

QUALITÀ DELL'ARIA E SALUTE

Una maggiore consapevolezza per una risposta più efficace

La crescente conoscenza sull'integrazione tra ambiente e salute sta plasmando sempre più gli studi sull'impatto che inquinamento atmosferico e cambiamenti climatici possono avere sul benessere umano.

A settembre 2021 è stata pubblicata la revisione (a 15 anni di distanza da quella precedente) delle linee guida dell'Organizzazione mondiale della sanità sulla qualità dell'aria, contenenti le raccomandazioni per contrastare uno dei principali problemi ambientali del nostro tempo, sulla base delle conoscenze scientifiche più aggiornate.

A ottobre 2022 è uscita una proposta di nuova direttiva europea in materia, che ha l'obiettivo sfidante di allinearsi alle linee guida Oms entro il 2050.

In questo numero ospitiamo alcune riflessioni e analisi sulle relazioni tra inquinamento dell'aria e

cambiamento climatico. Riportiamo inoltre le indicazioni di alcuni studi sulla stima del rischio, sugli effetti dell'esposizione a basse concentrazioni di inquinanti atmosferici, sul ruolo delle piante per la mitigazione ambientale. Aumenta la consapevolezza, anche per l'impegno di cittadini e associazioni, sulla necessità di porre maggiore attenzione alla salute e di adottare stili di vita che promuovano il benessere e salvaguardino l'ambiente.

Presentiamo infine i risultati del progetto Pulvirus, frutto della collaborazione tra Enea, Istituto superiore di sanità e Snpa, che ha analizzato la relazione tra inquinamento atmosferico e Covid-19, con studi approfonditi partiti durante il *lockdown* del 2020. Si tratta di un ulteriore elemento di conoscenza che contribuirà a orientare migliori politiche di tutela della salute e del benessere.

LE NUOVE LINEE GUIDA OMS SULLA QUALITÀ DELL'ARIA

GRAZIE AGLI STUDI DELL'IMPATTO DELL'INQUINAMENTO ATMOSFERICO SULLA SALUTE, SI È RESA NECESSARIA UNA REVISIONE DELLE LINEE GUIDA REDATTE DALL'OMS AGGIORNANDO I VALORI RACCOMANDATI PER LA TUTELA DELLA SALUTE UMANA. IL DOCUMENTO RAPPRESENTA UN IMPORTANTE PUNTO DI RIFERIMENTO PER TUTTI GLI STATI MEMBRI DELL'OMS.



Dal 1987 l'Organizzazione mondiale della sanità (Oms) pubblica periodicamente le linee guida sulla qualità dell'aria basate su considerazioni sanitarie, nell'intento di aiutare i governi e la società civile a ridurre l'esposizione umana all'inquinamento atmosferico e i conseguenti effetti negativi sulla salute. La pubblicazione del 2006, dal titolo "Air quality guidelines – global update 2005. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide" [1], ha stabilito dei livelli di riferimento a tutela della salute umana, per i principali inquinanti atmosferici, che hanno portato a un aumento degli sforzi da parte delle autorità e della società civile per ridurre le esposizioni nella popolazione mondiale. A distanza di 15 anni dall'ultima edizione, il 22 settembre 2021 è stato pubblicato un aggiornamento delle Linee guida sulla qualità dell'aria (Aqg 2021) [2], a coronamento di una attività avviata nel 2016.

Le linee guida aggiornate forniscono raccomandazioni relativamente a sei inquinanti atmosferici: il particolato ($PM_{2,5}$ e PM_{10}), l'ozono (O_3), il biossido di azoto (NO_2), il biossido di zolfo (SO_2) e il monossido di carbonio (CO). Nel periodo trascorso tra i due

documenti, la qualità e quantità di studi che documentano l'influenza negativa dell'inquinamento atmosferico sulla salute sono considerevolmente aumentate. Sulla base di queste consolidate evidenze, e dopo una revisione sistematica delle prove accumulate, il documento ha aggiornato i valori raccomandati per la tutela della salute umana.

Le raccomandazioni quantitative sono espresse in concentrazioni a lungo o breve termine dei principali inquinanti atmosferici, il cui superamento è associato a importanti rischi per la salute pubblica. Tali raccomandazioni non costituiscono norme giuridicamente vincolanti, mettono invece a disposizione degli Stati membri dell'Oms uno strumento informativo utile per i legislatori e la politica in generale per orientare azioni finalizzate alla riduzione dei livelli di inquinanti atmosferici e di conseguenza diminuire l'impatto sulla salute della popolazione mondiale.

I livelli raccomandati sono molto stringenti per alcuni inquinanti, con riduzioni considerevoli dei valori limite per l'esposizione a lungo termine agli inquinanti più dannosi per la salute. Le concentrazioni medie annue di $PM_{2,5}$

passano da 10 a 5 $\mu g/m^3$, quelle di NO_2 da 40 a 10 $\mu g/m^3$, e, per la prima volta, viene indicato il valore limite di 60 $\mu g/m^3$ per il picco stagionale estivo di ozono. I metodi utilizzati per definire i livelli hanno seguito un rigoroso processo di revisione sistematica delle evidenze e meta-analisi delle stime quantitative degli effetti per l'aggiornamento dei livelli Aqg, i cui risultati sono stati oggetto di un numero speciale sulla rivista scientifica *Environment International* [3]. Sono stati coinvolti diversi gruppi di esperti e la revisione ha riguardato più di 500 documenti che sono stati classificati in base al contributo conoscitivo per stabilire i nuovi livelli guida. Sono state utilizzate solo le evidenze con un opportuno livello di certezza di un'associazione tra un inquinante e uno specifico esito di salute, seguendo l'approccio *Grading of recommendations assessment, development and evaluation* (Grade) adattato.

Accanto alle raccomandazioni sui livelli dei 6 inquinanti, di particolare interesse sono anche le dichiarazioni di buona pratica dal punto di vista qualitativo per alcune tipologie del particolato, per cui non sono ancora disponibili dati sufficienti per fornire raccomandazioni

per i livelli Aqg. In particolare il documento si sofferma su *black carbon*/ carbonio elementare (BC/EC), particelle ultrafini (Ufp) e particelle derivanti da tempeste di polvere e sabbia (Sds) (tabella 3); di fatto viene evidenziata la necessità di proseguire con la ricerca sugli effetti avversi legati a questi inquinanti, esigenza che la regione Emilia-Romagna ha da tempo accolto, prima col progetto Supersito e ora con l'avvio del nuovo progetto regionale "Aria e salute" (v. box a pag. 9).

Il documento non include raccomandazioni sulle miscele di inquinanti o sugli effetti combinati delle esposizioni ad essi (le evidenze sono riconducibili ai singoli inquinanti), né raccomandazioni specifiche sulle politiche e gli interventi (troppo legati allo specifico contesto di applicazione). Se da un lato il raggiungimento dei livelli Aqg dovrebbe rappresentare l'obiettivo finale degli interventi volti alla salvaguardia della salute umana, dall'altro questo rappresenta un obiettivo arduo per molti Paesi e aree geografiche. Basti pensare che il 90% della popolazione mondiale nel 2019 ha vissuto in aree dove non sono stati rispettati nemmeno i limiti più alti previsti dalle linee guida precedenti.

TAB. 1
NUOVI LIVELLI AQQ

Livelli raccomandati e obiettivi intermedi.

TAB. 2
LIVELLI INVARIATI

Livelli individuati nelle linee guida sulla qualità dell'aria per il biossido di azoto, l'anidride solforosa e il monossido di carbonio (tempi di media brevi) che non sono stati rivalutati e rimangono validi.

Inquinante	Tempo di media	Obiettivo intermedio				Livello nuove linee guida Oms
		1	2	3	4	
PM _{2.5} (µg/m ³)	Annuale	35	25	15	10	5
	24 ore ^a	75	50	37,5	25	15
PM ₁₀ (µg/m ³)	Annuale	70	50	30	20	15
	24 ore ^a	150	100	75	50	45
O ₃ (µg/m ³)	Picco stagionale ^b	100	70	-	-	60
	8 ore ^a	160	120	-	-	100
NO ₂ (µg/m ³)	Annuale	40	30	20	-	10
	24 ore ^a	120	50	-	-	25
SO ₂ (µg/m ³)	24 ore ^a	125	50	-	-	40
CO (mg/m ³)	24 ore ^a	7	-	-	-	4

^a 99° percentile (ovvero 3-4 giorni di superamento all'anno)

^b Media della concentrazione media giornaliera massima su 8 ore di O₃ nei sei mesi consecutivi con la più alta concentrazione media mobile semestrale di O₃

Inquinante	Tempo di media	Livelli nuove linee guida Oms che rimangono validi
NO ₂	1 ora	200 µg/m ³
SO ₂	10 minuti	500 µg/m ³
CO	8 ore	10 mg/m ³
	1 ora	35 mg/m ³
	15 minuti	100 mg/m ³

NUOVO SERVIZIO DI SNPA

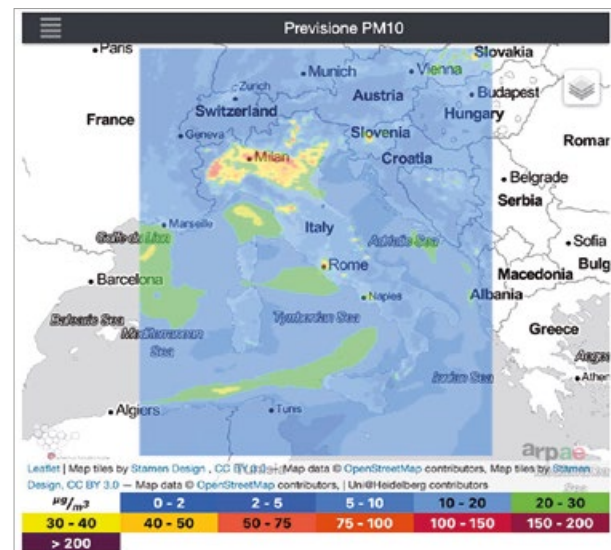
DISPONIBILI LE PREVISIONI SULLA QUALITÀ DELL'ARIA SU TRE GIORNI IN TUTTA ITALIA

Un nuovo servizio di previsione della qualità dell'aria è disponibile sul sito web del Sistema nazionale per la protezione dell'ambiente (Snpa, www.snpaambiente.it): si tratta delle mappe di previsione per diversi inquinanti sull'intero territorio italiano.

Il sistema di previsione, operato da Arpa Emilia-Romagna, produce quotidianamente previsioni a scala nazionale per il giorno stesso e per i 2 successivi. In particolare, sono disponibili le mappe orarie di concentrazione di PM₁₀, PM_{2.5}, ozono (O₃), biossido di azoto (NO₂) e *dust* (piccole particelle solide naturali, prevalentemente di origine sahariana).

Il servizio è basato sulla suite modellistica kAiros (*Air Operational System*), che utilizza i dati del programma europeo Copernicus. La suite modellistica si basa sulle nuove versioni del modello di trasporto chimico Chimere e del modello meteorologico Cosmo. In questa aggiornata catena di simulazioni il dominio a scala nazionale si innesta su un dominio a scala europea. Quest'ultimo utilizza come condizioni di inquinanti al bordo del dominio i dati forniti dal modello globale IFS di Copernicus. Le emissioni per il dominio europeo sono prodotte da Cams, mentre sul territorio nazionale le emissioni si basano sull'inventario Ispra. Questa articolata e complessa suite modellistica è stata sviluppata nell'ambito di un progetto nazionale Snpa ed è

descritta in dettaglio nell'articolo "Operational forecast and daily assessment of the air quality in Italy: a Copernicus-Cams downstream service", *Atmosphere*, 2020, 11(5),447 (<https://doi.org/10.3390/atmos11050447>).



All'interno del documento sono stati introdotti, assieme ai valori limite, degli obiettivi intermedi, che dovrebbero essere utilizzati come indicatore dei progressivi e graduali miglioramenti della qualità dell'aria da perseguire.

I destinatari dichiarati delle Aqg sono: i decisori ed esperti tecnici che operano a livello locale, nazionale e internazionale per la stesura e attuazione di regolamenti e norme per la qualità dell'aria, il controllo dell'inquinamento atmosferico, l'urbanistica e altri ambiti di intervento; le autorità nazionali e locali, le organizzazioni non governative, le organizzazioni della società civile, gli *stakeholder* industriali e le organizzazioni ambientali; gli accademici, i professionisti della valutazione dell'impatto sulla salute e l'ambiente e ricercatori nel campo dell'inquinamento atmosferico.

Le Aqg, sostenute da 100 società scientifiche internazionali (di cui 9 italiane), ci dicono che tutti beneficeranno della riduzione dell'inquinamento atmosferico; tutti dovrebbero quindi contribuire alla sua riduzione, dai cittadini ai decisori. L'Oms fornisce da un lato il *rationale* per motivare da subito l'adozione di politiche efficaci di qualità dell'aria, dall'altro gli strumenti per una valutazione quantitativa dei benefici sanitari ed economici derivanti dalla riduzione delle esposizioni ambientali. La stessa organizzazione fornisce le stime di impatto economico dell'inquinamento atmosferico. Abbiamo quindi una direzione concreta da seguire, e una serie di strumenti per valutare l'efficacia di misure di contenimento dell'inquinamento dell'aria, sia in termini di salute della popolazione sia di benefici economici per la società.

Gli sforzi per migliorare la qualità dell'aria includono anche misure, come la mobilità attiva, che comportano miglioramenti nello stato di salute della popolazione. Inoltre, gli effetti della riduzione dell'inquinamento dell'aria comportano benefici anche sulla mitigazione del cambiamento climatico. Promuovendo la sostenibilità ambientale e la tutela della salute pubblica, adottiamo quindi l'approccio vincente dei co-benefici, ovvero l'adozione di misure che possono portare vantaggi in settori diversi.

L'Oms stima che circa 7 milioni di morti premature ogni anno siano attribuibili all'effetto congiunto dell'inquinamento dell'aria ambiente *outdoor* e *indoor*, con

un carico sopportato soprattutto dai paesi a basso e medio reddito. In Italia si calcolano circa 50 mila morti ogni anno secondo la Agenzia europea per l'ambiente, con un costo economico rilevante. Dunque, un impegno costante, in risposta alle linee guida Oms, di implementazione di ambiziose e urgenti misure di riduzione dell'inquinamento dell'aria porterà enormi e immediati

miglioramenti per la salute e la qualità della vita di tutti i cittadini, nonché una riduzione delle disuguaglianze e dei costi sanitari sostenuti dalla società per il trattamento delle malattie legate all'inquinamento atmosferico.

Andrea Ranzi

Arpa Emilia-Romagna

DICHIARAZIONI DI BUONA PRATICA

BC/EC (black carbon/ carbonio elementare)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Effettuare misurazioni sistematiche del particolato carbonioso e/o del carbonio elementare. Tali misurazioni non devono sostituire o ridurre il monitoraggio esistente di quegli inquinanti per i quali esistono attualmente delle linee guida. 2. Produrre inventari delle emissioni, valutazioni dell'esposizione e ripartizione delle fonti per il BC/EC. 3. Adottare misure atte a ridurre le emissioni di BC/EC all'interno della giurisdizione competente e, se del caso, elaborare norme (o obiettivi) per le concentrazioni ambientali di BC/EC.
Ufp (particelle ultrafini)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Quantificare le Ufp ambientali in termini di Cnp (concentrazione del numero di particelle) per un intervallo di dimensioni con un limite inferiore di ≤ 10 nm e nessuna restrizione sul limite superiore. 2. Espandere la strategia comune di monitoraggio della qualità dell'aria integrando il monitoraggio delle Ufp nel monitoraggio della qualità dell'aria esistente. Includere misurazioni in tempo reale della Cnp separate dimensionalmente in stazioni di monitoraggio dell'aria selezionate in aggiunta e simultaneamente ad altri inquinanti aerodispersi e ad altre caratteristiche del PM. 3. Distinguere tra Cnp bassa e alta al fine di orientare le decisioni sulle priorità del controllo delle emissioni delle fonti delle Ufp. Una Cnp bassa può essere considerata pari a < 1.000 particelle/cm³ (media su 24 ore). Una Cnp alta può essere considerata pari a > 10.000 particelle/cm³ (media su 24 ore) o 20.000 particelle/cm³ (media su 1 ora). 4. Utilizzare la scienza e la tecnologia emergenti per far progredire gli approcci alla valutazione dell'esposizione alle Ufp al fine di applicarle agli studi epidemiologici e alla gestione delle Ufp.
Sds (particelle derivanti da tempeste di polvere e sabbia)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mantenere programmi adeguati di gestione della qualità dell'aria e di previsione delle polveri. Dovranno includere sistemi di allarme rapido e piani d'azione a breve termine contro l'inquinamento dell'aria al fine di avvertire la popolazione di rimanere in casa e adottare misure personali atte a minimizzare l'esposizione e i conseguenti effetti sulla salute a breve termine durante gli incidenti con Sds con alti livelli di PM. 2. Mantenere adeguati programmi di monitoraggio della qualità dell'aria e procedure di segnalazione, comprese le attività di ripartizione delle fonti, per quantificare e caratterizzare la composizione del PM e il contributo percentuale delle Sds alla concentrazione ambientale complessiva del PM. Ciò permetterà alle autorità locali di mirare alla riduzione delle emissioni locali di PM da fonti antropogeniche e naturali. 3. Condurre studi epidemiologici, compresi quelli che riguardano gli effetti a lungo termine delle Sds, e attività di ricerca volte a comprendere meglio la tossicità dei diversi tipi di PM. Tali studi sono particolarmente raccomandati per le aree in cui sussiste carenza di conoscenze e di informazioni sufficienti sul rischio per la salute dovuto alla frequente esposizione alle Sds. 4. Implementare il controllo dell'erosione del vento attraverso l'espansione attentamente pianificata degli spazi verdi che tiene conto delle condizioni contestuali dell'ecosistema e vi si adatta. Ciò presuppone una collaborazione regionale tra i paesi delle aree geografiche colpite dalle Sds al fine di lottare contro la desertificazione e gestire attentamente le aree verdi. 5. Pulire le strade in quelle aree urbane caratterizzate da una densità di popolazione relativamente alta e basse precipitazioni al fine di prevenire la risospensione da parte del traffico stradale quale misura a breve termine dopo intensi episodi di SDS con alti tassi di deposizione di polvere.

TAB. 3 BUONA PRATICA

Riassunto delle dichiarazioni di buona pratica per le tipologie del particolato per cui non sono ancora disponibili dati sufficienti per fornire raccomandazioni per i livelli Aqg: black carbon/carbonio elementare, particelle ultrafini e particelle derivanti da tempeste di polvere e sabbia.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

[1] <https://apps.who.int/iris/handle/10665/107823>

[2] <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329>

[3] Whaley P., Nieuwenhuijsen M., Burns J. (eds.), 2021, "Update of the WHO global air quality guidelines: systematic reviews", *Environ Int.*, 142 (Special issue), www.sciencedirect.com/journal/environment-international/special-issue/10MTC4W8FXJ

EMILIA-ROMAGNA

ARIA E SALUTE, AL VIA UN NUOVO PROGETTO NELL'AMBITO DEL PIANO REGIONALE DI PREVENZIONE DELL'EMILIA-ROMAGNA

La pianura Padana è uno dei luoghi in Europa dove l'inquinamento atmosferico e le relative conseguenze sulla salute sono più importanti. La Regione Emilia-Romagna ha la disponibilità, da un lato, di un sistema di monitoraggio dell'inquinamento atmosferico molto accurato sia in termini di definizione spazio-temporale sia di caratterizzazione degli inquinanti, dall'altro di sistemi informativi sanitari completi e interoperabili, a loro volta integrati con fonti di dati collegate al Programma statistico nazionale.

Tutto ciò mette l'Emilia-Romagna in una condizione estremamente favorevole per studiare gli effetti dell'inquinamento atmosferico sulla salute. A questo si aggiunge la recente pandemia Covid-19, che ha colpito in modo particolare la pianura Padana, con conseguenti misure di *lockdown* che hanno creato, in particolare nella prima fase della pandemia, condizioni di inquinamento atmosferico peculiari, tali da consentire un'adeguata valutazione dell'impatto delle attività antropiche sulla qualità dell'aria.

Lo scorso aprile la Giunta della Regione Emilia-Romagna ha approvato un progetto denominato "Aria e salute", per la realizzazione di uno studio su qualità dell'aria e salute in regione. Il progetto, di durata quadriennale e coordinato da Arpa Emilia-Romagna, coinvolge operatori dell'Agenzia ambientale e del Servizio sanitario regionale. Prevede una serie di attività con i seguenti obiettivi:

- monitorare l'effetto dell'esposizione acuta e cronica all'inquinamento atmosferico sugli esiti di salute a breve e lungo termine, esiti neonatali e riproduttivi
- valutare le condizioni di rischio specifiche degli ambienti *indoor*
- predisporre gli strumenti per le stime di impatto sulla salute sugli scenari di qualità dell'aria come definiti nella pianificazione di settore
- valutare le politiche di riduzione dell'inquinamento atmosferico, attraverso stime di impatto sugli scenari di qualità dell'aria come definiti nella pianificazione di settore
- studiare le interazioni fra inquinamento atmosferico e Covid-19 in termini di impatto sulla salute: esposizione e gravità del decorso dell'infezione e relativi meccanismi;

possibile interazione tra patologie pre-esistenti e infezione da Sars-cov-2 e relativa gravità della malattia Covid-19.

Verrà creata una piattaforma per la raccolta e l'aggregazione dei dati sociodemografici, ambientali e sanitari che sia funzionale allo sviluppo degli obiettivi dichiarati.

Un'attenzione particolare sarà dedicata allo studio di esiti di salute per i quali non vi sono ancora evidenze consolidate nella letteratura, ma che sono associati a inquinanti non convenzionali (ad esempio componenti del particolato e particelle ultrafini). Verranno definite le modalità di valutazione dell'esposizione e della definizione degli esiti di salute (ad esempio malattie metaboliche).

Queste attività rispondono a uno degli obiettivi del Piano nazionale della prevenzione (Pnp), nello specifico il programma predefinito "Ambiente, clima e salute", collegato al macro-obiettivo 5, che richiede che ogni Regione sviluppi, tramite accordi interistituzionali, una sorveglianza epidemiologica della popolazione residente nelle aree interessate da elevate criticità e pressioni ambientali.

In questa prospettiva, nel Programma predefinito 9 del Piano regionale della prevenzione dell'Emilia-Romagna, è descritta l'azione "Sorveglianza epidemiologica e studio degli effetti dell'inquinamento atmosferico sulla salute", di cui il progetto "Aria e salute" rappresenta il primo step.

Le attività di progetto si avvalgono del patrimonio informativo e di conoscenze maturato nel corso di precedenti progetti, quali Supersito, Life Prepair, gli studi longitudinali SLE-R e SLEm.

I risultati del progetto, cadenzati secondo un cronoprogramma delle varie attività, verranno periodicamente presentati a un comitato tecnico-scientifico di progetto, coordinato dalla struttura tematica Ambiente prevenzione e salute di Arpa Emilia-Romagna, che vede la collaborazione dei seguenti enti: Regione Emilia-Romagna, Servizio tutela e risanamento acqua aria agenti fisici e Servizio Prevenzione collettiva e Sanità pubblica; Agenzia sanitaria e sociale regionale; Arpa Emilia-Romagna; Servizio di Epidemiologia della Ausl di Reggio Emilia.



LE LINEE GUIDA OMS SULLA QUALITÀ DELL'ARIA

LE RACCOMANDAZIONI OMS PER CONTRASTARE UNO DEI PRINCIPALI PROBLEMI AMBIENTALI E SANITARI DEL MONDO

“L'aria pulita è fondamentale per la salute. Rispetto a 15 anni fa, quando è stata pubblicata la precedente edizione di queste linee guida, oggi esistono prove molto più solide che dimostrano come l'inquinamento atmosferico influisca su diversi aspetti della salute anche a concentrazioni più basse di quelle a cui si faceva riferimento prima. Ma ecco cosa non è cambiato: si stima che ogni anno l'esposizione all'inquinamento atmosferico causi ancora milioni di morti e la perdita di anni di vita in buona salute. Il carico di malattie attribuibile all'inquinamento atmosferico è ora stimato alla pari di altri importanti rischi per la salute a livello globale, come le diete non salutari e il fumo di tabacco”.
 Con queste parole si apre la presentazione delle nuove linee guida Oms sulla qualità dell'aria (*Who global air quality guidelines*, www.who.int/publications/i/item/9789240034228), pubblicate il 22 settembre 2021.

L'aggiornamento precedente delle linee guida risaliva al 2005. Nel frattempo le conoscenze e le valutazioni sull'impatto dell'inquinamento dell'aria sulla salute si sono molto approfondite e hanno permesso di valutare meglio il rischio dell'esposizione anche a livelli relativamente bassi di inquinanti.

Le nuove linee guida Oms contengono raccomandazioni relativamente ai livelli di 6 inquinanti, considerati quelli che hanno il maggiore impatto sulla



THE WHO AIR QUALITY GUIDELINES (AQGs) SET GOALS TO REDUCE AIR POLLUTION

They set out to achieve this by:

- 1 INTERIM TARGETS HELP COUNTRIES TO CONTINUOUSLY IMPROVE AIR QUALITY
- 2 RECOMMENDING AQG LEVELS TO PROTECT PEOPLE FROM AIR POLLUTION

CURRENT LEVELS, INTERIM TARGETS, RECOMMENDED AQG LEVELS

CLEAN AIR FOR HEALTH #AirPollution World Health Organization

AIR POLLUTION - THE SILENT KILLER

Air pollution is a major environmental risk to health. By reducing air pollution levels, countries can reduce:

Every year, around **7 MILLION DEATHS** are due to exposure from both outdoor and household air pollution.

Stroke, Heart disease, Lung cancer, chronic obstructive pulmonary disease, pneumonia and asthma

REGIONAL ESTIMATES ACCORDING TO WHO REGIONAL GROUPINGS:

- More than 2 million in South-East Asia Region
- More than 2 million in Western Pacific Region
- 1 million in Africa Region
- 500 000 deaths in Eastern Mediterranean Region
- 500 000 deaths in European Region
- More than 300 000 in the Region of the Americas

WHO Air Quality Guidelines set goals to protect millions of lives from air pollution.

CLEAN AIR FOR HEALTH #AirPollution World Health Organization

SOURCES OF AIR POLLUTION ARE A GLOBAL CHALLENGE WE MUST TACKLE TOGETHER

INDUSTRY & ENERGY SUPPLY, TRANSPORT, WASTE MANAGEMENT, AGRICULTURAL PRACTICES, HOUSEHOLD ENERGY, DUST

WHO Air Quality Guidelines set goals to protect millions of lives from air pollution.

CLEAN AIR FOR HEALTH #AirPollution World Health Organization

REDUCING AIR POLLUTION AND MITIGATING CLIMATE CHANGE TOGETHER HELP TO PROTECT OUR HEALTH

REDUCE CLIMATE CHANGE, Mitigating emissions, REDUCE AIR POLLUTION, PROTECT HEALTH

WHO Air Quality Guidelines set goals to protect millions of lives from air pollution.

CLEAN AIR FOR HEALTH #AirPollution World Health Organization

QUALITÀ DELL'ARIA E SALUTE

salute: PM₁₀, PM_{2,5}, ozono, biossido di azoto, biossido di zolfo e monossido di carbonio.

Inoltre le linee guida contengono buone pratiche per la gestione di alcuni tipi di particolato (black carbon/carbonio elementale, particolato ultrafine, particolato derivante da tempeste di sabbia e di polvere) per i quali al momento non ci sono ancora prove quantitativamente sufficienti per fissare livelli obiettivo.

I contenuti si basano su 6 revisioni sistematiche che complessivamente hanno preso in considerazione oltre 500 pubblicazioni scientifiche. La redazione è stata curata da un gruppo di lavoro guidato dal Centro europeo per l'ambiente e la salute dell'Oms.

L'obiettivo delle linee guida è di raggiungere i livelli raccomandati in tutti i paesi del mondo. Questo dovrà ovviamente confrontarsi con le difficoltà pratiche, sociali ed economiche per il raggiungimento di obiettivi al momento ben lontani (il 99% della popolazione mondiale nel 2019 viveva in luoghi in cui i valori guida indicati non erano rispettati).

L'Oms ha fissato degli obiettivi intermedi per facilitare un miglioramento graduale e continuo e arrivare gradualmente ai livelli raccomandati, soprattutto nei Paesi in cui si registrano i livelli più elevati di inquinamento e in cui vive la maggioranza della popolazione. L'Organizzazione mondiale della sanità stima che circa l'80% delle morti correlate al PM_{2,5} nel mondo potrebbe essere evitata se i livelli si riducessero a quelli indicati nelle nuove linee guida.

Le linee guida OMS non sono giuridicamente vincolanti, ma sono proposte come strumenti fondati sull'evidenza scientifica messi a disposizione dei decisori politici per indirizzare la legislazione e l'adozione di politiche di risanamento.

A livello europeo, ad esempio, la nuova proposta di direttiva sulla qualità dell'aria proposta dalla Commissione europea prende come riferimento proprio queste linee guida.

In queste pagine pubblichiamo le infografiche realizzate per accompagnare la pubblicazione delle linee guida, che riassumono sinteticamente le motivazioni, gli obiettivi e i valori guida proposti nella pubblicazione.



LA NUOVA PROPOSTA DI DIRETTIVA EUROPEA SULL'ARIA

RECENTEMENTE LA COMMISSIONE EUROPEA HA PRESENTATO UNA PROPOSTA PER AGGIORNARE LE DIRETTIVE VIGENTI, CON UNA RIDUZIONE PROGRESSIVA DEGLI INQUINANTI NEL TEMPO, FINO AD ARRIVARE AL 2050 ALL'ALLINEAMENTO CON LE LINEE GUIDA OMS. I VALORI PROPOSTI SONO MOLTO SFIDANTI, SOPRATTUTTO PER AREE COME IL BACINO PADANO.

Lo scorso 26 ottobre è stata pubblicata dalla Commissione europea una proposta di nuova direttiva sulla qualità dell'aria dal titolo: "Proposal for a directive of the European Parliament and of the Council on ambient air quality and cleaner air for Europe"¹.

Con questa proposta prende avvio il processo che porterà, verosimilmente nell'arco di un paio di anni, alla pubblicazione della nuova direttiva sulla qualità dell'aria, che sostituirà e unificherà quelle attualmente in vigore (la direttiva 2008/50/EC e la 2004/107/EC) determinando, in una prospettiva di medio-lungo termine, i nuovi criteri comuni per la valutazione e la gestione della qualità dell'aria in Europa.

La proposta di nuova direttiva, rappresenta un tassello fondamentale nel percorso avviato nel 2013 con il programma "Aria pulita per l'Europa" che aveva già anticipato la necessità di fissare nuovi obiettivi per il 2020 e il 2030, mantenendo ferma la necessità di conseguire in tutta l'Unione la piena conformità con le norme di qualità dell'aria già vigenti il più presto possibile. Nel dicembre 2019, nell'ambito dello *European green deal*², la Commissione ha confermato l'impegno a migliorare ulteriormente la qualità dell'aria e ad allineare maggiormente gli standard di qualità dell'aria dell'Ue alle raccomandazioni dell'Organizzazione mondiale della sanità (Oms). L'ambizione della proposta di direttiva è quella di contribuire alla realizzazione del "Piano d'azione per l'inquinamento zero"³: ridurre entro il 2050 l'inquinamento atmosferico a livelli non più considerati dannosi per la salute umana e gli ecosistemi naturali.

La realizzazione degli obiettivi a lungo termine passa necessariamente per la realizzazione di quelli intermedi: questi prevedono la riduzione entro il 2030 di



almeno il 55% (rispetto al 2005) degli impatti sulla salute dell'inquinamento atmosferico (quantificati in termini di riduzione dei decessi prematuri attribuibili all'esposizione) e del 25% di quelli sugli ecosistemi, obiettivi che potranno essere perseguiti solo se si ridurranno ancora significativamente le emissioni dei principali inquinanti.

Una riduzione progressiva nel tempo

La strategia che viene proposta prevede un approccio graduale verso la definizione degli attuali e futuri standard di qualità dell'aria dell'Ue, stabilendo standard intermedi per l'anno 2030 e sviluppando una prospettiva che favorisca la possibilità di un pieno allineamento con le linee guida dell'Oms sulla qualità dell'aria entro il 2050. Nelle sue valutazioni, aggiornate nel 2021⁴, l'Oms non stabilisce un valore al di sotto del quale non vi sia rischio, ma individua come limite inferiore di esposizione dei valori definiti "air quality guideline level", termine che può essere inteso come "livello raccomandato a cui tendere": è il livello più basso per il quale è stato osservato

un incremento della mortalità totale, di quella per cause cardiopolmonari, e di quella per cancro del polmone, con una confidenza migliore del 95%. L'Oms ha anche definito degli *interim target*, cioè dei livelli più alti da considerare nelle aree particolarmente inquinate, come obiettivi da raggiungere in step successivi, attraverso l'implementazione di politiche di risanamento della qualità dell'aria.

La proposta di direttiva introduce novità rilevanti in tutto l'articolato, che sarebbe impossibile analizzare nel dettaglio. Ci soffermeremo quindi su alcuni degli aspetti salienti.

Gli standard di qualità dell'aria proposti dalla Commissione europea fanno riferimento alle raccomandazioni dell'Oms del 2021, pur rimanendo, in particolare per alcuni parametri, parzialmente superiori agli *air quality guideline level*.

Inoltre, vengono introdotti valori limite per tutti gli inquinanti atmosferici attualmente soggetti a valori obiettivo (arsenico, nichel, cadmio e benzo(a)pirene contenuti nella frazione PM₁₀ del particolato atmosferico), a eccezione dell'ozono⁵.

Viene introdotta una nuova disposizione che impone una riduzione progressiva nel tempo dell'esposizione media⁶ della popolazione al particolato fine (PM_{2,5}) e al biossido di azoto (NO₂), stimata a livello delle unità territoriali Nuts 1⁷, verso i livelli raccomandati dall'Oms. Tale riduzione dovrà essere pari entro il 2030, in ciascun livello territoriale, al 25% rispetto al valore dell'indicatore di esposizione medio calcolato nel 2020. Sono introdotte anche delle soglie di allerta per l'esposizione a breve termine a livelli particolarmente alti di PM₁₀ e PM_{2,5}, in aggiunta alle soglie di allerta già esistenti per il biossido di azoto (NO₂) e il biossido di zolfo (SO₂).

Supersiti e piani di risanamento dell'aria

Per quanto riguarda la valutazione della qualità dell'aria, viene richiesto agli Stati membri di istituire un certo numero di "supersiti" ovvero dei punti di misura dove, accanto agli inquinanti monitorati di routine, si eseguano determinazioni della composizione chimica del particolato, della distribuzione dimensionale e della concentrazione in numero delle particelle ultrafini, del *black carbon*, del potenziale ossidativo del materiale particolato, della concentrazione di ammoniaca, di numerosi idrocarburi policiclici aromatici. L'introduzione della misura strutturata di nuovi parametri appare particolarmente rilevante sia per comprendere meglio le caratteristiche degli inquinanti e indirizzare le azioni di risanamento, sia per approfondire gli studi relativi agli impatti sanitari delle diverse sostanze presenti in atmosfera.

Importanti novità sono previste anche per i piani di risanamento della qualità dell'aria.

L'obiettivo è di mettere in campo al più presto le misure necessarie per ridurre l'inquinamento atmosferico al di sotto dei limiti proposti, o almeno a ridurre al minimo il periodo di superamento, con la prospettiva di raggiungere il loro rispetto su tutto il territorio entro il 2030. I piani dovranno inoltre essere monitorati costantemente per verificarne l'effettiva implementazione e aggiornati regolarmente qualora per tre anni consecutivi persista il superamento dei limiti.

La proposta di direttiva prevede la possibilità di posticipare il termine per il

raggiungimento dei limiti nel caso in cui, in una determinata zona o agglomerato, le caratteristiche di dispersione sito-specifiche, le condizioni orografiche al contorno, le condizioni climatiche sfavorevoli o i contributi transfrontalieri, rendano oggettivamente più difficile, a parità di riduzione delle emissioni, il rispetto dei nuovi limiti. Ogni Stato membro potrà posticipare tali termini una volta per un massimo di 5 anni per quella particolare zona o agglomerato, a condizione che vengano dimostrate le oggettive condizioni che determinano tale situazione e siano comunque stati implementati i piani di risanamento. Al proposito si ritiene utile sottolineare come i valori proposti pongano sfide importanti per la gran parte delle aree nazionali, particolarmente ambiziose per alcuni territori, quali quelli del bacino padano.

Si rileva, ad esempio, che secondo uno studio condotto nell'ambito del progetto Life Prepair "Report Life Prepair: Evaluation of emission reduction scenarios in Po Valley"⁸, riducendo nel

bacino padano le emissioni di PM₁₀, PM_{2,5}, ossidi di azoto, ossidi di zolfo, ammoniaca, composti organici volatili dell'80% rispetto ai valori del 2017, comunque in circa il 70% delle stazioni la concentrazione media annua di PM_{2,5} non rispetterebbe il limite proposto per il 2030 di 10 µg/m³.

I piani per la qualità dell'aria dovranno anche analizzare il rischio di superamento delle soglie di allerta e prevedere una maggiore integrazione dei piani d'azione a breve termine – necessari per far fronte al superamento delle soglie di allerta – con i piani d'azione a più lungo termine. Gli Stati membri dovranno curare anche particolarmente l'informazione al pubblico; ad esempio è richiesto che sia implementato un indice di qualità dell'aria omogeneo su scala nazionale relativo al biossido di zolfo, al biossido di azoto, al particolato (PM₁₀ e PM_{2,5}) e all'ozono e che siano diffusi i relativi livelli tramite una fonte pubblica, analogamente a quanto già avviene a livello europeo.

	Valori limite attualmente vigenti (Dlgs 155/2010)	Proposta di direttiva della Commissione europea	Valore di riferimento nelle linee guida Oms
PM₁₀			
Valore sulle 24 ore	50 µg/m ³ da non superare più di 35 volte nell'anno	45 µg/m ³ da non superare più di 18 volte nell'anno	45 µg/m ³ (99° percentile delle medie giornaliere nell'anno)
Media annuale	40 µg/m ³	20 µg/m ³	15 µg/m ³
soglia di allarme	-	90 µg/m ³	-
PM_{2,5}			
Valore sulle 24 ore	-	25 µg/m ³ da non superare più di 18 volte nell'anno	15 µg/m ³ (99° percentile delle medie giornaliere nell'anno)
Media annuale	25 µg/m ³	10 µg/m ³	5 µg/m ³
soglia di allarme	-	50 µg/m ³	-
NO₂			
Valore orario	200 µg/m ³ da non superare più di 18 volte nell'anno	200 µg/m ³ da non superare più di 1 volta nell'anno	200 µg/m ³ da non superare mai
Valore sulle 24 ore	-	50 µg/m ³ da non superare più di 18 volte nell'anno	25 µg/m ³ (99° percentile delle medie giornaliere nell'anno)
Media annuale	40 µg/m ³	20 µg/m ³	10 µg/m ³
soglia di allarme	400 µg/m ³ (tre ore consecutive)	400 µg/m ³ (tre ore consecutive)	-

TAB. 1 VALORI LIMITE

Confronto tra i valori limite di alcuni inquinanti attualmente vigenti, quelli contenuti nella proposta di nuova direttiva europea e quelli indicati nelle linee guida Oms.

La direttiva nell'ambito delle politiche su inquinamento e clima

Dati i legami tra la riduzione dell'inquinamento atmosferico e la decarbonizzazione, l'obiettivo a lungo termine di raggiungere l'ambizione di "inquinamento zero" dovrebbe essere perseguito di pari passo con la riduzione delle emissioni di gas a effetto serra.

La proposta di nuova direttiva si inserisce effettivamente nel solco delle iniziative per contrastare in modo integrato l'inquinamento atmosferico e i cambiamenti climatici. Sotto questo punto di vista sarà importante individuare strategie sinergiche e risorse su scala europea, nazionale, regionale e locale e accelerare l'implementazione delle politiche che influenzano settori chiave quali i trasporti, l'industria, l'energia e l'agricoltura. Alcune di queste fanno parte di recenti iniziative intraprese nell'ambito del *Green deal* europeo, come il già citato piano d'azione per l'inquinamento zero, la legge europea sul clima⁹, il pacchetto Fit for 55¹⁰ con iniziative sull'efficienza energetica e le energie rinnovabili, la strategia sul metano¹¹, la strategia per la mobilità sostenibile¹², il relativo nuovo quadro per la mobilità urbana¹³, la strategia per la biodiversità¹⁴, l'iniziativa "Dal produttore al consumatore" e l'adozione e l'attuazione della proposta di nuovo standard Euro 7¹⁵ da cui si

aspettano riduzioni significative delle emissioni inquinanti di automobili, furgoni, autocarri e autobus.

Giorgio Cattani¹, Guido Lanzani², Vanes Poluzzi³

1. Ispra
2. Arpa Lombardia
3. Arpa Emilia-Romagna

NOTE

¹ COM(2022) 542 final "Proposal for a directive of the European Parliament and of the Council on ambient air quality and cleaner air for Europe" Brussels, 26.10.2022.

² Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European economic and social committee and the committee of the Regions "The European Green Deal" COM/2019/640 final.

³ Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, 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'", COM/2021/400 final.

⁴ Who, 2021, *Who Global Air Quality Guidelines*.

⁵ L'ozono è esentato da questo cambiamento a causa delle complesse caratteristiche della sua formazione nell'atmosfera che complicano il compito di valutare la fattibilità del rispetto di rigorosi valori limite.

⁶ Da valutarsi in selezionati punti di misura di

"fondo" rappresentativi dell'esposizione media della popolazione.

⁷ Si tratta di livelli sovranazionali che comprendono diverse regioni: Nord Ovest, Nord Est, Centro, Sud, Isole.

⁸ "Evaluation of emission reduction scenarios in Po Valley", www.lifeprepare.eu

⁹ Regolamento (UE) 2021/1119 del Parlamento europeo e del Consiglio del 30 giugno 2021 che istituisce il quadro per il conseguimento della neutralità climatica e che modifica il regolamento (CE) n. 401/2009 e il regolamento (UE) 2018/1999 ("Normativa europea sul clima").

¹⁰ COM(2021) 550 final "Pronti per il 55%: realizzare l'obiettivo climatico dell'Ue per il 2030 lungo il cammino verso la neutralità climatica", Bruxelles, 14.7.2021.

¹¹ COM(2020) 663 final "Strategia dell'Ue per ridurre le emissioni di metano" Bruxelles, 14.10.2020.

¹² COM(2020) 789 final "Strategia per una mobilità sostenibile e intelligente: mettere i trasporti europei sulla buona strada per il futuro" Bruxelles, 9.12.2020.

¹³ COM(2021) 811 final "Il nuovo quadro dell'Ue per la mobilità urbana" Strasburgo, 14.12.2021.

¹⁴ COM(2020) 380 final "Strategia dell'Ue sulla biodiversità per il 2030" Bruxelles, 20.5.2020.

¹⁵ "Proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council on type-approval of motor vehicles and engines and of systems, components and separate technical units intended for such vehicles, with respect to their emissions and battery durability (Euro 7) and repealing Regulations (EC) No 715/2007 and (EC) No 595/2009".

IL RAPPORTO EEA

LA QUALITÀ DELL'ARIA MIGLIORA IN EUROPA, MA SERVONO ULTERIORI SFORZI VERSO "INQUINAMENTO ZERO"



L'Agenzia europea per l'ambiente (Eea) ha pubblicato il report "Air quality in Europe 2022" (disponibile online all'indirizzo <https://bit.ly/airquality2022>) che presenta le

valutazioni sullo stato della qualità dell'aria in Europa, l'impatto dell'inquinamento atmosferico sulla salute e gli ecosistemi e le fonti di emissione di inquinanti. Secondo l'analisi dell'Agenzia, nonostante i miglioramenti registrati nel tempo (e in particolare nel 2020 per le restrizioni legate alla pandemia di Covid-19) l'inquinamento dell'aria continua a essere un rischio significativo per la salute, che causa malattie croniche e morti premature. Nel 2020, il 96% della popolazione urbana dell'Unione europea risultava esposta a concentrazioni di particolato fine (PM_{2.5}) superiori ai livelli indicati nelle ultime linee guida Oms. Secondo le stime dell'Eea, almeno 238.000 persone sono morte prematuramente nel 2020 a causa dell'esposizione al PM_{2.5}, 49.000 per l'esposizione a livelli elevati di biossido di azoto e 24.000 per quella all'ozono. Dal 2005 al 2020 il numero di morti premature per l'esposizione al PM_{2.5} è diminuito del 45%. Se il trend si conferma, al 2030 la riduzione dovrebbe essere del 55%, come previsto dall'obiettivo del piano di azione "Inquinamento zero".

Tuttavia, saranno necessari ulteriori sforzi per raggiungere l'obiettivo al 2050 di ridurre l'inquinamento atmosferico a livelli non dannosi per la salute.

L'inquinamento causa danni anche alla biodiversità, alle colture e alle foreste. Nel 2020, deposizioni di azoto sono state rilevate nel 75% degli ecosistemi dell'Ue. Il valore si è ridotto del 12% rispetto al 2005, ma l'obiettivo di inquinamento zero è del 25% al 2030.

Il 59% delle aree forestali e il 65 del territorio agricolo sono stati esposti a livelli di ozono dannosi nel 2020. Le perdite economiche sulle colture di grano sono state stimate in 1,4 miliardi di euro nel 2019.

La fonte principale di particolato è la combustione per il riscaldamento degli edifici (residenziali, commerciali e istituzionali). Altre fonti significative sono l'industria, i trasporti stradali e l'agricoltura. Quest'ultima è responsabile anche della grande maggioranza delle emissioni di ammoniaca e di più di metà di quelle di metano. Per gli ossidi di azoto, le fonti principali sono trasporti stradali, agricoltura e industria. Nel complesso, le emissioni dei principali inquinanti continuano a decrescere, nonostante l'incremento del Pil registrato a livello di Unione europea dal 2005.

LE RELAZIONI TRA CLIMA E INQUINAMENTO ATMOSFERICO

SIA LA PRESENZA DI INQUINANTI NELL'ARIA SIA IL CAMBIAMENTO CLIMATICO HANNO UN PESANTE IMPATTO SULLA SALUTE E SUL BENESSERE UMANO. UN RECENTE STUDIO NE HA ANALIZZATO LE INTERAZIONI, COSTRUIENDO UN MODELLO CHE PUÒ SUPPORTARE LA PROGETTAZIONE DI POLITICHE INTEGRATE CHE MASSIMIZZINO L'EFFICACIA DELLE MISURE.

I cambiamenti climatici e l'inquinamento atmosferico sono tra i più importanti problemi ambientali. L'inquinamento atmosferico è considerato dall'Oms il rischio ambientale più importante, essendo stato responsabile, nel 2019, di un decesso su nove nel mondo (Gbd 2019). L'inquinamento atmosferico aumenta il numero di morti premature dovute a ictus, cardiopatie ischemiche, cancro ai polmoni, infezioni delle basse vie respiratorie, diabete e broncopneumopatia cronica ostruttiva (McDuffie et al., 2021), solo per citare le malattie e le patologie per le quali la letteratura mostra evidenze solide. Tuttavia, l'inquinamento atmosferico è associato anche a una diminuzione delle capacità cognitive, a manifestazioni di aggressività, a perdita di produttività, a nascite premature e basso peso alla nascita. L'inquinamento atmosferico esterno da solo è responsabile di 4,5 milioni di decessi (95% CI 3,625-5,364) in tutto il mondo, causati da particolato fine (PM_{2,5}) e ozono (O₃). Di questi decessi, il 5,7% è riconducibile all'ozono e il rimanente al PM_{2,5}. Quest'ultimo è di gran lunga il più letale tra tutti gli inquinanti atmosferici. Nel 2013, la ricaduta negativa sul benessere globale dovuta all'inquinamento atmosferico è stata stimata in quasi il 7% del prodotto interno lordo globale.

Anche il cambiamento climatico è responsabile di un'ampia gamma di problemi. Tra questi, il caldo estremo, le forti precipitazioni, la siccità, l'innalzamento del livello del mare e l'acidificazione degli oceani (Ipcc, 2021). In ultima analisi, ciò porta a mortalità prematura, perdita di biodiversità e perdite economiche, disuguaglianze, migrazioni e conflitti. Il 2020 ha registrato 3,1 miliardi di giorni-persona in più di esposizione alle ondate di calore nella popolazione di età superiore ai 65 anni e 626 milioni di giorni-persona in più per i bambini

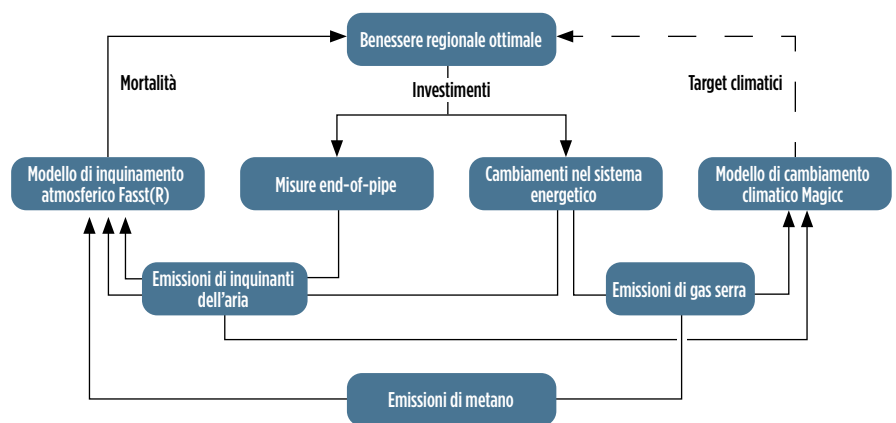


FIG. 1 MODELLO WITCH

Il modello di valutazione integrata Witch (*World induced technical change hybrid*), collegato al modello climatico Magicc e al modello sull'inquinamento atmosferico Fασst(R). Il modello Witch ottimizza l'allocatione degli investimenti in misure strutturali e end-of-pipe. Le linee tratteggiate rappresentano i target climatici, che possono essere o meno inclusi come vincoli.

Fonte: Elaborazione da Aleluia Reis L. et al, 2022, traduzione a cura della redazione di Ecoscienza

di età inferiore a 1 anno (Romanello et al., 2021). Nel 2019, la mortalità dovuta alle ondate di calore ha rappresentato l'equivalente dello 0,28% del prodotto interno lordo mondiale, con l'Europa come regione più colpita al mondo. Se questi sono i dati degli anni passati, riusciamo a immaginare i numeri del 2022?

Origine comune, diverse scale spaziali

L'inquinamento atmosferico e il cambiamento climatico sono intrinsecamente connessi. Entrambi incidono sulla salute e sul benessere umano e hanno un'origine comune: la combustione di combustibili fossili. Il cambiamento climatico è la conseguenza dell'accumulo di emissioni di gas serra (Arias et al. 2021) derivanti anche dal cambiamento di destinazione d'uso dei terreni, dall'utilizzo di fertilizzanti e dal degrado delle foreste (Ipcc, 2014). L'inquinamento atmosferico, invece, deriva anche da altre attività, come l'uso di solventi, l'estrazione mineraria, l'agricoltura, l'edilizia, i pneumatici e

i manufatti stradali, oltre che da fonti naturali come la polvere del deserto, gli incendi, il sale marino e l'attività biogenica degli alberi (McDuffie et al., 2021; Li et al., 2020; Harrison et al., 2021). Alcuni inquinanti atmosferici possono non essere emessi, ma si formano nell'atmosfera attraverso la reazione chimica di altri inquinanti: si tratta del cosiddetto inquinamento secondario. Ne sono un esempio l'ozono e il particolato secondario. I due problemi ambientali, tuttavia, differiscono per molti aspetti. Il cambiamento climatico è per lo più un problema su scala globale. Ciò è dovuto alla natura della CO₂, che può restare nell'atmosfera per centinaia di anni, mescolandosi in essa molto bene. Ciò significa che la riduzione delle emissioni di CO₂ in Italia, o in un'altra parte del mondo, contribuisce in modo simile a mitigare il cambiamento climatico. Lo stesso non accade con gli inquinanti atmosferici. Anche se possono essere soggetti a trasporto a lungo raggio, in genere hanno una durata di vita nell'atmosfera di alcuni giorni al massimo. Pertanto, l'inquinamento atmosferico e il cambiamento climatico hanno scale spaziali diverse: globale per

il cambiamento climatico, locale per l'inquinamento atmosferico. A causa di queste differenze di scala, anche le politiche per affrontarli possono essere diverse. L'obiettivo finale deve essere quello di garantire che entrambi i problemi vengano affrontati nel modo più efficiente.

Interazioni reciproche di segno diverso

Inquinamento atmosferico e cambiamento climatico possono anche entrare in conflitto. Un esempio è il caso della biomassa come fonte di energia, che contribuisce a ridurre le emissioni di carbonio ma può generare anche inquinanti atmosferici (Williams M., 2012). Un altro esempio è la riduzione degli aerosol riflettenti. Alcuni inquinanti atmosferici sono aerosol, come ad esempio il carbonio organico: una volta rilasciati nell'atmosfera, riflettono la radiazione solare in entrata, contribuendo così a raffreddare la Terra. Questo effetto è chiamato "di mascheramento" ed è noto per essere globalmente di bassa portata (Ipcc, 2021). Quando si applicano politiche sull'inquinamento atmosferico, per ridurre l'esposizione delle popolazioni a sostanze nocive, si può quindi provocare un riscaldamento, riducendo gli aerosol riflettenti che "mascherano" l'effetto di riscaldamento. Quando si considera il raggiungimento degli obiettivi di temperatura fissati, volti a prevenire danni climatici maggiori, questo aspetto "indesiderato" (*trade-off*) non dovrebbe essere trascurato. La sfida consiste quindi nel prendere in considerazione entrambe le problematiche ambientali e a controbilanciare tutti gli effetti incrociati dei due obiettivi. Una volta fatto questo, includendo gli impatti delle externalità negative nelle decisioni, i *policymaker* potranno avere tutte le informazioni necessarie e agire conseguentemente.

Misure strutturali e tecnologie specifiche

Nel complesso, nonostante i diversi ambiti territoriali e le interazioni negative reciproche, le due problematiche ambientali sono collegate perché condividono alcune fonti di emissione, in particolare la combustione di combustibili fossili. Adottare alcune misure energetiche strutturali, come il miglioramento dell'efficienza e il passaggio a fonti rinnovabili, può quindi contribuire alla

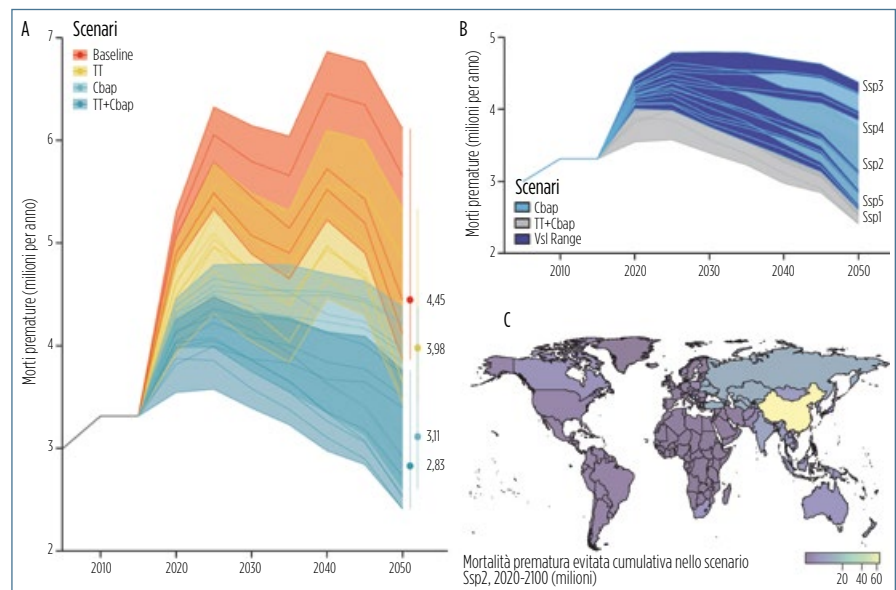


FIG. 2 INQUINAMENTO ATMOSFERICO E MORTALITÀ PREMATURA

(A) Mortalità annuale prematura fino al 2050 in milioni per i 4 tipi di politiche considerati (Baseline, Cbap, Tt e Tt+Cbap) in tutti gli scenari Spp. Il target di temperatura (Tt) dell'Accordo di Parigi include entrambi gli obiettivi al 2100 di 1,5 °C e 2 °C. I punti rappresentano il valore mediano. (B) L'influenza del valore per vita statistica (Vsl) sugli scenari Cbap (tutti gli scenari Spp) è mostrata in blu, quella sugli scenari Tt+Cbap in grigio. (C) Mortalità prematura evitata, valore cumulativo regionale, nello scenario Ssp2, internalizzando costi e benefici dell'inquinamento atmosferico nelle 13 regioni del modello Witch.

Cbap=valutazione costi-benefici dell'inquinamento atmosferico. Ssp=percorso socioeconomico condiviso. Tt=target di temperatura. Vsl=valore per vita statistica.

Fonte: Aleluia Reis L. et al, 2022, traduzione a cura della redazione di Ecoscienza

risoluzione di entrambi. Senza considerare gli aspetti economici e di fattibilità, si dovrebbe puntare esclusivamente su misure strutturali. Tuttavia, queste possono non essere percorribili dal punto di vista economico e politico, causando un sensibile ritardo nella loro adozione. Esistono altre soluzioni, come ad esempio le tecnologie di rimozione dell'anidride carbonica (Cdr) direttamente dall'aria, che però non agiscono simultaneamente su entrambe le problematiche ambientali: viene rimossa la CO₂ dall'atmosfera, mitigando così il cambiamento climatico, ma non si agisce sull'inquinamento atmosferico. Esistono già, d'altra parte, molte soluzioni *end-of-pipe* (come *scrubber* o precipitatori elettrostatici) per mitigare l'inquinamento atmosferico. Queste soluzioni, generalmente efficienti e più economiche delle misure strutturali, sono ampiamente diffuse solo nei Paesi sviluppati e non nel resto del mondo. Si tratta in ogni caso di tecniche che impediscono il rilascio di inquinanti nell'atmosfera ma non mitigano le emissioni di gas serra.

Un modello che tiene conto di tutte le interazioni

Trovare il giusto equilibrio tra le diverse tecnologie, affinché la soluzione a un

problema ambientale non provochi conseguenze indesiderate sull'altro, non è banale. Questo punto di equilibrio può essere stimato attraverso l'ausilio di modelli di valutazione integrata e con analisi di scenario. Questo è l'oggetto di un nostro nuovo studio ed è qui che il nostro recente lavoro di modellazione introduce un'innovazione rispetto alla letteratura scientifica passata. La sfida principale è individuare misure che permettano di raggiungere gli obiettivi climatici e riducano al minimo gli impatti dell'inquinamento atmosferico (ad esempio la mortalità) e che, contemporaneamente, soddisfino la domanda di energia e massimizzino il benessere. Per farlo, c'è necessità di architetture di modellazione complesse. Abbiamo progettato un quadro modellistico con diversi moduli interconnessi, in grado di tenere conto delle interazioni più importanti tra sistema energetico, inquinamento atmosferico e clima. Utilizziamo un modello che rappresenta il globo in 13 regioni, il modello Witch (*World induced technical change hybrid*).

Il risultato è un percorso ottimizzato di tecnologie, investimenti ed emissioni in cui il mondo raggiunga l'obiettivo climatico entro il 2100 (ad esempio 1,5°C) e nel quale ogni regione riduca al minimo gli impatti dell'inquinamento atmosferico. Abbiamo calcolato che

questo tipo di azioni può evitare circa 1,62 milioni di morti premature, a livello globale al 2050, un numero tre volte superiore a quello dei soli co-benefici climatici. Ciò significa che in un quadro di massimizzazione del benessere, le informazioni sulle esternalità sono importanti e spingono i responsabili politici ad agire per ridurre gli impatti, in questo caso evitando la mortalità prematura. Le principali riduzioni della mortalità si registrerebbero in Cina, India, Sud-est asiatico e nei Paesi dell'ex Unione Sovietica.

Un aspetto importante da sottolineare, per il ruolo che ha nella distribuzione spaziale dei benefici, è la modalità con cui si attribuisce valore economico all'impatto dell'inquinamento atmosferico. Abbiamo utilizzato quello "per vita statistica", proprio per tenere conto di come le popolazioni valutano i miglioramenti della salute, in relazione a quelli dell'inquinamento atmosferico. Tale modalità è controversa e non esiste un consenso universale sul suo numero reale. Spesso si utilizza un valore europeo o nordamericano che viene trasposto al resto del mondo utilizzando il reddito pro capite. Ciò significa che quando i responsabili delle politiche stanno minimizzando l'impatto delle loro scelte, il valore della

mortalità evitata dipenderà non solo da quello delle morti premature evitate, ma anche dal modo in cui i miglioramenti della salute dovuti all'inquinamento atmosferico sono valutati in una determinata regione.

Sebbene il valore per vita statistica sia più alto nei Paesi ad alto reddito, l'inquinamento atmosferico ha un impatto sull'internalizzazione e non aumenta la disuguaglianza di reddito globale.

Questo risultato ha un'elevata rilevanza politica, data la regressività degli impatti del cambiamento climatico e la distribuzione non uniforme dei costi della riduzione delle emissioni di CO₂. Ad esempio, i principali esportatori di combustibili fossili come il Medio Oriente e la Russia potrebbero opporsi alla transizione a fonti a basse emissioni di carbonio per timore di perdite commerciali. La nostra analisi dimostra che queste regioni hanno molto da guadagnare da politiche per il clima e da un'aria più pulita. Il benessere globale e regionale è ampiamente migliorato dall'internalizzazione degli interventi sull'inquinamento atmosferico, senza ripercussioni negative sulla disuguaglianza globale. Progettare politiche economicamente integrate che generino contemporaneamente aria più pulita e minor riscaldamento globale



aumenta il benessere globale e facilita la trasformazione del sistema economico verso soluzioni basate sull'energia sostenibile nelle regioni responsabili delle maggiori emissioni.

Lara Aleluia Reis

Rff-Cmcc European Institute on Economics and the Environment

Traduzione di Roberta Renati

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Aleluia Reis L., Drouet L., Tavoni M., 2022, "Internalising health-economic impacts of air pollution into climate policy: a global modelling study", *The Lancet. Planetary Health*, 6(1), e40-e48. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(21\)00259-X](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(21)00259-X).

AA.VV., 2021, "Technical Summary", in *Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of Working group I to the Sixth assessment report of the Intergovernmental panel on climate change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 33-144. doi:10.1017/9781009157896.002.

Gettelman A., Lamboll R., Bardeen C.G., Forster P.M., Watson Parris D., 2021, "Climate impacts of Covid-19 induced emission changes", *Geophysical Research Letters*, 48(3), <https://doi.org/10.1029/2020gl091805>.

Global burden of disease study 2019 (Gbd 2019), data resources, (n.d.), healthdata.org, consultato 4 agosto 2022, <http://ghdx.healthdata.org/gbd-2019>.

Harrison R.M., Allan J., Carruthers D., Heal M.R., Lewis A.C., Marnier B., Murrells T., Williams A., 2021, "Non-exhaust vehicle emissions of particulate matter and VOC from road traffic: A review", *Atmospheric Environment*, Oxford, England: 1994, 262(118592), 118592. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118592>.

Ippcc, 2014, "Summary for policymakers", in *Climate change 2014: Mitigation of climate change. Contribution of Working group III to the Fifth assessment report of the Intergovernmental panel on climate change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, Usa.

Ippcc, 2021, "Summary for policymakers", in *Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of Working group I to the Sixth assessment report of the Intergovernmental panel on climate change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 3-32, doi:10.1017/9781009157896.001.

Li L., Yang W., Xie S., Wu Y., 2020, "Estimations and uncertainty of biogenic volatile organic compound emission inventory in China for 2008-2018", *The Science of the Total Environment*, 733(139301), 139301, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139301>.

McDuffie E.E., Martin R.V., Spadaro J.V., Burnett R., Smith S.J., O'Rourke P., Hammer M.S., van Donkelaar A., Bindle L., Shah V., Jaeglé L., Luo G., Yu F., Adeniran J.A., Lin J., Brauer M., 2021, "Source sector and fuel contributions to ambient PM_{2.5} and attributable mortality across multiple spatial scales", in *Nature Communications*, Vol. 12, Issue 1, Springer Science and Business Media LLC, <https://doi.org/10.1038/s41467-021-23853-y>.

Romanello M., McGushin A., Di Napoli C., Drummond P., Hughes N., Jamart L., Kennard H., Lampard P., Solano Rodriguez B., Arnell N., Ayeb-Karlsson S., Belesova K., Cai W., Campbell-Lendrum D., Capstick S., Chambers J., Chu L., Ciampi L., Dalin C., Hamilton I., 2021, "The 2021 report of the Lancet Countdown on health and climate change: code red for a healthy future", *Lancet*, 398(10311), 1619-1662, [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)01787-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)01787-6).

Williams M., "Tackling climate change: what is the impact on air pollution?", *Carbon Manage*, 2012, 3, 511.

NUOVE EVIDENZE SU INQUINAMENTO E SALUTE

RECENTEMENTE SONO STATI PUBBLICATI ALCUNI IMPORTANTI STUDI SULLA RELAZIONE TRA EFFETTI DELL'INQUINAMENTO ATMOSFERICO E SALUTE, CON UN APPROFONDIMENTO SULLE PATOLOGIE DEL SISTEMA CARDIOVASCOLARE E SULLA FORMAZIONE TUMORALE DEL POLMONE ANCHE IN SOGGETTI NON FUMATORI.

Il seminario “RespiraMi”, che si è svolto il 17 e 18 giugno 2022 con la partecipazione di esperti provenienti da quattro continenti, è un evento scientifico ormai tradizionale anche a livello internazionale che si è ripetuto quattro volte ogni 2 anni. In questa ultima edizione sono state messe in evidenza le novità della ricerca internazionale e nazionale sull'effetto dell'inquinamento ambientale e domestico verso la salute dell'uomo. Se nella precedente edizione le principali novità riguardavano gli effetti nocivi sullo sviluppo conoscitivo del bambino e l'evoluzione mentale dell'adulto, nell'edizione 2022 sono state le malattie psichiatriche come la depressione e le psicosi, nonché le complicanze della gravidanza. Riguardo alle azioni di prevenzione di questo problema globale, è stata compiuta un'approfondita analisi delle più recenti linee guida dell'Organizzazione mondiale della sanità e della loro implementazione, nonché sull'effetto mitigante l'inquinamento del verde cittadino e domestico.

Come sempre, questi e altri progressi della conoscenza derivano soprattutto da epidemiologi ed esperti di salute pubblica, che sono il pilastro della ricerca nel settore. Gli studi sperimentali sono stati essenziali per documentare i principali meccanismi degli effetti nocivi degli agenti che inquinano l'aria su praticamente tutti gli organi e apparati del corpo umano, anche se i modelli animali non sono proficui e gli studi sui volontari esposti in maniera controllata ai vari inquinanti hanno problematiche sia di attendibilità che di etica. I dati di ricerca resi disponibili negli ultimi 20-25 anni hanno dimostrato inequivocabilmente che gli inquinanti ambientali causano uno stato di infiammazione cronica di bassa intensità che genera stress ossidativo nelle cellule di tutti i tessuti, spiegando così la molteplicità di organi e apparati compromessi. La disregolazione del sistema nervoso autonomo e la

variabilità cardiaca esercitano un ruolo meccanicistico soprattutto nell'aumentare il rischio di malattie cardiovascolari. Se quindi le ricerche sperimentali si sono proficuamente affiancate all'epidemiologia per capire gli effetti deleteri dell'inquinamento, un messaggio è emerso chiaramente durante “RespiraMi 2022”: la necessità che gli epidemiologi e gli sperimentatori siano maggiormente affiancati da clinici e specialisti d'organo per collaborare a ulteriori progressi in questo settore.

Cardiopatie e sviluppo di tumore al polmone associati a inquinamento

Nei mesi successivi a “RespiraMi” sono stati presentati e pubblicati dati che soddisfano in parte questi requisiti e che chiariscono il meccanismo di due effetti dell'inquinamento su malattie frequenti: l'infarto del miocardio che si sviluppa in individui senza lesioni aterosclerotiche delle coronarie e il tumore del polmone nei non fumatori.

Lo studio cardiologico è stato condotto a Roma al Policlinico Gemelli da un gruppo guidato da Filippo Crea che, non per caso, è un allievo del grande Attilio Maseri, il primo a dimostrare il ruolo dello spasmo dei vasi coronarici nel determinare malattie ischemiche del cuore come l'angina instabile e l'infarto, anche in assenza di lesioni delle coronarie. Crea ha mantenuto e sviluppato la tradizione di Maseri con i risultati di cui stiamo parlando, che sono stati presentati a un grande convegno di cardiologi in Spagna e contemporaneamente pubblicati su uno dei maggiori giornali scientifici da Rocco Mantone, Crea e, come primo autore, da un giovane dottorando di ricerca, Massimiliano Camilli [1].

Lo scopo primario delle ricerche era capire il meccanismo di malattie



ischemiche del cuore che si manifestano con arterie coronariche indenni da placche aterosclerotiche.

Che l'inquinamento dell'aria e in particolare il particolato abbiano un ruolo anche nelle più frequenti patologie aterosclerotiche delle coronarie è emerso da un altro recente lavoro anch'esso condotto da Mantone, Camilli e Crea, che dimostra che l'esposizione di lunga durata agli inquinanti e in particolare alle polveri sottili $PM_{2.5}$ rende più frequente la rottura delle placche coronariche, che è la causa più frequente di cardiopatia ischemica [2].

Cosa hanno dimostrato i cardiologi del Gemelli in questo nuovo progetto per chiarire il meccanismo della cardiopatia ischemica a coronarie integre? Che nei 287 casi da loro indagati la maggiore e prolungata esposizione a $PM_{2.5}$ ma anche a PM_{10} è associata a spasmo delle arterie coronariche, che pregiudica il flusso del sangue nei vasi e determina quindi un aumentato rischio di angina e infarto anche con coronarie integre [1]. Questo lavoro è innovativo perché per la prima volta, per merito della grande

scuola fondata da Attilio Maseri, il meccanismo dello spasmo coronarico viene associato a un fattore di rischio diffuso e non facilmente evitabile come l'inquinamento da particolato.

I cardiologi concludono proponendosi di valutare se anche l'esposizione acuta agli inquinanti per più brevi periodi possa spiegare con la vasocostrizione l'insorgenza di infarti e angina. Filippo Crea ha infine rilasciato un'intervista in cui gli si chiede quale messaggio pratico possa essere dato al cittadino dai risultati dei loro studi. Ricorda che l'inquinamento non è il solo meccanismo di malattia coronarica ed enfatizza l'importanza di evitare il fumo e seguire adeguati stili di vita. Ricorda anche però che le tanto vituperate mascherine facciali che ora quasi nessuno usa più sono, almeno le più tecniche Ffp2, sono capaci di ridurre l'inalazione del particolato all'aperto in periodi di picchi e negli ambienti chiusi e affollati.

Se questo studio permette di chiarire perché e come la cardiopatia ischemica si sviluppa anche in soggetti con coronarie integre, un altro mistero è il meccanismo con cui il tumore a piccole cellule del polmone, che tipicamente si sviluppa in fumatori nell'80-90% dei casi, si sviluppi più raramente anche in individui che non hanno mai fumato. Una ricerca condotta a Londra presso il Francis Crick Institute

è stata presentata a Parigi al Congresso della Società europea di oncologia medica (Esmo), anche se non mi risulta sia stata già pubblicata pienamente su un giornale scientifico. I ricercatori dell'istituto inglese hanno analizzato dati ottenuti non solo in vitro e nell'animale da esperimento ma anche su ben 447.932 persone provenienti da Regno Unito, Taiwan e Corea del Sud. La loro ricerca dimostra che l'inquinamento dell'aria agisce su mutazioni presenti in un gene chiamato Egfr, risvegliando così il potenziale di trasformazione tumorale di cellule in cui la mutazione è normalmente presente ma innocua. Stessa situazione si verifica nelle cellule delle vie aeree e del polmone di individui con mutazioni di un altro gene, il Kras.

Se si considera che più 300.000 persone muoiono ogni anno in tutto il mondo per tumore del polmone, questo studio

cambia sostanzialmente la nostra conoscenza sullo sviluppo del tumore a piccole cellule anche in chi non ha mai fumato. Secondo i ricercatori inglesi guidati da Charles Swanton, il meccanismo di attivazione da parte di PM_{2,5} di mutazioni innocue che poi si trasformano in oncogeni potrebbe servire, in individui che hanno sviluppato il tumore, per implementare terapie di precisione mirate. Ma naturalmente la prevenzione primaria non si fa con i farmaci, ma con il formidabile cimento di ridurre un fattore di rischio ubiquitario come l'inquinamento dell'ambiente che, al contrario del fumo di sigaretta, non è evitabile dall'individuo che respira.

Pier Mannuccio Mannucci

Irccs Ca' Granda Maggiore Policlinico Hospital Foundation

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

[1] Camilli M., Russo M., Rinaldi R., Caffè A., La Vecchia G., Bonanni A., Iannaccone G., Basile M., Vergallo R., Aurigemma C., Trani C., Niccoli G., Crea F., Montone R.A., 2022, "Air pollution and coronary vasomotor disorders in patients with myocardial ischemia and non-obstructive coronary arteries", *J Am Coll Cardiol*, doi: 10.1016/j.jacc.2022.08.744.

[2] Montone R.A., Camilli M., Russo M., Termite C., La Vecchia G., Iannaccone G., Rinaldi R., Gurgoglione F., Del Buono M.G., Sanna T., Trani C., Liuzzo G., Crea F., Niccoli G., 2022, "Air pollution and coronary plaque vulnerability and instability: an optical coherence tomography study", *JACC Cardiovasc Imaging*, 15:325-342.



INQUINAMENTO ATMOSFERICO E CAMBIAMENTI CLIMATICI

LA RELAZIONE TRA QUALITÀ DELL'ARIA E CAMBIAMENTI CLIMATICI È PER IL MONDO SCIENTIFICO IL LEITMOTIV PER LA RICERCA DI RISPOSTE E DELLE NECESSARIE AZIONI DI MITIGAZIONE DELLE EMISSIONI. DIVERSI SONO GLI AMBITI DI APPLICAZIONE, MA LO SCOPO UNICO È RIDURRE I MILIONI DI MORTI ALL'ANNO CAUSATI DALL'INQUINAMENTO ATMOSFERICO.

Qualità dell'aria e cambiamento climatico sono due emergenze ambientali critiche con le quali l'umanità si sta purtroppo confrontando. L'Organizzazione mondiale della sanità (Oms) riporta che nel mondo si verificano 4,2 milioni di morti premature all'anno attribuibili all'inquinamento atmosferico, circa 30 mila solo in Italia. Inoltre, il 99% della popolazione mondiale vive in luoghi nei quali i livelli di inquinamento eccedono i limiti stabiliti dall'Oms stessa a tutela della salute umana. L'inquinamento atmosferico risulta essere infatti a livello globale il secondo fattore di rischio di decesso prematuro secondo il *Global burden of diseases* [1].

Allo stesso modo, il sesto rapporto dell'*Intergovernmental panel on climate change* (Ipcc), il gruppo di scienziati incaricati dalle Nazioni unite di fornire periodici rapporti sullo stato delle conoscenze scientifiche, tecnologiche e socio-economiche sul clima della Terra, l'impatto e i rischi futuri e le opzioni per la mitigazione del cambiamento climatico stesso, pubblicato negli scorsi mesi dopo quattro anni di elaborazione, riporta che il cambiamento climatico dovuto alle attività umane sta già colpendo ogni regione della Terra in molteplici modi, rendendo gli eventi estremi, tra cui ondate di calore, precipitazioni intense e siccità più frequenti e gravi [2]. 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 Terra [3].

Short-lived climate forcers

Questi inquinanti gassosi e particolati vengono definiti nella letteratura *short-lived climate forcers* (Slcf) o, in alcuni casi anche *short-lived climate pollutants* (Slcp), in quanto sono, come detto, sia inquinanti atmosferici sia specie climalteranti [4]. A differenza del biossido di carbonio (CO₂, la principale specie climalterante di origine antropica) il cui effetto climatico ha una durata secolare, gli Slcf possono avere un effetto di riscaldamento o raffreddamento sul clima della Terra su scale temporali molto più brevi, da alcuni giorni ad alcuni anni (*figura 1*). Mentre questa doppia caratteristica degli Slcf dimostra già chiaramente come qualità dell'aria e cambiamento climatico siano fenomeni intimamente connessi, inquinanti e specie climalteranti sono invece frequentemente trattati separatamente sia nel campo della ricerca sia rispetto alle politiche regolatorie. Molte sorgenti emettono invece simultaneamente CO₂ e inquinanti atmosferici. Quando avviamo il motore della nostra automobile o accendiamo il caminetto nella nostra casa, le emissioni in atmosfera che ne derivano comprendono sia CO₂ sia diverse specie inquinanti. Ne deriva quindi che non è possibile univocamente separare le emissioni antropiche nelle due categorie distinte di specie inquinanti e specie climalteranti. Ne consegue anche che le politiche volte alla mitigazione del cambiamento climatico possono comportare benefici,

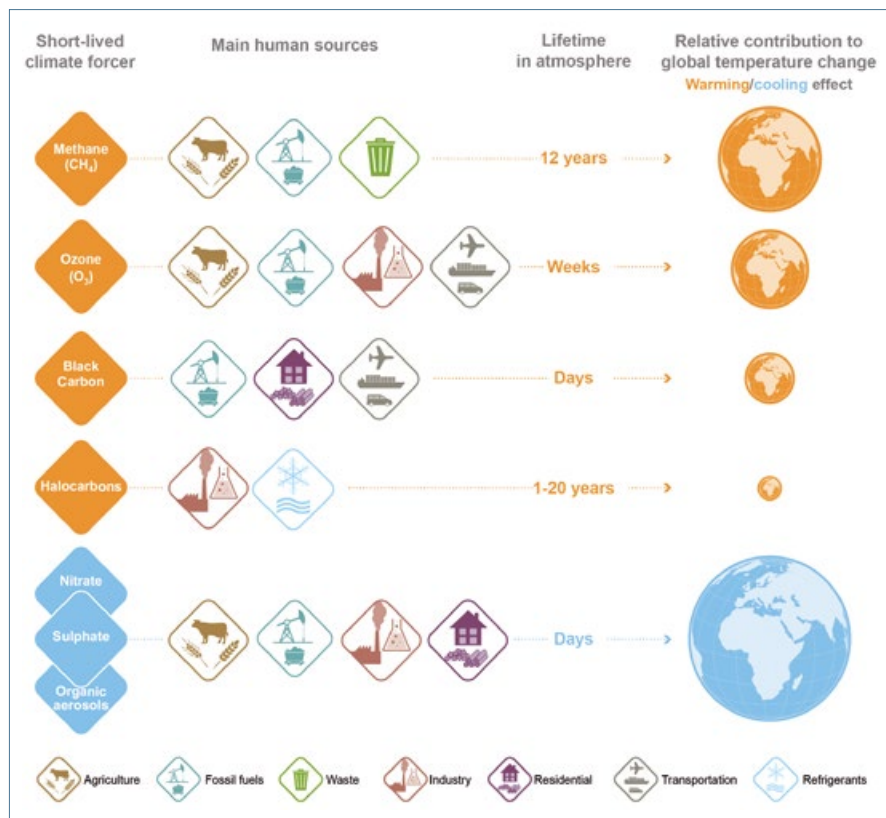


FIG. 1 FORZANTI DI BREVE DURATA

Principali *short-lived climate forcers* (Slcf), loro sorgenti, tempo di permanenza in atmosfera e loro contributo al cambiamento di temperatura della Terra (area del globo terrestre) nel periodo dal 1750 (convenzionalmente preso come l'inizio della rivoluzione industriale) al 2019. Il colore azzurro indica un effetto di raffreddamento del clima mentre il colore arancio indica riscaldamento [4].

ma in taluni casi anche svantaggi, per la qualità dell'aria e viceversa. Le politiche definite *wind-win*, che migliorano simultaneamente la qualità dell'aria e limitano il cambiamento climatico, riguardano ad esempio i miglioramenti dell'efficienza energetica, l'utilizzo di veicoli a zero-emissioni, le pratiche per ridurre la combustione dei residui agricoli e altre ancora. Vi sono però anche politiche cosiddette *wind-lose*. Per esempio, la combustione del legno viene spesso definita a bilancio zero di carbonio (*carbon neutral*), in quanto un albero accumula durante il suo ciclo di vita una quantità di CO₂ pari a quella che viene emessa quando il legno di quell'albero viene bruciato. Tuttavia, la combustione del legno dà anche luogo all'emissione di inquinanti atmosferici quali monossido di carbonio (CO), ossidi di azoto (NO_x), composti organici volatili (Voc) e particolato atmosferico (PM), i quali influenzano il clima, la salute umana e gli ecosistemi. Allo stesso modo, la diminuzione della quantità di PM prodotto da alcuni processi industriali e dalla produzione di energia o dai mezzi di trasporto terrestri, marittimi e aerei migliora certamente la qualità dell'aria

ma, allo stesso tempo, ha un effetto di riscaldamento climatico dato che il PM contribuisce al raffreddamento climatico riflettendo la radiazione solare incidente (figura 1). Nella figura 2 è riassunta la complessa catena di processi che hanno luogo in atmosfera e che portano alternativamente benefici o nocimento al clima della Terra, alla salute umana e alle attività agricole. La qualità dell'aria e il cambiamento climatico rappresentano quindi due facce della stessa medaglia e agire sulle due emergenze con politiche integrate può portare a significative sinergie e anche benefici economici, evitando inoltre che politiche volte unicamente a mitigare uno dei due aspetti possano peggiorare l'altro.



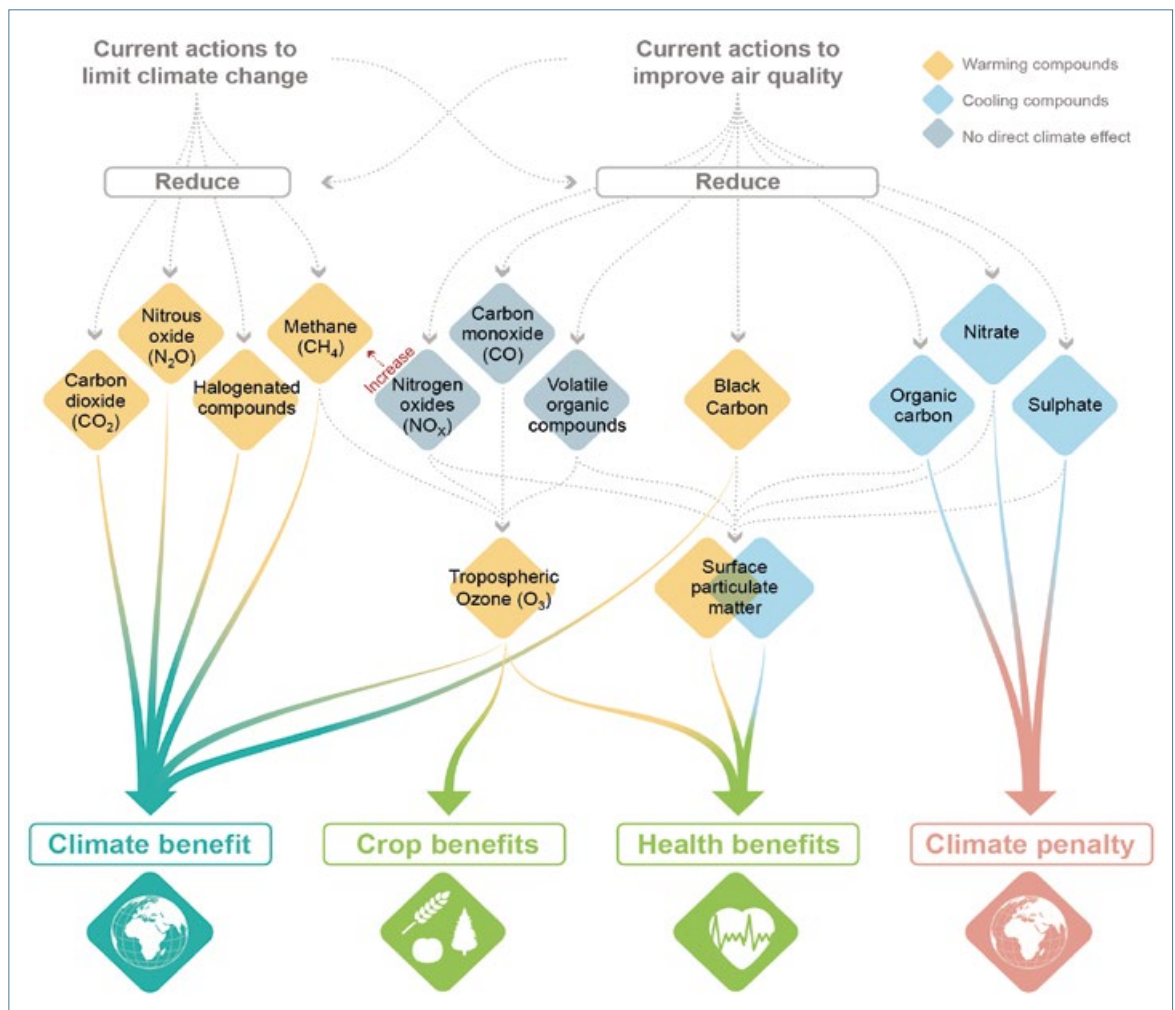
Il caso del metano

Per esemplificare quanto finora detto, e facendo riferimento sempre alla figura 2, può essere utile esaminare il caso del metano (CH₄), il suo effetto su clima e qualità dell'aria e i benefici che la riduzione delle sue emissioni può portare. Il metano è la seconda più importante

specie climalterante di origine antropica dopo il CO₂. La quantità di metano nell'atmosfera è raddoppiata dall'epoca preindustriale e raggiunge attualmente i livelli più elevati degli ultimi 800 mila anni [2]. Il metano viene emesso da una varietà di fonti antropiche, come già evidenziato

FIG. 2
POLITICHE
DI MITIGAZIONE

Interrelazioni fra le politiche volte a limitare il cambiamento climatico (a sinistra) e quelle per il miglioramento della qualità dell'aria (a destra). I gas clima-alteranti e il PM (colori arancio e azzurro) influenzano direttamente il clima della Terra, mentre le specie inquinanti, principalmente PM e ozono troposferico (O₃), hanno un effetto avverso sulla salute umana e sulle rese in agricoltura. Gli inquinanti indicati in grigio non hanno invece un effetto diretto sul clima. Tutti questi composti hanno sorgenti comuni e possono anche interagire fra loro; questo rende impossibile considerarli separatamente [4].



nella *figura 1*: la filiera di estrazione, lavorazione e utilizzo di petrolio, gas e carbone (35% delle emissioni antropiche), la produzione agricola e zootecnica (40%) e la gestione dei rifiuti (20%). Le emissioni antropiche di metano a livello globale ammontano a circa 380 milioni di tonnellate per anno [5].

Il metano è un gas serra circa 80 volte più potente del CO₂ a scala ventennale ma ha, come già visto, un tempo di permanenza medio in atmosfera molto più breve (*figura 1*), e quindi decise riduzioni della sua concentrazione avrebbero un effetto rapido e significativo sul potenziale di riscaldamento atmosferico nei prossimi decenni. Ma il metano rappresenta anche una delle principali sorgenti di ozono troposferico (O₃) in atmosfera, il quale, oltre a essere esso stesso un gas climalterante, è anche un inquinante dannoso per la salute umana (si stimano globalmente circa 500 mila morti premature all'anno dovute all'ozono troposferico di origine antropica) e per l'ambiente, in particolare per la vegetazione e per le rese in agricoltura (grano, riso, mais e soia forniscono i 2/3 delle calorie nella dieta umana a livello globale; ogni milione di tonnellate di metano emesse causa la perdita di 145 mila tonnellate di queste colture essenziali). La riduzione delle emissioni di metano quindi, oltre a essere una strategia efficace per contribuire alla mitigazione del riscaldamento climatico, permette anche di conseguire importanti benefici per la salute pubblica e per l'agricoltura [5].

La riduzione delle emissioni di metano si configura quindi a pieno titolo come una delle sopra accennate politiche ambientali *win-win*, uno dei modi migliori per limitare il riscaldamento del clima a scala dei prossimi decenni conseguendo allo stesso tempo importanti benefici sanitari ed economici dalla riduzione dell'ozono troposferico.

Questo doppio beneficio è anche stato considerato nell'ambito dell'azione cosiddetta *Global methane pledge*, sostenuta da più di 100 paesi, tra cui l'Italia, che rappresenta un impegno a ridurre le emissioni di metano (in aggiunta alle riduzioni già pianificate degli altri gas serra) a livello globale di almeno il 30% rispetto ai livelli del 2020 entro il 2030 [6].

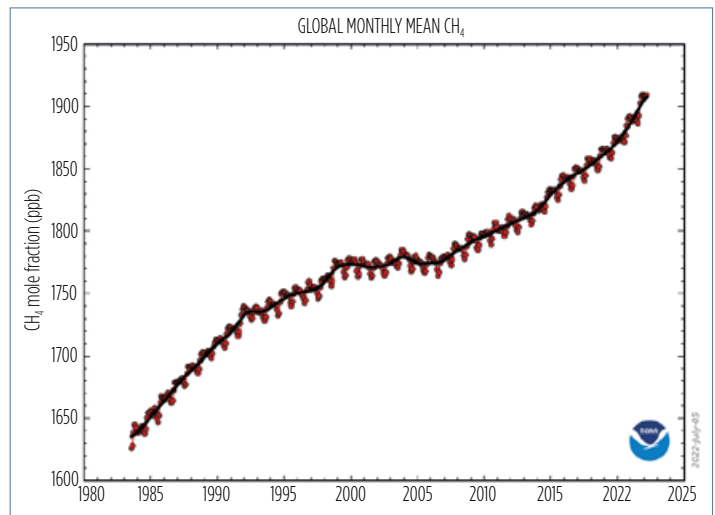
Sandro Fuzzi

Associato senior, Istituto di Scienze dell'atmosfera e del clima, Consiglio nazionale delle ricerche (Isac-Cnr), Bologna
Lead author sesto rapporto Ipcc Wg I

FIG. 3
METANO

Andamento della concentrazione di metano (CH₄) a livello globale dai primi anni '80 a oggi.

Fonte: Noaa Earth System Research Laboratory.



RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] "The Global burden of diseases study 2019", 2020, *The Lancet*, 336, 1129-1306.
- [2] "Summary for policymakers", 2021a, in *Climate change 2021: the physical science basis. Contribution of Working group I to the Sixth assessment report of the Intergovernmental panel on climate change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 3-32, doi:10.1017/9781009157896.001.
- [3] 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.
- [4] Szopa S., Naik V., Adhikary B., Artaxo P., Berntsen T., Collins W.D., Fuzzi S., Gallardo L., Kiendler-Scharr A., Klimont Z., Liao H., Unger N., Zanis P., "Short-lived climate forcers", 2021b, in *Climate change 2021: the physical science basis. Contribution of Working group I to the Sixth assessment report of the Intergovernmental panel on climate change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 817-922, doi:10.1017/9781009157896.008.
- [5] Unep, 2021, *Global methane assessment*, United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya, www.unep.org/resources/report/global-methane-assessment-benefits-and-costs-mitigating-methane-emissions.
- [6] Gaudioso D., 2022, *Le emissioni di metano in Italia*, Ghg Management Institute per Wwf Italia. www.wwf.it/cosa-facciamo/pubblicazioni/le-emissioni-di-metano-in-italia.



CLIMA E ARIA, UNO STUDIO SULLA MORTALITÀ PREMATURA

IL DIPARTIMENTO SOSTENIBILITÀ DI ENEA HA MESSO A PUNTO UNA CATENA MODELLISTICA PER STIMARE IL RISCHIO A BREVE TERMINE E I DECESSI ATTRIBIBILI AGLI EFFETTI CONGIUNTI DELLA TEMPERATURA E DELL'INQUINAMENTO NEI DUE COMUNI PIÙ POPOLATI D'ITALIA, ROMA E MILANO. È NECESSARIO AGIRE ORA PER GARANTIRE UN FUTURO VIVIBILE PER L'UOMO.

Le variazioni del clima e l'inquinamento atmosferico sono fattori di rischio per la salute umana e la qualità della vita delle popolazioni esposte, sia esaminati individualmente, sia per i loro effetti sinergici.

L'alterazione più diretta e preoccupante del clima per la salute umana riguarda il parametro della temperatura, funzione delle concentrazioni di gas serra globali. Secondo il rapporto presentato alla Cop27, redatto nell'ambito del *Global Carbon Project*, nel 2022 le emissioni da combustibili fossili si confermano a livelli record, cancellando i cali dovuti alla pandemia da Covid-19, che nel 2020 aveva contratto la domanda di energia riducendo le emissioni di anidride carbonica in tutto il mondo.

Secondo l'Organizzazione meteorologica mondiale (Omm), il 2022 è stato il quinto anno più caldo mai registrato e l'ottavo anno consecutivo in cui la temperatura media globale è cresciuta di almeno 1 °C rispetto al livello preindustriale (1850-1900), avvicinandosi al limite stabilito dall'Accordo di Parigi, rischioso per la salute umana e non solo. I rischi per la salute associati agli



inquinanti sono molteplici. Il particolato atmosferico rappresenta la prima causa ambientale di mortalità nel mondo, con patologie acute e croniche a carico dell'apparato respiratorio, circolatorio e nervoso. Anche l'ozono desta preoccupazione, per l'ubiquità della sua presenza in atmosfera e la difficoltà di riduzione attraverso le politiche di risanamento ambientale. Secondo l'Organizzazione mondiale della sanità (Oms), il numero di decessi da inquinamento dell'aria nel

mondo è raddoppiato dal 1990 al 2019 raggiungendo i 4,5 milioni di morti, di cui il 92% a causa del particolato atmosferico e l'8% a causa dell'ozono.

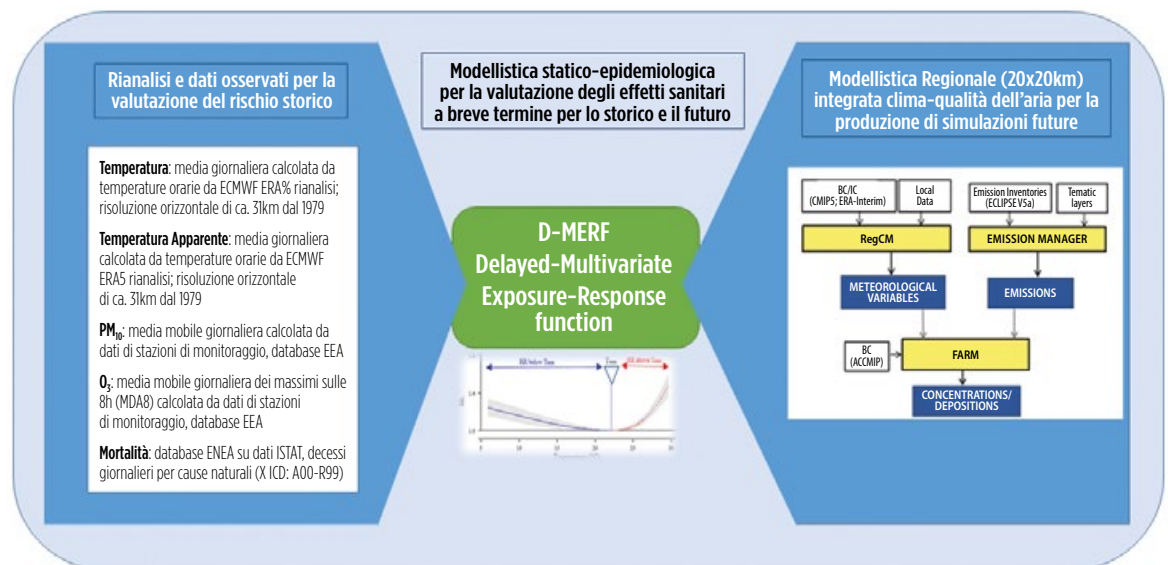
Valutazione degli effetti sulla salute umana

La rappresentazione degli effetti combinati di inquinamento e cambiamento climatico richiede di

FIG. 1 SUITE MODELLISTICA

Catena modellistica elaborata dal Dipartimento Sostenibilità di Enea per stimare le curve di rischio relativo a breve termine e i decessi attribuibili agli effetti congiunti della temperatura e dell'inquinamento dell'aria.

Fonte: Enea-Sspst.



considerare le diverse suscettibilità e risposte fisiologiche delle popolazioni esposte con l'utilizzo di un *framework* di valutazione complesso, in grado di identificare priorità geografiche e supportare realmente i processi decisionali. Diverse competenze del Dipartimento Sostenibilità di Enea hanno lavorato alla messa a punto di una catena modellistica (figura 1) in grado di stimare curve di rischio relativo a breve termine e decessi attribuibili agli effetti congiunti della temperatura e dell'inquinamento dell'aria – ozono e polveri sottili (PM₁₀) – per i due comuni più popolati d'Italia, Roma e Milano.

Partendo dai dati storici giornalieri di mortalità, inquinamento e temperatura per il periodo 2004-2015, Enea ha calcolato per lo stesso intervallo di tempo il carico sanitario per l'intera popolazione e per la fascia più vulnerabile (con età uguale o superiore agli 85 anni), grazie all'elaborazione di un modello statistico di epidemiologia ambientale (D-Merf: *Delayed-multivariate exposure-response function*). D-Merf consente l'integrazione di funzioni di esposizione-risposta singolarmente valutate per ciascun fattore di rischio, l'identificazione di non linearità nelle relazioni esposizione-risposta, la considerazione degli effetti sanitari ritardati fino a 30 giorni dopo il verificarsi di un evento di stress e l'analisi stratificata per città ed età della popolazione.

Le proiezioni degli effetti al 2050 hanno permesso invece di stimare come le variazioni attese di inquinanti e temperature si tradussero in mortalità futura, sotto l'ipotesi di due scenari climatici Ipcc. Il primo (Rcp2.6) è orientato all'azione climatica e al rispetto gli obiettivi di Parigi e presuppone entro fine secolo, un aumento della temperatura media globale tra 0,4 e 0,8 °C. Il secondo (Rcp8.5) assume essenzialmente l'inazione climatica, con una crescita costante nelle emissioni e un conseguente aumento della temperatura media globale di 3,3-4,9 °C entro il 2100. Il modello statistico-epidemiologico è stato quindi alimentato con simulazioni integrate di clima (modello climatico regionale RegCM) e qualità dell'aria (modello regionale di dispersione degli inquinanti Farm) effettuate sul supercalcolatore Cresco di Enea (figura 1).

Mortalità storica a Roma e Milano

Tra il 2004 e il 2015, Roma e Milano mostrano valori medi annuali comparabili di ozono (Roma 71,18 µg/m³; Milano

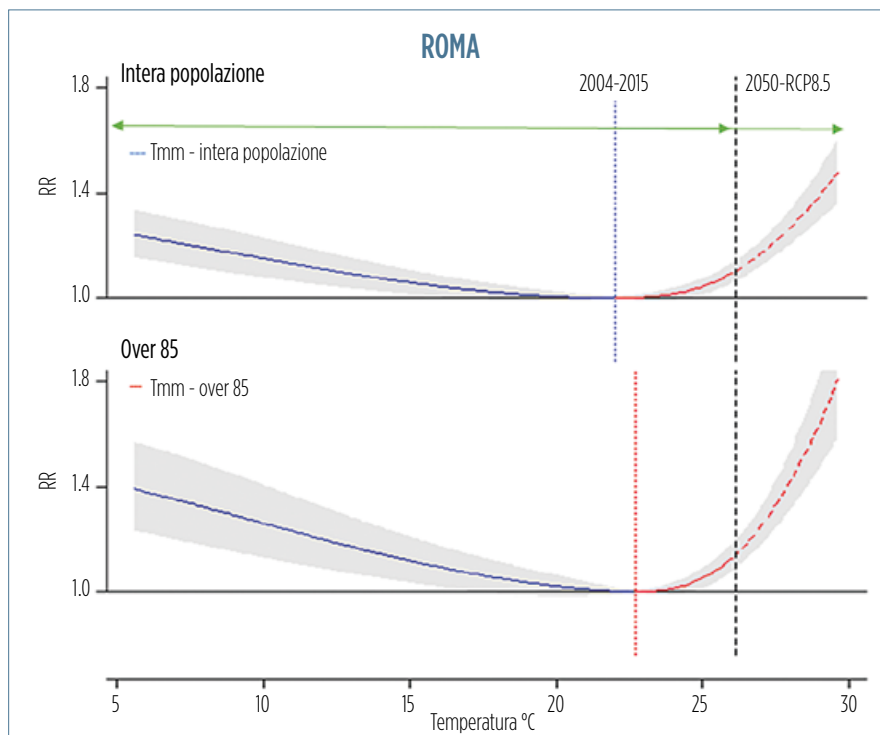


FIG. 2 STORICO E SCENARI ROMA

Funzioni esposizione-risposta e rischi relativi storici e futuri, considerando tutte le classi d'età e gli over 85 per la città di Roma. Curve di risposta all'esposizione cumulata di temperatura e inquinanti per lo scenario climatico peggiore, rappresentate come curve di rischio relativo nell'intero intervallo di temperatura. In grigio, l'intervallo di confidenza al 95%. Tmm è la temperatura di minima mortalità che definisce le due porzioni della curva di rischio associate a temperature inferiori ("freddo") o superiori ("caldo") dell'ottimale. La linea verticale tratteggiata in nero rappresenta, alla sua destra, l'estrapolazione della curva di rischio oltre la temperatura massima osservata per il periodo 2004-2015.

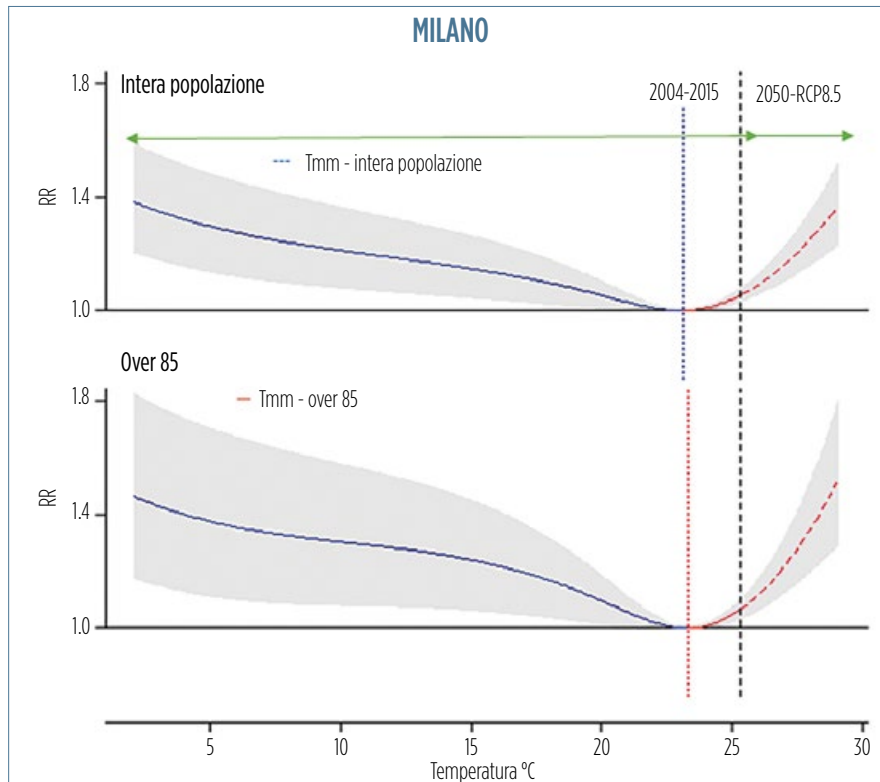


FIG. 3 STORICO E SCENARI MILANO

Funzioni esposizione-risposta e rischi relativi storici e futuri, considerando tutte le classi d'età e gli over 85 per la città di Milano. Curve di risposta all'esposizione cumulata di temperatura e inquinanti per lo scenario climatico peggiore, rappresentate come curve di rischio relativo nell'intero intervallo di temperatura. In grigio, l'intervallo di confidenza al 95%. Tmm è la temperatura di minima mortalità che definisce le due porzioni della curva di rischio associate a temperature inferiori ("freddo") o superiori ("caldo") dell'ottimale. La linea verticale tratteggiata in nero rappresenta, alla sua destra, l'estrapolazione della curva di rischio oltre la temperatura massima osservata per il periodo 2004-2015.

72,16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) e differenze nei valori di temperatura (Roma 16,02 °C; Milano 13,48 °C) e PM_{10} (Roma 26,68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; Milano 39,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). In termini di mortalità attribuibile all'effetto congiunto dei tre fattori, Roma mostra un numero assoluto maggiore di Milano (2.379 decessi contro 2.033), ma un valore inferiore della frazione rispetto al totale dei decessi (15,7 contro 9,5, che diventa 20,2 contro 15,4 tra gli over 85). A Milano, il 97% della mortalità attribuibile è spiegata da temperature "basse", ossia inferiori alla temperatura di mortalità minima (Tmm), anche a causa della coesistente presenza di concentrazioni elevate di PM_{10} in inverno. A Roma, la maggiore frazione di mortalità in corrispondenza delle temperature "alte" è ascrivibile anche alla sinergia fra temperatura e livelli di ozono troposferico, elevati soprattutto in estate.

Cosa aspettarsi in futuro

Nel 2050, le proiezioni mostrano un miglioramento del carico di mortalità complessivo dovuto a un calo della mortalità correlata al freddo. Questo in sé è una buona notizia, ma arriva a scapito di un aumento dovuto al caldo (figure 2 e 3). Più nel dettaglio, si osserva una crescita della frazione di decessi attribuibili alle alte temperature rispetto allo storico. L'aumento, registrato sia a Roma (+22

decessi all'anno) sia a Milano (+48 decessi) nello scenario migliore (Rcp2.6), si accentua nello scenario di inazione climatica (Rcp8.5), con una variazione positiva dell'incidenza da caldo dell'8% a Roma (+197 decessi) e del 6% a Milano (+115 decessi). Andamenti simili, ma più marcati, sono previsti per gli over 85. Standardizzando i risultati, Milano mostra frazioni relative attribuibili complessivamente maggiori e un più alto incremento nella frazione di mortalità relativa ad alte temperature, indipendentemente dallo scenario e dall'età.

Conclusioni

Gli strumenti modellistici di Enea hanno permesso in passato la valutazione degli effetti sulla salute degli italiani degli scenari futuri di qualità dell'aria (progetto Viias, www.viias.it) e del Piano nazionale

di controllo dell'inquinamento atmosferico (Piersanti et al. 2021). Lo studio presente rappresenta un ulteriore sviluppo, con l'integrazione della modellistica del cambiamento climatico.

I risultati evidenziano la necessità di agire ora per garantire un futuro vivibile per l'uomo. In tal senso, le strategie di controllo della qualità dell'aria sono un importante complemento di *policy* alla riduzione strutturale delle emissioni di gas climalteranti e concorrono a mitigare il rischio climatico, riducendone gli effetti e i danni sulla salute umana, migliorando al contempo la qualità della vita delle persone.

Melania Michetti¹, Antonio Piersanti²

1. Economista ambientale, Divisione Modelli e tecnologie per la riduzione degli impatti antropici e dei rischi naturali, Enea
2. Ingegnere ambientale, responsabile del Laboratorio inquinamento atmosferico, Enea

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Michetti M. et al., 2022a, "Climate change and air pollution: Translating their interplay into present and future mortality risk for Rome and Milan municipalities", *Science of the Total Environment*, 830, 154680.

Michetti M. et al., 2022b, "From single to multivariable exposure models to translate climatic and air pollution effects into mortality risk. A customized application to the city of Rome, Italy", *Methods*, X 9, 101717.

Piersanti A. et al., 2021, "The Italian national air pollution control programme: air quality, health impact and cost assessment", *Atmosphere*, 12, 196.



L'ESPOSIZIONE A INQUINANTI A BASSE CONCENTRAZIONI

SCOPO DEL PROGETTO DI RICERCA ELAPSE È INDAGARE GLI EFFETTI SANITARI AVVERSI DELL'ESPOSIZIONE ALLE BASSE CONCENTRAZIONI DI PM_{2,5}, NO₂, BLACK CARBON E OZONO. STUDI RECENTI HANNO INFATTI STABILITO CHE QUESTE ASSOCIAZIONI POSSONO PRESENTARSI ANCHE IN CONTESTI IN CUI I VALORI LIMITI DELL'UE SONO RISPETTATI.

L'esposizione a lungo termine all'inquinamento atmosferico è stata associata alla mortalità in tutto il mondo [1]. Studi recenti hanno suggerito che queste associazioni possono persistere a basse concentrazioni, definite come concentrazioni inferiori agli attuali valori limite dell'Ue e degli Stati Uniti-Epa e anche alle linee guida dell'Oms sulla qualità dell'aria [2]. Tali studi sono stati condotti principalmente in Nord America e si sono concentrati sul materiale particolato di dimensione <2,5 μm (PM_{2,5}) [3]. Al contrario, le evidenze sugli effetti dell'inquinamento atmosferico a basse concentrazioni in Europa sono inconsistenti. Inoltre, sono carenti gli studi che indagano il ruolo delle basse concentrazioni di altri inquinanti atmosferici, quali il diossido di azoto (NO₂), l'ozono (O₃) e il *black carbon* (BC), una misura delle polveri primarie emesse dai processi di combustione [4, 5].

Il progetto Elapse

Nel dicembre 2014 la Health Effects Institute americana ha pubblicato un bando per progetti di ricerca finalizzati all'indagine degli effetti sanitari avversi delle basse concentrazioni di inquinanti atmosferici. Dei tre progetti finanziati, due sono stati condotti in Nord America (uno in Canada e uno negli Stati Uniti) e uno in Europa.

Il progetto "Effects of low-level air pollution: a study in Europe" (Elapse) è stato coordinato dall'Università di Utrecht e ha coinvolto un consorzio di 19 enti di ricerca europei [6]. Sono stati raccolti dati epidemiologici in 8 coorti "tradizionali" (ovvero di limitata numerosità ma ricche di informazioni sulle caratteristiche dell'individuo) e 7 coorti "amministrative" (ovvero basate su *record linkage* tra sistemi informativi sanitari e registri di popolazione: coorti molto numerose

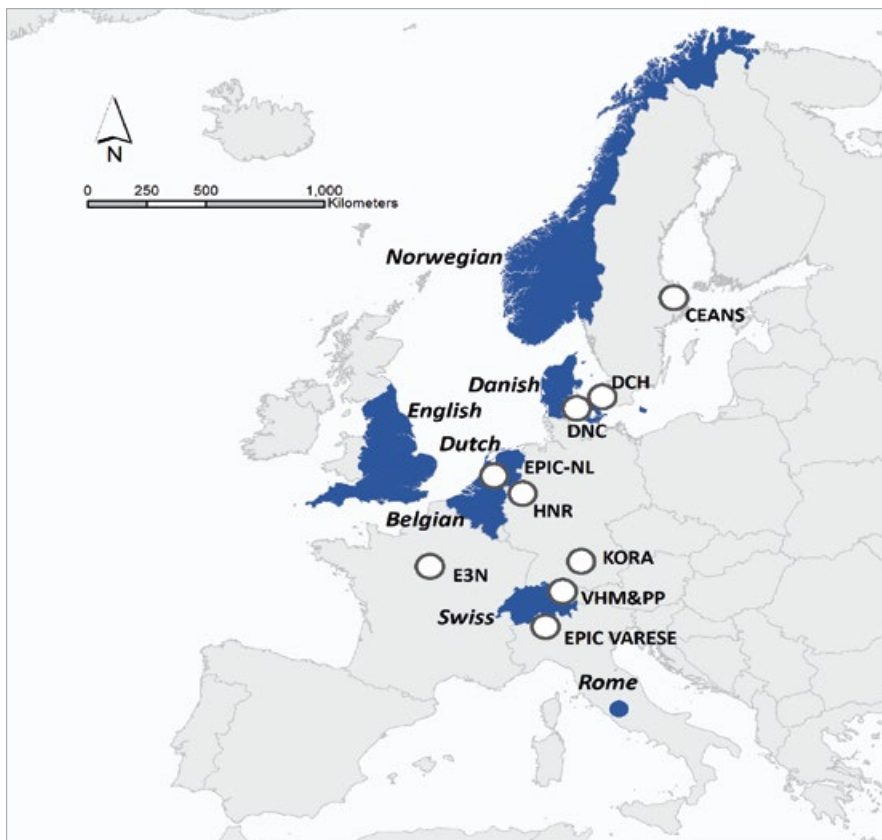


FIG. 1 COORTI
Localizzazione geografica delle coorti incluse nel progetto Elapse. In bianco le coorti tradizionali, in blu le coorti amministrative.

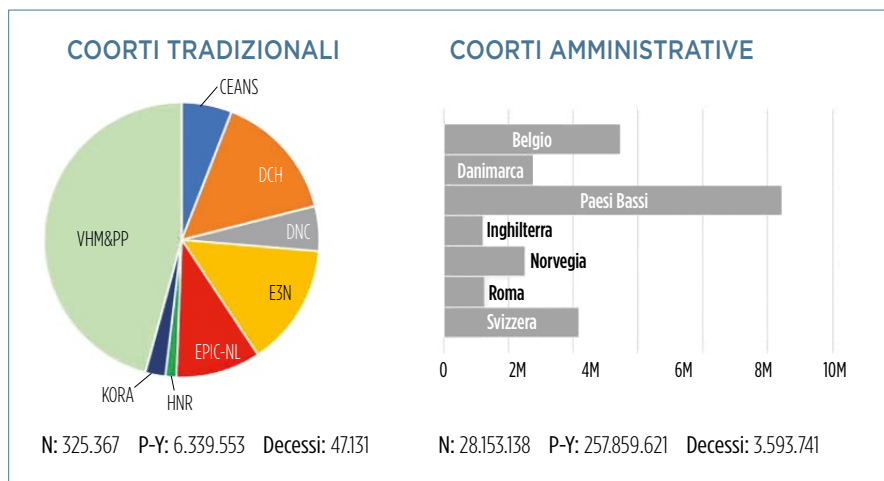


FIG. 2 COORTI
Numerosità, anni-persona e numero di decessi per cause non accidentali nelle coorti del progetto Elapse.

ma con una limitata caratterizzazione degli individui) (figura 1). In generale, per ogni individuo era disponibile l'informazione al *baseline* sull'età, il sesso, le coordinate dell'indirizzo di residenza e alcuni attributi individuali o di area relativi alla regione/Paese di origine, al livello di istruzione e allo stato socio-economico. Per le coorti tradizionali erano disponibili anche informazioni sulle abitudini al fumo e sull'indice di massa corporea. Le concentrazioni medie annue di PM_{2,5}, NO₂, BC e O₃ sono state stimate centralmente tramite modelli di regressione "land-use" relativamente all'anno 2010, con risoluzione spaziale 100×100 m [7], e assegnate agli indirizzi di residenza dei partecipanti delle coorti. Gli esiti principali di indagine sono stati la mortalità causa-specifica [8, 9] e l'incidenza di ictus e patologie coronariche cardiache [10].

Le coorti amministrative sono state analizzate individualmente (e i relativi risultati inseriti successivamente in una meta-analisi), mentre le coorti tradizionali sono state analizzate insieme (approccio "pooled"), con aggiustamento per indicatore di coorte. Sono stati applicati modelli di sopravvivenza a rischi proporzionali di Cox, con aggiustamento per le diverse variabili individuali e di area disponibili nelle coorti. Inizialmente, gli inquinanti sono stati modellati con termini lineari.

A seguire, la forma della relazione concentrazione-risposta tra i diversi inquinanti e gli esiti sanitari è stata stimata modellando l'inquinante con curve flessibili (*spline* naturali). Infine, sono stati definiti modelli lineari per sottoinsiemi dei range di concentrazione, ottenuti rimuovendo dalle analisi gli individui esposti a concentrazioni superiori a predefinite soglie.

Per il PM_{2,5}, sono state scelte le seguenti soglie: ≤25 µg/m³ (valore limite Ue), ≤20 µg/m³, ≤15 µg/m³, ≤12 µg/m³ (US Epa *National ambient air quality standard* - Naaqs) e ≤10 µg/m³ (Who-2005 *Air quality guidelines* - Aqg).

Per l'NO₂: ≤40 µg/m³ (valore limite Ue e Who-2005 Aqg), ≤30 µg/m³ e ≤20 µg/m³.
Per il black carbon: ≤3,0, ≤2,5, ≤2,0, ≤1,5, ≤1,0 × 10⁻⁵/m.

Per l'O₃ non sono riportate analisi per sottogruppi.

Sono state stimate associazioni significative tra l'esposizione cronica a PM_{2,5}, NO₂ e BC e tutti gli esiti di mortalità (a eccezione di PM_{2,5} e mortalità respiratoria nelle coorti tradizionali) (figura 3).

Ad esempio, la mortalità per cause non-accidentali aumentava del 13% (HR=1,130, IC95%=1,106, 1,155) per 5 µg/m³ di incremento di PM_{2,5} nelle coorti tradizionali e del 5% (HR=1,053, IC95%=1,021, 1,085) per lo stesso incremento nelle coorti amministrative. Analogamente, 10 µg/m³ di incremento di NO₂ determinavano incrementi di mortalità non-accidentale pari al 9% (HR=1,086, IC95%=1,070, 1,102) e al 4% (HR=1,044, IC95%=1,019, 1,069) nelle coorti tradizionali e amministrative, rispettivamente. Simili stime sono state

ottenute per il BC e per i tre inquinanti in relazione agli esiti di mortalità causa-specifici.

Per quanto riguarda gli esiti di incidenza, sono state stimate associazioni significative tra PM_{2,5}, NO₂ e BC con l'incidenza di ictus (ma non con l'incidenza di patologie coronariche cardiache) nelle coorti tradizionali, con HR pari a 1,10 (IC95%: 1,01, 1,21), 1,08 (IC95%: 1,04, 1,12) e 1,06 (IC95%: 1,02, 1,10) per incrementi di 5 µg/m³ di PM_{2,5}, 10 µg/m³ di NO₂ e 0,5×10⁻⁵/m di BC, rispettivamente.

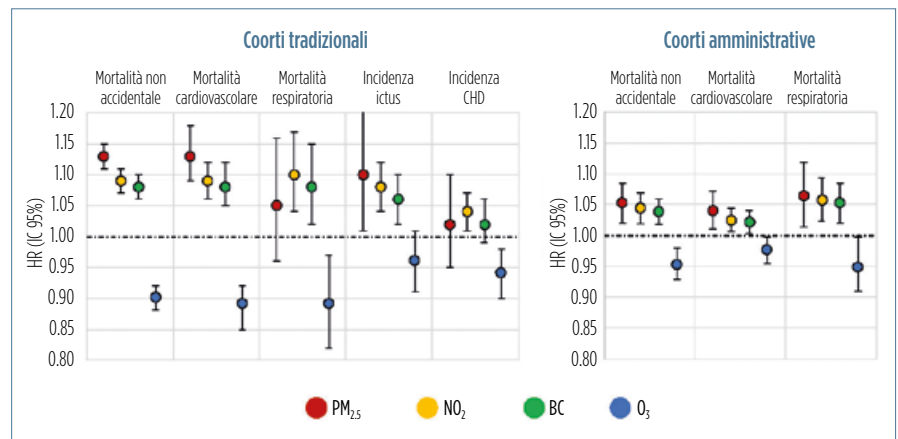


FIG. 3 QUALITÀ DELL'ARIA E SALUTE

Associazione tra gli inquinanti atmosferici e i diversi esiti sanitari (mortalità causa-specifica, incidenza di eventi cardiovascolari): hazard ratios (HR), e intervalli di confidenza al 95% (IC 95%) per incrementi fissi degli inquinanti pari a 5 µg/m³ per il PM_{2,5}, 10 µg/m³ per l'NO₂ e l'O₃, e 0,5×10⁻⁵/m per il BC.

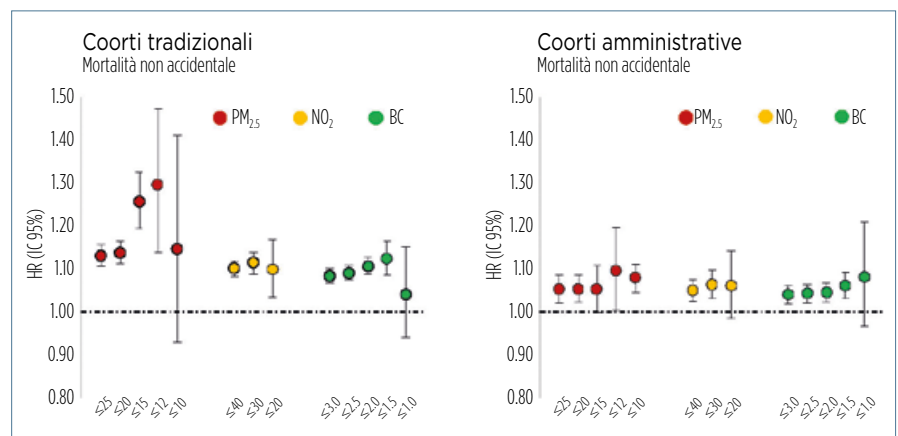


FIG. 4 QUALITÀ DELL'ARIA E MORTALITÀ

Associazione tra gli inquinanti atmosferici e la mortalità per cause non accidentali, nelle analisi per sottogruppi: hazard ratios (HR), e Intervalli di confidenza al 95% (IC 95%) per incrementi fissi degli inquinanti pari a 5 µg/m³ per il PM_{2,5}, 10 µg/m³ per l'NO₂ e 0,5×10⁻⁵/m per il BC.

L'ozono è risultato associato negativamente con tutti gli esiti in studio, presumibilmente a causa della sua elevata correlazione negativa con gli altri inquinanti, tuttavia le stime divenivano pressoché nulle e non significative nei modelli a due inquinanti aggiustati per uno qualsiasi degli altri inquinanti (dati non riportati).

Lo studio ha stimato associazioni positive tra le basse concentrazioni di $PM_{2,5}$, NO_2 e BC e i diversi esiti sanitari. Le curve concentrazione-risposta (non riportate in questa sintesi) hanno evidenziato incrementi di mortalità più marcati alle basse dosi, sia nelle coorti tradizionali [8, 10] sia in quelle amministrative [9]. Tali risultati sono stati confermati dalle analisi per sottoinsiemi dei range di

concentrazione (figura 4). Ad esempio, tra gli individui esposti a livelli di $PM_{2,5} \leq 12 \mu g/m^3$, la mortalità aumentava del 30% (HR=1,296, IC95%=1,140, 1,474) e del 10% (HR=1,095, IC95%=1,002, 1,197) per incrementi di $5 \mu g/m^3$ di $PM_{2,5}$ nelle coorti tradizionali e amministrative, rispettivamente. Al di sotto dei $10 \mu g/m^3$, l'associazione rimaneva significativa solo nelle coorti amministrative, dominata dall'ampia quota di soggetti esposti a tali livelli nella coorte norvegese (dati non riportati). Simili risultati sono stati riscontrati per NO_2 e BC, sebbene alle dosi più basse le stime non raggiungessero la significatività statistica a causa della bassa potenza.

L'esposizione cronica alle basse concentrazioni di $PM_{2,5}$, NO_2 e BC è

risultata positivamente associata alla mortalità causa-specifica e all'incidenza di ictus in molteplici coorti europee, a dimostrazione del fatto che i limiti di legge Ue e le linee guida americane (Epa-Naaqs) e Oms del 2005 (Aqg-2005) non siano sufficienti a tutelare adeguatamente la salute della popolazione. Nel settembre 2021 l'Oms ha emesso nuove linee guida, più stringenti per il $PM_{2,5}$ e l' NO_2 . Studi futuri dovranno essere condotti in aree e sottopopolazioni con esposizioni inferiori a tali soglie.

Massimo Stafoggia

Dipartimento di Epidemiologia, Servizio sanitario della Regione Lazio, Asl Roma 1 a nome del gruppo collaborativo Elapse



RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] Chen J., Hoek G., 2020, "Long-term exposure to PM and all-cause and cause-specific mortality: a Systematic review and meta-analysis", *Environ Int*, 143: 105974.
- [2] Burnett R., Chen H., Szyszkowicz M., et al., 2018, "Global estimates of mortality associated with long-term exposure to outdoor fine particulate matter", *Proc Natl Acad Sci, Usa*, 115: 9592-97.
- [3] Di Q., Wang Y., Zanobetti A., et al., 2017, "Air pollution and mortality in the Medicare population", *N Engl J Med*, 376: 2513-22.
- [4] Beelen R., Raaschou-Nielsen O., Stafoggia M., et al., 2014, "Effects of long-term exposure to air pollution on natural-cause mortality: an analysis of 22 European cohorts within the multicentre Escape project", *Lancet*, 383: 785-95.
- [5] Jerrett M., Burnett R.T., Pope C.A. 3rd, et al., 2009, "Long-term ozone exposure and mortality", *N Engl J Med*, 360: 1085-95.
- [6] Brunekreef B., Strak M., Chen J., et al., "Mortality and morbidity effects of long-term exposure to low-level $PM_{2,5}$, BC, NO_2 , and O_3 : an analysis of European cohorts in the Elapse project", Research Report 208, Boston, MA:Health Effects Institute. Available at: www.healtheffects.org/publication/mortality-and-morbidity-effects-long-term-exposure-low-level-pm25-bc-no2-and-o3-analysis
- [7] de Hoogh K., Chen J., Gulliver J., et al., 2018, "Spatial $PM_{2,5}$, NO_2 , O_3 and BC models for western Europe - evaluation of spatiotemporal stability", *Environ Int*, 120: 81-92.
- [8] Strak M., Weinmayr G., Rodopoulou S., et al., 2021, "Long-term exposure to low level air pollution and mortality in eight European cohorts within the Elapse project: pooled analysis", *BMJ*, 374: n1904.
- [9] 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.
- [10] Wolf K., Hoffmann B., Andersen Z.J., et al., 2021, "Long-term 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.

VEG-GAP, UN PROGETTO PER CLIMA E ARIA MIGLIORI IN CITTÀ

IL VERDE URBANO OFFRE GRANDI OPPORTUNITÀ GRAZIE ALLA CAPACITÀ DI REGOLARE IL COMFORT TERMICO E DI FORNIRE UNA GRANDE VARIETÀ DI BENEFICI ECOLOGICI. I BENI DIGITALI E GLI OPEN DATA RAPPRESENTANO UNA RICCHEZZA STRATEGICA PER I FUTURI PROGETTI ALL'INSEGNA DELLA VIVIBILITÀ, DELLA SALUTE E DEL BENESSERE DEI CITTADINI.

Clima e qualità dell'aria sono temi al centro del dibattito attuale sull'ambiente e tra le problematiche più sentite da cittadini e amministratori pubblici. Oggi oltre il 70% delle emissioni nocive per il nostro pianeta proviene dalle città ed entro il 2050 oltre 6 miliardi di persone nel mondo vivranno nelle aree urbane. In questo scenario, le città sono chiamate a svolgere un ruolo fondamentale nell'affrontare il problema dell'inquinamento atmosferico, progettando e aggiornando le loro politiche di sviluppo con la massima attenzione alla salute dei cittadini e alla natura. Il verde urbano, a questo riguardo, offre una grande opportunità, grazie alla sua capacità di regolare il comfort termico e di fornire una grande varietà di benefici ecologici: tuttavia, le autorità locali

spesso non hanno le informazioni e gli strumenti decisionali necessari per scegliere la quantità di vegetazione da piantare e le aree più opportune per la piantumazione, nonché la tipologia di specie da utilizzare al fine di mantenere o migliorare la qualità dell'aria e aumentare la resilienza ai cambiamenti climatici.

Il progetto Veg-Gap, primo progetto preparatorio finanziato dal programma europeo Life in Italia, nasce dalla consapevolezza che l'utilizzo appropriato di una risorsa naturale come il verde urbano può migliorare la qualità della vita in città nei suoi molteplici aspetti sociali, economici e culturali, a partire proprio dal miglioramento della qualità dell'aria e del comfort termico, elementi fondamentali della salute e del benessere dei cittadini.

Il progetto rappresenta un positivo

esempio di collaborazione transnazionale tra organizzazioni con competenze diverse: città, centri di ricerca e imprese hanno lavorato fianco a fianco per produrre dati scientifici e una piattaforma informatica per migliorare la vivibilità delle città.

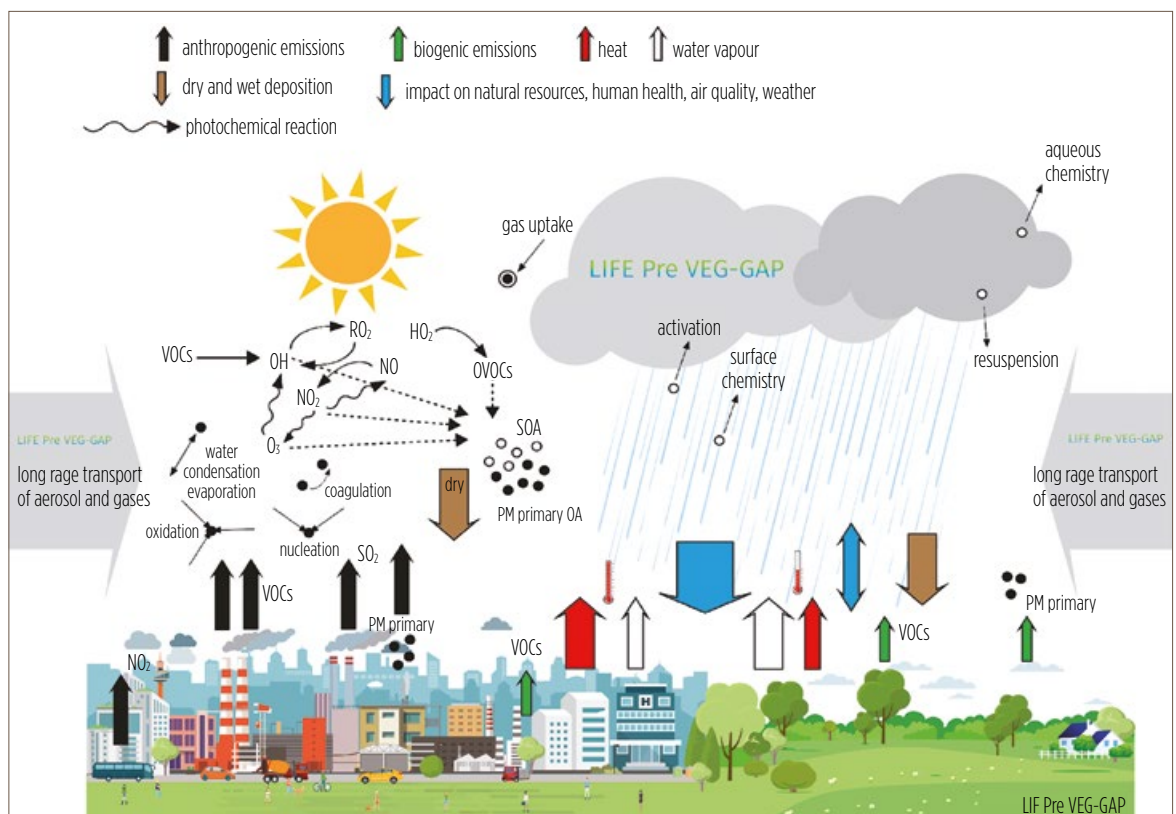
Grazie alle attività realizzate, i modelli scientifici sono stati trasformati in strumenti operativi che possono essere utilizzati dalle autorità locali per pianificare e monitorare le loro politiche ambientali in modo più efficace.

Le tre città pilota

Le tre città pilota che sono state coinvolte nelle attività (Bologna, Madrid e Milano) sono diverse per ubicazione e numero di abitanti, ma condividono

FIG. 1
EMISSIONI
E PROCESSI
ATMOSFERICI

Fonti di emissione naturali e antropiche e processi atmosferici fisici e chimici inclusi nei sistemi di modellizzazione della qualità dell'aria.



tutte la necessità di affrontare i problemi legati all'inquinamento e ai cambiamenti climatici (tabella 1).

Bologna (380.000 abitanti nel comune, 1 milione nella Città metropolitana) è il capoluogo e la città più grande della regione Emilia-Romagna. È un importante centro agricolo, industriale, finanziario e di trasporto e una delle città più ricche d'Italia, spesso classificata tra le prime nel paese in termini di qualità della vita. D'altra parte, è stata influenzata negativamente dagli impatti del cambiamento climatico e soffre di scarsa qualità dell'aria, come l'intero bacino del Po.

Madrid (3,3 milioni di abitanti) è la capitale e la città più grande della Spagna, nucleo di un'area metropolitana molto popolata. La qualità dell'aria e l'azione per il clima sono priorità ambientali per la città. Il trasporto e gli impianti di riscaldamento degli edifici sono le principali fonti di emissioni inquinanti. Il comune sviluppa piani e azioni per ridurre gli inquinanti e gas clima alteranti in atmosfera e per mitigare gli impatti dei cambiamenti climatici sulla città.

Milano è il centro d'affari e la seconda città più grande d'Italia, oltre a essere una delle aree urbane più densamente popolate della parte settentrionale del paese (1,3 milioni di abitanti). È caratterizzata da una topografia prevalentemente piatta, con un'antica rete concentrica della città che si è estesa soprattutto verso nord grazie alla sua marcata espansione urbana. La densità del tessuto urbano della città peggiora i principali rischi legati al cambiamento climatico, principalmente l'isola di calore e le inondazioni.

Metodologia e azioni del progetto

Il progetto Veg-Gap ha studiato le interazioni degli ecosistemi vegetali con l'atmosfera urbana a Bologna, Madrid e Milano, in particolare gli effetti simultanei della vegetazione sulla temperatura e sulla qualità dell'aria per gli inquinanti più significativi.

È stata creata una piattaforma web multiuso per elaborare i dati su verde, meteorologia e qualità dell'aria nelle tre città considerate, che può essere estesa per includere ulteriori città e dati. La piattaforma utilizza output e input elaborati attraverso i sistemi di modellistica atmosferica (Ams) e permette una collaborazione tra gli utenti finali (che possono interagire con l'analisi dei dati), le città (facilitando la condivisione delle conoscenze sulle

FIG.2
LA PIATTAFORMA
BASE

Progettata per guidare utenti non esperti in un'esplorazione dei risultati finali delle simulazioni Veg-Gap sugli effetti della vegetazione sulla temperatura e sulla qualità dell'aria.

Fonte: veggaplatform.enea.it



soluzioni ambientali di successo per la qualità dell'aria) e i cittadini (mostrando loro gli effetti degli interventi verdi). L'approccio utilizzato quantifica simultaneamente il contributo degli ecosistemi di vegetazione sia come fonte sia anche come elementi capaci di assorbire gli inquinanti atmosferici nelle aree urbane, l'effetto della vegetazione urbana sulla temperatura dell'aria e il suo impatto sulla qualità dell'aria.

Le valutazioni si basano su sistemi di modellistica atmosferica (Ams): modelli numerici che impiegano un insieme di equazioni e molte parametrizzazioni per descrivere i molteplici fenomeni e processi fisici e chimici che avvengono nell'atmosfera. Gli Ams forniscono informazioni sugli effetti della vegetazione sulla qualità dell'aria e sulla temperatura in città, confrontando diverse simulazioni che considerano il tipo e la quantità di piante nella presente e futura configurazione.

I dati elaborati disponibili sulla piattaforma informativa (figura 1) possono mostrare:

- come cambia la temperatura
- come cambiano le concentrazioni degli inquinanti
- quanto inquinamento è stato eliminato
- quanti composti organici volatili biogenici sono stati emessi.

La novità dell'approccio consiste nell'integrazione di diverse informazioni su scale diverse (dai dati satellitari alle mappe dettagliate, fino alla singola specie e alle sue dimensioni); inoltre è adottata

una prospettiva sull'intera area urbana, considerando anche possibili influenze regionali. Importante è poi la valutazione degli scenari futuri in termini di rischi e benefici per la salute umana e per la vegetazione stessa.

La piattaforma informativa Veg-Gap

I beni digitali e gli *open data* rappresentano una ricchezza strategica per le città perché possono stimolare conoscenza, partecipazione e inclusione. Fornire dati e informazioni affidabili sulla vegetazione e i relativi effetti in modo integrato su qualità dell'aria e temperature in città è l'ambizioso obiettivo del progetto Life Veg-Gap. Oggi infatti le città e i loro amministratori non dispongono di adeguate informazioni o strumenti di supporto alle decisioni in merito alla quantità di vegetazione, le specie da utilizzare e la loro distribuzione nelle aree urbane per migliorare la qualità dell'aria e mitigare gli effetti dei cambiamenti climatici, tanto più prendendo in considerazione l'integrazione dei vari fattori.

La piattaforma di Veg-Gap è accessibile in inglese, italiano e spagnolo e può essere utilizzata sia da utenti non esperti come i cittadini, nella versione base (figura 2) che mostra i diversi effetti degli interventi verdi, sia dagli operatori con competenze tecniche che possono

TAB. 1
LE TRE CITTÀ PILOTA

Principali caratteristiche delle città coinvolte nel progetto Veg-Gap.

	Bologna	Madrid	Milano
Abitanti (milioni)	0,38	3,3	1,3
Superficie (km ²)	140,9	604,5	181,7
Densità (ab/km ²)	2.745	5.500	7.554
Aree verdi (km ²)	55,5	182,3	42,3
Prime 5 specie di alberi	<i>Celtis australis</i> <i>Platanus acerifolia</i> <i>Tilia spp.</i> <i>Fraxinus excelsior</i> <i>Acer campestre</i>	<i>Platanus spp.</i> <i>Ulmus pumila</i> <i>Pinus pinea</i> <i>Prunus cerasifera</i> <i>Acer negundo</i>	<i>Celtis australis</i> <i>Platanus spp.</i> <i>Carpinus betulus</i> <i>Acer platanoides</i> <i>Robinia pseudoacacia</i>

utilizzarla nella versione avanzata per progettare le soluzioni più appropriate al fine di raggiungere i benefici desiderati. Il servizio base per cittadini, è accessibile liberamente ed è strutturato attraverso un percorso guidato per un' esplorazione intelligente dei risultati del progetto, attraverso domande e risposte. Le informazioni disponibili riguardano la vegetazione presente e il suo effetto sulla temperatura dell'aria, la concentrazione di inquinanti, la rimozione dell'inquinamento o le emissioni biogeniche.

Il servizio avanzato è invece progettato per supportare urbanisti, scienziati e ricercatori; richiede competenze sui sistemi webGis e, in generale, nella visualizzazione dei dati georeferenziati e relative serie temporali. In questo caso l'accesso è riservato agli utenti registrati. È possibile farne richiesta scrivendo all'indirizzo info@lifeveggap.eu. Utilizzando il servizio avanzato si possono consultare tutti i dati di progetto, in particolare è possibile accedere anche agli scenari futuri e a ulteriori variabili aggiuntive; è inoltre possibile operare analisi confrontando diverse posizioni o variabili, così come scaricare dati o mappe. L'architettura della piattaforma è modulare e questo la rende facilmente incrementabile in futuro, così da poter includere più città e dati.

Risultati e sviluppi futuri

Grazie agli strumenti sviluppati da Veg-Gap, i decisori e politici possono compiere scelte informate e identificare le soluzioni di pianificazione più efficaci. Le valutazioni effettuate per gli attuali scenari di vegetazione nelle tre città pilota forniscono le basi per testare ulteriormente l'effetto di soluzioni ambientali (come le infrastrutture verdi, l'agricoltura urbana, le aree verdi urbane e soluzioni basate sulla natura ecc.) sull'inquinamento atmosferico in una prospettiva integrata nello spazio e nel tempo.

I risultati ottenuti mostrano che la temperatura dell'aria e i livelli di inquinamento non sono influenzati allo stesso modo dalla vegetazione in tutta la città, ma variano in base alle diverse combinazioni di vegetazione, morfologia urbana e "cocktail" di emissioni antropogeniche; pertanto, per evitare effetti negativi indesiderati, le valutazioni dell'impatto dell'inquinamento sulla salute dell'uomo e della vegetazione e sulla biodiversità dovrebbero considerare questo aspetto insieme alla sua variabilità nel tempo.

La metodologia di valutazione di Veg-Gap può essere utilizzata da qualsiasi città e potrebbe aiutare a sviluppare strategie comuni per combattere l'inquinamento atmosferico e i cambiamenti climatici, considerando le caratteristiche degli ecosistemi urbani e della vegetazione, simultaneamente alle misure per ridurre le emissioni di origine antropica e alla pianificazione urbana (misure a lungo termine nell'utilizzo del verde urbano per l'adattamento ai cambiamenti climatici).

Inoltre il progetto contribuisce al raggiungimento degli Obiettivi di sviluppo sostenibile promossi dall'Agenda

2030 dell'Onu. In particolare concorre all'obiettivo 11 "Città e comunità sostenibili" e agli obiettivi specifici 11.6 "ridurre l'impatto ambientale delle città, prestando particolare attenzione alla qualità dell'aria" e 11.b "attuare politiche e piani integrati volti all'inclusione, all'efficienza delle risorse, alla mitigazione e all'adattamento ai cambiamenti climatici e alla resistenza alle catastrofi".

Valeria Stacchini

Servizio Ricerca, innovazione e gestione progetti europei, Città metropolitana di Bologna



1

IL PROGETTO EUROPEO VEG-GAP



Fornire dati e informazioni affidabili sugli effetti della vegetazione riguardo a qualità dell'aria e temperature in città. Questo è l'obiettivo del progetto europeo Veg-Gap (Life18 Pre IT003), coordinato da Enea e finanziato con 1 milione di euro dal Programma Life che mette per la prima volta a disposizione delle pubbliche amministrazioni linee guida e piattaforme informative, in

grado di fornire dati sull'efficienza della vegetazione nel mitigare l'inquinamento atmosferico insieme alla temperatura, applicati in tre città pilota: Bologna, Madrid e Milano.

Hanno lavorato al progetto otto partner italiani e spagnoli, di cui cinque scientifici (pubblici e privati): Enea (capofila), Arianet, Crea, Meeo, Upm - Università politecnica di Madrid e tre autorità locali: Città metropolitana di Bologna, Comune di Madrid e Comune di Milano.

I risultati del progetto sono disponibili sul sito www.lifeveggap.eu, da cui è anche possibile accedere alla piattaforma informativa (<https://veggaplatform.enea.it/>).

I VANTAGGI DELLA VEGETAZIONE SULLA QUALITÀ DELL'ARIA

LE PIANTE HANNO ASSUNTO UN'IMPORTANZA SEMPRE PIÙ RILEVANTE NELLE STRATEGIE DI MITIGAZIONE AMBIENTALE, SIA PER IL CLIMA SIA PER LA CAPACITÀ DECONTAMINANTE SU INQUINANTI GASSOSI E SOLIDI. NELLA PROGETTAZIONE DI INFRASTRUTTURE VERDI URBANE È IMPORTANTE SCEGLIERE LE SPECIE PIÙ EFFICACI.

I cambiamenti climatici oggi in atto sono attribuibili non solo a fenomeni naturali, ma soprattutto a interferenze delle attività umane. Infatti, l'uso di combustibili fossili e la conseguente emissione in atmosfera di gas serra accelerano il riscaldamento globale e quindi il cambiamento climatico, senza considerare il rilascio di inquinanti atmosferici derivanti principalmente dalle attività industriali, dal riscaldamento e dal trasporto. Tra questi, il particolato atmosferico (PM) è sempre più motivo di preoccupazione poiché causa malattie polmonari e infiammazioni dell'apparato respiratorio. Anche inquinanti gassosi come gli ossidi di zolfo e di azoto (SO_x e NO_x), l'ozono (O₃) e gli idrocarburi come il benzene e il toluene hanno profonde ricadute negative sulla salute e il benessere dell'ambiente.

Dall'inizio della rivoluzione industriale la concentrazione della CO₂ è in continuo aumento, raggiungendo a settembre 2022 un valore di 416 ppm, già aumentato rispetto all'anno precedente (413 ppm; NOAA, <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends>). I cambiamenti climatici sono ancor più evidenti nelle città, dove risiede più del 50% della popolazione globale, perché pur ricoprendo solo il 2% della superficie terrestre sono responsabili dell'emissione del 70% dei gas serra. In città, inoltre, si assiste al fenomeno conosciuto come "isola di calore urbano", cioè all'aumento della temperatura dell'aria rispetto agli ambienti rurali, a causa della presenza di superfici riflettenti e della struttura urbanistica oltre alla scarsa presenza di vegetazione. Tutto ciò ha ricadute negative sulla salute.

Gli effetti di mitigazione delle piante in ambito urbano

Negli ultimi anni le piante hanno assunto un'importanza sempre più rilevante nelle strategie di mitigazione

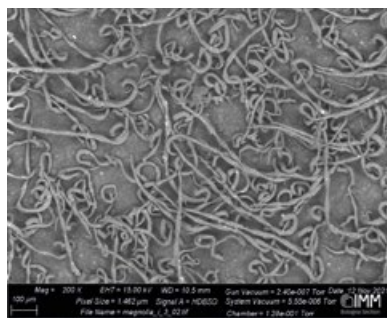
ambientale, poiché esercitano numerosi effetti positivi anche nelle aree urbane e forniscono un'ampia gamma di servizi ecosistemici a beneficio dell'ambiente, del clima e del benessere psicofisico dei cittadini. Le piante infatti sono in grado di ridurre l'effetto "isola di calore urbano" attraverso l'ombreggiamento e l'evapotraspirazione dalle foglie dell'acqua assorbita dal terreno con le radici; sequestrano l'anidride carbonica (CO₂) attraverso i processi fotosintetici e assorbono o trattengono gli inquinanti atmosferici; aumentano l'efficienza nell'uso dell'energia (tetti verdi, pareti verdi); riducono il deflusso superficiale

dell'acqua piovana; partecipano alla manutenzione del suolo e riducono la velocità del vento.

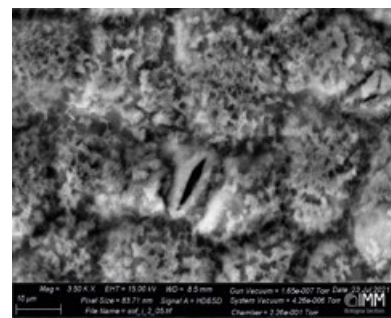
Non tutti gli alberi però sono uguali! La capacità decontaminante è correlata in particolare alle caratteristiche morfologiche e micro-morfologiche delle foglie (El-Khatib et al., 2011; Sæbø et al., 2012; Baraldi et al., 2019a); gli inquinanti gassosi come l'ozono vengono assorbiti attraverso gli stomi, aperture presenti sulla superficie fogliare, oppure diffondono attraverso la cuticola e le cere. Il particolato può essere trattenuto invece sulla superficie fogliare da strutture come

SPECIE VEGETALI

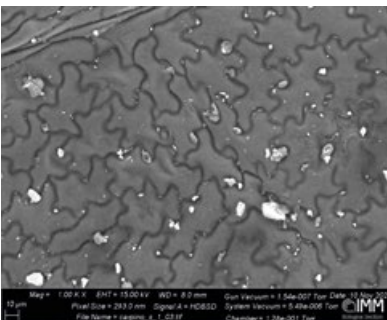
Foto a diversa magnificazione ottenute mediante un microscopio elettronico a scansione ambientale (Esem). Tutte le foto sono di Luisa Neri, Ibe-Cnr.



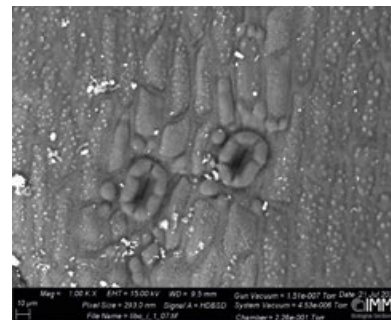
Pagina inferiore di *Magnolia grandiflora*, ricoperta di tricomi semplici.



Pagina inferiore di *Sofora japonica*, ricoperta di cere a scaglie.



Pagina superiore di *Carpinus betulus*, con il particolato sottile intrappolato sulla superficie.



Pagina inferiore di *Libocedrus decurrens*, con stomi, papille e particolato intrappolato sulla superficie.

i peli e le cere, e quello più sottile può essere addirittura assorbito attraverso gli stomi delle foglie.

A questo proposito, in particolar modo la vegetazione arborea esercita un ruolo importante nella riduzione dell'inquinamento dell'aria dal particolato, che è purtroppo noto per la sua nocività specialmente in ambiente urbano.

Per inquinamento atmosferico da particolato sospeso solitamente ci si riferisce alla concentrazione di PM_{10} e $PM_{2,5}$; le PM_{10} sono formate da composti organici e naturali, avente un diametro inferiore ai 10 μm . Questo tipo di particelle rappresenta la maggior parte della massa totale del particolato sospeso in atmosfera.

Invece le $PM_{2,5}$ (diametri inferiori ai 2,5 μm) contengono per la maggior parte particelle di formazione antropogenica, come fuliggine, nitrati e solfati. È generalmente riconosciuto che sia proprio questa piccola percentuale di particelle fini a causare malattie polmonari e infiammazioni dell'apparato respiratorio e si stima che in ambiente urbano fino al 90% delle emissioni di questo tipo provengano dal traffico stradale.

Gli alberi con una chioma ampia sono più efficaci quindi nella mitigazione in virtù della maggiore superficie fogliare, ma anche gli arbusti, pur avendo un apparato fogliare minore, sono molto importanti per creare barriere verdi di protezione in zone limitrofe alle sorgenti di emissione di inquinanti (strade e zone industriali).

Un altro aspetto molto importante da valutare nelle strategie di mitigazione di aree urbane riguarda la capacità delle piante di sintetizzare e rilasciare nell'aria composti organici volatili (Cov) che svolgono importanti ruoli eco-fisiologici necessari alla piante per sopravvivere anche in ambienti ostili, come ad esempio richiamare gli insetti impollinatori o proteggersi contro attacchi di patogeni o contro stress abiotici causati da condizioni ambientali sfavorevoli di temperatura e siccità. Queste sostanze possono modificare la chimica dell'atmosfera influenzando il bilancio di formazione-distruzione dell'ozono troposferico: generalmente in ambiente naturale dove gli inquinanti antropogenici sono bassi, i Cov reagiscono con l'ozono riducendone così la concentrazione nell'atmosfera; al contrario, possono causare dei disservizi nei centri urbani dove la presenza di maggiori concentrazioni di NO_x favorisce la formazione di ulteriore ozono.

Le specie più efficaci

Quindi nella progettazione di infrastrutture verdi per rendere le città più resilienti è fondamentale scegliere, oltre al luogo, anche le specie più efficaci nella mitigazione ambientale, ma anche quelle più resistenti ai cambiamenti climatici e con minore effetti allergenici. Le specie sempreverdi, attive anche in inverno, le piante con micro morfologia fogliare complessa e con basse emissioni di Cov sono considerate complessivamente più adatte alla mitigazione dell'inquinamento urbano. Per questo, l'Ibe-Cnr di Bologna ha caratterizzato diverse specie vegetali (www.vivam.it).

Tra le più efficaci nel sequestro di CO_2 e di inquinanti e al contempo non impattanti sulla qualità dell'aria, possiamo citare ad esempio tra le sempreverdi i pini, gli abeti, i libocedri e le magnolie; tra le caducifoglie i cerri, i carpini, le sofore, gli aceri, i bagolari, i frassini, i tigli e gli olmi e tra gli arbusti l'alloro, la photinia, il viburno e il ligustro. Inoltre i tetti o le pareti verdi rivestiti di specie erbacee, soluzione adottata negli ultimi anni dai progettisti dove non è possibile piantare a terra, possono contribuire a rendere più miti le temperature, migliorando le prestazioni energetiche degli edifici e rallentando l'innalzamento delle temperature in città, senza contare, come detto, la capacità di mitigazione dell'aria tipica anche delle specie erbacee.

Per esempio *Achillea millefolium* e *Salvia nemorosa* sono specie efficaci grazie alle loro caratteristiche micromorfologiche fogliari (Baraldi et al., 2019 b), oppure anche le rampicanti come edera, glicine e vite americana. Negli ultimi anni gli spazi verdi nelle città sono aumentati, ma

è importante un'accurata progettazione e gestione del verde che tenga anche conto dei sempre più frequenti eventi estremi, come in particolare la siccità e le alte temperature che minacciano anche la sopravvivenza delle piante.

Secondo recenti studi, il 56-65% delle specie è già a rischio, percentuale che si prevede in costante aumento (Esperon-Rodriguez et al., 2022): ovviamente i benefici che possono essere forniti da una pianta malata o sotto stress sono estremamente limitati, senza contare il rischio di possibili disservizi. Quindi mettere a dimora e preservare le foreste urbane resilienti al clima contribuisce a mitigare gli effetti negativi del cambiamento climatico globale, ma ha anche un ruolo essenziale nella connessione delle persone con la natura per il miglioramento della qualità della vita (percezione, estetica, aspetti culturali e sociali). Senza dimenticare l'importanza che, nella progettazione del verde nelle nostre città, sia preservata la necessità di contribuire ad arricchire la biodiversità urbana, fornendo habitat per molte specie vegetali e animali e favorendo quindi la conservazione della natura in un contesto altamente antropizzato.

Giulia Carriero, Rita Baraldi, Osvaldo Facini, Luisa Neri

Ricercatori del Gruppo di ricerca "Fitorimediazione e mitigazione ambientale" dell'Istituto per la bioeconomia del Consiglio nazionale delle ricerche (Ibe-Cnr) di Bologna

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Baraldi R., Chieco C., Neri L., Facini O., Rapparini F., Morrone L., Rotondi A., Carriero G., 2019a, "An integrated study on air mitigation potential of urban vegetation: From a multi-trait approach to modeling", *Urban Forestry & Urban Greening*, 41, 127-128.

Baraldi R., Neri L., Costa F., Facini O., Rapparini F., Carriero G., 2019b, "Ecophysiological and micromorphological characterization of green roof vegetation for urban mitigation", *Urban Forestry & Urban Greening*, 37, 24-32.

EL-Khatib A., El-Rahman M., Elsheikh O., 2011, "Leaf geometric design of urban trees: potentiality to capture airborne particle pollutants", *Journal of Environmental Studies*, 7, 49-59.

Esperon-Rodriguez M., Tjoelker M., Lenoir J., Baumgartner J., Beaumont L., Nipperess D. et al., 2022, "Climate change increases global risk to urban forest", *Nature Climate Change*.

Sæbø A., Popek R., Nawrot B., Hanslin H.M., Gawronska H., Gawronski S.W., 2012, "Plant species differences in particulate matter accumulation on leaf surfaces", *Science of The Total Environment*, 427-428, 347-354.

L'ARIA IN EMILIA-ROMAGNA, LE CRITICITÀ NEGLI ULTIMI ANNI

ANALOGAMENTE A QUANTO ACCADE IN TUTTA LA PIANURA PADANA, GLI INQUINANTI PIÙ PROBLEMATICI SONO PARTICOLATO, OZONO E BISSIDO DI AZOTO. LA SINTESI DEI DATI ANNUALI E LE RELATIVE ANALISI DERIVANO DALL'ELABORAZIONE DEI VALORI RILEVATI DALLE 47 STAZIONI CERTIFICATE DELLA RETE REGIONALE DI MISURA.

In Emilia-Romagna, analogamente a quanto accade in tutto il bacino padano, la qualità dell'aria presenta criticità principalmente per gli inquinanti PM₁₀, ozono (O₃) e biossido di azoto (NO₂).

Le problematiche su PM₁₀ e ozono interessano pressoché l'intero territorio regionale, mentre per l'NO₂ la criticità è più localizzata in prossimità di importanti fonti di emissione, legate prevalentemente al traffico veicolare (agglomerati urbani, grandi arterie stradali e autostradali).

La concentrazione annua di fondo di PM_{2,5} ha avuto valori superiori o prossimi al limite di legge di 25 µg/m³ in alcune aree della pianura occidentale nell'anno 2017, mentre non si evidenziano più superamenti recenti.

I livelli di concentrazione in aria di inquinanti primari come il monossido di carbonio e il biossido di zolfo sono da tempo al di sotto dei valori limite. Anche alcuni degli inquinanti che in precedenza avevano manifestato alcune criticità, come i metalli pesanti, gli idrocarburi policiclici aromatici e il benzene, sono entro i limiti di legge in tutte le stazioni di rilevamento.

Le polveri fini e l'ozono sono inquinanti in parte o totalmente di origine secondaria, ovvero dovuti a trasformazioni chimico-fisiche degli

inquinanti primari, favorite da fattori meteorologici.

Per il PM₁₀ la componente secondaria è preponderante in quanto rappresenta circa il 70% del particolato totale.

Gli inquinanti che concorrono alla formazione della componente secondaria del particolato sono ammoniaca (NH₃),

ossidi di azoto (NO_x), biossido di zolfo (SO₂) e composti organici volatili (Cov). L'analisi dell'origine geografica dell'inquinamento ha mostrato che la concentrazione media di fondo di PM₁₀ in Emilia-Romagna dipende in buona parte dall'inquinamento a grande scala tipico della pianura padana. In



GUIDA ALLA LETTURA DELLE IMMAGINI

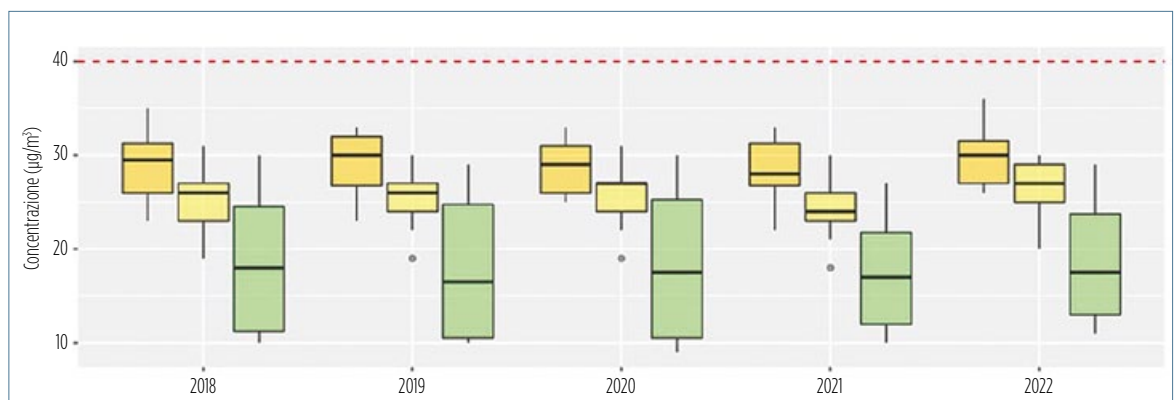
Nelle figure di questo articolo, la linea rossa indica il valore limite annuale.

I valori rilevati ogni anno dalle stazioni da traffico (in arancione), di fondo urbano e suburbano (in giallo) e di fondo rurale (in verde) sono rappresentati come boxplot. Ciascun box rappresenta l'intervallo tra il 25° e il 75° percentile dei valori annuali ed è evidenziata la linea della mediana. Le linee verticali rappresentano il massimo e minimo. Gli outliers sono rappresentati come punti.

1 traffico urbano 2 fondo urbano e suburbano 3 fondo rurale

FIG. 1
PM₁₀ MEDIA ANNUA

Andamento della concentrazione media annuale di PM₁₀ dal 2018 al 2022. Il valore limite annuale è pari a 40 µg/m³.



altre parole, le azioni di riduzione delle emissioni inquinanti applicate sul solo territorio dell'Emilia-Romagna, anche se fondamentali per ridurre i livelli di PM₁₀ nelle città, possono agire solo in parte sul fondo a grande scala, rendendo indispensabile, per il rispetto dei limiti di qualità dell'aria, l'individuazione di azioni coordinate tra le varie Regioni del bacino padano che portino a una riduzione complessiva delle emissioni inquinanti.

Diversamente, l'analisi dell'origine geografica dell'inquinamento da NO₂ evidenzia un notevole peso della componente locale che contribuisce per circa il 50% alle concentrazioni in prossimità delle principali sorgenti di emissione, in particolare le strade a traffico intenso. Significative sono anche la componente della concentrazione attribuibile al fondo urbano e la componente prevalentemente originata all'interno della regione. In pianura risulta invece del tutto trascurabile il contributo della componente a larga scala attribuibile all'esterno della regione, mentre nella zona appenninica le componenti di fondo sono in proporzione predominanti a causa delle ridotte emissioni locali. Complessivamente le condizioni di inquinamento diffuso sono causate dall'elevata densità abitativa, dalla forte industrializzazione, dalle pratiche agricole e zootecniche intensive, dal sistema dei

trasporti e di produzione dell'energia e sono favorite dalla particolare conformazione geografica che determina condizioni di stagnazione dell'aria inquinata in conseguenza della scarsa ventilazione e del basso rimescolamento degli strati bassi dell'atmosfera.

La Commissione europea ha del resto riconosciuto che le situazioni di superamento dei limiti per PM₁₀ sono dovute soprattutto a condizioni climatiche avverse. Tuttavia la Corte di giustizia dell'Unione europea ha condannato l'Italia per l'inadempimento degli obblighi derivanti dalla direttiva 2008/50/CE relativamente al superamento dei valori limite di PM₁₀ negli anni 2008-2016. Le zone oggetto di superamento, per il valore limite giornaliero di PM₁₀ sono la pianura Ovest e la pianura Est, mentre è escluso l'agglomerato di Bologna.

PM₁₀ e PM_{2,5}

I valori limite (VI) annuale e giornaliero per il PM₁₀ fissati dalla direttiva 2008/50/CE sono stati superati nelle zone di pianura e nell'agglomerato di Bologna fin dalla loro entrata in vigore nel 2005.

Nel corso del tempo l'andamento delle concentrazioni medie annuali è migliorato,

tanto che dal 2013 non viene registrato più alcun superamento del VI annuale. Analizzando statisticamente il *trend* nel periodo 2013-2022 non risultano variazioni significative per gli insiemi delle stazioni di fondo e rurale dell'Emilia-Romagna, mentre appare una lieve diminuzione per le stazioni di traffico. Tale analisi trova riscontro anche nel fatto che le intensità dei picchi giornalieri nell'ultimo quinquennio sono inferiori a quelle del quinquennio precedente.

Criticità permangono invece relativamente al superamento del VI giornaliero (50 µg/m³ da non superare per oltre 35 giorni): il VI giornaliero risulta infatti sistematicamente superato in gran parte delle stazioni di traffico e di fondo urbano e suburbano, e in buona parte delle stazioni di fondo rurale. Il numero maggiore di superamenti si registra nelle stazioni da traffico, ma anche le stazioni di fondo urbano e, in alcuni anni, anche alcune stazioni di fondo rurale (collocate in diverse condizioni geografiche, che variano dalla pianura alle zone appenniniche) risultano superare il limite. La variabilità intra-annuale risulta diversa da un anno all'altro ed è maggiore nelle stazioni di fondo rurale. In tutte le tipologie di stazioni si osserva una variazione inter-annuale nella distribuzione dei valori medi annuali e, in misura maggiore, del numero di

FIG. 2
PM₁₀ LIMITE
GIORNALIERO

Andamento del numero di superamenti del valore limite giornaliero per PM₁₀ dal 2018 al 2022. Il valore limite annuale è fissato a 35 giorni di superamento.

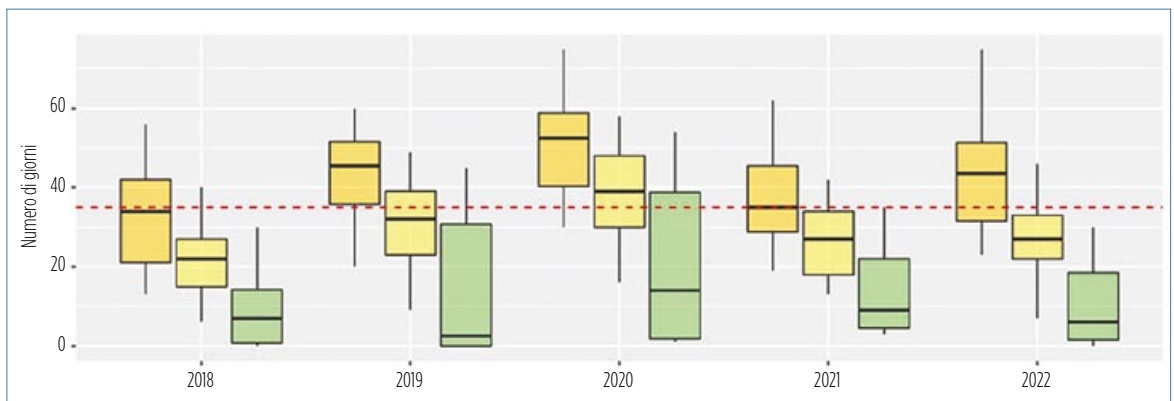
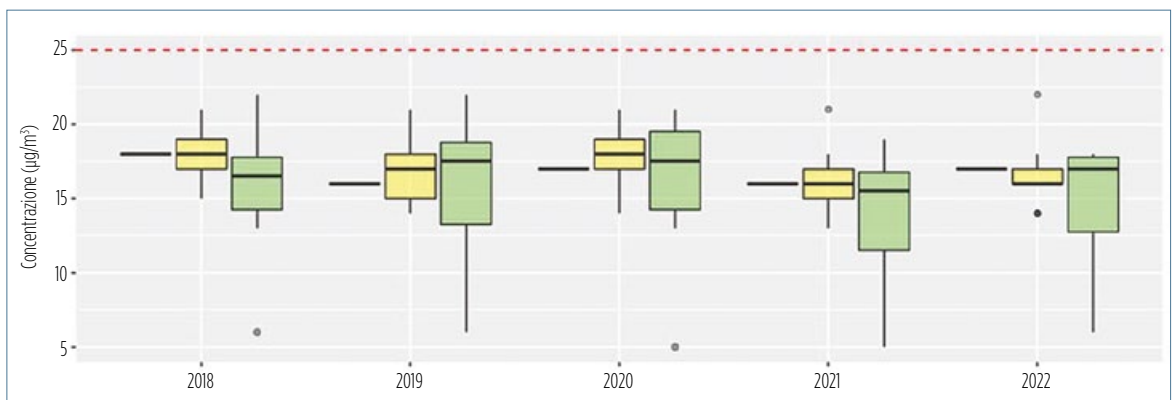


FIG. 3
PM_{2,5} LIMITI
ANNUALE

Andamento della concentrazione media annuale di PM_{2,5} dal 2018 al 2022. Il valore limite annuale di riferimento è 25 µg/m³.



superamenti del valore limite giornaliero, legata all'andamento meteorologico. Il 2015 e il 2017 sono gli anni in cui le condizioni meteorologiche sono state particolarmente sfavorevoli alla qualità dell'aria: si sono verificati infatti lunghi periodi con condizioni di alta pressione, assenza di precipitazioni e scarsa ventilazione.

Per quanto riguarda il PM_{2,5}, misure sistematiche di questo inquinante sono disponibili a partire dal 2008, mentre dal 2005 al 2007 sono disponibili dati da una sola stazione. I dati di monitoraggio e le stime modellistiche mostrano come la concentrazione media annuale di PM_{2,5} presenti una distribuzione relativamente uniforme sul territorio. Questa relativa omogeneità è conseguenza dell'origine prevalentemente secondaria di questo inquinante; la forte componente secondaria si riflette anche nella marcata componente di fondo.

Il valore limite della concentrazione media annuale per il PM_{2,5} (25 µg/m³) è stato superato solo sporadicamente in alcune stazioni di fondo rurale nel 2011, 2012, 2015 e 2017, anni meteorologicamente favorevoli all'accumulo di polveri. L'andamento complessivamente presenta una lieve tendenza alla diminuzione nella concentrazione di questo inquinante confermata dall'analisi statistica del *trend*.

La concentrazione annua di fondo di PM_{2,5} ha avuto valori superiori o prossimi al limite di legge di 25 µg/m³ in alcune aree della pianura occidentale nell'anno 2017, mentre non si evidenziano criticità negli anni più recenti.

Dal 1° gennaio 2020, il rispetto del valore di 20 µg/m³ come media annuale è oggetto di comunicazione all'Unione europea, sebbene continui ad applicarsi come limite indicativo e non normativo.

Biossido di azoto

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

Nel 2020 la media annuale di biossido di azoto (NO₂) ha fortemente risentito dell'effetto del *lockdown*: i valori medi annuali sono risultati inferiori all'anno precedente e per la prima volta in tutte le stazioni è stato rispettato il valore limite annuale di 40 µg/m³ (nel 2019 è stato superato in 4 stazioni, nel 2021 in 1 sola). Anche nel 2022 non è stato superato in nessuna stazione il valore limite annuale.

Nel 2020, 2021 e 2022 in nessuna stazione si è avuto il superamento del valore limite orario di 200 µg/m³, del resto mai superato per più di 18 volte a partire dalla sua entrata in vigore. Le stime dei trend nel periodo 2013-2022 rivelano una tendenza alla diminuzione generale delle concentrazioni nella maggior parte delle stazioni. Le stazioni di traffico e di fondo urbano e suburbano mostrano una maggiore tendenza al calo, comunque presente anche nelle stazioni di fondo rurale.

Pur considerando l'influenza che il *lockdown* del 2020 e le misure di contenimento adottate per l'emergenza sanitaria nel periodo successivo hanno avuto sulle concentrazioni di ossidi di azoto, l'analisi dei dati di NO₂ fino al 2019 mostrava già una tendenza significativa alla riduzione.

Ozono

L'andamento dell'ozono si mostra pressoché stazionario nell'ultimo decennio, con fluttuazioni dovute alla variabilità meteorologica della stagione estiva. Questo inquinante viene prodotto in atmosfera per effetto delle reazioni fotochimiche, catalizzate dalla radiazione solare, dei principali precursori, Cov e NO_x, trasportati e diffusi dai venti e dalla turbolenza atmosferica. Ne consegue che si osservano concentrazioni elevate anche a distanza dalle sorgenti di inquinanti primari.

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

La soglia di allarme per la popolazione (concentrazione media oraria uguale a 240 µg/m³) non è mai stata superata, ma il numero di superamenti della soglia di informazione alla popolazione (concentrazione media oraria uguale a 180 µg/m³) non mostra *trend* evidenti di miglioramento su scala regionale. Nel periodo 2018-2022 si sono avute ampie zone di superamento dell'obiettivo a lungo termine, con particolare riferimento agli anni più caldi, meteorologicamente favorevoli alla formazione di ozono.

L'ozono risulta essere potenzialmente dannoso anche per la vegetazione. La modalità di azione dell'ozono sulle piante si esplica mediante una serie di processi biochimici e fisiologici che portano ad alterazioni nel metabolismo delle stesse. Gli effetti indotti dall'ozono sono cumulativi e comportano la riduzione netta

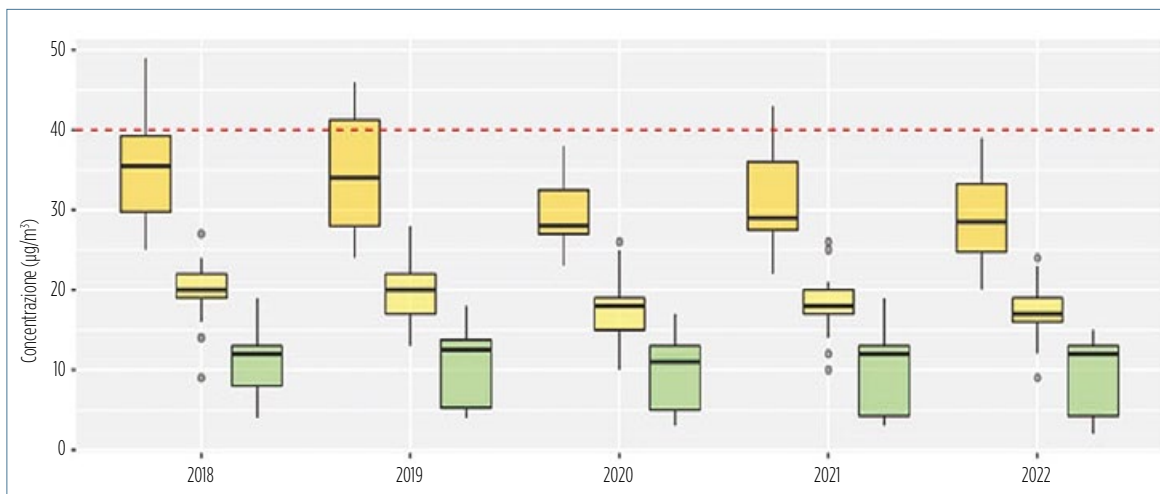


FIG. 4
NO₂ MEDIA ANNUALE

Andamento della concentrazione media annuale di NO₂ dal 2018 al 2022. Il valore limite annuale è di 40 µg/m³.

del processo di fotosintesi, cambiamenti nell'allocazione dei carboidrati e la senescenza precoce delle foglie, con conseguente riduzione della formazione di biomassa e della resa colturale. Considerati questi meccanismi, per misurarne gli effetti sulla vegetazione, è stato implementato un indice che valuta l'esposizione cumulata al di sopra di una soglia, fissata a 40 parti per miliardo (40 ppb = 80 µg/m³), scelta sulla base di studi condotti in Europa. Tale indice, indicato con il termine Aot40, è calcolato come la somma delle eccedenze orarie del valore di 40 ppb, nel periodo in cui gli stomi sono aperti, e cioè durante il periodo della crescita (maggio-luglio per la vegetazione o aprile-settembre per le foreste) nelle ore diurne del giorno (tra le 8 e le 20), quando quindi l'esposizione è maggiore. L'obiettivo a lungo termine Aot40 per la protezione della vegetazione risulta ampiamente al di sopra del valore di riferimento (6.000 µg/m³ × h) in tutte le stazioni della regione e i valori tendono a rimanere costanti.

Chiara Agostini, Simona Maccaferri, Vanes Poluzzi

Ctr Qualità dell'aria, Arpae Emilia-Romagna

Si ringraziano i responsabili dei Servizi sistemi ambientali, i referenti della rete di qualità dell'aria e tutto il personale di Arpae che contribuisce alla rilevazione, elaborazione e pubblicazione dei dati.

LA RETE E I DATI

LA RETE REGIONALE DELLA QUALITÀ DELL'ARIA

La sintesi dei dati annuali e la relativa analisi derivano dall'elaborazione dei valori rilevati dalla rete regionale di misura della qualità dell'aria della Regione Emilia-Romagna.

La rete, certificata secondo la norma UNI EN ISO 9001:2015, è gestita da Arpae Emilia-Romagna e sottoposta a rigorosi e costanti controlli di qualità.

È composta da 47 stazioni: in ognuna viene rilevato il biossido di azoto (NO₂), 43 misurano il PM₁₀, 24 il PM_{2,5}, 34 l'ozono, 5 il monossido di carbonio (CO), 9 il benzene e 1 il biossido di zolfo (SO₂).

Le stazioni si trovano prevalentemente nelle aree urbane e sono rappresentative pertanto delle aree a maggiore densità abitativa della regione.

I DATI DELLA QUALITÀ DELL'ARIA IN TEMPO REALE

I dati della qualità dell'aria sono pubblicati in tempo reale da Arpae Emilia-Romagna ogni giorno sulla pagina web dedicata alla qualità dell'aria (www.arpae.it/it/temi-ambientali/aria/dati-qualita-aria/stazioni-fisse). Sono riportati i dati delle stazioni e le mappe di valutazione e previsione quotidiane su tutto il territorio regionale.

La pagina "Aria", nella sezione "Situazione riassuntiva regionale" (<https://apps.arpae.it/qualita-aria/bollettino-qa/>), riporta anche i livelli giornalieri e le statistiche riepilogative relative al superamento dei limiti in ciascuna stazione.

I dati giornalieri vengono pubblicati dopo la validazione da parte degli operatori qualificati (nei fine settimana e nei giorni festivi i dati sono pubblicati previo controllo automatico, ma senza validazione da parte dell'operatore, per cui possono subire variazioni a seguito del processo di controllo effettuato nel primo giorno lavorativo).

Il sito Liberiamo l'aria (www.liberiamolara.it), aggiornato quotidianamente durante il periodo invernale, riporta le informazioni relative ai provvedimenti emergenziali e quelle aggregate a livello provinciale relative al superamento del valore limite giornaliero per PM₁₀.

I dati sono disponibili anche in modalità open data (<https://dati.arpae.it/group/aria>).

FIG. 5
OZONO,
SUPERAMENTI
DELLA SOGLIA DI
INFORMAZIONE

Andamento del numero di superamenti (ore) della soglia di informazione dell'ozono (180 µg/m³) dal 2018 al 2022.

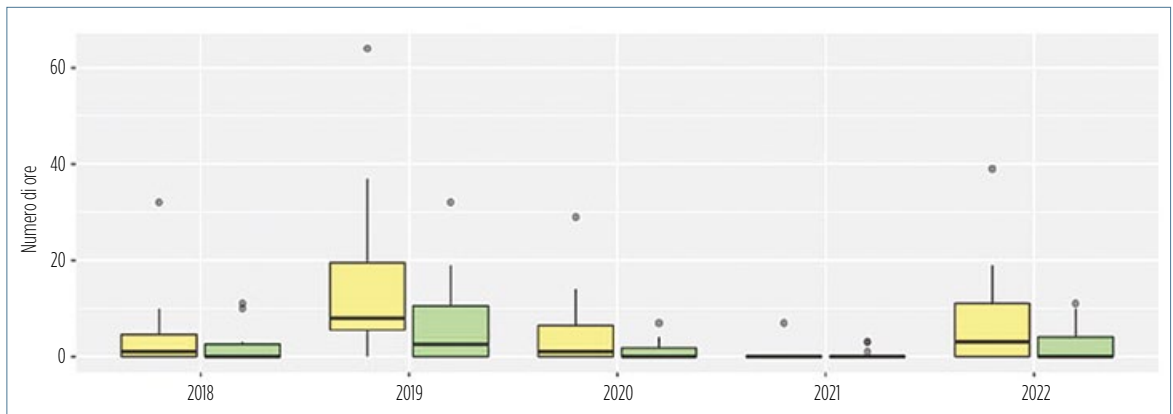
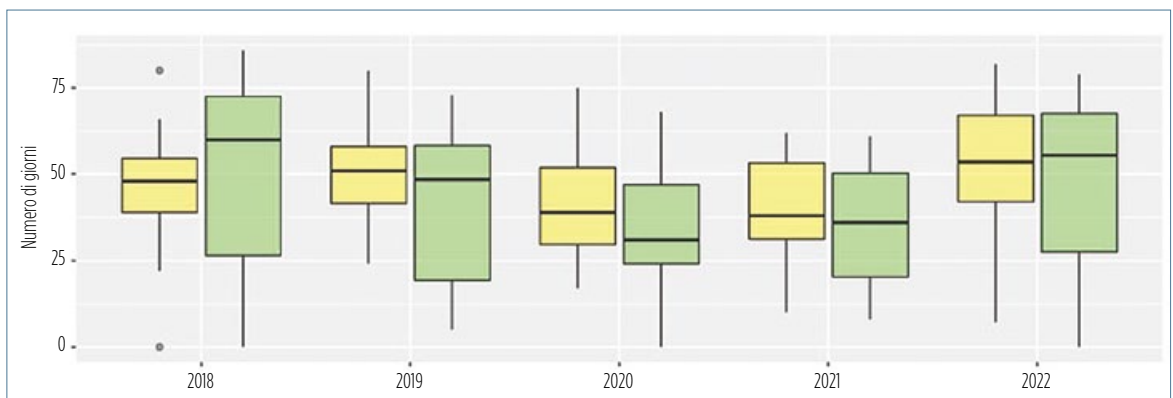


FIG. 6
OZONO,
SUPERAMENTI
DELL'OBIETTIVO A
LUNGO TERMINE

Andamento del numero di superamenti dell'obiettivo a lungo termine per la protezione della salute (massimo giornaliero della media mobile su 8 ore superiore a 120 µg/m³) dal 2018 al 2022.



IL TREND DELL'OZONO IN EMILIA-ROMAGNA

UNA DETTAGLIATA ANALISI DELL'ANDAMENTO DELLE CONCENTRAZIONI DI OZONO TROPOSFERICO IN EMILIA-ROMAGNA, CON UN CONFRONTO TRA IL 2022 E IL 2003, ANNI CON CRITICITÀ COMPARABILI. LA NON LINEARITÀ DEI FENOMENI ASSOCIATI ALLA PRODUZIONE E ALLA DISTRUZIONE DELLE MOLECOLE DI OZONO RENDE COMPLESSA L'ANALISI.

L'ozono troposferico, il principale *marker* dello smog fotochimico del periodo caldo, è uno degli inquinanti atmosferici più dannosi per quanto riguarda l'impatto sull'ambiente e sulla salute. Livelli elevati causano morti premature, riduzione dei raccolti agricoli e della crescita delle piante, cambiamenti nella composizione delle specie dell'ecosistema e danni a infrastrutture e al patrimonio culturale.

L'ozono non viene emesso direttamente nell'atmosfera, ma si forma grazie a complesse reazioni fotochimiche a partire da gas precursori. Il regime degli ossidi di azoto (NO_x) è il fattore principale che determina se l'ozono è prodotto o rimosso nella troposfera. I principali precursori per la formazione di ozono sono: NO_x , composti organici volatili (Voc) e monossido di carbonio (CO). La formazione di ozono dipende poi fortemente dalle condizioni meteorologiche (temperatura, irraggiamento solare, stabilità atmosferica). Dato che nelle aree urbane vengono emesse grandi quantità di ossidi di azoto e di idrocarburi, e l'ozono si forma in atmosfera durante il trasporto di masse d'aria che contengono questi inquinanti (precursori), le concentrazioni più elevate di ozono si ritrovano nelle zone suburbane e sottovento rispetto alle aree di emissione degli inquinanti primari. A partire dal 1990 le emissioni antropogeniche di precursori di ozono si sono fortemente ridotte nei paesi europei, ma in generale le aree urbane e rurali d'Europa non mostrano una decisa e reale tendenza alla diminuzione delle concentrazioni di ozono.

In questo articolo si effettuano un'analisi dell'andamento dell'ozono in Emilia-Romagna nell'estate 2022 e un suo raffronto con quanto accaduto nell'estate 2003, periodo quest'ultimo risultato molto critico sia per le temperature elevate sia per le concentrazioni osservate di ozono.

Nome stazione	Prov.	Zona	n. sup. mar.-mag.	n. sup. giugno	n. sup. luglio	n. sup. agosto	n. sup. sett.	n. sup. totali
Lugagnano	PC	Suburbana	12	11	27	15	2	67
Besenzone	PC	Rurale	9	15	27	17	1	69
Parco Montecucco	PC	Urbana	13	19	26	20	4	82
Corte Brugnatella	PC	Rurale	13	10	27	13	0	63
Cittadella	PR	Urbana	2	9	21	9	1	42
Badia	PR	Rurale	11	12	30	20	1	74
Saragat	PR	Suburbana	11	15	25	16	0	67
Castellarano	RE	Suburbana	9	14	29	21	4	77
S. Lazzaro	RE	Urbana	3	15	23	13	1	55
Febbio	RE	Rurale	5	1	12	3	0	21
S. Rocco	RE	Rurale	17	15	26	17	4	79
Remesina	MO	Suburbana	7	13	20	13	0	53
Parco Ferrari	MO	Urbana	23	14	21	15	1	74
Gavello	MO	Rurale	10	12	25	10	1	58
Parco Edilcarani	MO	Urbana	7	12	19	14	2	54
Giardini Margherita	BO	Urbana	2	11	25	16	2	56
S. Pietro Capofiume	BO	Rurale	15	13	24	17	2	71
Via Chiarini	BO	Suburbana	5	10	22	15	2	54
Castelluccio	BO	Rurale	0	0	0	0	0	0
Gherardi	FE	Rurale	10	10	20	11	2	53
Cento	FE	Suburbana	8	13	18	10	1	50
Villa Fulvia	FE	Urbana	4	11	22	14	0	51
Ostellato	FE	Rurale	15	7	23	14	0	59
Caorle	RA	Urbana	7	5	12	2	0	26
Ballirana	RA	Rurale	5	6	14	4	0	29
Delta Cervia	RA	Suburbana	15	15	18	4	0	52
Parco Bertozzi	RA	Urbana	2	7	13	5	0	27
Parco Resistenza	FC	Urbana	15	13	25	19	3	75
Savignano	FC	Suburbana	0	0	6	1	0	7
Savignano di Rigo	FC	Rurale	0	7	15	7	0	29
Marecchia	RN	Urbana	0	1	6	1	0	8
Verucchio	RN	Suburbana	6	11	19	6	0	42
San Clemente	RN	Rurale	1	5	17	4	0	27
San Leo	RN	Rurale	0	3	15	3	0	21

TAB. 1 SUPERAMENTI MASSIMA MEDIA MOBILE GIORNALIERA

Ozono, numero di superamenti della massima media mobile giornaliera su 8 ore ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) nei mesi marzo-maggio, giugno, luglio, agosto, settembre e totali dal 1 marzo al 30 settembre 2022 nelle stazioni di rilevamento in Emilia-Romagna (tipo stazioni: fondo).

Andamenti concentrazioni di ozono nel periodo aprile-settembre 2022

Superamenti dell'obiettivo a lungo termine per la salute umana (massima media mobile giornaliera su 8h - 120 µg/m³)

Nel 2022 i primi superamenti sono stati registrati il 15 marzo nella stazione di Gherardi/Jolanda di Savoia (FE).

Al 30 settembre il massimo numero di superamenti, 82, è stato registrato nelle stazioni di fondo urbana di Parco Montecucco/Piacenza. In generale i maggiori superamenti si sono avuti nella parte ovest della regione, con l'eccezione di Parco Resistenza/Forlì che ne ha mostrati 75.

Una sola stazione, Castelluccio/Alto Reno Terme (BO), non ha fatto registrare alcun superamento dell'obiettivo a lungo termine per la salute umana.

Superamenti della soglia di informazione (180 µg/m³)

I primi due superamenti della soglia di informazione sono stati registrati il 20 maggio nella stazione Parco Ferrari di Modena.

Nei mesi di giugno e luglio si sono verificati 4 episodi acuti di ozono: il primo dal 12 al 20 giugno, il secondo il 3-4 luglio, il terzo il 14-15 luglio, il quarto dal 21 al 25 luglio. Durante questi episodi le concentrazioni di ozono sono state superiori anche a 200 µg/m³ (13 giugno a Parco Montecucco/Piacenza, 16 giugno a Parco Montecucco/Piacenza, Besenzone e Castellarano, 4 luglio a Castellarano, il 22 luglio a Castellarano), senza però mai raggiungere i 240 (soglia di allarme che deve essere superata per almeno 3 ore consecutive). Il mese di agosto ha visto superare la soglia di informazione solamente per 3 giorni a inizio periodo.

Situazione meteorologica dell'estate 2022

Dal punto di vista meteorologico l'estate 2022 si è contraddistinta per le intense e prolungate onde di calore, condizioni che sono seguite ad analoga situazione registrata da inizio anno, caratterizzata da un fine inverno e una primavera con temperature superiori alla norma. Nel complesso l'estate 2022 è stata la seconda più calda dal 1961, dopo il 2003 e simile all'estate 2012 con un'anomalia stagionale di temperatura media regionale di +1,8 °C rispetto al clima 1991-2020. Il mese di maggio del 2022 è stato il secondo più caldo dal 1961 insieme al 2003 e dopo il 2009.

Da un punto di vista meteorologico il mese di giugno ha fatto registrare

temperature elevate, notevolmente superiori al clima 1991-2020. Risulta inoltre il secondo più caldo dal 1961, dopo il 2003, con valore medio delle temperature massime di 29,8 °C, superiore di 3 °C al periodo climatico precedentemente definito. Il periodo dal 13 al 26 giugno è stato caratterizzato da tempo stabile, dovuto alla presenza quasi costante di un campo di alta pressione di matrice africana sul bacino del Mediterraneo, nonché di un centro di bassa pressione tra l'isola britannica e la penisola iberica. Tale configurazione costituisce una situazione sinottica di straordinaria persistenza che porta a

temperature elevate con diversi picchi prossimi ai massimi assoluti. La media delle massime giornaliere è stata superiore anche di 5 °C rispetto alle attese climatiche. In corrispondenza di questo quadro sinottico si è verificato il primo episodio critico di ozono.

Nel mese di luglio sono state registrate temperature di molto superiori al clima 1991-2020, tanto da risultare il secondo più caldo dal 1961, dopo il 2015, e da far registrare la temperatura media regionale più calda dal 1961. Ciò è stato reso possibile dal persistere di una configurazione sinottica che ha visto la

Nome stazione	Prov.	Zona	n. sup. mar.-mag.	n. sup. giugno	n. sup. luglio	n. sup. agosto	n. sup. sett.	n. sup. totali
Lugagnano	PC	Suburbana	0	0	10	5	0	14
Besenzone	PC	Rurale	0	8	2	1	0	11
Parco Montecucco	PC	Urbana	0	26	13	0	0	39
Corte Brugnatella	PC	Rurale	0	0	5	0	0	5
Cittadella	PR	Urbana	0	0	0	0	0	0
Badia	PR	Rurale	0	4	5	1	0	10
Saragat	PR	Suburbana	0	5	11	0	0	16
Castellarano	RE	Suburbana	0	4	15	0	0	19
S. Lazzaro	RE	Urbana	0	0	4	0	0	4
Febbio	RE	Rurale	0	0	0	0	0	0
S. Rocco	RE	Rurale	0	3	4	0	0	7
Remesina	MO	Suburbana	0	0	3	0	0	3
Parco Ferrari	MO	Urbana	2	0	1	0	0	3
Gavello	MO	Rurale	0	0	3	0	0	3
Parco Edilcarani	MO	Urbana	0	3	7	0	0	10
Giardini Margherita	BO	Urbana	0	2	5	0	0	7
S. Pietro Capofiume	BO	Rurale	0	0	0	0	0	0
Via Chiarini	BO	Suburbana	0	0	5	0	0	5
Castelluccio	BO	Rurale	0	0	0	0	0	0
Gherardi	FE	Rurale	0	0	0	0	0	0
Cento	FE	Suburbana	0	0	0	0	0	0
Villa Fulvia	FE	Urbana	0	0	1	0	0	1
Ostellato	FE	Rurale	0	0	1	0	0	1
Caorle	RA	Urbana	0	0	0	0	0	0
Ballirana	RA	Rurale	0	0	0	0	0	0
Delta Cervia	RA	Suburbana	0	0	1	0	0	1
Parco Bertozzi	RA	Urbana	0	0	0	0	0	0
Parco Resistenza	FC	Urbana	0	3	9	2	0	14
Savignano	FC	Suburbana	0	0	0	0	0	0
Savignano di Rigo	FC	Rurale	0	0	0	0	0	0
Marecchia	RN	Urbana	0	0	0	0	0	0
Verucchio	RN	Suburbana	0	0	0	0	0	0
San Clemente	RN	Rurale	0	0	0	0	0	0
San Leo	RN	Rurale	0	0	0	0	0	0

TAB. 2 SUPERAMENTI SOGLIA DI INFORMAZIONE

Ozono, numero di superamenti della soglia di informazione (180 µg/m³) nei mesi marzo-maggio, giugno, luglio, agosto, settembre e totali dal 1 marzo al 30 settembre 2022 nelle stazioni di rilevamento in Emilia-Romagna (tipo stazioni: fondo).

presenza quasi costante di un campo di alta pressione con caratteristiche subtropicali e di un flusso atlantico che è rimasto sempre a latitudini molto elevate (50° N o superiori). La prima decade ha visto sino al 4 condizioni stabili, avvezione di aria calda e temperature elevate con massimi assoluti domenica 3. È proprio in corrispondenza di questi primi giorni del mese che si è verificato il secondo episodio acuto di ozono. Il successivo periodo di temperature elevate è stato quello dal 14 al 25 luglio, quando le temperature sono risultate superiori alle attese climatiche mediamente di oltre 4 °C. In corrispondenza di questo periodo si sono verificati il terzo e il quarto episodi critici per l'ozono. I giorni dal 21 al 25 luglio sono stati i più caldi del mese (media giornaliera delle massime superiore a 35 °C sull'intero territorio regionale).

Questa prima parte del periodo estivo (aprile-settembre) – normalmente favorevole alla formazione di ozono troposferico – ha mostrato dunque condizioni critiche per questo inquinante.

Si noti infatti il superamento diffuso dell'obiettivo a lungo termine per la protezione della salute, con numero di superamenti che in 13 stazioni risulta essere già superiore al totale dei superamenti occorsi nel periodo aprile-

settembre 2021. Anche l'occorrenza degli episodi acuti (superamenti della soglia di informazione) è risultato in aumento rispetto al 2021 e 2020: nei mesi di giugno e luglio 2022, in 19 stazioni è stato osservato già un numero

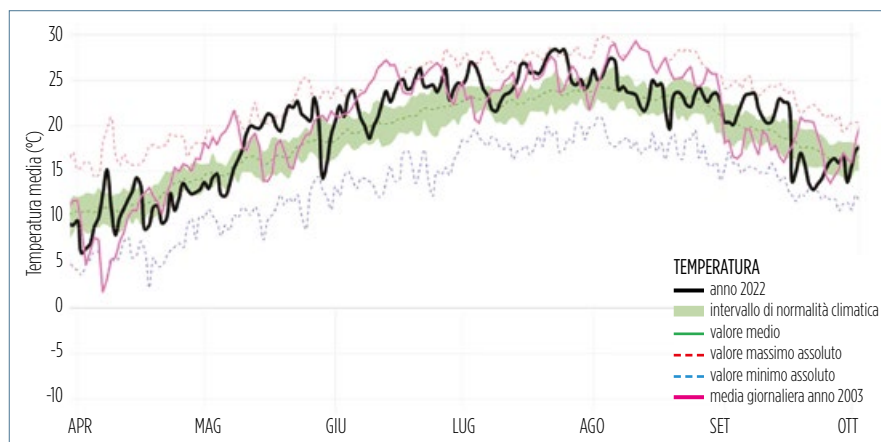


FIG. 1 TEMPERATURA MEDIA 2003 E 2022
Andamento della temperatura media giornaliera in Emilia-Romagna per gli anni 2003 e 2022. La linea rosa rappresenta l'andamento per l'anno 2003, la linea nera l'andamento per il 2022, le linee tratteggiate rossa e blu sono rispettivamente il valore massimo e minimo assoluto di temperatura media giornaliera regionale; l'intervallo verde rappresenta il clima 1991 - 2020

Fonte: Arpae Emilia Romagna, www.arpae.it/it/temi-ambientali/clima.

TAB. 3
CONFRONTO
2003-2022
(MAX GIORNALIERA
MEDIA MOBILE)

Confronto numero di superamenti mensile della massima giornaliera media mobile su 8 ore (120 µg/m³) negli anni 2003 e 2022 in alcune stazioni dell'Emilia-Romagna.

Anno	Mese	Gherardi (FE)	Caorle (RA)	Parco Resistenza (FC)	Giardini Margherita (BO)	S. Pietro Capofiume (BO)	Cittadella (PR)	Marecchia (RN)	S. Lazzaro (RE)
2003	apr	11	0	0	2	0	3	3	0
	mag	19	2	2	10	1	1	12	4
	giu	16	13	18	18	4	18	12	16
	lug	30	1	18	21	0	30	15	28
	ago	23	6	20	17	0	28	19	23
	sett	9	0	1	4	0	6	3	5
2022	apr	2	1	6	0	5	0	0	0
	mag	8	6	9	2	10	2	0	3
	giu	11	5	12	10	12	9	1	14
	lug	18	12	25	25	24	20	6	23
	ago	11	12	19	16	17	9	6	13
	sett	2	2	3	2	2	1	1	1

TAB. 4
CONFRONTO
2003-2022 (SOGLIA
DI INFORMAZIONE)

Confronto numero di superamenti mensile della soglia di informazione (180 µg/m³) negli anni 2003 e 2022 in alcune stazioni dell'Emilia-Romagna.

Anno	Mese	Gherardi (FE)	Caorle (RA)	Parco Resistenza (FC)	Giardini Margherita (BO)	S. Pietro Capofiume (BO)	Cittadella (PR)	Marecchia (RN)	S. Lazzaro (RE)
2003	apr	0	0	0	0	0	0	0	0
	mag	10	0	0	0	0	0	0	0
	giu	51	12	21	42	0	9	15	38
	lug	17	0	1	9	0	49	0	36
	ago	36	0	0	8	0	13	0	17
	sett	0	0	2	0	0	0	0	0
2022	apr	0	0	0	0	0	0	0	0
	mag	0	0	0	0	0	0	0	0
	giu	0	0	3	2	0	0	0	0
	lug	0	0	9	5	0	0	0	4
	ago	2	0	0	0	3	0	0	0
	sett	0	0	0	0	0	0	0	0

di superamenti maggiore rispetto al totale registrato nell'intero periodo aprile-settembre 2021, mentre sono 16 in più rispetto ad aprile-settembre 2020. Agosto ha visto una attenuazione delle anomalie termiche, facendo registrare valori prossimi alla variabilità climatica degli ultimi 30 anni, o tutt'al più di poco superiori alle attese. Tale situazione è stata dovuta all'attenuazione dell'anticiclone africano, che ha comportato una maggiore variabilità nelle condizioni sinottiche rispetto ai mesi precedenti con fenomeni temporaleschi anche intensi avvenuti il 6 agosto e all'inizio della seconda metà del mese. Il mese di settembre si è caratterizzato nella sua prima metà per una configurazione sinottica di tipo estivo; nella seconda metà invece l'ingresso di aria più fredda da nord Europa e una configurazione delle correnti occidentale e nord-occidentale hanno portato condizioni più tipicamente autunnali.

Confronto con il 2003

È interessante effettuare una comparazione con il 2003, anno più caldo dal 1961, mettendo a confronto i superamenti dell'obiettivo a lungo termine per la salute umana e i superamenti della soglia di informazione per quelle stazioni che in quell'anno avevano attive il misuratore di ozono.

Nel 2003 i primi mesi del periodo favorevole alla formazione di ozono sono stati contraddistinti da temperature particolarmente elevate. Il mese di maggio è stato caratterizzato da condizioni di tempo stabili con afflusso di masse d'aria provenienti dal Mediterraneo che hanno portato le temperature medie a valori superiori alla media stagionale di allora. Giugno ha visto la persistenza di un campo anticiclonico ben consolidato sul bacino del Mediterraneo, che ha comportato il mancato ricambio della massa d'aria presente nei bassi strati dell'atmosfera e fenomeni di compressione della massa d'aria, determinati dagli alti valori di pressioni presenti nella media troposfera. Tale quadro sinottico ha determinato l'occorrenza di forti anomalie positive di temperatura. Anche il mese di luglio è stato caratterizzato da temperature elevate con anomalie positive ovunque in tutta la regione. Differentemente dal 2022, il mese di agosto 2003 ha visto persistere le condizioni di stabilità del periodo precedente; le temperature si sono

mantenute elevate con forti anomalie nei valori massimi.

Nel mese di settembre questa persistente situazione sinottica si è interrotta per il transito di correnti instabili di provenienza atlantica che hanno portato all'abbassamento delle temperature, anche al di sotto della media stagionale. Nella *figura 1* si riporta l'andamento della temperatura media giornaliera del periodo aprile-settembre in Emilia-Romagna negli anni 2003 e 2022. Nella *tabella 3* vengono riportati il numero di superamenti dell'obiettivo a lungo termine per la salute umana e della soglia di informazione in alcune stazioni per i mesi di aprile, maggio, giugno, luglio, agosto e settembre degli anni 2003 e 2022.

Per alcune stazioni, come San Pietro Capofiume/Molinella, Caorle/Ravenna e Parco Resistenza/Forlì, complessivamente il periodo aprile-settembre 2022 risulta peggiore o simile rispetto a quello del 2003. Altre stazioni, come Gherardi/Jolanda di Savoia, Giardini Margherita/Bologna, Cittadella/Parma, Marecchia/Rimini mostrano un comportamento opposto, cioè un numero di superamenti dell'obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana maggiore nel 2003 rispetto al 2022. San Lazzaro/Reggio Emilia ha registrato nel 2022 un numero di superamenti inferiore, ma che non si discosta tanto da quelli avvenuti nel 2003, con l'eccezione del mese di agosto.

Il numero di superamenti della soglia di informazione è risultato di gran lunga maggiore nel 2003. I dati delle stazioni della rete di monitoraggio che erano attive nel 2003 mostrano, con l'eccezione di San Pietro Capofiume, una condizione generale di criticità, con episodi acuti occorsi sull'intero territorio regionale. Purtroppo nel 2003 non erano attive le stazioni della provincia di Piacenza, che nel 2022 sono parte della rete regionale di monitoraggio e che hanno rilevato importanti superamenti.

Discussione

L'andamento delle condizioni meteorologiche estive del 2022, a differenza delle due estati passate, sembra spiegare i valori elevati delle concentrazioni di ozono osservate da maggio a luglio. Tuttavia, viste le condizioni meteorologiche simili tra il 2003 e il 2022, sarebbe stato lecito aspettarsi – durante questi mesi del 2022 – concentrazioni ben più elevate durante

gli episodi acuti e un numero di giorni con superamenti maggiore di quelli che invece si sono rilevati.

Le motivazioni che potrebbero essere sottese a quanto osservato sono probabilmente legate alla fenomenologia complessa che caratterizza questo inquinante e, in generale, alla non linearità dei fenomeni associati alla produzione e alla distruzione della molecola di ozono.

In particolare, le cause di quanto misurato potrebbero essere ricercate sia nei quantitativi delle due grandi classi di composti precursori – gli ossidi di azoto e i composti organici volatili – emessi e presenti in atmosfera, nonché nei diversi rapporti tra questi, e come questi rapporti abbiano agito in presenza di temperature e radiazione solare come quelle monitorate. Anche la presenza di concentrazioni di vapor d'acqua (assolute e relative) potrebbero aver giocato un ruolo attualmente non completamente chiaro nelle reazioni chimiche coinvolte.

Risulta difficile studiare le emissioni dei composti precursori dell'ozono, per le lacune di dati a livello regionale per entrambi gli anni. Essendo tuttavia disponibili i dati dell'inventario annuale delle emissioni di inquinanti Corinair predisposto da Ispra su base nazionale e disaggregato a livello regionale e provinciale per gli anni più vicini a quelli di interesse, cioè il 2000, il 2005 e il 2019 (ultimo disponibile), si può da qui partire per tentare una prima analisi.

Come è evidente dal grafico di *figura 2*, dal 2000 si è avuta una drastica riduzione delle emissioni di ossidi di azoto in atmosfera, che risultano diminuite di quasi il 60%. Non altrettanto è accaduto ai composti organici volatili non metanici (NmVoc), che sono decresciuti in misura molto minore sino al 2015 (-27%), per poi risalire leggermente nel 2019 (-25% dal 2000).

Il rapporto fra NmVoc e NO_x (*figura 3*) risulta in aumento e questo è dovuto alla maggiore riduzione di NO_x rispetto a quelle di NmVoc.

Bisogna tenere ciò in attenta considerazione, a causa della non linearità dei fenomeni di produzione e distruzione di ozono.

Queste diminuzioni differenziate potrebbero essere in parte motivo della riduzione del numero di episodi acuti, anche in termini di riduzione delle concentrazioni e quindi di riduzione del numero di superamenti della soglia di informazione (ricordiamo che la soglia di allarme non è più superata dal 2004).

La relazione tra la concentrazione dei due principali gruppi di precursori e la produzione di ozono troposferico è molto complessa da valutare, data la natura altamente non lineare. La sua comprensione e corretta definizione è fondamentale in quanto alla base di una buona strategia di intervento per ridurre le concentrazioni di inquinanti fotochimici.

L'ozono viene prodotto nella troposfera a seguito di un complesso insieme di reazioni che coinvolgono i composti organici volatili e gli ossidi di azoto. Nella figura 4 si riporta lo schema delle reazioni dei processi fotochimici che portano alla formazione di ozono. La figura mostra una via possibile, basata sul radicale metilico (CH_3). Cicli di reazione simili sono possibili con radicali idrocarburici più lunghi e complessi (da Oke et al., 2017).

La parte dello schema su sfondo azzurro illustra il processo che porta alla formazione di ozono a partire dagli ossidi di azoto. Il rapporto tra diossido di azoto (NO_2) e monossido di azoto (o ossido nitrico, NO) stabilisce un limite alle concentrazioni di ozono ed è quindi un parametro chiave per valutare il potenziale di formazione di ozono. Tale processo potrebbe comportare la formazione e distruzione continua di ozono, con un bilancio netto pari a zero, se non ci fosse la simultanea presenza di Voc, che comporta un insieme di reazioni complementari, che convertono NO in NO_2 senza "consumare" ozono. I Voc reagiscono con i radicali ossidrilici OH (R4) per formare radicali perossidi (R5) i quali ossidano NO . Questo impedisce a NO di reagire con l'ozono e i livelli di ozono aumentano. I Voc ossidano quindi NO a NO_2 lasciando pertanto l'ozono formatosi dalle reazioni R1 e R2 descritte nella parte alta dello schema, su sfondo blu e riducendo la probabilità della reazione R3, che comporta il consumo di ozono. L'insieme di reazioni nella parte inferiore della figura 4 (in rosso) possono essere eseguite più volte e reintegrare il serbatoio di NO_2 senza distruggere una quantità equivalente di ozono.

Il ruolo svolto dalla radiazione solare nei meccanismi di formazione dell'ozono troposferico spiega l'andamento temporale della sua concentrazione al suolo, caratterizzato da una forte componente stagionale e da una componente giornaliera. I radicali ossidrilici giocano un ruolo fondamentale nei processi di formazione dell'ozono in quanto reagiscono sia

con Voc sia con NO_x e la regolazione della concentrazione di ozono è funzione sia delle concentrazioni di Voc sia di NO_x . Solitamente, con concentrazioni più elevate di Voc e NO_x , le concentrazioni di ozono aumentano. La concentrazione massima di ozono

che può essere raggiunta, tuttavia, dipende dal rapporto tra Voc e NO_x . Con un elevato rapporto Voc/ NO_x il radicale reagisce principalmente con i Voc, per valori bassi di tale rapporto può dominare la reazione con NO_x . Quando il rapporto di concentrazione

FIG. 2
NO_x E NMVOC

Andamento delle emissioni di ossidi di azoto e composti organici volatili non metanici dal 2000 al 2019, espressi come percentuale rispetto al 2000.

Fonte: dati Ispra, elaborazione Arpae.

— NO + NO₂
— NMVOC

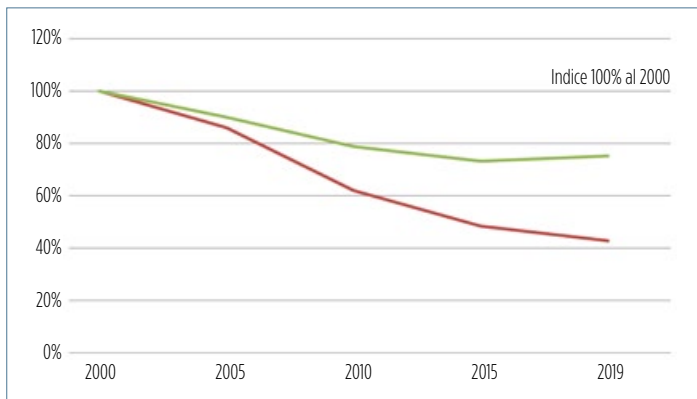


FIG. 3
RAPPORTO
NMVOC/NO_x

Andamento del rapporto delle emissioni di composti organici volatili non metanici e ossidi di azoto dal 2000 al 2019.

Fonte: dati Ispra, elaborazione Arpae.

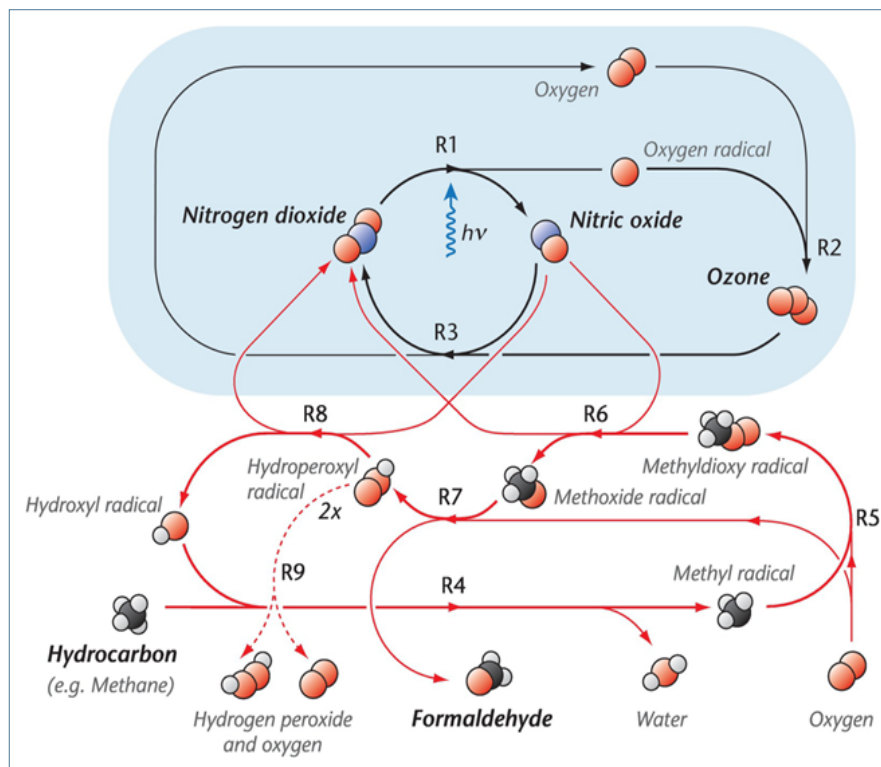
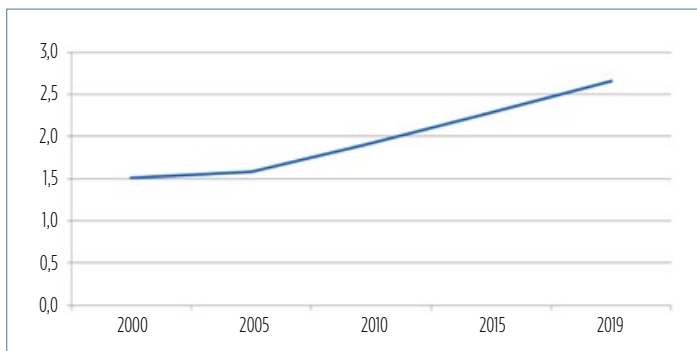


FIG. 4 POSSIBILE SET DI REAZIONI CHE PORTANO ALLA FORMAZIONE DI OZONO

Schema delle reazioni dei processi fotochimici che portano alla formazione di ozono. La figura mostra una via possibile, basata sul radicale metilico (CH_3). Cicli di reazione simili sono possibili con radicali idrocarburici più lunghi e complessi.

Fonte: Oke et al., 2017.

tra Voc e NO_x è approssimativamente di 5,5:1 il radicale ossidrilico reagisce in egual modo con entrambi i precursori. La reazione del radicale ossidrilico con NO_x rimuove il radicale dal ciclo di ossidazione dei Voc, ritardando la produzione di ozono. Quando il rapporto Voc/ NO_x è molto elevato il radicale reagisce prevalentemente con i Voc. In questo caso i prodotti intermedi della reazione dei Voc con il radicale generano nuovi radicali, aumentando quindi la produzione di ozono.

Ne consegue che le concentrazioni atmosferiche iniziali (e le relative emissioni) di Voc e NO_x non sono direttamente proporzionali alla concentrazione massima di ozono che si forma alla fine. La complessa serie di reazioni chimiche interessate alla produzione di ozono introduce pertanto quegli elementi di non linearità nella relazione sorgenti/precursori/ concentrazione di ozono in atmosfera; non è detto quindi che a una determinata riduzione delle emissioni di precursori corrisponda un'equivalente riduzione della concentrazione di ozono. Le strategie di contenimento dell'ozono trovano i maggiori ostacoli proprio nella mancata linearità della risposta tra riduzione della concentrazione dei precursori e riduzione della concentrazione dell'ozono stesso.

Un modo conveniente di illustrare la relazione esistente tra la concentrazione di ozono e quella dei suoi precursori è dato dalle funzioni isoplete, ovvero linee di uguale concentrazione di ozono in funzione di diverse concentrazioni di ossidi di azoto e di composti organici volatili. Nella figura 5 ne è riportato un esempio, ottenuto da numerose simulazioni modellistiche dei livelli massimi di ozono raggiunto per irraggiamento di una miscela di NO_x e Voc.

Se i livelli di NO_x sono alti ma i livelli di Voc sono bassi, l'ozono non si formerà o se ne formerà poco. Se i livelli di Voc sono alti e i livelli di NO_x sono bassi, le concentrazioni di ozono sono anch'esse basse. Quando i livelli di NO_x e Voc sono entrambi alti, l'ozono aumenta. Il punto nel diagramma rappresenta il valore 5,5:1 del rapporto di Voc/ NO_x in cui si ha egual reazione dei due precursori con il radicale ossidrilico. In queste condizioni, una diminuzione delle concentrazioni di NO_x favorisce la formazione di ozono sino a un certo punto. In condizioni di concentrazioni di NO_x sufficientemente basse, o di rapporto Voc/ NO_x sufficientemente alto, un ulteriore decremento di NO_x favorisce le reazioni che coinvolgono i radicali perossidici che

FIG. 5
FORMAZIONE OZONO

Diagramma isopleatico dell'ozono che mostra la dipendenza della formazione di concentrazioni di ozono urbano massimo (isolinee in ppb) dalla miscela dei Voc iniziali (asse x in ppb di carbonio) e degli NO_x totali iniziali ($\text{NO} + \text{NO}_2$ in ppb).

Fonte: Seinfeld & Pandis, 2016.

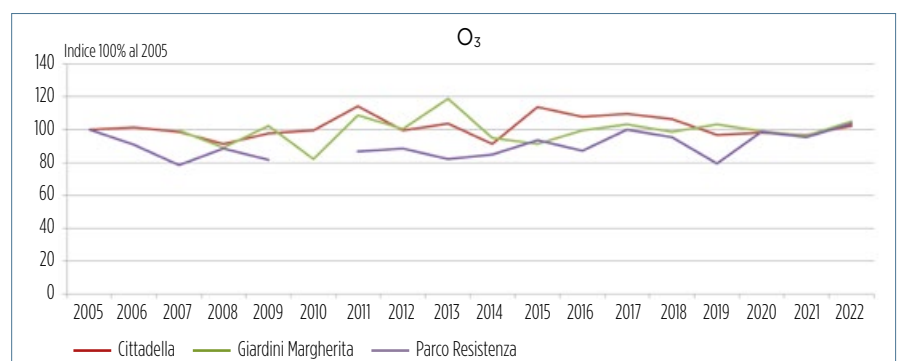
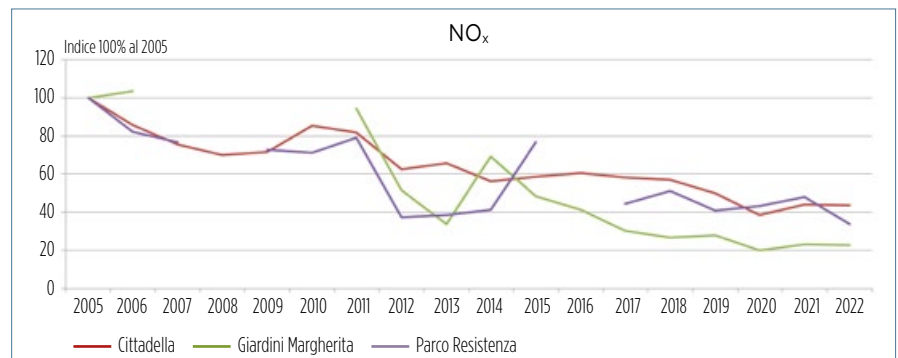
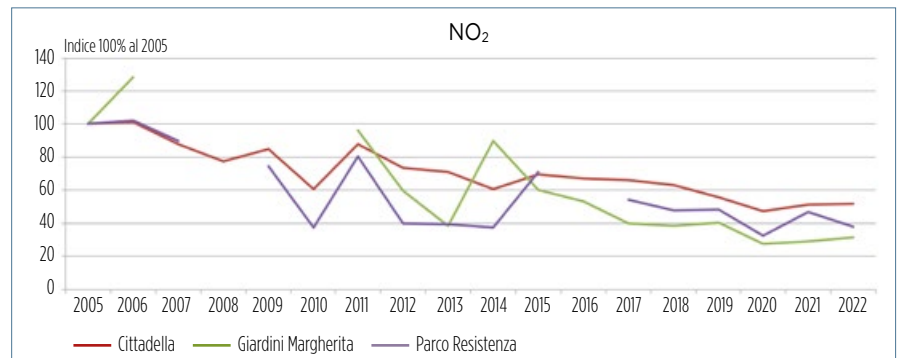
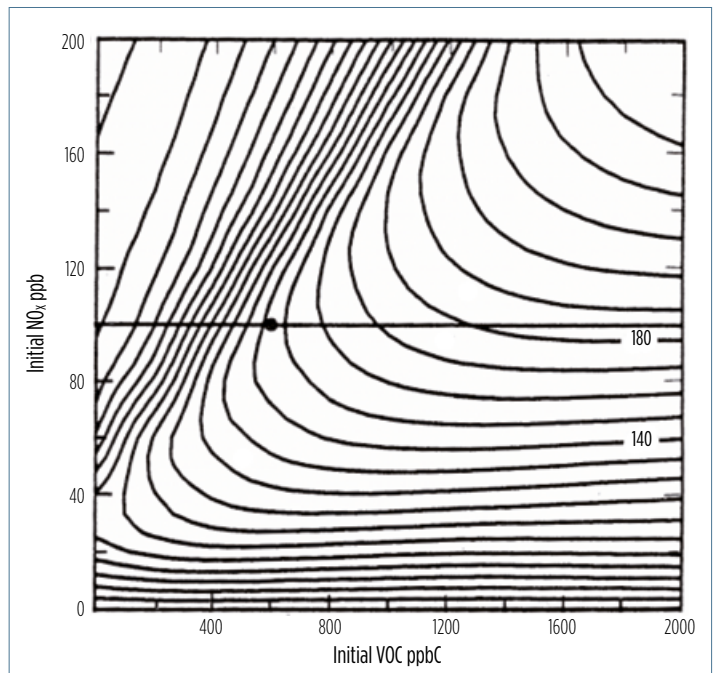


FIG. 6 MEDIE NO_2 , NO_x E OZONO

Andamento della variazione percentuale rispetto al 2005 delle medie di NO_2 , NO_x e ozono calcolate su dati osservati da aprile a settembre nelle stazioni di Cittadella/Parma, Giardini Margherita/Bologna e Parco Resistenza/Forlì.

ritardano invece la formazione di ozono. Pertanto la variazione di concentrazioni di NO_x può comportare un aumento o una riduzione delle concentrazioni di ozono a seconda del rapporto Voc/NO_x che risulta prevalere. Un aumento delle concentrazioni di Voc generalmente si traduce in maggiori concentrazioni di ozono.

Un rapporto Voc/NO_x sufficientemente basso tale da sfavorire la formazione di ozono è tipico delle aree urbane o delle immediate vicinanze di sorgenti puntuali di NO_x. In queste aree le concentrazioni di NO_x sono molto elevate, con prevalenza di NO che distrugge immediatamente l'ozono che si forma. Per contro, le aree rurali sono caratterizzate da tassi di Voc/NO_x abbastanza elevati, a causa della rapida rimozione di NO_x, derivanti da sorgenti lontane, rispetto a quella di Voc, unita alla consueta assenza di forti sorgenti locali dell'NO_x stesso. Qui l'indisponibilità di NO_x governa la produzione di ozono.

La complessità delle reazioni chimiche e la non linearità nella relazione sorgenti di precursori/concentrazione di ozono in atmosfera, rendono difficile comprendere ciò che è alla base del comportamento dell'ozono nel 2022, confrontato con l'andamento del 2003, avente caratteristiche meteorologiche simili sino a luglio, se cioè sia dovuto alla riduzione delle emissioni dei precursori o se vi siano altri fattori che giocano un ruolo predominante. Non aiuta in ciò la differenziazione nelle riduzioni delle emissioni dei due precursori avute nel periodo 2000-2019 (vedi figura 2). Sarebbe utile disporre di misure continue di Voc sul territorio regionale; questa lacuna conoscitiva rende ancor più complessa l'interpretazione della fenomenologia, anche nel capire se stia cambiando qualcosa nella dinamica dei processi. Da un punto di vista delle concentrazioni rilevate in aria si osserva come, nell'arco temporale 2005-2022, gli andamenti del valore medio di biossido di azoto e di ossidi di azoto nel periodo aprile-settembre, denotano una riduzione. Nella figura 6 l'andamento è espresso come variazione percentuale rispetto ai valori medi del 2005.

Per NO₂ l'evidenza delle riduzioni è in linea con l'andamento e il trend delle medie annuali riscontrate da tempo in Emilia-Romagna e anche a livello nazionale ed europeo (dati Arpae su https://bit.ly/NO2_ER; Snpa, 2020; Eea 2022) e anche con quello delle emissioni degli stessi inquinanti (vedi figura 2). A tale riduzioni non corrisponde però analogo andamento per la media di

ozono, calcolata sempre nel periodo aprile-settembre, ed espressa come variazione percentuale rispetto al 2005. Tale andamento è legato a quegli elementi di non linearità di cui sopra, che riguardano non solo le emissioni di precursori, ma anche le concentrazioni degli stessi, coinvolti nella formazione dell'ozono.

Analisi dei trend

L'osservazione e lo studio dell'andamento temporale delle concentrazioni degli inquinanti atmosferici forniscono importanti informazioni per stabilire se un inquinante è cresciuto o diminuito nel corso del tempo. L'analisi del trend della qualità dell'aria ha lo scopo di descrivere in modo sintetico e in forma aggregata la qualità dell'aria in regione, per valutarne la tendenza sul lungo periodo, attraverso un'analisi robusta dal punto di vista statistico. L'analisi è stata condotta utilizzando i dati delle stazioni della Rete regionale di qualità dell'aria (Rrqa) di Arpae durante il periodo 2013-2021. La scelta del periodo di analisi è dovuta alla necessità di utilizzare serie storiche di dati provenienti da una rete di monitoraggio stabile nel tempo. I dati rilevati dalle stazioni di misura vengono preventivamente preparati e sottoposti a controllo di qualità. Inoltre, poiché le concentrazioni degli inquinanti oggetto di studio mostrano tutte una spiccata stagionalità, i valori vengono destagionalizzati, sottraendo dai dati misurati il valore medio tra tutte le misure effettuate da quella stazione nella sua storia nello stesso mese.

I dati così elaborati sono poi stati analizzati mediante il metodo di Theil-Sen. Questo metodo stima un trend lineare nella serie e calcola il relativo intervallo di confidenza al 95% (limiti entro i quali si ha una confidenza al 95% che vi sia compreso il vero valore del

parametro nella popolazione). Il ricorso agli intervalli di confidenza fornisce oltre alla significatività statistica della stima, anche l'ampiezza della scala di valori al cui interno sicuramente si colloca quello reale, visualizzando così l'entità

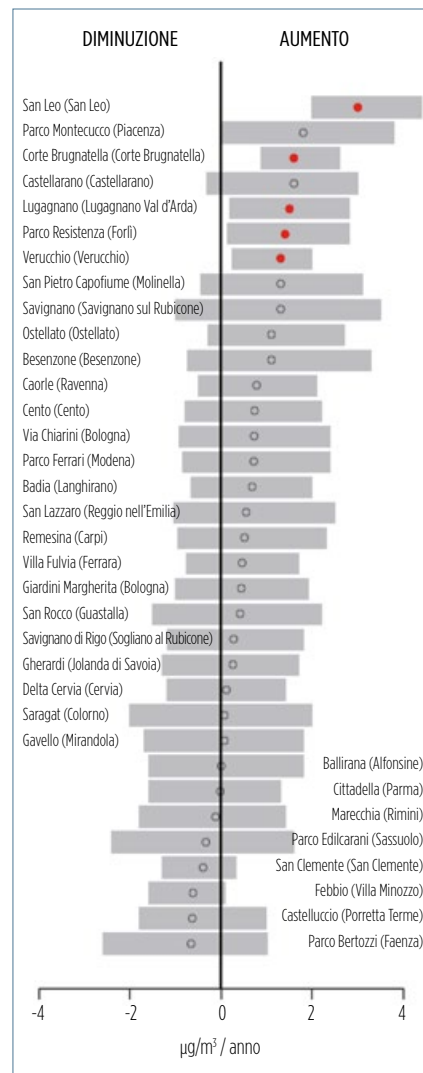
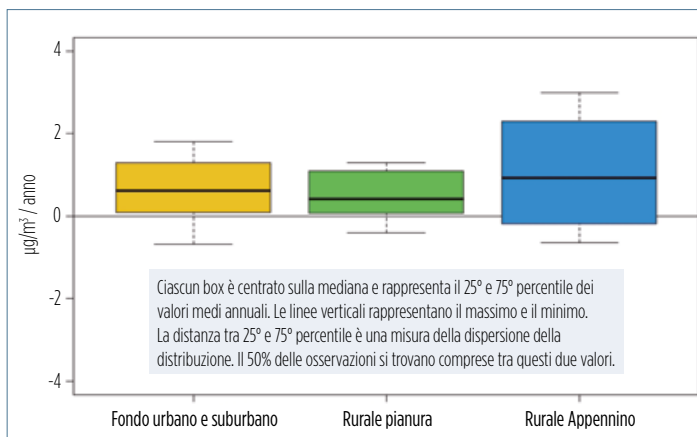


FIG. 7 TREND OZONO 2013-2021
Stima del trend delle concentrazioni orarie di ozono, calcolato per ciascuna stazione di misura sui dati delle stazioni di monitoraggio selezionate disponibili nel periodo 2013-2021. I cerchietti indicano il trend, il colore esprime la significatività statistica (blu=diminuzione significativa; rosso=aumento significativo; grigio=trend non significativo). La barra grigia identifica l'intervallo di confidenza del 95%.

FIG. 8 TREND OZONO

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



dell'incertezza comunque connessa al carattere campionario dell'osservazione. Il metodo di Theil-Sen è uno dei più utilizzati per la stima di trend lineari e ha il vantaggio di produrre intervalli di confidenza accurati anche quando i dati non sono distribuiti normalmente e nel caso di eteroschedasticità (varianza dell'errore non costante). Infine, tiene conto del fatto che le serie storiche di dati di qualità dell'aria sono autocorrelate.

L'analisi, effettuata sull'intero anno, mostra una tendenza al rialzo nella maggior parte delle stazioni, ma gli intervalli di confidenza sono ampi e quasi tutti non significativi, con l'eccezione di 5 stazioni (con cerchietto rosso nella figura 7). Ulteriori analisi sono state poi condotte, suddividendo le stazioni disponibili in 3 classi in base al tipo: fondo urbano/suburbano, fondo rurale in pianura, fondo rurale in Appennino. I risultati sono presentati in forma aggregata per tipologia di stazione, mediante *boxplot* (figura 8).

Un'altra metrica utile ai fini di un'analisi del trend, utilizzata anche in ambito europeo (Jonson et al., 2006), è la media delle dieci più alte concentrazioni massime giornaliere di ozono (Mtdm), nel periodo aprile-settembre, corrispondente approssimativamente alla media dei dati $\geq 95^\circ$ percentile. È un indicatore dei processi fotochimici, utilizzato cioè come una *proxy* per la formazione dell'ozono fotochimico. L'indicatore Mtdm è stato calcolato per 3 stazioni di fondo urbano per il periodo 2001-2022 e per 3 stazioni di fondo rurale per il periodo 2005-2022. La scelta delle stazioni è da ricondursi alla disponibilità di dati per serie storiche così lunghe e alla loro qualità (figure 9 e 10). Dall'analisi non si evince un trend significativo per le stazioni di fondo urbano e rurale considerate e la variabilità interannuale sembra dovuta alle elevate fluttuazioni interannuali nelle concentrazioni, dovute alla meteorologia.

L'influenza dei cambiamenti climatici

I cambiamenti climatici avranno un'influenza sulla qualità dell'aria che respireremo in futuro. Il legame fra l'ozono e cambiamenti climatici si esplica, come già dibattuto, attraverso alcune forzanti meteorologiche. La forte dipendenza dei livelli di ozono dalla meteorologia suggerisce che i cambiamenti climatici previsti potrebbero anche portare all'aumento

delle concentrazioni di ozono: l'alterazione della frequenza, durata e gravità delle onde di calore, della stabilità atmosferica e le variazioni nella distribuzione delle precipitazioni, potrebbero favorire ulteriormente la produzione di ozono, comportando il prolungamento dei picchi e l'aumento delle loro concentrazioni.

Simona Maccaferri, Chiara Agostini, Vanes Poluzzi

Centro tematico regionale Qualità dell'aria, Arpa Emilia-Romagna



FIG. 9
MTDM FONDO URBANO

Mtdm nel periodo aprile-settembre delle stazioni di fondo urbano Cittadella/Parma, Giardini Margherita/Bologna e Parco Resistenza/Forlì.

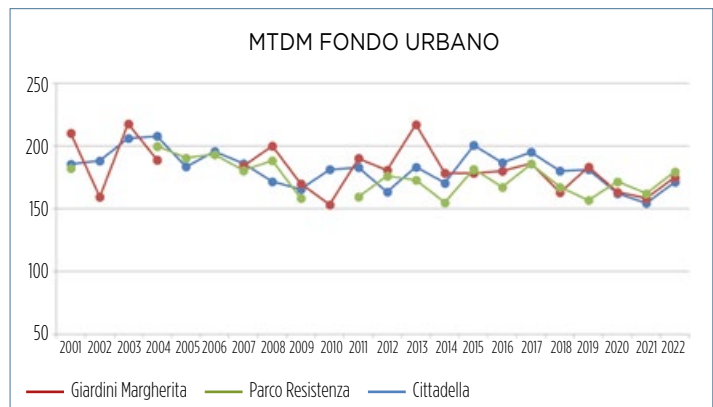
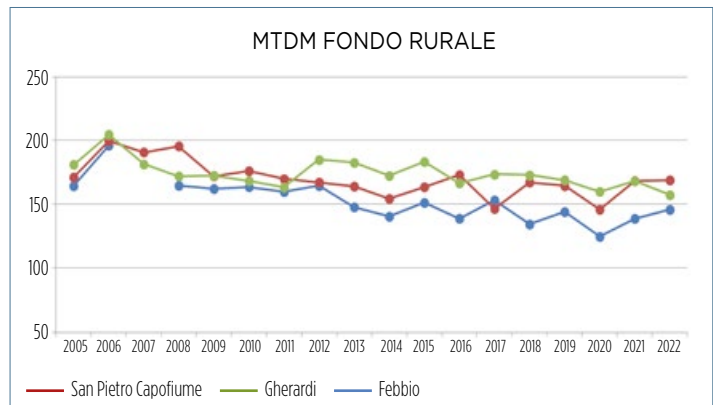


FIG. 10
MTDM FONDO RURALE

Mtdm nel periodo aprile-settembre delle stazioni di fondo rurale Febbio/Reggio Emilia, San Pietro Capofiume/Bologna e Gherardi/Ferrara.



RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Denman K., Brasseur G., Chidthaisong A., Ciais P., Cox P., Dickinson R., Hauglustaine D.A., Heinze C., Holland E., Jacobs D., Lohmann U., Ramachandran S., Leite da Silva Dias P., Wofsy S., Zhang X., 2007, "Coupling between changes in the climate system and biogeochemistry", in Solomon S., Quin D., Manning M., Chen Z., Maquis M., Averyt K., Tignor M., Miller H. (eds.), *Climate Change 2007: The physical science basis. Contribution of Working group I to the Fourth Assessment Report on the IPCC. International Panel on Climate Change*, Cambridge, UK: 500-588 pp.
- Eea, 2022, *Air quality in Europe 2022*, Report no. 05/2022, doi: 10.2800/488115, 164 pp.
- Jonson J., Simpson D., Fagerli H., Solberg H., 2006, "Can we explain the trends in European ozone levels?", *Atmos. Chem. and Phys.*, 6, 51-66.
- Oke T.R., Mills G., Christen A., Voogt J.A., 2017, *Urban climates*, Cambridge University Press, 519 pp., doi: <https://doi.org/10.1017/9781139016476>.
- Seinfeld J.H., Pandis S.N., 2016, *Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change*, John Wiley & Sons Inc., 1152 pp.
- Snpa, 2020, *La qualità dell'aria in Italia. Edizione 2020*, Rapporti 17/2020, 590 pp.

ARIA IN EMILIA-ROMAGNA, COSA PENSANO I CITTADINI?

LA RICERCA, REALIZZATA DA ART-ER IN COLLABORAZIONE CON LA REGIONE, INDAGA LA CONOSCENZA DEI CITTADINI SULLA SITUAZIONE DELL'INQUINAMENTO ATMOSFERICO. IL TEMA GENERA APPRENSIONE, MA LE POLITICHE DI MIGLIORAMENTO POSSONO CONTARE SU UN BACINO DI PERSONE DISPONIBILI AD ATTIVARSI.

Le misure di contrasto all'inquinamento atmosferico hanno spesso un impatto diretto sulla vita di tutti, si pensi alle limitazioni del traffico o alla regolamentazione del riscaldamento domestico. Ne consegue che, per essere efficaci, le politiche sulla qualità dell'aria devono essere condivise e comprese dai cittadini.

Per questo motivo la Regione Emilia-Romagna, nell'ambito del percorso di partecipazione del Pair 2030 (Piano aria integrato regionale), ha avviato nella scorsa estate un'indagine per conoscere cosa pensano i cittadini della qualità dell'aria e contribuire alla definizione di politiche condivise.

La ricerca, realizzata da Art-Er in collaborazione con l'Area Qualità dell'aria e agenti fisici della Regione Emilia-Romagna, è finalizzata a indagare la percezione e la conoscenza delle cittadine e dei cittadini sulla situazione dell'inquinamento atmosferico a livello regionale, conoscere i comportamenti relativi a mobilità e gestione domestica che possono essere rilevanti per le emissioni inquinanti e, infine, sondare la disponibilità personale a cambiare abitudini.

L'indagine ha coinvolto 4.200 intervistati: si tratta di un campione molto rappresentativo, basti considerare che per un'analoga indagine realizzata da Eurobarometro¹ le interviste realizzate per l'Italia erano poco più di 1.000.

Percezione e conoscenza

La qualità dell'aria è sicuramente un tema che genera apprensione per gli abitanti dell'Emilia-Romagna: il 70% degli intervistati si dichiara molto preoccupato per l'inquinamento atmosferico. Aggiungendo quanti si dichiarano abbastanza preoccupati (26%), si arriva alla quasi totalità dei rispondenti. I rispondenti conoscono in media 3

inquinanti, mentre una piccola fetta di popolazione (7%) dichiara di non avere alcun tipo di conoscenza sugli inquinanti riportati nel questionario. Il particolato (PM₁₀ e PM_{2,5}) è l'inquinante più conosciuto (75%), seguito con almeno il 50% di conoscenza dal biossido di azoto (NO₂) e dall'ozono (O₃).

La ricerca ha indagato la percezione dei cittadini in riferimento ai settori di attività che inquinano maggiormente l'aria (figura 1). Emerge un quadro che identifica l'industria e la mobilità delle merci come i settori più inquinanti, rispettivamente per il 69% e 65%. Meno del 50% dei rispondenti considera molto inquinante la mobilità delle persone, l'agricoltura e gli allevamenti e il riscaldamento domestico a biomassa.

L'aumento di aree verdi in città risulta "importante" come azione per il miglioramento della qualità dell'aria secondo il 96% dei rispondenti, seguita dall'adozione di buone pratiche agricole e zootecniche, dalla ristrutturazione ed efficientamento energetico degli edifici (entrambi 89%) e dalla limitazione alla circolazione dei veicoli inquinanti (87%). Si segnala che ben il 39% dei rispondenti



considera poco importante limitare l'utilizzo del riscaldamento domestico a biomassa (figura 2).

Analizzando le risposte di questa sezione emerge una parziale discrepanza nel percepito dai rispondenti, rispetto alle stime emissive di riferimento, nell'individuare i settori maggiormente impattanti sulla qualità dell'aria e le relative misure di contrasto più efficaci. Pur specificando l'aspetto qualitativo dell'indagine effettuata, il contributo emissivo dell'industria sembra infatti sovrastimato dai più, rispetto al ruolo dell'agricoltura e dell'allevamento e, soprattutto, delle biomasse per riscaldamento domestico, che appare invece sottostimato². Si evidenzia, inoltre, una generale

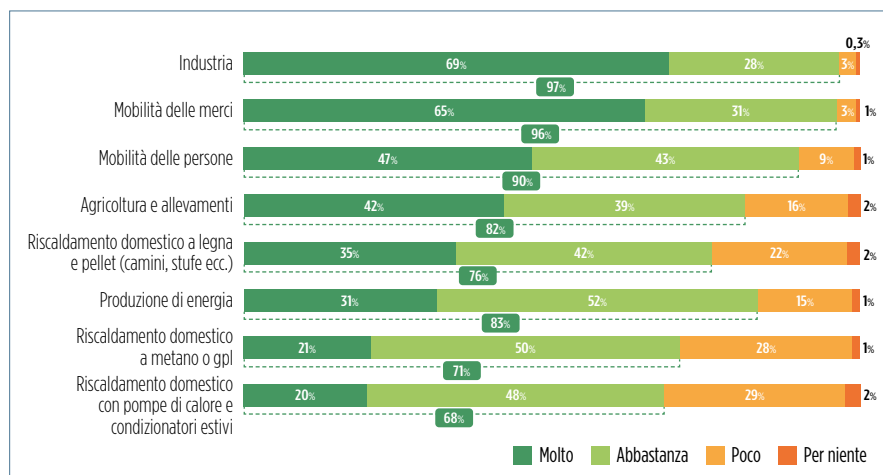


FIG. 1 PERCEZIONI SULLA QUALITÀ DELL'ARIA
Percezione dei cittadini in riferimento alle attività maggiormente inquinanti.

tendenza a individuare gli altri come maggiori responsabili dell'inquinamento nonché dell'attuazione di misure per contrastarlo (ad esempio l'industria, la logistica, gli agricoltori o l'amministrazione locale che deve realizzare aree verdi ecc.).

Comportamenti e disponibilità al cambiamento

Per quanto riguarda la mobilità, l'auto resta il principale mezzo di trasporto: è usata con frequenza dal 70% degli emiliano-romagnoli, solo il 6% afferma di non usarla.

Il 52% dei rispondenti ha dichiarato di usare l'automobile per il tempo libero, mentre il 45% per gli spostamenti casa-lavoro o luogo di studio. Il 3% è rappresentato da coloro che utilizzano l'auto come strumento di lavoro (tassisti, corrieri ecc.).

L'autobus ha una penetrazione di utilizzo intorno al 50%, sebbene solo il 13% del campione lo utilizzi sempre o quasi sempre.

Il 13% di chi ha risposto al sondaggio non è disposto a ridurre l'utilizzo dell'automobile a nessuna condizione (figura 3). La percentuale rimanente – il 77% – lo farebbe a condizione di avere mezzi di trasporto più rapidi (55%), meno costosi (40%) e una mobilità ciclistica migliore (40%).

Rispetto alle abitudini domestiche, il 58% dichiara di aver già regolato a 20° C il termostato³ nel periodo invernale, comportamento sicuramente influenzato anche dall'aumento dei costi dell'energia di questo periodo (figura 4).

Per le altre azioni indagate (uso di pompe di calore, energia elettrica da fonte rinnovabile certificata, rinunciare all'uso del camino o della stufa) la percentuale di "sì, l'ho già fatto" si riduce notevolmente (intorno al 10%), mentre la disponibilità a mettere in atto l'azione (condizionata o non) rimane alta (tra il 60 e il 78%). Maggiore resistenza si registra per l'utilizzo di pompe di calore e tra i possessori di camini e stufe per rinunciare al loro utilizzo: il 18% e 25% rispettivamente di rispondenti si dichiarano non disponibili.

Tra chi ha risposto "sì a certe condizioni" per tutte e 4 le azioni proposte, la condizione che ha ricevuto più preferenze è stata l'erogazione di premi o incentivi, seguono la richiesta di maggiori informazioni sui costi e normative che impingano la scelta.

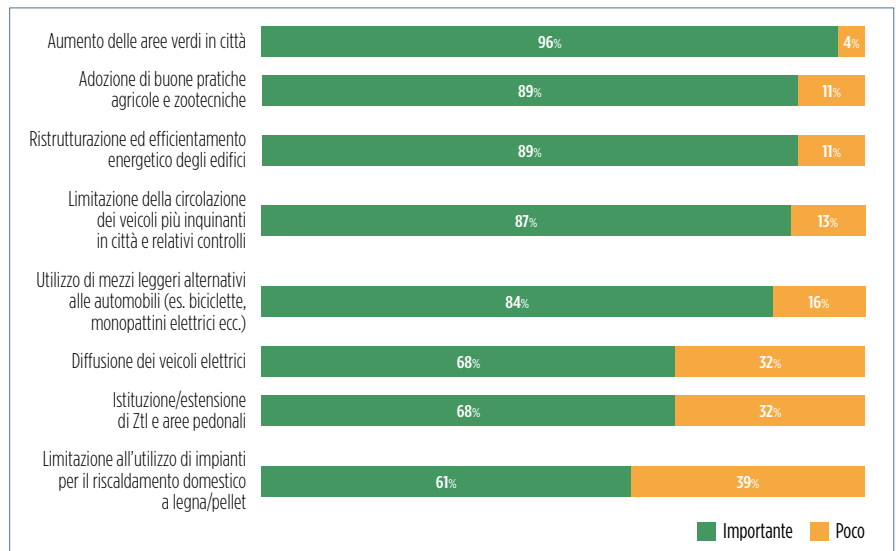


FIG. 2 MISURE DI MIGLIORAMENTO

Livello di importanza delle misure per il miglioramento della qualità dell'aria secondo i rispondenti. L'aumento di aree verdi in città risulta "importante" secondo il 96% dei rispondenti.

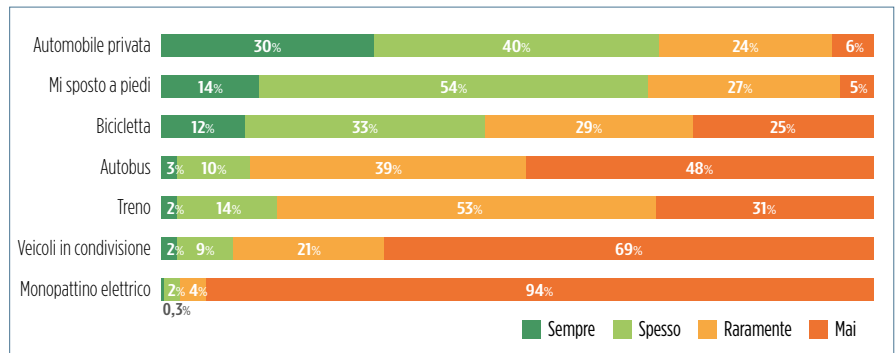


FIG. 3 MEZZI DI TRASPORTO

Frequenza di utilizzo dei mezzi di trasporto. L'auto resta il principale: è usata con frequenza dal 70% degli emiliano-romagnoli.

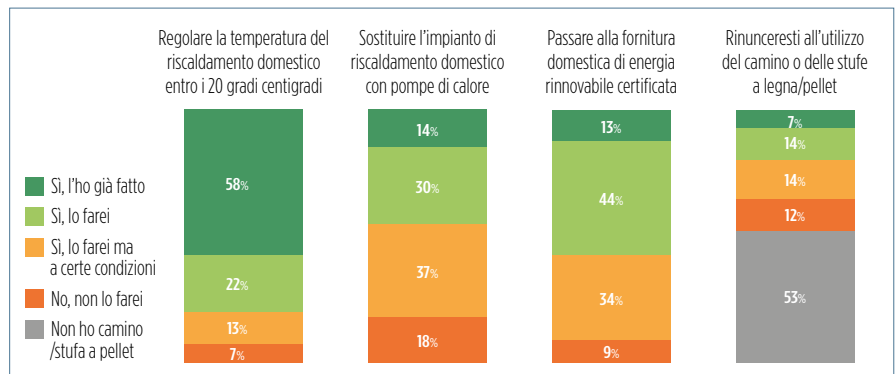


FIG. 4 DISPONIBILITÀ AL CAMBIAMENTO

Disponibilità a modificare i comportamenti per ridurre l'inquinamento atmosferico. Rispetto alle abitudini domestiche, il 58% dichiara di aver già abbassato il termostato.



Infine, utilizzando l'analisi *cluster* e prendendo in esame le risposte alle domande relative alla disponibilità a mettere in atto azioni migliorative per la qualità dell'aria, il campione è stato suddiviso in 4 gruppi:

- *gli attivi* (18%): cittadini che sentono maggiormente la preoccupazione per la qualità dell'aria (79% molto preoccupati) e si sono già attivati in questo senso, modificando i loro comportamenti

- *i disponibili* (30%): cittadini che sono disponibili a modificare i propri comportamenti senza bisogno di incentivi. Hanno già ridotto la temperatura domestica e, solo per la sostituzione di stufe e camini, potrebbero avere bisogno di qualche informazione in più. Rispetto alla media del campione totale, utilizzano di più la bicicletta per gli spostamenti

- *da incentivare* (26%): cittadini che sono disponibili ad attivarsi per migliorare la qualità dell'aria, ma che per farlo devono essere influenzati dall'esterno tramite incentivi, norme che regolamentino le azioni o maggiori informazioni. Si informano prioritariamente sui mezzi di informazione tradizionali come TV e quotidiani.

- *i non disponibili* (26%): cittadini con una ridotta predisposizione ad attivarsi in prima persona per il miglioramento della qualità dell'aria in regione. Il *cluster* dei non disponibili appare meno preoccupato per la qualità dell'aria, va meno in autobus e a piedi ed è meno interessato a informarsi sul tema dell'inquinamento atmosferico.

Il quadro che emerge dalla rilevazione fornisce delle informazioni utili per il processo di definizione del Pair 2030 e per la strutturazione di azioni di comunicazione e coinvolgimento dei cittadini, nell'ambito del percorso di partecipazione del nuovo piano. Si evidenzia in particolare la necessità di trasmettere ai cittadini una migliore conoscenza del ruolo dei settori emissivi diversi dai trasporti, quali il riscaldamento domestico, a biomasse *in primis* e l'agricoltura e l'allevamento. Le politiche di miglioramento della qualità dell'aria possono contare su un bacino di cittadini disponibile ad attivarsi, in maniera condizionata o meno, che costituisce la maggioranza del campione. I cittadini che, per attivarsi, chiedono un supporto da parte delle istituzioni desidererebbero maggiori incentivi o informazioni.

Il report completo dell'indagine è disponibile sul sito dedicato al percorso verso il Pair 2030 della Regione Emilia-Romagna: regioneer.it/PAIR2030

Marco Ottolenghi¹, Michele Bartolomei¹, Gianluca Iannuzzi²

1. Unità Ambiente, Art-Er

2. Area Qualità dell'aria e agenti fisici, Regione Emilia-Romagna

NOTE

¹ <https://europa.eu/eurobarometer/surveys/detail/2660>.

² Per una descrizione delle stime emmissive in regione si vedano l'Inventario regionale delle emissioni in atmosfera Inemar, www.arpae.it/it/temi-ambientali/aria/inventari-emissioni/inventario-inemar/inventario-emissioni e il quadro conoscitivo del Rapporto preliminare ambientale del Pair 2030 https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/aria/temi/verso-il-nuovo-pair2030-1/all-1_qc_timbrato.pdf/@@download/file/All.1_QC_timbrato.pdf.

³ L'indagine è stata realizzata prima dell'entrata in vigore del Piano nazionale di contenimento dei consumi di gas, che ha ridotto di 1 °C i valori di temperatura dell'aria negli ambienti riscaldati.



FOTO: M. NERENI - REGIONE ER AIG

L'IMPEGNO DELL'ASSOCIAZIONE DEI MEDICI PER L'AMBIENTE

LA SALUTE, OLTRE CHE DALLA DISPONIBILITÀ DI SERVIZI SANITARI DI BUONA QUALITÀ, DIPENDE SOPRATTUTTO DALL'AMBIENTE FISICO E SOCIALE IN CUI VIVIAMO E DALL'ADOZIONE DI STILI DI VITA ATTENTI. PER QUESTO SONO IMPORTANTI LE INIZIATIVE DI FORMAZIONE, EDUCAZIONE, DI CITIZEN SCIENCE E IL COINVOLGIMENTO DI MEDICI E PEDIATRI.

L'associazione Medici per l'ambiente (Isde) nasce dal presupposto che "i medici per garantire la salute di ciascuno devono occuparsi di ambiente" (www.isde.it/chisiamo/about-isde/). In Italia, dalla nascita dell'associazione nel 1989 a oggi, i medici Isde hanno imparato a collegarsi con altre professionalità per contribuire con rigore ed efficacia alla tutela e promozione della salute umana, animale e ambientale (*One Health*).

Grazie ai suoi trent'anni di esperienza nel settore, oggi Isde è pienamente consapevole dell'assoluta necessità della formazione e dell'informazione dei cittadini, agendo su tutte le fasce di età, al fine di colmare quell'asimmetria informativa che per troppo tempo ha caratterizzato il rapporto tra istituzioni e cittadino impedendo la crescita di un terreno comune e condiviso di partecipazione e di intervento. In questo quadro Isde ha accolto con estrema soddisfazione, riconoscendosi appieno nella loro impostazione, le nuove linee guida globali dell'Organizzazione mondiale della sanità sull'aria [1].

L'Oms attribuisce estrema importanza alla comunicazione dei contenuti delle Linee guida non solo a coloro che detengono il potere decisionale, bensì a una fascia molto più ampia di cittadini, quali "organizzazioni non governative, della società civile e gruppi di difesa, pazienti, gruppi di cittadini, parti interessate industriali e organizzazioni ambientaliste", come si evince dalla presenza di un intero capitolo su questo tema, il quinto. La convinzione dell'Oms è che esiste un percorso comune che collega la conoscenza e la consapevolezza dei cittadini ai decisori politici e allo sviluppo legislativo.

La pandemia da coronavirus e gli eventi meteorologici estremi di questi ultimi mesi, alluvioni, incendi, ondate di calore e soprattutto la siccità hanno messo in



luce le tragiche conseguenze che possono derivare dal disinteresse nei confronti della tutela dell'ambiente e in particolare dalla progressiva riduzione degli investimenti dedicati alla prevenzione primaria.

È ben noto infatti che la nostra salute, oltre che dalla disponibilità di servizi sanitari di buona qualità (che peraltro è certamente un importante indicatore di civiltà e di progresso), dipende soprattutto dall'ambiente fisico e sociale in cui viviamo e dall'adozione di stili di vita attenti a ridurre l'esposizione ai più diffusi fattori di rischio, quali le cattive abitudini alimentari, il fumo, l'alcool e la sedentarietà.

Queste semplici constatazioni sottolineano l'urgenza di mettere al primo posto dell'agenda delle politiche sanitarie, anche e soprattutto a livello locale, la costruzione di un senso di comunità, perché solo con il concorso di tutti sarà possibile vincere queste sfide. Il ruolo dei cittadini/consumatori/elettori è cruciale nel definire le priorità future, anche e soprattutto in tema di inquinamento atmosferico, che rappresenta nel mondo il più importante specifico fattore di rischio ambientale per la salute. L'importanza del capitale sociale deve essere riconosciuto come riferimento essenziale nel territorio in cui vivono e operano i cittadini, le imprese e le istituzioni. In altre parole la coesione sociale deve essere la base per sviluppare quella resilienza che ci

consentirà di affrontare crisi come il Covid-19, la siccità e altre ancora che molto probabilmente (purtroppo!) si verificheranno nel prossimo futuro. Tutto questo, per le conseguenze ambientali e sanitarie, ma anche per gli effetti a livello sociale ed economico (energia, trasporti, industria, agrozootecnia).

Quale ruolo per le associazioni per l'ambiente e la salute

Isde persegue i seguenti obiettivi generali:

- competenza, cioè il trasferire conoscenze ed evidenze scientifiche sul tema ambiente e salute agli interlocutori a cui Isde fa riferimento: cittadini, istituzioni e associazioni

- *advocacy* (in inglese: *public support of an idea, plan, or way of doing something*, cioè lo sforzo di influenzare le politiche pubbliche o le decisioni allocative che hanno un impatto diretto sulla vita delle persone.

Isde riconosce il ruolo e la competenza delle istituzioni impegnate a livello generale e locale per la tutela e la prevenzione dell'ambiente e della salute quali le Regioni, le Ausl, l'Isz, i consorzi fitosanitari, le Arpa/Appa e le università. Non vuole sostituirsi a loro, per la semplice ragione che non ne sarebbe capace, mentre intende offrire supporto e collaborazione, focalizzando l'attenzione su aspetti che nell'equilibrio generale possono apparire aleatori, velleitari.

Che fare?

Alla luce di queste considerazioni, le nostre proposte e il nostro impegno si concentreranno sulle cose su cui stiamo lavorando da anni.

- *l'educazione e la formazione dei giovani*, nelle scuole e nelle università e attraverso altre vie di comunicazione. Su questo

si ricordano le iniziative realizzate e attualmente in corso con alcune scuole medie secondarie e con l'Università degli studi di Modena e Reggio Emilia (<https://isdemodena.net/attivita>) - *il coinvolgimento dei medici di medicina generale (Mmg) e dei pediatri di libera scelta (PLs)* nella prevenzione degli effetti dell'inquinamento ambientale (in particolare atmosferico). Oltre ai ben documentati eccessi di mortalità prematura e di morbosità per patologie acute e croniche, i fattori di rischio ambientale, a partire dall'inquinamento atmosferico, sono causa di alterazioni dello stato di salute che molto più spesso non portano al ricovero in ospedale o al decesso. E quindi sfuggono alle statistiche correnti. In questo contesto occorre sottolineare che le cure primarie rappresentano la più frequente occasione di contatto del cittadino con il Servizio sanitario: il 90-95%, di cui l'80% si risolve a questo livello [2]. I medici di medicina generale e i pediatri di libera scelta possono quindi essere essenziali per:

- il ricco patrimonio scientifico e informativo e le grandi potenzialità epidemiologiche dei dati in loro possesso mediante le cartelle cliniche elettroniche (electronic medical records, Emrs) [3]
- l'influenza nei confronti dei pazienti-cittadini per adottare attitudini virtuose [4]
- la possibilità di integrarsi con le reti cliniche all'interno delle Case della comunità [5]

- *iniziative di citizen science*. Su questo tema si sta diffondendo sempre più un grosso interesse a livello internazionale [6] e anche da parte della Regione Emilia-Romagna [7] e del Snpa [8]. Isde da parte sua è già fortemente impegnata grazie ai rapporti che da sempre ha con i comitati dei cittadini,

cercando di trasferire competenze scientifiche che consentano opportunità di partenariato tra istituzioni e cittadini, basate sulla "fiducia". L'associazione è quindi disponibile a indagare le migliori modalità per tutelare e promuovere da parte dei cittadini il bene comune della salute e dell'ambiente in tutti i settori pertinenti e nella fattispecie per la qualità dell'aria.

Le sfide che ci attendono sono enormi. Senza farsi illusioni, Isde farà la sua parte. Questa è una partenza: a un'ottima raccolta di dati e riflessioni devono

seguire fatti e azioni concrete. Noi siamo pronti! Sono in gioco la salute degli uomini, degli animali e dell'ambiente. Ne vale la pena, anche perché non esiste un'alternativa.

Eva Rigonat¹, Claudia Paoletti², Martino Abrate³, Daria Scarciglia⁴, Giuseppe Albertini⁵, Paolo Lauriola⁶

1. Veterinaria, Isde
2. Genetista vegetale, Isde
3. Ginecologo, Isde
4. Avvocato, Isde
5. Allergologo, medico del lavoro, Isde
6. Epidemiologo, Isde

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/345329/9789240034228-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [2] Lauriola, P., Serafini, A., Santamaria, M., Guicciardi, S., Kurotschka, P. K., Leonardi, G. S., Zeka, A., Segredo, E., Bassi, M. C., Gokdemir, O., de Tommasi, F., Vinci, E., Romizi, R., McGushin, A., Barros, E., Abelsohn, A., & Pegoraro, S., 2021., *Family doctors to connect global concerns due to climate change with local actions: State of the art and some proposals*, World Medical & HealthPolicy, 1-25. <https://doi.org/10.1002/wmh3.448>
- [3] Leonardi SG, Lauriola P, Martorelli S, Semenza JC, ...e dopo il covid? *Proteggere la salute e l'ambiente per prevenire le pandemie e altri disastri*, Edizioni Intra S.r.l.s., Collana Politicamente, 2022
- [4] A Kumar, *Doctors as active advocates for clean air*, 1st WHO air pollution conference, 30 October 1 November 2018, Geneva
- [5] Lauriola P, Martín-Olmedo P, Leonardi GS, et al., *On the importance of primary and community healthcare in relation to global health and environmental threats: lessons from the Covid-19 crisis*, BMJ Global Health 2021; 6:e004111. doi:10.1136/bmjgh-2020-004111
- [6] Susan Baxter, Amy Barnes, Caroline Lee, Rebecca Mead & Mark Clowes, 2022, *Increasing public participation and influence in local decision-making to address social determinants of health: a systematic review examining initiatives and theories*, Local Government Studies, DOI: 10.1080/03003930.2022.2081551
- [7] <https://digitale.regione.emilia-romagna.it/notizie/archivio/2022/luglio/partecipa-a-citizen-science-per-scoprire-i-progetti-dell2019emilia-romagna-sul-territorio>
- [8] www.snpambiente.it/2019/10/25/il-decalogo-snpa-per-la-citizen-science

UNA PUBBLICAZIONE HEAL-ISDE

LA COMUNICAZIONE DELLE CONOSCENZE SCIENTIFICHE E L'IMPEGNO PER MIGLIORARE LA QUALITÀ DELL'ARIA



Fornire alle organizzazioni della società civile le risorse per comunicare efficacemente le conoscenze scientifiche sulla salute e sulla qualità dell'aria: questo l'obiettivo di un'agile pubblicazione realizzata dalla Ong europea *Health and Environment Alliance* (Heal) e ora tradotta anche in italiano e messa a disposizione di tutti da Isde.

"Promuovere la qualità dell'aria: come comunicare le conoscenze scientifiche" è un toolkit rivolto principalmente alle organizzazioni della società civile che lavorano per migliorare la salute e la qualità dell'aria, per avere consigli pratici su come strutturare la propria comunicazione e farla arrivare più efficacemente ai cittadini e soprattutto ai decisori politici.

Heal (www.env-health.org) è una Ong attiva nei paesi della Regione europea Oms che mette insieme associazioni di professionisti della salute, esperti ambientali e cittadini attivi nel promuovere politiche e leggi per la tutela della salute umana e del pianeta e nel far crescere la consapevolezza sui benefici di un ambiente sano.

La pubblicazione è disponibile all'indirizzo <https://bit.ly/HEAL2022ita>.

UNA MIGLIORE INTEGRAZIONE TRA SALUTE E AMBIENTE

IN EUROPA E IN ITALIA SERVE PIÙ COOPERAZIONE TRA AGENZIE AMBIENTALI E SANITÀ PER LA VALUTAZIONE MULTIDISCIPLINARE DEI DATI DI MONITORAGGIO, IN APPLICAZIONE DEL PRINCIPIO DI PRECAUZIONE. SOLO COSÌ POSSIAMO AFFRONTARE LE SFIDE PER LA SALUTE UMANA E DEL PIANETA. L'OPINIONE DELLA SOCIETÀ ITALIANA DI MEDICINA AMBIENTALE (SIMA).

Se abbiamo imparato qualcosa dagli anni di pandemia è che il discorso sull'ambiente non può mai essere scisso dalle considerazioni circa la salute umana. Ormai da oltre un decennio è chiara la posizione dell'Organizzazione mondiale della sanità, che considera qualsiasi atto che vada nella direzione di diminuire le emissioni da combustibili fossili alla stregua di provvedimenti di massimo impatto sulla salute pubblica. Lo sforzo dell'Oms per ricondurre a una lettura unitaria il dato ambientale e quello sanitario ha trovato la sua massima concretizzazione nell'emanazione delle *Linee guida sulla qualità dell'aria* del 2005, finora del tutto ignorate nella legislazione europea e di conseguenza in tutti gli Stati membri, in cui continuiamo a utilizzare limiti di concentrazione che ad esempio per le medie annuali di PM₁₀ e PM_{2,5} sono doppi rispetto a quelle indicate dall'Oms ben 18 anni fa.

Nonostante ciò, il Dipartimento internazionale Oms di Ginevra e il sussidiario Ufficio di Bonn (per la Regione europea), che si occupano di ambiente e salute, hanno continuato a lavorare nella stessa direzione, evidenziando come non esistano di fatto limiti di assoluta sicurezza per la salute pubblica rispetto all'inquinamento atmosferico, fino a giungere – nel mese di settembre 2020 – alla presentazione pubblica a Ginevra e Bruxelles delle nuove *Air Quality Guidelines*, che sostituiscono quelle del documento datato 2005, addirittura dimezzando i precedenti limiti per le polveri sottili (e introducendo nuovi valori guida per gli ossidi di azoto e l'ozono).

La più interessante novità del documento Oms 2020 è l'introduzione di soglie corrispondenti a target intermedi, alcune delle quali coincidono con i precedenti limiti Oms 2005, che dovrebbero indicare un percorso più realistico e pragmatico di graduale adeguamento dei vari Paesi (ciascuno dei quali parte da situazioni talora molto diverse).



La strada appare ancora lunga anche perché l'inquinamento atmosferico è un problema solo recentemente riconosciuto come di grave impatto sulla salute pubblica. È infatti tra il 2013 e il 2015 (in sede di Assemblea generale a Ginevra) che, a livello Oms, l'inquinamento atmosferico inizia a essere definito come il singolo fattore di rischio a maggiore impatto sulla salute pubblica, vale a dire quasi 10 anni dopo la pubblicazione da parte della stessa Oms delle linee guida sulla qualità dell'aria. Se applicassimo tali soglie sanitarie, nell'Unione europea, circa l'80% della popolazione urbana europea sarebbe esposta a un inquinamento atmosferico superiore ai livelli raccomandati dalle linee guida dell'Oms 2005.

Nel 2013 l'Agenzia internazionale per la ricerca sul cancro (Iarc) aveva classificato l'inquinamento dell'aria *outdoor*, e il particolato in particolare, come cancerogeno per l'uomo (Iarc Classe 1), sottolineando che le polveri sottili producono gravi impatti sulla salute anche a concentrazioni molto basse, causando un aumento del 7% della mortalità complessiva per ogni aumento di 10 µg/m³ della media annuale di PM_{2,5}. Solo da alcuni anni, l'Agenzia europea dell'ambiente (Eea) pubblica il suo rapporto *Qualità dell'aria in Europa* per valutare i dati sull'inquinamento atmosferico in tutta Europa e il relativo impatto sulla salute (538.000 morti

premature nel solo 2019). Tuttavia, i dati ambientali forniti dalle agenzie ufficiali regionali o nazionali – utilizzati dai decisori per adottare misure preventive come limitazioni al traffico urbano o al riscaldamento domestico – fanno ancora riferimento a soglie legali che non sono adeguate per proteggere completamente la popolazione da tutti gli impatti dell'inquinamento atmosferico, come raccomandato dalle prove scientifiche. Nei fatti, finora le nostre Agenzie di protezione ambientale (Arpa) e la struttura centrale dell'Ispra hanno valutato la qualità dell'aria che respiriamo sulla base di limiti legali svincolati dalle soglie di sicurezza sanitaria definite dall'Organizzazione mondiale della sanità. In pratica, tutte le classificazioni che facciamo nelle varie regioni lasciano il tempo che trovano e tutte le chiusure al traffico disposte nelle nostre città per sforamenti ambientali avvengono quando non c'è più nulla da proteggere, come dimostrano le curve di mortalità generale e per cause specifiche cardiovascolari e per tumore polmonare pubblicate in letteratura rispetto ai vigenti limiti di polveri sottili.

A ben vedere, almeno nel nostro Paese, il *vulnus* del disaccoppiamento di una lettura integrata a livello territoriale tra dato ambientale e sanitario è l'avvelenato frutto del referendum del 1993 istitutivo del Ministero dell'Ambiente, che ha di fatto incorporato in Italia la sanità dalle

strutture di monitoraggio ambientale. A partire da quella data si è assistito alla totale perdita da parte delle articolazioni sanitarie territoriali di quelle preziose competenze che sovrintendevano agli esami sulle matrici suolo, acqua e aria. Quel che serve a livello europeo e nel nostro Paese è quindi una lettura sanitaria dei dati di monitoraggio ambientale, che dovrebbe essere effettuata sia a livello nazionale sia regionale ovvero a livello locale (incrociando ad esempio i dati di accesso in pronto soccorso e dei ricoveri ospedalieri con quelli delle centraline di monitoraggio della qualità dell'aria) per favorire la tutela della salute della popolazione dall'inquinamento atmosferico e garantire l'applicazione del principio di precauzione sancito dall'articolo 191 del Trattato sul funzionamento dell'Unione europea e dalla comunicazione del 22 febbraio 2000 della Commissione europea. È necessaria una più forte cooperazione tra le agenzie ambientali e le autorità sanitarie (che spesso rimane solo sulla carta, senza prevedere una specifica sinergia nemmeno per la periodica pianificazione dei macro-obiettivi di monitoraggio), per affrontare le nuove sfide per la salute umana e del pianeta derivanti dall'inquinamento atmosferico e dai cambiamenti climatici. Lo stesso *gap* di cooperazione si riscontra anche per il tema dell'inquinamento

indoor, dove il sistema Arpa in genere riceve autocertificazioni sui livelli di radon che restano nei cassetti senza essere condivisi né analizzati coi sistemi sanitari a fini di mappature e interventi preventivi.

Le autorità sanitarie dovrebbero integrare il proprio personale medico con nuovi professionisti e ricercatori con un'adeguata formazione in scienze ambientali per promuovere la protezione della salute della popolazione contro l'inquinamento atmosferico. A tal fine, delle vere e proprie unità o gruppi di ricerca multidisciplinari dovrebbero essere istituiti dalle autorità sanitarie locali su temi di salute ambientale, collaborando con il personale medico e le agenzie ambientali per una reciproca integrazione delle competenze. Ciò potrebbe avvenire in Italia sfruttando i fondi Pnrr destinati al *Programma Ambiente, salute e clima*, che non ha tuttavia istituito una vera e propria agenzia autonoma ma si appoggia a strutture ministeriali e regionali. Nell'ambito del *Green deal* europeo la Commissione Ue ha annunciato che si adopererà per guidare l'Europa verso un ambizioso obiettivo di inquinamento zero e, in tale contesto, trarrà vantaggio dagli insegnamenti tratti dalla valutazione dell'attuale legislazione sulla qualità dell'aria, al fine di rivedere gli standard di qualità dell'aria dell'Ue e allinearli più strettamente alle raccomandazioni

dell'Oms. A livello europeo è il direttorato generale della Commissione europea che si occupa di ambiente a essere maggiormente attivo sul tema della cosiddetta *Environmental Health*, anche in ragione dell'assenza di una specifica divisione dedicata al tema "Salute-ambiente" (che invece esiste ed è molto attivo nell'organigramma Oms) nella pur vastissima articolazione della burocrazia europea. In questo senso, la presentazione a Bruxelles lo scorso 26 ottobre della *Zero Pollution Strategy* si prospetta come il programma d'azione con il più vasto impatto non solo sui livelli di inquinamento, ma soprattutto sulla salute e sul benessere dei cittadini europei. A Bruxelles stanno anche lavorando per adeguare la direttiva sulla Qualità dell'aria attualmente in vigore nella Ue ai valori di sicurezza sanitaria rivisti di recente al ribasso dall'Oms. Resta però il fatto che a livello di istituzioni europee manca un'unità operativa che si occupi di salute e ambiente, tematica che in qualche modo altri sono costretti a coprire. C'è da augurarsi che questo gap venga colmato prima o poi, magari su iniziativa proprio del governo italiano.

Alessandro Miani, Prisco Piscitelli

Ufficio di Presidenza della Società italiana di medicina ambientale (Sima)



RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

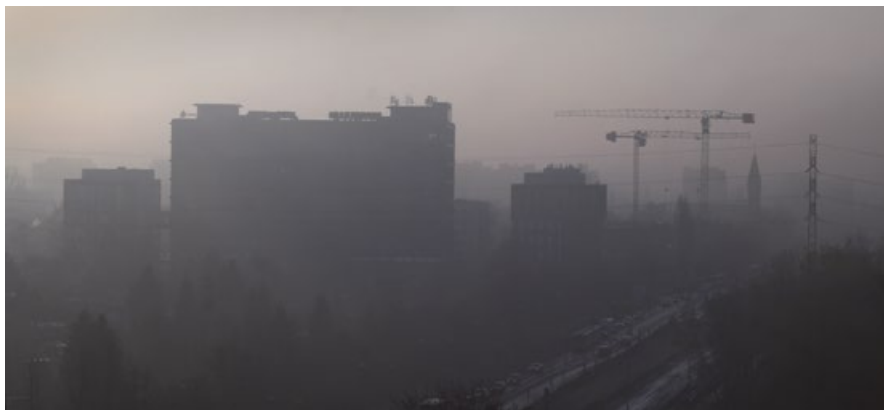
- World Health Organization; Occupational and Environmental Health Team, *Air Quality Guidelines for Particulate Matter, Ozone, Nitrogen Dioxide and Sulfur Dioxide: Global Update 2005: Summary of Risk Assessment*, Geneva, Switzerland, 2006, http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/69477/1/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf.
- Eea, *Air Quality in Europe—2019 Report*, 10/2019; European Environment Agency: Copenhagen, Denmark, 2019.
- Iarc, *Outdoor Air Pollution; Iarc Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans*, World Health Organization, Geneva, Switzerland, 2013; Volume 109.
- World Health Organization Media Centre, <http://bit.ly/3HuZ8OE>
- Chiabai A., Spadaro J.V., Neumann M.B., "Valuing deaths or years of life lost? Economic benefits of avoided mortality from early heat warning systems", *Mitig Adapt Strateg Glob Chang* 2018, 23, 1159-1176.
- Shi L., Zanobetti A., Kloog I., Coull B.A., Koutrakis P., Melly S.J., Schwartz J.D., "Low-concentration PM2.5 and mortality: Estimating acute and chronic effects in a population-based study", *Environ Health Perspect*, 2016, 124, 46-52.
- Chan Y.L., Wang B., Chen H., Ho K.F., Cao J., Hai, G., Jalaludin B., Herbert C., Thomas P.S., Saad S. et al., "Pulmonary inflammation induced by low dose particulate matter exposure in mice", *Am. J. Physiol, Lung Cell Mol Physiol*, 2019.
- Badaloni C., Cesaroni G., Cerza F., Davoli M., Brunekreef B., Forastiere F., "Effects of long-term exposure to particulate matter and metal components on mortality in the Rome longitudinal study", *Environ Int*, 2017, 109, 146-154.
- Samoli E., Stafoggia M., Rodopoulou S., Ostro B., Declercq C., Alessandrini E., Diaz J., Karanasiou A., Kelessis A.G., Le Tertre A. et al., "Med-Particles Study Group. Associations between fine and coarse particles and mortality in Mediterranean cities: Results from the MED-PARTICLES project", *Environ Health Perspect*, 2013, 121, 932-938.
- Dominici F., McDermott A., Daniels M., Zeger S.L., Samet J.M., "Revised analyses of the National Morbidity, Mortality, and Air Pollution Study: Mortality among residents of 90 cities", *J. Toxicol Environ Health, A* 2005, 68, 1071-1092.
- Ostro B., Feng W.Y., Broadwin R., Green S., Lipsett M., "The effects of components of fine particulate air pollution on mortality in California: Results from CalFINE", *Environ Health Perspect*, 2007, 115, 13-19.
- Gryparis A., Forsberg B., Katsouyanni K., Analitis A., Touloumi G., Schwartz J., Samoli E., Medina S., Anderson H.R., Niciu E.M., "Acute effects of ozone on mortality from the 'air pollution and health: A European approach' project", *Am. J. Respir. Crit. Care Med.*, 2004, 170, 1080-87.
- Forastiere F., Stafoggia M., Berti G., Bisanti L., Cernigliaro A., Chiusolo M., Mallone S., Miglio R., Pandolfi P., Rognoni M. et al., "Particulate matter and daily mortality: A case-crossover analysis of individual effect modifiers", *Epidemiology*, 2008, 19, 571-580.
- Samet J.M., Dominici F., Curriero F.C., Coursac I., Zeger S.L., "Fine Particulate Air Pollution and Mortality in 20 U.S. Cities, 1987-1994", *N. Engl J Med*, 2000, 343, 1742-1749.
- Gehring U., Heinrich J., Krämer U., Grote V., Hochadel M., Sugiri D., Kraft M., Raachfuss K., Eberwein H., Wichmann H., "Long-Term Exposure to Ambient Air Pollution and Cardiopulmonary Mortality, Women", *Epidemiology*, 2006, 17, 545-551.
- Brunekreef B., Beelen R., Hoek G., Schouten L., Bausch-Goldbohm S., Fischer P., Armstrong B., Hughes E., Jerrett M., Van den Brandt P., "Effects of long-term exposure to traffic-related air pollution on respiratory and cardiovascular mortality in the Netherlands: The NLCS-AIR study", *Res Rep Health Eff Inst*, 2009, 139, 5-89.
- Raaschou-Nielsen O., Andersen, Z.J., Beelen, R., Samoli E., Stafoggia M., Weinmayr G., Homann B., Fischer P., Nieuwenhuijsen M.J., Brunekreef B. et al., "Air pollution and lung cancer incidence in 17 European cohorts: Prospective analyses from the European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE)", *Lancet Oncol*, 2013, 14, 813-822.
- Faustini A., Stafoggia M., Berti G., Bisanti L., Chiusolo M., Cernigliaro A., Mallone S., Primerano R., Scarnato C., Simonato L. et al., "The relationship between ambient particulate matter and respiratory mortality: A multi-city study in Italy", *Eur Respir J*, 2011, 38, 538-547.
- Vigotti M.A., Chiaverini F., Biagiola P., Rossi G., "Urban air pollution and emergency visits for respiratory complaints in Pisa, Italy", *J Toxicol Environ Health, A* 2007, 70, 266-269.
- Pope C.A. III, Burnett R.T., Thun M.J., Calle E.E., Krewski D., Ito K., Thurston G.D., "Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution", *Jama*, 2002, 287, 1132-1141.
- European Commission Working Document (2019), 427, *Fitness Check of the Ambient Air Quality Directives*.
- European Commission, COM(2019) 640 Final, *The European Green Deal*, https://ec.europa.eu/environment/air/pdf/SWD_2019_427_F1_AAQ%20Fitness%20Check.pdf.
- Who, *Review of Evidence on Health Aspects of Air Pollution—Revihaap Project: Final Technical Report*, Geneva, Switzerland, 2013, www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0004/193108/REVIHAAP-Final-technical-report-final-version.pdf?ua=1.
- Beelen R., Hoek G., Van den Brandt P.A., Goldbohm R.A., Fischer P., Schouten L.J., Armstrong B., Brunekreef B., "Long-term exposure to traffic-related air pollution and lung cancer risk", *Epidemiology*, 2008, 5, 702-710.
- Vineis P., Hoek G., Krzyzanowski M., Vigna-Taglianti F., Veglia F., Airoidi L., Autrup H., Dunning A., Garte S., Hainaut P. et al., "Air pollution and risk of lung cancer in a prospective study in Europe", *Int J Cancer*, 2006, 119, 169-174.
- Colais P., Serinelli M., Faustini A., Stafoggia M., Randi G., Tessari R., Chiusolo M., Pacelli B., Mallone S., Vigotti M.A. et al., "Air pollution and urgent hospital admissions in nine Italian cities. Results of the EpiAir Project", *Epidemiol Prev*, 2009, 33 (Suppl. 1), 77-94.
- Biggeri A., Bellini P., Terracini B., "Meta-analysis of the Italian studies on short-term effects of air pollution-Misa 1996-2002", *Epidemiol Prev*, 2004, 28, 4-100.
- Anderson H.R., Spix C., Medina S., Schouten J.P., Castellsague J., Rossi G., Zmirou D., Touloumi G., Wojtyniak B., Ponka A. et al., "Air pollution and daily admissions for chronic obstructive pulmonary disease in 6 European cities: Results from the APHEA project", *Eur Respir J*, 1997, 10, 1064-1071.
- Magnani C., Mattioli S., Miligi L., Ranucci A., Rondelli R., Salvan A., Bisanti L., Maserà G., Rizzari C., Zambon P. et al., "Setil: Italian multicentric epidemiological case-control study on risk factors for childhood leukaemia, non-hodgkin lymphoma and neuroblastoma: Study population and prevalence of risk factors in Italy", *Ital J Pediatr*, 2014, 40, 103.
- Power M.C., Adar S.D., Yanosky J.D., Weuve J., "Exposure to air pollution as a potential contributor to cognitive function, cognitive decline, brain imaging, and dementia: A systematic review of epidemiologic research", *Neurotoxicology*, 2016, 56, 235-253.
- Renzi M., Cerza F., Gariazzo C., Agabiti N., Cascini S., Di Domenicantonio R., Davoli M., Forastiere F., Cesaroni G., "Air pollution and occurrence of type 2 diabetes in a large cohort study", *Environ Int*, 2018, 112, 68-76.
- Eur-Lex, *Access to European Union Law*, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=LEGISSUM:132042>.

ORA SERVE UN CAMBIAMENTO DI LINEA SIGNIFICATIVO

PER LEGAMBIENTE OCCORRE UN CAMBIO DI PASSO IN EUROPA E NON SOLO. L'AUTOREVOLEZZA DELLE NUOVE LINEE GUIDA SULLA QUALITÀ DELL'ARIA REDATTE DALL'OMS PONE I DECISORI E L'OPINIONE PUBBLICA DAVANTI ALLA NECESSITÀ DI RISPONDERE CON AZIONI DECISE E UN'ASSUNZIONE DI RESPONSABILITÀ COLLETTIVA, PER MEGLIO TUTELARE LA SALUTE.

Nell'autunno del 2021, la pubblicazione delle nuove "Linee guida per la qualità dell'aria"¹ da parte dell'Organizzazione mondiale della sanità ha rappresentato un chiaro messaggio rivolto all'opinione pubblica e ai decisori politici rispetto all'urgenza di adottare misure più efficaci per meglio tutelare la salute pubblica.

Il documento analizza i risultati dei più recenti studi sull'inquinamento atmosferico e gli effetti sulla salute umana (la precedente pubblicazione delle linee guida era avvenuta nel 2005) e propone un insieme di valori di riferimento per gli indicatori per la valutazione della qualità dell'aria, ovvero le concentrazioni degli inquinanti atmosferici misurate a livello del suolo. Rispetto ai valori pubblicati nel 2005, si nota sia l'aggiunta di nuovi indicatori sia l'abbassamento dei valori di concentrazione di riferimento per la maggior parte delle sostanze riscontrabili dalle misure di qualità dell'aria. In particolare, l'introduzione di un valore di riferimento per la concentrazione giornaliera di biossido di azoto (NO₂) e l'abbassamento dei valori riferiti ai principali inquinanti atmosferici (PM₁₀, PM_{2,5} e O₃) appaiono di rilevanza per il contesto regionale e del bacino padano, in cui gli elevati livelli di inquinamento atmosferico rendono il miglioramento della qualità dell'aria una delle politiche più richieste da parte dei cittadini. La denominazione "Linee guida" adottata dall'Oms per questo documento è conseguente alla necessità dell'organizzazione stessa di non sostituirsi ai governi nella definizione dei valori di concentrazione degli inquinanti atmosferici giuridicamente vincolanti per la tutela della salute pubblica. Ciononostante, l'autorevolezza dell'organizzazione che ha redatto le linee guida pone i decisori pubblici davanti alla necessità di rispondere alla pubblicazione con un cambiamento di linea altrettanto significativo.



Il ruolo dell'Unione europea

La responsabilità del primo cambio di passo oggi ricade certamente sull'Unione europea, le cui direttive sulla qualità dell'aria ambiente² rappresentano oggi un vero e proprio baluardo per la difesa della salute dei cittadini. I risultati dell'attività di ricerca dell'Oms erano già stati alla base della definizione degli standard europei per la qualità dell'aria: le linee guida dell'Oms pubblicate nel 2005 hanno infatti costituito il riferimento rispetto al quale l'Ue ha calcolato i propri valori standard, ancora oggi vigenti, operando a quel tempo un bilanciamento tra le indicazioni della letteratura scientifica, lo stato di fatto della qualità dell'aria all'interno dell'Unione e la possibilità di raggiungere obiettivi di riduzione rilevanti. Non si può dire che tali misure non abbiano avuto alcun effetto. Basti pensare alle condanne della Corte europea di giustizia nei confronti dell'Italia, nel 2020³ per il superamento dei valori standard per il particolato PM₁₀ e nel 2022 per il superamento di quelli relativi al biossido di azoto. Le condanne hanno rimarcato l'obbligo, per ciascuno Stato membro, di adottare piani di qualità dell'aria e misure efficaci per portare i valori di concentrazione al di sotto delle soglie stabilite dalle direttive. Lo scenario che si apre per l'Ue con la

pubblicazione delle nuove linee guida è quindi quello di una revisione delle direttive in senso restrittivo. La proposta per la nuova direttiva in materia è stata presentata dalla Commissione europea il 26 ottobre 2022⁴. La Commissione ha rimarcato l'impegno a ridurre del 55% il numero di morti premature causate dalle polveri sottili PM_{2,5} rispetto ai livelli del 2005, oltre a puntare a un maggiore allineamento dei valori standard con le indicazioni delle linee guida dell'Oms.

E quello dell'Italia

L'Italia si trova quindi davanti a un passaggio cruciale per la tutela della salute pubblica, eppure fatica a imboccare la strada giusta per raggiungere obiettivi in linea con quelli europei fissati 15 anni fa. È evidente la mancanza di un obiettivo comune e coerente con quello europeo tra i diversi governi e parlamenti che si sono succeduti in questo periodo di tempo: basti pensare, ad esempio, alla mancanza di un piano per la transizione ecologica del settore trasportistico, dove le politiche infrastrutturali continuano a risentire di piani e progetti basati sul trasporto su gomma, determinando la presenza di una quota di sussidi ambientalmente dannosi con effetti a lungo termine e che sottrarrà risorse

pubbliche alle forme di trasporto meno impattanti. Trattandosi di un settore con emissioni rilevanti per i principali inquinanti oggetto di monitoraggio, un cambio di rotta è assolutamente necessario: quanto prima verrà intrapreso, tanto prima il Paese sarà nelle condizioni di ridurre sostanzialmente l'emissione di inquinanti atmosferici e migliorare la qualità della vita per i propri cittadini.

Il contesto del bacino padano

All'interno dello scenario nazionale trova spazio il particolare contesto del bacino padano, al quale appartiene anche l'Emilia-Romagna. L'aspetto fondamentale per definire l'entità del cambiamento che è necessario compiere a livello socio-economico per migliorare la qualità dell'aria è legato alle caratteristiche morfologiche del territorio: la forma "a bacino" e la sostanziale mancanza di flussi d'aria che consentano la rimozione delle sostanze inquinanti influenzano negativamente la qualità ambientale, ma non possono essere né oggetto di modifiche sostanziali né la giustificazione per la mancanza di azioni decise a tutela della salute dei cittadini.

Occorre quindi intervenire con rapidità e incisività sui fattori variabili, ovvero sui settori socio economici di maggiore interesse in termini di quantità di emissioni di sostanze inquinanti in atmosfera, con l'obiettivo di ridurre tali emissioni.

Il documento strategico del Piano aria integrato regionale 2030 della Regione Emilia-Romagna⁵ fornisce in questo senso indicazioni importanti, frutto dell'aggiornamento degli inventari delle emissioni e delle simulazioni modellistiche relative all'origine del particolato secondario: insieme alla conferma del ruolo primario del trasporto su strada per le emissioni di ossidi di azoto (NO_x), precursori di particolato e ozono, si osserva infatti la notevole incidenza delle emissioni del settore agro-zootecnico sulla produzione di polveri sottili PM₁₀.

Questi dati consegnano all'opinione pubblica e ai decisori un quadro chiaro delle aree d'intervento su cui agire per portare la qualità dell'aria in Emilia-Romagna, dopo decenni, a uno stato che possa essere riconosciuto come buono dalla comunità scientifica. Le linee guida dell'Organizzazione mondiale della sanità indicano invece l'entità del cambiamento necessario per garantire

la salute la buona qualità della vita dei cittadini della pianura Padana. È necessaria quindi un'assunzione di responsabilità collettiva e differenziata sulla base del reale impatto di ciascuna componente della società e dell'economia del territorio sulla qualità dell'aria, per favorire l'avanzamento comune verso un nuovo modello socio-economico rispettoso dell'ambiente e degli ecosistemi dai quali anche la specie umana dipende.

Davide Ferraresi

Presidente Legambiente Emilia-Romagna

NOTE

¹ www.who.int/publications/item/9789240034228

² In particolare la direttiva 2008/50/CE.

³ <https://curia.europa.eu/jcms/upload/docs/4/www.europarl.europa.eu/legislative-train/>

⁴ COM(2022) 542 final "Proposal for a directive of the European Parliament and of the Council on ambient air quality and cleaner air for Europe" Brussels, 26.10.2022.

⁵ <https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/aria/temi/pair2020>

RAPPORTO ECOMAFIA 2022

REATI CONTRO L'AMBIENTE, OCCORRE RAFFORZARE GLI STRUMENTI DI PREVENZIONE E REPRESSIONE



In Italia le ecomafie continuano ad affondare le loro radici nell'ambiente, spinte da interessi trasversali in cui si intrecciano sempre di più criminalità ambientale, economica e organizzata in un triangolo perfetto. È quanto emerge nel nuovo report *Ecomafia 2022*, realizzato da Legambiente con il sostegno di Novamont ed edito da Edizioni Ambiente, che presenta dati e analisi sul fenomeno dei reati contro l'ambiente: nel 2021 ne sono stati accertati in Italia 30.590, registrando una media di quasi

84 reati al giorno, circa 3,5 ogni ora. Un dato preoccupante e che continua a restare alto, nonostante la leggera flessione del -12,3% rispetto ai dati del 2020, mentre crescono gli arresti toccando quota 368, +11,9% rispetto al 2020. Sono 59.268 gli illeciti amministrativi contestati, con una media di 162 al giorno, 6,7 ogni ora. Sommati ai reati ambientali, raccontano di un Paese dove vengono accertate ogni ora circa 10 violazioni di norme poste a tutela dell'ambiente. Ad agevolare questa ondata di reati lo strumento della corruzione: 115 le inchieste censite da 16 settembre 2021 al 31 luglio 2022, con 664 persone arrestate, 709 persone denunciate e 199 sequestri. 14 i comuni sciolti per mafia nel 2021 e 7 nel 2022. Dati che si traducono da una parte in ferite insostenibili per l'ambiente, la cui tutela dallo scorso 22 febbraio è entrata tra i principi fondamentali della Costituzione italiana, e dall'altra in un fatturato per gli ecomafiosi di 8,8 miliardi di euro.

"Il quadro che emerge dalla lettura del nostro Rapporto Ecomafia 2022 continua a essere preoccupante - dichiara Stefano Ciafani, presidente nazionale di Legambiente - . È fondamentale non abbassare la guardia nei confronti degli ecocriminali, ora più che mai visto che sono stati assegnati i primi finanziamenti dei bandi del Pnrr, molti altri ne verranno aggiudicati nel prossimo futuro e presto si apriranno i tanti cantieri dell'agognata transizione ecologica. In tutto ciò il sistema di prevenzione e repressione dei reati descritti in questo rapporto non è stato rafforzato come si sarebbe dovuto fare".

"In Europa si discute di una nuova direttiva sui crimini ambientali - spiega Enrico Fontana, responsabile Ufficio raccolta fondi e Osservatorio nazionale Ambiente e legalità - per inasprire le sanzioni e rendere efficace l'attività di prevenzione e repressione. L'Italia, al riguardo, ha maturato importanti competenze, a partire dalle inchieste sui traffici illegali di rifiuti ma sconta ancora ritardi per quanto riguarda in particolare la lotta all'abusivismo edilizio. I reati nel ciclo del cemento sono una vera e propria piaga su cui è necessario continuare a puntare i riflettori, sia per scongiurare nuove sconsiderate ipotesi di sanatorie sia per rilanciare, finalmente, una stagione di demolizioni".

In occasione della presentazione del rapporto, Legambiente ha presentato anche il restyling del sito noecomafia.legambiente.it, strutturato come un vero e proprio centro di documentazione online.