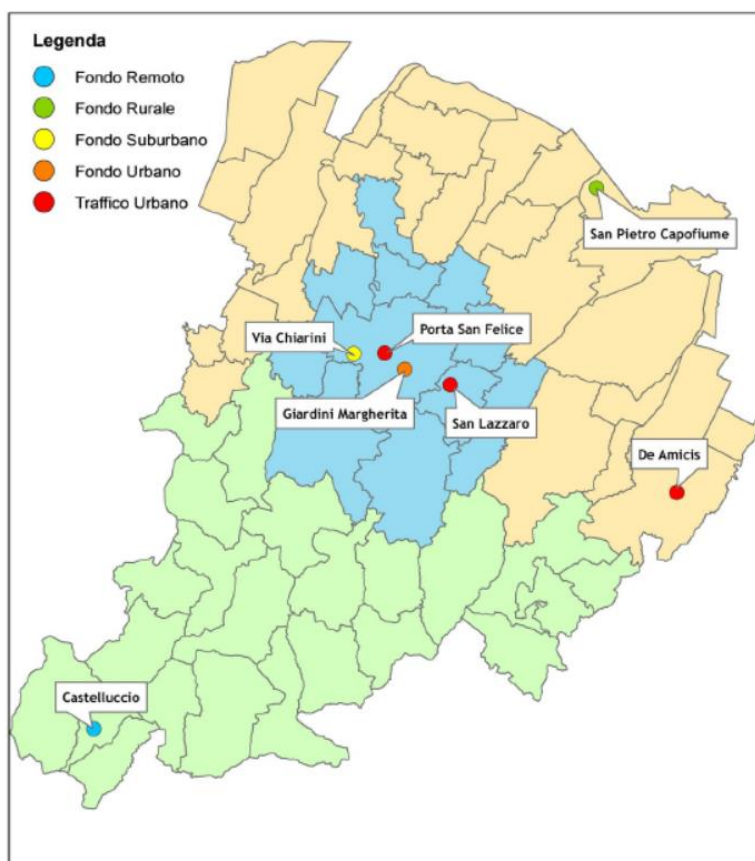
Le informazioni sulle concentrazioni del PM₁₀, PM_{2,5}, NO₂ e O₃ derivano dalla rete delle centraline Arpae di monitoraggio della qualità dell'aria del territorio della Città Metropolitana di Bologna. Nel 2022 erano operative le centraline riportate in tabella 1.²⁶ In figura 1 si evidenzia la loro localizzazione.

Tabella 1 - Stazioni e parametri della rete di monitoraggio

Rete centraline Arpae, Città Metropolitana, 2022		Inquinanti			
		PM ₁₀	PM _{2,5}	O ₃	NO ₂
Bologna	Giardini Margherita	•	•*	•	•*
	Porta San Felice	•	•*		•*
	Via Chiarini	•		•	•*
San Lazzaro – Poggi		•			•*
Molinella – San Pietro Capofiume		•	•*	•	•*
Imola – De Amicis		•			•*
Alto Reno Terme – Castelluccio					

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

Fig.1: Disposizione delle stazioni di misura di qualità dell'aria



(Fonte Arpae²⁶)

Ai fini di questa valutazione, la centralina di Alto Reno Terme–Castelluccio non è stata considerata perché ritenuta poco rappresentativa dell'esposizione della popolazione essendo una centralina di fondo remoto, cioè localizzata ad una distanza maggiore di 50 km dalle fonti di maggior emissione (D.Lgs. 155/2010)²⁷. Inoltre, tra le 6 centraline del territorio della città metropolitana vi è quella di San Pietro-Capofiume collocata in area rurale, mentre quelle poste nella città di Bologna sono tutte urbane o suburbane (Fig. 1).

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

Per approfondimenti sui valori degli inquinanti a livello delle singole centraline e sui superamenti dei limiti normativi si rimanda al rapporto annuale sulla qualità dell'aria di Arpa²⁶.

Nella tabella seguente vengono riportati i principali valori di PM₁₀, PM_{2,5}, O₃ e NO₂ registrati dalle centraline nel 2022 per la città Metropolitana di Bologna ed il Comune.

Tab.2 Concentrazioni in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ degli inquinanti, 2022

		Città Metropolitana di Bologna	Comune di Bologna
PM ₁₀	N. dati validi	365	365
	Media annua	25,10	24,96
	Massima annua	75,00	74,33
	Giorni >50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	22	29
PM _{2,5}	N. dati validi	365	365
	Media annua	15,99	15,67
	Massima annua	63,67	65,50
O ₃	N. dati validi	365	365
	Media annua	50,68	48,99
	Media massima 8 h	176,13	180,06
	Giorni con media massima 8 h >120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	57	53
NO ₂	N. giorni validi	365	365
	Media annua	22,05	24,44
	Massima oraria	68,50	75,00
	Media delle massime giornaliere	34,22	38,83

3. Metodi

L'impatto sulla salute nel 2022 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 (anno 2022), uno strumento validato per la misura dell'impatto sulla salute dell'inquinamento atmosferico prodotto e distribuito dal "WHO European Centre for Environment and Health"²⁸. La nuova 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". AirQ+2.2 si basa su rischi relativi derivati da studi sulla salute disponibili fino a settembre 2018.

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. Questo discorso vale ancora di più se si tiene conto 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, cardiovascolari e per tumore di trachea, bronchi e polmone. L'impatto sui ricoveri è stato calcolato 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.

Il calcolo del numero di decessi e ricoveri che si sarebbero potuti evitare o ritardare è stimato sulla popolazione media residente nel 2022 nella Città Metropolitana di Bologna/Comune di Bologna²⁹. I decessi derivano dalla banca dati del registro di mortalità dell'AUSL di Bologna e dell'AUSL di Imola. La fonte dei dati relativi ai ricoveri è l'archivio delle Schede di Dimissione Ospedaliera (SDO)³⁰.

Per il calcolo delle stime di impatto sanitario, sono stati applicati i rischi relativi (RR) raccomandati dall'OMS ed inseriti nella versione aggiornata di AirQ+ 2.2^{12,16,17,18}. A seguito della pubblicazione nel 2020 di revisioni sistematiche sulle prove degli effetti degli inquinanti atmosferici sulla salute^{16,17,18}, sono stati definiti nuovi valori di rischi relativi; a tal proposito si evidenzia che i nuovi rischi relativi "short-term" 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 AQG2021 includono studi disponibili fino a settembre 2018, non comprendono quindi nuovi importanti studi europei che sono stati pubblicati dopo tale data, come ad esempio il progetto ELAPSE (Effects of low-level air pollution: a study in Europe)³¹. ELAPSE rappresenta il più grande studio in Europa progettato specificamente per studiare gli effetti dell'esposizione a livelli di inquinamento atmosferico al di sotto degli attuali valori limite di qualità dell'aria nell'UE e riporta i risultati più recenti e più rilevanti³²⁻³⁴.

In base a questo studio europeo, le stime degli effetti di PM_{2,5} e di NO₂ sulla mortalità in Europa esprimono valori superiori a quelli emersi dalle revisioni sistematiche globali dell'OMS: il RR per il long-term PM_{2,5} è di 1,118 (1,060-1,179) per 10 µg/m³, maggiore di quello stimato di 1,08 (1,06-1,09) della revisione sistematica dell'OMS; la stima per il long-term NO₂ è di 1,045 (1,026-1,065) per 10 µg/m³, maggiore di quella della revisione sistematica dell'OMS pari a 1,02 (1,01-1,04).

Nella presente valutazione vengono messi a confronto i dati di impatto sanitario utilizzando i rischi relativi calcolati a livello europeo nel progetto ELAPSE con le stime ottenute da AirQ+ 2.2 che usa i RR proposti dall'OMS.

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

Tab.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 (IC95%) per 10 µg/m ³
PM ₁₀	media giornaliera	Mortalità naturale	A00-R99, Uxx	AirQ ¹⁶	1,0041 (1,0034-1,0049)
PM _{2,5}	media giornaliera	Mortalità naturale	A00-R99, Uxx	AirQ ¹⁶	1,0065 (1,0044-1,0086)
		Ricoveri per mal. cardiovascolari	390-459	AirQ ¹¹	1,0091 (1,0017-1,0166)
		Ricoveri per malattie respiratorie	460-519	AirQ ¹¹	1,0190 (1,0000-1,0402)
O ₃	media massima giornaliera su 8 h	Mortalità naturale	A00-R99, Uxx	AirQ ¹⁶	1,0043 (1,0034-1,0052)
		Mortalità per mal. cardiovascolari	I00-I99	AirQ ¹¹	1,0049 (1,0013-1,0085)
		Mortalità per mal. respiratorie	J00-J99	AirQ ¹¹	1,0029 (1,0000-1,0070)
		Ricoveri per malattie cardiache	390-429	AirQ ¹¹	1,0089 (1,0050-1,0127)
		Ricoveri per malattie respiratorie	460-519	AirQ ¹¹	1,0044 (1,0007-1,0083)
NO ₂	media massima giornaliera	Mortalità naturale (età ≥30 anni)	A00-R99, Uxx	AirQ ¹¹	1,0027 (1,0016-1,0038)
	media giornaliera	Ricoveri per malattie respiratorie	460-519	AirQ ¹¹	1,0180 (1,0115-1,0245)

Tab.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 (IC95%) per 10 µg/m ³
PM _{2,5}	media annuale	Mortalità naturale (età ≥30 anni)	A00-R99, Uxx	AirQ ¹⁸ ELAPSE ³¹	1,08 (1,06-1,09) 1,118 (1,060-1,179)
		Mortalità per mal. cardiovascolari (età ≥30 anni)	I00-I99	AirQ ¹⁸	1,11 (1,09-1,14)
		Mortalità per mal. respiratorie (età ≥30 anni)	J00-J99	AirQ ¹⁸	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 ¹⁸	1,12 (1,07-1,16)
NO ₂	media annuale	Mortalità naturale (età ≥30 anni)	A00-R99, Uxx	AirQ ¹⁷ ELAPSE ³¹	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+.

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 verificano degli effetti avversi sulla salute¹⁴.

In questa 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 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ per il PM_{10} e per l’ozono e di $110\mu\text{g}/\text{m}^3$ 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 nuove linee AQG e la direttiva europea sulla qualità dell’aria (COM(2022) 542 final UE), per evidenziare i benefici sulla salute in termini di morti e ricoveri evitabili che si otterrebbero con il raggiungimento dei valori proposti.

Il numero dei casi (decessi o ricoveri) 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).

Tab.5: Soglie di “non effetto”

Inquinante	Concentrazioni in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ considerate come soglie di “non effetto”	Fonte
PM_{10}	10	Soglia utilizzata per i confronti temporali AQG OMS 2021 COM(2022) 542 finalUE
	15	
	20	
$\text{PM}_{2,5}$	5	AQG OMS 2021 COM(2022) 542 finalUE Valore limite indicativo che sarebbe dovuto entrare in vigore dal 01/01/2020 (D.Lgs. 155/2017)
	10	
	20	
O_3	10	Soglia utilizzata per i confronti temporali Livello di ozono attribuito a fonti non antropogeniche AQG OMS 2021
	70	
	100	Soglia utilizzata per i confronti temporali
	110	
NO_2	10	AQG OMS 2021
	20	COM(2022) 542 final UE

3.3 Confronti temporali

I confronti temporali sono stati effettuati utilizzando i dati provenienti dalla centralina di Porta S. Felice di Bologna per la quale è presente una continuità di rilevazione dal 1999 per il PM_{10} , dal 2005 per il $\text{PM}_{2,5}$ e dal 2002 per l’ NO_2 , mentre per l’ O_3 sono stati utilizzati i dati della centralina dei Giardini Margherita di Bologna per la quale è presente una continuità di rilevazione dal 2000.

L’analisi dei trend temporali del rischio attribuibile di mortalità utilizza i nuovi RR (OMS 2021) anche per gli anni precedenti.

Tab.6: Centraline utilizzate per il confronto temporale

Stazione	Parametro	Anno di inizio rilevazione
Porta San Felice	PM_{10}	1999
Porta San Felice	$\text{PM}_{2,5}$	2005
Porta San Felice	NO_2 (Biossido di azoto)	2002
Giardini Margherita	O_3 (Ozono)	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* (APC). Il software utilizzato per l’analisi è Joinpoint (Joinpoint Regression Program, v.

4.9.1.0; Statistical Methodology and Applications Branch, Surveillance Research Program, National Cancer Institute).

Il valore di *p-value* utilizzato come soglia per la significatività statistica è di 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 es. diabete³⁵⁻³⁷, ipertensione³⁸, nascite pretermine e basso peso alla nascita³⁹⁻⁴¹, modifiche alla densità ossea⁴², disturbi neurologici compresa demenza⁴³⁻⁵³ e Parkinson, disturbi neuropsichiatrici come autismo⁵⁴⁻⁵⁵ e altri tumori⁵⁶⁻⁵⁷, 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 socioeconomico^{58,59} e nel calcolo dell'impatto a lungo termine vengono considerati gli anni di vita persi ma non l'attesa di vita corretta per disabilità (DALYs)⁸.

Le stime di impatto sono state calcolate utilizzando i RR pubblicati nella letteratura internazionale che non necessariamente sono quelle del territorio bolognese del 2022. Tali stime potrebbero anche differire per una diversa composizione chimica delle polveri, per diverse situazioni meteorologiche, per il tempo trascorso all'esterno delle abitazioni, per l'uso di condizionatori e per la diffusione di inquinanti all'interno della casa⁶⁰⁻⁶⁸.

La presente valutazione stima l'impatto per ogni singolo inquinante atmosferico e non considera gli effetti combinati delle esposizioni a più inquinanti in quanto mancano modelli volti a quantificare gli effetti delle esposizioni multiple sulla salute umana come riconosciuto anche dall'OMS. Le linee guida AQG2021 forniscono raccomandazioni per ogni inquinante preso singolarmente come elemento necessario per minimizzare il rischio dell'esposizione sulla salute.

4.VIS per la Città Metropolitana di Bologna

4.1 Popolazione, mortalità e ricoveri ospedalieri

La tabella 7 riporta i dati inerenti alla popolazione media della città Metropolitana di Bologna del 2022.

Tab.7: Residenti nella Città Metropolitana di Bologna nel 2022

Popolazione ²⁹	1/1/2022	1/1/2023	Media nel 2022
Tutte le età	1.019.730	1.018.731	1.019.231
Età ≥ 30 anni	752.303	752.126	752.215

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% (IC95%).

Tab.8: Mortalità per causa ed età: numero di decessi, tasso grezzo per 100.000 abitanti e intervallo di confidenza (IC95%)

Cause di mortalità (ICD-10)	Età	Numero	Tasso grezzo (IC95%)
Mortalità naturale (A00-R99, Uxx)	tutte le età	12.108	1.188,0 (1.167,0-1.209,2)
	≥30 anni	12.075	1.605,3 (1.577,0-1.633,9)
Mortalità per malattie cardiovascolari (I00-I99)	tutte le età	3.573	350,6 (339,2-362,2)
	≥30 anni	3.571	474,7 (459,3-490,5)
Mortalità per malattie respiratorie (J01-J99)	tutte le età	1.052	103,2 (97,1-109,6)
	≥30 anni	1.050	139,6 (131,3-148,3)
Mortalità per tumore trachea, bronchi e polmone (C33-C34, D02.1-D02.2, D38.1)	tutte le età	628	61,6 (56,9-66,6)
	≥30 anni	628	83,5 (77,1-90,3)

Tab.9: Ricoveri in regime ordinario per causa: numero di ricoveri, tasso grezzo per 100.000 abitanti e intervallo di confidenza (IC95%)

Cause di ricovero (ICD-9 CM)	Numero (tutte le età)	Tasso grezzo (IC95%)
Malattie cardiache (390-429)	9.478	929,9 (911,4-948,7)
Malattie cardiovascolari (390-459)	14.878	1.459,7 (1.436,5-1.483,2)
Malattie respiratorie (460-519)	11.672	1.145,2 (1.124,6-1.166,0)

4.2 Impatto a breve termine del **PM₁₀**

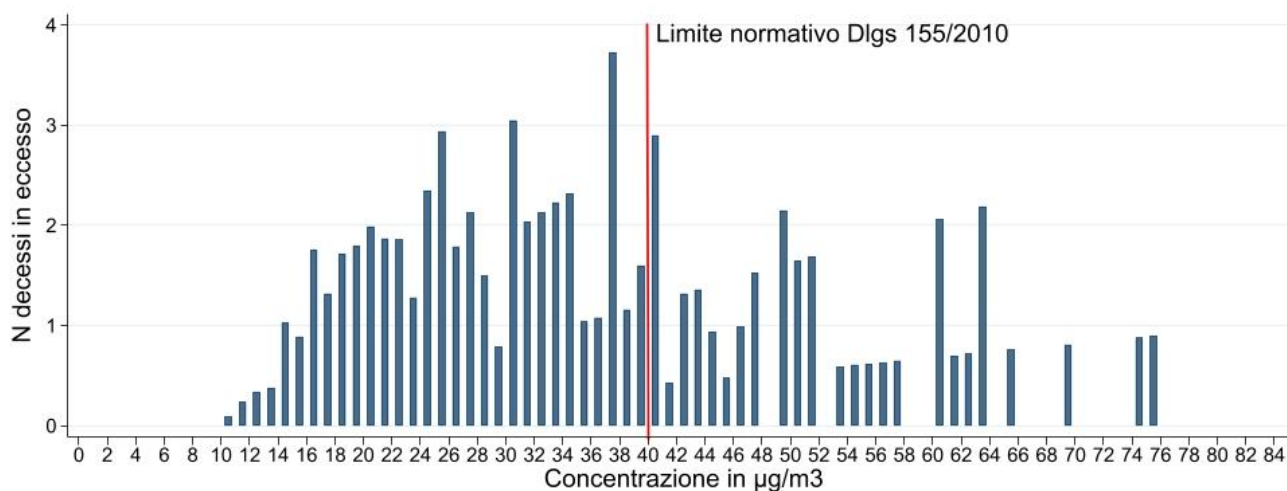
L'analisi dell'impatto a breve termine del PM₁₀ viene calcolato sulla mortalità per cause naturali. La tabella seguente riporta il numero dei decessi attribuibili al PM₁₀ in funzione della soglia definita convenzionalmente di "non effetto" ed i corrispondenti Rischi Attribuibili (RA) espressi in percentuale relativi alla popolazione esposta nel periodo considerato. Nel 2022 nella Città Metropolitana di Bologna, alla soglia di 10 µg/m³, il numero dei morti per cause naturali attribuibili al PM₁₀ è pari a 76 (IC95% 63-91), corrispondente ad un RA% dello 0,63%. Il rispetto del limite annuale di 15 µg/m³ proposto dalle nuove guide dell'OMS eviterebbe invece 55 decessi all'anno attribuibili al PM₁₀. Qualora la soglia rispettata fosse quella dei 20 µg/m³ come da direttiva europea (COM(2022) 542 final UE) le morti evitabili sarebbero pari a 38 eventi.

Tab.10: RA% e decessi attribuibili al PM₁₀ con relativi intervalli di confidenza (IC95%)

Città Metropolitana, 2022	Valore limite di PM ₁₀ (µg/m ³)		
	20	15	10
Mortalità Naturale			
N. decessi (IC95%)	38 (32-46)	55 (46-66)	76 (63-91)
RA% (IC95%)	0,32 (0,26-0,38)	0,45 (0,38-0,54)	0,63 (0,52-0,75)

La figura 2 mostra come sono distribuiti i 76 morti calcolati alla soglia di 10 µg/m³ in funzione delle concentrazioni giornaliere registrate nel 2022; il 63,8% dei decessi avviene a valori inferiori a 40 µg/m³ valore limite normativo attualmente vigente (D.Lgs. 155/2010)²⁷.

Fig.2: Decessi attribuibili per concentrazione di PM₁₀



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

Alla soglia di 10 µg/m³, il numero di morti attribuibili al PM_{2,5} è di 58, corrispondente all'0,48% di tutti i decessi per cause naturali. Se fosse rispettato il limite di 5 µg/m³ proposto dalle nuove linee guide dell'OMS si potrebbero evitare 89 decessi all'anno attribuibili al PM_{2,5}.

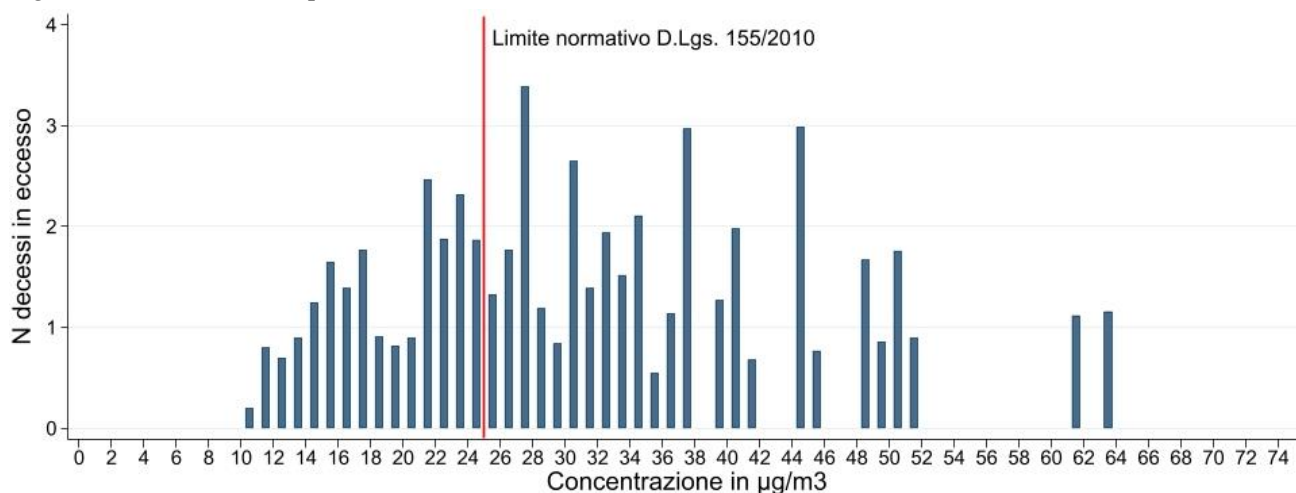
Il PM_{2,5} ha un impatto maggiore sui ricoveri per patologie respiratorie (162 ricoveri) rispetto a quelle cardiovascolari (99 ricoveri).

Tab.11: RA%, decessi e ricoveri attribuibili al PM_{2,5} con relativi intervalli di confidenza al 95% (IC95%)

Città Metropolitana, 2022	Valore limite di PM _{2,5} (µg/m ³)		
	20	10	5
Mortalità naturale			
N. decessi (IC95%)	25 (17-33)	58 (39-76)	89 (60-117)
RA% (IC95%)	0,20 (0,14-0,27)	0,48 (0,32-0,63)	0,73 (0,50-0,97)
Ricoveri per malattie cardiovascolari			
N. ricoveri (IC95%)	43 (8-78)	99 (19-181)	152 (29-277)
RA% (IC95%)	0,29 (0,05-0,52)	0,67 (0,12-1,22)	1,02 (0,19-1,86)
Ricoveri per malattie respiratorie			
N. ricoveri (IC95%)	70 (0-148)	162 (0-343)	248 (0-520)
RA% (IC95%)	0,60 (0-1,27)	1,39 (0-2,94)	2,13 (0-4,45)

La figura 3 mostra la distribuzione dei 58 decessi calcolati alla soglia di PM_{2,5} maggiore di 10 µg/m³ in funzione delle concentrazioni giornaliere registrate nel 2022; circa il 34,3% dei casi avviene a concentrazioni inferiori ai 25 µg/m³, l'attuale limite normativo (D.Lgs. 155/2010)²⁷.

Fig.3: Decessi attribuibili per concentrazione di PM_{2,5}



4.4 Impatto a breve termine dell'Ozono

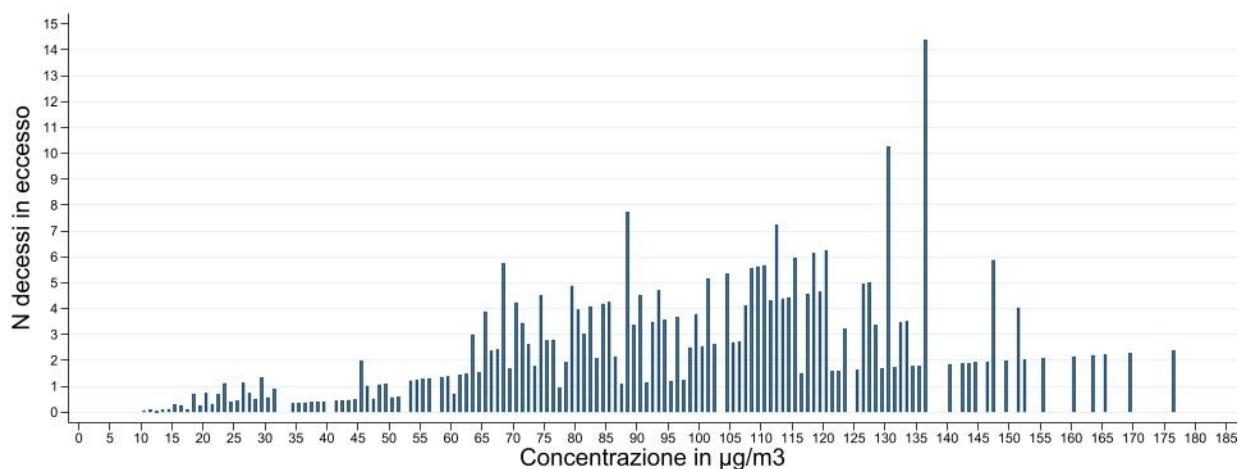
L'analisi della mortalità a breve termine dell'ozono alla soglia di 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ di ozono registra un RA% dello 0,89 per la mortalità naturale, dell'1,01 e dello 0,60 rispettivamente per malattie cardiovascolari e respiratorie. I ricoveri da attribuire all'ozono alla soglia di 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sono 106 per le patologie respiratorie e 174 per quelle cardiache, ossia lo 0,91% e l'1,84% di tutti i ricoveri per le stesse cause.

Tab.12: RA%, decessi e ricoveri attribuibili all'O₃ con relativi intervalli di confidenza (IC95%)

Città Metropolitana, 2022	Valore limite di ozono ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
	100	70	10
Mortalità Naturale			
N. decessi (IC95%)	39 (31-48)	108 (85-130)	338 (268-408)
RA% (IC95%)	0,32 (0,26-0,39)	0,89 (0,70-1,07)	2,79(2,21-3,37)
Mortalità per malattie cardiovascolari			
N. decessi (IC95%)	13 (4-23)	36 (10-63)	113 (30-195)
RA% (IC95%)	0,37 (0,10-0,64)	1,01 (0,27- 1,76)	3,18 (0,85- 5,46)
Mortalità per malattie respiratorie			
N. decessi (IC95%)	2 (0-6)	6 (0-15)	20 (0-47)
RA% (IC95%)	0,22 (0-0,53)	0,60 (0-1,45)	1,89 (0-4,51)
Ricoveri per malattie cardiache			
N. ricoveri (IC95%)	64 (36-91)	174 (98-249)	541 (307-765)
RA% (IC95%)	0,67 (0,38-0,96)	1,84 (1,03-2,62)	5,71 (3,24-8,07)
Ricoveri per malattie respiratorie			
N. ricoveri (IC95%)	39 (6-73)	106 (17-200)	333 (53-623)
RA% (IC95%)	0,33 (0,05-0,63)	0,91 (0,14-1,71)	2,85 (0,46-5,33)

La figura 4 mostra come sono distribuiti i 338 morti in eccesso alla soglia di O₃ maggiore di 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, si evidenzia un aumento dei decessi all'aumentare delle concentrazioni dell'inquinante.

Fig.4: Decessi attribuibili per concentrazione di Ozono



4.5 Impatto a breve termine del **Biossido d'Azoto**

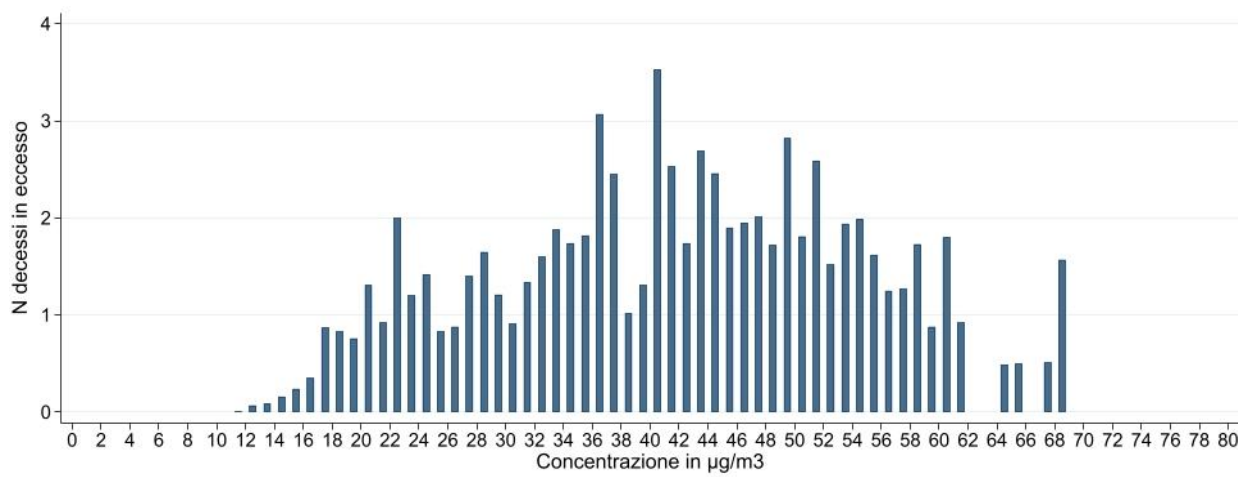
I decessi in eccesso registrati alla soglia di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sono 79 con un RA% pari a 0,65, mentre i ricoveri per patologie respiratorie sono 252 con un RA% di 2,16.

Tab.13: RA%, decessi e ricoveri attribuibili a NO_2 con relativi intervalli di confidenza (IC95%)

Città Metropolitana, 2022	Valore limite di NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
	20	10
Mortalità Naturale		
N. decessi (IC95%)	48 (29-68)	79 (47-111)
RA% (IC95%)	0,40 (0,24-0,56)	0,65 (0,39-0,92)
Ricoveri per malattie respiratorie		
N. ricoveri (IC95%)	109 (70-148)	252 (162-341)
RA% (IC95%)	0,93 (0,60-1,27)	2,16 (1,38-2,92)

Dalla figura 5 si può notare che i 79 morti stimati alla soglia di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sono distribuiti in un range di concentrazioni molto ampio.

Fig.5: Decessi attribuibili per concentrazione di NO_2



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 $\text{PM}_{2,5}$ nel 2022 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).

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

Tab.14: Anni di vita persi per esposizione al PM_{2,5}

Età (anni)	Speranza di vita (anni)	Anni di vita persi (IC 95%)	% impatto
0	84,26	0,40 (0,30-0,44)	0,47
5	79,40	0,39 (0,30-0,44)	0,49
10	74,44	0,39 (0,29-0,44)	0,52
20	64,50	0,39 (0,29-0,43)	0,60
30	54,55	0,38 (0,29-0,43)	0,70
50	35,01	0,37 (0,28-0,41)	1,06
65	21,30	0,33 (0,25-0,37)	1,55
80	9,78	0,23 (0,18-0,26)	2,35
100	1,92	0,08 (0,06-0,09)	4,17

Un bambino nato nel 2022 nella Città Metropolitana di Bologna ha, in base alla struttura della popolazione e al tasso di mortalità generale, una speranza di vita di poco più di 84 anni. Di questi 0,40 (IC 95% 0,30-0,44) anni (quasi 5 mesi) vengono persi a causa dell'esposizione a livelli di inquinamento da PM_{2,5} pari a quelli del 2022.

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: a 50 anni l'1,06% della speranza di vita viene perduta a causa dell'inquinamento e raggiunge il 2,35% a 80 anni.

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 nel lungo periodo è di 979 casi, comprensivo di circa 387 decessi per cause cardiovascolari e 104 per cause respiratorie. Valori che aumentano di quasi un 40% se l'impatto viene valutato con le recenti stime proposte dallo studio europeo ELAPSE.

Tab.15: RA% e decessi attribuibili al PM_{2,5} con relativi intervalli di confidenza al 95% (IC95%)

Città Metropolitana, 2022	Valore limite di PM _{2,5} (µg/m ³)	
	10	5
Mortalità naturale RR OMS		
N. decessi (IC95%)	544 (414-608)	979 (749-1091)
RA% (IC95%)	4,5 (3,43-5,03)	8,11 (6,20-9,04)
Mortalità naturale con RR di ELAPSE		
N. decessi (IC95%)	780 (414-1.134)	1393 (749-1.999)
RA% (IC95%)	6,46 (3,43-9,39)	11,54 (6,20-16,55)
Mortalità per malattie cardiovascolari		
N. decessi (IC95%)	216 (180-269)	387 (323-479)
RA% (IC95%)	6,06 (5,03-7,54)	10,83 (9,03-13,41)
Mortalità per malattie respiratorie		
N. decessi (IC95%)	58 (18-99)	104 (34-175)
RA% (IC95%)	5,55 (1,75-9,43)	9,94 (3,20-16,63)
Mortalità per tumore trachea, bronchi e polmone		
N. decessi (IC95%)	37 (22-48)	66 (41-85)
RA% (IC95%)	6,56 (3,97-8,50)	11,71 (7,16-15,05)

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 µg/m³ e di 10 µg/m³. Se si riuscisse a raggiungere il livello di 10 µg/m³ della concentrazione media annua di NO₂, il numero di decessi per cause naturali che si potrebbero evitare nel lungo periodo è stimato in 285 eventi, valore che aumenta più di un 50% se l'impatto viene valutato con le recenti stime proposte dallo studio europeo ELAPSE.

Tab.16: RA% e decessi attribuibili a NO₂ con relativi intervalli di confidenza (IC95%)

Città Metropolitana, 2022	Valore limite di NO ₂ (µg/m ³)	
	20	10
Mortalità naturale RR OMS		
N. decessi (IC95%)	49 (25-97)	285 (144-557)
RA% (IC95%)	0,41 (0,20-0,80)	2,36 (1,19-4,62)
Mortalità naturale con RR ELAPSE		
N. decessi (IC95%)	108 (63-155)	624 (368-882)
RA% (IC95%)	0,90 (0,52-1,28)	5,17 (3,05-7,31)

5. VIS per il Comune di Bologna

5.1 Popolazione, mortalità e ricoveri

La tabella 17 riporta i dati relativi alla popolazione del comune di Bologna nel 2022.

Tab.17: Residenti nel Comune di Bologna nel 2022

Popolazione ²⁹	Al 1/1/2022	Al 1/1/2023	Media nel 2022
Tutte le età	392.690	390.554	391.622
Età ≥ 30 anni	292.381	291.045	291.713

Nelle tabelle 18 e 19 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% (IC95%).

Tab.18: Mortalità per causa ed età: numero di decessi, tasso grezzo x100.000 e intervallo di confidenza (IC95%)

Cause di mortalità (ICD-10)	Età	Numero	Tasso grezzo (IC95%)
Mortalità naturale (A00-R99, Uxx)	tutte le età	4.713	1.203,5 (1.169,5-1.238,1)
	≥30 anni	4.700	1.611,2 (1.565,8-1.657,5)
Mortalità per malattie cardiovascolari (I00-I99)	tutte le età	1.416	361,6 (343,0-380,9)
	≥30 anni	1.415	485,1 (460,2-510,9)
Mortalità per malattie respiratorie (J01-J99)	tutte le età	390	99,6 (90,0-110,0)
	≥30 anni	389	133,4 (120,4-147,3)
Mortalità per tumore trachea, bronchi e polmone (C33-C34, D02.1-D02.2, D38.1)	tutte le età	243	62,0 (54,5-70,4)
	≥30 anni	243	83,3 (73,2-94,5)

Tab.19: Ricoveri in regime ordinario per causa: numero di ricoveri, tasso grezzo x100.000 e intervallo di confidenza (IC95%)

Cause di ricovero (ICD-9 CM)	Numero (tutte le età)	Tasso grezzo (IC95%)
Malattie cardiache (390-429)	3.588	916,2 (886,6-946,5)
Malattie cardiovascolari (390-459)	5.646	1.441,7 (1.404,6-1.479,5)
Malattie respiratorie (460-519)	4.348	1.110,3 (1.077,7-1.143,6)

5.2 Impatto a breve termine del PM₁₀

Nel 2022 nella Città di Bologna, alla soglia di 10 µg/m³, il numero dei morti per cause naturali attribuibili al PM₁₀ è pari a 29 (IC95% 24-35), corrispondente ad un RA% dello 0,63%. Se fosse rispettato il limite di 15 µg/m³ proposto dalle nuove guide dell'OMS si potrebbero evitare 21 (IC95% 18-26) decessi all'anno attribuibili al PM₁₀.

Tab.20: RA% e decessi attribuibili al PM₁₀ con relativi intervalli di confidenza (IC95%)

Comune di Bologna, 2022	Valore limite di PM ₁₀ (µg/m ³)		
	20	15	10
Mortalità naturale			
N. decessi (IC95%)	15 (12-18)	21 (18-26)	29 (24-35)
RA% (IC95%)	0,32 (0,26-0,38)	0,45 (0,38-0,54)	0,63 (0,52-0,75)

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 µg/m³ è di 22 (IC95% 15-29). Alla stessa soglia, i ricoveri attribuibili al PM_{2,5} sono l'1,36% dei ricoveri per cause respiratorie e lo 0,65% per cause cardiovascolari.

Tab.21: RA%, decessi e ricoveri attribuibili al PM_{2,5} con relativi intervalli di confidenza (IC95%)

Comune di Bologna, 2022	Valore limite di PM _{2,5} (µg/m ³)		
	20	10	5
Mortalità naturale			
N. decessi (IC95%)	10 (7-13)	22 (15-29)	34 (23-45)
RA% (IC95%)	0,21 (0,14-0,27)	0,47 (0,32-0,62)	0,72 (0,49-0,95)
Ricoveri per malattie respiratorie			
N. ricoveri (IC95%)	26 (0-56)	59 (0-125)	91 (0-190)
RA% (IC95%)	0,61 (0-1,29)	1,36 (0-2,87)	2,08 (0-4,36)
Ricoveri per malattie cardiovascolari			
N. ricoveri (IC95%)	16 (3-30)	37 (7-67)	57 (11-103)
RA% (IC95%)	0,29 (0,05-0,53)	0,65 (0,12-1,19)	1 (0,19-1,82)

5.4 Impatto a breve termine dell'Ozono

Alla soglia di 70 µg/m³, nel Comune di Bologna, sono attribuibili all'esposizione all'ozono 39 morti (IC95% 31-48), ossia lo 0,83% della mortalità. Per quanto riguarda l'impatto sui ricoveri alla stessa

soglia di 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ le stime dei RA% raggiungono l'1,73% per le malattie cardiache e lo 0,85% per quelle respiratorie.

Tab.22: RA%, decessi e ricoveri attribuibili all'Ozono con relativi intervalli di confidenza (IC95%)

Comune di Bologna, 2022	Valore limite di ozono ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
	100	70	10
Mortalità Naturale			
N. decessi (IC95%)	15 (12-18)	39 (31-48)	125 (99-151)
RA% (IC95%)	0,32 (0,25-0,38)	0,83 (0,66-1,01)	2,66 (2,11-3,21)
Mortalità per malattie cardiovascolari			
N. decessi (IC95%)	5 (1-9)	13 (4-23)	43 (11-74)
RA% (IC95%)	0,36 (0,10-0,63)	0,95 (0,25-1,65)	3,03 (0,81-5,21)
Mortalità per malattie respiratorie			
N. decessi (IC95%)	1 (0-2)	2 (0-5)	7 (0-17)
RA% (IC95%)	0,21 (0-0,51)	0,56 (0-1,36)	1,80 (0-4,30)
Ricoveri per malattie cardiache			
N. ricoveri (IC95%)	24 (13-34)	62 (35-89)	196 (111-277)
RA% (IC95%)	0,66 (0,37-0,94)	1,73 (0,97-2,47)	5,45 (3,09-7,71)
Ricoveri per malattie respiratorie			
N. ricoveri (IC95%)	14 (2-27)	37 (6-70)	118 (19-221)
RA% (IC95%)	0,32 (0,05-0,61)	0,85 (0,14-1,61)	2,72 (0,44-5,09)

5.5 Impatto a breve termine del **Biossido d'Azoto**

I decessi attribuibili a NO_2 alla soglia di 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per cause naturali sono 37, mentre i ricoveri per malattie respiratorie sono 112.

Tab.23: RA%, decessi e ricoveri attribuibili a NO_2 con relativi intervalli di confidenza (IC95%)

Comune di Bologna, 2022	Valore limite di NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
	20	10
Mortalità naturale		
N. decessi (IC95%)	24 (14-34)	37 (22-51)
RA% (IC95%)	0,52 (0,31-0,73)	0,78 (0,46-1,10)
Ricoveri per malattie respiratorie		
N. ricoveri (IC95%)	55 (35-75)	112 (72-152)
RA% (IC95%)	1,26 (0,81-1,72)	2,58 (1,66-3,50)

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 $\text{PM}_{2,5}$ e la percentuale d'impatto degli anni di vita persi sulla speranza di vita, considerando la soglia di "non effetto" pari a 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Tabella 24).

Tab.24: Anni di vita persi attribuibili al $\text{PM}_{2,5}$

Età (anni)	Speranza di vita (anni)	Anni di vita persi (IC95 %)	% impatto
0	84,69	0,37 (0,28-0,42)	0,44
5	79,87	0,37 (0,28-0,41)	0,46
10	74,89	0,37 (0,28-0,41)	0,49
20	64,96	0,36 (0,28-0,41)	0,55
30	55,01	0,36 (0,27-0,41)	0,65
50	35,45	0,35 (0,26-0,39)	0,99
65	21,68	0,31 (0,23-0,35)	1,43
80	10,00	0,22 (0,17-0,25)	2,20
100	1,99	0,08 (0,06-0,09)	4,02

Si desume che un bambino nato nel 2022 nel Comune di Bologna ha una speranza di vita di poco più di 84 anni. Di questi 0,37 anni (IC95% 0,28-0,42), quasi 4 mesi e mezzo, vengono persi a causa dei livelli di inquinamento da PM_{2,5} del 2022.

Nella seguente tabella vengono riportati il numero di decessi nella popolazione con più di 30 anni di età attribuibili agli effetti a lungo termine del PM_{2,5} nel Comune di Bologna.

Tab.25: RA% e decessi attribuibili al PM_{2,5} con relativi intervalli di confidenza (IC 95%)

Comune di Bologna, 2022	Valore limite di PM _{2,5} (µg/m ³)	
	10	5
Mortalità naturale con RR OMS		
N. decessi (IC95%)	201 (153-224)	371 (283-413)
RA% (IC95%)	4,27 (3,25-4,77)	7,88 (6,03 -8,79)
Mortalità naturale con RR di ELAPSE		
N. decessi (IC95%)	288 (153-419)	527 (283-757)
RA% (IC95%)	6,13(3,25-8,91)	11,22 (6,03-16,11)
Mortalità per malattie cardiovascolari		
N. decessi (IC95%)	81 (67-101)	149 (124-185)
RA% (IC95%)	5,74 (4,77-7,16)	10,53 (8,78-13,04)
Mortalità per malattie respiratorie		
N. decessi (IC95%)	20 (6-35)	38 (12-63)
RA% (IC95%)	5,26 (1,66-8,95)	9,67 (3,10-16,18)
Mortalità per tumore a trachea, bronchi e polmone		
N. decessi (IC95%)	13 (8-17)	24 (15-31)
RA% (IC95%)	6,22 (3,76-8,07)	11,39 (6,96-14,64)

5.7 Impatto a lungo termine del Biossido di azoto

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

Tab.26: RA% e decessi attribuibili all'NO₂ con relativi intervalli di confidenza (IC95%)

Comune di Bologna, 2022	Valore limite di NO ₂ (µg/m ³)	
	20	10
Mortalità naturale con RR OMS		
N. decessi (IC95%)	41 (21-81)	132 (67-259)
RA% (IC95%)	0,88 (0,44-1,73)	2,82 (1,43-5,51)
Mortalità naturale con RR di ELAPSE		
N. decessi (IC95%)	91 (53-130)	289 (171-409)
RA% (IC95%)	1,94 (1,13- 2,76)	6,16 (3,64-8,69)

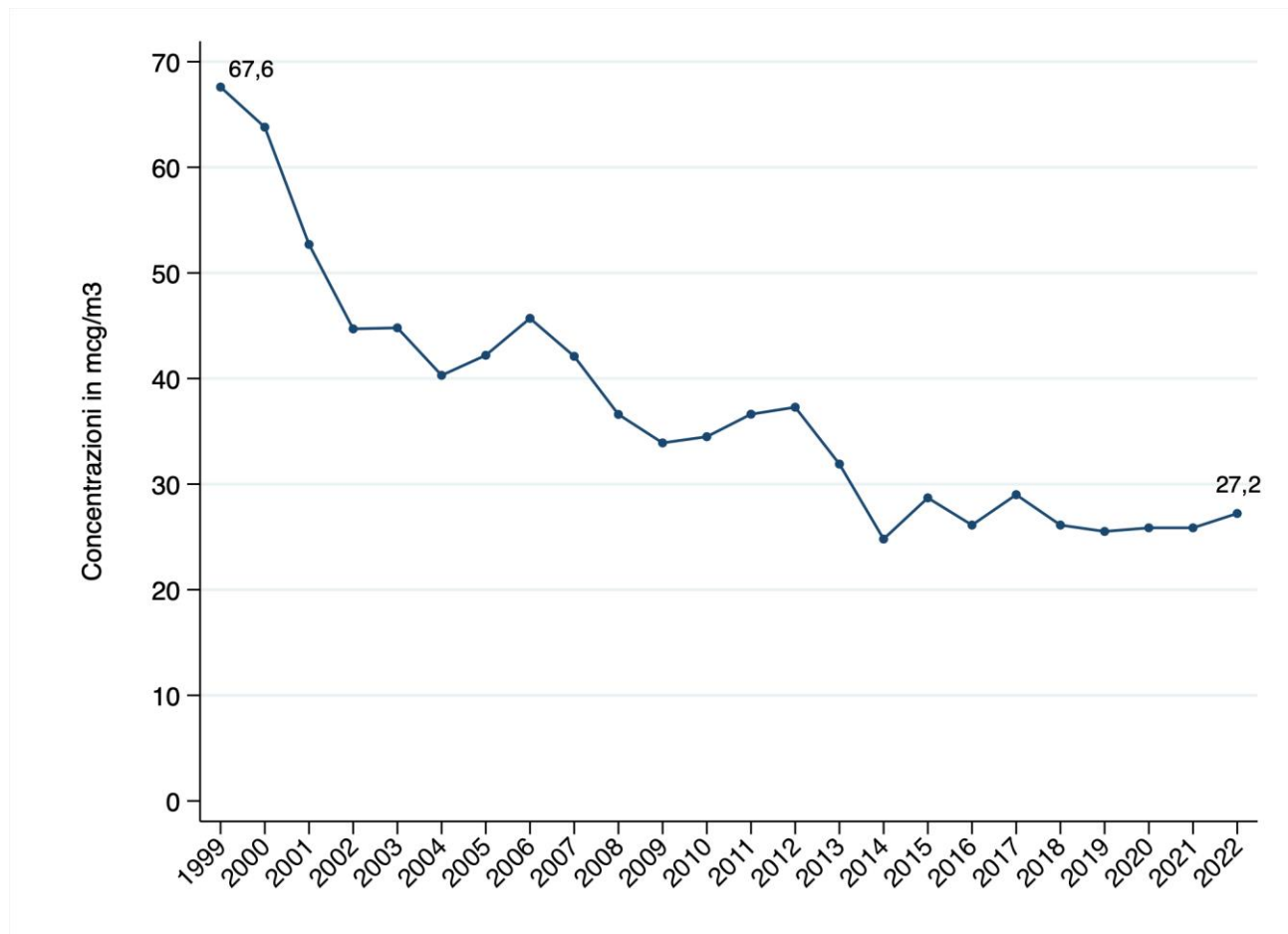
6. Confronto temporale

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 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 1999-2022 le concentrazioni di PM₁₀ della centralina di Porta San Felice presentano una variazione annua percentuale (Annual Percentage Change) della concentrazione nel periodo 1999-2022 pari a -4,6; il trend dei valori in diminuzione risulta statisticamente significativo. Negli ultimi 10 anni, si riscontra una significativa riduzione delle concentrazioni medie annue del PM₁₀ solo nel periodo 2011-2014, successivamente l'andamento rimane stazionario con valori che oscillano intorno ai 26 µg/m³ (periodo 2014-2022).

Fig.6: Concentrazioni medie annuali di PM₁₀ della centralina di Porta San Felice, anni 1999-2022

In parallelo, come si vede dai grafici riportati in fig.7 e 8, è aumentata la percentuale di giornate con valori di concentrazione più bassi rispetto ai primi anni duemila. Complessivamente nel 2022 il numero di giornate con valori di PM₁₀ inferiori a 50 µg/m³ (valore limite giornaliero D.Lgs. 155/2010) è pari a circa 91%; nel 2000 queste costituivano il 50% delle giornate.

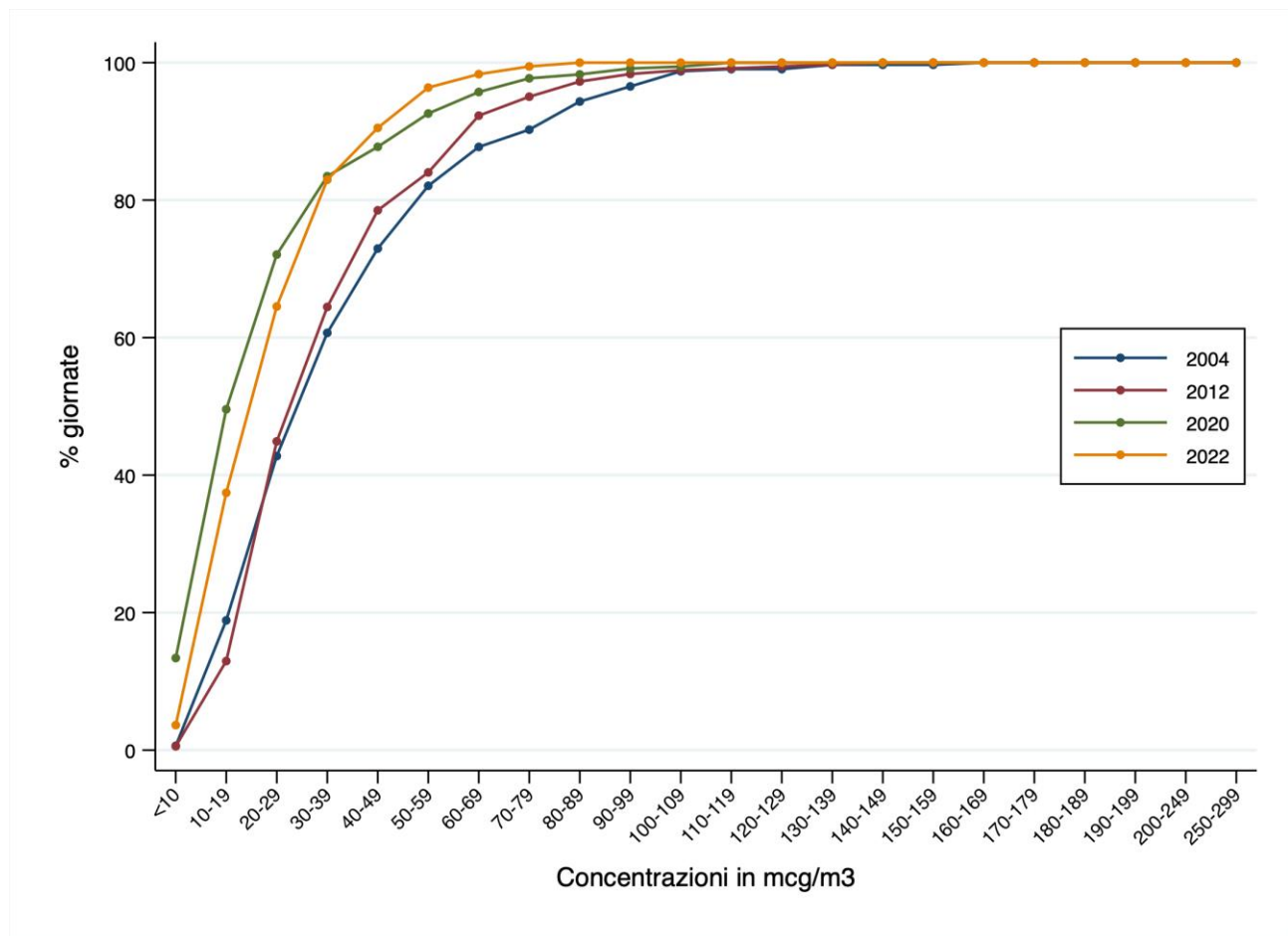
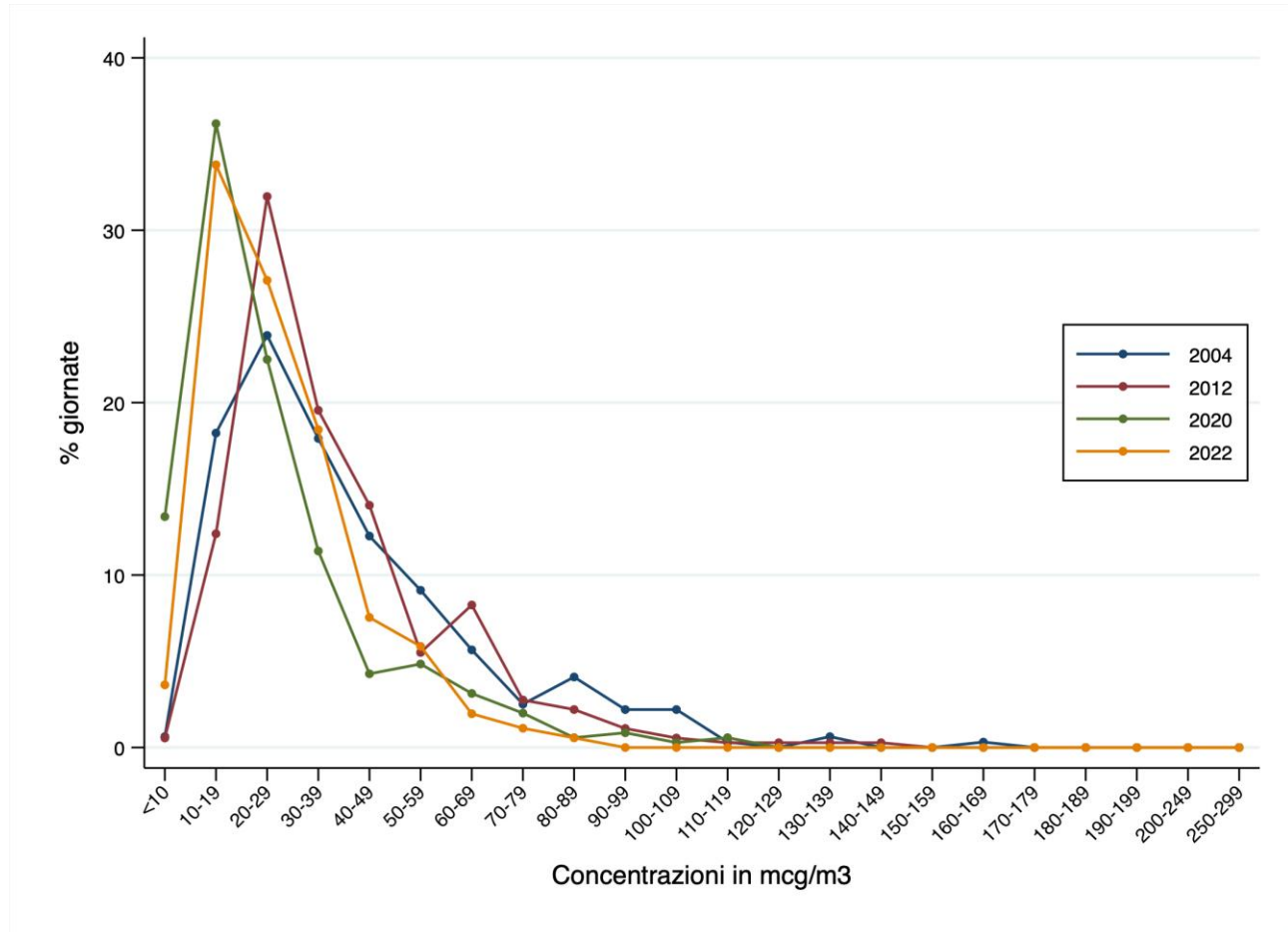
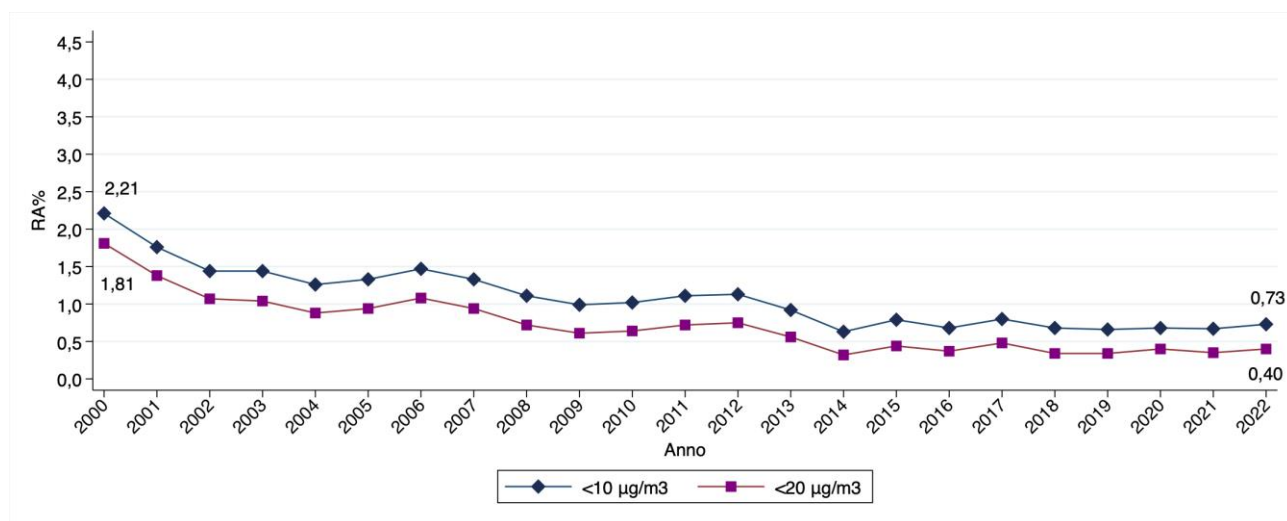
Fig.7: Frequenza cumulativa di concentrazione di PM₁₀ (centralina di Porta San Felice), 2004-2022

Fig.8: Frequenza giornaliera di concentrazione di PM₁₀ (centralina di Porta San Felice), 2004-2022

Per quanto riguarda la mortalità a breve termine attribuibile all'esposizione al PM₁₀, dal 2000 si è osservato un decremento del RA%; la riduzione riguarda soprattutto il primo periodo, mentre negli ultimi nove anni i valori rimangono stazionari con lievi oscillazioni inter-annuali.

Il calcolo della mortalità attribuibile all'esposizione a breve termine al PM₁₀ ha registrato nel 2022 un lieve incremento (RA%=0,40% alla soglia di 20 µg/m³, RA%=0,73 alla soglia di 10 µg/m³) verosimilmente dovuto all'aumento della concentrazione dell'inquinante considerato, che è passata da 25,86 µg/m³ nel 2021 a 27,22 µg/m³ nel 2022 presso la centralina di Porta San Felice.

Fig.9: Mortalità naturale attribuibile al PM₁₀ della centralina di Porta San Felice, per concentrazioni, anni 2000-2022

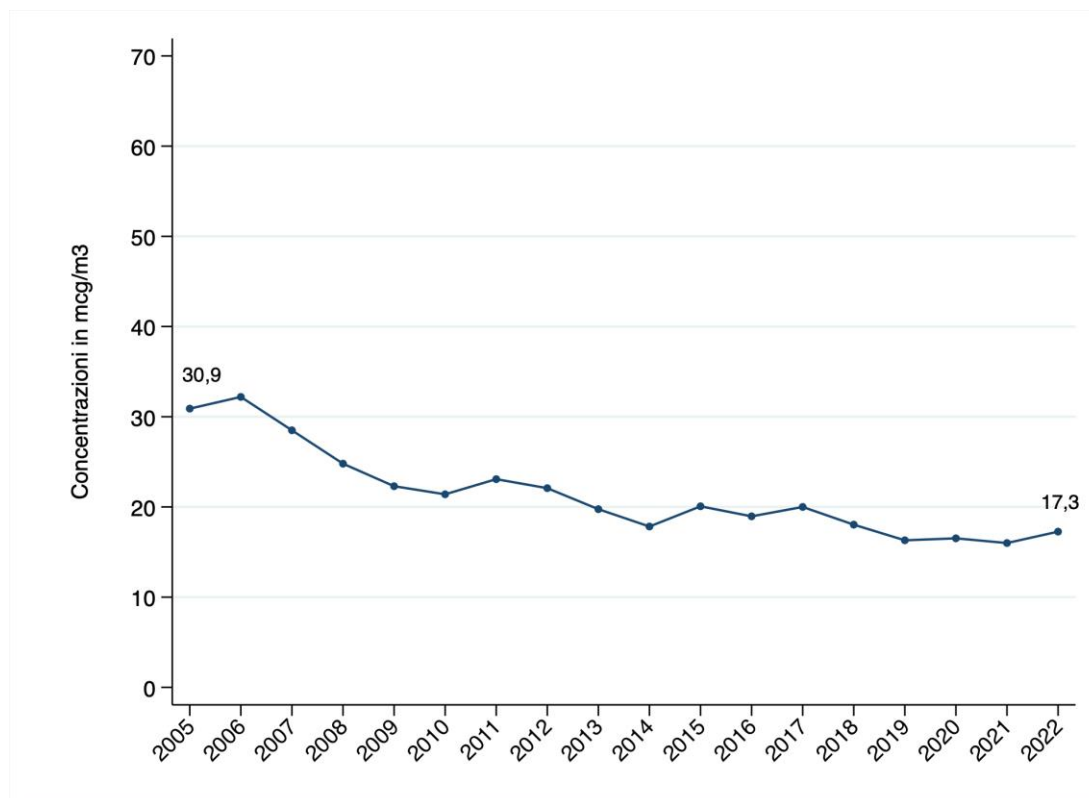


6.2 PM_{2,5}

Nel periodo 2005-2022 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 relativo al periodo 2005-2022 risulta pari a -4,1; pertanto, si osserva una riduzione significativa della concentrazione di PM_{2,5} di circa il 4% ogni anno.

Tuttavia, considerando il periodo 2020-2022 l'andamento risulta stazionario su livelli intorno ai 17 µg/m³.

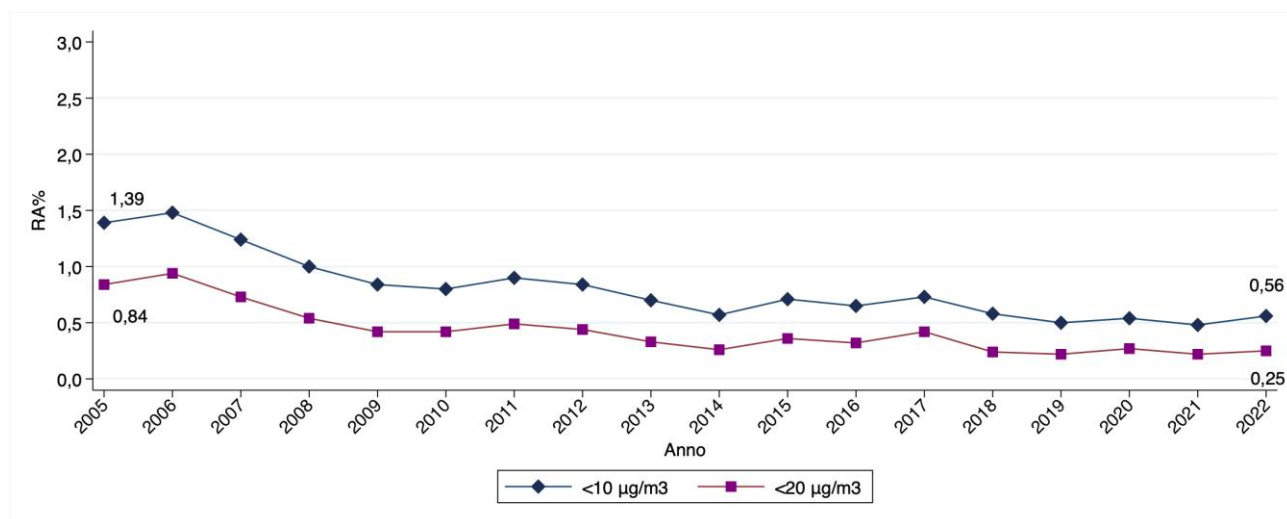
Fig.10: Concentrazioni medie annuali di PM_{2,5} della centralina di Porta San Felice, anni 2005-2022



La mortalità attribuibile al PM_{2.5} segue conseguentemente un andamento simile a quello delle concentrazioni.

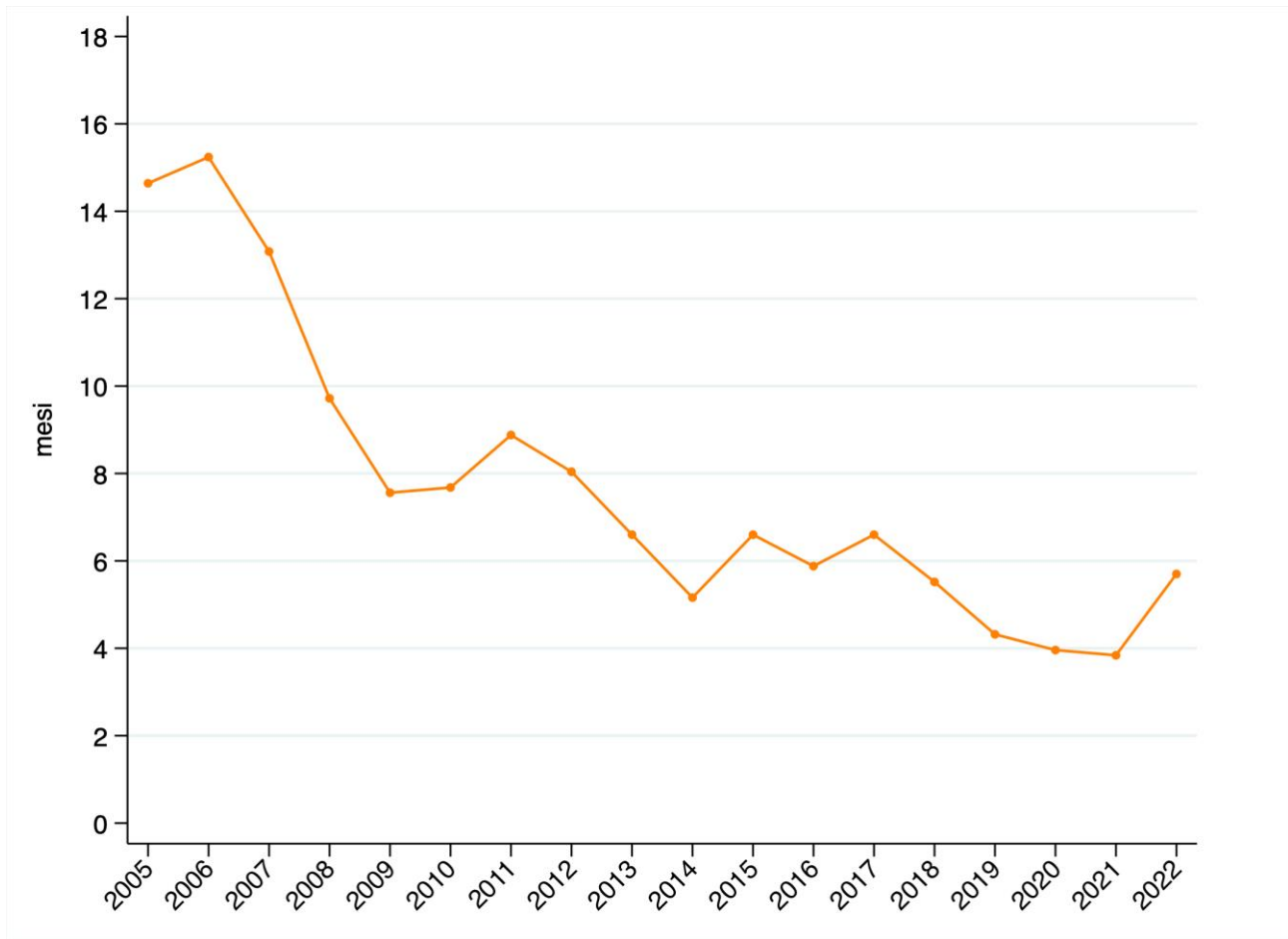
Il calcolo della mortalità attribuibile all'esposizione a breve termine al PM_{2.5} ha registrato un lieve incremento nel 2022 in linea con il leggero aumento della concentrazione dell'inquinante considerato.

Fig.11: Mortalità naturale attribuibile al PM_{2.5} della centralina di Porta San Felice per concentrazioni anni 2005-2022



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 5,8 mesi nel 2022. Tuttavia, si nota un aumento del numero di mesi di vita persi nell'anno 2022 rispetto all'anno precedente, dovuto verosimilmente in parte all'aumento della concentrazione dell'inquinante nell'anno 2022.

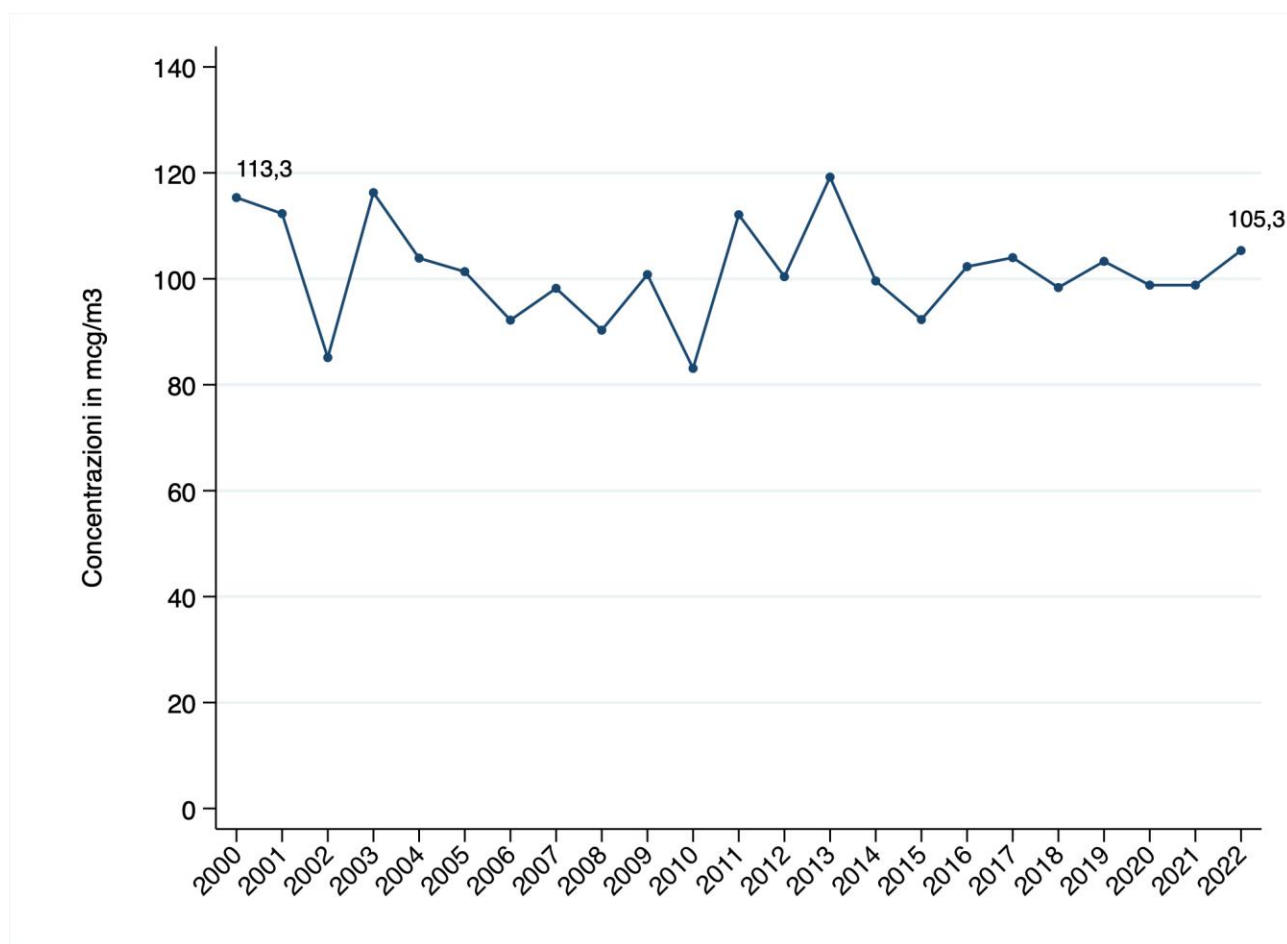
Fig.12: Mesi di vita persi attribuibili all'esposizione al PM_{2.5} della centralina di Porta San Felice, anni 2005-2022



6.3 O₃

Dal confronto delle concentrazioni dell'ozono nel periodo 2000-2022 rilevate presso la centralina dei Giardini Margherita non emerge alcun trend in diminuzione o in aumento, né esaminando i dati annuali delle massime delle medie delle 8h, né limitando l'analisi ai soli dati estivi (Fig. 13).

Fig.13: Concentrazioni massime delle medie mobili su 8 ore (mesi estivi) di O₃ della centralina dei Giardini Margherita, anni 2000-2022.

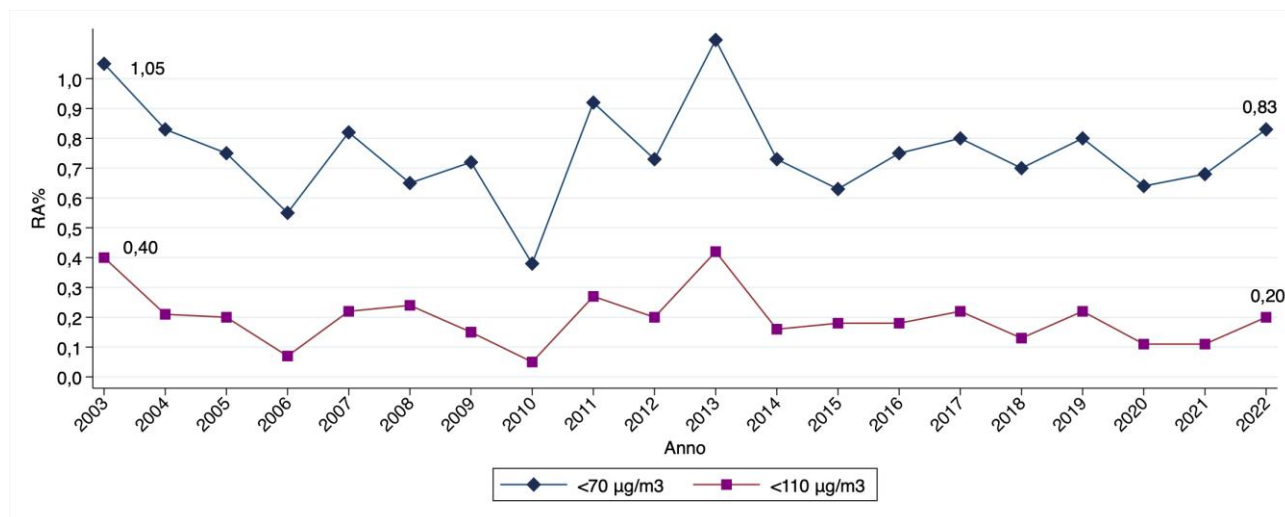


Relativamente ai valori dei periodi estivi (aprile-settembre) delle concentrazioni di ozono, il valore di APC risulta pari a $-0,1$ ($p=0,663$); pertanto, non si evidenziano variazioni annue percentuali significative considerando il periodo 2000-2022.

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

Nel 2022 si evidenzia un incremento del RA% rispetto a quello dell'anno precedente verosimilmente dovuto all'aumento delle concentrazioni dell'inquinante.

Fig.14: Mortalità naturale attribuibile all'O₃ per concentrazioni della centralina dei Giardini Margherita, anni 2003-2022



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 dove si osservano solo variazioni interannuali senza un chiaro trend in aumento o in diminuzione e a partire dal 2015 una tendenza alla riduzione della concentrazione media annuale, pur con episodi di occasionali incrementi. Il valore di APC risulta pari a -1,2 (p=0,457); pertanto, non risultano variazioni annue percentuali significative relativamente al periodo 2002-2022.

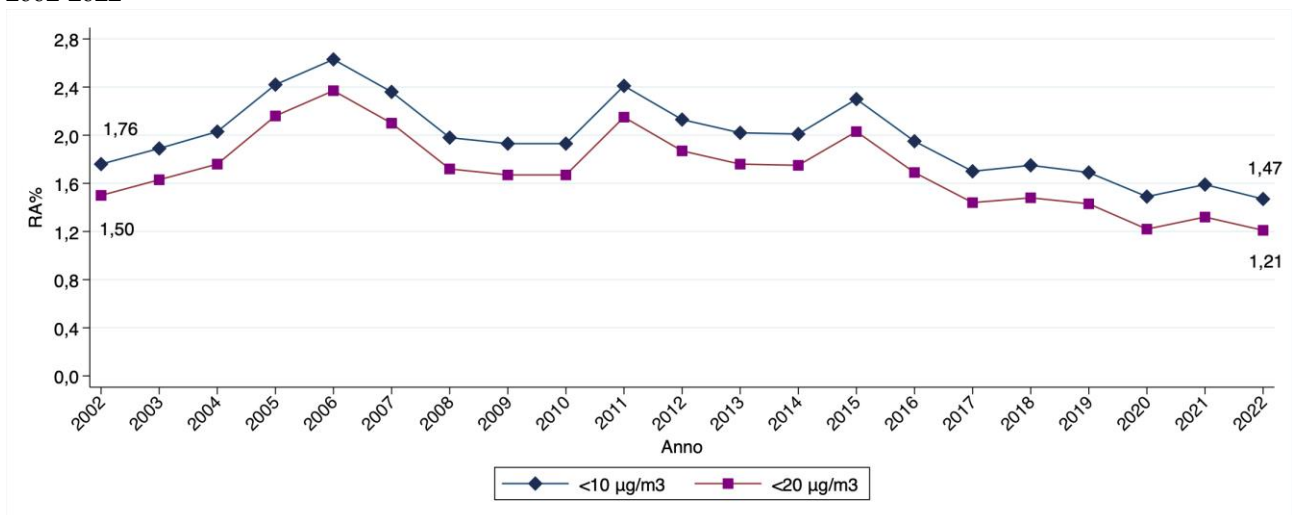
Il valore più basso della serie storica è stato raggiunto nel 2020 anno della pandemia caratterizzato da un lungo *lockdown*. Nel 2022 la media dei valori annuali registra una diminuzione di ben 4 µg/m³ rispetto alla media dell'anno precedente.

Fig.15: Concentrazioni medie annuali di NO₂ della centralina di Porta San Felice, anni 2002-2022



Analogo andamento ha anche l’impatto sanitario del biossido di azoto sulla mortalità naturale riportato in fig.16.

Fig.16: Mortalità naturale attribuibile a NO₂ della centralina di Porta San Felice per concentrazioni, anni 2002-2022



6.5 PM_{10} , $PM_{2,5}$, O_3 , NO_2

L'andamento temporale delle concentrazioni medie annuali e dell'impatto sanitario varia a seconda dell'inquinante. Si registra per tutti gli inquinanti un trend sostanzialmente stabile negli ultimi 4/5 anni (fig.17); questa tendenza si riflette sull'andamento dell'impatto sanitario come evidenziato nella fig.18.

Dal grafico si evince come sia l' NO_2 l'inquinante che ha il maggior impatto sulla salute presentando un RA% di mortalità naturale maggiore dell'1% in tutta la serie storica considerata.

Limitando il confronto agli ultimi due anni, si nota un aumento del RA% per l'ozono ed una diminuzione per il biossido di azoto in accordo con le variazioni delle loro stesse concentrazioni.

Per quanto riguarda il particolato, si osserva un leggero incremento dell'impatto sanitario dovuto al lieve aumento delle concentrazioni rispetto a quelle dell'anno precedente.

Fig.17: Concentrazioni annue degli inquinanti, anni 1999-2022

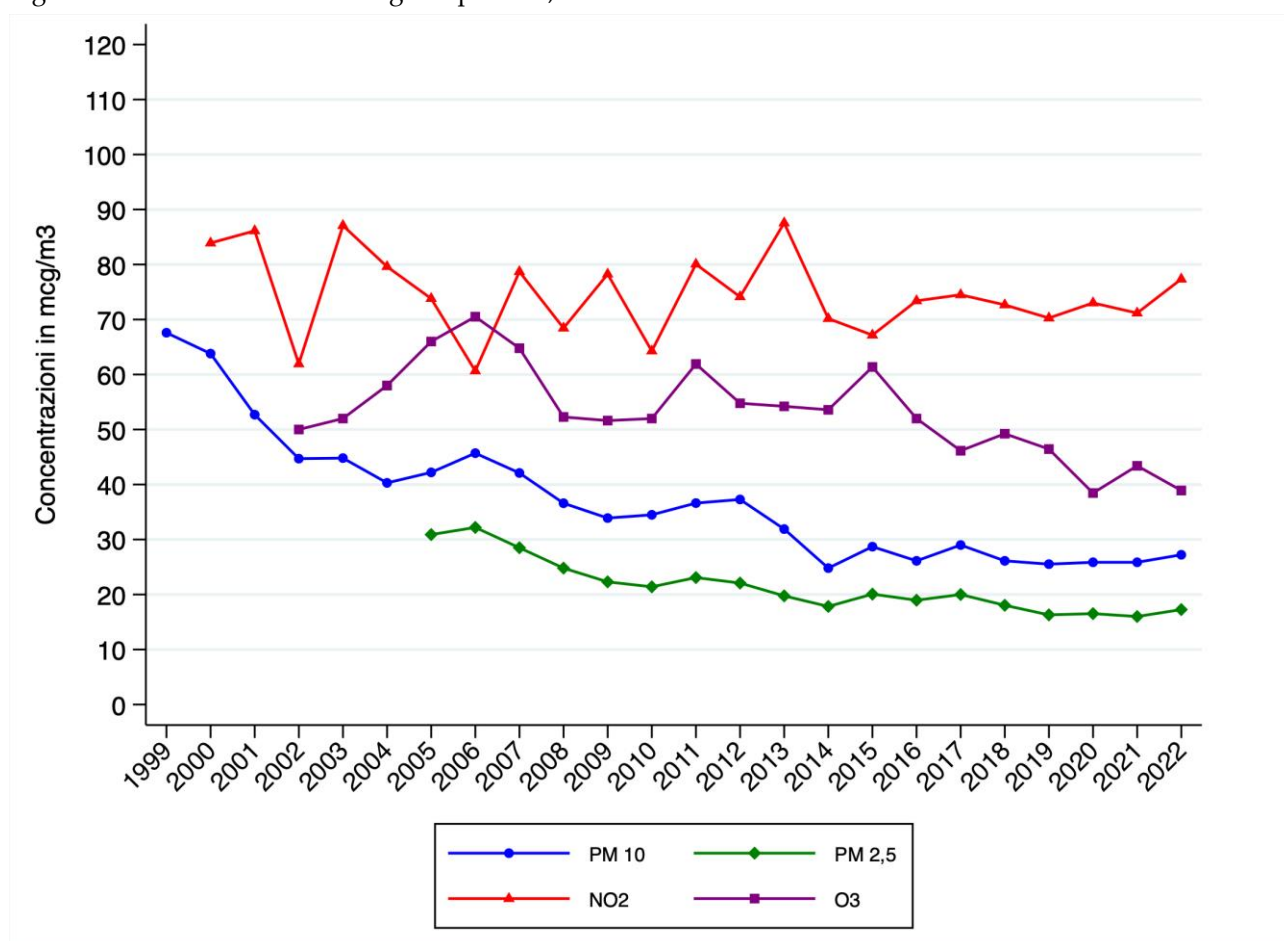
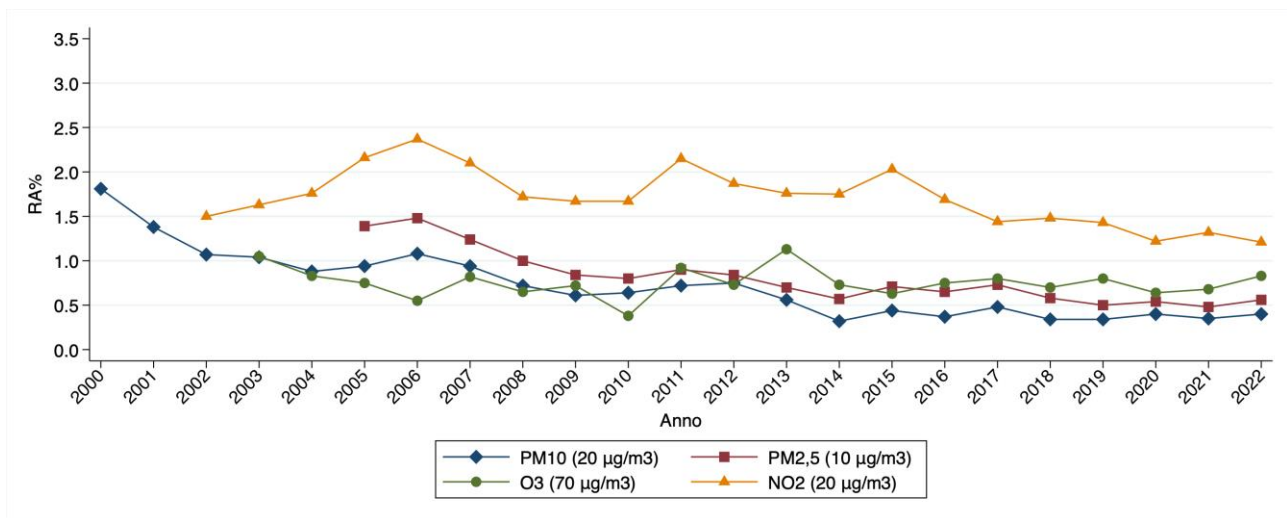


Fig.18: Rischi attribuibili di mortalità naturale per inquinante e per le soglie di non effetto, anni 2000-2022



Considerazioni

L'analisi dei dati ambientali riportata da ARPAE nel suo rapporto sulla provincia di Bologna²⁶ evidenzia che:

- il 2022 è stato caratterizzato da condizioni meteorologiche che hanno influenzato fortemente l'accumulo e la dispersione degli inquinanti in atmosfera nonché la formazione dei cosiddetti inquinanti secondari; il numero di giorni meteorologicamente favorevoli all'accumulo di PM₁₀ e quello di giorni critici per la formazione di ozono troposferico sono stati entrambi superiori agli analoghi dati del recente passato.
- Relativamente alla qualità dell'aria, il risultato più significativo del 2022 nella provincia di Bologna è rappresentato dal rispetto del limite annuale per il biossido di azoto (40 µg/m³), su tutte le stazioni della rete, compresa quella urbana da traffico che, storicamente, (con l'eccezione dell'anno "pandemico" 2020) ha sempre presentato valori oltre tale limite. Il valore limite sulla media oraria di 200 µg/m³, da non superare per più di 18 ore nel corso di un anno, risulta rispettato in tutte le stazioni, così come, conseguentemente, la soglia di allarme di 400 µg/m³. Ciò conferma che, ormai, eventuali episodi di inquinamento acuto legati a concentrazioni orarie elevate di NO₂ non rappresentano più un elemento di criticità, in linea con quanto riscontrato nel 2021.
- Con riferimento al particolato PM₁₀, nel 2022 si è registrato un incremento delle concentrazioni medie annuali su tutte le stazioni della rete regionale di monitoraggio presenti nel territorio bolognese, pur non portando, in nessun caso, al superamento del valore limite annuale di 40 µg/m³. Il numero annuale massimo di 35 giorni di superamento del valore limite giornaliero di 50 µg/m³ nell'anno 2022, consentiti dalla normativa, non è stato superato in nessuna delle centraline.
- Le concentrazioni medie annue del PM_{2,5} risultano, nel 2022, significativamente inferiori rispetto al valore limite di 25 µg/m³ ed anche al valore limite indicativo di 20 µg/m³ (che sarebbe dovuto entrare in vigore dal 1° gennaio 2020) per tutte le postazioni presenti sul territorio metropolitano.
- Per quanto concerne l'ozono, nell'anno in esame non si sono verificati superamenti della soglia di allarme di 240 µg/m³ (misurato come media oraria); il numero di superamenti della soglia di informazione fissata a 180 µg/m³, nel corso del 2022, è risultato in aumento rispetto agli anni precedenti, in particolare nell'agglomerato urbano di Bologna, con un numero pari a 12 (7 rilevati dalla stazione di Giardini Margherita e 5 da quella in Via Chiarini).

In generale i valori della concentrazione media annuale degli inquinanti considerati confermano comunque i livelli dell'ultimo quadriennio, con piccole variazioni al rialzo per il particolato e l'ozono. Di riflesso, anche l'impatto sanitario presentato in questo rapporto segue un andamento sostanzialmente simile con una lieve tendenza al rialzo per gli stessi inquinanti. Considerando una serie storica più lunga (2000-2022), si osserva, comunque, un trend in diminuzione dell'impatto sanitario delle polveri e, in misura minore, del biossido di azoto e la sostanziale stabilità dell'andamento dell'impatto sanitario legato all'ozono (O₃), pur con oscillazioni interannuali.

L'impatto sanitario stimato in questa valutazione rileva che nella Città Metropolitana di Bologna nel 2022, la frazione di mortalità per cause naturali attribuibile all'esposizione a breve termine è dello 0,65% (soglia 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) per il biossido di azoto, dello 0,63% (soglia 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) per il PM_{10} e dello 0,89% per l' O_3 (soglia 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$); all'esposizione al $\text{PM}_{2,5}$ a lungo termine è attribuibile una riduzione della speranza di vita alla nascita di quasi 5 mesi. Gli impatti stimati per il Comune di Bologna sono in linea con quelli della Città Metropolitana ad eccezione di un maggior RA% per esposizione al biossido di azoto a breve termine pari a 0,78% vs 0,65% (soglia 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), dovuto al fatto che le concentrazioni di tale inquinante nel 2022 sono risultate maggiori rispetto a quelle della provincia.

Nella presente valutazione abbiamo stimato l'impatto per la mortalità naturale per il lungo periodo anche utilizzando i rischi relativi derivati dal progetto ELAPSE, particolarmente specifici per l'Europa, evidenziando stime di mortalità attribuibile più alte del 40% per il $\text{PM}_{2,5}$ e più del doppio per l' NO_2 rispetto alle stime delle revisioni sistematiche dell'OMS, a parità di condizioni.

Nonostante il rispetto dei limiti previsti dalla normativa vigente dei valori della concentrazione media annuale degli inquinanti per il Comune e la Città Metropolitana di Bologna per l'anno 2022, l'inquinamento atmosferico rappresenta ancora un pericolo per la salute e la sua riduzione deve rimanere un obiettivo da perseguire, a maggior ragione se consideriamo che i valori medi registrati nel 2022 per le concentrazioni annuali di biossido di azoto e particolato atmosferico dalle stazioni di fondo urbano evidenziano una sostanziale distanza con i valori raccomandati dalle nuove linee guida AQG2021; nessuna delle centraline considerate è infatti in linea con i parametri dell'OMS e alcune di queste segnalano degli scostamenti molto rilevanti.

In questa valutazione abbiamo stimato i potenziali benefici sanitari a lungo termine per la popolazione derivanti dal raggiungimento dei livelli raccomandati stabiliti dalle nuove linee guida sulla qualità dell'aria dell'OMS: nel lungo termine, se fosse raggiunto il livello di 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ di concentrazione annuale per il $\text{PM}_{2,5}$ potrebbero essere evitati 979 decessi all'anno, pari all'8,11% della mortalità naturale nella Città Metropolitana di Bologna e 285 morti evitati attribuibili a livelli di biossido di azoto inferiori ai 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Questi valori devono farci comprendere la necessità di mettere in atto azioni e politiche che abbiano la finalità di migliorare ulteriormente la qualità dell'aria allineando maggiormente gli standard normativi dell'Unione Europea alle raccomandazioni dell'Organizzazione Mondiale della Sanità. L'ambizione della proposta della Commissione Europea di una nuova direttiva sulla qualità dell'aria è quella di contribuire al "Piano d'azione per inquinamento zero"²⁰ che prevede di ridurre entro il 2050 l'inquinamento atmosferico a livelli non più considerati dannosi per la salute umana e gli ecosistemi naturali.

Se confrontiamo i dati medi registrati nel 2022 per il PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$ e NO_2 con i nuovi limiti che presumibilmente entreranno in vigore nel 2030 a seguito della nuova direttiva europea, si evince che tali valori necessitano di una riduzione rispettivamente del 20%, 35% e 12% da raggiungere entro sette anni; considerando l'assenza di un chiaro trend in diminuzione delle concentrazioni annuali per tali inquinanti negli ultimi anni, appare ragionevole concludere che sarà difficile riuscire a rispettare i nuovi limiti normativi europei ($\text{PM}_{10}=20 \mu\text{g}/\text{m}^3$; $\text{PM}_{2,5}=10 \mu\text{g}/\text{m}^3$; $\text{NO}_2= 20 \mu\text{g}/\text{m}^3$) entro la data prevista⁶⁹.

Risulta evidente quanto dovranno essere determinanti ed efficaci le azioni e le politiche che inevitabilmente dovranno essere realizzate per raggiungere gli obiettivi previsti.

Le iniziative per la riduzione dei livelli di inquinamento sono piuttosto varie in termini di livello organizzativo coinvolto, di tempi in cui esplicano i propri effetti e nella specificità degli obiettivi che si prefiggono.

La Regione Emilia Romagna ha iniziato un percorso di pianificazione che porterà all'approvazione del nuovo Piano Aria Integrato Regionale (PAIR 2030)⁷⁰; il piano, in continuità con quello precedente (PAIR 2020⁷¹), 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.

L'orizzonte temporale del nuovo Piano è al 2030, in linea con i percorsi previsti dal Patto per il Lavoro e per il Clima approvato dalla Regione Emilia-Romagna nel dicembre 2020⁷², dall'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile⁷³, dall'Accordo di Parigi, dal Quadro 2030 per il clima e l'energia dell'Unione Europea e dalla Direttiva NEC (*National Emission Ceilings*)⁷⁴.

Il nuovo PAIR dovrà pertanto agire all'interno del contesto normativo e dovrà essere caratterizzato da una forte integrazione con le politiche e programmazioni settoriali, le cui attività possono contribuire alla riduzione delle emissioni di inquinanti atmosferici, oltretutto con quelle che contrastano il cambiamento climatico.

Per quanto concerne la città di Bologna, dal 1° luglio 2023 è iniziata la transizione che porterà Bologna ad essere 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. 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 gli spostamenti a piedi e in bici, grazie a strade più sicure e tranquille, con una conseguente riduzione delle emissioni di smog e gas climalteranti⁷⁵.

I cambiamenti climatici e l'inquinamento atmosferico sono tra i più importanti problemi ambientali, sono intrinsecamente connessi, incidono sulla salute e sul benessere umano.

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 del clima della Terra⁷⁶.

Azioni volte alla diminuzione dell'inquinamento atmosferico contribuirebbero contestualmente ad una riduzione nelle emissioni di gas serra che influiscono sui cambiamenti climatici, fornendo così ulteriori benefici per la salute.

Breve 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: relative risk o risk ratio) 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, socio-demografici (età, residenza, livello socio-economico), 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 sopravvissuti 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: 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 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

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. Ambient air pollution attributable deaths [website]. In: WHO/Data/The Global Health Observatory. Geneva: World Health Organization; 2022 (<https://www.who.int/data/gho/data/indicators/indicatordetails/GHO/ambient-air-pollution-attributable-deaths>)
2. Air quality in Europe 2022 [website]. In: European Environment Agency/Publications. Copenhagen: European Environment Agency; 2022 (<https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-ineurope-2022>)
3. Dominski 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.
4. Sun Z, Zhu D. Exposure to outdoor air pollution and its human related health outcomes: an evidence gap map. *BMJ Open* 2019;9:e031312.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. EpiAir. Inquinamento atmosferico e salute: sorveglianza epidemiologica e interventi di prevenzione (EpiAir) <http://www.EpiAir.it/>
10. 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
11. 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
12. Schraufnagel DE, Balme JR, Cowl CT et al. 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;155:417-
13. IARC: Outdoor air pollution a leading environmental cause of cancer deaths, Press release 221, 2013, Lyon France
14. WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. World Health Organization 2021
15. Hvidtfeldt UA, Severi G, Andersen ZJ, Atkinson R, Bauwelinck M, Bellander T, Boutron-Ruault MC, Brandt J, Brunekreef B, Cesaroni G, Chen J, Concini 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, Ketzler 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.
16. Orellano P, Reynoso J, Quaranta N, Bardach A, Ciapponi A. Short-term exposure to particulate matter (PM₁₀ and PM_{2.5}), nitrogen dioxide (NO₂), and ozone (O₃) 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.
 17. Huangfu P, Atkinson R. Long-term exposure to NO₂ and O₃ 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.
 18. 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.
 19. 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.
 20. 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);
 21. 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.
 22. European Commission 'Air Pollution and Climate Change' – Science for Environment Policy. Issue24 Novembre 2010
 23. 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.
 24. 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.
 25. 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.*
 26. Arpa. Rete Regionale di Monitoraggio e Valutazione della Qualità dell'Aria, Città Metropolitana di Bologna, Report dei dati 2022.
 27. Decreto Legislativo 13 agosto 2010, n. 155 *Attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria piu' pulita in Europa.*
 28. AirQ+2.2: software tool for health risk assessment of air pollution prodotto e distribuito dal "WHO European Centre for Environment and Health", <https://www.who.int/europe/tools-and-toolkits/airq---software-tool-for-health-risk-assessment-of-air-pollution>.

29. Regione Emilia Romagna. Statistica (<https://statistica.regione.emilia-romagna.it/servizi-online/statistica-self-service/popolazione/popolazione-per-eta-e-sesso/>) Aggiornamento 18/05/2023
30. Regione Emilia Romagna. Salute. Schede di dimissione ospedaliera (<https://salute.regione.emilia-romagna.it/siseps/sanita/sdo>).
31. 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.
32. 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.
33. 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
34. 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.
35. 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.
36. 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.
37. 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
38. 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.
39. 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.
40. 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.
41. 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.
42. Wu H, Kioumourtzoglou MA, Allan C et al. Association of ambient PM2,5 exposure with maternal bone strength in pregnant women from Mexico City: a longitudinal cohort study. *Lancet Planet Health*,2020; 4(11):e530-e537.
43. 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*.
44. 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.

45. 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.
46. 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.
47. 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.
48. 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.
49. 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.
50. 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.
51. 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.
52. 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.
53. 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.
54. Dutheil F, Comptour A, Morlon R, Mermillod 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.
55. 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.
56. International Society for Environmental Epidemiology, ISEE 2017 Conference Old and new risks: challenges for environmental epidemiology, Rome 2017.

57. 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.
58. 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.
59. 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.
60. 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.
61. Dominici F, Wang Y, Correia AW et al. Chemical composition of fine particulate matter and life expectancy. *Epidemiology* 2015; 26:556-564.
62. 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.
63. 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.
64. 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.
65. 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.
66. 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.
67. Cadum E, Forastiere F. [EpiAir Project: introduction and reading guide to the articles]. *Epidemiol Prev* 2013; 37(4-5):206-8.
68. 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.
69. Mal' Aria di città, cambio di passo cercasi. Rapporto di Legambiente 2023
70. <https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/aria/temi/verso-il-nuovo-pair2030-1/verso-il-nuovo-pair-2030>
71. <https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/aria/temi/pair2020>
72. Deliberazione di Giunta regionale n. 1899 del 14 dicembre 2020 “Approvazione del "Patto per il lavoro e per il clima”.
73. <https://unric.org/it/wp-content/uploads/sites/3/2019/11/Agenda-2030-Onu-italia.pdf>
74. Direttiva 2016/2284 del Parlamento europeo e del Consiglio del 14 dicembre 2016, concernente la riduzione delle emissioni nazionali di determinati inquinanti atmosferici, che modifica la direttiva 2003/35/CE e abroga la direttiva 2001/81/CE, recepita con il Decreto legislativo 30 maggio 2018, n. 81
75. <https://www.comune.bologna.it/notizie/citta-30>
76. 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.].