

# Valutazione d'impatto sanitario mediante calcolo dei decessi attribuibili alle polveri sottili nel distretto di Cremona

1



## Sommario

1	INTRODUZIONE.....	4
2	OBIETTIVI .....	5
3	MATERIALI E METODI .....	5
4	RISULTATI.....	8
4.1	Mortalità per tutte le cause naturali.....	11
4.2	Mortalità per malattie del sistema cardiocircolatorio.....	14
4.3	Mortalità per malattie respiratorie.....	17
4.4	Mortalità per tumore del polmone.....	20
4.5	Analisi di sensibilità.....	22
5	DISCUSSIONE .....	24
6	CONCLUSIONI .....	27
7	BIBLIOGRAFIA .....	29

**A CURA DELL'OSSERVATORIO EPIDEMIOLOGICO DI ATS VAL PADANA**

**CON IL CONTRIBUTO DEL COMITATO SCIENTIFICO**

**SI RINGRAZIA IL DEP LAZIO PER I DATI DI CONCENTRAZIONE DEL PROGETTO EPISAT**



## ABBREVIAZIONI

AEA	Agenzia Europea dell'Ambiente
AQG	Air Quality Guidelines (Linee Guida per la Qualità dell'Aria)
ATS	Agenzia per la Tutela della Salute
D.lgs	Decreto Legislativo
GEOS-Chem	Goddard Earth Observing System - Chemistry
HIA	Health Impact Assessment
IARC	International Agency for Research on Cancer
PM2.5	Materiale particolare <2.5 µm
PM10	Materiale particolare <10 µm
VIIAS	Valutazione Integrata dell'Impatto dell'Inquinamento atmosferico sull'Ambiente e sulla Salute
UTAQ	Urban Tool for Air Quality
VIS	Valutazione di Impatto Sanitario
WHO	World Health Organisation - Organizzazione Mondiale della Sanità

## 1 INTRODUZIONE

L'inquinamento atmosferico è un importante fattore di rischio per la salute e la sua riduzione è una priorità per la prevenzione e il controllo delle malattie respiratorie, sia acute che croniche, nonché di altre patologie. Nel corso degli anni, numerosi studi hanno indagato gli esiti di salute riconducibili all'esposizione ad inquinanti atmosferici come PM2.5, PM10 e NO2 (J Chen 2020). L'importanza di analizzare l'impatto dell'esposizione a PM2.5 (particolato fine), contenente numerosi componenti tossici (es. metalli pesanti) e in grado di penetrare profondamente nei polmoni, è sottolineata dalle istituzioni più importanti che operano nell'ambito di ambiente e salute, come WHO (World Health Organization 2005), la IARC (IARC 2015) e l'Agenzia Europea per l'Ambiente (European Environment Agency 2021).

Le nuove linee guida sulla qualità dell'aria del WHO (World Health Organization 2021) offrono una revisione sistematica della letteratura che indica come gli effetti del PM2.5 sulla salute umana si osservino già a basse concentrazioni di questo contaminante. Le raccomandazioni conseguenti hanno ridotto l'obiettivo di qualità per tale contaminante, oggi fissato a  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  contro i  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  delle precedenti linee guida (World Health Organization 2005).

Le stime del Global Burden of Disease indicano che l'inquinamento atmosferico – tra i fattori di rischio più diffusi subito dopo dieta, fumo, ipertensione e diabete – causa ogni anno 2,9 milioni di morti premature in tutto il mondo (Health effects institute. State of global air 2019. 2019). Cardiopatia ischemica, ictus, malattia polmonare ostruttiva cronica, sono le principali cause dell'eccesso di mortalità dovuto all'inquinamento atmosferico.

Uno studio effettuato su 1000 città europee ha stimato per il 2015 un numero di decessi attribuibili al PM2.5 pari a 51213 (Sasha Khomenko 2021), con la più alta mortalità attribuibile registrata nelle città della pianura padana.

Un'analisi più recente (European Environment Agency 2021), e che riguarda tutti i contesti residenziali, è stata resa disponibile dall'Agenzia Europea per l'Ambiente (AEA) che ha stimato per il 2019 oltre 300 mila decessi prevenibili nell'Unione Europea.

L'impatto dell'inquinamento atmosferico sulla salute umana in Italia è stato stimato nel progetto "Valutazione integrata dell'impatto ambientale e sanitario dell'inquinamento atmosferico in Italia" (VIAS) nel 2015 (DEP Lazio, ASL ROMA E, Regione Lazio, ccm, Ministero della Salute s.d.). Il progetto ha utilizzato l'approccio metodologico della valutazione di impatto sulla salute che permette una valutazione integrata degli effetti ambientali e sanitari dell'inquinamento atmosferico, combinando dati demografici, sanitari e di esposizione. I dati delle sezioni di censimento della popolazione sono stati proiettati sulla griglia 4x4km del modello di dispersione. Per il 2005 sono state stimate 34.552 morti premature attribuibili a valori di PM2.5 superiori a  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (il 7% dei decessi per cause naturali osservati in Italia) di cui 22.485 nel Nord Italia. La mortalità più elevata è stata stimata in Lombardia con un tasso pari a 164 decessi ogni 100.000 residenti.

La consapevolezza dell'effetto delle esposizioni ambientali sulla salute si è consolidata nella popolazione generale e il calcolo dei decessi attribuibili all'inquinamento atmosferico fornisce un risultato rilevante e di immediata comprensione per i cittadini. Risulta essere dunque un approccio metodologico di particolare utilità nel fornire una risposta al bisogno conoscitivo della società civile e degli *stakeholder*.

## 2 OBIETTIVI

Stimare il numero di decessi attribuibili al PM2.5 nella popolazione residente nei comuni dell'ex-distretto di Cremona (47 comuni). La scelta è ricaduta su questo inquinante poiché in letteratura esistono prove evidenti sul suo effetto sulla salute umana anche a basse concentrazioni (World Health Organization 2021) e per la disponibilità di una metodologia consolidata per il calcolo dei decessi attribuibili a tale inquinante.

## 3 MATERIALI E METODI

### Scenari “controfattuali”

Il Progetto VIIAS (Valutazione Integrata dell’Impatto dell’Inquinamento atmosferico sull’Ambiente e sulla Salute, 2015), realizzato nel quadro delle iniziative del Centro Controllo Malattie (CCM) del Ministero della Salute, aveva tra gli obiettivi la quantificazione dell’impatto sulla popolazione italiana dell’inquinamento da PM2.5, NO2 e ozono in termini di casi di morte attribuibili all’inquinamento.

Al fine di calcolare i decessi attribuibili, in una fase iniziale del progetto è stata condotta una revisione della letteratura da cui, per ogni causa di mortalità attribuibile all’inquinamento, e per ogni sostanza inquinante, è stata selezionata la funzione concentrazione-risposta più accreditata. Tale funzione, espressa come rischio relativo, correla alla concentrazione dell’inquinante, la risposta in termini di incremento percentuale di mortalità. Le cause di morte per cui ha utilizzato le funzioni di rischio rispetto alla concentrazione di PM2.5 sono: mortalità per cause naturali, per cause cardiovascolari, per cause respiratorie e per tumore al polmone. Il valore soglia utilizzato da VIIAS è quello raccomandato dal WHO al momento della realizzazione del progetto (10 µg/m<sup>3</sup>). La metodologia utilizzata dal progetto VIIAS è stata inserita nelle linee guida dell’Istituto Superiore di Sanità per la conduzione delle Valutazioni di Impatto Sanitario, a supporto dell’applicazione del D.lgs 104/2017.

Recentemente il WHO (2021), ha aggiornato le linee guida sulla qualità dell’aria, classificando il grado di evidenza dell’associazione tra specifico inquinante e specifico esito di salute, con l’ausilio della metodologia GRADE. Per le cause di morte a suo tempo analizzate dal progetto VIIAS il grado di certezza delle evidenze è elevato, il massimo consentito dal GRADE. Nello stesso documento il WHO ha rivisto sia il valore delle funzioni di rischio (riportate in Tabella 1) che il valore sopra il quale si registrano effetti sulla salute umana, abbassandolo a 5 µg/m<sup>3</sup>. Nel presente rapporto, il calcolo dei decessi attribuibili è realizzato utilizzando due differenti valori soglia (i cosiddetti “controfattuali”): il nuovo limite annuale proposto dal WHO, pari a 5 µg/m<sup>3</sup> (Scenario 1), e il limite normativo italiano ed europeo, pari a 25 µg/m<sup>3</sup> (Scenario 2).

Tabella 1. Funzioni di rischio aggiornate al 2021

Causa di morte	ICD10	Range d'età	Funzione di rischio RR (95% CI) per 10 µg/m <sup>3</sup>
Cause naturali	Tutte le cause tranne S* e T*	>30 anni	RR= 1.08 (IC95%: 1.06-1.09)
Malattie cardiovascolari	I*		RR= 1.11 (IC95%: 1.09-1.14)
Malattie respiratorie	J*		RR= 1.10 (IC95%: 1.03-1.18)
Tumore del polmone	C33* e C34*		RR= 1.12 (IC95%: 1.07-1.16)

### Stima dell'esposizione a PM2.5

L'esposizione media annuale del PM2.5 è stata calcolata con il modello di dispersione degli inquinanti atmosferici UTAQ (UTAQ s.d.), sviluppato dall'azienda di modellizzazione ambientale TerrAria srl. Il dominio, che ha una risoluzione spaziale di celle di 50m x 50m e un'estensione di 51km x 37km, ha incluso tutti i comuni del distretto socio-sanitario di Cremona.

Per tutti i dettagli sulla metodologia utilizzata si rimanda all'allegato tecnico (TerrAria s.r.l. 2022).

L'esposizione media comunale è stata calcolata come media pesata della concentrazione di ogni cella, utilizzando come peso il numero di abitanti della cella.

### Modalità di calcolo

La formula per calcolare i decessi attribuibili, applicata a ciascun anno e a ciascuna cella, è la seguente (Gruppo Collaborativo EPIAIR2 2013):

$$E = (RR - 1)/RR * P * C/10 * B_0$$

dove

- RR è il Rischio Relativo riportato nella Tabella 1;
- P è la popolazione esposta, ottenuta georeferenziando gli indirizzi dei cittadini di età superiore ai 30 anni che abitavano in quella cella all'inizio di ciascun anno (fonte: Anagrafe degli Assistiti); la georeferenziazione è il processo che assegna, ad ogni cittadino, le coordinate esatte della sua abitazione;
- C è la differenza tra la concentrazione media annua stimata dal modello UTAQ nella cella e il valore soglia definito dallo scenario (5 µg/m<sup>3</sup> per lo scenario 1 e 25 µg/m<sup>3</sup> per lo Scenario 2)
- B<sub>0</sub> rappresenta il tasso di mortalità che si osserverebbe alla concentrazione di riferimento del PM2.5 ed è calcolato a partire dalla differenza C e dal tasso grezzo di mortalità B osservato nel comune tra i soggetti di età superiore ai 30 anni (fonte: Registro Nominativo delle Cause di Morte dell'ATS Val Padana); per aumentare la stabilità delle stime sono stati utilizzati tassi di mortalità quinquennali, 2010-2014 e 2015-2019, e non annuali. La formula per calcolare B<sub>0</sub> è la seguente:

$$B_0 = \frac{B}{1 + (RR - 1) * C/10}$$

I decessi attribuibili stimati in ciascun comune sono costituiti dalla somma dei decessi stimati in ciascuna cella di cui il comune è composto. Gli anni in studio sono quelli compresi tra il 2010 e il 2019.

Per ciascuna causa, oltre alla stima dei decessi (e al suo intervallo di confidenza al 95%), sono state calcolate la percentuale dei decessi attribuibili al PM2.5 rispetto al totale dei decessi per quella causa. Essendo indipendente dalle dimensioni del comune, la percentuale permette di confrontare le stime di diversi comuni nonché di diversi anni di osservazione.

### Confronti interni

L'analisi è stata condotta per tutti i comuni del distretto di Cremona. Poiché uno degli obiettivi di questo studio era la valutazione dell'effetto degli insediamenti produttivi presenti a Cremona e in alcuni comuni della cintura, in questo rapporto è presentato un focus sulle stime relative al comune di Cremona e ai comuni



limitrofi selezionati nel protocollo di studio per via del potenziale impatto delle industrie che ospitano (Bonemerse, Crotta d'Adda, Gerre de' Caprioli, Sesto ed Uniti e Spinadesco). Nei grafici, nelle tabelle e nel seguito del report, con "comuni limitrofi" si intendono quindi i sei comuni appena citati. I risultati di tutti i singoli comuni del distretto sono presentati negli allegati.

### **Analisi di sensibilità**

Sono state eseguite due analisi di sensibilità. La prima è stata effettuata utilizzando i dati della concentrazione di PM2.5 ottenuti dalla metodologia EPISAT (C Badaloni 2018) (G. C. M Stafoggia 2020), che ha sviluppato e reso disponibile la stima degli inquinanti atmosferici ottenuta attraverso un modello di machine learning ad una risoluzione spaziale di 1 km per 1 km su tutto il territorio italiano. I dati disponibili, e per i quali è possibile un confronto, riguardavano gli anni dal 2013 al 2019. Una seconda analisi di sensibilità è stata condotta utilizzando nella formula del calcolo dei decessi attribuibili, per ciascun anno, il tasso di base dell'intero distretto, invece dei tassi quinquennali di ogni singolo comune.

Poiché il fine di tali analisi era quello di valutare la consistenza della metodologia adottata, esse sono state condotte utilizzando con i parametri relativi allo Scenario 1.



## 4 RISULTATI

Nella Tabella 2 sono riportati la popolazione media e i tassi grezzi di mortalità (x 100.000 ab.) del Comune di Cremona e dei comuni limitrofi, relativi alla popolazione di età superiore ai 30 anni.

Tabella 2. Popolazione media e tassi grezzi di mortalità \*100.000 - età maggiore di 30 anni

	Popolazione media	Mortalità per Cause Naturali	Mortalità per Malattie Cardiovascolari	Mortalità per Malattie Respiratorie	Mortalità per Tumore del polmone
<b>BONEMERSE</b>					
2010-2014	1063	902.76	263.31	0.00	75.23
2015-2019	1094	1188.73	493.78	0.00	91.44
<b>CREMONA</b>					
2010-2014	53429	1478.23	547.64	88.34	93.96
2015-2019	53501	1490.45	556.63	87.85	93.83
<b>CROTTA D'ADDA</b>					
2010-2014	489	1145.19	531.70	81.80	40.90
2015-2019	478	1380.18	418.24	125.47	167.29
<b>GERRE DE' CAPRIOLI</b>					
2010-2014	919	848.56	348.13	87.03	21.76
2015-2019	953	776.33	398.66	0.00	41.96
<b>SESTO ED UNITI</b>					
2010-2014	2234	1485.86	662.37	71.61	89.51
2015-2019	2340	2025.81	803.49	68.38	59.83
<b>SPINADESCO</b>					
2010-2014	1140	1245.18	455.98	105.23	87.69
2015-2019	1100	1454.81	436.44	90.93	145.48

La popolazione media sopra i 30 anni ha diversi ordini di grandezza: quella del comune di Cremona arriva ad essere da 22 a 112 volte quella dei comuni limitrofi. Per questo motivo nel seguito del documento sono stati aggregati i dati relativi ai comuni al di fuori del comune di Cremona.

Sono state georeferenziate 1.160.759 persone-anno e, una volta effettuato il link geografico per attribuire a ciascun assistito la propria cella di appartenenza, sono stati esclusi i 144 record (0.01%) che uscivano dal reticolo. L'analisi è stata condotta quindi su 1.160.615 record.

In Tabella 3 sono riportate le principali statistiche descrittive relativamente alla concentrazione media annua di PM2.5 nelle celle abitate del dominio studiato.



Tabella 3. Statistiche di concentrazione del PM2.5 per celle abitate dell'intero distretto di Cremona

	Numero di celle	Media	Mediana	Minimo	Massimo	Varianza
<b>2010</b>	11090	33.35	33.62	28.86	39.32	3.63
<b>2011</b>	11160	35.89	36.16	31.05	42.19	4.25
<b>2012</b>	11184	35.64	35.83	31.85	40.37	2.65
<b>2013</b>	11198	30.30	30.48	26.61	34.93	2.53
<b>2014</b>	11218	27.11	27.19	24.78	31.63	1.00
<b>2015</b>	11239	31.97	32.14	28.58	38.33	2.07
<b>2016</b>	11249	27.63	27.79	24.38	31.75	2.00
<b>2017</b>	11230	27.98	28.08	25.53	31.44	1.11
<b>2018</b>	11173	25.64	25.74	23.18	29.25	1.09
<b>2019</b>	11160	25.39	25.49	23.06	28.89	0.99
<b>Tutti gli anni</b>		<b>30.08</b>	<b>29.13</b>	<b>23.06</b>	<b>42.19</b>	<b>16.11</b>

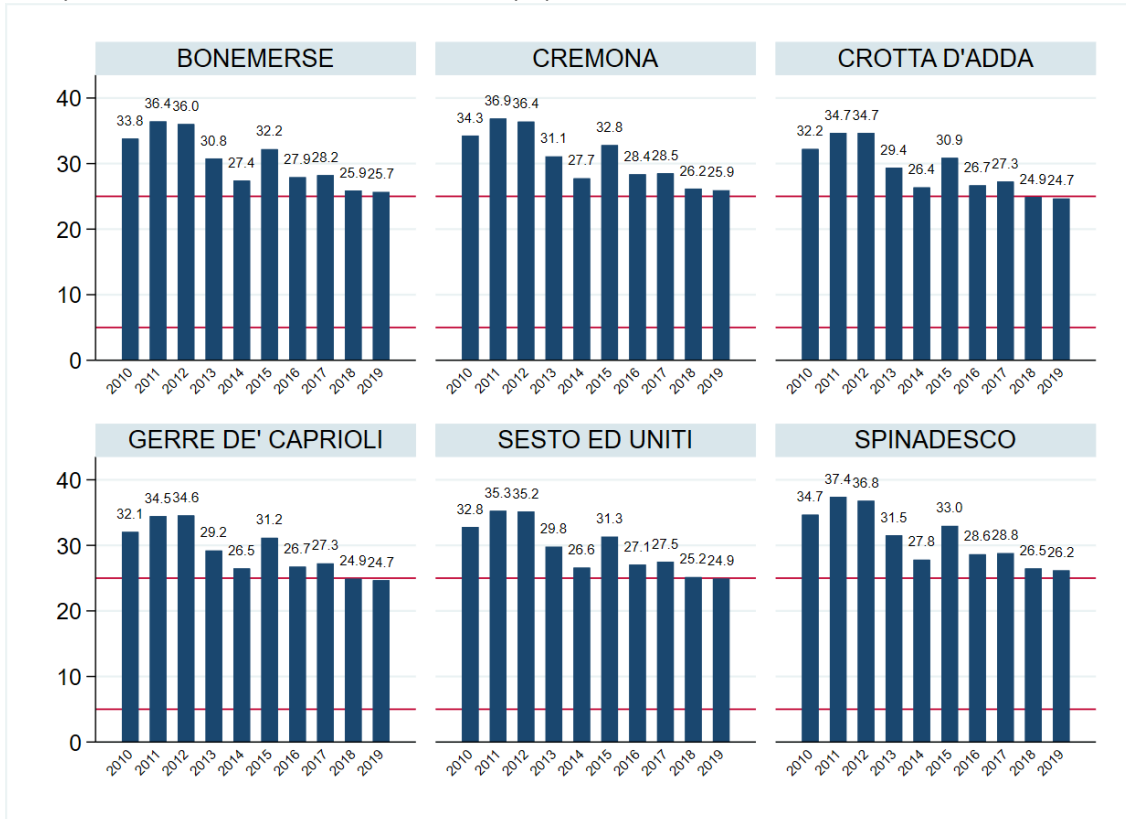
Nel seguito sono riportati l'esposizione media a PM2.5 nelle diverse suddivisioni territoriali (Tabella 4): sono stati aggregati nella categoria "Comuni Limitrofi" i comuni di Bonemerse, Crotta D'Adda, Gerre de' Caprioli, Sesto ed Uniti e Spinadesco, in quanto comuni limitrofi a Cremona con insediamenti produttivi. Gli altri comuni del distretto, fuorché Cremona, sono stati aggregati nella categoria "Resto del Distretto". I dettagli delle analisi per ciascun comune del distretto sono riportati in allegato.

Il trend per il comune di Cremona e per ciascun comune tra i limitrofi è raffigurato in Figura 1. Si può notare come la concentrazione di PM2.5 sia diminuita nel corso degli anni, anche se si è ancora lontani dal raggiungimento del valore obiettivo WHO e anzi, spesso si superano i 25 µg/m<sup>3</sup> definiti come limiti di legge (D.lgs 155/2010). La Figura 1 mostra anche come i pattern dei diversi comuni siano simili.

Tabella 4. Esposizione media annua a PM2.5

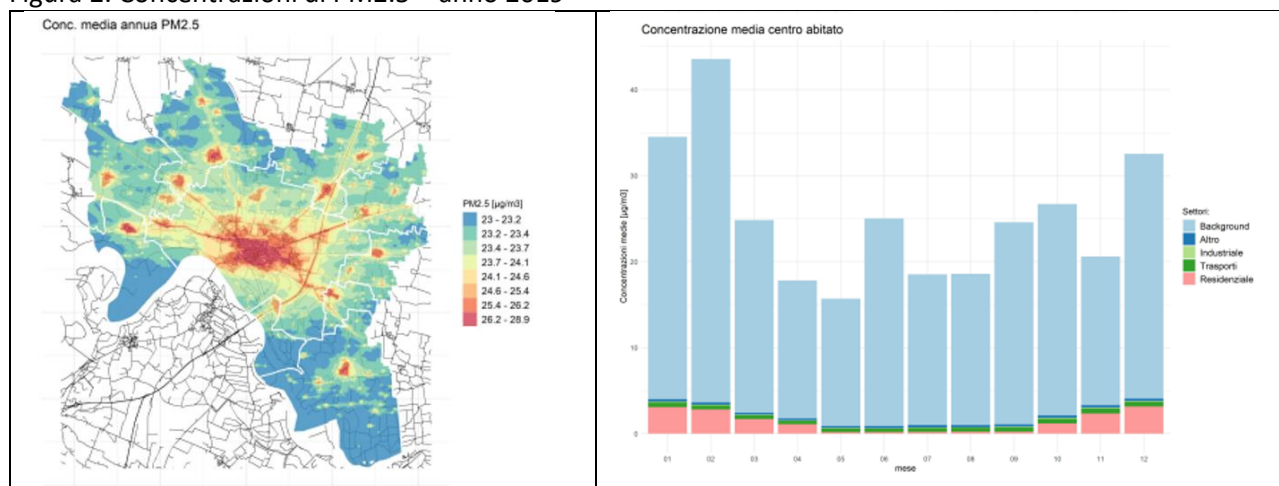
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
<b>CITTA' DI CREMONA</b>	34.3	36.9	36.4	31.1	27.7	32.8	28.4	28.5	26.2	25.9
<b>COMUNI LIMITROFI</b>	33.2	35.7	35.5	30.2	27.0	31.7	27.4	27.8	25.5	25.2
<b>RESTO DEL DISTRETTO</b>	33.8	36.3	36.0	30.6	27.3	32.2	27.9	28.2	25.8	25.6
<b>DISTRETTO DI CREMONA</b>	<b>34.0</b>	<b>36.6</b>	<b>36.2</b>	<b>30.8</b>	<b>27.5</b>	<b>32.5</b>	<b>28.1</b>	<b>28.3</b>	<b>26.0</b>	<b>25.7</b>

Figura 1. Esposizione media annua a PM2.5 della popolazione residente a Cremona e nei comuni limitrofi



La mappa di Figura 2 riporta, per il comune di Cremona e quelli limitrofi, la stima della concentrazione media di PM2.5 relativa al 2019, anno più recente da noi modellizzato e che può essere considerato come rappresentativo della situazione attuale. In affiancamento, si riporta il grafico che evidenzia la scomposizione per settore emissivo e andamento temporale nel corso dei mesi del 2019. Si osserva come il valore di background sia predominante in rapporto alle altre fonti. Questo trova spiegazione nel fatto che l'area in studio si trova in Pianura Padana, dove, per la particolare orografia e le condizioni climatiche, l'inquinamento di fondo è difficilmente disperdibile e tende a formare una cappa che ricopre costantemente l'intero territorio della pianura, anche le zone in cui non vi sono fonti emissive significative. Tra i settori emissivi definiti, spicca per entità quello residenziale che comprende perlopiù emissioni da riscaldamento domestico e si riduce fino quasi ad annullarsi nel periodo estivo.

Figura 2. Concentrazioni di PM2.5 – anno 2019



#### 4.1 Mortalità per tutte le cause naturali

Per lo scenario che utilizza come controfattuale il valore obiettivo indicato da WHO (Scenario 1), nel decennio 2010 – 2019 sono stati stimati 2942 decessi per cause naturali attribuibili al PM2.5 nel distretto di Cremona, con un trend decrescente che ha riguardato sia il numero totale di decessi (da 322 nel 2010 a 249 nel 2019) che la sua percentuale sul totale delle morti osservate (dal 17.3% del 2010 al 13.4% del 2019). Nel 2019 il numero dei decessi attribuibili è il più basso tra gli anni analizzati.

Nello stesso periodo sono stati stimati 724 decessi attribuibili ad una esposizione al PM2,5 superiore a quella stabilita dalla normativa italiana ed europea (Scenario 2).

Nel corso degli anni si registra un trend decrescente dei decessi attribuibili, con una riduzione complessiva del 22.7% nello Scenario 1 e del 91.3% nello Scenario 2. In particolare, nello Scenario 2 i decessi attribuibili nel 2019 dell'intero distretto sono stati solo 10 e la frazione sul totale inferiore all'1%.



Tabella 5. Decessi per Cause Naturali attribuibili al PM2.5 e frazione (%) sul totale dei decessi

	Scenario 1: controfattuale valore obiettivo WHO			Scenario 2: controfattuale limiti normativi		
	Decessi attribuibili	Intervallo di confidenza al 95%	%	Decessi attribuibili	Intervallo di confidenza al 95%	%
<b>2010</b>	322	258 - 351	17.3	115	89 - 127	6.2
<b>2011</b>	348	280 - 379	19.4	146	114 - 161	8.1
<b>2012</b>	346	278 - 376	17.1	142	111 - 157	7.0
<b>2013</b>	296	237 - 324	16.1	77	60 - 86	4.2
<b>2014</b>	263	209 - 288	14.3	33	26 - 37	1.8
<b>2015</b>	316	253 - 345	16.9	99	77 - 109	5.3
<b>2016</b>	274	218 - 300	14.1	42	33 - 47	2.2
<b>2017</b>	276	220 - 302	14.7	45	35 - 50	2.4
<b>2018</b>	252	200 - 276	13.0	14	10 - 15	0.7
<b>2019</b>	249	197 - 273	13.4	10	8 - 11	0.6
<b>Totale</b>	<b>2942</b>	<b>2349 - 3211</b>	<b>15.6</b>	<b>724</b>	<b>562 - 801</b>	<b>3.8</b>

Figura 3. Decessi attribuibili al PM2.5 sul totale dei decessi per Cause Naturali nel distretto di Cremona

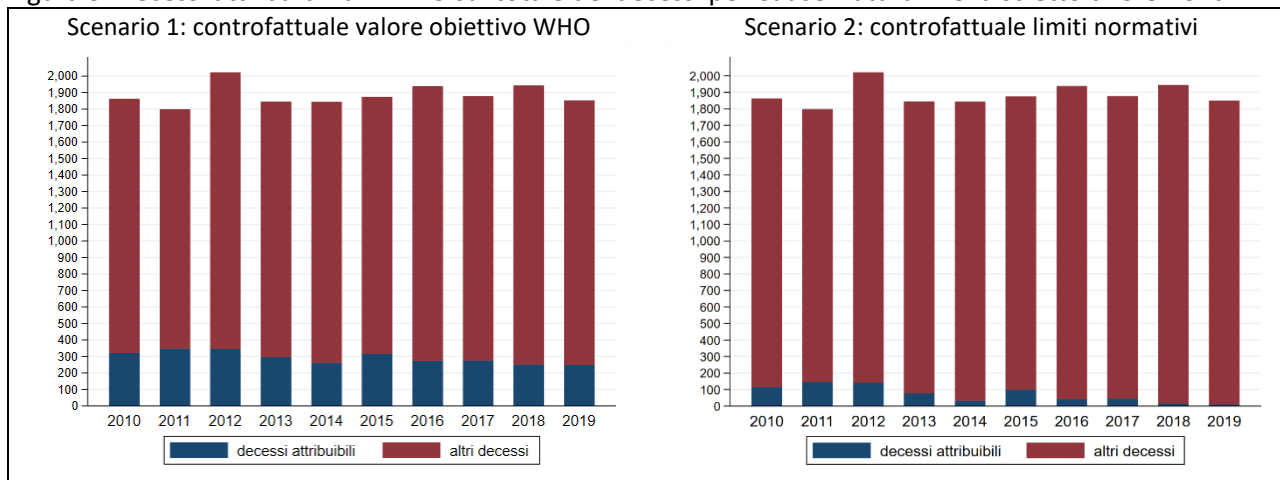


Tabella 6. Decessi per Cause Naturali attribuibili al PM2.5 (Scenario 1: controfattuale valore obiettivo WHO)

	Anno										
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Totale
<b>CITTÀ DI CREMONA</b>											
<b>decessi attribuibili</b>	137.4	148.0	146.7	125.9	112.0	133.5	116.1	117.1	107.2	106.3	1250.1
<b>percentuale</b>	16.8	19.8	17.3	16.2	14.8	18.0	13.9	14.6	13.4	13.2	15.8
<b>COMUNI LIMITROFI</b>											
<b>decessi attribuibili</b>	11.5	12.6	12.6	10.8	9.7	14.4	12.6	12.7	11.6	11.5	120.0
<b>percentuale</b>	15.8	20.0	16.6	16.9	12.8	16.4	12.8	16.1	10.5	14.9	14.9
<b>RESTO DEL DISTRETTO</b>											
<b>decessi attribuibili</b>	173.0	187.6	186.3	159.8	141.4	168.2	145.2	146.2	133.5	130.7	1572.0
<b>percentuale</b>	17.8	19.0	17.0	15.9	14.0	16.1	14.4	14.7	12.9	13.5	15.5

La riduzione percentuale media annua di decessi è del 3.5% per il comune di Cremona e del 3.7% per il resto del distretto. Rimane pressoché costante nel corso degli anni il numero di decessi attribuibili nei comuni limitrofi.

Tabella 7. Decessi per Cause Naturali attribuibili al PM2.5 (Scenario2: controfattuale limiti normativi)

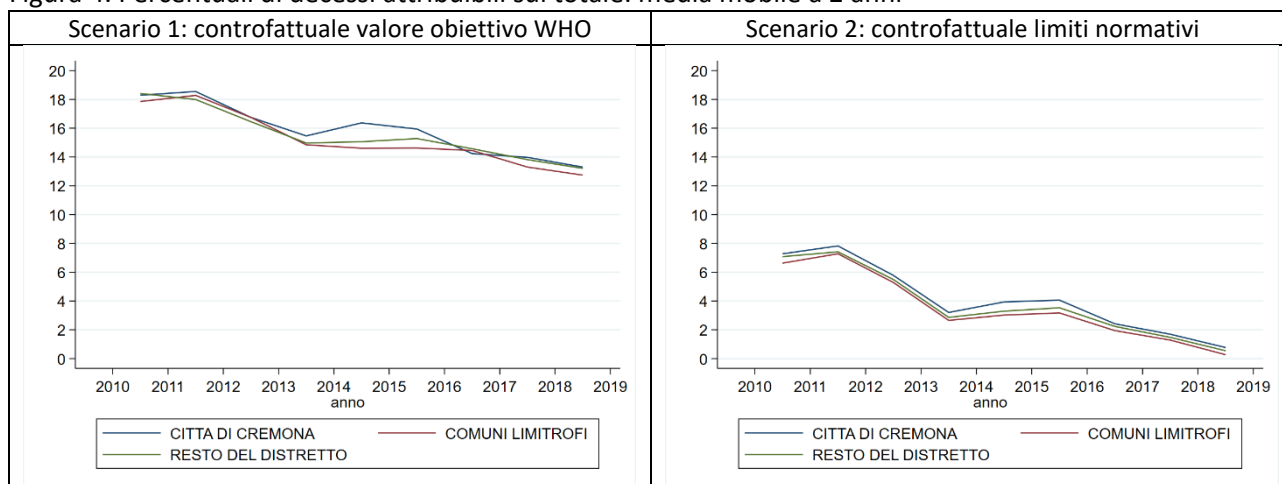
	Anno										
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Totale
<b>CITTÀ DI CREMONA</b>											
<b>decessi attribuibili</b>	50.0	63.2	61.1	33.9	15.6	43.1	19.3	20.3	6.9	5.4	318.9
<b>percentuale</b>	6.1	8.4	7.2	4.3	2.1	5.8	2.3	2.5	0.9	0.7	4.0
<b>COMUNI LIMITROFI</b>											
<b>decessi attribuibili</b>	3.8	5.0	5.0	2.6	1.0	4.2	1.6	1.8	0.3	0.2	25.5
<b>percentuale</b>	5.3	8.0	6.6	4.0	1.3	4.7	1.6	2.3	0.3	0.3	3.2
<b>RESTO DEL DISTRETTO</b>											
<b>decessi attribuibili</b>	60.8	78.0	76.1	40.7	16.8	51.4	21.4	23.3	6.3	4.6	379.5
<b>percentuale</b>	6.3	7.9	6.9	4.1	1.7	4.9	2.1	2.3	0.6	0.5	3.8

Nello Scenario 2 (Tabella 7), la riduzione percentuale annua è pari a 22.7% per Cremona, a 21.2% per i comuni limitrofi e a 25.1% per il resto del distretto. Da notare il valore anomalo del 2015 rispetto al trend decrescente, già leggermente evidente nello scenario 1 e coerente con il trend delle concentrazioni (Tabella 3).

La Figura 4 mostra come la quota di decessi attribuibili al PM2,5 sia simile nella città di Cremona e nel resto del distretto, fatta eccezione per i comuni limitrofi al capoluogo caratterizzati dalla presenza di insediamenti produttivi, in cui è leggermente inferiore.



Figura 4. Percentuali di decessi attribuibili sul totale: media mobile a 2 anni



#### 4.2 Mortalità per malattie cardiovascolari

Per lo scenario che utilizza come controfattuale il valore obiettivo indicato da WHO (Scenario 1), nel decennio 2010 – 2019 sono stati stimati 1434 decessi per malattie cardiovascolari attribuibili al PM2.5 nel distretto di Cremona, con un trend decrescente che ha riguardato sia il numero totale di decessi (da 156 del 2010 a 123 del 2019) che la sua percentuale sul totale delle morti osservate per malattie cardiovascolari (dal 21.2% del 2011 al 16.9% del 2019). Nello stesso periodo sono stati stimati 368 decessi attribuibili ad una esposizione al PM2,5 superiore a quella stabilita dalla normativa italiana ed europea (Scenario 2).

Anche per quel che concerne i decessi per patologie cardiovascolari il trend è in decremento in entrambi gli scenari, con riduzione complessive molto simili a quelle della mortalità per cause naturali (-21.2% nello Scenario 1, -91.4% nello Scenario 2).

Tabella 8. Decessi per malattie cardiovascolari attribuibili al PM2.5 e frazione (%) sul totale dei decessi per malattie cardiovascolari

	Scenario 1: controfattuale valore obiettivo WHO			Scenario 2: controfattuale limiti normativi		
	Decessi attribuibili	Intervallo di confidenza al 95%	%	Decessi attribuibili	Intervallo di confidenza al 95%	%
<b>2010</b>	156	136 - 181	21.2	58	49 - 70	7.9
<b>2011</b>	168	147 - 195	22.8	74	63 - 88	10.0
<b>2012</b>	167	146 - 193	21.2	72	61 - 86	9.1
<b>2013</b>	144	125 - 169	20.7	39	33 - 48	5.7
<b>2014</b>	129	112 - 152	19.0	17	14 - 21	2.5
<b>2015</b>	154	134 - 180	20.6	50	42 - 61	6.7
<b>2016</b>	134	116 - 158	17.6	22	18 - 27	2.9
<b>2017</b>	135	117 - 159	17.6	23	20 - 29	3.1
<b>2018</b>	125	107 - 147	18.2	7	6 - 9	1.0
<b>2019</b>	123	106 - 145	16.9	5	4 - 7	0.7
<b>Totale</b>	<b>1434</b>	<b>1247 - 1679</b>	<b>19.6</b>	<b>368</b>	<b>311 - 446</b>	<b>5.0</b>

Figura 6. Decessi per malattie cardiovascolari attribuibili al PM2.5 sul totale dei decessi per malattie cardiovascolari nel distretto di Cremona

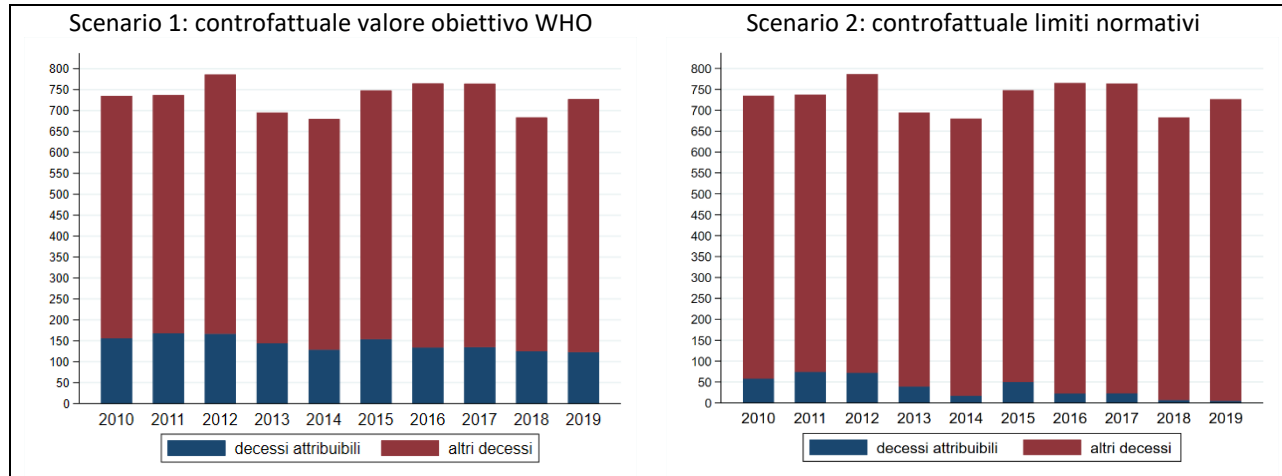




Tabella 9. Decessi per malattie cardiovascolari attribuibili al PM2.5 (Scenario1: controfattuale valore obiettivo WHO)

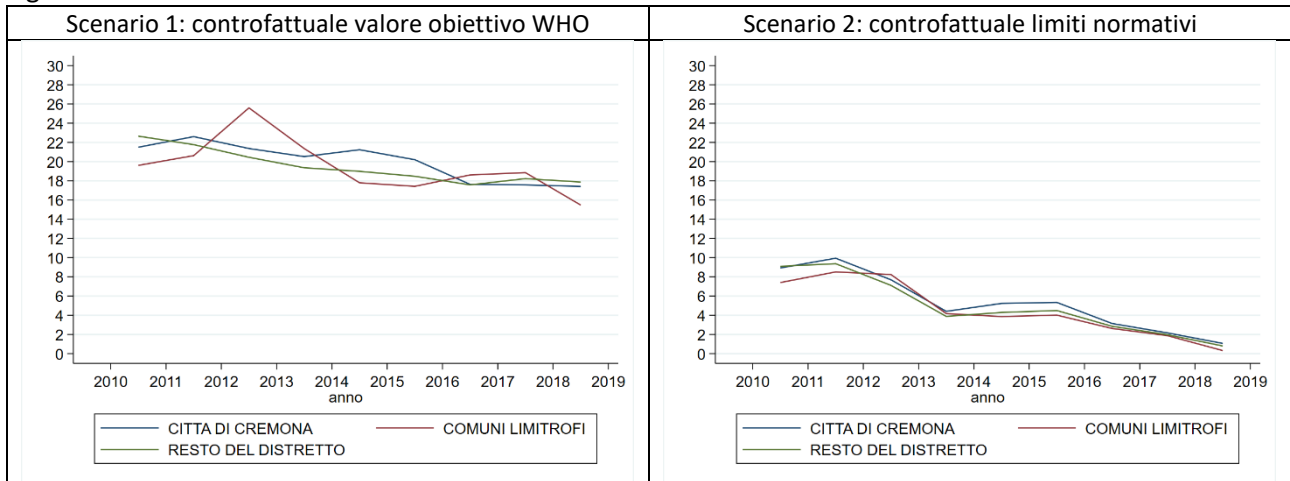
	Anno										
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Totale
<b>CITTÀ DI CREMONA</b>											
<b>decessi attribuibili</b>	63.6	68.2	67.6	58.6	52.5	62.4	54.8	55.2	50.8	50.4	584.1
<b>percentuale</b>	19.8	23.2	22.0	20.7	20.3	22.1	18.3	17.0	18.1	16.7	19.8
<b>COMUNI LIMITROFI</b>											
<b>decessi attribuibili</b>	5.8	6.3	6.4	5.5	5.0	7.0	5.8	6.2	5.7	5.6	59.2
<b>percentuale</b>	21.6	17.6	23.6	27.6	15.1	20.4	14.4	22.8	14.9	16.1	18.7
<b>RESTO DEL DISTRETTO</b>											
<b>decessi attribuibili</b>	86.4	93.5	92.9	79.7	71.5	84.7	73.7	73.3	68.1	66.7	790.5
<b>percentuale</b>	22.3	23.0	20.6	20.3	18.4	19.6	17.4	17.8	18.7	17.1	19.5

Tabella 10. Decessi per malattie cardiovascolari attribuibili al PM2.5 (Scenario2: controfattuale limiti normativi)

	Anno										
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Totale
<b>CITTÀ DI CREMONA</b>											
<b>decessi attribuibili</b>	24.2	30.3	29.3	16.5	7.7	21.1	9.6	10.0	3.5	2.7	154.9
<b>percentuale</b>	7.5	10.3	9.6	5.8	3.0	7.5	3.2	3.1	1.2	0.9	5.2
<b>COMUNI LIMITROFI</b>											
<b>decessi attribuibili</b>	2.0	2.6	2.6	1.4	0.5	2.1	0.7	0.9	0.1	0.1	13.1
<b>percentuale</b>	7.5	7.3	9.7	6.8	1.6	6.1	1.9	3.4	0.4	0.3	4.1
<b>RESTO DEL DISTRETTO</b>											
<b>decessi attribuibili</b>	31.8	40.6	39.6	21.4	9.0	27.1	11.5	12.3	3.5	2.5	199.2
<b>percentuale</b>	8.2	10.0	8.8	5.4	2.3	6.3	2.7	3.0	0.9	0.6	4.9



Figura 7. Malattie cardiovascolari: Percentuali di decessi attribuibili sul totale - media mobile a 2 anni



Come per i decessi per tutte le cause naturali, anche la quota di decessi attribuibili al PM<sub>2,5</sub> per malattie cardiovascolari è simile nella città di Cremona e nel resto del distretto mentre è leggermente inferiore nei comuni limitrofi al capoluogo caratterizzati dalla presenza di insediamenti produttivi.

### 4.3 Mortalità per malattie respiratorie

Per lo scenario che utilizza come controfattuale il valore obiettivo indicato da WHO (Scenario 1), nel decennio 2010 – 2019 sono stati stimati 206 decessi per malattie respiratorie attribuibili al PM<sub>2.5</sub> nel distretto di Cremona, con un trend decrescente che ha riguardato sia il numero totale di decessi (da 22 del 2010 a 18 del 2019) che la sua percentuale sul totale delle morti osservate per malattie cardiovascolari (dal 18.7% del 2010 al 14.0% del 2019). Nello stesso periodo sono stati stimati 56 decessi attribuibili ad una esposizione al PM<sub>2,5</sub> superiore a quella stabilita dalla normativa italiana ed europea (Scenario 2). Gli intervalli di confidenza sono comunque piuttosto ampi, denotando una maggiore incertezza delle stime.

Anche per quel che concerne i decessi per malattie respiratorie, il trend è in decremento in entrambi gli scenari, con riduzione complessive molto simili a quelle della mortalità per cause naturali (-18.2% nello Scenario 1, -88.9% nello Scenario 2).



Tabella 11. Decessi per malattie respiratorie attribuibili al PM2.5 e frazione (%) sul totale dei decessi per malattie respiratorie

	Scenario 1: controfattuale valore obiettivo WHO			Scenario 2: controfattuale limiti normativi		
	Decessi attribuibili	Intervallo di confidenza al 95%	%	Decessi attribuibili	Intervallo di confidenza al 95%	%
<b>2010</b>	22	9 - 34	18.7	9	3 - 14	7.6
<b>2011</b>	24	10 - 37	21.3	11	4 - 17	10.0
<b>2012</b>	24	10 - 37	16.3	11	4 - 17	7.4
<b>2013</b>	21	8 - 32	17.4	6	2 - 10	4.9
<b>2014</b>	18	7 - 29	17.5	3	1 - 4	2.5
<b>2015</b>	22	9 - 35	18.5	8	3 - 12	6.5
<b>2016</b>	19	8 - 31	16.6	3	1 - 5	3.0
<b>2017</b>	20	8 - 31	14.4	4	1 - 6	2.6
<b>2018</b>	18	7 - 29	15.4	1	0 - 2	0.9
<b>2019</b>	18	7 - 28	14.0	1	0 - 1	0.6
<b>Totale</b>	<b>206</b>	<b>84 - 322</b>	<b>16.9</b>	<b>56</b>	<b>19 - 89</b>	<b>4.6</b>

Figura 8. Decessi per malattie respiratorie attribuibili al PM2.5 sul totale dei decessi per malattie respiratorie nel distretto di Cremona

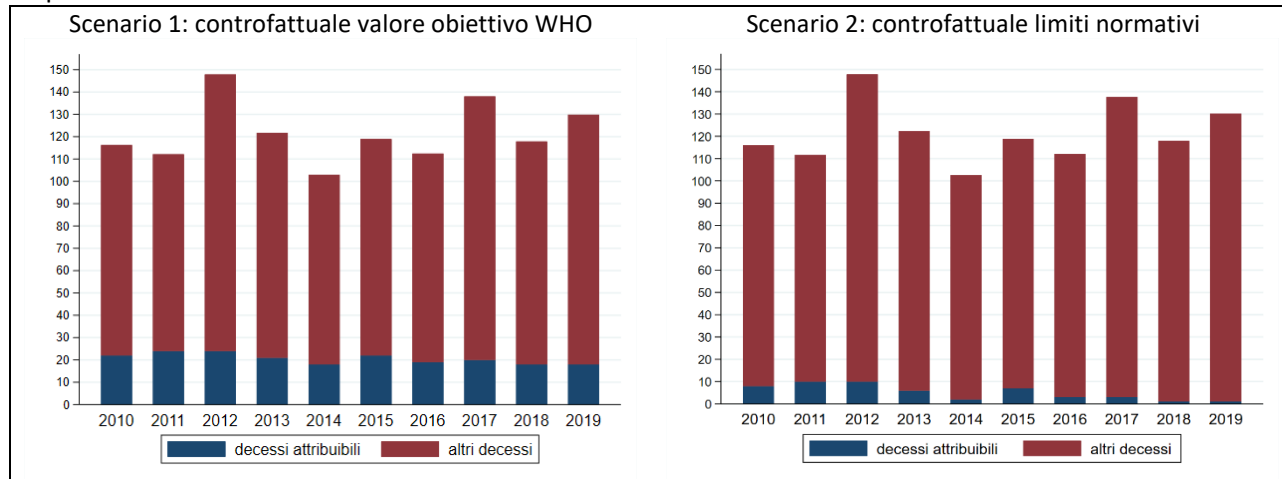


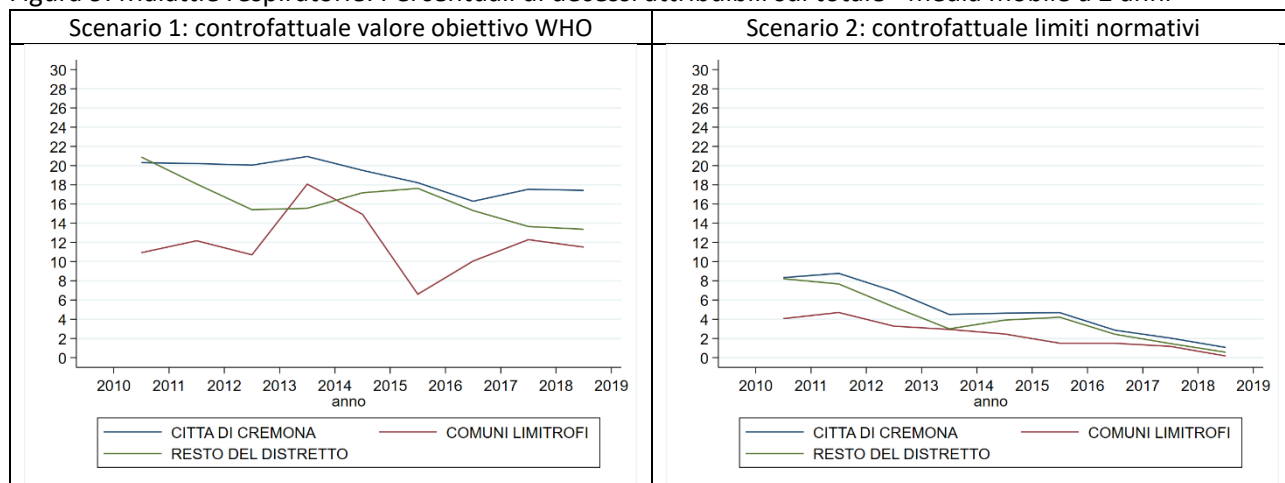
Tabella 12. Decessi per malattie respiratorie attribuibili al PM2.5 (Scenario1: controfattuale valore obiettivo WHO)

	Anno											Totale
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019		
<b>CITTÀ DI CREMONA</b>												
decessi attribuibili	9.6	10.3	10.2	8.9	7.9	9.2	8.1	8.2	7.5	7.4	87.3	
percentuale	18.2	22.5	18.0	22.1	19.8	19.2	17.2	15.4	19.7	15.1	18.5	
<b>COMUNI LIMITROFI</b>												
decessi attribuibili	0.5	0.2	0.3	0.7	0.5	0.2	0.3	0.3	0.3	0.5	3.6	
percentuale	5.9	16.0	8.4	13.1	23.1	6.8	6.5	13.7	10.9	12.1	10.2	
<b>RESTO DEL DISTRETTO</b>												
decessi attribuibili	11.6	13.4	13.5	11.7	9.7	12.6	10.2	11.5	10.3	10.2	114.9	
percentuale	21.2	20.6	15.6	15.3	15.8	18.5	16.8	13.9	13.4	13.3	16.2	

Tabella 13. Decessi per malattie respiratorie attribuibili al PM2.5 (Scenario2: controfattuale limiti normativi)

	Anno											Totale
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019		
<b>CITTÀ DI CREMONA</b>												
decessi attribuibili	3.6	4.5	4.4	2.5	1.1	3.1	1.4	1.5	0.5	0.4	22.9	
percentuale	6.8	9.9	7.7	6.1	2.9	6.4	3.0	2.8	1.3	0.8	4.9	
<b>COMUNI LIMITROFI</b>												
decessi attribuibili	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	
percentuale	2.1	6.1	3.3	3.2	2.6	2.3	0.7	2.3	0.1	0.3	2.0	
<b>RESTO DEL DISTRETTO</b>												
decessi attribuibili	4.2	5.7	5.7	3.1	1.2	4.0	1.6	1.9	0.5	0.4	28.2	
percentuale	7.6	8.8	6.5	4.0	2.0	5.8	2.6	2.3	0.6	0.5	4.0	

Figura 9. Malattie respiratorie: Percentuali di decessi attribuibili sul totale - media mobile a 2 anni





La quota di decessi attribuibili al PM2,5 per malattie respiratorie è maggiore nella città di Cremona rispetto sia al resto del distretto che ai comuni limitrofi al capoluogo caratterizzati dalla presenza di insediamenti produttivi.

#### 4.4 Mortalità per tumore del polmone

Tabella 14. Decessi per tumore al polmone attribuibili al PM2.5 e frazione (%) sul totale dei decessi per tumore al polmone

	Scenario 1: controfattuale valore obiettivo WHO			Scenario 2: controfattuale limiti normativi		
	Decessi attribuibili	Intervallo di confidenza al 95%	%	Decessi attribuibili	Intervallo di confidenza al 95%	%
<b>2010</b>	22	17 - 30	18.7	10	6 - 12	8.1
<b>2011</b>	25	19 - 32	22.3	12	8 - 15	10.8
<b>2012</b>	23	19 - 32	21.5	12	8 - 15	11.0
<b>2013</b>	20	16 - 28	18.5	7	4 - 8	6.0
<b>2014</b>	19	14 - 25	17.3	3	2 - 4	2.6
<b>2015</b>	20	15 - 27	22.0	7	5 - 9	8.4
<b>2016</b>	18	13 - 24	16.5	3	2 - 4	3.0
<b>2017</b>	18	13 - 24	17.7	3	2 - 4	3.4
<b>2018</b>	17	12 - 22	14.9	1	1 - 1	1.0
<b>2019</b>	16	12 - 22	16.6	1	1 - 1	0.8
<b>Totale</b>	<b>198</b>	<b>151 - 266</b>	<b>18.5</b>	<b>59</b>	<b>38 - 74</b>	<b>5.5</b>

Nel decennio 2010 – 2019 sono stati stimati 198 decessi nello Scenario 1 e 59 nello Scenario 2 per tumore al polmone attribuibili al PM2.5 nell'area considerata. In entrambi i casi il trend è decrescente sia in termini assoluti che percentuali. Gli intervalli di confidenza sono piuttosto ampi, denotando una maggiore incertezza delle stime.

Figura 10. Decessi per tumore del polmone attribuibili al PM2.5 sul totale dei decessi per tumore del polmone nel distretto di Cremona

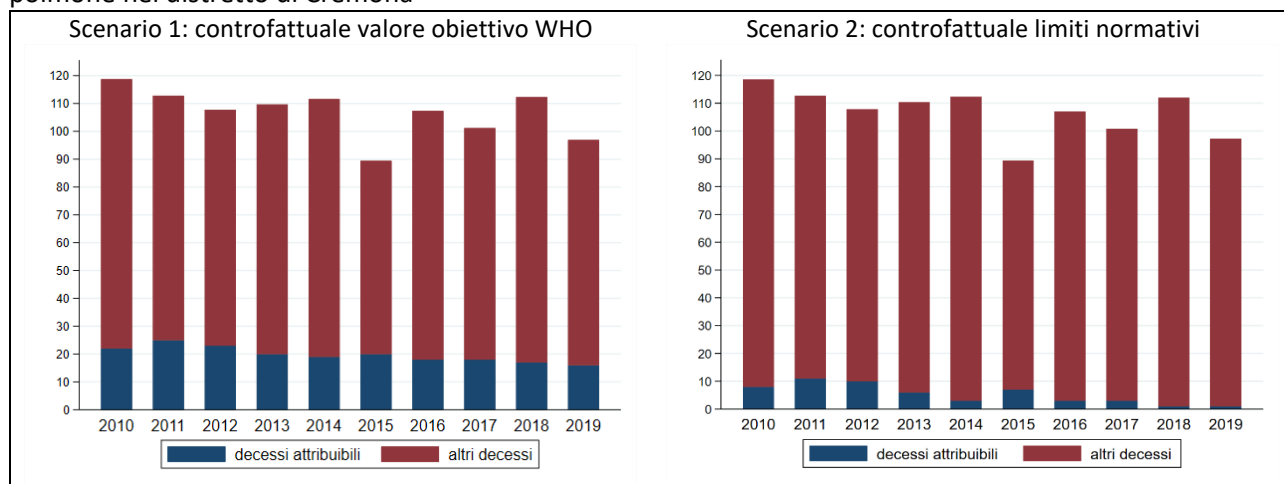


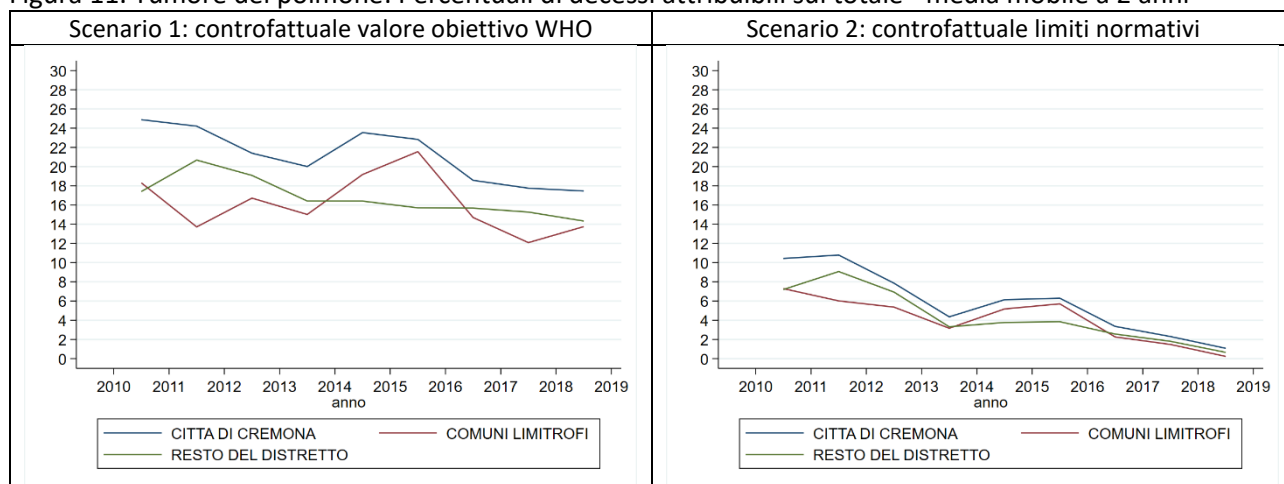
Tabella 15. Decessi per tumore del polmone attribuibili al PM2.5 (Scenario1: controfattuale valore obiettivo WHO)

	Anno											Totale
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019		
<b>CITTÀ DI CREMONA</b>												
<b>decessi attribuibili</b>	11.5	12.4	12.3	10.7	9.6	11.1	9.8	9.9	9.1	9.0	105.3	
<b>percentuale</b>	24.0	25.7	22.7	20.1	19.9	27.2	18.5	18.6	16.9	18.1	21.0	
<b>COMUNI LIMITROFI</b>												
<b>decessi attribuibili</b>	0.7	0.4	0.8	0.6	0.6	0.9	1.0	0.9	0.7	0.4	6.9	
<b>percentuale</b>	21.9	14.7	12.7	20.7	9.3	29.0	14.1	15.3	8.9	18.6	14.7	
<b>RESTO DEL DISTRETTO</b>												
<b>decessi attribuibili</b>	10.1	12.4	10.2	9.1	9.3	7.6	6.9	7.0	6.9	6.7	86.1	
<b>percentuale</b>	14.8	20.0	21.4	16.8	16.0	16.8	14.6	16.7	13.8	14.9	16.6	

Tabella 16. Decessi per tumore del polmone attribuibili al PM2.5 (Scenario2: controfattuale limiti normativi)

	Anno											Totale
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019		
<b>CITTÀ DI CREMONA</b>												
<b>decessi attribuibili</b>	4.4	5.6	5.4	3.0	1.4	3.8	1.7	1.8	0.6	0.5	28.4	
<b>percentuale</b>	9.3	11.6	10.0	5.7	3.0	9.3	3.3	3.4	1.2	1.0	5.6	
<b>COMUNI LIMITROFI</b>												
<b>decessi attribuibili</b>	0.2	0.2	0.3	0.2	0.1	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0	1.6	
<b>percentuale</b>	7.9	6.7	5.4	5.4	1.0	9.4	2.0	2.5	0.5	0.0	3.4	
<b>RESTO DEL DISTRETTO</b>												
<b>decessi attribuibili</b>	3.8	5.5	4.5	2.5	1.2	2.5	1.1	1.2	0.4	0.3	22.7	
<b>percentuale</b>	5.6	8.8	9.3	4.5	2.1	5.5	2.2	2.9	0.7	0.6	4.4	

Figura 11. Tumore del polmone: Percentuali di decessi attribuibili sul totale - media mobile a 2 anni



La quota di decessi attribuibili al PM<sub>2,5</sub> per tumore al polmone è maggiore nella città di Cremona rispetto al resto del distretto, compresi i comuni limitrofi al capoluogo caratterizzati dalla presenza di insediamenti produttivi.

#### 4.5 Analisi di sensibilità

Per verificare la consistenza del metodo, sono stati ricalcolati i decessi attribuibili all'eccesso di PM<sub>2.5</sub> rispetto al valore obiettivo di 5 µg/m<sup>3</sup> indicato dal WHO, utilizzando un'altra stima di concentrazione dell'inquinante (prima analisi di sensibilità con i dati di esposizione del modello EPISAT) e un altro tasso di

mortalità che privilegia la specificità temporale invece che quella spaziale (seconda analisi di sensibilità con l'utilizzo dei tassi annuali di distretto piuttosto che i dati quinquennali di ciascun comune).

Tabella 13. Risultati dell'analisi di sensibilità – ristretta al solo Scenario 1

Anno	ANALISI PRINCIPALE			PRIMA ANALISI DI SENSIBILITA'			SECONDA ANALISI DI SENSIBILITA'		
	decessi attribuibili	inf	sup	decessi attribuibili	inf	sup	decessi attribuibili	inf	sup
2010	322	258	351				317	254	345
2011	348	280	379				330	266	359
2012	346	278	376				376	302	409
2013	296	237	324	278	221	304	290	232	317
2014	263	209	288	237	188	260	259	206	283
2015	316	253	345	282	224	308	310	248	338
2016	274	218	300	247	196	271	279	222	305
2017	276	220	302	288	229	314	273	217	298
2018	252	200	276	234	185	256	259	205	283
2019	249	197	273	226	179	248	243	193	266
<b>Totale</b> (1927 dal 2013)	2942	2349	3211	1792	1422	1961	2936	2344	3204

I risultati della prima analisi di sensibilità, condotta utilizzando i dati di concentrazione di PM2.5 del progetto EPISAT (C Badaloni 2018) e dei successivi aggiornamenti (G. C. M Stafoggia 2020) mostrano come, per il distretto di Cremona, il numero dei decessi attribuibili nel periodo 2013-2019 sia simile a quello calcolato con i dati TerrAria, con un ridotto scostamento pari a -7%. La spiegazione di tale limitata differenza risiede nella maggior esposizione stimata dal modello TerrAria rispetto a quello EPISAT. Quest'ultimo stima un valore dell'esposizione media per i domiciliati del distretto di Cremona di 28.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  nel 2013 e 23.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  nel 2019, contro la stima di TerrAria pari a 34.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  nel 2013 e 25.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  nel 2019.

La differenza con la seconda analisi di sensibilità è pressoché nulla (-0.2%), a conferma della validità della metodologia utilizzata.

## 5 DISCUSSIONE

Nel decennio 2010 – 2019, i decessi per cause naturali attribuibili ad una esposizione al PM<sub>2,5</sub> superiore a quella stabilita dalla normativa italiana ed europea sono stati 724, di cui 368 per patologie cardiovascolari, 56 per patologie respiratorie e 59 per tumore al polmone.

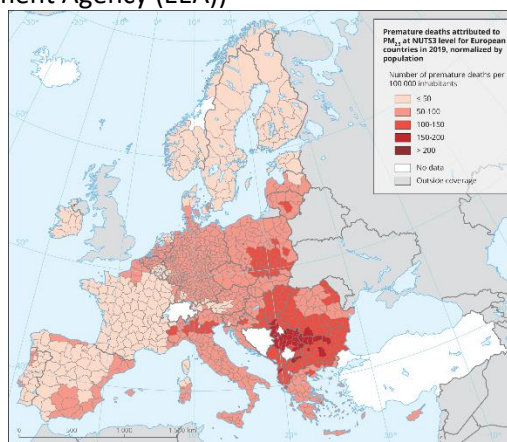
Nello stesso periodo, utilizzando come riferimento il valore obiettivo stabilito dal WHO, i decessi sono stati rispettivamente 2942, 1434, 206 e 198. L'ampia forbice tra le due serie di risultati è determinata dal fatto che il limite di legge italiano ed europeo è 5 superiore al valore sopra il quale sono stati dimostrati effetti sulla salute umana (25 µg/m<sup>3</sup> vs 5 µg/m<sup>3</sup>).

In entrambi gli scenari il trend è decrescente, coerentemente con la diminuzione della concentrazione dell'inquinante e, nel caso dello scenario "normativo", si passa dalle centinaia alle decine o dalle decine all'unità, guadagnando un ordine di grandezza.

Stratificando i dati nei tre sottogruppi spaziali considerati, le analisi mostrano un impatto leggermente inferiore nei comuni limitrofi al capoluogo caratterizzati dalla presenza di insediamenti produttivi mentre la quota di decessi attribuibili al PM<sub>2.5</sub> nella città di Cremona è simile a quella del resto del distretto.

Tra gli studi realizzati in ambito italiano e/o europeo, quello di Komenko et al calcola la percentuale di morti attribuibili al PM<sub>2.5</sub> in 1000 città europee nel 2015, tra cui Milano (9%), Brescia (11%), Bergamo (10%), Vicenza (11%), utilizzando come valore di riferimento 10 µg/m<sup>3</sup> (Khomenko S 2021). Nella zona di Verona e provincia, analogamente a quanto osservato nel distretto di Cremona, si è assistito a un trend decrescente delle concentrazioni di polveri sottili nel periodo che va dal 2009 al 2014. Inoltre, si è stimato che l'11.3% delle malattie respiratorie e cardiovascolari siano attribuibili all'esposizione prolungata al PM<sub>2.5</sub> (Pozzer A 2019). Applicando un controfattuale di 5 µg/m<sup>3</sup> (come nel nostro Scenario 1) si otterrebbero risultati molto simili a quelli che sono stati osservati nel distretto di Cremona, a riprova del fatto che, condividendo le medesime condizioni meteorologiche e geofisiche, le problematiche legate all'inquinamento atmosferico sono sostanzialmente analoghe in tutte le aree della pianura padana (Figura 12).

Figura 12. Decessi prematuri attribuibili al PM<sub>2.5</sub> – livello provinciale, anno 2019 (Fonte: European Commission, European Environment Agency (EEA))



Anche in altre aree europee sono stati svolti studi epidemiologici finalizzati a quantificare l'impatto delle polveri sottili. In Polonia, a Breslavia e nella regione della Slesia, si è stimato che una riduzione di 5 µg/m<sup>3</sup>



nella concentrazione di PM2.5 potrebbe prevenire 30 decessi annui ogni 100.000 abitanti. In uno studio spagnolo, con un controfattuale che presupponeva una riduzione del 51% nella concentrazione di particolato nel 2014, si è stimato che si sarebbe potuto risparmiare fino al 18% dei decessi totali se si fosse verificato lo scenario prospettato (Boldo E 2014).

Una metanalisi, comprendente studi riferiti a numerose aree geografiche, ha proposto dei risultati che si concentrano sui danni prodotti dalle emissioni derivanti esclusivamente dai combustibili fossili; il 16.8% e il 13.6% della mortalità generale sarebbero attribuibili al PM2.5 originato dai combustibili fossili rispettivamente nei soggetti con più di 14 anni e in quelli con meno di 5 anni (Vohra K 2021).

Nel nostro studio si è scelto di utilizzare due valori di riferimento distinti, che hanno originato due scenari differenti. Lo Scenario 1 utilizza come riferimento il valore obiettivo che il WHO (World Health Organization 2021) indica nelle sue ultime raccomandazioni di settembre 2021; si tratta di un valore determinato dall'evidenza scientifica, sopra il quale sono stati documentati significativi effetti avversi sulla salute umana e quindi ha una valenza prettamente sanitaria. Lo Scenario 2 utilizza invece il limite di legge, determinato da una serie di considerazioni certamente sanitarie ma anche di tipo socio-economico, nonché dalla reale possibilità di rispettarlo nelle condizioni attuali.

Il numero di decessi per cause naturali maturato nel decennio 2010-2019 (2942) riconducibile all'inquinamento atmosferico da PM2.5 nello Scenario 1 rappresenta – sulla base delle attuali evidenze – il numero massimo di morti premature che si potrebbero evitare se si riuscisse a raggiungere il valore obiettivo di 5 µg/m<sup>3</sup> raccomandato dal WHO. Nel contesto della Pianura Padana risulta assai difficile raggiungere tale livello in tempi brevi poiché ad oggi i valori sono molto più elevati. Al proposito, WHO nel suo documento definisce anche una serie di obiettivi intermedi per il PM2.5: il secondo obiettivo intermedio corrisponde al livello limite definito dalla normativa Europea e Italiana (25 µg/m<sup>3</sup>), il terzo indica un valore di 15 µg/m<sup>3</sup>, mentre il quarto corrisponde al vecchio valore obiettivo di 10 µg/m<sup>3</sup>, su cui sono basati la quasi totalità degli studi meno recenti di HIA. WHO definisce questi livelli intermedi, meno ambiziosi dell'AQG, proprio per fornire obiettivi raggiungibili ai paesi più inquinati, al fine di motivarli nello sviluppo di politiche di riduzione dell'inquinamento realizzabili in tempi realistici. Progressi gradualmente nel raggiungimento degli obiettivi intermedi sono dunque fattibili ed auspicabili.

La riduzione nelle concentrazioni del PM2.5 è già in atto nel nostro territorio e costituisce un dato consolidato negli ultimi rapporti sulla qualità dell'aria di ARPA Lombardia (ARPA Lombardia 2022). Nel distretto di Cremona, tra il 2010 e il 2019, si è registrata una riduzione dell'esposizione media alle polveri sottili del 24.3%. Di conseguenza, anche il numero di decessi attribuibili all'inquinamento da PM2.5 ha registrato un calo sensibile negli anni. Questi risultati, frutto della riduzione delle esposizioni, appaiono rassicuranti e fanno ben sperare in un futuro in cui le esposizioni agli inquinanti atmosferici saranno ulteriormente ridotte. Movimenti come il Friday for Future (FRIDAYS FOR FUTURE ITALIA 2022) e altre iniziative ambientaliste vanno nell'ottica di coadiuvare le istituzioni nella sensibilizzazione dei cittadini e delle imprese sul tema.

Il presente studio non ha l'obiettivo di individuare in maniera esatta i singoli cittadini deceduti a causa dell'inquinamento ma ha lo scopo piuttosto di fornire una stima a livello aggregato del fenomeno nel contesto territoriale del distretto di Cremona, offrendo indicazioni circa l'ordine di grandezza dell'impatto dell'inquinamento atmosferico da PM2.5, affiancando due scenari differenti, il primo basato su un valore di riferimento ottimale e il secondo più prossimo alle condizioni attuali della pianura padana. A fianco dell'evidenza scientifica che caratterizza le funzioni di rischio utilizzate (World Health Organization 2021), esistono diverse fonti di incertezza che la metodologia usata si porta appresso, purtroppo non direttamente misurabili: il tasso di base, ad esempio, è utilizzato nella formula solo a livello puntuale, senza considerare la precisione della stima che per comuni piccoli potrebbe essere molto instabile; allo stesso modo le esposizioni



al PM2.5 sono utilizzate nella formula solo a livello di stima puntuale, senza una misura dell'incertezza che può derivare, ad esempio, dall'utilizzo di un modello, piuttosto che da una misurazione diretta. Altra criticità della metodologia (per altro consolidata) qui utilizzata è derivata dal fatto che mette in relazione esposizioni ed esiti tra loro contemporanei, mentre è noto che esiste un tempo di induzione che porta l'esposizione ad inquinamento atmosferico ad esprimersi in esiti cronici di malattia e mortalità. Infine, ma questo vale per praticamente tutti gli studi di epidemiologia ambientale, è ragionevole pensare che ben pochi domiciliati rimangano 'stazionari' nella loro cella 50mx50m.

Ciononostante, la robustezza dello studio è dimostrata dai risultati delle analisi di sensibilità che mostrano come l'approccio utilizzato, anche modificando alcune delle assunzioni di base, riproduca delle stime tra loro consistenti. Inoltre, nonostante la forte dipendenza del numero di decessi dal controfattuale scelto, entrambi gli scenari mostrano in modo consistente un trend di diminuzione dei decessi attribuibili.

## 6 CONCLUSIONI

I risultati esposti in questo report richiedono di essere interpretati con cautela, trattandosi di stime ottenute applicando una metodologia d'analisi che, seppur consolidata, per costruzione non tiene in considerazione la totalità dei fattori che possono impattare sulla salute dei cittadini. Le morti attribuibili sono un dato importante e di immediata lettura; tuttavia, non forniscono informazioni su altri aspetti di natura medica legati all'esposizione da PM2.5 che devono ugualmente essere presi in considerazione: la riduzione dei QALY (quality-adjusted life year); l'incidenza di altri tumori maligni; l'incidenza di malattie croniche, cardiovascolari e respiratorie, ma anche neuropatie ed eventi avversi della riproduzione. Inoltre, esiste un potenziale effetto sulla salute anche di altri inquinanti ambientali quali il PM10, l'NO2 e gli idrocarburi policiclici aromatici.

L'Osservatorio Epidemiologico dell'ATS Val Padana è attualmente impegnato a condurre lo Studio Epidemiologico di Cremona in tutti i suoi filoni, come da protocollo stilato. Sono in corso le analisi degli effetti del PM2.5 e di altri inquinanti sull'incidenza di malattie respiratorie pediatriche, di leucemie acute e sugli eventi avversi della riproduzione, che, oltre a stimare l'impatto sui cittadini del nostro territorio, hanno l'ambizione di apportare un proprio contributo di conoscenza in ambito di epidemiologia ambientale all'intera comunità scientifica.

Dal presente documento emerge come una quota compresa tra lo 0.6 e il 13.4% dei decessi (rifacendosi alle stime del 2019) sia attribuibile e quindi prevenibile applicando interventi, sia a livello individuale che a livello di popolazione, che abbiano l'obiettivo di ridurre le emissioni degli inquinanti in atmosfera. Questi costituiscono un rischio evitabile per la salute, provocano un grande onere per la società in termini di morte ed altri esiti sanitari e, conseguentemente, comportano un enorme costo sociale ed economico. Il territorio cremonese appartiene ad un'area, la Pianura Padana, che risulta una delle più inquinate d'Europa, come visibile anche dalle immagini satellitari dell'Agenzia Spaziale Europea. Tanti sono i fattori che influenzano questo eccesso: intenso traffico veicolare, particolare orografia, condizioni climatiche, alta densità abitativa nelle città, grande industrializzazione e presenza di allevamenti intensivi, nonché le polveri del deserto africano che impattano per un numero di giorni stimato del 17% (Pey J 2013). Come per gli altri territori della Pianura Padana, i dati raccolti mostrano come, seppur in proporzioni variabili a seconda della zona esaminata, la maggior parte del particolato derivi dal traffico urbano e dal riscaldamento domestico. È dunque possibile ridurre il numero di decessi tra i residenti di Cremona e dei comuni limitrofi promuovendo politiche di efficientamento energetico degli edifici, nonché di riduzione del riscaldamento domestico, azione già intrapresa per motivi economici a seguito della guerra in Ucraina. Altro intervento di centrale importanza è la riduzione della circolazione dei veicoli più inquinanti, promuovendo una mobilità sostenibile (bicicletta, trasporti pubblici, car sharing). In Italia e all'estero sempre più aziende si stanno dotando di figure professionali come quella del *mobility manager*, adibite al compito di ottimizzare gli spostamenti del personale per migliorarne le tempistiche e l'impatto ambientale. Incentivare il più possibile l'adozione di simili misure è fortemente consigliabile per il benessere della cittadinanza. Anche l'iniziativa del Pedibus, che ha l'obiettivo di accompagnare i bambini a piedi a scuola, sotto la supervisione di un adulto, va nel senso di una mobilità più sostenibile. Sebbene la percentuale di particolato immesso in atmosfera dalle attività industriali sia minoritaria, è possibile intervenire anche in questo ambito al fine di applicare le migliori tecniche disponibili per la riduzione delle emissioni. Occorre inoltre muoversi verso sistemi agricoli e di allevamento più sostenibili: questi settori, spesso considerati "innocui e naturali", costituiscono invece una grande fonte di inquinamento secondario, arrivando a contribuire per circa un quinto ai valori osservati di particolato fine.



Rimangono poi indispensabili le campagne di monitoraggio delle polveri aerodisperse, utili per pianificare ad esempio misure di riduzione del traffico dei veicoli altamente inquinanti, o per raccomandare alla popolazione una minore attività all'aperto nelle giornate di grande concentrazione di polveri sottili. Per quanto riguarda le politiche locali, è infine raccomandabile l'espansione pianificata di spazi verdi che costituiscono una barriera naturale al trasporto delle polveri, nonché la pulizia delle strade nelle aree urbane caratterizzate da un'alta densità di popolazione e scarse precipitazioni.

Nella consapevolezza di come le azioni per ridurre l'inquinamento atmosferico richiedano la cooperazione tra vari settori e parti interessate, un'analisi degli effetti sanitari esercitati dall'inquinamento atmosferico appare fondamentale per aumentare la consapevolezza della popolazione e garantire che la protezione della salute si riveli aspetto determinante nel dibattito politico e nelle scelte amministrative.

## 7 BIBLIOGRAFIA

- ARPA Lombardia. «Rapporto sulla qualità dell'aria - Provincia di Cremona - Anno 2021.» 2022. <https://www.arpalombardia.it/Pages/Aria/Relazioni-e-valutazioni/Relazioni-Annuali-Provinciali.aspx?firstlevel=Relazioni%20e%20valutazioni>.
- Boldo E, Linares C, Aragonés N, Lumbreras J, Borge R, de la Paz D, Pérez-Gómez B, Fernández-Navarro P, García-Pérez J, Pollán M, Ramis R, Moreno T, Karanasiou A, López-Abente G. «Air quality modeling and mortality impact of fine particles reduction policies in Spain.» *Environ Res*, 2014; Jan;128:15-26.
- C Badaloni, G Cattani, F de' Donato, A Gaeta, G Leone, P Michelozzi, Davoli, F Forastiere. «Big data in epidemiologia ambientale.» *Epidemiologia e Prevenzione*, 2018; 42 (1):46-59.
- DEP Lazio, ASL ROMA E, Regione Lazio, ccm, Ministero della Salute. viias. s.d. <https://www.viias.it/> (consultato il giorno 11 23, 2022).
- European Environment Agency. «Health impacts of air pollution in Europe.» Rapporto Annuale, 2021. *FRIDAYS FOR FUTURE ITALIA*. 2022. <https://fridaysforfutureitalia.it/>.
- Giannini S, Baccini M, Randi G, Bonafe G, Lauriola P, Ranzi A. «Estimating deaths attributable to airborne particles: sensitivity of the results to different exposure assessment approaches.» *ENVIRONMENTAL HEALTH*, 2017; Apr;16:13.
- Gruppo Collaborativo EPIAIR2. «Inquinamento Atmosferico e Salute Umana.» *Epidemiologia e Prevenzione*, 2013; 37(4-5) suppl 2: 1-86.
- Health effects institute. *State of global air 2019*. . Boston, 2019.
- IARC. *Outdoor Air Pollution. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans Volume 109*. 2015.
- Istituto Superiore di Sanità. «Rapporti ISTISAN 19/9.» *Linee guida per la valutazione di impatto sanitario (DL.vo 104/2017)*. 2019. [https://www.iss.it/documents/20126/45616/19\\_9\\_web.pdf/4bebb80b-6290-82b8-59d6-0f851ae303cf?t=1581099461900](https://www.iss.it/documents/20126/45616/19_9_web.pdf/4bebb80b-6290-82b8-59d6-0f851ae303cf?t=1581099461900).
- J Chen, G Hoek. «Long-term exposure to PM and all-cause and cause-specific mortality: A systematic review and meta-analysis.» *Environmental International*, 2020; 143 (2020) 105974.
- Khomenko S, Cirach M, Pereira-Barboza E, Mueller N, Barrera-Gómez J, Rojas-Rueda D, de Hoogh K, Hoek G, Nieuwenhuijsen M. «Premature mortality due to air pollution in European cities: a health impact assessment.» *Lancet Planet Health*, 2021; Mar;5(3):e121-e134.
- Kowalski M, Kowalska K, Kowalska M. «Health benefits related to the reduction of PM concentration in ambient air, Silesian Voivodeship, Poland.» *Int J Occup Med Environ Health*, 2016; 29(2):209-17.
- M Stafoggia, G Cattani, C Ancona, A Ranzi. «La valutazione dell'esposizione della popolazione italiana per lo studio della relazione tra inquinamento atmosferico nel periodo 2016-2019 e COVID-19.» *Epidemiologia e Prevenzione*, 2020; 44 (5-6) Suppl 2:161-168.
- M Stafoggia, T Bellander, S Bucci, M Davoli, K Hoogh, F de' Donato, C Gariazzo, A Lyapustin, P Michelozzi, M Renzi, M Scortichini, A Shtein, G Viegi, I Kloog, J Schwartz. «Estimation of daily PM10 and PM2.5 concentrations in Italy, 2013–2015, using a spatiotemporal land-use random-forest model.» *Environment International*, 2019; Volume 124, March 2019, Pages 170-179.
- Pascal M, Corso M, Chanel O, Declercq C, Badaloni C, Cesaroni G, Henschel S, Meister K, Haluza D, Martin-Olmedo P, Medina S, Aphekom group. «Assessing the public health impacts of urban air pollution in 25 European cities: results of the Aphekom project.» *Sci Total Environ*, 2013; 2013 Apr 1;449:390-400.

- Peiwei Xu, Xiaoqing He, Shengliang He, Jinbin Luo, Qiang Chen, Zuoyi Wang, Aihong Wang, Beibei Lu, Lizhi Wu, Yuan Chen, Dandan Xu, Weizhong Chen, Zhijian Chen, Xiaofeng Wang, Xiaoming Lou. «Personal exposure to PM2.5-bound heavy metals associated.» *Environmental Science and Pollution Research*, 2021: 28:6691–6699.
- Pey J, Querol X, Alastuey A, Forastiere F, Stafoggia M. «African dust outbreaks over the Mediterranean Basin during 2001-2011: PM10 concentrations, phenomenology and trends, and its relation with synoptic and mesoscale meteorology.» *Atmos Chem Phys*, 2013: 13:1395-1410.
- Pozzer A, Bacer S, Sappadina S, Predicatori F, Caleffi A. «Long-term concentrations of fine particulate matter and impact on human health in Verona, Italy.» *ATMOSPHERIC POLLUTION RESEARCH*, 2019: Jun;10(3): 731-738.
- Sasha Khomenko, Marta Cirach, Evelise Pereira-Barboza, Natalie Mueller, Jose Barrera-Gómez, David Rojas-Rueda, Kees de Hoogh, Gerard Hoek. *Premature mortality due to air pollution in European cities: a health impact assessment*. 2021.
- Sylvia Medina, Alain Le Tertre, Michael Saklad, on behalf of the Apehis Collaborative Network. «The Apehis project: Air Pollution and Health-A European Information System.» *Air Qual Atmos Health*, 2009: 2009 Dec;2(4):185-198.
- TerrAria s.r.l. «STUDIO MODELLISTICO SULLA QUALITÀ DELL'ARIA DEL TERRITORIO AFFERENTE AL DISTRETTO SOCIO-SANITARIO DI CREMONA.» 2022.
- Turner MC, Andersen ZJ, Baccarelli A, Diver WR, Gapstur SM, Pope CA 3rd, Prada D, Samet J, Thurston G, Cohen A. «Outdoor air pollution and cancer: An overview of the current evidence and public health recommendations.» *CA Cancer J Clin*. 2020 Aug, s.d.: 25:10.3322.
- UTAQ. *Quanto è pulita l'aria che respiri?* s.d. <https://www.utaq.eu/it/>.
- Vohra K, Vodonos A, Schwartz J, Marais EA, Sulprizio MP, Mickley LJ. «Global mortality from outdoor fine particle pollution generated by fossil fuel combustion: Results from GEOS-Chem.» *Environ Res*, 2021: Apr;195:110754.
- World Health Organization. «Air Quality Guidelines.» 2005.
- . «WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide,» 2021. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228>.
- Xiaosan Luo, Zhen Zhao, Jiawen Xie, Jun Luo, Yan Chen, Hongbo Li, Ling Jin. «Pulmonary bioaccessibility of trace metals in PM2.5 from different.» *Chemosphere*, 2019: 218 (2019) 915e921.